



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

MENTION : CHIMIE

Master d'ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master II intitulé :

**ETUDE DE VULNERABILITE DE LA QUALITE D'EAU D'UN SYSTEME
D'ADDUCTION D'EAU POTABLE : CAS DE LA COMMUNE D'IKONGO**

Soutenu publiquement le : 22 juin 2017 à 13h 30 à CRS Antananarivo

Par : **RAHARINATOANDRO Gérald**

Devant les membres de jury :

Monsieur	RABESIAKA Mihasina, Professeur à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo Madagascar	Président du Jury
Monsieur	RASAONINA Hery Lanto, Spécialiste en Infrastructure WASH au Catholic Relief Services Antananarivo Madagascar	Rapporteur
Monsieur	RAZANAMPARANY Bruno, Professeur à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo Madagascar	Examineur
Monsieur	NOELSON Rivo, MD.MPH Spécialiste en santé publique, communautaire et Wash, Enseignant à l'Université d'Antananarivo Madagascar	Examineur

Année académique : 2014-2015

Première Promotion

Déclaration de l'Auteur.

Ce rapport de mémoire est un travail effectué en vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau à l'Université d'Antananarivo. Il concerne une étude de cas sur « *la vulnérabilité de la qualité de l'eau d'un système d'adduction d'eau potable cas de la Région Vatovavy Fitovinany Commune d'Ikongo* ».

Remerciements pour votre collaboration.

Je remercie notre Dieu tout puissant pour sa grâce !

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé et contribué à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude, en particulier :

- *au Professeur PANJA RAMANOELINA, Président de l'Université d'Antananarivo ;*
- *au Professeur RAHERIMANDIMBY Marson, Doyen de la Faculté des Sciences et Responsable du Domaine Sciences et Technologies de l'Université d'Antananarivo ;*
- *au Docteur RALAMBOMANANA Dimby Andrianina, Maître de Conférences, Responsable Mention Chimie à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo d'avoir donné son avis favorable à la présentation de ce mémoire ;*
- *au Professeur RABESIAKA Mihasinga, d'avoir accepté d'être le Président de Jury de ce mémoire ;*
- *au Professeur RAZANAMPARANY Bruno, Responsable de Parcours I.S.T.E, également d'avoir accepté d'encadrer ce travail de mémoire ;*
- *au Docteur NOELSON Rivo, Gestionnaire de Programme de Développement en Santé Publique, spécialiste en Santé publique WASH ; Enseignant au sein du Parcours ISTE d'avoir eu l'amabilité de consacrer son temps pour le suivi de la rédaction de ce mémoire.*

J'adresse aussi ma vive reconnaissance à tous les membres du Staff CRS Madagascar pour leur accueil et leur collaboration durant mon stage qui s'avère être très enrichissant sur le plan personnel et surtout, professionnel, particulièrement à :

- *Joshua POOLE, Représentant Résident de Catholic Relief Services Madagascar.*
- *James HAZEN, Chef de Projet FARARANO, Catholic Relief Services Madagascar.*
- *Lantotiana RAFANOMEZANTSOA, Deputy Chief of Party, FARARANO Project, Catholic Relief Services Madagascar.*
- *Hery Lanto RASAONINA, Spécialiste en Infrastructure en Eau, en Assainissement et en Hygiène au Catholic Relief Services Madagascar d'avoir accepté d'être mon rapporteur. Et malgré son emploi du temps très chargé, il a eu l'amabilité de nous aider à parfaire la version finale de ce rapport de mémoire.*
- *Fanilo RAKOTONIRAINY, Project Officer WASH, Catholic Relief Services Madagascar qui nous a supervisé durant nos travaux sur terrain.*

J'exprime ma pleine gratitude à l'Université Villanova de Pennsylvanie pour sa volonté de travailler avec l'Université d'Antananarivo, sans quoi la présente étude n'a pas pu être réalisée. Je cite particulièrement :

- *Jordan ERMILIO, Professeur à l'université Villanova et rapporteur de BOGARDUS Benjamin.*
- *BOGARDUS Benjamin, Graduate fellow for international, development and Sustainability Villanova University College of Engineering. Il nous a embauché en tant que stagiaire pour aider dans ses recherches. Ainsi, ce dernier, nous a supervisé nos travaux sur terrain, en vue de la rédaction de ce livre.*

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'entreprise : SERTRANO pour les partages des données essentiels à l'édification de ce rapport de mémoire.

- RENKO Francklin Frédéric, Chef d'exploitation du système d'AEPG SERTRANO Ikongo, qui nous a hébergé durant notre séjours à Ikongo.*

A toute l'équipe de BDEM qui nous a aimablement accueillis durant notre séjour à Antsenavolo dont particulièrement:

- RAMIARAMANANA Herman, BDEM Mananjary, Directeur BDEM Mananjary pour son accueil et partage.*
- Nanie Anna Isabelle, Promoteur Antsenavolo, qui nous a hébergé durant notre séjours à Anstenavolo.*

Au Docteur RALAIMARO Joseph, Enseignant à l'Ecole Supérieur polytechnique et à la Faculté des Science d'Antananarivo qui a contribué à la correction de la version finale de ce rapport de mémoire.

A toute ma famille et à toutes les personnes qui ont de loin ou de près contribué à la conception de ce mémoire.

MERCI A TOUS !

AVANT-PROPOS

A titre de rappel, ce rapport de mémoire est une suite de recherches faites au sein de l'organisme Catholic Relief Services de Madagascar, avec l'appui de l'Université Villanova, et aussi du Parcours en fin d'études en ISTE de l'Université d'Antananarivo.

A propos de l'organisation CRS Madagascar

Catholic Relief Services (CRS) est une organisation non gouvernementale fondée par les évêques catholiques des Etats-Unis en 1943. L'engagement de cette fondation est d'assister les populations pauvres et vulnérables hors des Etats-Unis. Le CRS œuvre à Madagascar depuis 1962 pour promouvoir le développement humain en répondant aux urgences majeures, lutte contre la maladie et la pauvreté, et pour entretenir des sociétés paisibles et justes.

Le CRS Madagascar travaille avec plusieurs partenaires et principalement, il œuvre avec l'USAID, pour réaliser ses œuvres caritatives et de développement. Citons entre autres le Programme SALOHI, RanoHP, RANOn'ALA, Kaominina Mendrika Salama (KMS), TARATRA et le projet *FARARANO*. Nos travaux ont été supportés par ce dernier.

A propos de l'Université Villanova

Fondée en 1842 par l'Ordre de Saint Augustin et sous la nomination de Saint Thomas de Villeneuve, l'Université Villanova est l'une des plus grandes universités et la plus ancienne institution catholique de Pennsylvanie aux Etats-Unis.

Récemment, en collaboration avec CRS/Madagascar depuis 2014, l'Université Villanova a fourni des matériels et des financements pour les recherches sur la pérennisation d'un système d'adduction d'eau potable dans les zones rurales de Madagascar. A travers les recherches menées par Mr Benjamin Boguardus, au sein de CRS/Madagascar, l'université Villanova a aussi collaboré avec l'Université d'Antananarivo à travers des étudiants en fin d'études. Durant cette période de recherche, les étudiants-stagiaires de chaque université ont pu échanger leurs connaissances et leurs savoir-faire, qui se sont avérés fructueux comme la finalisation de la présente étude.

A propos du Parcours ISTE du Domaine Sciences et Technologies

Après la réforme du système de l'enseignement supérieur et de la recherche en vue de la mise en place du système *“Licence, Master, Doctorat”* au sein de l'Université d'Antananarivo, le parcours Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau (I.S.T.E) a été créé dans le domaine des Sciences et Technologies, Mention : Chimie. Vue l'absence du parcours spécialisé dans le domaine d'ingénierie en sciences et techniques de l'eau à Madagascar et vu l'accroissement incessant de la demande en personnes qualifiées travaillant dans le secteur de l'eau et l'assainissement, le parcours ISTE a sorti sa première promotion d'étudiants diplômés en *“Licence”* en 2011. Actuellement, le parcours est en sa première promotion d'étudiants diplômés en *“Master”*.

A propos du Stage de mémoire au CRS Madagascar

Dans le cadre du projet FARARANO en collaboration avec l'Université Villanova, l'Université d'Antananarivo et l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, nous nous sommes intéressés au thème « Etude de la pérennisation des systèmes d'adduction d'eau potable dans des Communes de la région de Vatovavy Fitovinany et d'Analanjirivo ». Ce thème est justifié face aux constatations sur terrain montrant la dégradation des infrastructures d'alimentation en eau potable dans diverses Communes rurales de Madagascar.

SOMMAIRE PREMIERE PARTIE : CONTEXTE ET JUSTIFICATION

CHAPITRE 1 : RAPPEL THEORIQUE

CHAPITRE 2 : RAPPORT D'UN CAS DE RECHERCHE DU SYSTEME D'AEP DE LA COMMUNE IKONGO

DEUXIEME PARTIE : MESURE DES PARAMETRES QUANTITATIFS ET QUALITATIFS DU SYSTEME D'AEPG : ANALYSES ET RESULTATS

CHAPITRE 3 : ANALYSES ET RESULTATS SUR TERRAIN

TROISIEME PARTIE : INTERPRETATIONS DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS

CHAPITRE 5 : RECOMMANDATIONS

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ANNEXES

<i>Annexe 1 : Tableau résumant le protocole d'analyse par les "Test Strips"</i>	A1
<i>Annexe 2 : Consommation réelle annuelle facturée du système d'AEP d'Ikongo (octobre 2013-Avril 2016)</i>	A2
<i>Annexe 3: Norme OMS</i>	A3
<i>Annexe 4 : Précipitation et Evapotranspiration annuelles de la commune d'Ikongo mesurées en mm (Année 2013-2015)</i>	A8
<i>Annexe 5 : Bilan Hydrologique et recette de calcul des données relatives du BV</i>	A11
<i>Annexe 6 : Calcul des paramètres caractéristiques du bassin versant de Sahalagnary</i>	A13
<i>Annexe 7: Calculs et formules pour le procédé de chloration et la préparation de la solution hypochlorite de sodium</i>	A16
<i>Annexe 8 : Etudes et calculs hydrochimiques de l'eau</i>	A21
<i>Annexe 9 : Mode de calcul de la vulnérabilité des paramètres qualitatifs de l'eau au niveau de la ressource en eau et au niveau du traitement et distribution d'eau du système AEPG de la Commune d'Ikongo</i>	A27
<i>Annexe 10: Appellation et nomenclature usuelles des produits chlorés</i>	A30
<i>Annexe 11 : Calcul du volume moyen à partir de la variation du niveau moyen de l'eau dans le réservoir collecté par le transducteur Rugged TROLL 100 (6 juin 2014-06 septembre 2015)</i> A31	
<i>Annexe 12 : Protocole d'analyse d'E. Coli par CBT</i>	A34
<i>Annexe 13 : Tableau des nombres les plus probables basés sur la méthode adoptée par CBT pour le dénombrement d'E. Coli</i>	A36
<i>Annexe 14: Analyse d'E. Coli par CBT au niveau du système AEP de la Commune d'Ikongo</i> A37	
<i>Annexe 15 : SIT (Site Indicator Tools CRS Madagascar)</i>	A38
<i>Annexe 16 : CRS IFORM (Enquête ménage mai 2016)</i>	A51
<i>Annexe 17 : Empreinte, indicateur de développement durable</i>	A53
<i>Annexe 18 : Accord co-signé entre le district Ikongo, la Commune d'Ikongo, l'entreprise gestionnaire et le représentant des ménages vivant dans le BV Sahalagnary.</i>	A58
<i>Annexe 19 : Matériels utilisés</i>	A59
<i>Annexe 20 : Reproduction du plan de l'ouvrage et fonctionnalité du filtre-réservoir (mesurée sur terrain)</i>	A61
<i>Annexe 21 : Demande auprès de la Commune : d'Ikongo, d'Antsenavolo, de Manakana Nord et de Tolongoïna pour les enquêtes au niveau des ménages durant l'étude de pérennisation</i> A66	

LISTES DES CARTES

<i>Carte 1: Délimitation de la zone d'étude</i>	<i>22</i>
<i>Carte 2 : Trajectoires des cyclones Giovanna, Bingiza, et de la dépression Boloetse</i>	<i>27</i>
<i>Carte 3: Carte géologique de la Commune d'Ikongo</i>	<i>28</i>
<i>Carte 4 : Carte hydrographique de la Commune d'Ikongo</i>	<i>29</i>
<i>Carte 5 : Vue générale du système d'AEPG d'Ikongo</i>	<i>38</i>
<i>Carte 6 : Carte des points d'analyse P_i de l'eau du système AEP de la Commune.....</i>	<i>47</i>
<i>Carte 7 : Cartes de répartition des enquêtes ménages de la Commune d'Ikongo</i>	<i>58</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Cycle de vie cellulaire d'Escheria Coli</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2 : Equilibre HCLO et ClO⁻ en fonction du pH et de la température</i>	<i>13</i>
<i>Figure 3: Diagramme montrant les éléments de base du système d'AEP de la Commune d'Ikongo</i>	<i>37</i>
<i>Figure 4 : Trèfle du Développement durable</i>	<i>A53</i>

LISTE DES GRAPHS

<i>Graphe 1: Evolution des températures minimale, moyenne et maximale dans la Commune d'Ikongo (Année 2013-2015).....</i>	<i>24</i>
<i>Graphe 2 : Courbe de répartition de précipitation moyenne d'Ikongo (Année 2013-2015)</i>	<i>25</i>
<i>Graphe 3 : Diagramme de Shöeller de la qualité de l'eau au niveau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo</i>	<i>30</i>
<i>Graphe 4 : Diagramme de Piper de la qualité de l'eau du système AEPG de la Commune d'Ikongo</i>	<i>31</i>
<i>Graphe 5 : Courbe de la variation du volume moyen journalier dans le réservoir grâce aux données collectées par le transducteur Rugged TROLL 100 (6 juin 2014-06 septembre 2015) .</i>	<i>43</i>
<i>Graphe 6 : Histogramme de consommation moyenne mensuelle facturée par type de branchement du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo (octobre 2013-avril 2016).....</i>	<i>44</i>
<i>Graphe 7: Consommation mensuelle facturée et ressource disponible du système d'AEP de la Commune d'Ikongo (Année 2013-2016)</i>	<i>45</i>
<i>Graphe 8: Courbe d'essai de demande en chlore.....</i>	<i>57</i>
<i>Graphe 9 : Histogramme de type source utilisée et répartition des satisfactions de l'AEP à travers les ménages de la Commune</i>	<i>59</i>
<i>Graphe 10: Courbe de la précipitation et de l'évapotranspiration (Année 2013-2015)</i>	<i>A9</i>
<i>Graphe 11 : Histogramme de la répartition annuelle de la précipitation pour la Commune d'Ikongo.....</i>	<i>A10</i>
<i>Graphe 12 : Diagramme de Stiff du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo.....</i>	<i>A22</i>
<i>Graphe 13 : Diagramme de Wilcox du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo.....</i>	<i>A23</i>
<i>Graphe 14 : Diagramme de Riverside en pourcentage des ions natrium dans l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo.....</i>	<i>A24</i>
<i>Graphe 15 : Diagramme de Riverside en pouvoir alcalinisant des espèces chimiques de l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo</i>	<i>A25</i>
<i>Graphe 16 : Diagramme de Stabler de l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo .</i>	<i>A26</i>
<i>Graphe 17 : Histogramme de la variation du débit moyen par jour de la demande en eau et de l'alimentation en eau du réservoir.....</i>	<i>A33</i>
<i>Graphe 18 : Comparaison des empreintes écologiques par habitant d'Antananarivo et d'Ikongo</i>	<i>A57</i>

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1 : Tester COM 100 EC/TDS/TEMPERATURE METER</i>	<i>8</i>
<i>Photo 2 : Résultat d'analyse par CBT au niveau du filtre</i>	<i>A37</i>
<i>Photo 3 : Résultat d'analyse par CBT au niveau du captage</i>	<i>A37</i>
<i>Photo 4 : Résultat d'analyse par CBT sur échantillon blanc.....</i>	<i>A37</i>
<i>Photo 5 : Résultat d'analyse par CBT à la borne la plus éloignée (P₅)</i>	<i>A37</i>
<i>Photo 6 : Photomètre pour chlore.....</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 7 : Verre et pipette en plastique.....</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 8 : Strips ou papier test.....</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 9 : Transducteur Rogged Troll 100</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 10 : GPS.....</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 11 : IPod</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 12 : Electrorateur</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 13 : Alcool gel (lave main)</i>	<i>A59</i>
<i>Photo 14 : Sur'Eau.....</i>	<i>A59</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des variables qualitatives et quantitatives du système AEP.....	19
Tableau 2: Températures maximale, moyenne et minimale mensuelles (Année 2013-2015)	23
Tableau 3 : Précipitations maximale, moyenne et minimale mensuelles (Année 2013-2015)...	24
Tableau 4 : Vitesse moyenne du vent de la Commune urbaine d'Ikongo	25
Tableau 5 : Liste des cyclones qui ont touché la Région Vatovavy Fitovinany (Année 2005 – 2015)	26
Tableau 6 : Insolation moyenne annuelle de la Commune d'Ikongo (Année 1961-1990).....	32
Tableau 7 : Caractéristiques générales du BV d'Ikongo	33
Tableau 8: Localisation des Fokontany desservis en eau potable	35
Tableau 9 : Effectifs des élèves dans la Commune d'Ikongo :	35
Tableau 10 : Liste des infrastructures dans la Commune d'Ikongo	36
Tableau 11 : Caractéristiques du filtre à sable du système d'AEFG d'Ikongo	40
Tableau 12 : Répartition des tâches suivant le personnel travaillant au sein du système d'AEFG d'Ikongo.....	40
Tableau 13 : Mode de calcul du débit moyen par les données collectées par le Transducteur Rugged TROLL 100.....	43
Tableau 14 : Avantages justifiant le choix d'analyses in situ	48
Tableau 15 : Résultats d'analyses des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques au niveau de la ressource en eau	50
Tableau 16 : Résultats d'analyses des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques de l'eau au niveau de réseau de distribution et traitement	51
Tableau 17 : Tableau des données pour la Loi de Chick et Watson	52
Tableau 18: Résultats d'essai de demande en chlore au niveau du réservoir de chloration de la Commune d'Ikongo point (P ₄).....	56
Tableau 19 : Résultats de la vulnérabilité du système d'AEFG de la Commune d'Ikongo	60
Tableau 20 : Risques menaçant le système d'AEP de la Commune d'Ikongo	65
Tableau 21: Points forts et points faibles du système d'AEFG de la Commune d'Ikongo	67
Tableau 22 : Précipitation annuelle (2009-2016).....	A9
Tableau 23: Résultats sur l'évapotranspiration et bilan hydrologique calcul automatique Thornthwaite et Turc	A12
Tableau 24 : Quantités des apports de réactifs pour la préparation de la solution hypochlorite	A16
Tableau 25 : Caractéristiques de la pompe Dosatrum D45RE15 et procédé de chloration	A20
Tableau 26 : Fonctionnement de la pompe Dosatrum avec les flux massiques du chlore.....	A20
Tableau 27 : Calcul de la vulnérabilité des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'eau au niveau de la ressource en eau	A28
Tableau 28 : Calcul de la vulnérabilité des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'eau au niveau du traitement et distribution d'eau	A29
Tableau 29 : Résultats de calculs par les données collectées par le transducteur Rogged Troll 100	A32
Tableau 30 : Comparaison d'une empreinte écologique d'un habitant d'Ikongo.....	A54

LISTE DES ABREVIATIONS

AB	: Agence de Bassin.
AEP	: Adduction d'Eau Potable.
ANDEA	: Autorité Nationale de l'Eau et de l'Assainissement.
BD	: Base de Données.
BDEM	: Bureau de Développement EKAR Mananjary.
BP	: Borne Privée.
BS	: Borne Sociale.
BV	: Bassin Versant.
CB	: Comité de Bassin.
CBT	: Compartiment Bag Test.
CE	: Conductivité Electrique.
CEG	: Collège d'Enseignement Général (public).
COP21	: 21 st Conference Of Parties (21 ^e Conférence des Nations unies sur les changements climatiques).
CPE	: Comité du Point d'Eau.
CRS	: Catholic Relief Services.
CSB I	: Centre de Santé de Base niveau I.
CSB II	: Centre de Santé de Base niveau II.
DGRE	: Direction de la Gestion des Ressources en Eau.
DREAH	: Direction Régionale de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène.
EAH	: Eau Assainissement et Hygiène.
EPP	: Ecole Primaire Publique.
ENSOMD	: Enquête Nationale sur le Suivi des indicateurs des Objectifs du Millénaire pour le Développement.
ETP	: Evapotranspiration Potentielle.
FAO	: Food & Agriculture Organization.
FID	: Fond d'Intervention pour le Développement.
Fkt	: Fokontany.
FTM	: Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara.
GPS	: Global Positioning System.
INSTAT	: Institut National de la Statistique.
MEAH	: Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène.
MES	: Matières En Suspension.
NU	: Nations Unies.
ODD	: Objectif de Développement Durable.
OMD	: Objectif du Millénaire pour le Développement.
ONG	: Organisation Non Gouvernementale.
ONN	: Office National de Nutrition.
PCD	: Plan Communal pour le Développement.

PK	: Point Kilométrique.
PPP	: Partenariat Public Privé.
RE	: Rectangle Equivalent.
RANOHP	: Rural Access to New Opportunities for Health and Prosperity.
RN	: Route Nationale.
RNT	: Route Nationale Temporaire.
AEP	: Système d'Adduction d'Eau potable.
AEPG	: Système d'Adduction d'Eau potable gravitaire.
SIG	: Système d'Information Géographique.
SIT	: Sit Indicator Tools.
TDS	: Total Dissolved solids.
UNESCO	: Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund.
USAID	: United States Agency International Development.
V7V	: Vatovavy Fitovinany.
WASH	: Water Assessment Sanitation and Hygiene.

LISTE DES UNITES

Aire	
ha	: hectare.
km²	: kilomètre carré.
m²	: mètre carré.
Autre	
%	: pourcentage.
ppm	: partie par million.
ppb	: partie par billion.
Concentration	
°f	: degré français.
Meq.L⁻¹	: milliéquivalent par litre
mg.L⁻¹	: milligramme par litre.
mg.m⁻³	: milligramme par mètre cube.
mol.L⁻¹	: mole par litre.
Conductivité	
μS.cm⁻¹	: micro Siemens par Centimètre.
Durée	
h	: heure.
min	: minute.
s	: seconde.
Flux	
L.h⁻¹	: litre par heure.
L.s⁻¹	: litre par seconde.
mg.s⁻¹	: milligramme par seconde.
Longueur	
km	: kilomètre.
M	: mètre.
mm	: millimètre.
Masse	
g	: gramme.

Kg : kilogramme.

mg : milligramme.

Pente

m.m⁻¹ : mètre par mètre.

km. m⁻¹ : kilomètre par mètre.

Vitesse

m.s⁻¹ : mètre par seconde.

Volume

L : litre.

m³ : mètre cube.

mL : millilitre.

Unité monétaire

AR : Ariary (unité monétaire Malagasy).

INTRODUCTION

L'accessibilité à un approvisionnement en eau potable de qualité est assez restreinte dans le monde. Un des objectifs du développement durable porte d'une part sur l'accès de tous à l'eau et d'autre part sur une gestion durable des ressources en eau.

Les Enquêtes Nationales concernant le suivi des indicateurs des Objectifs du Millénaire pour le Développement (ENSOMD) menées de septembre 2011 à août 2013¹ ont montré que la proportion de la population ayant accès à une source d'eau potable améliorée a augmenté de 27,7% à Madagascar.

Une fois que les systèmes d'Adduction d'Eau Potable (AEP) ont été mis en place dans diverses Communes malgaches, leur pérennisation est devenue par la suite une nécessité, compte tenu du fait que l'exploitation de ce secteur n'est pas tout à fait accessible au secteur privé.

Ainsi l'université Villanova a fait une recherche concernant la fonctionnalité et la pérennité des systèmes d'AEP dans les zones rurales de Madagascar sous une gestion Partenariat Public-Privé (PPP).

Dans la Commune urbaine d'Ikongo, le premier et le seul Système d'Adduction d'Eau Potable (AEP), sous gestion communale, a été mis en place en 1998 par l'organisation FID. Quatorze (14) bornes fontaines ont été réparties à travers la Commune, sans stérilisation de l'eau avant sa distribution et sans souscription d'abonnés.

Suite à la réhabilitation de l'accès en eau potable améliorée en 2012 dans le cadre du projet RANO HP à Ikongo, une étude portant sur la pérennisation de l'approvisionnement en eau potable a été effectuée dans le cadre du projet FARARANO.

L'objectif de cette étude de vulnérabilité est de déterminer les facteurs à l'origine de la non pérennisation du système d'AEP dans la Commune d'Ikongo.

Ce mémoire comporte trois parties : contexte et justification de l'étude, analyses et résultats des paramètres quantitatifs et qualitatifs du système d'AEP, interprétation des résultats et proposition de recommandations.

¹ ENSOMD 2016 par L'INSTAT en collaboration avec l'ONN

PREMIERE PARTIE : CONTEXTE ET JUSTIFICATION

CHAPITRE 1 : RAPPEL THEORIQUE

Ce Chapitre détaillera les justifications des analyses qualitatives de l'eau et les définitions essentielles à l'étude. Mais avant tout, il faut parler des objectifs du développement durable.

I.1.2 Objectifs du développement durable 2016

A ce propos, en 2015, 193 pays des Nations Unies se sont engagés pour réaliser un nouvel agenda du développement durable. Ce nouvel agenda définit dix-sept objectifs du développement durable concernant principalement l'éradication de la pauvreté, la lutte contre les inégalités, la production et la consommation durable... Ces objectifs se subdivisent en cent soixante-neuf sous objectifs.

Parmi ces dix-sept objectifs, l'Objectif 6 priorise le gage de l'accès en eau et en assainissement pour tout le monde et la gestion durable des ressources en eau².

Le rapport sur les Objectifs du Développement Durable 2016 évoque qu'au total 663 millions de personnes utilisent encore des sources d'eau non améliorées, 2,4 milliards de personnes n'ont pas accès à des installations d'assainissement améliorées et 2 milliards de la population mondiale sont affectés par le stress hydrique³.

Ce constat de fait amène à une définition plus précise de l'Objectif 6. Ce dernier vise à présent des buts qui vont même au-delà du simple approvisionnement en eau potable, de l'assainissement et de l'hygiène. Dans ce concept, il a été aussi souligné que la qualité et la viabilité des ressources en eau sont devenues plus qu'essentielles pour la survie de la population et la survie de la planète. Et à l'horizon 2030, l'eau potable, la ressource en eau, l'assainissement et l'hygiène améliorée joueraient un rôle vital pour réaliser des progrès dans d'autres domaines comme la santé, l'éducation et la réduction de la pauvreté.

D'ailleurs, l'investissement actuel croissant des organismes et acteurs du développement dans le domaine témoigne le souci sur la qualité et la potabilité de l'eau qui est devenu un sujet d'ordre

² Rapport sur les objectifs du développement durable 2016.

³ Stress hydrique : quand la demande en eau est supérieure à la ressource en eau disponible.

mondial. D'autant plus que la gestion durable des ressources en eau pour assurer un approvisionnement durable serait un enjeu majeur pour la génération future [1].

I.1 Définition et nomenclature

I.1.3 Vulnérabilité

D'une manière générale, la vulnérabilité indique une "faiblesse" et représente une potentialité de perte quelle qu'en soit la nature, ou tout au moins un dommage à un bien ou une personne. Etre vulnérable veut dire aussi être dans un état de moindre résistance aux nuisances et aux agressions.

La vulnérabilité s'exprime sur le niveau des conséquences ou dommages prévisibles d'un phénomène d'origine naturelle ou humaine sur un sujet ou un système donné [2].

Ce concept à la définition de la vulnérabilité peut se traduire sous la relation donnée par la formule (f1) suivante :

$$\text{Vul} = R/\text{Cap} \quad (f1)$$

Vul	: Vulnérabilité
R	: Risque ou menace à encourir
Cap	: capacité de réaction pour résister aux chocs négatifs et remonter la pente

Si : $\text{Vul} < 1 \Leftrightarrow$ Le système étudié est exposé à peu de risque, donc moyen vulnérable

$\text{Vul} \geq 1 \Leftrightarrow$ Le système étudié est exposé à des risques

Exploitation de la relation (f1) :

R	: % Nb_{Anorm}
Cap	: % Nb_{Norm}
Nb_{Anorm}	: Nombre des résultats d'analyse des échantillons en dehors de la norme de potabilité.
Nb_{Norm}	: Nombre des résultats d'analyse des échantillons répondants aux normes de potabilité.

I.1.4 Pérenne

Pour un projet d'adduction d'eau potable, un système est pérenne s'il assure la durabilité de la production d'eau potable en qualité et en quantité durant un délai déterminé.

I.1.5 Echantillonnage

Dans le domaine de la statistique, l'échantillonnage est un ensemble des opérations qui met en œuvre une sélection de façon organisée les éléments de l'échantillon.

I.1.6 Enquête

Ensemble des opérations de collecte et de traitement de données relatives à la vie de la population.

I.1.7 Population

C'est l'ensemble de tous les cas répondant à un groupe de caractères spécifiques ou ensemble des éléments auxquels on s'intéresse. Elle est aussi appelée univers ou ensemble statistique.

I.1.8 Types de délégation de gestion

Le maître d'ouvrage doit déléguer l'exploitation des systèmes à des **gestionnaires**, sociétés publiques ou privées, par contrat d'affermage, de concession ou de gérance, ou de toute variante de ces trois contrats (article 2 / décret-cadre 2003/193). Ces contrats sont soumis à l'approbation préalable du régulateur. La gestion des infrastructures d'AEP et Assainissement ne doit être effectuée en régie directe qu'à titre exceptionnelle.

I.1.9 Partenariat public privé (PPP)

C'est un mode de financement contractuel dans lequel les Autorités Publiques font appel à des prestataires privés pour financer un équipement apportant un service public. Le partenaire privé reçoit en contrepartie un autre type de paiement.

I.1.10 Maître d'ouvrage

C'est l'autorité publique responsable vis-à-vis des usagers du service public de l'eau et de l'assainissement, sur une aire géographique donnée. La Commune est le maître d'ouvrage des systèmes d'approvisionnement en eau potable et assainissement collectif des eaux usées

domestiques, situés sur leur territoire respectif. Et c'est par l'intermédiaire du conseil qu'il exerce ces attributions. Toutefois, aussi longtemps que les Communes ne satisferont pas aux critères de capacités définis par décret pour l'exercice de tout ou une partie des responsabilités incombant aux maîtres d'ouvrage, celles-ci seront exercées par le Ministre chargé de l'eau potable jusqu'à leur habilitation⁴.

I.1.11 Source améliorée

C'est une source aménagée et protégée contre toute contamination. Son captage est également bien contrôlé pour veiller à sa qualité d'origine.

I.1.12 Adduction d'Eau Potable Gravitaire AEPPG

C'est un système d'approvisionnement en eau potable captant de sources d'eau de haute altitude avec une conduite d'amenée d'eau brute, une unité de traitement, une conduite d'amenée d'eau traitée, un réservoir de stockage en cas de besoin de distribution (conduite, points d'eau).

I.2 Justification de l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau

Pour une meilleure appréciation de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, chaque paramètre physicochimique et bactériologique de l'eau sera déterminé d'une manière concise.

I.2.1 Critères de l'analyse qualitative de l'eau

Pour une démarche qualité de l'eau potable, il est indispensable de définir les pollutions susceptibles de se manifester et dégrader sa qualité suivant des critères :

Critères organoleptiques : ce sont les caractéristiques palpables et qui sont naturellement détectées par les organes sensitifs comme : la couleur, la turbidité, le goût et l'odeur.

Critères physicochimiques : ils correspondent à des constituants non dissouts et/ou solubles dans l'eau :

⁴ Manuel du comité de point d'eau (CPE) 2013

Soit **naturellement** présents dans l'eau : les sels minéraux (sulfates, chlorures, dureté...), le manganèse, l'ammonium, les fluorures, l'arsenic, les matières organiques (comme les substances humiques responsables de la couleur...)

Soit provoqués par la **pollution humaine** et se présentent sous forme de : micropolluants minéraux (métaux lourds, nitrates...), ou organiques (comme pesticides, phénol, détergents, hydrocarbures...)

Critères biologiques : ils sont dus aux pollutions d'origines fécales et aux micro-organismes dont l'eau est l'habitat naturel (micro algue planctonique ou phytoplancton, micro-invertébrés ou zooplancton, bactéries...)

I.2.2 pH

C'est une grandeur mesurant l'activité chimique des ions hydrogènes dans une solution. En solution aqueuse, ces ions sont présents sous forme d'ions hydronium (H_3O^+). Le pH, potentiel hydrogène ou « pouvoir hydrogène » est l'opposé du logarithme de la concentration des ions H^+ .

Le pH de l'eau indique son état à être acide ou basique. L'acidité de l'eau peut attaquer les conduites métalliques des réseaux de distribution et la rendre fragiles et vulnérables. Il peut être mesuré à l'aide d'un appareil portable appelé pH-mètre ou par d'autres méthodes.

Méthode 1 : la méthode la plus utilisée est la mesure par colorimétrie voir *Annexe 1*.

Cette méthode utilise les bandelettes ou "strip" pour l'analyse de la qualité physico-chimique de l'eau.

I.2.3 TDS

Le Total Solid Dissout ou TDS se réfère aux quantités de toutes les substances dissoutes dans l'eau, comme l'ensemble de toute matière inorganique, les métaux et les sels dissouts. La seule meilleure façon de mesurer le TDS est d'évaporer la solution à analyser et peser ceux qui restent. Donc pour simplifier la mesure in situ du TDS de l'eau, il est nécessaire de l'estimer en mesurant la conductivité électrique de l'eau.

L'appréciation d'une eau douce destinée à la consommation humaine peut se baser par la faible quantité de substance dissoute (TDS) dans l'eau.

Méthode 2 : la valeur du TDS est obtenue par la mesure du solide total dissous par le digital COM-100 EC/TDS/TEMPERATURE METER dont le Protocole d'analyse du TDS est comme suit :

- tremper le détecteur EC digital dans l'échantillon d'eau à analyser
- attendre que la valeur affichée se stabilise sur l'écran de l'appareil
- lire le résultat affiché.

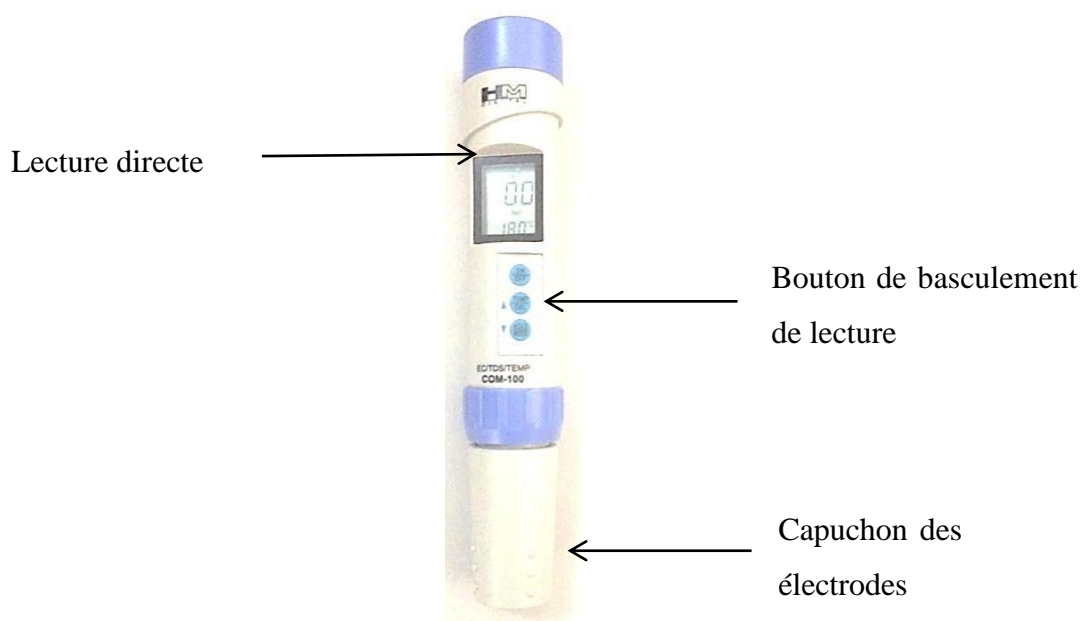


Photo 1 : Tester COM 100 EC/TDS/TEMPERATURE METER

I.2.4 Conductivité électrique :

La conductivité électrique sera notée (EC) dans ce rapport de mémoire se traduit par la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. L'unité de mesure communément utilisé est le Siemens par centimètre ($S.cm^{-1}$) et plus souvent le micro Siemens par centimètre ($\mu S.cm^{-1}$).

L'eau pure est de $0,055 \mu S.cm^{-1}$; l'eau de montagne est de $1,0 \mu S.cm^{-1}$; et l'eau de mer est de $50 \mu S.cm^{-1}$

L'EC peut témoigner la dureté d'une eau, plus l'eau est dure, plus elle possède un pouvoir à entartrer les conduites de distribution entraînant ainsi la diminution du diamètre interne de la conduite. Cette diminution provoquera l'augmentation de la pression hydrostatique dans la

conduite et pourra causer sa brisure. La dureté de l'eau peut aussi dégrader l'efficacité des détergents et les savons durant les tâches ménagères en les empêchant de mousser.

I.2.5 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique est la mesure de la conductance électrique. Cette mesure est basée sur les taux des sels dissouts dans l'eau. Sa valeur informe sur la salinité de l'eau. Elle est généralement caractérisée par deux groupes d'ions tel que:

- Les cations : Calcium (Ca^{2+}); magnésium (Mg^{2+}); Potassium (K^+) et Sodium (Na^+).
- Les anions : Bicarbonates (HCO_3^-) ; Carbonates (CO_3^{2-}) ; Chlorures (Cl^-); Sulfates (SO_4^{2-}) ; Nitrates (NO_3^{2-}) ; Phosphates (PO_4^{2-}).

I.2.6 Formule reliant TDS et EC à 25°C

A 25°C la conductivité électrique et le TDS sont proportionnels avec un facteur de corrélation (K_e). TDS est exprimé en mg.L^{-1} et l'EC en $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

$$\text{TDS} = K_e * \text{EC} \quad (f_2)$$

K_e : Facteur de corrélation 0,55 à 0,8 (nombre sans dimension)

EC : Conductivité électrique

TDS : Total Dissolved solids (matières dissoutes totales)

I.2.7 Dureté

Elle renseigne sur la teneur de l'eau en cation Ca^{2+} et Mg^{2+} et généralement exprimée en degré français (°F). La dureté de l'eau empêche le savon de mousser.

I.2.8 Nitrates et nitrites

Les nitrates (NO_3^-) proviennent naturellement de la décomposition des matières organiques du sol (Humus) par les bactéries aérobies. Le lessivage du sol par la pluie les entraînent ensuite vers les ressources en eau.

Ils résultent aussi de diverses activités agricoles utilisant les engrais ou les fumiers. De même les déchets des latrines et des fosses septiques contribuent aux apports de matières organiques susceptibles de produire des nitrates.

Ces derniers sont réduits en nitrites dans les intestins et empêchent par la suite l'hémoglobine de fixer l'oxygène. Cette infection, connue sous le nom de « méthémoglobinémie », touche surtout les nourrissons de moins de 6 mois.

I.2.9 Sulfates

Il provient principalement du gypse présent dans le sol. Une teneur élevée en sulfates peut produire des effets laxatifs et rendre l'eau corrosive vis-à-vis du béton. (OMS : $\text{SO}_4^{2-} < 250 \text{ mg.L}^{-1}$).

I.2.10 Phosphates

Ils sont absents dans les eaux naturelles et proviennent surtout des activités humaines : pollutions fécales, agricoles ou ménagères (lessives). Ils peuvent provoquer des troubles digestives et surtout déséquilibrer l'environnement en favorisant la prolifération du phytoplancton (eutrophisation).

I.2.11 Ions chlorures

Les ions chlorures Cl^- sont naturellement présents à faible quantité dans l'eau. Ils proviennent surtout des roches sédimentaires dans les environnements marins ou à proximité d'eau de mer. Une teneur élevée peut rendre l'eau agressive vis-à-vis du béton (OMS : $\text{Cl}^- < 250 \text{ mg.L}^{-1}$).

I.2.12 Chlores dissouts

Sa nécessité repose principalement sur sa capacité bactéricide, microbicide et virocide. Cependant le chlore garantit la qualité microbiologique de l'eau potable. Par contre, avec une eau contenant de la matière organique, le chlore peut former des chloramines qui ont une propriété nocive pour la santé. Parmi elles les formes les plus connues sont les chloramines minérales (NH_nCl_n) et les chloramines organiques (R_2NCl et les RNCl_2).

I.2.13 Bactériologies des eaux

L'objectif de l'analyse bactériologique de l'eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de chercher celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soient celles qui sont indicatrices de contamination fécale.

Il y a une variété de germes qui peuvent être prises comme indicateur de pollution fécale tel que :

- Coliformes totaux et fécaux
- *Escherichia Coli*
- Streptocoques fécaux
- Anaérobies sulfito- réducteurs (spores des bactéries anaérobies)

Escherichia Coli sera pris comme objet de l'étude bactériologique dans le présent rapport de mémoire. Cette bactérie correspond à des coliformes thermotolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44°C. Cet indicateur est le plus spécifique d'une contamination fécale.

I.2.14 Escherichia coli

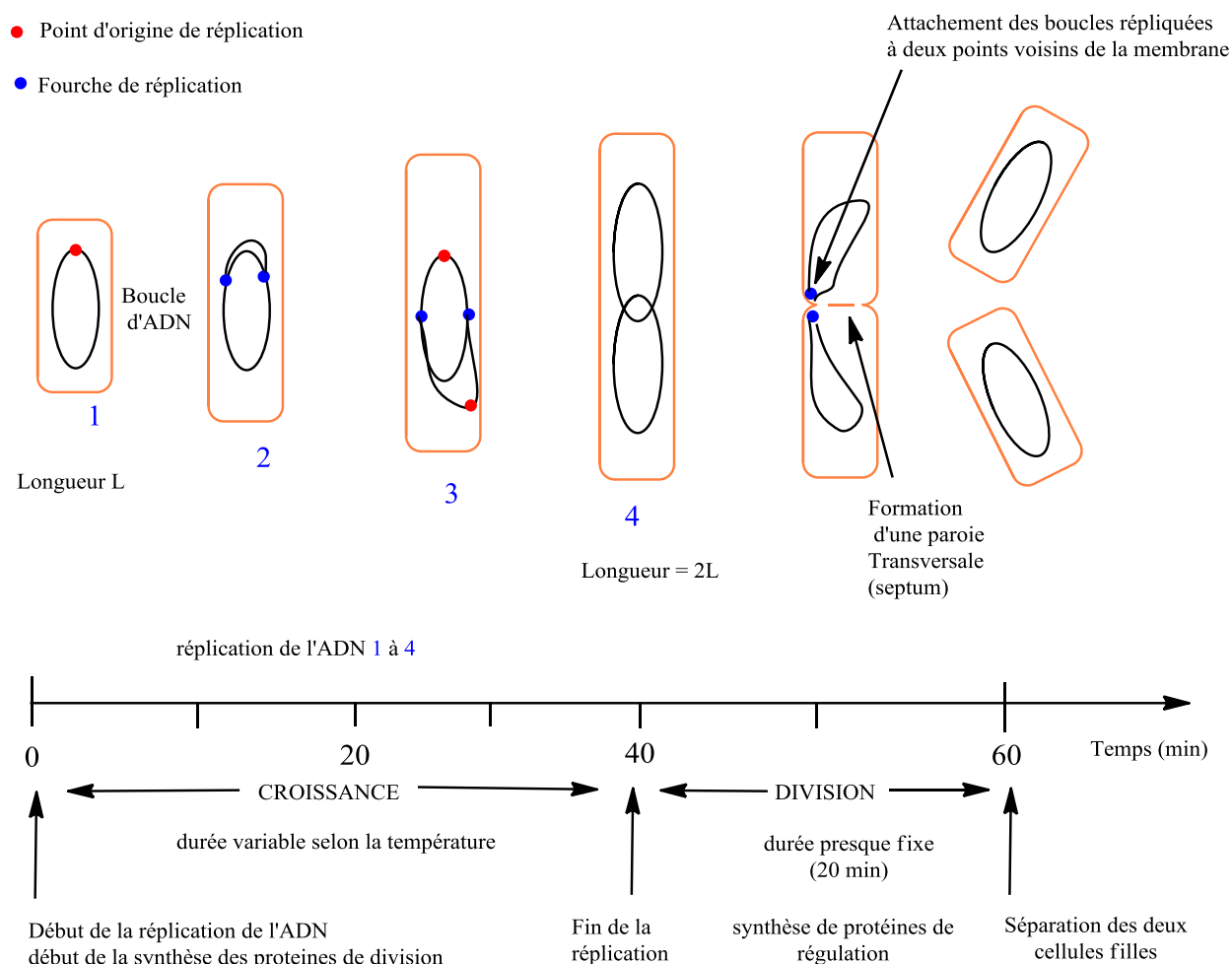
Escherichia coli (*E. Coli*) ou colibacille est une bactérie intestinale présente dans les mammifères. C'est un coliforme fécal généralement commensal. Certaines souches spécialisées d'*E. Coli* sont associées à des pathologies diverses chez les êtres humains comme : la diarrhée, la gastro-entérite, les infections urinaires...

Classification :

Domaine	: Eucaryote
Règne	: Bacteria
Embranchement	: Proteobacteria
Classe	: Gamma Proteobacteria
Ordre	: Enterobacterales
Famille	: Enterobacteriaceae
Genre	: <i>Escherichia</i>
Espèce	: <i>Coli</i>

Le cycle de vie d'*Escherichia coli* dure en moyenne 60 min (**Figure 1**). Elle comprend deux phases : la phase de croissance et la phase divisionnaire. La phase de croissance dure en moyenne 40 min et varie selon la température. Elle comprend la réplication de l'ADN et le début de la synthèse des protéines de division. La phase divisionnaire comprend la synthèse de protéines de régulation, la formation des parois transversales de la cellule fille, et enfin, la séparation des deux cellules filles.

Cycle cellulaire typique d' *Escherichia Coli*



Source : Auteur (année 2017)

Figure 1 : Cycle de vie cellulaire d'*Escheria Coli*

I.2.15 Désinfection de l'eau par chloration

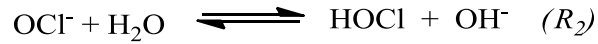
Le chlore gazeux est le réactif le plus utilisé pour tuer les micro-organismes vivants par effet d'oxydation.

La désinfection de l'eau par chloration pourrait être mise en œuvre soit sous forme de chlore gazeux (Cl_2), soit sous forme d'hypochlorite OCl^- (de sodium, ou de calcium)

Quelle que soit la forme commerciale initiale, le chlore se dissout dans l'eau en formant à bas pH de l'acide hypochloreux HOCl :



Dans le cas présent il est de la forme d'hypochlorite :



A partir d'une certaine valeur du pH de l'eau, voisine de 6, HOCl se dissocie lui-même selon la réaction :



Les proportions respectives d'acide hypochloreux (HOCl) et d'ion hypochlorite (OCl^-) sont régies par le pH du milieu. Les formes prédominantes sont HOCl à pH acide et OCl^- à pH basique. En pratique, on peut dire que la proportion d'acide hypochloreux HOCl est de l'ordre de 80% à pH 7 et 50% à pH 7,5 et 25 à 30 % à pH = 8. L'effet germicide de HOCl est très supérieur à celui d' OCl^- (Figure 2).

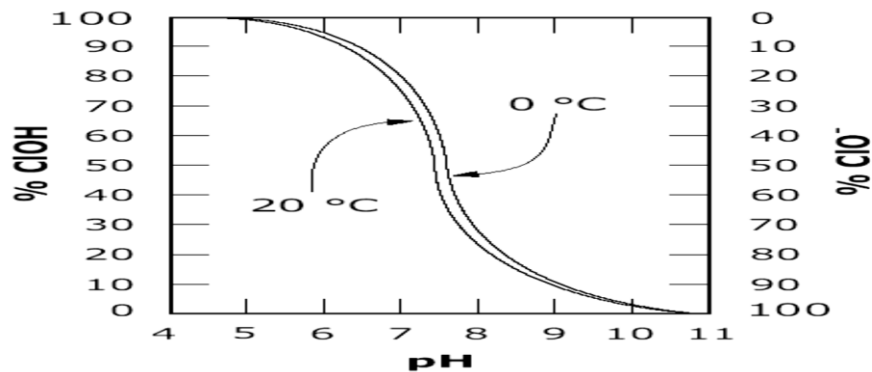


Figure 2 : Equilibre HClO et ClO^- en fonction du pH et de la température

Par convention, le chlore libre résiduel $\text{Cl}_{\text{res,lib}}$ est la somme de : $\text{HOCl} + \text{OCl}^-$

D'où la relation (r_1) suivante :

$$[\text{Cl}]_{\text{res,lib}} = [\text{HOCl}] + [\text{OCl}^-] \quad (r_1)$$

I.2.16 Conditions requises pour une bonne efficacité de la chloration

Pour une bonne condition de chloration, l'eau traitée doit répondre à des certaines qualité physique et chimique à savoir :

- pH : au voisinage de 7 (on ne tiendra pas compte de l'équilibre calco-carbonique de l'eau)
- température : la température minimale admissible 10°C
- l'inactivation sera de 99% la concentration des bactéries, mais les Kystes de protozoaires parasites ne sont pas prises en compte dans cette recommandation.
- la présence de composés facilement oxydables et de matières azotées sera négligée et n'est pas tenue compte dans le calcul.
- la formation d'organo-halogénés ne sera pas prise en compte dans l'étude.
- dans tous les calculs et les résultats, les valeurs adoptées seront basées sur les recommandations de l'OMS et qui sont détaillées dans ***l'Annexe 3, pA29***.
- La concentration du chlore résiduel libre doit être inférieur à 0,5 mg.L⁻¹ $[Cl]_{res,lib} < 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, il ne faudra pas dépasser le 5 mg.L-1 (qui est une dose nocive pour la santé humaine).
- Temps de contact minimum : 30 min
- Turbidité : entre 1NTU et 5NTU (car les solides en suspension peuvent protéger les bactéries contre l'action du chlore. Ainsi les matières organiques dans l'eau pouvant réagir avec le chlore qui conduit à la formation d'organochlorés, réduisent ou même suppriment l'action stérilisante du chlore.

I.2.17 Loi de Chick et Watson :

La loi de Chick et Watson a été conçue pour évaluer l'efficacité d'un désinfectant. Pour le cas de ce travail, elle sera utilisée pour mesurer l'efficacité de la chloration, il faut partir de la loi empirique de Chick et Watson qui se base sur la quantification des microorganismes pour une durée (t) à une concentration C de désinfectant

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (f_3)$$

K : constante de réaction

N : Nombre de bactéries durant le temps d'analyse

Avec $k = \Lambda C^n$ et n = coefficient de dilution

$$\frac{dN}{dt} = -\Lambda C^n N = -\Lambda C^n dt \quad (f_4)$$

Intégration

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t -\Lambda C^n dt$$

Après intégration on a :

$$\text{Log} \frac{N_t}{N_0} = -\Lambda C^n t \quad (f_5)$$

N_0 : nombre de microorganisme à $t=0$

N_t : nombre de microorganisme à t après 30 min de contact

Λ : coefficient spécifique de létalité des bactéries dans l'eau

n : coefficient de dilution (ordre de la réaction)

t : temps de contact (min)

C : Concentration du désinfectant (mg.L^{-1})

CHAPITRE 2 : RAPPORT D'UN CAS DE RECHERCHE DU SYSTEME D'AEP DE LA COMMUNE IKONGO

Dans ce chapitre, il sera objet de développer les généralités sur l'étude ainsi que la présentation générale de la zone d'étude.

II.1 Généralité sur la recherche

II.1.1 Contexte

Des constatations et observations sur terrain ont montré qu'à Madagascar, la gestion via Partenaire Public Privé PPP est beaucoup plus adoptée et mieux pérenne par rapport à la gestion communautaire, comme pour le cas des Communes rurales de Manakana Nord et d'Antsenavolo et la Commune urbaine d'Ikongo durant la descente sur terrain aux mois de mai, juin et juillet 2016. Dans le manuel "comité des points d'eau" 2013, le ministère de l'eau disait aussi «... la majorité des infrastructures des systèmes d'approvisionnement en eau potable est devenue non opérationnelle après quelques années de fonctionnement,... ». Serait-ce la preuve que les bases de leurs fondements sont mal entreprises et présentent des faiblesses ?

II.1.2 Problèmes constatés ou problématiques

L'implantation d'un système d'AEP est souvent confrontée à divers problèmes causés par : la culture, la coutume, l'habitude, la tradition, la pauvreté, la mauvaise gestion, la déficience technique et l'ignorance. Tôt ou tard, ces problèmes vont favoriser la dégradation du système et voire même contribuer à leur arrêt de fonctionnement.

Les questions se posent alors, le système AEP choisi peut-il satisfaire les besoins en eau potable de la Commune tout au long de la période ? Serait-il pérenne ?

De plus, la mesure des paramètres facteurs de la vulnérabilité d'un système d'AEP est-il faisable ? Car de ce dernier va dépendre la justification et l'issue de la présente analyse. Ce qui nous amène à étudier les approches déjà utilisées auparavant.

II.1.3 Approches déjà utilisées auparavant dans le contexte de pérennisation d'un système d'AEP

Des études précédentes ont été déjà faites avec une idée similaire. Parmi celles-ci, il peut être cité celle de Jennifer Sara, Travis Katz et de ses équipes en dans son rapport intitulé : ‘‘Making Rural Water Supply Sustainable’’, au cours de laquelle ils ont abouti à l’hypothèse suivante : « un système d’AEP est d’autant plus pérenne que si les villageois sont d’autant plus réceptifs et sensibles à l’offre ». Leurs études ont été réalisées dans plus de cent Communes de différents pays comme : le Benin, le Honduras, le Pakistan, l’Indonésie et l’Uganda. Ils sont arrivés à des conclusions tirées des analyses statistiques faites au niveau de chaque communauté sous les observations de différentes parties prenantes et acteurs dans le domaine de l’eau. [3]

Ensuite, à Madagascar, Peter Ryan a fait une étude semblable, financée par l’UNICEF en 2016 intitulé : ‘‘Madagascar Wash sector service provision : Bottleneck assessment’’. Ses études reposent sur l’identification des diverses barrières empêchant le système de se développer. Après quoi, il identifie la racine du problème pour planifier les méthodes de s’en débarrasser. Sa méthodologie est basée sur l’analyse des problèmes au niveau des différents secteurs à savoir : financier, institutionnel, environnemental, privé, socio- culturel (la société et culture), incluant la promotion et la mise à l’échelle des services... [4]

II.1.4 Objectif de l’étude (cas de recherche)

L’objectif de l’étude est :

- d’arriver à identifier et mesurer les facteurs susceptibles de rendre un système d’AEP vulnérable.
- Essayer de contribuer aux étapes de pérennisation d’un système d’AEP.

Ces objectifs ont été choisis pour leurs simplicités.

II.1.5 Résultats attendus

Les résultats attendus reposent sur :

- Les valeurs estimatives de la vulnérabilité du système d’Adduction d’Eau Potable Gravitaire (AEPG) d’Ikongo.

- Les recommandations appropriées en vue d'une pérennisation par rapport à la vulnérabilité du système.

II.1.6 Limite de l'étude

Le travail sur terrain a débuté au mois de mai 2016 et s'est terminé au mois de juillet 2016. La recherche comprend une étude technique et une étude socio-économique dans le site en question. L'étude a été réalisée sur plusieurs sites de la Région Vatovavy Fitovinany, dont parmi eux le site du système AEP de la Commune urbaine d'Ikongo, celui qui fera l'objet de ce rapport de mémoire. Des études quantitatives et qualitatives seront effectuées à différent niveau du système :

- au niveau système BV : les activités au niveau du BV ; au point de captage et sa protection.
- au niveau système de traitement et de distribution : à la station de traitement de l'eau et aux points les plus défavorables ;
- au niveau système de gestion : aux services de réparation, les services d'extension et les services client.

II.1.7 Questions à répondre

Deux principales questions se posent :

De quelle manière procède-t-on pour trouver les facteurs de vulnérabilité d'un système d'AEP à Madagascar ?

Quelles sont les meilleures approches pour pérenniser un système d'AEP à Madagascar ?

II.1.8 Hypothèses

Hypothèse 1 : Il serait possible de mesurer la vulnérabilité de la qualité de l'eau au niveau du système d'AEP en se basant sur deux variables que sont la qualité et la quantité de l'eau.

Hypothèse 2 : Il est possible de donner un score à la qualité de l'eau d'un système d'AEPG d'Ikongo grâce au SIT et en se référant sur la définition de la vulnérabilité.

II.1.9 Méthodologie

La méthodologie consiste à l'étude de cinq (05) thématiques qui sont : les informations générales, le cadre institutionnel, la gestion, les parties techniques et environnementales par rapport à la définition de vulnérabilité. Par le biais de l'analyse de l'eau, de l'enquête auprès des ménages et de la discussion sur terrain avec les parties prenantes du secteur de l'eau et de l'assainissement notamment : l'entreprise gestionnaire, la Commune maître d'ouvrage et les usagers de l'eau potable.

Les variables à mesurer sont la qualité et la quantité appliquées aux systèmes AEP aux niveaux des sources, des infrastructures et du service.

Tableau 1: Liste des variables qualitatives et quantitatives du système AEP

Système	Qualité	Quantité
BV (b)	Pourcentage de la zone de pâturage et culture (= Q_{lb1})	Pourcentage de la couverture végétale hors cultures (= Q_{tb1})
	Pourcentage de la concentration des paramètres physico-chimique, organoleptique et bactériologique au niveau du captage hors normes (= Q_{lb2})	Débit d'eau au niveau du captage (= Q_{tb2})
Traitement et distribution (td)	Pourcentage de la concentration du chlore libre, MPN, au niveau des points les plus défavorables hors normes (= Q_{ld1})	Débit d'eau au niveau du point le plus défavorable (= Q_{ld1})
	Pourcentage de la satisfaction du client pour la qualité de l'eau (= Q_{ld2})	
	Pourcentage des bornes bien assainies ou entretenues (= Q_{ld3})	
Gestion (G)	Pourcentage des clients non satisfaits du service (= Q_{lg1})	Nombre de personnel permanent (= Q_{tg1})
	Pourcentage des clients qui ayant fait de réclamation pour une mauvaise gestion (= Q_{lg2})	Durée moyenne pour la réparation des casses (= Q_{tg2})

II.1.10 Sit Indicator Tools (SIT)

Le Sit Indicator, est un outil d'évaluation basé essentiellement sur cinq (05) cadres essentiels : Institutionnel ; financier ; environnement ; gestion et technique.

Le cadre institutionnel s'appuie sur la base à laquelle le système est conçu juridiquement et administrativement, comme, le type de contrat auquel le système est défini.

Le cadre financier s'intéresse surtout sur le budget de la réalisation de l'ensemble du projet, y compris le système en question. Il se préoccupe aussi de la politique, de la stratégie de vente, de la salarisation et des dépenses qu'implique la gestion du système.

Le cadre environnemental oblige l'inspection de la qualité de l'eau au niveau du BV, jusqu'au robinet du client. Il s'applique au respect de la norme de potabilisation, tout en respectant la loi en vigueur pour la préservation de l'environnement.

La gestion concerne les étapes de réception ministérielle. Elle régit la fréquence de l'entretien, le suivi de la qualité et de la coupure de l'eau, et aussi des plaintes concernant la gestion de l'eau.

Enfin, le cadre technique intervient notamment au maintien de la qualité au niveau de la logistique, de la gestion, sur la fréquence de réparation du système et sur le procédé de potabilisation de l'eau.

D'une manière générale, le SIT Indicator Tools est un outil qui permet de visualiser tous les facteurs qui influent sur un ou plusieurs systèmes AEP donnés⁵.

II.2 Présentation générale et spécifique de la commune

Ce paragraphe donne une vue générale sur le contexte physique, climatique et socio-économique de la Commune urbaine d'Ikongo.

II.2.1 Localisation

La Commune d'Ikongo, aussi appelée Fort Carnot est située à 577 km au Sud Est par la voie routière depuis Antananarivo. Pour y arriver il faudra passer par la **RN7** jusqu'à Antsirabe ensuite parcourir la **RN1** jusqu'à Ifanadina. Et enfin passer sur la **RNT14** par une traversée de

⁵ Annexe 10 : SIT (Site Indicator Tools CRS Madagascar)

92km depuis Ifanadina jusqu'à Ikongo. En 2010, la Commune a été classée comme Commune urbaine de deuxième catégorie^[6].

Elle se situe géographiquement suivant les coordonnées :

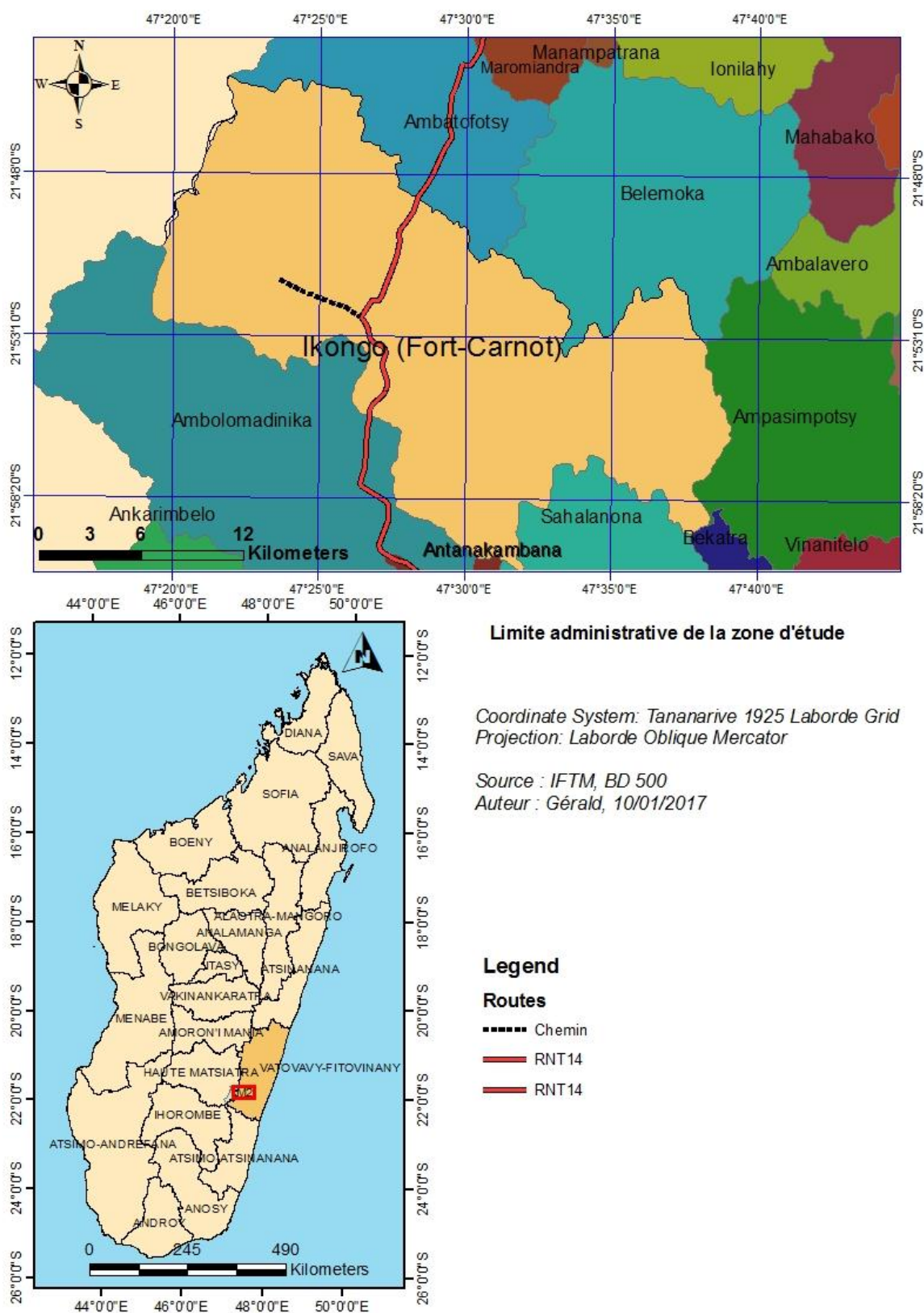
- Latitude : S 21°52'42,67''
- Longitude : E 47°26'09,29''

II.2.2 Délimitation de la zone d'étude

La Commune d'Ikongo s'étend sur une superficie de 618 km² et délimitée administrativement :

- Au Nord : Commune rurale d'Ambatofotsy
- Au Sud : Commune rurale d'Ambolomadinika
- A l'Ouest : Commune rurale de Ambohimahamasina (région haute Matsiatra)
- A l'Est : commune rurale de Ampasimpotsy

⁶Selon l'article premier du décret n° 2015-592, deuxième catégorie est relatif à l'application de l'article 08 de la loi n° 2014-020 du septembre 2014 portant classement des communes.



Carte 1: Délimitation de la zone d'étude

II.3 Contexte climatologique

La région Sud Est de Madagascar a un climat tropical chaud et humide. Si le vent souffle normalement, la précipitation est en moyenne de 1,100mm. La saison chaude et humide est entre novembre et mars ; tandis que la saison sèche et froide commence en avril et se termine au mois d'octobre.

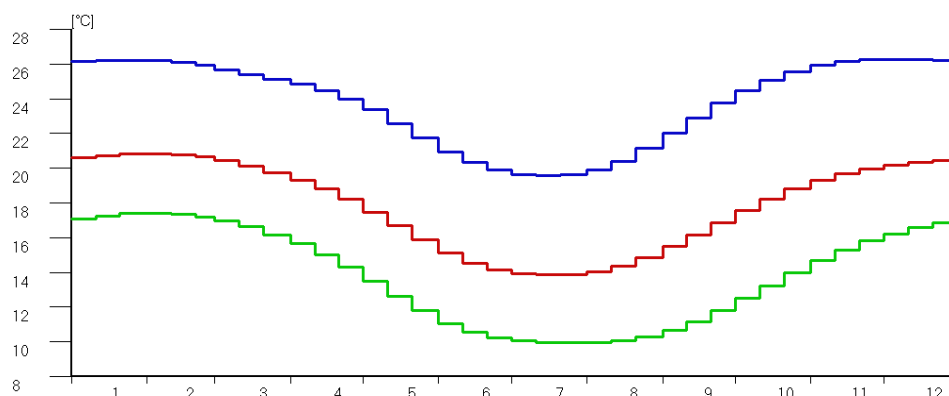
II.3.1 Température

La Commune d'Ikongo possède un climat océanique chaud avec hiver sec (Cwd) selon la classification de Köppen et Geiger dans CLIMATE-DATA.ORG. Sur l'année, la température moyenne est de 22,3°C. Le mois le plus chaud de l'année est le janvier 20,76°C en moyenne et le mois de juillet est le mois le plus froid avec une température moyenne de 13,9°C.

Tableau 2: Températures maximale, moyenne et minimale mensuelles (Année 2013-2015)

Température Moyenne (°C) 2004-2016	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	
	17,24	17,31	16,58	14,99	12,65	10,62	9,99	10,13	13,21	11,82	15,27	16,55	Min
	20,7	20,76	20,1	18,76	16,68	14,61	13,9	14,42	16,17	16,87	19,66	20,31	Moy
	26,2	26,06	25,4	24,66	22,56	20,39	19,61	20,48	22,88	23,7	26,09	26,22	Max
	Source : New_LocClim 1.1												

Dans le graphe 1, les températures sont en axe des ordonnées en (°C) et les mois sont en axe des abscisses. Les trois courbes représentent respectivement l'évolution des températures minimales, moyennes et maximales. Ce graphe a été obtenu par le logiciel New_LocClim 1.1.



Graphie 1: Evolution des températures minimale, moyenne et maximale dans la Commune d'Ikongo (Année 2013-2015)

II.3.2 Précipitation

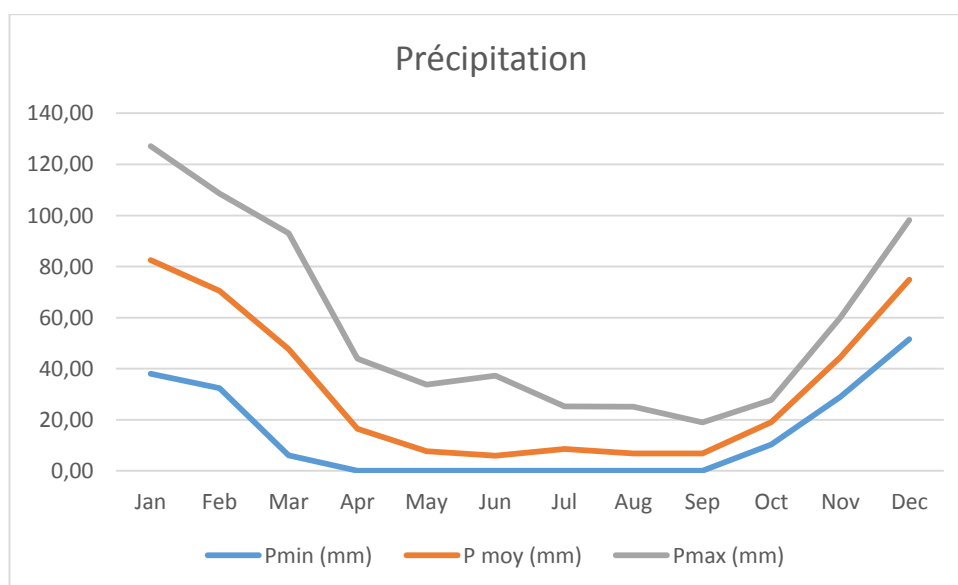
L'avantage de l'exploitation du logiciel New_LocClim 1.1 permet d'obtenir des données climatologiques plus récentes sur les précipitations enregistrées par décadaire pour chaque mois des trois dernières années dans la Commune considérée. Les coordonnées géographiques de la Commune sont nécessaires pour la reconnaissance de la région.

Tableau 3 : Précipitations maximale, moyenne et minimale mensuelles (Année 2013-2015)

	P_{min}	P_{moy}	P_{max}
	(mm)		
Jan	38,02	82,57	127,13
Feb	32,35	70,46	108,56
Mar	6,10	47,66	93,01
Apr	0,00	16,50	43,89
May	0,00	7,69	33,76
Jun	0,00	5,96	37,22
Jul	0,00	8,57	25,26
Aug	0,00	6,83	25,08
Sep	0,00	6,85	18,92
Oct	10,35	19,04	27,72

Nov	28,97	44,51	60,05
Dec	51,53	74,89	98,23
Source : New_LoClim 1.1			

La courbe de variations de ces précipitations est présentée par le graphe ci-dessous.



Graphe 2 : Courbe de répartition de précipitation moyenne d'Ikongo (Année 2013-2015)

II.3.3 Vents

Sur la bordure des falaises orientales à Fianarantsoa, Ihosy et Betroka, la prédominance des vents de l'Est en toute saison est constatée durant toute l'année. La vitesse moyenne annuelle des vents est de $1,05 \text{ m.s}^{-1}$. (**Tableau 4**)

Tableau 4 : Vitesse moyenne du vent de la Commune urbaine d'Ikongo

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
V_v (m.s⁻¹)	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,7	1,1	1,1
Source : Station FIANARANTSOA, INDICATIF : 67137												

II.3.3 Cyclone

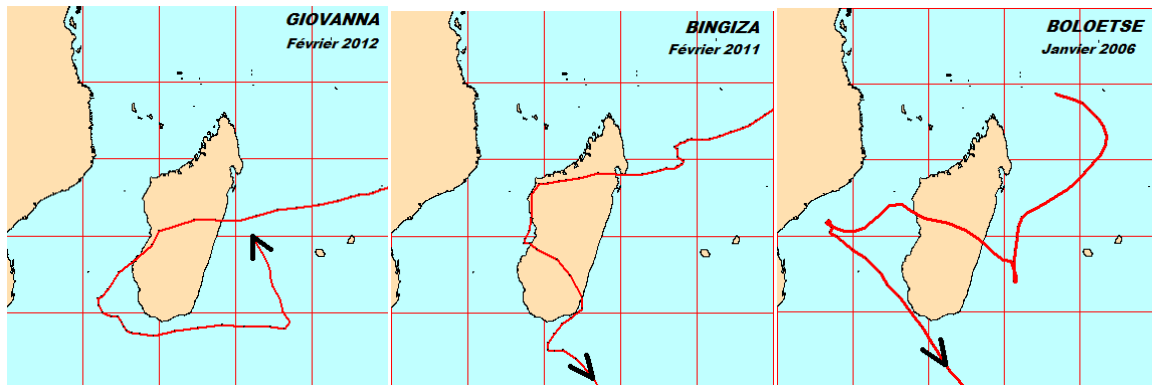
Depuis l'année 2005 jusqu'à l'année 2015, Madagascar a été touché au moins par une dépression tropicale avec une vitesse de vent inférieure à 61 km.h⁻¹. Les cyclones tropicaux ont touché l'île en 2011 et 2012. Au stade de dépression tropicale, cette perturbation climatique serait toujours accompagnée par une précipitation considérable. Le tableau ci-dessous présente la liste des cyclones qui ont frappé Madagascar pendant dix (10) ans depuis (2005 à 2015).

Tableau 5 : Liste des cyclones qui ont touché la Région Vatovavy Fitovinany (Année 2005 – 2015)

Saison	Nom	Période de passage à M/car	Intensité maximale atteint lors du passage	Force du vent moyen correspondant (km.h ⁻¹)
2015	CHEDZA	17/01/2015	Dépression Tropicale	Inf. à 61
2014	-			
2013	HARUNA	23/02/2013	Tempête Tropicale	62 à 117
2012	DANDO	10/01/2012	Dépression Tropicale	Inf. à 61
	GIOVANNA	14/02/2012	Cyclone Tropicale	Sup. à 118
2011	BINGIZA	19/02/2011	Cyclone Tropical	Sup. à 118
2010	FAMI	03/02/2010	Dépression Tropicale	Inf. à 61
	HUBERT	11/03/2010	Dépression Tropicale	Inf. à 61
2009	ERIC	20/01/2009	Tempête Tropicale	62 à 117
	FANELE	21/01/2009	Dépression Tropicale	Inf. à 61
	JADE	07/04/2009	Tempête Tropicale	62 à 117
2008	CELINA	23/12/2007	Dépression Tropicale	Inf. à 61
	FAME	28/01/2008	Dépression Tropicale	Inf. à 61
2007	CLOVIS	03/01/2007	Dépression Tropicale	Inf. à 61
	INDLALA	17/03/2007	Dépression Tropicale	Inf. à 61
2006	BOLOETSE	29/01/2006	Dépression Tropicale	Inf. à 61
2005	FELAPI	30/01/2005	Dépression Tropicale	Inf. à 61

Source : Direction Générale de la Météorologie Ampandrianomby, Direction des Recherches Hydrométéorologiques

Les trajectoires de Giovanna, Bingiza et Boloetse sont présentées sur la carte ci-après.



Source : Direction Générale de la Météorologie Ampandrianomby, Direction des Recherches Hydrométéorologiques

Carte 2 : Trajectoires des cyclones Giovanna, Bingiza, et de la dépression Boloetse

II.4 CADRE PHYSIQUE

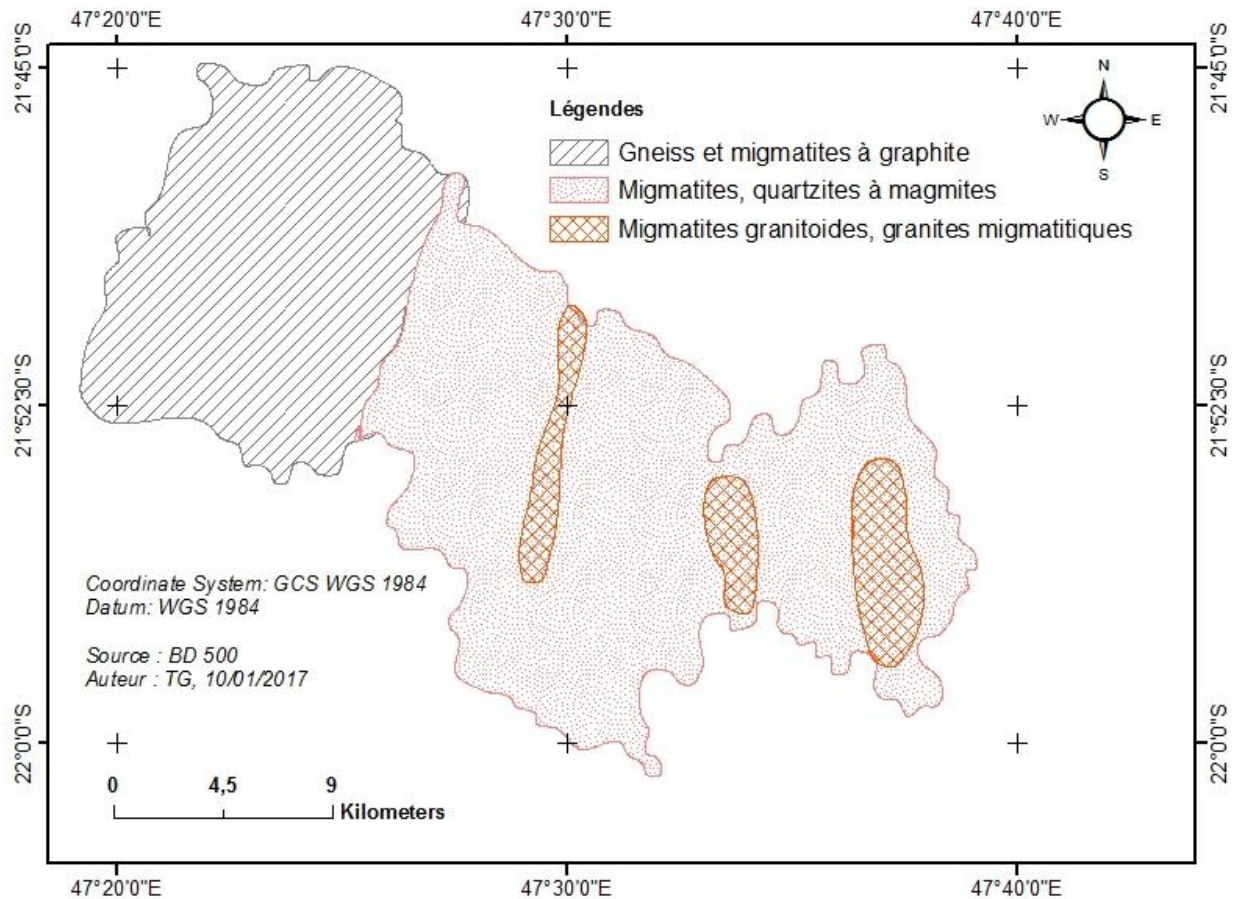
Les paragraphes suivants décrivent d'une façon générale la géomorphologie de la Commune urbaine d'Ikongo, comme le relief, la géologie, l'hydrologie et la caractéristique du BV.

II.4.1 Relief

Le relief de la Commune urbaine d'Ikongo est caractérisé par un pittoresque montagneux à l'Ouest et s'abaisse délicatement avec une pente moyenne vers l'Est. Les montagnes sont en général séparées par des étroites plaines. La montagne qui porte également son nom culmine environ à 1128m.

II.4.2 Géologie :

La Commune se trouve dans une formation du socle cristallin et constitué par le système de graphites. La formation de la géologie générale est constituée par le complexe gneiss micaschiste et graphite, puis granites migmatites.



Carte 3: Carte géologique de la Commune d'Ikongo

Le socle cristallin de Madagascar, âge précambrien protérozoïque du système VOHIBORY s'étend de l'Ouest en Est.

Les micaschistes sont des groupes silico-alumineux, roches foliées moyennement métamorphiques résultant par une recristallisation permanente des roches sédimentaires.

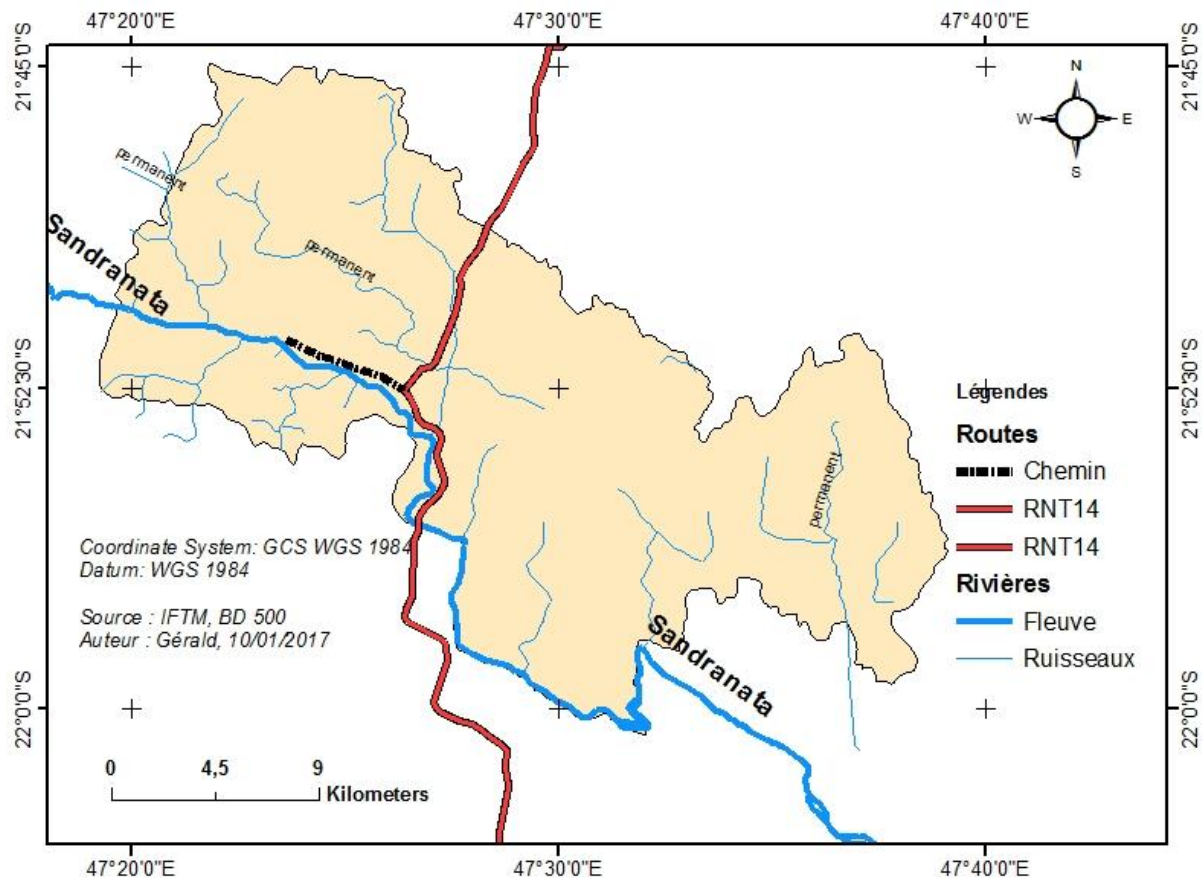
Les graphites proviennent généralement du minerai contenant essentiellement du carbone.

Le gneiss est une roche métamorphique contenant du quartz, du mica, des feldspaths et parfois du feldspath alcalin.

II.4.3 Hydrologie

La plaine est la plupart du temps drainée par des petits ruisseaux qui s'écoulent le long de l'année. Le grand fleuve Sandranata qui traverse la ville de l'Est vers l'Ouest, réunit le fleuve de Matatàna à Vohipeno en aboutissant vers l'Océan Indien. Le bassin de MATITANANA est situé

entre ceux du FARAONY au nord et de la MANAMPATRANA au sud. Ces sous-bassins appartiennent au grand bassin de MANGORO qui s'étend sur une surface de 17 175 km².

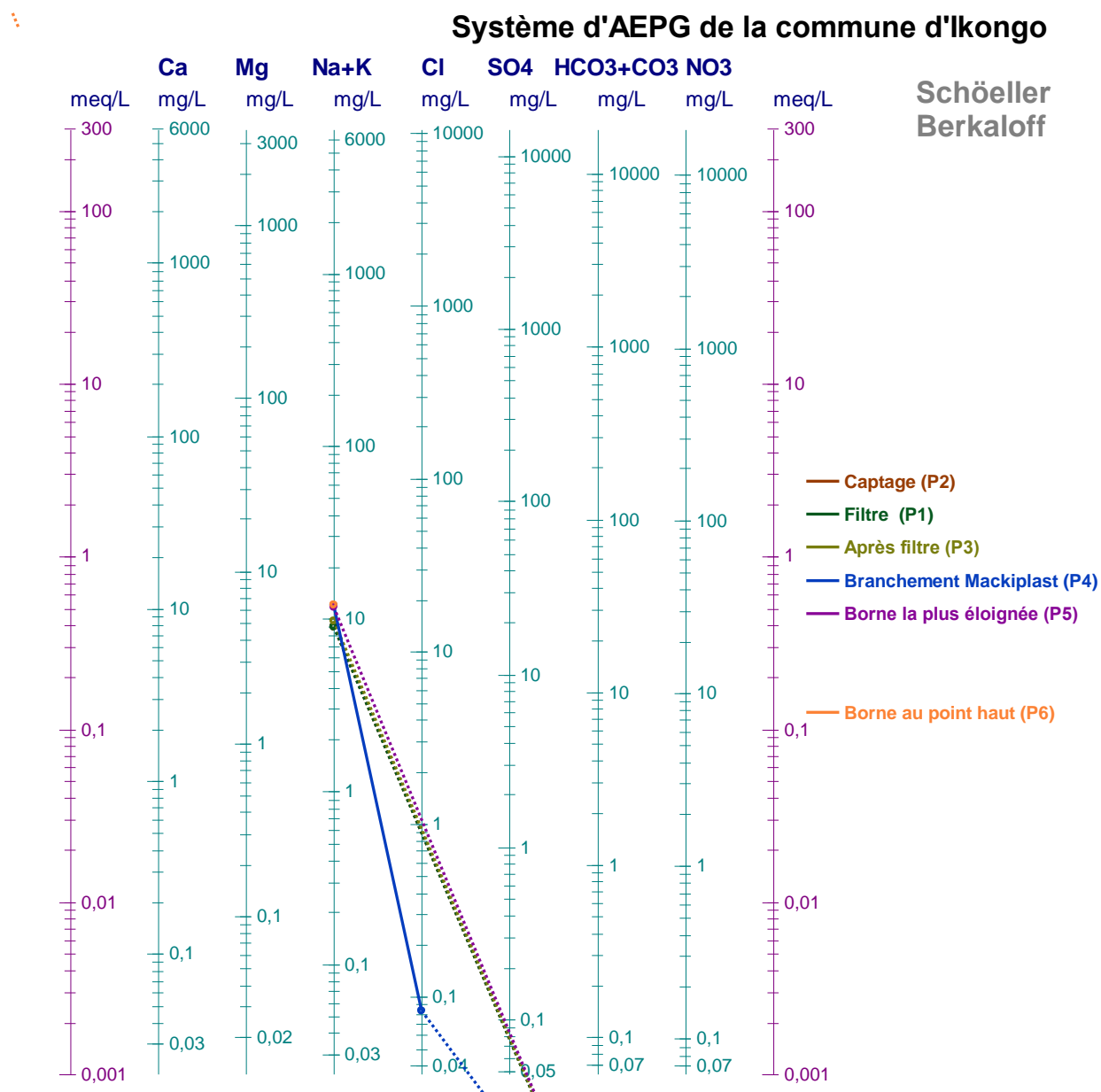


Carte 4 : Carte hydrographique de la Commune d'Ikongo

II.4.4 Hydrochimie

Elle s'intéresse sur les processus chimiques qui affectent la distribution des composés chimiques des eaux. L'étude hydrochimique utilise plusieurs disciplines en chimie, tel que thermodynamique, acides-bases, précipitations-dissolutions, oxydoréductions, interactions entre différents phases. Mais elle utilise aussi la biologie et la géologie. Et dans la présente étude, elle s'applique à la représentation de la qualité de l'eau au niveau de la Commune d'Ikongo.

La conception des diagrammes hydrochimiques ont été faits grâce à l'utilisation du logiciel d'hydrochimie multi langage (DIAGRAMMES version 6.48). Les modes de calcul sont présentées dans l'annexe.



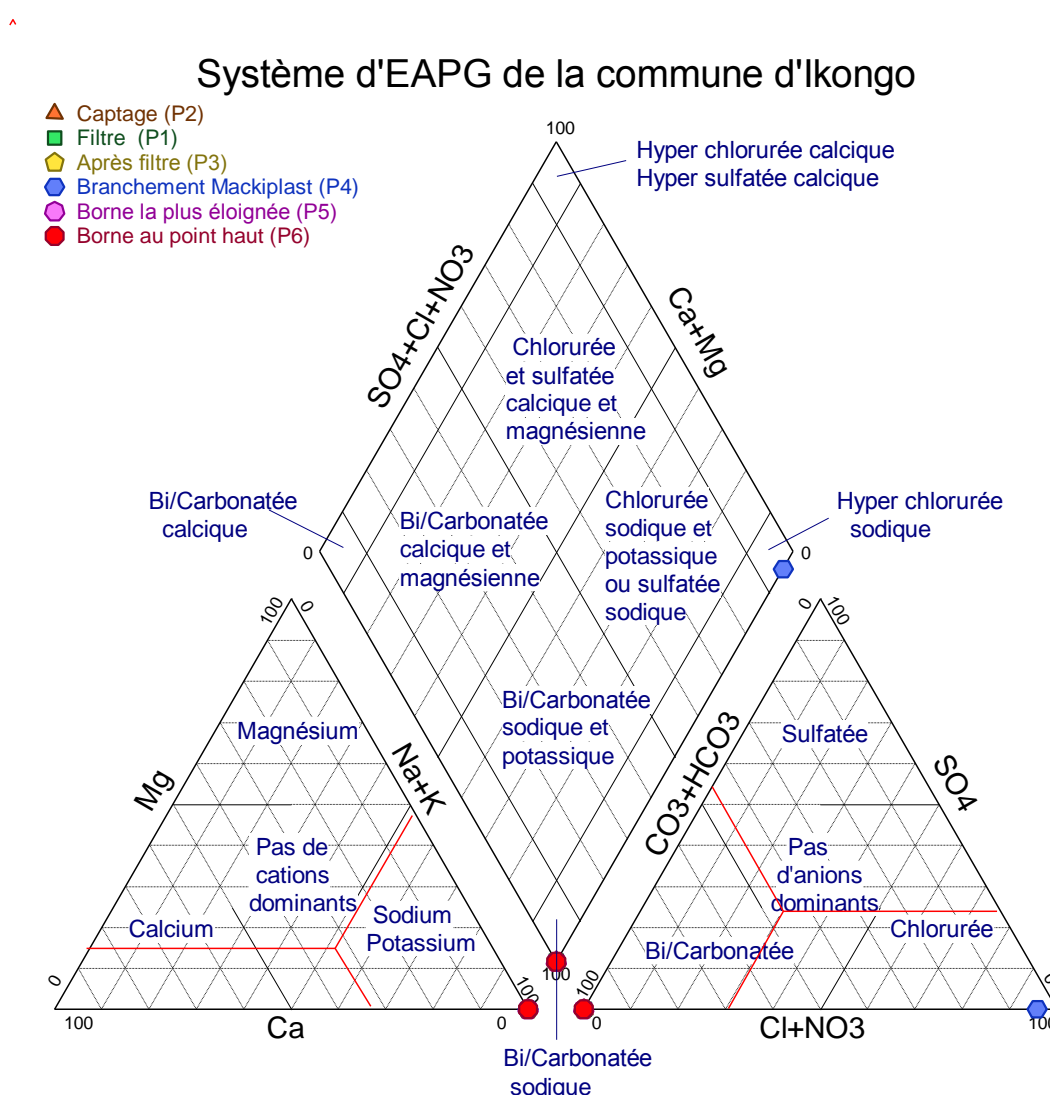
Graphe 3 : Diagramme de Shöeller de la qualité de l'eau au niveau du système d'AEPP de la Commune d'Ikongo

II.4.5 Hydrogéochimie

Au contact des terrains qu'elle rencontre, l'eau se charge en divers éléments. Ce contact va influencer sa qualité. Car la solubilité des minéraux constitutifs des roches ainsi que sa perméabilité joue un rôle important dans la minéralisation de l'eau. Et d'après la majeure partie de la formation géologique de la Commune qui est constituée par gneiss, migmatites et quartzite. Ces éléments sont des roches métamorphiques dont la solubilité est très faible dans l'eau. Cela

entraîne une faible minéralisation de l'eau. Par conséquent, l'eau est pauvre en sel dissous. Le diagramme de Piper est le plus souvent utilisé pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Toutefois, il peut être aussi utilisé pour voir l'évolution d'une eau grâce à des analyses espacées dans le temps.

Et dans ce rapport il a été utilisé pour classifier l'eau du système d'adduction d'eau potable de la Commune d'Ikongo par rapport aux paramètres analysés. Dans ce diagramme, le cation est marquée par la présence des ions sodiums (Na^+) et l'anion par des ions nitrate (NO_3^{2-}).



Graph 4 : Diagramme de Piper de la qualité de l'eau du système AEPP de la Commune d'Ikongo

II.4.6 Insolation

La Commune d'Ikongo est ensoleillée en moyenne de 6,2 h.j⁻¹. Le mois de juillet est le mois le moins ensoleillé de l'année. En mois de septembre et octobre, la Commune reçoit la plus longue durée d'insolation avec un moyen de 7,4 h.j⁻¹. (Voir *tableau 6*)

Tableau 6 : Insolation moyenne annuelle de la Commune d'Ikongo (Année 1961-1990)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
I (h.mois⁻¹)	191,1	171	175,4	184,8	186	165,9	163,5	191,1	220,5	230,4	208	190,1
I (h.j⁻¹)	6,2	6,1	5,7	6,2	6,0	5,5	5,3	6,2	7,4	7,4	6,9	6,1

Source : station FIANARANTSOA, **INDICATIF** : 67137

II.5 Approche bassin versant

Le BV de Sahalanary alimente le système à un point de captage situé à 384m d'altitude au Nord-Ouest de la Commune et s'étend sur une surface d'un quart de km². Un projet de réhabilitation du BV a été mis en place durant le mois de décembre 2011. Des objectifs ont été fixés :

- augmenter l'infiltration et la rétention d'eau du BV ;
- empêcher la contamination (naturelle et humaine) du bassin.

II.5.1 Rectangle équivalent (RE)

Le rectangle équivalent est défini comme étant un rectangle ayant les descriptions suivantes les mêmes que pour le bassin considéré (superficies, coefficient K, répartition hypsométrique et écoulement). Son utilité permet la comparaison des bassins versant entre eux. Ce rectangle est très commode pour calculer la pente du bassin versant.

D'où la relation suivante :

$$Le = \frac{K\sqrt{S}}{1,12} \left(1 + \sqrt{\left(\frac{1,12}{K}\right)^2}\right) \quad (f_6)$$

D'où les éléments essentiels qui caractérisent le rectangle équivalent :

Constante de GRAVELIUS :

- S** : superficie du BV en (km²)
- p** : périmètre du BV en (km)
- Le** : longueur du RE en (km)
- Z_{max}** : altitude max en (m)
- Z_{min}** : altitude min en (m)
- Ip** : indice de pente du BV en (m/m)
- I** : pente moyenne en (m/km)
- Lar** : largeur du RE en (km)
- M** : allongement du bassin (sans dimension)
- K** : constante de GRAVELIUS

La valeur de la surface et du périmètre du BV ont été obtenue grâce à l'utilisation de l'application GoogleEarth et le logiciel ArcGIS 10.1.

Tableau 7 : Caractéristiques générales du BV d'Ikongo

S(km2)	P(km)	Ip (m.m⁻¹)	K	M	Le(km)	L(km)	lar (km)
0,25	2,1	0,33	1,18	1,8	0,69	0,9	0,36

II.5.2 Temps de concentration

Le temps de concentration est défini par le temps mis par une goutte d'eau tombée au point le plus loin du bassin vers l'exutoire.

Il peut être déduit d'une mesure sur terrain ou à l'aide de formules empiriques. Dans le domaine de l'aménagement hydroagricole, la formule empirique de Ventura est la plus couramment utilisée. L'expression du temps de concentration t_c par la formule de VENTURA est :

$$t_c = 0,663 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,77}$$

- S** : Superficie du BV en (km²)
- L** : Longueur du plus long Chemin hydraulique (km)
- Z_{max}** : Altitude max (m)
- Z_{min}** : Altitude min (m)
- I** : Pente du BV (m/m)
- t_c** : Temps de concentration (h)

$t_c = 1,45 \text{ h}$

II.6 CONTEXTE SOCIOECONOMIQUE

II.6.1 Histoire et ethnologie de la Commune

Ikongo vient d'un nom d'une haute montagne d'environ 10km² et qui se trouve à l'ouest de la Commune. A cause de son inaccessibilité, les étrangers ne peuvent y accéder que par l'aide d'un indigène. Selon le dicton : « kongon'omby tsy afaka raha tsy ny tompony » qui signifie seuls les propriétaires des bovins peuvent ôter leurs mouchérons.

L'histoire de l'immigration, selon le folklore, les premiers peuples d'Ikongo sont des Tanala descendants de Rambo qui eux-mêmes liés au Raminia de Vohipeno. Les descendants de Rambo ou Zafirambo sont les Marohala, mais il y avait aussi l'arrivée des Betsileo et les Antemoro.

L'année 2016, l'effectif total de la population est de 4721 pour le Fokontany de Mangarivotra et le Fokontany d'Ambatoharanana.

II.6.2 Fokontany desservies par le système

La Commune est composée de 34 Fokontany mais les zones desservies par le système d'AEPPG sont seulement le Fokontany de Mangarivotra et d'Ambatoharanana (**Tableau 8**). Comme au début, le Fokontany de Voninkazo a été prévu pour être parmi les Fokontany desservis mais finalement cela n'a pas pu être retenu.

Tableau 8: Localisation des Fokontany desservis en eau potable

N°	Fokontany	Localisation
1	Mangarivotra	0 km
2	Ambatoharanana	0 km
15	Vonikazo	2,5 km au Sud

Source : PCD 2008 CU Ikongo

II.6.3 Education :

La Commune d'Ikongo en entier possède un taux de scolarisation de 71,97% dont **17,77%** venant du lieu site de l'étude Ambatoharanana et Mangarivotra. Le taux des lettrés est en moyen 56% dont 35% sont des femmes. La Commune dispose également d'infrastructures pour l'éducation comme L'EPP, le CEG et le lycée.

Tableau 9 : Effectifs des élèves dans dans la Commune d'Ikongo :

Fokontany	EPP	CEG	Lycée	Elèves		Total	Taux de scolarisation
				H	F		
Ambatoharanana	0	1	1	727	512	1239	17,77%
Mangarivotra	1	-	-	390	343	733	
Total	1	1	1	1117	855	1972	
Source : PCD 2008 CU Ikongo							

II.6.4 Infrastructures locales

Les bureaux administratifs et les infrastructures de bases sont installés dans les deux Fokontany Mangarivotra et Ambatoharanana. Seul le monobloc reste non utilisé jusqu'à présent.

L'électricité est assurée par la société JIRAMA, elle alimente la Commune urbaine d'Ikongo de 16h à 21h selon la disponibilité du combustible. L'eau potable est gérée par l'entreprise SERTRANO. Le tableau ci-après présente une liste des infrastructures dans la Commune.

Tableau 10 : Liste des infrastructures dans la Commune d'Ikongo

Infrastructures	Nombre	Caractéristiques
Barrage	02	Fonctionnel mais à réhabiliter
Réseaux téléphonique	2	Orange (3G) et Telma
Eau potable	2/ 34 Fkt	Fonctionnel
Marchés	1	Fonctionnel
Hôpital	1	Fonctionnel
Réseaux routiers	2	Route non revêtue
CSBI	3	Fonctionnel
CSBII	1	Fonctionnel
Monoblocs	1	Fonctionnel mais non utilisé
Palais de la justice	1	Fonctionnel
Chambre de commerce	1	Fonctionnel

Source : PCD 2008 Ikongo, auteur

II.6.5 Maladies liées à l'utilisation de l'eau non propre

Grâce à la mise en place d'une infrastructure d'alimentations en eau potable, la Commune dispose d'une centre hospitalière de référence où les patients du District d'Ikongo peuvent y trouver une gamme de soins adéquat, comme les soins habituels jusqu'à une intervention chirurgicale. D'après les données collectées au niveau de l'hôpital local et du CSB2 les maladies les plus fréquentes sont la diarrhée profuse, le choléra, l'hydrocèle, les bilharzioses et le paludisme. Et malgré le taux élevé de la bilharziose dans le district d'Ikongo, le patient atteint de cette maladie reste peu nombreux selon ces données.

Maladies	Rang
Le paludisme et les typhoïdes	1
La diarrhée profuse	2
L'hydrocèle	3
La bilharziose	4
<i>Source : Hôpital d'Ikongo (mai 2016)</i>	

II.7 SYSTEME D'ADDUCTION D'EAU POTABLE GRAVITAIRE (AEPG) DE LA COMMUNE D'IKONGO

Le système AEPG d'Ikongo est composé par la source d'approvisionnement en eau, le réseau de distribution, le traitement de potabilisation et enfin le système de gestion. Pour le cas de la Commune d'Ikongo, il est illustré par la figure suivante :

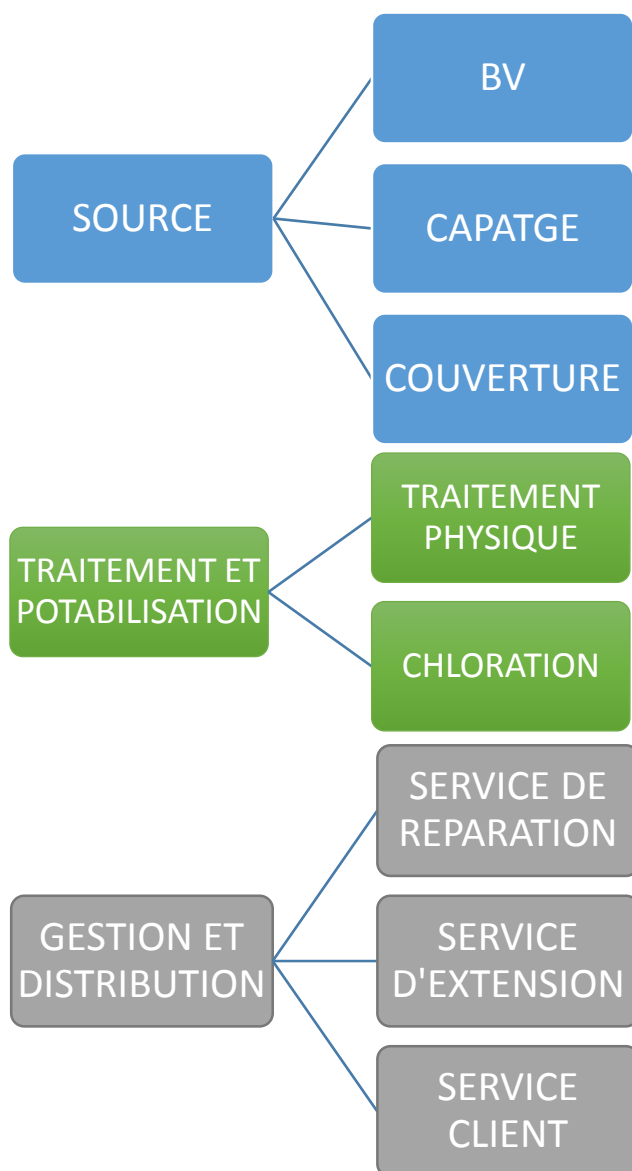


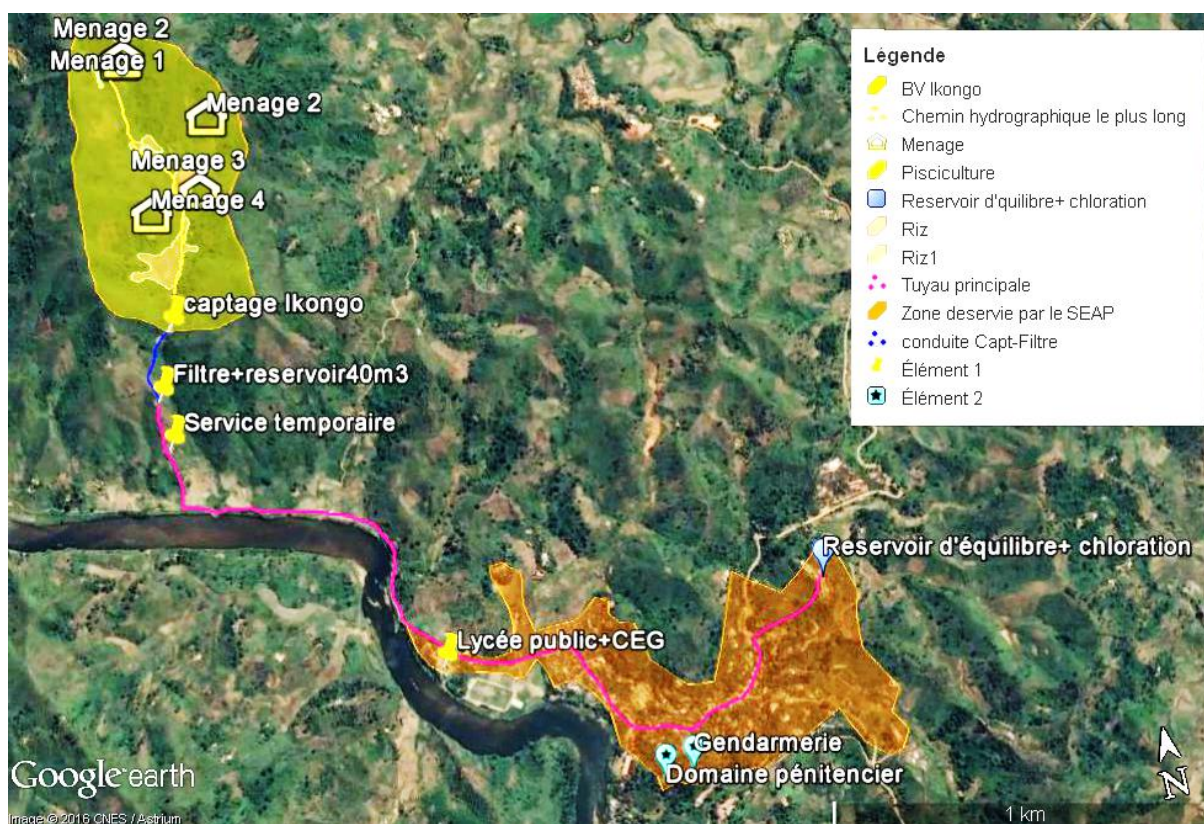
Figure 3: Diagramme montrant les éléments de base du système d'AEP de la Commune d'Ikongo

II.7.1 Source d'approvisionnement d'eau du système

C'est la source d'eau brute par laquelle un système AEP s'alimente en eau brute, cette eau passera ultérieurement aux étapes de traitement avant sa distribution. Dans la présente étude la source est captée au point d'un exutoire d'un bassin versant de Sahalagnary.

Coordonnées géographiques du point de captage :

- 47°25'39.75"E
- 21°52'7.89"S



Carte 5 : Vue générale du système d'AEPP d'Ikongo

II.7.2 Traitement et potabilisation

Dans le cas de la Commune urbaine d'Ikongo, la filière de traitement pour la potabilisation de l'eau comporte un procédé de traitement physique par filtration sur sable et un procédé de désinfection de l'eau.

Le procédé de traitement physique est une filtration sur une couche de sable et de gravier à gradient granulométrique. La filtration sur sable débarrasse les MES dans l'eau brute venant du

point de captage par le biais d'une couche de sable disposé verticalement par rapport à l'écoulement de l'eau.

Après la filtration sur sable, l'eau sera désinfectée par chloration pour lyser les microorganismes pathogènes qui s'y trouvent.

II.7.3 Filtration sur sable

Le filtre est monté par des matériaux de gradient granulométrique avec un coefficient d'uniformité $CU = 0,5$. En appliquant la formule de Darcy :

$$Q = K . F . S$$

Et

$$V_f = K \frac{h}{e}$$

- Q** : Débit d'eau ($m^3.s^{-1}$)
- F** : h/e
- S** : Surface de la couche filtrante (m^2)
- V_f** : Vitesse de filtration ($m.s^{-1}$)
- K** : Coefficient de perméabilité de Darcy ($m.s^{-1}$)
- H** : Perte de charge du filtre (m)
- E** : Epaisseur du filtre (m)
- L** : Largeur de la couche filtrante (m)
- L** : Longueur de la couche filtrante (m)

Tableau 11 : Caractéristiques du filtre à sable du système d'AEPG d'Ikongo

Q (m ³ .s ⁻¹)	6,38
F	0,3
S (m ²)	7,085
V_f (m.s ⁻¹)	0,0011
K (m.s ⁻¹)	3,5.10 ⁻³
h (m)	0,3
e (m)	1
I (m)	2,03
L (m)	3,49

II.7.4 Gestion du système

La gestion du système AEP est assurée par une société privée composée de cinq agents dont deux permanents et trois temporaires.

Ils sont chargés du fonctionnement général du système comme : le service client, le traitement de l'eau et le service de réparation. La liste des tâches pour chaque service varie suivant les personnels. Ci-dessous le tableau de répartition des tâches :

Tableau 12 : Répartition des tâches suivant le personnel travaillant au sein du système d'AEPG d'Ikongo

Services	Tâches	Personnels	
		Permanents	Temporaires
Services Client	Facturation et comptabilisation	X	
	Accueil clientèle	X	
	Sensibilisation et communication	X	X
	Réunion communale et avec la société locale	X	
	Extension et nouveau branchement	X	X
Traitement de l'eau	Potabilisation et traitement de l'eau (lavage du filtre et chloration)	X	X
Service de réparation	Réparation des casses (robinets, tuyaux)	X	X

**DEUXIEME PARTIE : MESURE DES PARAMETRES QUANTITATIFS
ET QUALITATIFS DU SYSTEME D'AEPPG : ANALYSES ET
RESULTATS**

CHAPITRE 3 : ANALYSES ET RESULTATS SUR TERRAIN

III.1 ANALYSES DE LA QUANTITE DE L'EAU

III.1.1 Exploitation des données collectées par le transducteur

Le transducteur *Rugged TROLL 100* (illustration en *Annexe 19*, pA59) est un dispositif qui sert à mesurer et enregistrer la variation de la pression hydraulique P_i (Bar), la température T (°C) et le niveau n_i (m) d'eau moyenne au temps t_i de l'eau d'un réservoir pendant une période de 5 ans maximum. Le détecteur du transducteur va capter et enregistrer la variation du niveau d'eau sur une fréquence réglée de 15min. L'exploitation de la variation du niveau d'eau moyen par jour est calculée sur Excel.

Formules utilisées :

$$n_{i,moy} = \frac{\sum n_i}{N_i}$$

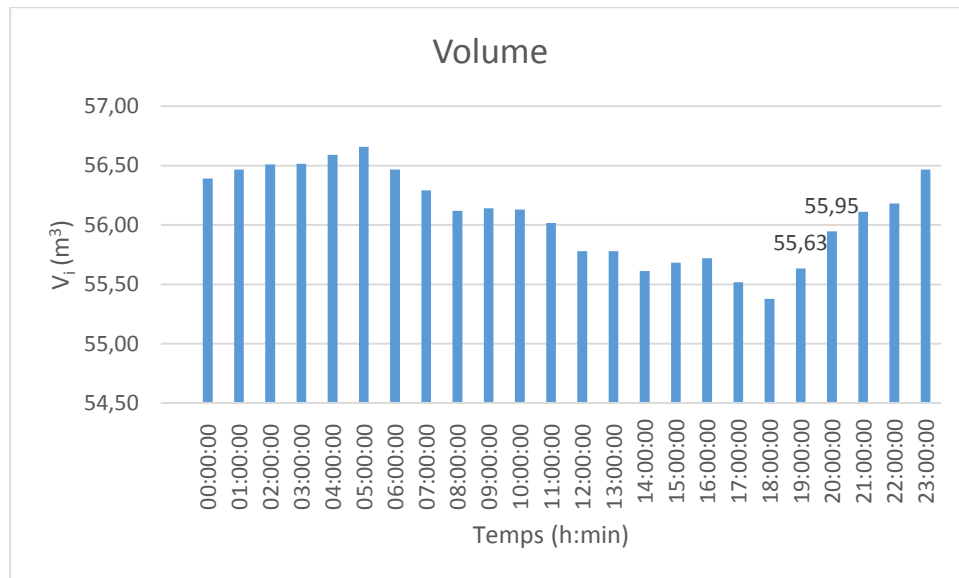
N_i : Nombre du niveau de l'eau au temps t_i
(sans dimension)
 $\sum n_i$: Somme des niveaux de l'eau pour tout
temps t_i (en m)
 $n_{i,moy}$: Niveau d'eau moyen au temps t_i
(en m)

$$S_r = r^2 \cdot \pi$$

r : Rayon du réservoir de stockage d'eau
(en m)
 S_r : Surface du réservoir de stockage d'eau
(en m²)

$$V_{i,moy} = n_{i,moy} \cdot S_r$$

$V_{i,moy}$: Volume moyen d'eau au temps t_i
(en m³)

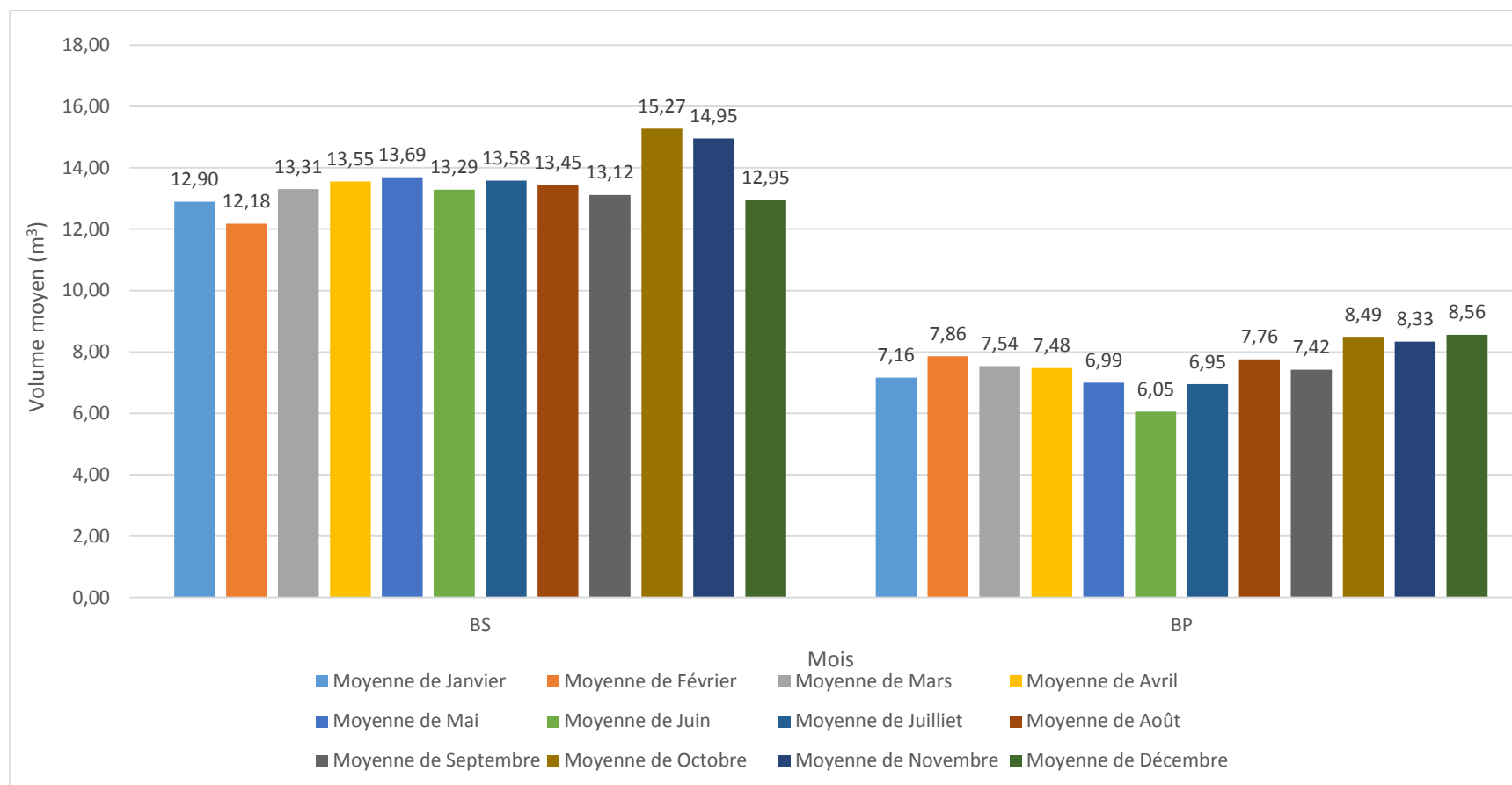


Graph 5 : Courbe de la variation du volume moyen journalier dans le réservoir grâce aux données collectées par le transducteur Rugged TROLL 100 (6 juin 2014-06 septembre 2015)

Le **Graph 5** a été obtenu par le calcul de la moyenne des variations des volumes V_i (m³) au temps t_i (h : min). Le réservoir a une capacité de 90 m³ et une forme cylindrique de rayon $r= 3,1$ m. Le débit de l'alimentation du réservoir est maximum entre 19h et 20h.

Tableau 13 : Mode de calcul du débit moyen par les données collectées par le Transducteur Rugged TROLL 100

Désignations	Notation	Valeurs	Unité
Variation du t	t_i	-	h : min
Intervalle d'enregistrement du transducteur	-	15	min
Débit moyen de l'alimentation du réservoir	$Q_{m,a}$	0,31	m³.h ⁻¹
Volume moyen d'eau dans le réservoir à 19 :00	V_{t19}	55,63	m³
Volume moyen d'eau dans le réservoir à 18 :00	V^{t18}	55,38	m³

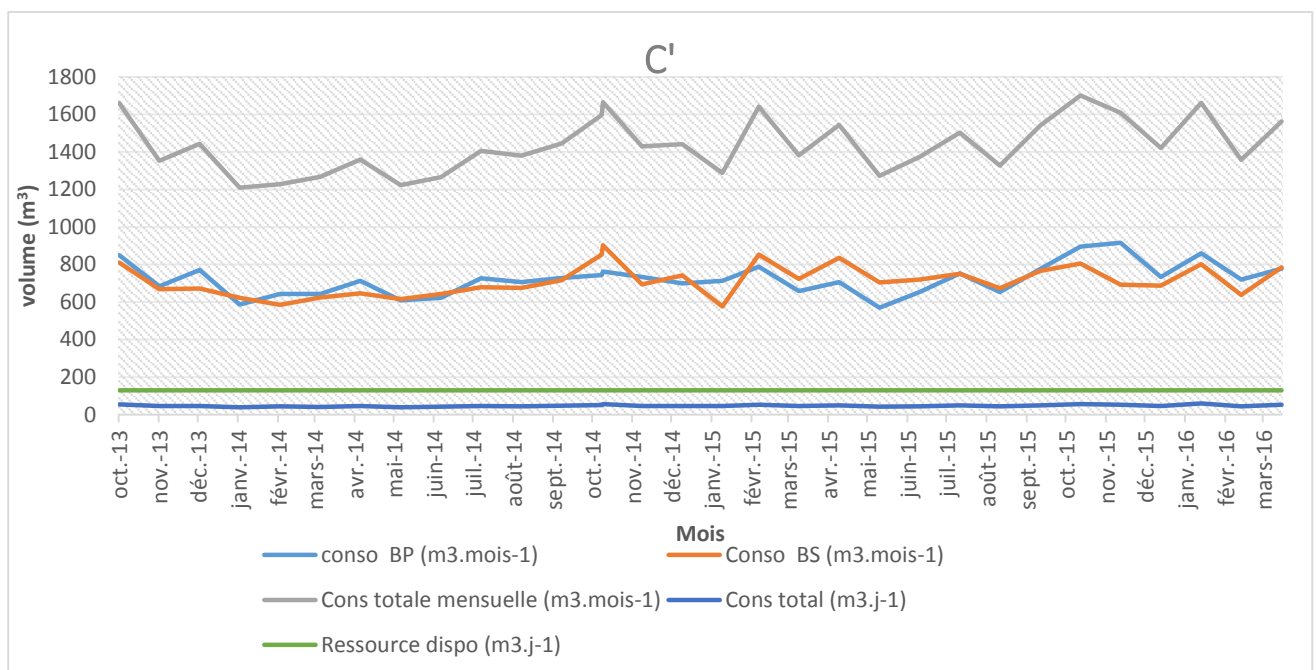


Graphe 6 : Histogramme de consommation moyenne mensuelle facturée par type de branchement du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo (octobre 2013-avril 2016)

Le **Graphe 6** représente la consommation d'eau mensuelle suivant le branchement privé et le branchement social. Le mois d'août indique la consommation la plus élevée de l'année pour les deux types de branchement, $15,27\text{m}^3.\text{mois}^{-1}$ en moyenne au niveau des bornes sociales et $8,56\text{m}^3.\text{mois}^{-1}$ au niveau des bornes privées. Cette courbe a été obtenue La consommation la plus basse est observée en mois de juin pour les bornes privées et le mois de février pour les bornes sociales.

III.1.2 Consommation de l'eau

La consommation annuelle depuis l'année 2013 jusqu'à l'année 2016 a été extraite des bases de données nécessaires pour l'étude du rendement du système AEP de la Commune. Les données de consommation mensuelle par chaque type de branchement sont représentées dans le **Graphe 7** ci-après.



Graphe 7: Consommation mensuelle facturée et ressource disponible du système d'AEP de la Commune d'Ikongo (Année 2013-2016)

D'octobre 2013 à février 2016, le graphe montre une augmentation de la consommation des branchements privés et une légère régression de la consommation des branchements sociaux : on peut expliquer ce fait par l'incapacité de ces derniers à payer l'eau. La consommation totale

présente une légère hausse de 13,44 %. La ressource disponible exploitable est de $130 \text{ m}^3.\text{j}^{-1}$. La demande moyenne actuelle est de $47,33 \text{ m}^3.\text{j}^{-1}$ et représente le tiers de la ressource disponible.

III.2 ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU

Les analyses des paramètres qualitatifs de l'eau ont été faites au niveau du système AEPG de la Commune d'Ikongo. Les résultats sont présentés dans le **Tableau 15** et **Tableau 16**. 'P_i' représentent le point de prélèvement de l'eau à analyser. 'ND' indique que les résultats obtenus ne sont pas définis dans la gamme de résultats. Et les '-' signifie qu'il n'y avait pas eu d'analyse effectuée.

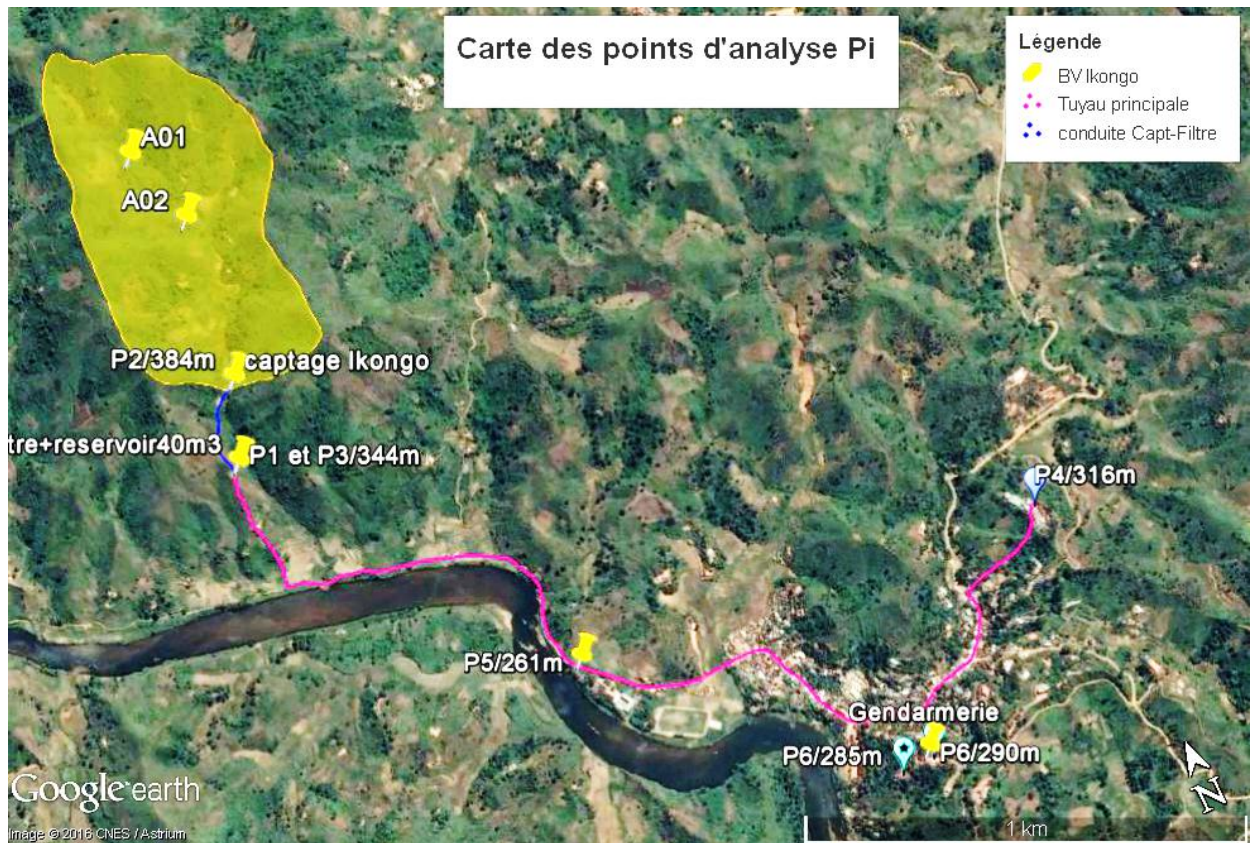
III.2.1 Procédé d'analyse de l'eau

La mesure de la qualité de l'eau a été faite de l'amont vers l'aval du système d'Adduction d'Eau Potable Gravitaire, depuis la source vers les points les plus défavorables.

Il est défini ici par points défavorables, les points d'eau du système où il est plus probable de rencontrer une anomalie sur la qualité et la quantité de l'eau. Ceci porte référence à la borne la plus éloignée suivant le long du réseau point (P₅) et la borne située au point le plus haut suivant la hauteur du réseau point (P₆).

Le point culminant du réseau de distribution est le point P₆ avec une altitude de 290 m.

Le point le plus éloigné du bassin de chloration est désigné par le point P₅, son altitude est de 261m. Par hypothèse, si le chlore résiduel arrive au point P₆ avec une valeur moyenne de chlore résiduel comprise entre $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ donc il est supposé que le chlore résiduel $[\text{Cl}]_{\text{res}}$ sera $0,2 \text{ mg.L}^{-1} \leq [\text{Cl}]_{\text{res}}$ dans tout le réseau du système.



Carte 6 : Carte des points d'analyse P_i de l'eau du système AEP de la Commune

III.2.2 Echantillonnage et prélèvement d'eau

Pour l'analyse des eaux in situ, la première étape à faire consiste en l'organisation de l'espace de travail : choisir un espace bien aéré et bien dégagé pour garantir la sécurité des matériels d'analyse et pour ne pas gêner la manipulation. La deuxième étape est consacrée au procédé de prélèvement : il faut savoir définir les points d'échantillonnage pour mieux représenter la qualité de l'eau à étudier.

Les verres organiques ou en plastique ont été utilisées durant l'analyse sur terrain. Ces matériels offrent une facilité de transport et plus pratique lors des différentes manipulations in-situ.

Tableau 14 : Avantages justifiant le choix d'analyses in situ

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> - Les erreurs de prélèvement peuvent être corrigées dans l'immédiat - Une possibilité d'améliorer la prise d'essai et l'échantillonnage - La condition d'analyse correspond au temps réel de l'échantillonnage - Les résultats d'analyse sont immédiats 	<ul style="list-style-type: none"> - Les conditions d'analyses parfois difficiles à atteindre influent sur les résultats du test (ex : épuisement des matériels de lavage) - Les limites de détection sont considérables

III.2.3 Analyse physico-chimiques de l'eau

Les paramètres organoleptiques de l'eau ont été déduit par les facultés sensibles et après comparaison avec l'échantillon de référence P₀ (Eau vive). Pour obtenir des valeurs précises il vaut mieux utiliser des matériels comme le turbidimètre et colorimètre. La mesure de la turbidité au niveau du bassin filtrante a été faite à l'aide d'un disque de Secchi bricolé.

L'analyse du chlore a été effectué à l'aide de deux matériels différents : le "Strip" ou papier test et le "Checker" ou photomètre. Chaque matériel a donné des résultats différents. Il a été constaté que le photomètre offre beaucoup plus de sensibilité et donne des résultats plus précis sur l'appréciation de la concentration du Chlores libres et chlores totaux.

La quantification des *E. coli* se fait par l'utilisation des méthodes adoptées selon le protocole du Compartment Bag Test (CBT) illustré en *Annexe 12, pA34*.

Listes de points de prélèvement P_i

- P₀** : Echantillon de référence
- P₁** : Point de Filtre
- P₂** : Captage
- P₃** : Après filtre
- P₄** : Branchement directement depuis le Makiplast 5m³ (réservoir de chloration)
- P₅** : Borne la plus éloignée par rapport au réservoir de chloration
- P₆** : Point haut dans le village

Autres abréviations sont utilisés dans le *tableau 15* et *16*, telles que :

- C** : Claire
- abs** : Absente
- LT** : Légèrement trouble
- NPP** : Nombre le plus probable de bactéries
- IC** : Intervalle de confiance à 95%

Tableau 15 : Résultats d'analyses des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques au niveau de la ressource en eau

	Unités	Ressource en eau					
Pi		P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	Norme malagasy	Norme OMS
Date de prélèvement		19/05	21/05	21/05	26/05		
Heure de prélèvement	h : min	09:50	10:43	11:47	11:50		
Paramètres organoleptiques							
Odeur		abs	abs	abs	abs	abs	abs
Couleur		abs	abs	abs	abs	abs	abs
Aspect		C	LT	C	C	C	C
Paramètres physico-chimiques							
Turbidité	NTU	<5	±5	<5	<5	≤5	<1
T	°C	22,5	22,9	21,3	-	25	
pH		7	7	7	-	6,5-9	6,5-8,5
Alcalinité	mg.L ⁻¹	0	0	0	-		
EC	µS.cm ⁻¹	19,80	19,80	25,30	-	<3000	<1400
TDS	mg.L ⁻¹	13,37	13,37	17,08	-		<1000
TH	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	-	<500	
Métaux Lourds	mg.L ⁻¹	<10	<10	<10	-		
NaCl	mg.L ⁻¹	9,00	9,00	9,70	-		
NO ₃ ⁻	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	-	<50	50
NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	-	<0,1	
F ²⁺	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	-		0,3
[Cl] _{tot}	mg.L ⁻¹	-	-	-	-		5
[Cl] _{re,lib}	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	<2	≤0,2
Paramètres microbiologiques							
[E. Coli] _{min}	NPP/100mL	13,60	13,60	-	0		
[E. Coli] _{max}	IC/100mL	83,06	83,06	-	2,87	0	

Tableau 16 : Résultats d'analyses des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques de l'eau au niveau de réseau de distribution et traitement

	Unités	Réseau de distribution et traitement									
Pi		P ₄					P ₅		P ₆	NM	Noms
Date de prélèvement		23/05	27/05	28/05	28/05	28/05	26/05	26/05	26/05		
Heure de prélèvement	h : min	17:53	09:00	07:43	07:54	08:22	11:41	09:35	15:30		
Paramètres organoleptiques											
Odeur		abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs
Couleur		abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs
Aspect		C	C	C	C	C	C	C	C	C	L
Paramètres physico-chimiques											
Turbidité	NTU	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	≤5	<5	<1
T	°C	21	23,9	23	-	-	24	22,5	25		-
pH		7	7	7	7	7	7	7	6,5-9	6,5-8,5	7
Alcalinité	mg.L ⁻¹	0	0	-	-	-	0	0	0		
EC	μS.cm ⁻¹	24,50	26,30	26,70	-	-	26,50	26,10	<3000	<1400	27,50
TDS	mg.L ⁻¹	16,54	17,75	-	-	-	17,89	14,24	0	<1000	18,56
TH	mg.L ⁻¹	0	20	20	-	-	20	0	<500		
Metaux Lourds	mg.L ⁻¹	<10	<10	-	-	-	<10	<10	0		
NaCl	mg.L ⁻¹	9,00	12,1	-	-	-	11,9	11,8	0		12,80
NO ₃ ⁻	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	-	-	0	0	50	<50	
NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	-	-	0	0	<0,1		
F ²⁺	mg.L ⁻¹	0	0,02	-	-	-	0,02	0	0	0,3	
[Cl]t _{ot}	mg.L ⁻¹	0,02	0,04	0,17	0,21	0,25	0	0	0	5	0,01
[Cl] _{re,lib}	mg.L ⁻¹	-	0	0,10	0,18	0,07	0	0	<2	<2	≤0,2
Paramètres microbiologiques											
[E. Coli] _{min}	NPP/100mL	-	-	-	-	-	13,60	-	-		
[E. Coli] _{max}	IC/100mL	-	-	-	-	-	83,06	-	-	0	

III.3 EFFICACITE DE LA CHLORATION

L'étude de l'efficacité de la chloration conduit à l'application de la loi empirique de Chick et Watson définie dans le chapitre précédent *p 14*. Le nombre de bactéries initiales N_0 a été obtenu par l'analyse bactériologique de l'eau brute en utilisant le CBT comme matériel de mesure. Le nombre de bactéries N_t sert à mesurer l'efficacité du désinfectant qui se base sur la quantification déterminée par le critère CT. Elle

$$\text{Log} \frac{N_t}{N_0} = -\Lambda C^n t$$

Tableau 17 : Tableau des données pour la Loi de Chick et Watson

$N_t = \text{MNP}$ /100ml	83,06
N_0	9435,10
$\text{Log}(N_t/N_0)$	-2,06
$C \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$	1,74
n	1
$t(\text{min})$	30
Λ	20

- N_0 : nombre de microorganismes à $t=0$
 N_t : nombre de microorganismes à t quelconque
 Λ : coefficient spécifique de létalité des *E. coli* dans l'eau
 n : coefficient de dilution (ordre de la réaction)
 t : temps de contact (min)
 C : concentration du désinfectant (mg.L^{-1})

Critère CT

Une désinfection est considérée efficace lorsqu'un résiduel d'oxydant (C) est maintenu pendant une durée (T) sur l'eau à traiter. Ce qui conduit à la notion du critère CT ($\text{mg.l}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

La valeur ci-dessous a été calculée à partir de la donnée du CBT. Pour améliorer la fiabilité du résultat, il serait préférable d'effectuer une analyse au laboratoire.

CT (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)	0,27
---	------

III.3.2 Détermination de la demande en chlore

La dose d'hypochlorite de sodium nécessaire pour avoir une désinfection suffisante est déterminée par la méthode au « Break Point ». Cette méthode est beaucoup plus adoptée car elle tient compte surtout de la concentration du chlore résiduel $[Cl]_{res,lib}$ de l'eau traitée. Le $[Cl]_{res,lib}$ joue le rôle d'indicateur d'assurance pour la potabilité bactériologique au niveau des branchements.

Principe

La méthode consiste à ajouter à un même volume d'eau des doses croissantes d'hypochlorites. Le taux de chlore résiduel mesuré au bout d'un temps (t) en fonction de la concentration ajoutée passe par un minimum appelé Break Point avant d'augmenter régulièrement.

Le taux de chlore optimal sera légèrement supérieur à ceux de taux minimal.

Réactifs

- solution d'hypochlorite de Sodium produite par l'électrochlorateur 16,27g.L⁻¹
- bandelette imbibée de réactifs pour chlore
- pastille réactif du chlore
- eau brute du captage 100ml pour chaque analyse

Matériels

- 8 récipients (verre organique de 100mL ou 250mL)
- 8 Pipettes de 1mL
- papier teste (strips)
- photomètre pour chlore (Checker)
- 4 verres organiques de 30mL

Mode opératoire

100mL d'eau
brute



S°1

100mL d'eau
brute + 0,40mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



S°2

100mL d'eau
brute + 0,60mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



S°3

100mL d'eau
brute + 0,85mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



S°4

100mL d'eau
brute + 1,00mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



S°5

100mL d'eau
brute + 1,20mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



S°6

100mL d'eau
brute + 1,40mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹



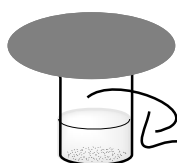
S°7

100mL d'eau
brute + 1,60mL
de solution
d'hypochlorite
0,20mg.L⁻¹

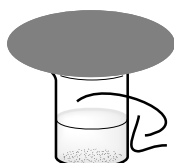


S°8

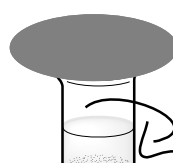
Agiter les solutions S°1,...S°8 pendant 15secondes,
puis couvrir d'un carton sur l'ouverture et les laisser
pour un temps de contact pendant 30min



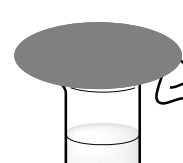
S°1



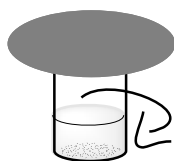
S°2



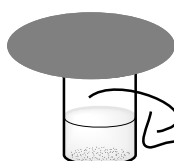
S°3



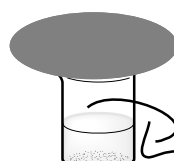
S°4



S°5



S°6



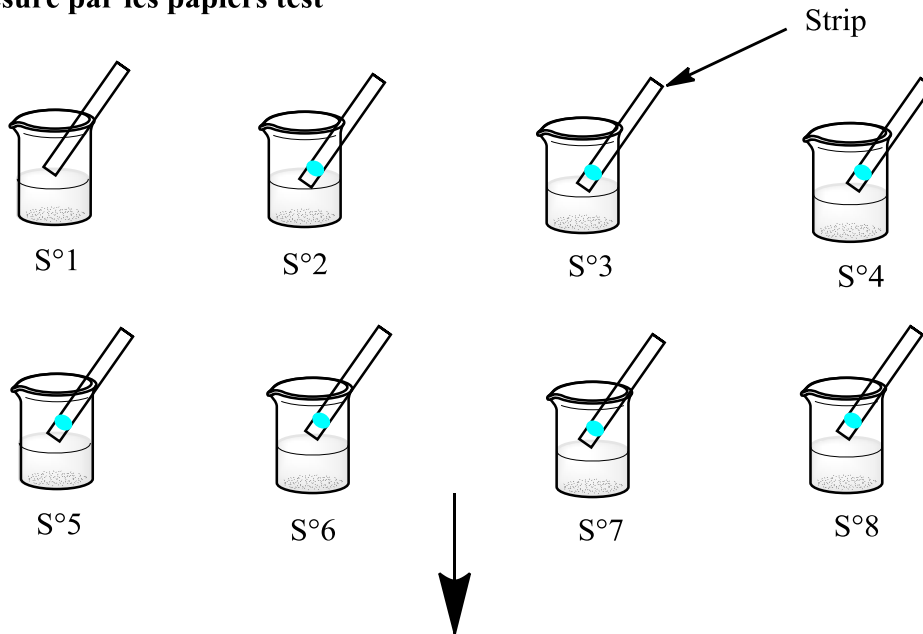
S°7



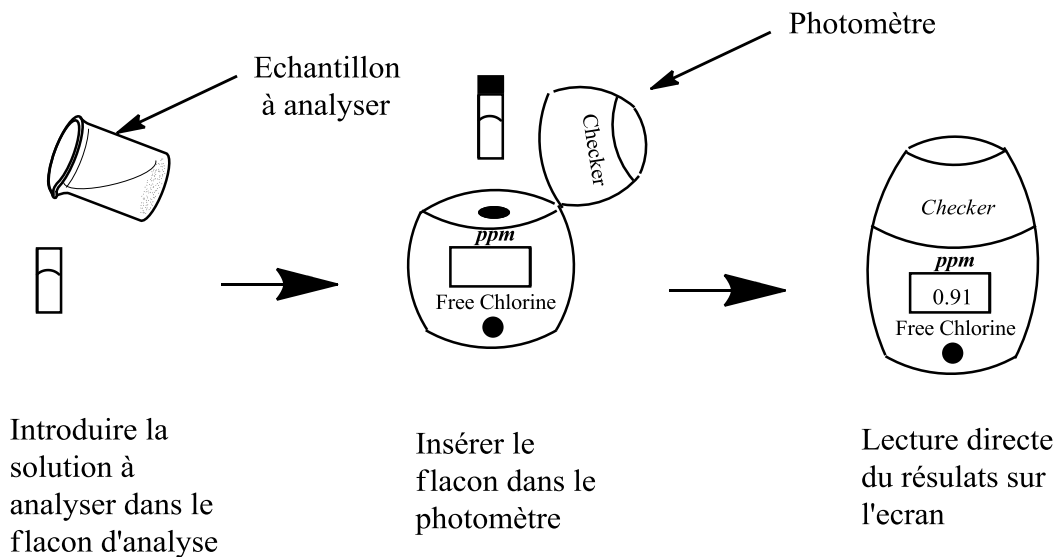
S°8

Après 30min de temps de contact
il faut procéder aux mesures du chlore libre dans
chaque b cher

Mesure par les papiers test



Mesure par le photomètre



Mode de calcul

Soient C_i : la molalité d'hypochlorite (en mg.L^{-1}) ajoutée dans chaque verre en plastique de volume v (100mL)

V_i : le volume d'hypochlorite à ajouter (en mL)

$$C_i = \frac{C_{aj} \cdot V_i}{V_{B\acute{e}cher}}$$

La dose optimale d'hypochlorite de valeur supérieure au « BP »⁷ avec une concentration de chlore résiduel minimal est choisie suivant l'état de propreté et la longueur du réseau. Le chlore résiduel au bout de réseau varie de $0,3\text{mg.L}^{-1}$ à $0,5\text{mg.L}^{-1}$ en période de crue.

III.3.3 Résultats des essais de demande en chlore par méthode du break point

Les résultats des essais de demande en chlore effectués conformément aux modes opératoires mentionnés dans le paragraphe **III.3.2**

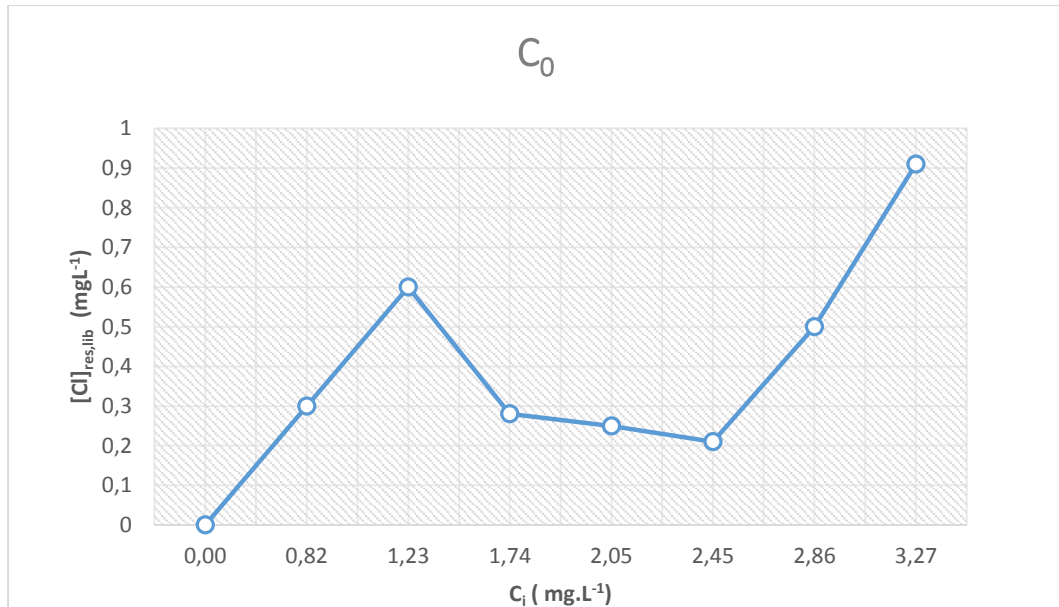
Tableau 18: Résultats d'essai de demande en chlore au niveau du réservoir de chloration de la Commune d'Ikongo point (P₄)

	Dose existante				BP			
Bécher N°	1	2	3	4	5	6	7	8
C_i (mg.L^{-1})	0,00	8,82	1,23	1,74	2,05	2,45	2,86	3,27
V_i (ml)	0,00	0,40	0,60	0,85	1,00	1,20	1,40	1,60
$[Cl]_{\text{res,lib}}$ (mg.L^{-1})	0,00	0,3	0,6	0,28	0,25	0,21	0,5	0,91

La dose optimale d'hypochlorite de sodium pour une désinfection suffisante de l'eau est $3,27 \text{ mg.L}^{-1}$ correspondant à une teneur en chlore résiduel libre de $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ à la sortie de la bache de chloration .Ce choix est justifié au vu de la longueur du réseau $2,1 \text{ km}$, et ce, afin

⁷ BP ou Break-point désigne le minimum de la courbe de demande en chlore, il correspond à la concentration minimale de chloration pour un bassin de chloration donnée.

d'avoir une teneur en chlore résiduel de l'ordre de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ garant de la potabilité de l'eau aux points les plus défavorables. La courbe de variation de besoin en chlore est représentée par le graphe ci-dessous.

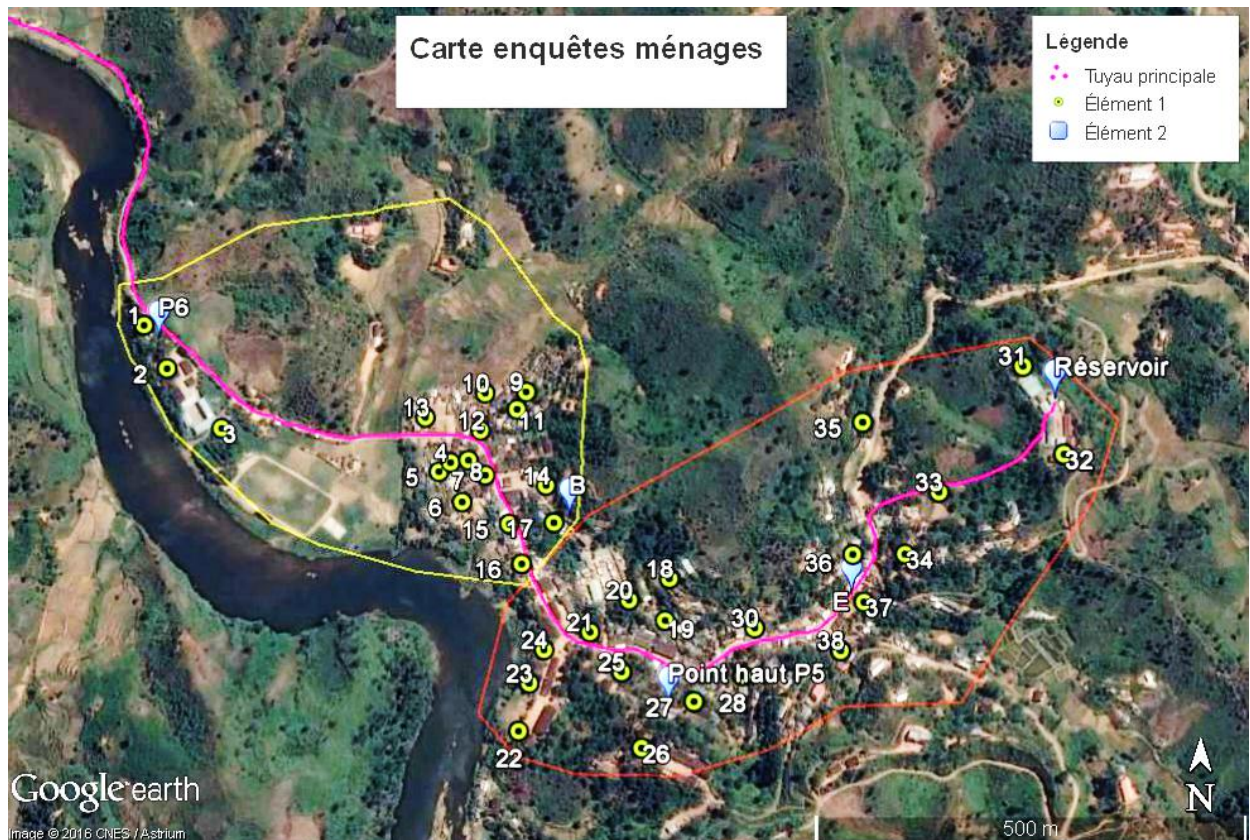


Graphe 8: Courbe d'essai de demande en chlore

III.4 EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU SYSTEME AEP DE LA COMMUNE D'URBAINE D'IKONGO

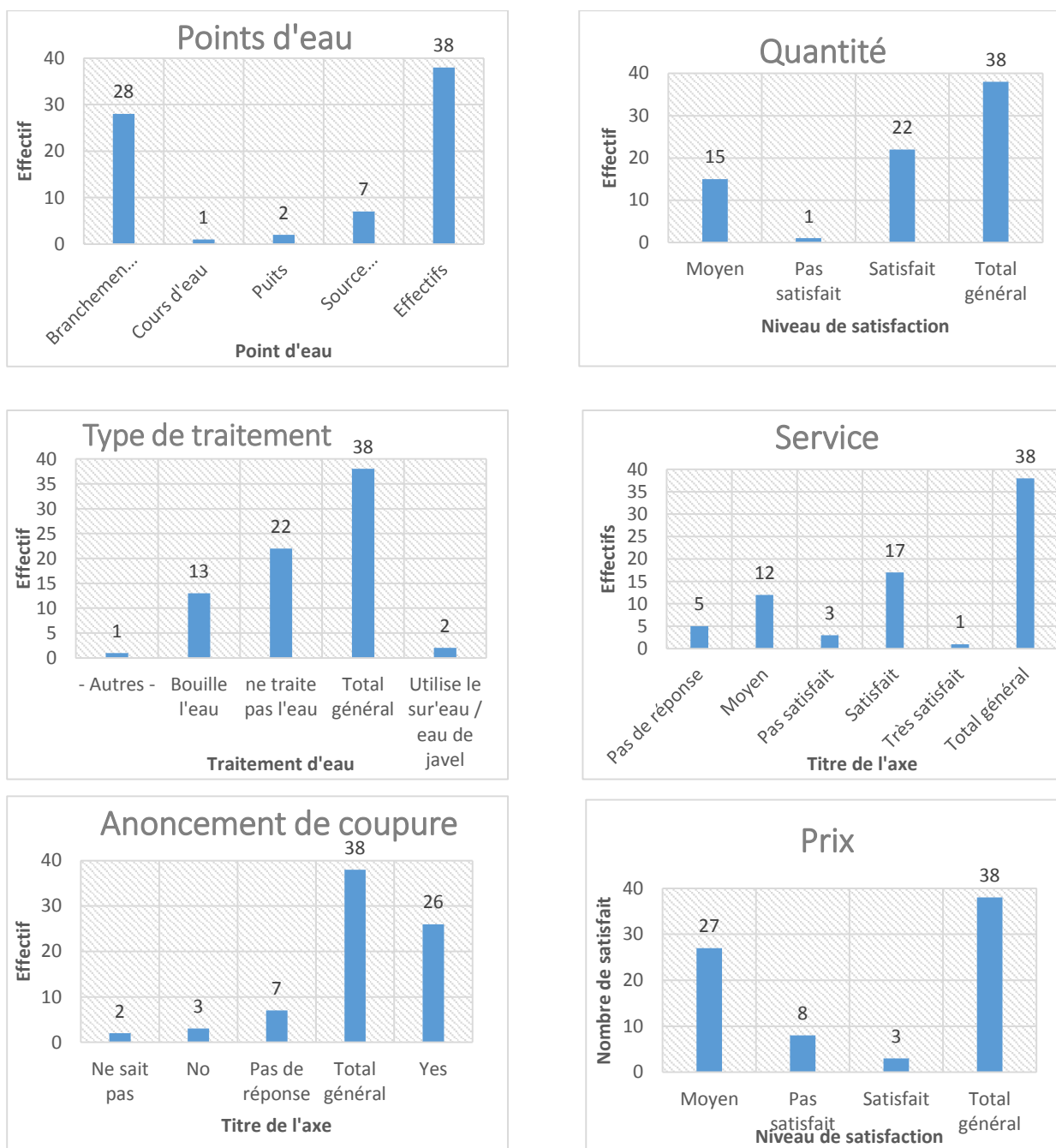
III.4.1 Sondages sur le niveau d'appréciation

Les enquêtes effectuées au niveau des ménages ont montré les niveaux d'appréciation des gens sur le **Graphe 9** par rapport au système AEP. Les ménages ont été choisis au hasard et par zone pour représenter les Fokontany d'Ambatoharanana et de Mangarivotra. Les questions ont été formulées pour être faciles à répondre. En moyenne, chaque enquête a duré 25min par ménage et au total 38 enquêtes ont été effectuées et qui sont réparties dans les deux Fokontany.



Carte 7 : Cartes de répartition des enquêtes ménages de la Commune d'Ikongo

Les éléments 1 représentent la répartition des enquêtes ménages à travers les deux Fokontany, Fkt d'Ambatoharanana zoné en jaune et ce de Mangarivotra zoné en rouge sur la **Carte 7**. Le nombre des enquêtes a été choisi par rapport à la densité du ménage, 58% des enquêtes ont été faites dans le Fokontany de Mangarivotra et le reste dans celle d'Ambatoharanana. A partir de ces enquêtes, les données collectées portent sur : le type de point d'eau utilisé, la satisfaction sur la quantité de l'eau qui arrive au niveau de chaque borne des ménages, le type de traitement d'eau avant de la boire, le service, la gestion de coupure et la satisfaction sur le prix de l'eau fournie par le système AEP.



Graph 9 : Histogramme de type source utilisée et répartition des satisfactions de l'AEP à travers les ménages de la Commune

III.4.2 Etude de la vulnérabilité du système AEP de la Commune urbaine d'Ikongo

La mesure de la vulnérabilité de la qualité de l'eau a été obtenue par l'analyse des paramètres, organoleptiques, physico-chimique et bactériologiques. Les résultats d'analyses ont été comparés selon la norme malagasy. En dehors de cette norme (résultats anormaux), nous supposons que la qualité de l'eau représente un risque. Les calculs sont présentés en *Annexe 9*.

Tableau 19 : Résultats de la vulnérabilité du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo

Système			Vuli	Vulnérabilité
BV (b)	Qualité (Ql)	Qlb1	<1	N
		Qlb2	<1	N
	Quantité (Qt)	Qtb1	<1	N
		Qtb2	<1	N
Traitement et distribution (td)	Qualité (Ql)	Qld1	1	V
	Quantité (Qt)	Qtd1	<1	N
Gestion (G)	Qualité (Ql)	QlG1	>1	V
		QlG2	>1	V
	Quantité (Qt)	QtG2	<1	N

TROISIEME PARTIE : INTERPRETATIONS DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS

Ce chapitre sera consacré sur les interprétations des données calculées et collectées sur terrain.

IV.1 INTERPRETATIONS DES RESULTATS

IV.1.1 Système bassin versant

Le bassin versant de Sahalagnary est classé petit bassin, avec une superficie de 0,25 km². La pente moyenne est de 0,33 m.m⁻¹. Ce bassin fournit un débit d'étiage de 130 m³.j⁻¹ au point de captage actuel mesuré en septembre 2011 [5].

La superficie du bassin versant peut agir en sa vulnérabilité, car plus elle est réduite plus la durée de l'épuration biologique des composés organiques comme les nitrates et nitrites diminue. Et avec un temps de concentration de t_c 1,45 h (cas du BV du Sahalagnary), le risque est probable.

Les quatre ménages qui vivent au sein du bassin versant du Sahalagnary participent aux activités agricole et piscicole. Ces activités représentent un risque probable de contamination au point de captage.

Les zones de pâturages augmentent les Matières En Suspensions (MES) de l'eau, cela explique le colmatage fréquent de la couche filtrante du bassin de filtre à sable.

Le captage de l'eau est à ciel ouvert avec aucune haie de protection. Les passants peuvent y accéder sans difficulté.

Avec l'analyse de la qualité de l'eau au niveau du point de captage, la qualité du paramètre bactériologique présente un taux qui nécessite un traitement par désinfection de physico-chimiques tel que l'indicateur [*E. Coli*]_{min} qui est de 13,60 MPN/100mL. Ce taux indique à un classement de haut risque d'après la méthode CBT en **Annexe 13**.

La vulnérabilité du bassin versant est liée aux activités et les ménages dans le BV à savoir :

- Le pourcentage des zones qui sont couvertes végétales.
- La pisciculture actuelle qui est en expansion et la zone de pâturages pour l'élevage de bœufs.

- Le point de captage non protégé
- L'accès non réglementé du BV

IV.1.2 Système de traitement et distribution

Ce paragraphe discutera de la qualité de l'eau au niveau du point de traitement et au niveau des bornes les plus défavorables de la Commune d'Ikongo.

Du point de vue quantitatif, les enquêtes auprès des ménages ont donné que seulement 3% des ménages ne sont pas satisfaits du débit de l'eau. En général, le débit de l'eau est reparti convenablement à travers le réseau de distribution. Par contre certains se sont plaints sur le fait que leur compteur débitmètre tourne avec l'expulsion d'air sans eau qui sort du robinet.

Ce problème se passe en général après le lavage du filtre ou la réparation du tuyau principal. La multiplication de ce problème va entraîner une diminution de l'usage de l'eau potable pour certains. Cette diminution comptera parmi les facteurs de vulnérabilité de consommation d'eau pour le système AEP.

D'après le **Graph 7**, la demande moyenne actuelle des usagers est de $47,33 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$. La ressource d'eau mobilisée est de $130 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ qui est égale à 3 fois la demande moyenne actuelle. L'évaluation de la vulnérabilité du système AEP par rapport aux nombres d'abonnées est difficile à établir sans connaître les dépenses mensuelles de l'entretien du système. Par contre, la consommation actuelle est vulnérable par rapport à l'exploitation de la capacité du système d'adduction d'eau potable de la Commune urbaine d'Ikongo.

D'après le **Graph 6**, obtenu par le calcul des volumes d'eau mensuels depuis l'année de mise en vente de l'eau jusqu'en avril 2016, la consommation mensuelle d'eau par ménage est en moyenne de $6,05$ à $8,46 \text{ m}^3 \cdot \text{mois}^{-1}$ selon les observations au niveau des bornes privées.

Grace à cette consommation mensuelle par ménage, il est possible d'estimer la faculté à payer mensuelle par ménage tout en sachant que l'eau est vendue à $1000 \text{ AR} \cdot \text{m}^{-3}$. Après calcul, les ménages ont en moyenne une faculté de paiement de $6050 \text{ AR} \cdot \text{ménage}^{-1} \cdot \text{mois}^{-1}$. La taille moyenne du ménage est de 6 personnes.

Il est aussi possible d'estimer la volonté par personne à se procurer de l'eau potable. Cette volonté peut se traduire à un chiffre de $1008 \text{ AR} \cdot \text{personne}^{-1} \cdot \text{mois}^{-1}$, soit $33,6 \text{ AR} \cdot \text{personne}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$.

Le **Graph 5** informe sur le temps d'utilisation d'eau journalière des gens qui est en moyenne de 06 :00h à 18 :00h. Les coupures fréquentes de l'eau à 6h ; 12h et à 17h risquent d'engendrer la diminution de la consommation d'eau par jour, car ce sont les heures où les demandes sont au maximum. Cette diminution, entraîne un risque sur la rentabilité du système et sera comptée parmi ses vulnérabilités. L'heure de pointe est à 12h :00, avec débit de demande de pointe $0,24\text{m}^3.\text{h}^{-1}$.

Du point de vue qualitatif, après les enquêtes effectuées au niveau des ménages, certains se plaignent sur le non propreté de l'eau. Ce dernier pousse la plupart d'entre eux à prendre des précautions, comme la cuisson à ébullition de l'eau avant sa consommation, la filtration ou décantation et l'utilisation du Sur'eau. D'après les résultats des enquêtes, 42% des ménages traitent l'eau qu'ils boivent. Ceci montre l'absence de l'assurance des consommateurs. Les gens sont plutôt sensibles aux paramètres organoleptiques qu'aux paramètres physicochimique et microbiologique. Et les gens qui vivent dans les quartiers bas ont tendance à se plaindre du trouble fréquent de l'eau au niveau de leurs robinets.

Le réseau de distribution ne possède pas de dispositif de vidange. Ce dernier sert à évacuer les impuretés dans les réseaux. Après le lavage du filtre, les boues et les matières en suspension (MES) arrivent facilement dans le réseau et y restent emprisonnées. Ces MES ne peuvent sortir qu'au niveau des bornes des usagers qui vivent dans les zones de basse altitude.

Concernant le traitement de l'eau, les paramètres physico-chimiques mesurés au niveau du réservoir de distribution (P₄) et les bornes les plus défavorables (P₆) et (P₅) ont montré des valeurs répondant à la norme de potabilité malagasy. Par contre, la désinfection par chloration a signalé un taux inadéquat en concentration en chlore et en concentration en *E. coli* à la valeur exigée par la norme de potabilité voir **Tableau 16**. Ces valeurs indiquent la vulnérabilité du système à la désinfection de l'eau. Pour cette raison, une étude de demande en chlore a été faite au niveau du réservoir de chloration afin d'ajuster le mode de chloration de l'eau voir **Tableau 18**.

IV.1.3 Système de gestion

La discussion pour la gestion du système AEP de la Commune se rapporte aux résultats des enquêtes auprès des ménages **Graph 9**.

Parmi les enquêtes effectuées, 26% des ménages n'utilisent pas l'eau du système. Et ceux qui utilisent l'eau du système AEP ont tous été satisfaits du service fourni par le gestionnaire.

IV.1.4 Risques qui menacent le système AEP de la Commune urbaine d'Ikongo

Les risques qui menacent le système AEP de la Commune s'exposent dans chaque élément du système, dont : le BV, le traitement et la distribution, et enfin la gestion. Le tableau des risques suivant a été établi grâce aux différentes étapes mentionnées précédemment :

Tableau 20 : Risques menaçant le système d'AEP de la Commune d'Ikongo

	Risques	Causes internes	Causes externes	Mesures prises et maintenues
BASSIN VERSANT	Risque probable de contamination par les déchets et effluents ménagers jusqu'au point de captage	Quatre (4) foyers vivent dans le BV	Ravitaillement des poissons par des nourritures qui viennent de l'extérieur du BV	-Revêtement de la surface du BV -Sensibilisation faite par la Commune après réunion Commune/gestionnaire/propriétaire de la pisciculture
	Risque de pollution d'eau en amont du captage.	-avant d'arriver au point du captage l'eau passe par des rizières, des étangs et des piscicultures	—	—
BASSIN VERSANT	Risque de contamination au point de captage	-Point de captage non protégé : Absence de clôture	Accès facile pour les humains et troupeaux de bœufs	—
	Pollution en phosphore (P) et azote (N)	Pratique agricole ; eaux usées ménagères	Utilisation des engrais chimiques et biologiques	Sensibilisation des gens et ménages vivant dans le BV

DISTRIBUTION	Colmatage fréquent du bassin filtrant	-Capacité du filtre -Vieillessement du filtre	Activités en amont du captage	
	Débordement des surnageant et d'eau brute	Colmatage de la couche filtrante	Perturbation en amont du captage	Sensibilisation des gens vivant aux environs du BV par la Commune locale
	Eclatement fréquent des conduites principales	-Usure du tuyau -Hauteur d'enfouissement des conduites non conforme	Passage des véhicules lourds	
GESTION	Difficulté/absence d'extension de nouveaux abonnés	L'auto-budgétisation insuffisante		
	Entretien insuffisant des matériels de chloration	Manque de pièce de rechange pour électrochlorateur	-Les pièces de rechange existent seulement à Tana -Isolation du site en période pluviale	
	2 Personnels permanents sur 150 branchements	L'insuffisance de l'auto budgétisation du système	Liste des candidats incompetents	
	Fréquence insuffisante de la surveillance de la qualité de l'eau	-Absence des kits ou matériels de contrôle de la qualité de l'eau L'auto-budgétisation insuffisante du système	-	-
	Service clientèle non performant	Rigueur exagérée de la gestion		
	Techniques de réparations de 1 ^{er} niveau non maîtrisées	Manque de formateur/formation du gestionnaire local		

IV.1.5 Etat actuel du système AEP de la Commune d'Ikongo

Des constats ont surgi après la descente sur terrain et ont été classés en deux points pour chacun des systèmes : points forts et points faibles. Ces points faibles reflètent la vulnérabilité du système AEP.

Tableau 21: Points forts et points faibles du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo

Système	Points forts	Points faibles
BV	Couverture végétale >75% de la surface du BV	4 ménages 3 piscicultures en amont 6 rizicultures Captage à ciel ouvert et non protégé
Traitement et distribution	Filtration sur sable Chloration	Colmatage suivi d'une obturation du filtre une (1) fois/mois en période d'étiage Colmatage suivi d'obturation trois (3) fois/semaine en période de crue. Concentration nulle du chlore libre au bout du réseau
Service	Informatisation des facturations et des papiers administratifs Compétence technique du gestionnaire qui a déjà œuvré dans le domaine du génie civil	Le service d'extension et la réparation rencontrent des difficultés car les pièces de rechange et les matériels à acheter se trouvent loin du village. L'auto-budgétisation du système n'arrive pas à faire de stocks des pièces de rechanges

CHAPITRE 5 : RECOMMANDATIONS

A partir des données, des résultats et de leurs interprétations, nous formulons dans ce qui suit des recommandations relatives à l'adduction en eau potable dans la Commune urbaine d'Ikongo.

Certaines mesures qui ont été déjà prises, telles que la réhabilitation et la pérennisation du système AEP devons être poursuivies.

Les recommandations serviront à réduire la vulnérabilité du système AEP de la Commune d'Ikongo. Elles portent sur le bassin versant de Sahalanary, le traitement et la distribution d'eau, la gestion et la Commune d'Ikongo. D'autres recommandations sont aussi suggérées par rapport à cette étude de vulnérabilité et qui s'appuient sur des décrets du code de l'eau malagasy.

V.1.1 Recommandations sur le bassin versant Sahalagnary

D'après les résultats de calculs effectués précédemment, la superficie réelle du BV est de 0,25km² avec un temps de concentration de 1,45 h. Ces valeurs indiquent que les conditions concernant le bassin ne permettent pas d'épurer et/ou de transporter naturellement les eaux usées et les déchets des ménages. Ainsi nous proposons de :

- Trouver un moyen de reloger ailleurs les ménages vivant au sein du BV pour éviter le risque de la propagation des déchets ménagers.
- Définir et mettre en place le périmètre de protection de la zone de captage pour que des tiers ne puissent pas y accéder.
- Organiser une réunion avec la Commune pour sensibiliser et interdire la population de ne plus utiliser le bassin versant comme zone de pâturage.
- Réglementer les activités dans le BV conformément à l'accord co-signé par la communauté, l'entreprise gestionnaire et la Commune locale.
- Adopter le 'Dina' aux personnes qui ne respectent pas les accords signés.

V.1.2 Recommandations sur le système de chloration et distribution d'eau

Les résultats sur la qualité de l'eau collectée sur terrain ont montré que le taux du chlore résiduel varie de 0 mg.L⁻¹ à 0,01 mg.L⁻¹ aux bornes les plus défavorables (P₅ et P₆). La chloration de l'eau

devrait se faire au niveau du réservoir (P₄), la concentration moyenne du chlore libre [Cl]_{res,lib} à ce niveau est de 0,17 mg.L⁻¹. Par conséquent, il faudrait :

- Soit augmenter la concentration du chlore à ajouter au niveau du réservoir de chloration tout en maintenant constant le débit la pompe doseuse, soit augmenter le débit du chlore sans modification de la concentration du chlore, pour améliorer le taux du chlore résiduel aux points défavorables.
- Equiper le gestionnaire d'un kit ou matériel pour l'analyse du chlore afin d'améliorer la surveillance de la concentration de chlore résiduel au niveau des points d'eau pour une meilleure conduite de la désinfection.

Concernant la distribution et la surveillance du niveau d'eau dans le réservoir, le transducteur est un moyen confortable compte tenu de son maniabilité. En complément, il faudrait :

- Installer un débitmètre au niveau de la sortie primaire du réservoir et de la sortie du trop-plein sera un moyen très précis et moins cher que le transducteur pour quantifier la perte de l'eau au niveau du réservoir de stockage système.

V.1.3 Recommandations sur la gestion du système

La gestion du système AEP consiste à la mise en place des listes des tâches citées auparavant⁸. Une discussion et une réunion avec les exploitants du système ont conduit à des propositions d'actions telles que :

- La formation ou « recyclage » des techniciens concernant le traitement de l'eau et l'entretien du réseau de distribution.
- Le rapprochement et la sensibilisation des usagers de l'eau pour mettre en évidence l'utilité et l'importance de l'AEP pour la communauté.

⁸ Tableau 12 : Répartition des tâches suivant le personnel travaillant au sein du système d'AEPG d'Ikongo 41

A propos de l'extension du réseau de distribution, l'eau consommée actuellement représente un tiers (1/3) de la ressource mobilisée et par rapport à la faculté à payer par ménage, elle est de 6050AR.mois⁻¹ en moyenne minimum. On suggère :

- De faciliter et favoriser la souscription des ménages à l'accès de l'eau du système d'AEP

Concernant les toilettes monobloc qui restent inutilisées, nous recommandons :

- La Commune locale devrait céder la gérance du monobloc à l'entreprise gestionnaire.
- D'établir un calendrier annuel pour sensibiliser chaque ménage sur l'importance de cette infrastructure d'assainissement pour améliorer leur qualité de vie, préserver la propreté de l'environnement et limiter la propagation des maladies.

V.1.4 Recommandations pour la Commune d'Ikongo maître d'ouvrage

Après une discussion faite au niveau de la Commune, l'application des recommandations dans l'accord co-signé en **Annexe 18**, entre l'entreprise gestionnaire, la Commune et le représentant des ménages vivant dans le BV Sahalagnary n'est pas encore respecté. Nous suggérons de :

- Créer un comité de suivi de l'application des dites recommandations.
- Adopter l'approche participative des occupants du BV dans le cadre des actions futures en vue de l'amélioration de la protection du BV.

CONCLUSION

La présente étude a l'intention d'évaluer les risques qui menacent la qualité d'eau au niveau du système d'Adduction d'Eau Potable (AEP) de la Commune urbaine d'Ikongo. Elle a été faite avec l'utilisation du Sit indicator tools (SIT) et l'application de la définition de la vulnérabilité. Le SIT est un moyen commode pour collecter et réunir les données au niveau de chaque secteur d'un système d'AEP.

Cette étude de vulnérabilité est aussi un outil qui peut servir à renforcer la capacité d'un système d'AEP face aux risques qui le menacent. Une fois que les risques sont évalués, il serait possible de définir et de prendre des mesures en faveur de sa pérennisation.

Le calcul de l'estimation de la vulnérabilité de la qualité de l'eau du système d'AEP doit faire référence à une norme prédéfinie, par rapport à quoi il est possible de localiser les risques et d'évaluer son influence sur la vulnérabilité. Dans le cas de la Commune urbaine d'Ikongo, le code de l'eau malagasy a été pris comme une référence pour l'étude de la vulnérabilité de la qualité de l'eau du système d'AEP de la Commune. Toute valeur en dehors de cette norme représente le risque.

En termes de quantité et de rendement, le système, pourrait envisager une extension de 2 fois le nombre du branchement actuel. Cependant, le désabonnement ou la récession de la souscription favorise sa vulnérabilité.

Et en termes de qualité, le système d'AEPG de la Commune d'Ikongo a des points forts sur les qualités en paramètres physico-chimiques de l'eau. Par contre, la qualité en paramètres bactériologiques est affectée par la teneur exagérée en *E. Coli*, mesurée au niveau des bornes les plus défavorables. Cette teneur représentera une menace influant à la vulnérabilité de la qualité de l'eau si les mesures nécessaires ne sont pas prises.

En somme, la vulnérabilité de la qualité de l'eau agit sur la vulnérabilité du système d'AEP. Et d'une autre manière, il faudrait tenir compte sur les autres facteurs qui agissent sur la vulnérabilité du système AEP, comme les facteurs social, Technique, Environnemental, Economique et Politique (STEPP).

Bibliographie

- [1] Nations-Unies, «Rapport sur les objectifs de développement durable 2016,» 2016.
- [2] O. Romuald, Vulnérabilité une notion d'avenir, 2004.
- [3] T. K. Jennifer Sara, «Making Rural Water Supply Sustainable: Report on the impact of Projects Rules».
- [4] R. Peter, «Madagascar Wash Sector Service Provision : Bottleneck Assessment Tool,» 2014.
- [5] Sandandrano, «Amélioration de l'alimentation en eau potable de la ville d'Ikongo (APD),» 2011.
- [6] D. J. ., F. L. Chaperon Perre, Fleuves et rivières de Madagascar, 75480 Paris Cedex 10: IRD (Institut de Recherche pour le Développement), 2005.
- [7] J. Annis, «Assessing progress of community managed gravity flow water supply systems using rapid rural appraisal in the Ikongo district, Madagascar,» 2006.
- [8] DEP (Departement of Environmental Protection) Pennsylvanie, «Stormwater Best Management Practices Manual,» Pennsylvanie, 2006.
- [9] Environmental Protection Agency, «Sampling and analysis of waters, wastewaters, soils, and waste,» Victoria, 2009.
- [10] UNICEF, «Evaluation de l'approche "assainissement total piloté par la communauté (ATPC) Rapport Final,» 2014.
- [11] ONE, «Profil environnemental région Vatovavy Fitovinany,» 2006.
- [12] J. e. L.chéry, «Le phosphore dans les eaux souterraines en France Etat des connaissances Année 1,» 2000.

- [13] G. G. J. Molénat, Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert, 2011.
- [14] H. Philippe, «Diagnostic écologique des cours d'eau du bassin versant de la Menoge,» 2012.
- [15] M. e. W. R. Wackernagel, «Our ecological Foot print reduction Human Impact on the Earth New Society publisher,» 1995.
- [16] MINENMI (MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES MINES), «Manuel de procedure pour la mise en place des projets eau et assainissement,» 2005.

COURS

Chimie Analytique, Dr RAVAOMANARIVO Harimisa, ISTE 2011

Climatologie, Pr RATIARISON Adolphe, ISTE 2011

Désinfection de l'eau, Dr RAVAOARIMANANA Harimisa, ISTE 2014

Dessin industriel, Dr RAKOTOZANAKAJY Tony Arifenitra, ISTE 2013

Dynamiques des Fluides, Pr RABESIAKA Mihasina, ISTE 2013

Electrolytes, Pr RAZAMPARANY Bruno, ISTE 2011

Glossaire : Empreinte Carbone, Ecologique et Eau Dr RAMAMONJISOA Tinasoa, ISTE 2012

Hydrologie générale, Ressource en eau et captage, Dr RALAIMARO Joseph, ISTE 2012

Hydrogéologie, hydrogéochimie, Dr RANAIVOSON Alfred, ISTE 2013

Manuel de procédure, Dr RALAMBOSAMIMANANA Mamy, ISTE 2013

Mécanique des fluides, Dr RAKOTOSALAMA Dieudonné, ISTE 2013

Microbiologie et Bactériologies des Eaux Dr Rado RASAMIMANANA, ISTE 2012,2014

Ressource en eau et captage, Dr RALAIMARO Joseph, ISTE 2013

Thermodynamique chimique, Pr RAFENOMANANTSOA Alphonse, ISTE 2011, 2012, 2013

Traitements des eaux, Madame RABETOKOTANY Monique, ISTE 2013.

Logiciels utilisés pour la rédaction de ce mémoire :

ArcGis 10.1 utilisé pour les cartographies

ChemDraw Ultra 12.0 utilisé pour les dessins de la manipulation, les réactions bilan et calculs en chimie.

Autocad 2012, utilisé pour la reproduction en dessin industriel du bassin de filtration.

Microsoft office 2013 pour la rédaction du texte et traitement des données numériques sur Excel.

New_LocClim 1.1 utilisé pour obtenir les données climatologiques de la zone d'étude sur les 3 dernières années.

Diagrammes 5.1 utilisé pour la conception des diagrammes pour les caractérisations et études hydrogéochimiques.

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau résumant le protocole d'analyse par les "Test Strips"

Elément analysé	Procédure	Variation de la couleur suivant le gradient de concentration	Intervalle de concentration en mg.L ⁻¹	Eléments chimiques
Ph	Plonger la bandelette 10s dans le verre contenant l'échantillon d'eau sans mouvement, correspondre immédiatement la couleur sans dépasser 15s		6 ; 6.5 ; 7 ; 7.5 ; 8 ; 8.5 ; 9.5 ; 10	H ⁺
Alcalinité	Même procédure que le test du pH		0 ; 40 ; 80 ; 120 ; 180 ; 240 ; 500	–
TDS	Plonger de l'échantillon d'eau			Mg ²⁺ ; Na ²⁺ ; Ca ²⁺
Nitrate/ Nitrite	Plonger la bandelette 2s de l'échantillon d'eau, retirer et attendre 1min, comparer la correspondance de couleur sans dépasser 1min		Nitrate : 0 ; 2 ; 10 ; 20 ; 50 Nitrite : 0 ; 0,2 ; 1 ; 1,5 3	NO ₃ ⁻ ; NO ₂
Fer	Plonger la bandelette de l'échantillon d'eau			Fe ²⁺
Métaux lourds	Plonger la bandelette de l'échantillon d'eau		<10ppb 10-100ppb	Cu ²⁺ ; Pb ²⁺ ; Co ⁺² ; Ni ⁺² ; Zn ⁺² ; Cd ⁺² ; Hg ⁺² ;
Chlore libre	Plonger la bandelette 20s dans le flacon de 50mL de l'échantillon d'eau, avec mouvement		0.0 ; 0.05 ; 0.2 ; 0.6 ; 1.5 ; 4.0 ; 10	Cl
Chlore total (Méthode A)	Plonger la bandelette 5s dans 250mL de l'échantillon d'eau, avec mouvement constant, attendre 30s, correspondre la couleur sans dépasser 15min		0-10 mg.L ⁻¹	Cl
Chlore Total (Méthode B)	Plonger la bandelette 10s dans l'échantillon d'eau de 250mL, attendre 30s, correspondance de couleur dans 15min		0-1 mg.L ⁻¹	Cl

Annexe 2 : Consommation réelle annuelle facturée du système d'AEP d'Ikongo (octobre 2013-Avril 2016)

Mois	Cons (m ³) BP	Cons (m ³) BS	TOTAL (m ³)
oct-13	849,6	809,8	1659,4
nov-13	684	669	1353
déc-13	770,6	672,8	1443,4
janv-14	587,4	621,7	1209,1
févr-14	643,1	584,7	1227,8
mars-14	643,5	623,4	1266,9
avr-14	713	646,4	1359,4
mai-14	608,1	615,1	1223,2
juin-14	623	642,4	1265,4
juil-14	727,2	679	1406,2
août-14	705,3	675,1	1380,4
sept-14	728,2	716,8	1445
oct-14	743,3	853,2	1596,5
nov-14	762	902,7	1664,6
déc-14	734	694,7	1428,7
janv-15	700	741,8	1441,8
févr-15	712,1	576,4	1288,5
mars-15	787,7	853,6	1641,3
avr-15	658,2	723,9	1382,1
mai-15	706,9	836,3	1543,2
juin-15	568,8	704,2	1273
juil-15	653,4	719,9	1373,3
août-15	753	750,6	1503,6
sept-15	653,7	673,5	1327,2
oct-15	775,4	765,7	1541,1
nov-15	895,7	805,8	1701,5
déc-15	916,7	692,1	1608,8
janv-16	733,8	687	1420,8
févr-16	859,9	801,5	1661,4
mars-16	719,3	638,5	1357,8
avr-16	778,6	784,5	1563,1
Source : SERTRANO, auteur			

Annexe 3: Norme OMS

Dans la présente étude la norme OMS a été prise en compte vu que ce dernier respecte davantage la norme malagasy pour l'eau potable. Toutefois, il est nécessaire de mentionner que la législation de l'eau malagasy n'a pas de directive concernant le TDS.

1 - Acceptabilité des consommateurs

2 - Technique : impact sur le prix ou aisance de traitement

3 – évoluent avec le temps qui indique le changement de la qualité de l'eau qui aurait besoin plus d'investigations incluant un test de métaux totaux pour les bandelettes

Temps de stockage temps de conservation recommandé par (Environmental Protection Agency, 2009, pp. 12-21)

Paramètres		Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Test et Méthodes (déroulement)	Temps de conservation (recommandation pour le stockage)
Organoleptique	Couleur / apparence	1, 2, 3	Matières organiques, métaux, pollutions industrielles	Toutes les étapes et échantillonnages ont été fait in situ	15 TCU	Surveillance qualité, satisfaction des clients	2 jours (réfrigéré, à l'abri de la lumière)
	Turbidité	1, 3, 2 – agit sur l'efficacité de traitement des bactéries	Erosions, sous une forte pluie	Tous les échantillons	5NTU, <1NTU pour une désinfection efficace	Inspection qualitative et un tube turbidimètre	2 jours (réfrigéré, à l'abri de la lumière)
	Odeur	1, 2, 3	Matières organiques (algue), métaux, pollutions industrielles	Tous les échantillons surveillés ont été analysés in situ	Non offensant	Surveillance qualitative, classification subjective	6 heures (réfrigérée à <6°C)
Physique	Conductivité	1, 3	Solides dissouts	Tous les échantillons	1400 µs/cm	Meter (0 - 9990 µs/cm)	24 heures recommandées - 28 jours si réfrigérée
	pH	2 – impact sur l'efficacité de traitement, comme la chloration en particulier, et la corrosivité dans les tuyaux de distribution	Matières organiques, acides, ou alcalins	Tous les échantillons	6.5 - 8.5, <8.0 pour une désinfection efficace avec le chlore	bandelette (6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0)	analyse In-Situ, et immédiatement

Paramètres	Paramètres	Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Méthode et test (déroulement)	Temps de conservation (Recommandation de stockage)
Chimique	Arsenic	Santé	Provenances naturelles, pollutions industrielles	Deux fois à la source	50 µg/L	C'est un kit de test rapide pour l'Arsenic (0, 5, 10, 20, 60, 100, 300, 500, >500, >>500 µg/L)	Mois - 6 (préservation avec l'acide), 8 heures et sans préservation avec l'acide recommandé pour le kit test
	Fluore	Santé	Provenances naturelles, pollutions industrielles	effluent et source depuis une unité de traitement	1.5 mg/L	Checker (0.0 to 20.0 mg/L)	28 jours
	Nitrate	Santé, particulièrement pour les enfants <6 mois	Excréments animaux ou humains, les engrais, les décompositions végétales	Tous les échantillons	~10 (11.3) mg/L pour N, 50 mg/L (pour NO ₃)	bandelette (0, 0.5, 2, 5, 10, 20, 50 mg/L as N ; 0, 2.2, 8.8, 22, 44, 88, and 220 mg/L as NO ₃)	2 jours (geler l'échantillon)
	Fer (Fe 2+)	1, 2 - accumulation des dépôts dans les réseaux de distribution	Provenances naturelles, plomberie et tuyauterie, pollutions industrielles	Tous les échantillons	0.3 mg/L	bandelette (0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 5.0 mg/L) (Checker) (0.00 to 5.00 mg/L)	6 mois (dans un récipient complètement anaérobique)
		santé – protéger la qualité de l'eau dans le réservoir de stockage contre les microbes	Désinfection avec le chlore	Tous les échantillons en aval, dans le cas d'un traitement qui utilise le chlore pour la désinfection de l'eau.	≥ 0.2 mg/L (at point of delivery)*	Bandelette (0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.0, 2.5, 5.0 mg/L) Vérification (checker) (0.00 to 2.50 mg/L)	5 minutes, max 15 minutes

OMS optionnel paramètre

Paramètre		Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Méthode et test (déroulement)	Temps de conservation (Recommandation de stockage)
Chimique	Aluminium	1	Traitement de l'eau, pollutions industrielles	Source and after treatment works	0.2 mg.L ⁻¹	bandelette* Unité de volume pour le test au laboratoire	6 Mois
	Ammoniaque	1, 2	Activité métabolique d'un organisme vivant, agriculture, les activités industrielles, la désinfection avec la chloramine	Au niveau de la source et après une chaîne de traitement.	1.5 mg.L ⁻¹	bandelette (0, 0.25, 0.5, 1.0, 3.0, 6.0 mg/L) Checker (0.00 à 3.00 mg/L)	Dans les 24 heures recommandé, mais pouvant aller jusqu'à 28 jours si (Réfrigéré <6°C)
	Cuivre	Santé	Plomberie du ménage et au niveau du point de soudure, pollutions industrielles	Au niveau de la source et après une chaîne de traitement.	2.0 mg.L ⁻¹	bandelette* Unité de volume pour le test au laboratoire	6 mois
	Plomb	Santé	Plomberie du ménage et au niveau du point de soudure, pollutions industrielles	Au niveau de la source et après une chaîne de traitement.	0.01 mg.L ⁻¹	bandelette* Unité de volume pour le test au laboratoire	6 mois
	Manganèse	1, 2 - accumulation des dépôts dans les réseaux de distribution	Provenances naturelles	Au niveau de la source et après une chaîne de traitement.	0.1 mg.L ⁻¹	bandelette* Unité de volume pour le test au laboratoire	Months - 6

Paramètre physique additionnelle

paramètres		Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Méthode et test (déroulement)	Temps de conservation (Recommandation de stockage)
Alcalinité	alcalinité	Inclue dans le pH test des bandelettes		Tous les échantillons		Bandelette (0, 80, 120, 180, 240, 360 mg/L)	24 heures recommandé, mais 14 jours acceptable (température < 6°C)
	Dureté	1	Provenances naturelles, ions métallique dissoutes, incluant le Ca^{2+} et le Mg^{2+}	Tous les échantillons	None, 200-500 mg.L^{-1} potentiel threshold	Strip (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 mg/L as calcium carbonate)	Mois - <6 (remplir la bouteille pour exclure l'air)
	Température	Influence la mesure des autres paramètres	Radiation géothermique du soleil	N'est pas mesuré	None, lower more palatable, higher encourages growth of microorganisms	Meter (0.1 - 80 deg. C)	In-Situ, analyses immédiatement
	TDS	Qualité générale de l'eau	1, 2 - scaling in distribution system	Tout l'échantillon	Sans, moins de 600 mg.L^{-1} considéré de bon goût, >1,000 mg.L^{-1} généralement no appétant	Bandelette (0, 100, 250, 500, 750 mg.L^{-1}) Meter (0 - 8560 mg.L^{-1})	7 jours (remplir la bouteille pour exclure l'air, réfrigéré)

Paramètre chimique additionnelle

Paramètre		Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Méthode et test (déroulement)	Temps de conservation (Recommandation de stockage)
Chimique	Chlore total	Pour déterminer les quantités de chlore qui a réagi Durant le traitement et le chlore en excès	Désinfection avec le chlore	Tout le prélèvement de l'échantillon en aval d'un traitement chloré	5 mg.L^{-1}	Strip (0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 4.0, 10.0 mg.L^{-1}) Checker (0.00 to 3.50 mg.L^{-1})	Minutes 5, max 15

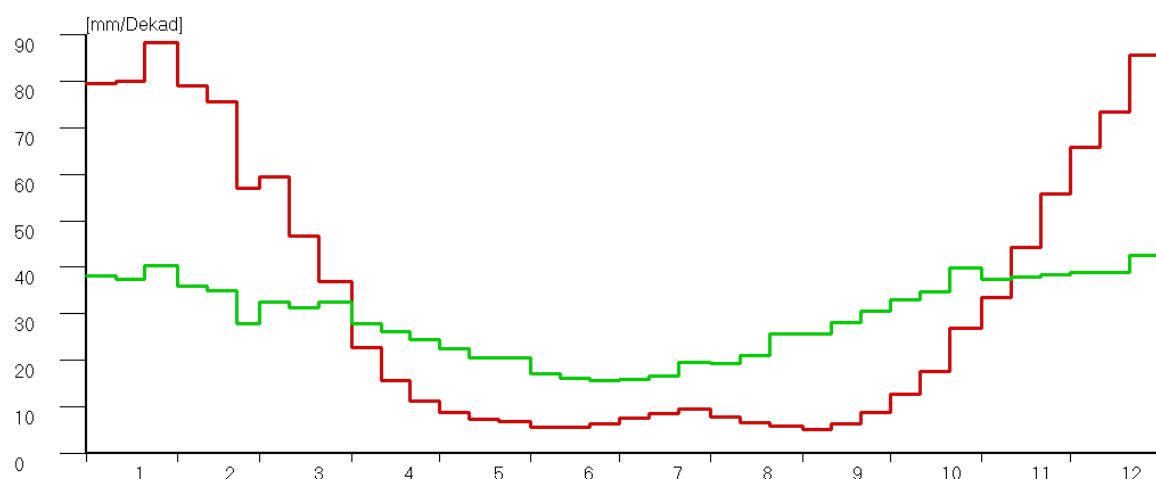
	H₂SO₄	Besoin d'être testé à cause de son interférence avec l'ion arsenic	Bactéries qui produisent les sulfates d'hydrogènes	Utilisé avec le teste d'arsenic	sans goût / odeur seuil estimée à 0.5 - 1.0 mg.L ⁻¹		
	Nitrite	santé	Provenances naturelles, agriculture, certaines bactéries dans le réseau de distribution	Tous les échantillons	3 mg.L ⁻¹ (as NO ₂), 0.9 (as N)	bandelette (0.15, 0.3, 1, 1.5, 3, 10 mg.L ⁻¹ as N, 0.5, 1.0, 3.3, 4.9, 9.9, 32.9 mg.L ⁻¹ as NO ₂)	2 jours (température <6°C)

Paramètres Bactériologiques

Paramètre	Raison du test	Sources possible	Echantillonnage et prélèvement	OMS valeurs guides	Méthode et test (déroulement)	Temps de conservation (Recommandation de stockage)
Chlore total	Pour déterminer la quantité de chlore qui a réagi Durant le traitement et le chlore en excès	Désinfection avec le chlore	Tout le prélèvement de l'échantillon en aval d'un traitement chloré	5 mg/L	Strip (0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 4.0, 10.0 mg.L ⁻¹) Checker (0.00 to 3.50 mg.L ⁻¹)	Minutes 5, max 15
H ₂ SO ₄	Besoin d'être testé à cause de l'interférence des ions en arsenic	Bactéries qui produisent les sulfates d'hydrogène	Utilisé avec le test d'arsenic	sans, goût / odeur seuil estimée à 0.5 - 1.0 mg.l ⁻¹		
Nitrite	santé	Provenances naturelles, agriculture, certaines bactéries dans le réseau de distribution	Tous les échantillons	3 mg.l ⁻¹ (as NO ₂), 0.9 (as N)	bandelette (0.15, 0.3, 1, 1.5, 3, 10 mg/L as N, 0.5, 1.0, 3.3, 4.9, 9.9, 32.9 mg.L ⁻¹ as NO ₂)	2 jours (température <6°C)

Annexe 4 : Précipitation et Evapotranspiration annuelles de la commune d'Ikongo mesurées en mm (Année 2013-2015)

	Prec	Prec	Prec	PET	PET	PET
	Best	Low	High	Best	Low	High
	(mm)					
Jan I	79,5	36,38	122,62	38,12	33,89	42,36
JanII	80,05	36,94	123,17	37,5	33,26	41,74
Jan II	88,16	40,73	135,59	40,42	35,76	45,08
Feb I	79,07	38,61	119,54	35,88	32,74	39,02
Feb II	75,43	34,96	115,89	34,91	31,77	38,04
Feb III	56,87	23,49	90,26	27,93	25,34	30,52
Mar I	59,33	15,44	103,22	32,64	28,56	36,72
Mar II	46,73	2,85	90,62	31,2	27,11	35,28
Mar III	36,91	0	85,19	32,56	28,06	37,05
Apr I	22,69	0	50,08	27,92	23,98	31,86
Apr II	15,56	0	42,95	26,21	22,28	30,15
Apr III	11,26	0	38,65	24,37	20,43	28,3
May I	8,84	0	34,07	22,42	18,38	26,45
May II	7,34	0	32,58	20,47	16,44	24,51
May III	6,88	0	34,64	20,48	16,04	24,92
Jun I	5,65	0	36,92	17,13	13,21	21,06
Jun II	5,74	0	37	16,19	12,26	20,11
Jun III	6,48	0	37,75	15,76	11,84	19,69
Jul I	7,59	0	23,74	15,98	11,22	20,56
Jul II	8,52	0	24,67	16,54	11,87	21,22
Jul III	9,6	0	27,37	19,5	14,36	24,64
Aug I	7,95	0	25,61	19,32	14,01	24,64
Aug II	6,61	0	24,27	21,16	15,84	26,47
Aug III	5,93	0	25,35	25,69	19,84	31,54
Sep I	5,19	0	17,26	25,78	20,64	30,93
Sep II	6,4	0	18,48	28,24	23,1	33,39
Sep III	8,95	0	21,03	30,69	25,55	35,84
Oct I	12,65	4,25	21,05	32,94	27,47	38,41
Oct II	17,55	9,15	25,95	34,81	29,34	40,28
Oct III	26,91	17,66	36,15	39,91	33,9	45,93
Nov I	33,62	18,08	49,16	37,33	33,2	41,46
Nov II	44,28	28,74	59,83	38,03	33,9	42,16
Nov III	55,63	40,09	71,17	38,53	34,39	42,66
Dec I	65,84	43,24	88,43	38,81	36	41,63
Dec II	73,33	50,73	95,92	38,86	36,04	41,68
Dec III	85,49	60,63	110,34	42,48	39,38	45,58
Main	32,63	13,94	58,24	29,08	24,76	33,39
<i>Source : Logiciel New_LocClim 1.1</i>						



Graph 10: Courbe de la précipitation et de l'évapotranspiration (Année 2013-2015)

Cette courbe a été obtenue par le Logiciel New_LocClim 1.1.

L'axe des abscisses représente la précipitation par décadaire en (mm) d'unité dans la Commune d'Ikongo.

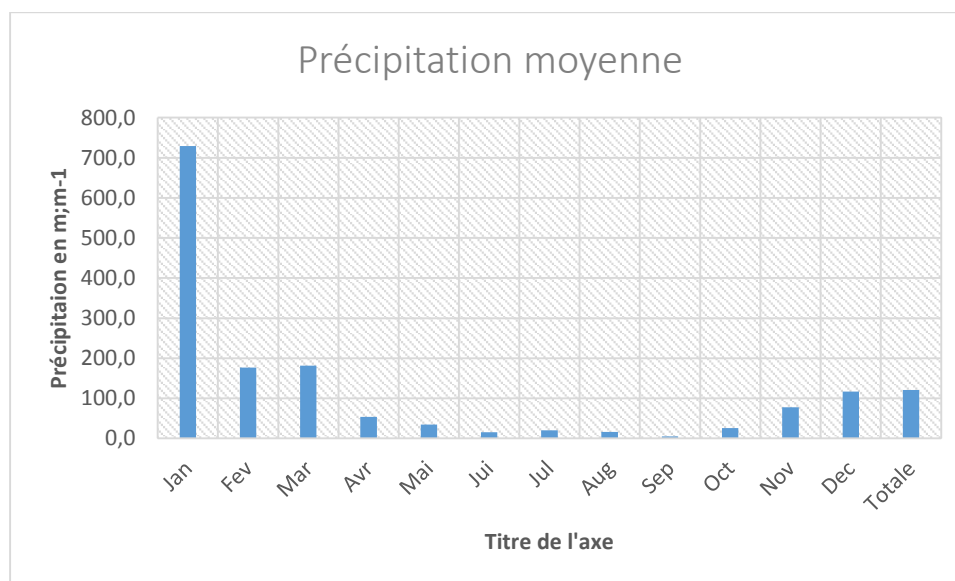
L'axe des ordonnées représente les douze mois de l'année.

La courbe en rouge constitue la courbe de répartition de la précipitation suivant l'année.

La courbe en vert constitue la répartition de l'évapotranspiration suivant l'année.

Tableau 22 : Précipitation annuelle (2009-2016)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
P(2016)	113,7	113,9	235,6	44	67,6	31,9	17,1	6	4,4	54,6	103,2	59,9	70,1
P(2015)	4117,9	194	89,7	27,2	25,5	14,7	7	7,4	4,9	4,8	83,9	219,6	399,7
P((2014)	345,1	235,5	82,1	15,6	24,5	1,1	21	16	17,4	9,9	98,1	169,2	86,3
P(2013)	273,6	240,4	199,2	75,8	41,8	23,3	1,5	11,8	5,4	33,4	78,7	92,7	89,8
P(2012)	273,6	240,4	199,2	75,8	41,8	23,3	1,5	11,8	5,4	33,4	78,7	92,7	89,8
P(2011)	224,4	257,2	151,3	68,6	18,1	0,6	0,8	44,8	2,6	10,8	8,3	132,8	76,7
P52010)	212,7	75,8	363	23	49,1	25,1	53,2	14,1	0,5	6,5	31,2	55,2	75,8
P(2009)	275,8	57,9	133,7	100,2	7,3	4,1	61,1	17,9	2,9	54,9	143,1	110,5	80,8
Moyenne	729,6	176,9	181,7	53,8	34,5	15,5	20,4	16,2	5,4	26,0	78,6	116,6	121,2
Source : Météo, auteur													



Graphe 11 : Histogramme de la répartition annuelle de la précipitation pour la Commune d'Ikongo

Annexe 5 : Bilan Hydrologique et recette de calcul des données relatives du BV

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

Ruissellement $R = K_r \times P$

K_r : coefficient de ruissellement

P : Précipitation en (mm)

Coef. Hum $\frac{(P - ETP_c)}{ETP_c}$

P : Précipitation en (mm)

ETP_c : Evapotranspiration potentielle non corrigée en (mm/mois)

ETP non corrigée $E = 1,6 \left(\frac{10 \times t}{I_t} \right)^\alpha$

$E = ETP_{nc}$: Evapotranspiration potentielle non corrigée en (cm/j)

t : Température en (°C)

I_t : Indice thermique annuel exprimé par la formule :

$$I_t = \sum_{i=1}^{12} i$$

i : Indice thermique mensuel exprimé par : $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$

α : Paramètre fonction de l'indice thermique mensuel exprimé tel que $\alpha = 0,016 I_t + 1/2$

ETP corrigée $ETP_c = C \times ETP_{nc}$

K : Coefficient de correction

ETP_{nc} : Evapotranspiration potentielle non corrigée en (cm.j⁻¹)

DC $DC_i = DC_{i-1} \times D_i$

DC_i : Déficit cumulé du mois i considéré en (mm)

DC_{i-1} : Déficit cumulé du mois précédent en (mm)

D_i : Déficit du mois i considéré en (mm)

ΔS $\Delta S = S_{i-1} - S_i$:

S_{i-1} : Stock du mois précédent

S_i : Stock du mois considéré

ETR Si $P - ETP \geq 0$: $ETR = ETP$

Si $P - ETP < 0$: $ETR = P + \Delta S$

Surplus $S = P - ETR \pm \Delta S = R + I$

I $I \pm \Delta S = P - (ETR + R)$

**Tableau 23: Résultats sur l'évapotranspiration et bilan hydrologique calcul automatique
Thorntwaite et Turc**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
$T_{moy} (^{\circ}C)$	20,7	20,8	20,1	18,8	16,7	14,6	13,9	14,4	16,2	16,9	19,7	20,3	
i	8,6	8,6	8,2	7,4	6,2	5,1	4,7	5,0	5,9	6,3	7,9	8,3	
$ETP_{nc} (cm.j^{-1})$	8,6	8,6	8,1	7,2	5,8	4,5	4,1	4,4	5,5	5,9	7,8	8,3	
$ETP_{nc} (mm.mois^{-1})$	2,8	2,9	2,7	2,4	1,9	1,5	1,4	1,5	1,8	2,0	2,6	2,8	
Kr	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	
$EPTc (mm)$	97,5	86,0	85,1	69,4	55,4	41,3	39,4	43,9	54,6	63,7	84,9	95,0	
$P (mm)$	729,6	176,9	181,7	53,8	34,5	15,5	20,4	16,2	5,4	26,0	78,2	116,6	1454,8
$P-ETP (mm)$	632,1	90,9	96,6	-15,6	-21,0	-25,8	-19,0	-27,7	-49,1	-37,6	-6,7	21,6	638,8
$DC (mm)$				15,6	36,6	62,4	81,4	109,0	158,2	195,8	202,5		
$Stock (mm)$	100,0	100,0	100,0	54,7	30,8	7,9	13,7	8,7	-2,6	20,5	85,0	132,9	
As	0,0	0,0	0,0	-45,3	-23,9	-22,9	5,8	-4,9	-11,4	23,1	64,5	47,9	119,2
$Coef Hum$	6,5	1,1	1,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,5	-0,6	-0,9	-0,6	-0,1	0,2	
ETR	97,5	86,0	85,1	8,5	10,6	-7,4	26,2	11,3	-5,9	49,1	142,7	95,0	598,5
$Surplus en calcul (mm)$	632,1	90,9	96,6	90,6	47,8	45,8	-11,5	9,9	22,7	-46,2	-129,0	-26,3	
$Surplus (mm)$	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	13,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,7
P	R	$+I$	$+E TR$	$\pm AS$									
1454,8	174,6	685,2	598,5	119,2									
Source : Auteur													

Annexe 6 : Calcul des paramètres caractéristiques du bassin versant de Sahalagnary

Superficie et périmètre du bassin versant :

Ils sont obtenus par traçage sur le logiciel GoogleEarthPro d'où :

$P_{BV} = 2,1$ km, P_{BV} : périmètre du bassin hydrologique.

$S_{BV} = 0,25$ km², S_{BV} : surface du bassin hydrologique.

$Z_{\max} = 460$ m

$Z_{\min} = 383$ m

Coefficient de compacité de GRAVELIUS (K) :

$$K = \frac{P_{BV}}{2\sqrt{\pi S_{BV}}} = 0,28 \frac{P_{BV}}{\sqrt{S_{BV}}}$$

$$K = 0,28 \frac{2,1}{\sqrt{0,25}} = 1,18$$

$K > 1$, cela implique que le bassin est de la forme allongée

Longueur du Rectangle Equivalent (Le) :

$$Le = \frac{K\sqrt{S}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{K}\right]^2}\right)$$

$$Le = \frac{1,18}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{1,18}\right]^2}\right) = 0,69 \text{ Km}$$

Pente moyenne du bassin versant (I) :

$$I = 0,95 \frac{(Z_{\max} - Z_{\min})}{Le}$$

$$I = 0,95 \frac{(460 - 383)}{0,69} = 106,78 \text{ m. km}^{-1} = 0,107 \text{ m. m}^{-1}$$

Indice de pente (I_p) :

$$I_p = \sqrt{\frac{I}{1250}}$$

$$I_p = \sqrt{\frac{106,78}{1250}} = 0,29$$

Temps de concentration (t_c) :

L : Le plus long cheminement hydraulique en km

L = 0,9 km

$$t_c = 0,663 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,77}, \quad \text{avec } I \text{ en (m. m}^{-1}\text{)}$$

$$t_c = 0,663 \left(\frac{0,9}{\sqrt{0,107}} \right)^{0,77} = 1,45 \text{ h}$$

Allongement du bassin versant :

$$M = \frac{L}{\sqrt{S_{BV}}}$$

$$M = \frac{0,9}{\sqrt{0,25}} = 1,8$$

M est l'allongement du bassin versant. Ce coefficient est utilisé pour corriger un débit évalué par des formules empiriques dans le cas où le bassin est très allongé ou très ramassé. Par conséquent, le débit du bassin varie à l'inverse de l'allongement.

Calcul du débit du bassin versant :

- Selon la formule de REMENIERAS :

$$Q_{cr,moy} = 1,61 * A^{0,7}$$

$Q_{cr,moy}$: débit moyen de crue en ($m^3.s^{-1}$).

A : la superficie du bassin versant en (km^2).

$$Q_{cr,moy} = 1,61 * 0,25^{0,7}$$

$$Q_{cr,moy} = 1,98 \text{ m}^3.s^{-1}$$

- Selon la formule rationnelle relative au petit bassin versant < 50 ha :

$$Q = 0,167 * C_r * i_T * A$$

Q : débit de pointe en ($m^3.s^{-1}$).

C_r : coefficient de ruissèlement.

i_T : intensité de la pluie en ($\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$)

A : superficie du bassin versant en (ha)

Loi de Montana

$$i_T = a_T * t^{-b_T}$$

i_T : intensité de la pluie en ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$).

$a_T ; b_T$: coefficient fonction de la pluviométrie.

t : durée de l'averse en (mm)

A : superficie du bassin versant en (ha)

$$i_{10} = a_{10} * t^{-b_{10}}$$

$$i_{10} = 1,98 * 18^{-0,26}$$

$$i_{10} = 0,93 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$$

D'où le débit :

$$Q_{10} = 0,167 * C_r * i_{10} * A$$

$$Q_{10} = 0,167 * 0,35 * 1,04 * 25$$

$$Q_{10} = 1,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Avec :

C_r : 0,35 terrain avec taux d'infiltration moyenne et de couverture végétale herbacée à pâturage.

Annexe 7: Calculs et formules pour le procédé de chloration et la préparation de la solution hypochlorite de sodium

Tableau 24 : Quantités des apports de réactifs pour la préparation de la solution hypochlorite

$m_{\text{NaCl,solid}}$ (g)	2000
M_{NaCl} (g.mol⁻¹)	90,5
V_e (L)	35
C_0 (g. L⁻¹)	57,14
T_{el} (h)	10

$m_{\text{NaCl,solid}}$: Masse du sel (NaCl) ajouté (g)

M_{NaCl} : Masse molaire du NaCl

V_e : Volume d'eau ajoutée dans la bache de chloration (L)

C_0 : Concentration de la saumure (g. L⁻¹)

t_{el} : Temps d'électrolyse du NaCl (h)

Q_{eau} : Débit volumique de l'eau (L.s⁻¹)

Q_{chlore} : Débit volumique du chlore (L.s⁻¹)

$F_{m,\text{Cl}}$: Flux massique en chlore (mg.s⁻¹)

$Q_{\text{eau}}/Q_{\text{chlore}}$: Rapport du débit volumique de l'eau et le débit volumique du chlore

$V_{\text{eau}}/V_{\text{chlore}}$ pour 100 ml : Rapport du Volume d'eau et volume du chlore ajouté (mL.mL⁻¹)

t_{ep} : Temps d'épuisement du chlore (h)

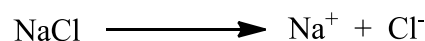
$[\text{Cl}]_{\text{act}}$: Concentration du chlore théoriquement formé (mol.L⁻¹)

$n = m/M$: Nombre de mole (mol)

$C_{\text{réelle, chlore}}$: Concentration réelle en chlore formé (mol.L⁻¹)

$[\text{Cl}]_{\text{tot, res}}$: Concentration du chlore total dans le réservoir (mg.L⁻¹)

Réaction de dissociation de NaCl :

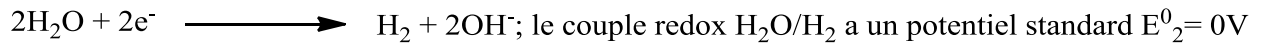


Par hypothèses les électrodes inertes de graphites sont utilisées. Par conséquent les espèces chimiques présentes dans l'eau sont: H₂O, Na⁺, Cl⁻

D'où :

- Réactions de réduction à la cathode :

Réactions électrochimiques :

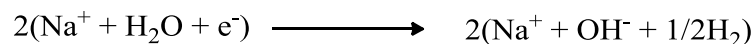


La deuxième réaction aura lieu à la cathode car $E_1^0 < E_2^0$

Réaction chimique :

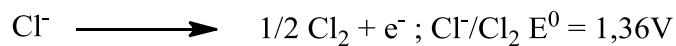


Réaction bilan :

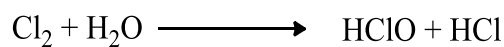


- La réaction d'oxydation à l'anode :

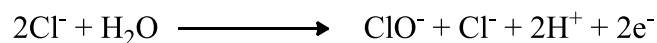
Réactions électrochimiques :



Réaction chimique :

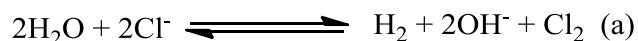


Réaction bilan :

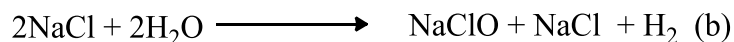


Réactions bilans globales au niveau des électrodes :

Réaction électrochimique globale :

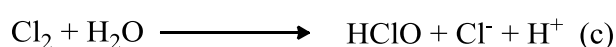


Réaction chimique globale :

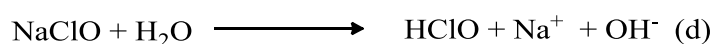


À partir des réactions bilans globales, des réactions rapides du chlore gazeux et d'hypochlorite avec l'eau auront lieu pour former de l'acide hypochloreux (HClO).

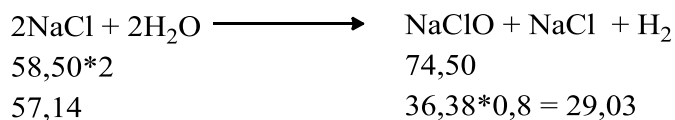
Action du chlore gazeux (diminution du pH) :



Action de l'hypochlorite de sodium (augmentation du pH) :



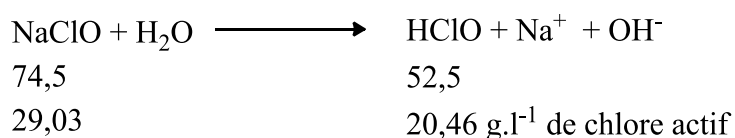
A partir de la réaction chimique globale (b), il faut calculer la concentration de NaClO.



Avec 0,8 = rendement de l'électrochlorateur

$$[\text{NaClO}] = 29,03 \text{ g.l}^{-1} = \text{Concentration réelle d'Hypochlorite de Sodium formé}$$

La réaction (d) aura lieu au moment de la chloration.

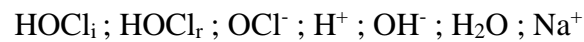


$$[\text{HClO}]_i = 20,46 \text{ g.l}^{-1} \text{ concentration de chlore actif}$$

A partir de la réaction (d) il y aura eu lieu la réaction de dissociation de HClO :



- Bilan des espèces chimiques :



- Règle de l'électro-neutralité :

$$[\text{H}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OCl}^-] + [\text{OH}^-]$$

- Conservation des matières :

$$n(\text{HOCl}) = n(\text{H}^+) + n(\text{OCl}^-)$$

$$V[\text{HOCl}] = V[\text{H}^+] + V[\text{OCl}^-]$$

$$[\text{HOCl}] = [\text{H}^+] + [\text{OCl}^-]$$

- Exploitation du K_e :

$$K_e = 10^{-14} = [\text{H}^+].[\text{OH}^-]$$

- Exploitation du pH

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

Exploitation de la conservation de matière

$$Q_{[\text{NaClO}]} \cdot C_{[\text{NaClO}]} = Q_{\text{eau}} \cdot C_i$$

D'où

$$V_{[\text{NaClO}]} \cdot C_{[\text{NaClO}]} = V_{\text{eau}} \cdot C_i$$

$$C_i = \frac{V_{[\text{NaClO}]} \cdot C_{[\text{NaClO}]}}{V_{\text{eau}}}$$

Tableau 25 : Caractéristiques de la pompe Dosatron D45RE15 et procédé de chloration

Dilution Range:	1:500 to 1:66 (.2% to 1.5%)
Water Flow Range:	.4 to 20 GPM
Operating Pressure Range:	7 to 70 PSI
Available Housing Materials:	Polyacetal (Standard Blue)
Dimensions:	24" x 7 1/2"
Weight:	8 lbs
Connection Size:	1" NPT
Maximum Temperature:	104° F
Included Accessories:	6 ft clear suction tube, strainer, weight, mounting bracket and operating manual
Recommended Accessories:	200 mesh filter, check valve, pressure regulator, flow restrictor.



Tableau 26 : Fonctionnement de la pompe Dosatron avec les flux massiques du chlore

Q_{eau}	(L.s⁻¹)	1,25
Q_{chlore}	(L.s⁻¹)	0,01
F_{m,NaClO}	(mg.s⁻¹)	308,44
Q_{eau}/Q_{chlore}		117,65
V_{eau}/V_{chlore} ajouté pour 100 ml		100/0,85
t_{ep} (h)		0,92
[NaClO]	(mol.L⁻¹)	0,39
	(g.L⁻¹)	29,03
	(mg.L⁻¹)	29030,00
[HClO]_{act}	(mg.L⁻¹)	20457,38
	(mol. L⁻¹)	0,39

Annexe 8 : Etudes et calculs hydrochimiques de l'eau

Le logiciel DIAGRAMME version 6. 48 est un logiciel d'hydrochimie multi langage en distribution libre par Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

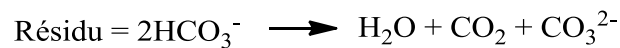
Dans les diagrammes hydrochimiques, l'unité adoptée est les milliéquivalent par litre (Meq.L⁻¹).

Mode de calcul et approximation utilisés:

$$\text{Balance} = 100 \frac{[\text{Cations}] - [\text{anions}](\text{Meq})}{[\text{Cations}] - [\text{anions}](\text{Meq})}$$

$$\text{TDS} = \sum [\text{Cations}] + \sum [\text{Anions}] + \text{SiO}_2$$

Avec SiO₂ résidu sec à 180°C



Perte = 31mg/Meq de HCO₃⁻.

Indice d'échange de base selon Schöeller :

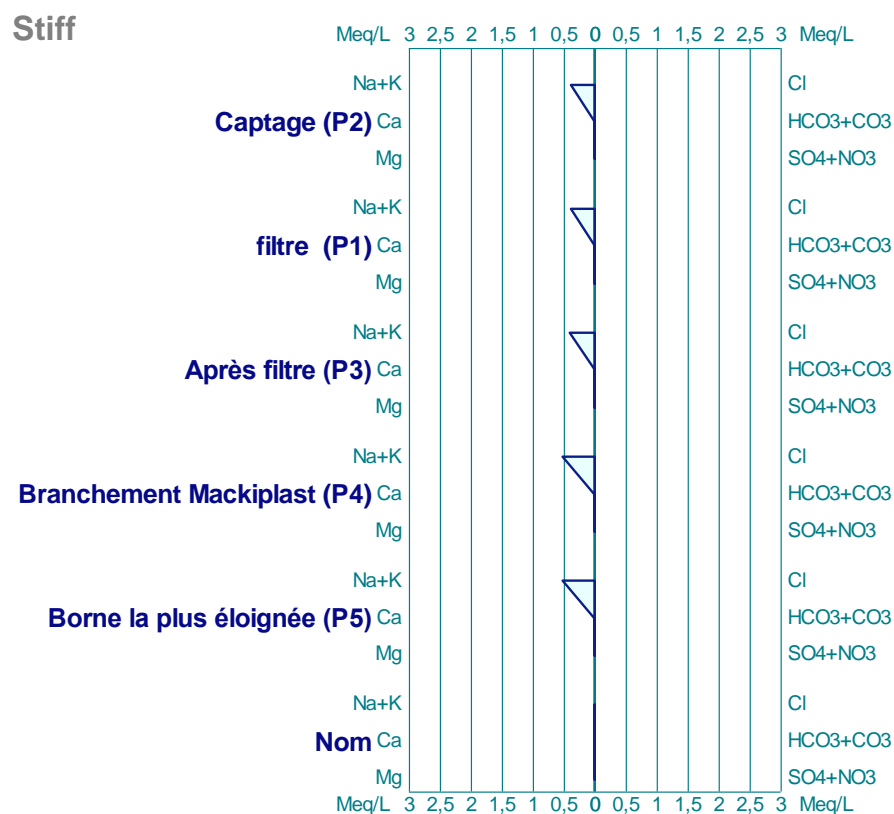
$$I_b = 100 \frac{[\text{Cl}^-] - ([\text{Na}^+] + [\text{K}^])(\text{Meq}^{-1})}{[\text{Cl}^-]}$$

Activité résiduelle calcite : [HCO₃⁻] – [Ca²⁺] (Meq.L⁻¹)

Activités résiduelles calcite et magnésique : [HCO₃⁻] – [Ca²⁺] – [Mg²⁺] (Meq.L⁻¹)

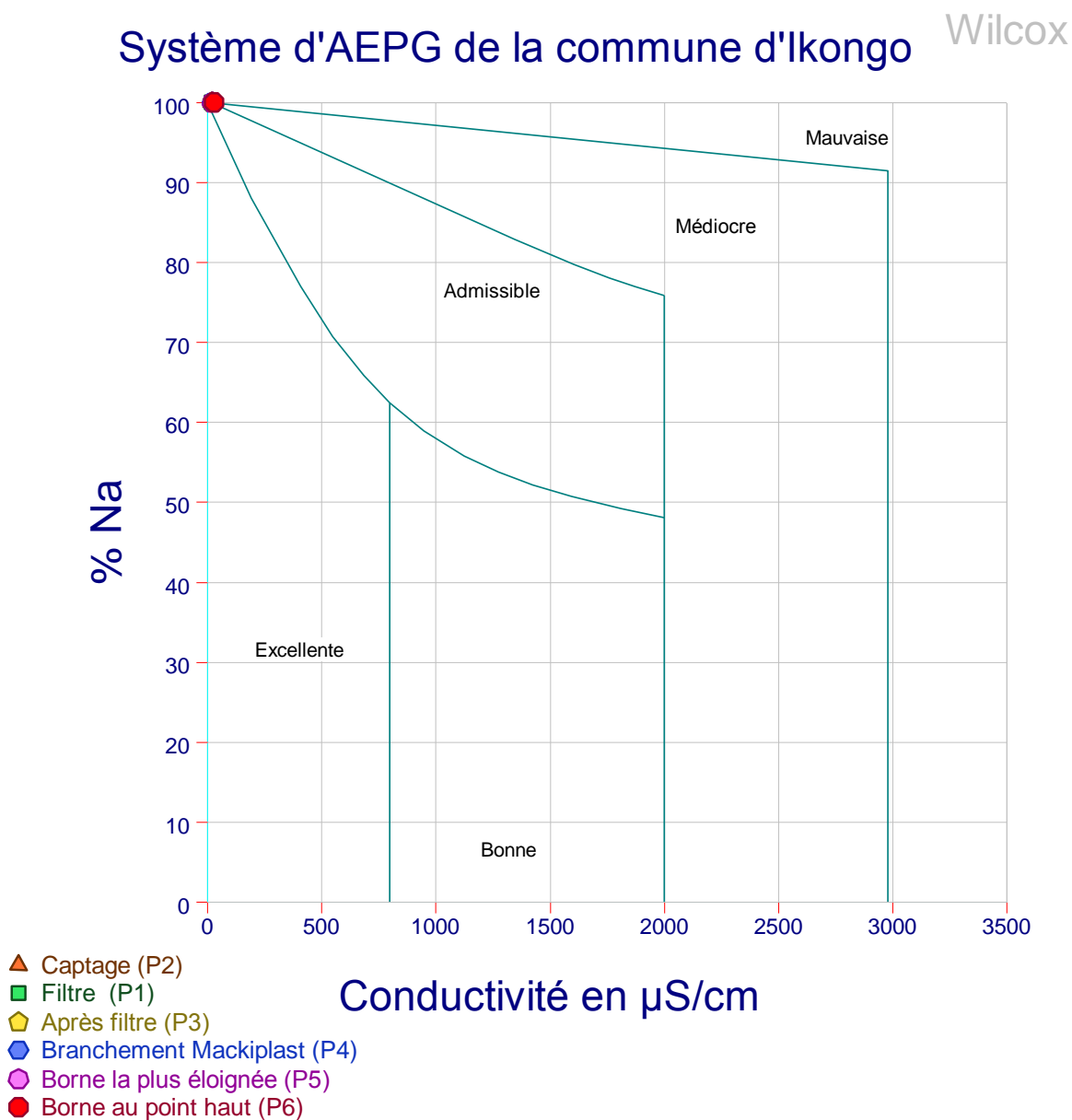
Résiduel alcalino-terreux : ([C²⁺] + [Mg²⁺]) – ([Na⁺] + [K⁺]) % (Meq.L⁻¹)

Système d'Adduction d'Eau Potable de la commune d'Ikongo

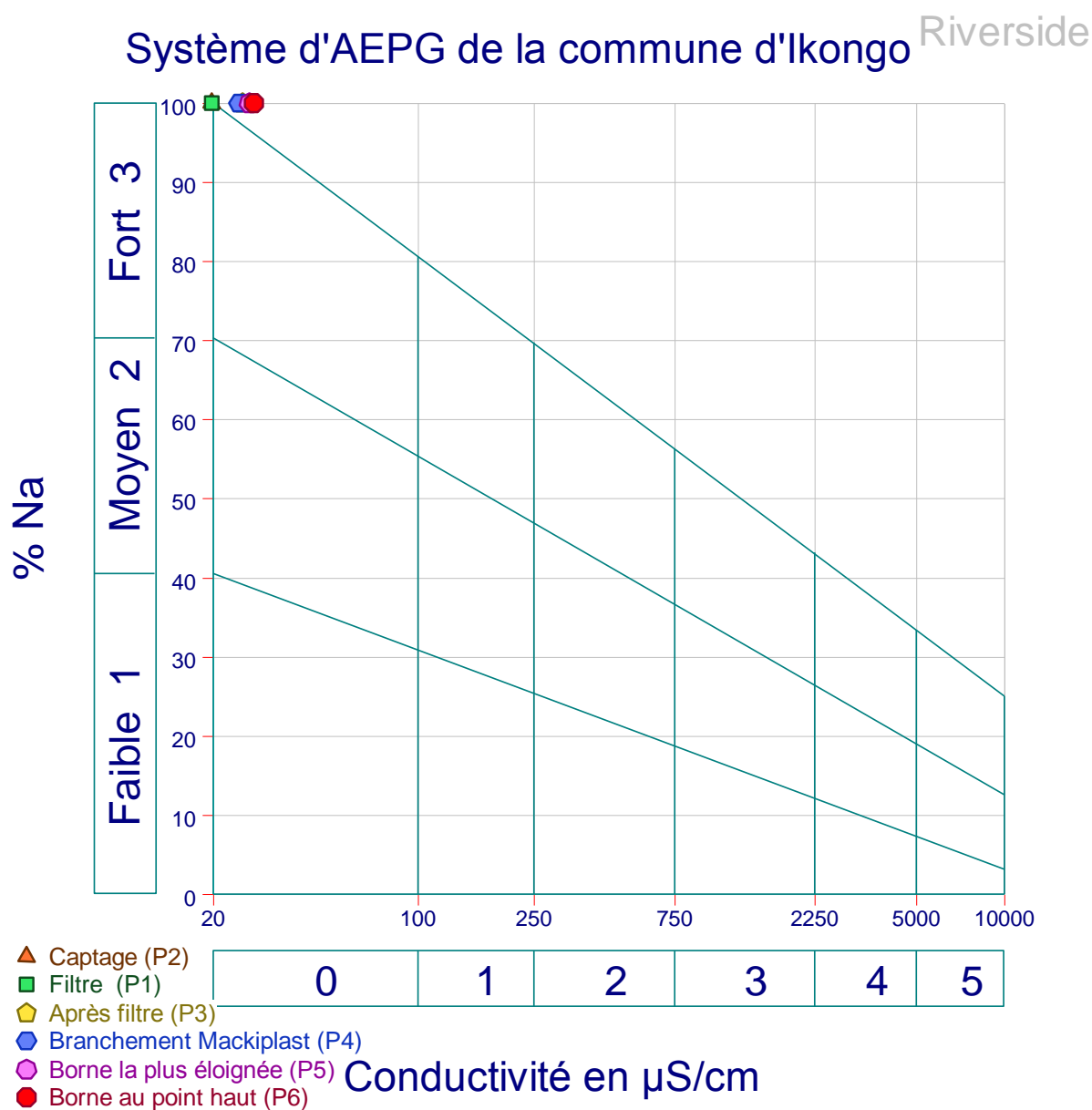


Graph 12 : Diagramme de Stiff du système d'AEPP de la Commune d'Ikongo

Le diagramme de Stiff montre que l'eau au niveau du système a tendance à être cationique, d'une part, grâce à la présence des ions calcium (Ca^{2+}) et sodium (Na^{2+}) et d'autre part grâce à l'absence des ions chlorures (Cl^-) et ions nitrate (NO_3^{2-}).

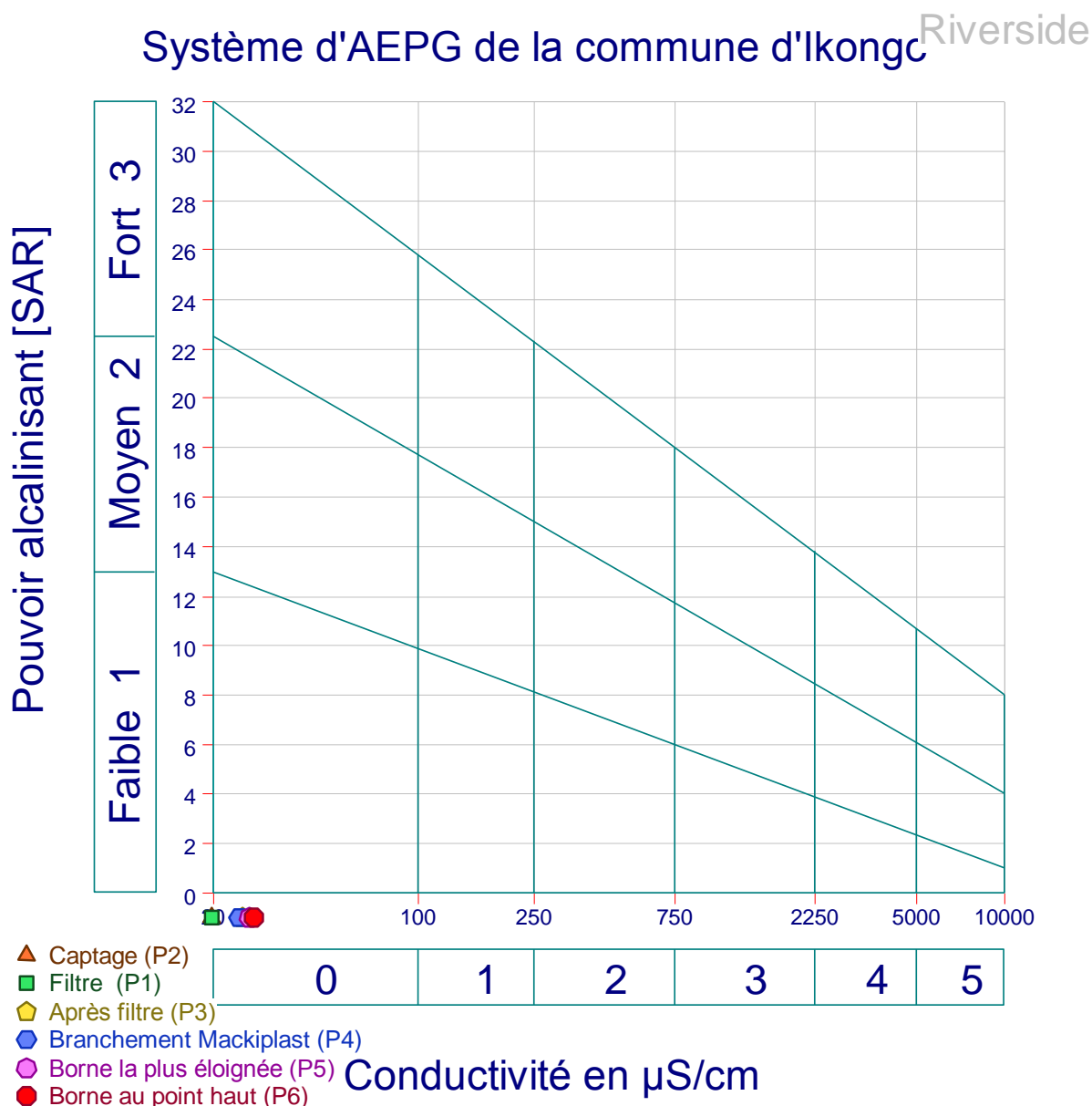


Graphe 13 : Diagramme de Wilcox du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo



Graphe 14 : Diagramme de Riverside en pourcentage des ions natrium dans l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo

Ce graphe montre que le pourcentage des ions natrium (Na^+) est majoritaire par contre son influence sur la conductivité de l'eau du système est minime.



Graphe 15 : Diagramme de Riverside en pouvoir alcalinisant des espèces chimiques de l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo

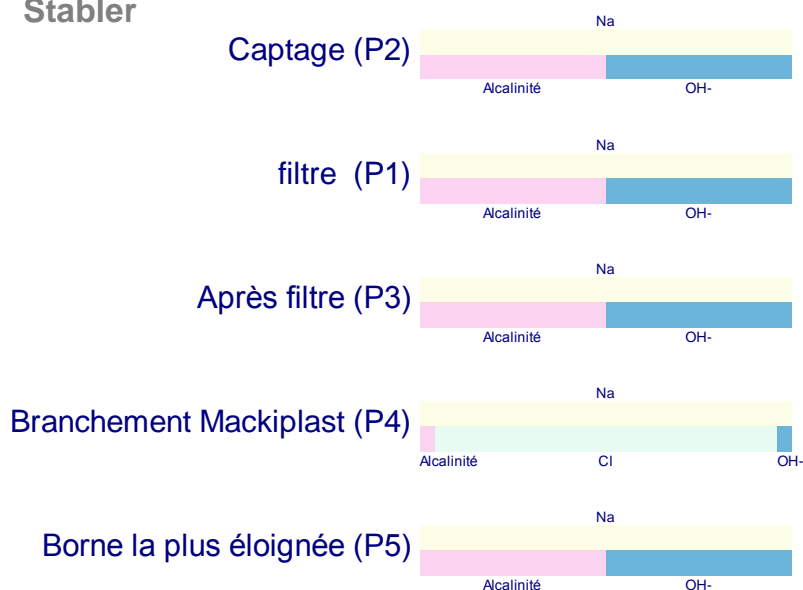
Le pouvoir alcalinisant des espèces chimiques de l'eau au niveau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo est faible compte tenu de ses conductivités.

D'où la formule du pourvoir alcalinisant notée (SAR) :

$$SAR = \frac{[Na^{2+}]}{SQR \left[\left(\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2} \right) \right]}$$

Alcalinité de l'eau au niveau du système d'AEPG d'Ikongo

Stabler



Nom

Graphe 16 : Diagramme de Stabler de l'eau du système d'AEPG de la Commune d'Ikongo

Le diagramme de Stabler représente la contribution de chaque espèce ionique à la somme cationique. Visiblement, pour chaque point d'analyse la dominance des cations est marquée par la présence des ions natriums.

Tableau de conversion

	mmol.L ⁻¹	mol.L ⁻¹	Meq.L ⁻¹	ppm de CaCO ₃	°f
mmol.L ⁻¹	1,00	10 ⁻³	2,00	100	10,0

Annexe 9 : Mode de calcul de la vulnérabilité des paramètres qualitatifs de l'eau au niveau de la ressource en eau et au niveau du traitement et distribution d'eau du système AEPG de la Commune d'Ikongo

Dans le mode calcul, pour avoir un nombre vulnérabilité (*Vul*) nombre fini des hypothèses sont données :

Hypothèse 1 :

$Vul < 1 \Leftrightarrow$ Le système étudié n'est pas vulnérable

$Vul \geq 1 \Leftrightarrow$ Le système est vulnérable

Pour que *Vul* soit un nombre fini tel que *Vul* appartienne au domaine des nombres réels, pose l'hypothèse 2

Hypothèse 2 :

$$Vul = \frac{R}{Cap} \Leftrightarrow Vul = \frac{R+0,00001}{Cap+0,00001}$$

Pour le calcul de la vulnérabilité de la qualité de l'eau fournie par le système d'Adduction d'Eau Potable nous admettons l'hypothèse 3

Hypothèse 3 :

R : % Nb_{Anorm} = pourcentage des résultats d'analyse en dehors de la normalité malagasy

Cap : % Nb_{Norm} = pourcentage des résultats d'analyses répondues aux normes malagasy

Nb_{nvul} : Nombre des paramètres non vulnérables

Nb_{Vul} : Nombre des paramètres vulnérables

% Nb_{Vul} : Pourcentage des paramètres non vulnérables

Tableau 27 : Calcul de la vulnérabilité des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'eau au niveau de la ressource en eau

Ressource en eau								
	Nb d'analyse	Nb _{norm}	% norm	% Anorm	% norm	vul	Nb _{nvul}	Nb _{Vul}
Paramètres organoleptiques								
Odeur	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
Couleur	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
Aspect	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
Paramètres physico-chimiques								
Turbidité	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
T	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
pH	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
Conductivité	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
TH	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
NO ₃ ⁻	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
NO ₂ ⁻	3	3	100	0,00001	100,000 01	0,00	1	0
Paramètres microbiologiques								
[E.Coli]	2	0	0	100,0000 1	0,00001	10000 001,00	0	1
Total							10	1
%Nb _{Vul}							10,00	

Tableau 28 : Calcul de la vulnérabilité des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'eau au niveau du traitement et distribution d'eau

Traitement et distribution								
	Nb d'analyse	Nb _{norm}	% norm	% Anorm	% norm	vul	Nb _{nvul}	Nb _{vul}
Paramètres organoleptiques								
Odeur	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
Couleur	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
Aspect	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
Paramètres physico-chimiques								
Turbidité	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
T	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
pH	8	8	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
Conductivité	6	6	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
TH	6	5	83,33	16,67	83,33	0,20	1	0
NO₃⁻	6	5	83,33	16,67	83,33	0,20	1	0
NO₂⁻	5	5	100	0,00001	100,00 001	0,00	1	0
Paramètres microbiologiques								
[Cl]_{re,lib}	7	0	0	100,0000 1	0,0000 1	100000 01,00	0	1
[E.Coli]	1	0	0	100,0000 1	0,0000 1	100000 01,00	0	1
Total							10	2
%Nb_{vul}							16,66	

Annexe 10: Appellation et nomenclature usuelles des produits chlorés

Appellation	Synonymes	Composition	Formules
Chlore libre	Chlore libre total	Acide hypochloreux Ion hypochlorite Chlorocyanuriques Chlore (1)	HOCl ClO^- CLCy Cl_2
Chlore actif (2)	Chlore libre actif Chlore réellement libre	Acide hypochloreux Chlore (1)	HOCl Cl_2
Chlore total	Chlore résiduel total	Acide hypochloreux Ion hypochlorite Chlorocyanuriques Chlore (1) Chloramines	HOCl ClO^- CLCy Cl_2 NH_2Cl NHCl_2 NCl_3
Chlore total	Chlore résiduel total	Acide hypochloreux Ion hypochlorite Chlorocyanuriques Chlore (1) Chloramines	HOCl ClO^- CLCy Cl_2 NH_2Cl NHCl_2 NCl_3
Chlore combiné	Chloramines	Chloramines minérales et organiques	NH_2Cl NHCl_2 NCl_3 $\text{NR}_n\text{Cl}_{3-n}$

Annexe 11 : Calcul du volume moyen à partir de la variation du niveau moyen de l'eau dans le réservoir collecté par le transducteur Rugged TROLL 100 (6 juin 2014-06 septembre 2015)

D'abord, les données collectées par le transducteur Rugged TROLL 100 ont été extraites par le biais du logiciel WinSitu.exe. Les données sont ensuite exploitées et analysées par le logiciel Microsoft Excel. Ensuite, elles ont été exploitées intégralement durant cette période indiquée, donc n'excluant pas les temps de réparation, les temps de coupure de l'eau ainsi que les temps de cassure des tuyaux principaux.

Calcul du niveau d'eau moyenne dans le réservoir noté ($n_{i,moy}$) :

La somme ($\sum n_i$) des niveaux d'eau (n_i) au temps (t_i) obtenue depuis l'année 2014 jusqu'à l'année 2015 sera divisée sur la fréquence des pics des (n_i) notée (N_i), avec $N_i = 744$. N_i correspond au nombre de fois de la détection de la hauteur de l'eau dans le réservoir au temps t_i .

$$n_{i,moy} = \frac{\sum n_i}{N_i}$$

N_i : Nombre des niveaux de l'eau au temps t_i (sans dimension)
 $\sum n_i$: Somme des niveaux de l'eau pour tout temps t_i (en m)
 $n_{i,moy}$: Niveau d'eau moyen au temps t_i (en m)

Calcul de la surface du réservoir 90 m³ :

$$S_r = r^2 \cdot \pi$$

r : Rayon du réservoir du stockage d'eau (en m)
 S_r : Surface du réservoir stockage d'eau (en m²)

$$S_r = (3,1)^2 * 3,14$$

$$S_r = 30,18 \text{ m}^2$$

Calcul du volume moyen :

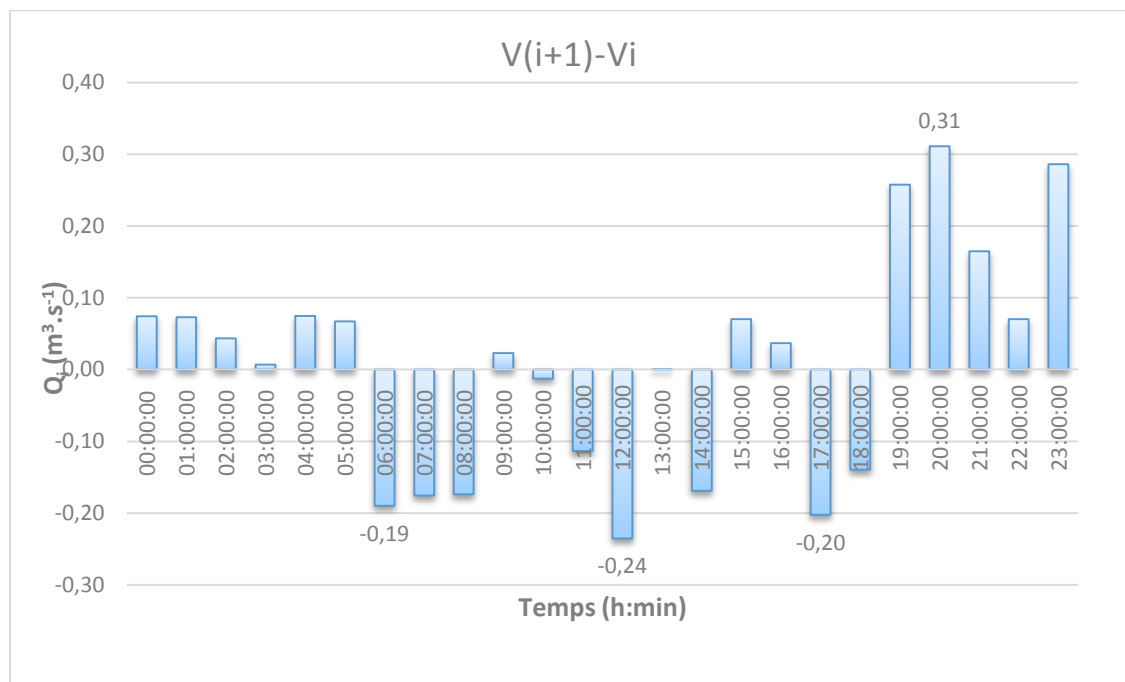
$$V_{i,moy} = n_{i,moy} \cdot S_r$$

$V_{i,moy}$: Volume moyen d'eau au temps t_i (en m³)

Tableau 29 : Résultats de calculs par les données collectées par le transducteur Rogged Troll

100

Temps	$\sum n_i$	$n_{i,moy}$	$V_{i,moy}$	$V_{(i+1)}-V_i$	$Q_{i,moy}$
(h:min)	m	m	m ³	m ³	m ³ .h ⁻¹
00:00:00	1390,19	1,869	37,19	0,074	0,074
01:00:00	1391,99	1,871	37,36	0,073	0,073
02:00:00	1393,07	1,872	37,47	0,044	0,044
03:00:00	1393,24	1,873	37,58	0,007	0,007
04:00:00	1395,08	1,875	37,66	0,075	0,075
05:00:00	1396,73	1,877	37,73	0,067	0,067
06:00:00	1392,05	1,871	37,77	-0,190	-0,190
07:00:00	1387,73	1,865	37,31	-0,175	-0,175
08:00:00	1383,44	1,859	36,84	-0,174	-0,174
09:00:00	1384,00	1,860	36,90	0,023	0,023
10:00:00	1383,69	1,860	37,14	-0,013	-0,013
11:00:00	1380,89	1,856	37,06	-0,114	-0,114
12:00:00	1375,08	1,848	36,87	-0,235	-0,235
13:00:00	1375,10	1,848	36,70	0,001	0,001
14:00:00	1370,94	1,843	36,57	-0,169	-0,169
15:00:00	1372,68	1,845	36,55	0,070	0,070
16:00:00	1373,58	1,846	36,44	0,037	0,037
17:00:00	1368,60	1,840	36,05	-0,202	-0,202
18:00:00	1365,16	1,835	35,72	-0,139	-0,139
19:00:00	1371,51	1,843	36,10	0,258	0,258
20:00:00	1379,17	1,854	36,27	0,311	0,311
21:00:00	1383,24	1,859	36,44	0,165	0,165
22:00:00	1384,97	1,862	36,67	0,070	0,070
23:00:00	1392,02	1,871	36,99	0,286	0,286



Graphe 17 : Histogramme de la variation du débit moyen par jour de la demande en eau et de l'alimentation en eau du réservoir

Annexe 12 : Protocole d'analyse d'E. Coli par CBT

CBT Kit Components:



100 mL sample bottle in CBT I Kit



100 mL Thio Bag in CBT II Kit



E. coli growth medium



Compartment bag

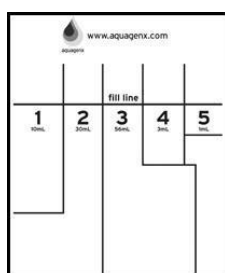


Seal clip



Chlorine tablets in CBT I Kit

Les volumes du Compartment Bag Test (CBT) et le substrat (growth medium) d'E. Coli.



Le CBT est composé de cinq compartiments de différents volumes dont la somme est égale à 100 mL

1= 10 mL

2= 30 mL

3= 56 mL

4= 3 mL

5= 1 mL



Le substrat de l'E.Coli contient un substrat chromogénique: 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-beta-D-glucuronic acid (X-Gluc)

Comment utilisé le CBT?

ETAPE 1:

Collecter 100 mL d'échantillon d'eau avec le Thio Bag.



ETAPE 2:

Additionner le substrat d'*E. Coli* dans le thio bag. Attendez 15min pour que le substrat soit dissous dans l'échantillon, puis retirer le reste du substrat non dissous. Verser ensuite l'échantillon obtenue après le mélange dans le Compartiment Bag (CB) sans dépassée 30min.

ETAPE 3:

Délicatement, introduit cette échantillon préparée dans l'incubateur pendant une période d'incubation adéquate. Le temps incubation varie avec la température ambiante du milieu. Il est montré ci-dessous que le période d'incubation dépend de la température environnante.

35-44°C : incubé 20-24 heures

31-34°C : incubé 24-30 heures

25-30°C : incubé 40-48 heures

ETAPE 4:

Procéder au scoring en utilisant le tableau de MNP voir ***Annexe 13 pA36***. Les compartiments contenant un liquide en bleu ou en vert ou présente une précipitation, indique un test positif.

**Annexe 13 : Tableau des nombres les plus probables basés sur la méthode adoptée par CBT
pour le dénombrement d'E. Coli**

Compartment #					MPN/100mL	Upper 95% Confidence Interval/100mL	Health Risk Category Based on MPN and Confidence Interval
1	2	3	4	5			
10mL	30mL	56mL	3mL	1mL			
					0.0	2.87	Low Risk/Safe
					1.0	5.14	Intermediate Risk/
					1.0	4.74	
					1.1	5.16	
					1.2	5.64	
					1.5	7.81	
					2.0	6.32	
					2.1	6.85	
					2.1	6.64	
					2.4	7.81	
					2.4	8.12	
					2.6	8.51	
					3.2	8.38	
					3.7	9.70	
					3.1	11.36	Intermediate Risk/
					3.2	11.82	
					3.4	12.53	
					3.9	10.43	
					4.0	10.94	
					4.7	22.75	
					5.2	14.73	
					5.4	12.93	
					5.6	17.14	
					5.8	16.87	
					8.4	21.19	
					9.1	37.04	
					9.6	37.68	
					13.6	83.06	High Risk/Possibly Unsafe
					17.1	56.35	
					32.6	145.55	High Risk/Probably Unsafe
					48.3	351.91	
					>100	9435.10	Unsafe

Annexe 14: Analyse d'E. Coli par CBT au niveau du système AEP de la Commune d'Ikongo



Photo 4 : Résultat d'analyse par CBT sur échantillon blanc

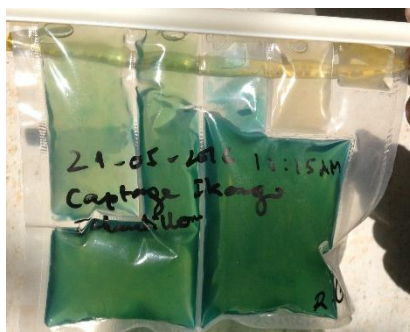


Photo 3 : Résultat d'analyse par CBT au niveau du captage

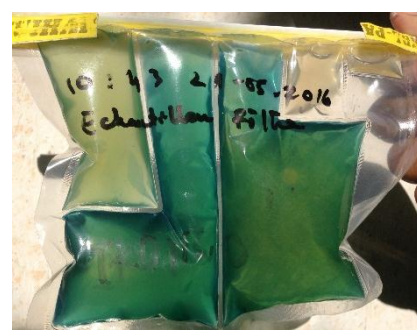


Photo 2 : Résultat d'analyse par CBT au niveau du filtre



Photo 5 : Résultat d'analyse par CBT à la borne la plus éloignée (P₅)

Les photos 12, 13, 14 montrent un virement de couleur des compartiments du CBT en vert d'être par rapport à l'échantillon de référence photo 11 (échantillon blanc).

Annexe 15 : SIT (Site Indicator Tools CRS Madagascar)

Information générale	Information géographique	Commune District Région Projet Longitude Latitude	: Ikongo : Ikongo : V7V : RanoHP : E 47°26'09,29'' : S 21°52'42,67''
	Accessibilité	Distance routière (Km) de : Capital (Antananarivo) Capital de région Distance longueur de la route principale Distance route principale non revêtue d'Ikongo-Tolongoina Distance de la route secondaire non revêtue Capital de district Distance de la route principale revêtue Distance de la route principale non revêtue Distance de la route secondaire non revêtue Grande ville/ de la Commune la plus proche Distance de la route principale revêtue Distance de la route principale non revêtue Distance de la route secondaire non revêtue Y a-t-il un bus qui relie de la Commune ? Accessible par la voiture toute l'année / saisonnier Rivière à côté du site ? accessible par rivière ? Accessible par train ?, bateau ? avion ?	: 577km : 136km : 92km : 92km : 46km : - : - : 0km : 0km (ikongo capital district) : 0km (Mangarivotra) : 0km : 0km : 0km : 0km : Non : Saisonnier : Oui mais difficile en saison pluviale : Oui : Rien
	Construction originale	Réhabilitation ou construction par CRS ? si la réhabilitation : Année de la construction du système réhabilité Organisation qui a construit le système réhabilité Les parties de l'ancien système utilisées pour la réhabilitation Y avait-il d'autres systèmes précédents ?	Réhabilitation : 1998 : SANDANDRANO : BV/ancien captage/ bassin de filtration/ tuyaux : Oui

	Etude Construction / Gestion	Entreprise qui a fait l'étude Date qu'elle a fait l'étude Horizon du projet (ans) Entreprise qui a construit / réhabilité le système avec CRS Date de construction / réhabilitation Partenaire de la réalisation Entreprise / organisation qui gère le système Date du commencement de la gestion Information de contact PPP marche-t-il ?	: SANDANDRANO : Novembre 2010 : 20 ans : SANDANDRANO : 2011 : : SERTRANO : Octobre 2013 : : Oui
--	------------------------------------	---	--

	Complexité du système	<p>Type de système : AEPG</p> <p>Nombre de réservoir de stockage : 03</p> <p>Capacité effectif du (des) réservoir(s) (m³) : 90m³</p> <p>Nombre de réservoir brise charge : 0</p> <p>Transducteur installé ? : Rogged Troll 100</p> <p>Date du donné du transducteur disponibles : 6 juin 2014-11 mars 2015</p> <p>Longueur du tuyau principal (km) : 2,6km</p> <p>Type du tuyau utilisé (PEHD, PVC, Acier...) : PEHD et PVC</p> <p>Changement en élévation / altitude : source au réservoir de stockage (m) : 384m/captage ; 375m/R₁ ; 353m/R₂ ; 285m/R₃</p> <p>Changement en élévation / altitude : réservoir au centre de la communauté (m)</p> <p>Changement en élévation / altitude : réservoir au point moins favorable (m)</p> <p>#branchement au début de la gestion :</p> <p>Privé ? : 265m</p> <p>Sociaux ? : 261m</p> <p>Publique ? : 260m</p> <p>Autre ? : –</p> <p>Monobloc ?</p> <p>#branchement au présent :</p> <p>Branchement privé ?</p> <p>Ménage ?</p> <p>Usager ?</p> <p>Moyens ?</p> <p>Moyen d'usagers / branchement</p> <p>#branchement sociaux</p> <p>Ménages</p> <p>Usagers</p> <p>Moyen d'usagers / branchement</p> <p>#branchement publics</p> <p>Ménages</p> <p>Usagers</p> <p>Moyen d'usagers / branchement</p> <p>#Branchement autre</p> <p>Ménages</p> <p>Usagers</p> <p>Moyen d'usagers / branchement : 261m</p> <p>#monobloc :</p> <p>Taux de croissance annuelle de branchements (%)</p> <p>#moyen de branchement nouveaux ajouté chaque mois</p>	
--	-----------------------	--	--

	Météo	<p>Saltation synoptique (de météorologie) plus proche</p> <p>Pluviométrie (mm)</p> <p>Mois avec le niveau de pluie le plus haut</p> <p>Plus haut pluviométrie / mois (mm)</p> <p>Mois avec la température la plus élevée</p> <p>Température moyen du mois plus chaud (°C)</p> <p>Mois avec de la pluie plus bas</p> <p>Plus bas pluviométrie par mois (mm)</p> <p>Mois avec la température le plus bas</p> <p>Température moyen du mois plus froid (°C)</p>	<p>: Station Fianarantsoa, Indicatif 67137</p> <p>: Jan 729,6mm</p> <p>:</p> <p>: 26,2°C</p> <p>: 20,7°C</p> <p>: Septembre 05,4mm</p> <p>:</p> <p>: 9,9°C</p> <p>: 13,9°C</p>
	Population et classification administrative	<p>Classification MID (Commune urbaine/rurale 1ere catégorie/2eme degré)</p> <p>Population plus récente de la Commune</p> <p>Superficie de la Commune</p> <p>Densité de la population (x /km²)</p> <p>Nombre moyen de personne dans un ménage</p> <p>Nombre du Fkt dans la Commune</p> <p>Nombre du Fkt desservi par le système</p> <p>Effectif de la population plus récente des Fkt desservie :</p> <p>Fkt 1 :</p> <p>Eff Population 1 :</p> <p>Fkt 2 :</p> <p>Eff population 2 :</p> <p>Classement de taille de localité – chef-lieu</p> <p>Taux de croissance de la population</p> <p>Nombre de personnes desservis par le système</p> <p>% de la population qui utilise le système dans la zone desservi (présentement)</p>	<p>: urbaine 2eme Catégorie</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:06</p> <p>:</p> <p>:34</p> <p>:02</p> <p>: 4721</p> <p>:</p> <p>: Mnagarivotra</p> <p>:</p> <p>: Ambatoharanana</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p>
	Données Fararano, revenu et scolarisation	<p>% dans les Fkt desservis rapportés (donnée enquêtes fararano) :</p> <p>Une source améliorée comme ma source principale de l'eau à boire</p> <p>L'eau du branchement / système comme la source principale de l'eau à boire</p> <p>Possession d'une radio</p> <p>Une activité génératrice de revenu principale qui n'est pas l'agriculture</p> <p>% des membres dans la communauté qui ont reçu les prêts de microfinance</p> <p>Taux d'alphabétisation</p>	<p>:8,82%</p> <p>:</p> <p>:19% de la population</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p>

	Rôles et responsabilités	<p>Le contrat existe-il ? si oui, est-ce que il est signé par la (la) :</p> <p>Gestionnaire ?</p> <p>Commune ?</p> <p>Ministère ?</p> <p>Est-ce que la gestionnaire a une copie du contrat ?</p> <p>Est-ce que la commune a une copie de du contrat ?</p> <p>Durée du contrat (année)</p> <p>Type du contrat (affermage, affermage concessif, ...)</p>	<p>: Contrat communautaire et communale avec l'entreprise gestionnaire</p> <p>: Oui</p> <p>: Oui</p> <p>: _</p> <p>: PPP</p> <p>:</p>
Financière	Contributions et support externe	<p>Coût total de construction /réhabilitation (Ar)</p> <p>Est-ce que la communauté a fait une contribution au projet ? si oui : quelle type de contribution (argent, matériaux, autres) ?</p> <p>Valeur totale de la contribution (Ar)</p> <p>% de la contribution de l'entreprise du coût totale</p> <p>Est-ce que la gestion n'a pas reçu de la financement/subversion : support depuis le début ?</p> <p>Si non, quelle est la valeur totale de cette subvention externe ?</p> <p>Est-ce que le gestionnaire a jamais investi dans le système depuis le début ?</p> <p>Si oui, quelle est la valeur totale de l'investissement ?</p>	<p>:</p> <p>:</p> <p>: Non</p> <p>: _</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>: a reçu une subvention</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>:</p> <p>:</p>
	Paiement et collecte du tarif	<p>Est-ce que l'eau est payante ?</p> <p>Avec quelle fréquence les usagers payent l'eau ?</p> <p>Payent-ils par mètre cube, ou tarif forfaitaire, ou autre manière ?</p> <p>Taxe / redevances comme % de paiement</p> <p>Est-ce que les taxes /redevances sont payés régulièrement ?</p>	<p>: Oui</p> <p>: Mensuelle</p> <p>:</p> <p>: Par mètre cube</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p>
	Tarif	<p>Quelle est le tarif pour le branchement :</p> <p>Privé ?</p> <p>Sociaux ?</p> <p>Monobloc ?</p> <p>Publique (appart du monobloc)</p> <p>Autre</p> <p>Est-ce que le tarif est-il basé sur les coûts de cycle de vie ?</p>	<p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p>

	Tarif considère les pauvres / vulnérables	<p>% de revenu annuel moyen des ménages qu'elles paient pour l'eau 3,5% e revenu ménage moyen</p> <p>% de revenu paye pour l'eau pour les usagers au-dessous du seuil 2dollars PPA de l'année 2016 (1 469Ar/jour, seuil de 3,5% est de 82Ar /mois)</p> <p>% de revenu paye pour l'eau pour les usagers au-dessous du seuil 1.25dollar PPA de l'année 2016 (1 469 Ar / jour, de 3,5% est de 1542Ar/mois ou 51Ar /jour)</p>	<p>:</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p> <p>:</p> <p>:_</p>
	Application pour un nouveau branchement	<p>Coût d'un nouveau branchement (Ar)</p> <p>Coût d'un branchement pendant la réhabilitation/ construction (Ar)</p> <p>Est-ce qu'il y a des offres tarifaires pour payer un nouveau branchement ?</p> <p>Nombres de ménages qui demandent un branchement présentement ?</p>	<p>:</p> <p>:</p> <p>: 24 000AR</p> <p>: Par 2 tranches</p> <p>:</p> <p>: 06</p> <p>:</p>
	Compatibilité et transparence	<p>Est-ce que la gestion a un compte bancaire ?</p> <p>Est-ce que la gestion fait le suivi /reportage de la consommation, le revenu, et les dépenses ?</p> <p>Comment est-ce qu'il organise le suivi /reportage (écrit, PC, logiciel pour gérer le système AEP, autre ?)</p> <p>Quelle est la date la plus récente de laquelle il y a les rapports de consommation /revenu / dépenses disponibles ?</p> <p>Est-ce que la gestion donne des factures et des reçus aux abonnés ?</p> <p>Est-ce que le gestionnaire informe les usagers pour une éventuelle coupure de l'eau ?</p> <p>Comment ? (ex : affiches, mégaphone, sensibilisation par ménage,...)</p> <p>Quelles infos sont affichées dans le bureau local de gestion ? (tarif, prix de nouveau branchement, carte du système, résultats de l'analyse de la qualité du système AEP, les divers bénéfices pour l'utilisation d'eau potable...)</p>	<p>: Oui</p> <p>: Oui</p> <p>:</p> <p>: Utilisation PC</p> <p>: (Excel, Word)</p> <p>:</p> <p>: -</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>: Oui</p> <p>:</p> <p>: Oui</p> <p>:</p> <p>: Oui</p> <p>:</p> <p>: Mégaphones/Affiche</p> <p>:</p> <p>: Rien</p>

	Revenu suffisant pour couvrir les dépenses ?	Revenu du mois plus récent : _ Revenu moyen mensuelle de l'année passée : _ Revenue moyen mensuel depuis le début de gestion : _ Revenu annuel de l'année passée : _ Revenu annuel moyen depuis le début de la gestion : _ Revenue total depuis le début de la gestion : _ Dépense du mois plus récent : _ Dépense moyen mensuel de l'année passée : _ Dépense moyenne mensuelle depuis le début de gestion : _ Dépense de l'année passée : _ Dépense annuelle moyenne depuis le début de gestion : _ Dépense totale depuis le début de la gestion : _ Le rapport revenu/dépense >1 ? : _ % de revenu total associe avec le monobloc : _ % de dépenses total associées avec le monobloc : _	
	Efficacité de collections du tarif	% de non-paiement de des factures : % de non-paiement pour les branchements privés : 0% % de non-paiement pour les branchements sociaux : 2% % de non-paiement pour les branchements autres : 1% Le gestionnaire fait-il de reportage / suivi de non-paiement ? : Oui Nombre de mois de non-paiement avant que les abonnés / branchement sont coupés : Rien Le reportage est-il régulière ? : Oui Les abonnés peuvent-ils négocier de plan de paiements alternatifs ? : Oui	
Environnement	Plan de gestion bassin versant	Est- ce qu'il y avait une assemblée générale fait avec les gens qui habitent / travaillent dans le BV ?	: Oui

	Gestion de ressource naturelle	<p>Les animaux d'élevage sont-ils exclus du bassin versant ?</p> <p>Lois / attentes en place pour gérer ?</p> <p>Pesticides / et engrais chimique sont-ils exclus du bassin versant ?</p> <p>Loi / attente en place pour gérer</p> <p>Couverture de végétation et utilisation di terrain</p> <p>% du BV qui est :</p> <p>Forêt vielle croissance (ex ; parc national)</p> <p>Forêt de la croissance secondaire (Ravenala, bambou, grenier)</p> <p>Culture de rente (girofle, vanille, café)</p> <p>Culture vivrière sauf le riz (manioc, banane, pomme de terre)</p> <p>Riziculture</p> <p>Superficie du BV (km²)</p>	<p>: Non</p> <p>: Accord entre communautaire</p> <p>: _</p> <p>: Avis verbal</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: 6,42%</p> <p>: 0,25km²</p>
	Demande de l'eau contrôlée	Débit minimum de la source dans la période d'été (l/s)	: 36,1 L.s ⁻¹ .
Gestion	Etapas de réception du ministère	<p>Technique</p> <p>- Date de la réception</p> <p>Provisoire</p> <p>- Date de la réception provisoire</p> <p>Définitive</p> <p>- Date de la réception définitive</p> <p>Le ministère a-t-il reçue un rapport de la gestion ?</p>	<p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p>
	Entretien périodique dans le plan de gestion	<p>Entretien spécifié dans le contrat ?</p> <p>Entretien spécifié et fréquence</p> <p>Est-ce que cet entretien est fait ? (vérifier avec le rapport du gestionnaire)</p>	<p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p>
	Branchement	<p>Est-ce que les types des branchements suivant sont-ils disponibles / présent :</p> <p>Privés</p> <p>Privés partagés</p> <p>Social</p> <p>Monobloc</p> <p>Publique (sans monobloc)</p> <p>Bornes fontaine – installé pour les gens plus pauvres / vulnérables</p>	<p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p> <p>: _</p>

	Suivit de la qualité de l'eau	Est-ce que l'entreprise gestionnaire fait le teste de la qualité de l'eau ? Fréquence annuelle dans le contrat ? Nombre de testes fait actuellement (vérifié avec les rapports de gestion) Est-ce que la gestion utilise les résultats des tests pour prendre des décisions ?	: Oui : : Non :_ :_ :_ :_
	Suivi des coupures	La gestion fait in rapport des entretiens / réparations	
	Plaintes	La gestion fait un rapport des plaintes	Oui
	Nombre suffisant de personnel	Nombre de personnel permanent local Est-ce que le nombre de personnel mentionné dans le contrat sont recrutés ? Nombre de techniciens permanents Nombre de lire-compteurs permanents Y a-t-il un gestionnaire / responsable permanent ? Nombre de femme parmi les personnels Ratio : revenu mensuelle de l'entreprise (mois présent) au nombre su personnel Nombre total de branchement (présent) au nombre de personnel Consommation mensuelle (mois présent) au nombre de personnel	02 Oui 01 01 Oui 01 150branchements 9,70m ³ .mois ⁻¹
	Qualifications du personnel	Gestionnaire responsable local : année d'expérience de travail pertinent Niveau de scolarisation Commune originaire Technicien : année d'expérience de travail pertinent Commune originaire ? La gestion n'a jamais eu de problème avec les mauvaises pratiques du personnel (ex : quelqu'un qui a bouffé l'argent ?)	05ans BTS Ikongo 02ans Ikongo Pas de problème
	Capacité au niveau du personnel plus haut	L'entreprise gère combien de système ? Est-ce que l'entreprise fait aussi les études / la construction / la réhabilitation des systèmes ? Est-ce que l'entreprise a d'autres activités qui génèrent de revenue ? Nombre totale de staff employé par l'entreprise Niveau plus haut du personnel	03 Non pour Ikongo/oui pour d'autres Oui - Ingéniera ou Master 2

Technique	Pièce de recharge	<p>Est-ce que l'entreprise fait de stockage des pièces de rechange ?</p> <p>Quelle pièce de rechange garde localement ?</p> <p>Les outils sont-ils disponibles pour une éventuelle réparation ?</p> <p>Quels outils ?</p> <p>Combien de temps ça prend pour trouver les pièces suivantes :</p> <p>Robinet ?</p> <p>Section de tuyau ?</p> <p>Compteur ?</p> <p>Vanne ?</p> <p>Quelle est la distance pour trouver les pièces de de recharges ?</p>	<p>Oui</p> <p>Tuyaux</p> <p>Oui</p> <p>Tuyaux et colle</p> <p>Non</p> <p>Oui</p> <p>Non</p> <p>Non</p> <p>40km à 500km</p>
	Réparations	<p>Quelle est la fréquence des petits problèmes avec le système (robinet cassé, fuites (mois/an)) ?</p> <p>Combien de temps ça pour la réparation des petits problèmes ?</p> <p>Quelle la fréquence des grands problèmes qui résulte la coupure de l'eau (mois/an) ?</p> <p>Ça prend pour réparer les grands problèmes ? (jours)</p>	<p>2fois par mois en moyenne</p> <p>1à3 fois.mois⁻¹</p> <p>1à3 heures</p>
	Qualité de l'eau	<p>Combien de temps est-il nécessaire pour le traitement complet de l'eau ?</p> <p>Quelles sont-elles ?</p> <p>L'eau est-elle chlorée ?</p> <p>Comment est le procédé de chloration de l'eau ?</p> <p>Analyse qualité de l'eau, inspection sanitaires, enquêtes satisfaction des abonnés</p>	<p>Filtration/Désinfection</p> <p>Oui</p> <p>Pompe doseuse</p>

	Quantité de l'eau	<p>Débit de l'eau entre 5 :30/6 :00 h du matin au point moins favorable ? : 0,17 à 0,40 L.s⁻¹</p> <p>Le débit reste-il au-dessus de _ (L.s-1) ? :</p> <p>Consommation de l'eau dans les : :</p> <p>#Branchement privé (BP) : totale pour le mois présent (m³) : :</p> <p>Moyen par branchement ou les mois présents (m³) : BS : 13,52 m³.mois⁻¹</p> <p>Totale pour l'année passée (m³) : BP : 07,55 m³.mois⁻¹</p> <p>Moyen par branchement pour les années passées (m³) : :</p> <p>Moyen par personne pour l'année passée (m³/personne) : :</p> <p>Moyen par personne par jour l'année passée (l/p /j) : :</p> <p>Total depuis le début de gestion (m³) : :</p> <p>#Branchement sociaux : totale pour le mois présent (m³) : :</p> <p>Moyen par branchement pour les mois présents (m³) : :</p> <p>Totale pour l'année passée (m³) : :</p> <p>Moyen par branchement pour les années passées (m³) : :</p> <p>Moyen par personne pour l'année passée (m³/personne) : :</p> <p>Moyen par personne par jour l'année passée (l/p /j) : :</p> <p>Total depuis le début de gestion (m³) : :</p> <p>#Branchement 'autre' : totale pour le mois présent (m³) : :</p> <p>Moyen par branchement mou les mois présents (m³) : :</p> <p>Totale pour l'année passée (m³) : :</p> <p>Moyen par branchement pour les années passées (m³) : :</p> <p>Moyen par personne pour l'année passée (m³/personne) : :</p> <p>Moyen par personne par jour l'année passée (l/p /j) : :</p> <p>Total depuis le début de gestion (m³) : :</p> <p>Consommation moyenne journalière par jour dans le mois présent (m³) : :</p> <p>Consommation moyenne journalière par personne par jour dans le mois présent (l/p /j) : :</p> <p>Consommation moyenne journalière par jour dans l'année passée (m³) : :</p>	
--	-------------------	--	--

		<p>Consommation moyenne journalière par personne dans l'année passée (l/p /j)</p> <p>Capacité de réservoir par personne abonnés (l /p)</p> <p>Capacité des réservoirs par personne population dans de la zone desservie (l/p)</p> <p>Capacité de recharge par personne :(abonnés (l /p)</p> <p>Capacité de recharge par personne population de la zone desservie (l/p)</p>	
	Suivi de l'eau hors revenu (no-payé)	<p>% des branchements qui ont les compteurs :</p> <p>Les gestionnaires informent-ils les usagers de lire les compteurs ? :</p> <p>Comment ? (affiche, mégaphones, autres...) :</p> <p>Est-ce que les usagers signent pendant la lecture des compteurs ? :</p>	
	Normes d'aménagement, infrastructure, santé publique	<p>Inspection sanitaire : source, traitement, distribution, branchements...</p>	<p>:</p> <p>:</p> <p>:</p> <p>:</p>

Annexe 16 : CRS IFORM (Enquête ménage mai 2016)

	Réponses/Ikongo
Début temps	09h00 ; 14h00
Région	V7V
Commune	Ikongo
Fokontany	Mangarivotra / Ambatoharanana
Quartier	-
Nom/Prénom de la personne qui est interviewée	-
Nom/Prénom de la tête de la famille	-
Type source d'eau	Cours d'eau/AEP/Puits/Pluie
Type de branchement	BP/BS
Autre type de connexion	-
Combien de ménage utilisent la même source que vous ?	15 en moyenne
Combien de personnes utilise la même source que vous ?	21 en moyenne
Qualités	
Traiter vous votre eau avant de l'utiliser ?	
Comment traiter vous votre eau ?	13Bouillant/22pas de traitement/1Filtre/2sur'eau
Comment aussi traiter vous votre eau ?	Filtrer
Quantités	
Quel type de source d'eau prenez-vous de l'eau ?	AEP, Puits, Source naturelle
Qui collecte l'eau dans votre ménage ?	Femme adulte en général
Durée (mn)	2 à 30 min
Distance (m)	2 à 50 m
Combien de litre par collecte ?	30 L en moyenne
Conserver vous de l'eau dans votre maison ?	24%parfois, 29%non, 47%oui
Pourquoi ?	68% utilisation diverses, 32% ne conservent pas
Comment vous la conserve-t-elle ?	30 à 200 L
Combien de litres ?	69L en moyenne
Traitez-vous l'eau avant de l'utiliser ?	63% répondue oui, 37% non
Aviez-vous signalé une casse de tuyau cette semaine	58% non, 26% oui, 16% pas de réponses
Les gestionnaires ont-ils réparés ?	
Combien de temps a-t-il fallut pour la réparation ?	1,2 h en moyenne
Plaignez-vous de la gestion actuelle ?	66%non, 18%oui, 16% pas de réponses
Où allez-vous pour se plaindre du problème lié au branchement ?	71% répondue chez gestionnaire
Les gestionnaires avisent-ils les usagers avant de procéder à la coupure de l'eau à raison d'un travail ?	Oui
Comment ?	Affiche
Ou comment ?	Mégaphone
L'eau était-il coupe ces derniers 10 jours ?	74% no

Combien de temps fallut pour le retour de l'eau ?	1h
Pour les gens qui n'ont pas du branchement/ aviez-vous déjà songé à bénéficier d'un branchement ?	Oui
Aviez-vous demandé auprès du gestionnaire ?	Oui
Quelle info vous ont-ils répondu ?	
Prix	71% moyennement satisfait
Photo du ménage	-
Coordonnée GPS	-
Latitude	S21°42'--'
Longitude	E47°26'--'
Photo du branchement	-
N° branchement	IKxxxx
Le robinet est-il dans la maison ?	10% Oui
Aux alentours du robinet est-il propre ?	80% Non
Combien de mettre fait le robinet et les tuyaux principaux ?	1m à 10m
Les animaux ont-ils accès près du robinet ?	80 % Oui
y a-t-il des eaux stagnantes aux alentours du robinet ?	75% Oui
y a-t-il des fuites au niveau du robinet ou les tuyaux de conduites ?	40% Oui
les tuyaux de conduites sont ils exposés ?	-
Le distance de 30m est-il respectes pour les puits et les latrines ?	2m à 10m
Heure de fin	09h20 ; 14h20
Source : CRS Antananarivo	

Annexe 17 : Empreinte, indicateur de développement durable

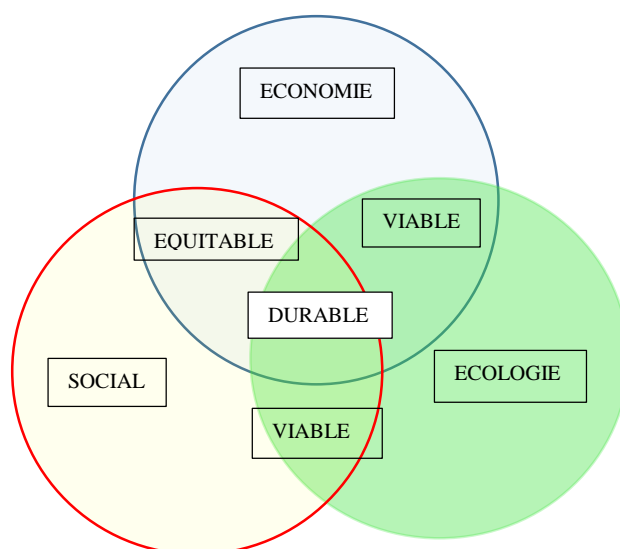


Figure 4 : Trèfle du Développement durable

La durabilité est l'intersection entre le système économique, social et écologique. Des indicateurs sont utilisés pour mesurer le développement. C'est ainsi que la notion d'empreinte ont été introduit dans l'Annexe 17. Dans une étude d'impact environnementale, 3 sortes d'empreinte ont été admises tel que : l'empreinte eau, l'empreinte écologique et l'empreinte carbone.

L'empreinte en eau de consommation notée (E_E) est le calcul du volume d'eau douce totale nécessaire pour produire des biens ou services consommés par habitants.

L'empreinte écologique (E_{ec}) est le calcul de la surface productive totale nécessaire pour produire des biens et services consommées par une population donnée.

L'empreinte carbone (E_c) est le bilan d'un produit ou d'une entité humaine qui par son activités résulte une émanation des gazes à effet de serre tout en tenant compte l'énergie primaire et l'énergie finale des produits et services.

Le tableau suivant résulte l'empreinte écologique face aux comportements quotidiens pour un habitant d'Antananarivo et un habitant d'Ikongo. Le point unitaire est le facteur correspondant pour chaque mode comportement journalière. Le Graphe 18 montre qu'un habitant d'Ikongo est plus écologique qu'un habitant d'Antananarivo.

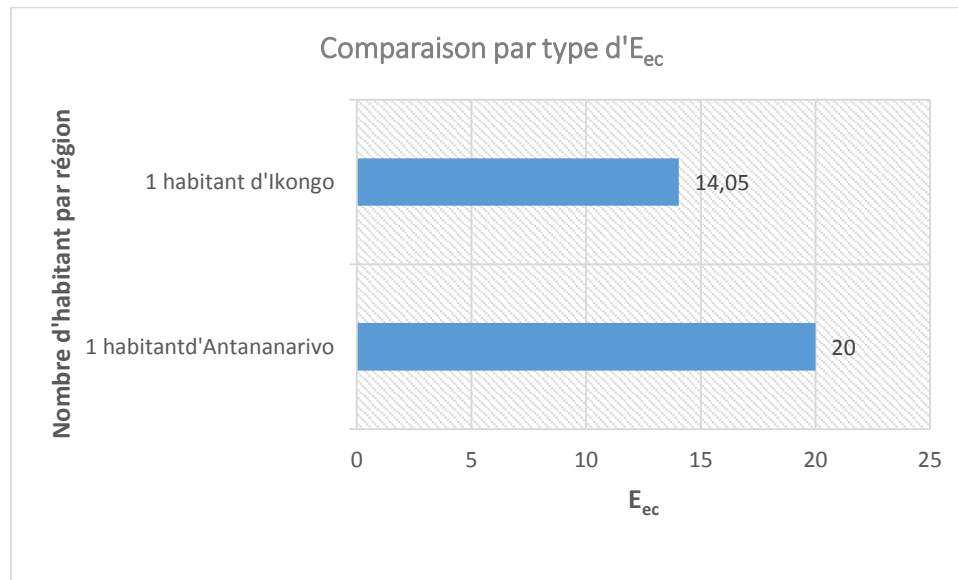
Tableau 30 : Comparaison d'une empreinte écologique d'un habitant d'Ikongo

	Point unitaire	Unité	E _{ec}	
			Un habitant d'Antananarivo	Un habitant d’Ikongo
Consommatoin d'eau				
Utilisation d'une douche				
0L d'eau	0			
20L d'eau	50			50
40L d'eau	70		70	
80L d'eau	90			
Toilette				
10L d'eau après chaque toilette	40			
5L d'eau après chaque toilette	20			
2,5L d'eau après chaque toilette	10			10
Sous- total:	280		70	60
Alimentation				
repas quotidien				
Bœufs	150	/portion	150	150
Poulet	0	/portion		
Poisson d'élevage	0	/portion		
Poisson sauvage	0	/portion		0
Œufs	40	/portion	40	40
Laits	40	/portion	40	
Fruits	20	/portion	20	20
Légumes	20	/portion	20	
Pain, céréales, riz	20	/portion	20	20
Tous aliment cultives localement	0			0
certain aliment cultivé ailleur	30			
Rien n'est cultivé localement	60		60	
Tous mes aliments sont bio	0			
certain sont bio	30		30	30
Rien n'est bio	60			
Tous mes aliments sont emballés	100			
Certains sont emballés	30		30	
Aucun sont emballés	0			0
Pour une journée				
Ne pas jeter des aliments	0			
I/4 des aliment jetés	100			100
1/3 de aliments jetés	150		150	
1/2 des aliments jetés	200			
Sous-total			560	360
Moyen de transport				
A pied	0		0	0

bicyclette	5	/trajet	5	
Transport publics	30	/trajet	30	
véhicule privé	200	/trajet		
Vehicule a une consommation de litres/100km				
moins de 6 L	50			
entre 6 et 9L	50		50	
entre 10 et 13L	100			100
Temps que je passe dans un véhuicule/jour				
Nul	0			0
Moins de 0,5h	40			
Entre 0,5 et 1h	60			
Plus d' 1h	100		100	
Taille de la voiture que je circule				
pas de voiture	-20			
Petite	50			
Moyenne	100		100	
4X4	200			200
Dans une journée, je marche/cours				
5h ou plus	-75			-75
3 à 5 h	-25			
1 à 3 h	0		0	
1 h	10			
10 min	100			
Sous total:			1405	945
Logement				
Nombre des pices/pers				
Moins de 2 pices/pers	10		10	10
2 à 3 pièces/pers	80			
on partage notre logement avec les autres	-50			
Sous total:	40		10	10
Consommation d'énergie				
Au cours des mois les plus froids, la T° de la maison est de :				
<15°C	-20			
15 à 18°C	50			
19 à 22°C	100		100	
22°C <	150			150
Nous séchons les vêtements dehors				
Toujours	-50		-50	-50
parfois	20			
Nous avons une frigo de basse consommation				
Oui	-50			-50
Non	50		50	
Nous utilisons des ampoules fluocompact				

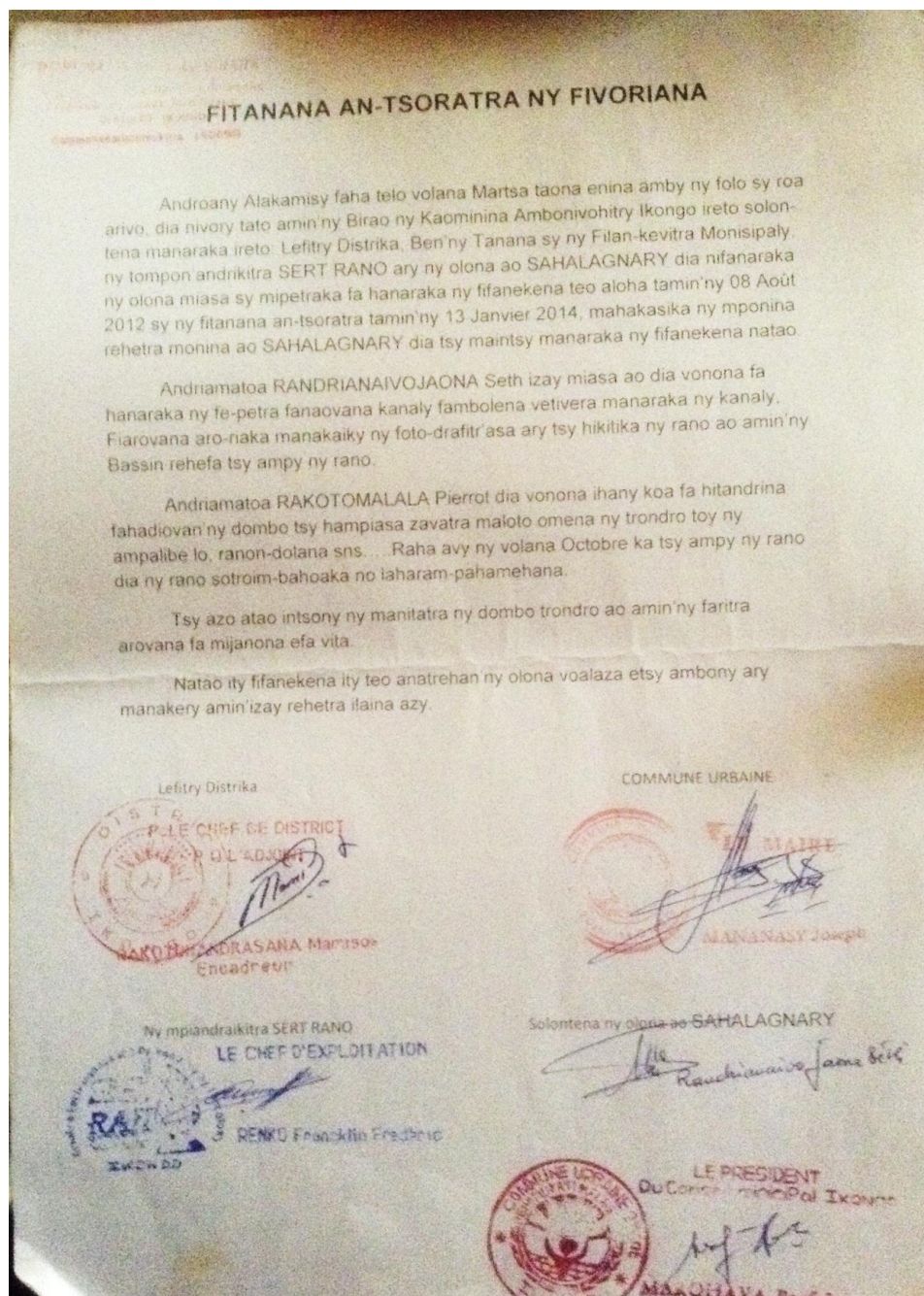
Oui	-50	-50	-50
Non	50		
Pour me rafraîchir, j'utilise			
un ventilateur électrique	-10	-10	
Rien	-50		-50
Combien de temps je ne suis pas chez moi			
7h	0		
4 à 6h	10		
2 à 3h	20		20
≤2h	100	100	
Sous total:	320	140	-30
Habillement			
1/4 de mes vêtements sont occasion	-20		-20
vêtement neufs tous les ans	120	120	
j'ai 2 à 3 paires de chaussures	20	20	20
sous total :	120	140	0
Matériaux divers			
Ordures de la journée tiens dans			
Grand seau	60		
Une poubelle	200	200	
Ne pas jeter d'ordure aujourd'hui	-50		-50
Réutiliser les objets	-20	-20	-20
Recycler mes papiers, le verre et le plastique	-20		-20
Eviter d'acheter les articles jetables			
Oui	-10		-10
Non	60	60	60
Utiliser les piles rechargeable	-30	-30	
sous total :	190	210	-40
Loisirs			
Loisirs habituels			
0 ha transformé en lieu de loisir	0		0
<1ha	20	20	20
1 à 2ha	60		
Dans la journée, je me sers de la télé			
Pas du tout	0		
<1h	50		
1h<	80	80	80
sous total:	210	100	100
	Consommation d'eau	70	60
	Répas quotidien	0	360
	Moyen de transport	0	945
Résumé	Logement	150	10
	Consommation d'énergie	0	-30

Habillement		0	0
Matériaux divers		0	-40
Loisirs		40	100
Total général:		40	1405
Empreinte écologique	ha	20	14,05



Graphe 18 : Comparaison des empreintes écologiques par habitant d'Antananarivo et d'Ikongo

Annexe 18 : Accord co-signé entre le district Ikongo, la Commune d'Ikongo, l'entreprise gestionnaire et le représentant des ménages vivant dans le BV Sahalagnary.



Cet accord dit que il est formellement interdit d'étendre le pisciculture au niveau du bassin versant Sahalagnary.

Annexe 19 : Matériels utilisés



Photo 7 : Verre et pipette en plastique



Photo 8 : Strips ou papier test

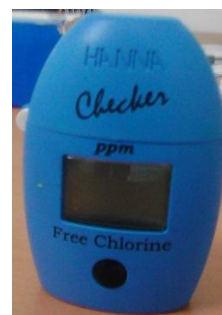


Photo 6 : Photomètre pour chlore



Photo 14 : Sur'Eau



Photo 13 : Alcool gel (lave main)



Photo 12 : Electrorateur



Photo 10 : GPS



Photo 11 : iPod



Photo 9 : Transducteur Rogged Troll

Photo 7 : Verres (125 mL, 30mL) et pipette de 1 mL organiques pour prélever les échantillons d'eau

Photo 8 : Les Strip ou papier tests se servent pour les analyses physicochimiques de l'eau.

Photo 6 : Le chloromètre photomètre est utilisé pour mesurer la concentration du chlore de l'eau.

Photo 14: Le sur'eau ou l'eau de javel est utilisé pour désinfecter les verres organiques pour l'analyse bactériologiques de l'eau.

Photo 13 : Alcool gel (lave main) : Lave main ou alcool gel est utilisé pour désinfecter les mains avant la manipulation pour l'analyse de l'*E. Coli*.

Photo 12: L'électrochlorateur model PBP25 sert à la production de solution chloré pour le traitement la désinfection de l'eau.

Photo 10 : Le GPS sert à géo-positionner les enquêtes et les prélèvements effectuées sur terrain.

Photo 11 : L'iPod sert à collecter et enregistrer les réponses des ménages durant l'enquête sur terrain. Ces réponses peuvent être envoyées immédiatement sur le site de la base de données CRS grâce à une connexion internet.

Photo 9 : Transducteur, un dispositif servant à collecter et enregistrer la variation du niveau d'eau.

***Annexe 20 : Reproduction du plan de l'ouvrage et fonctionnalité du filtre-réservoir
(mesurée sur terrain)***

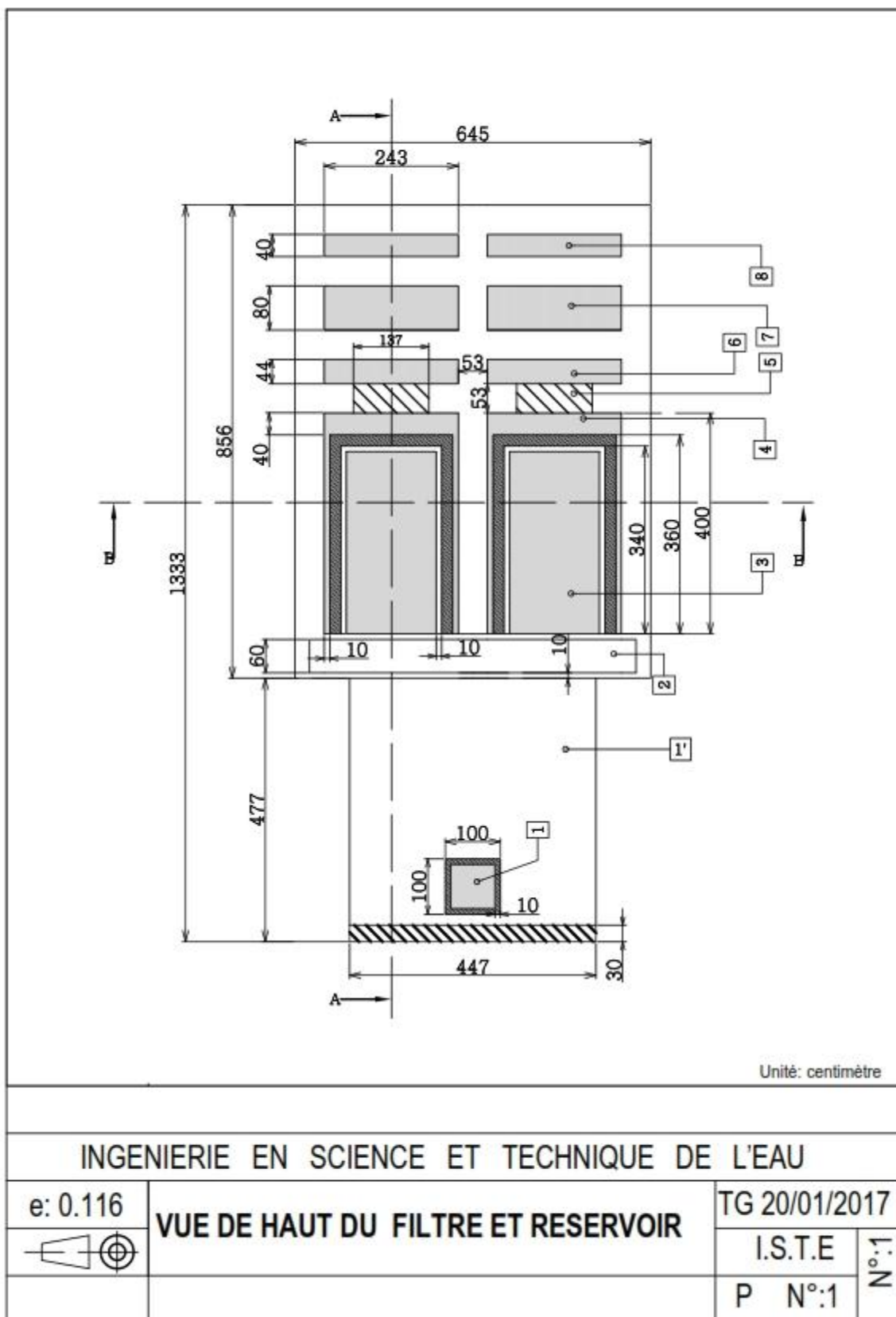
Listes des planches :

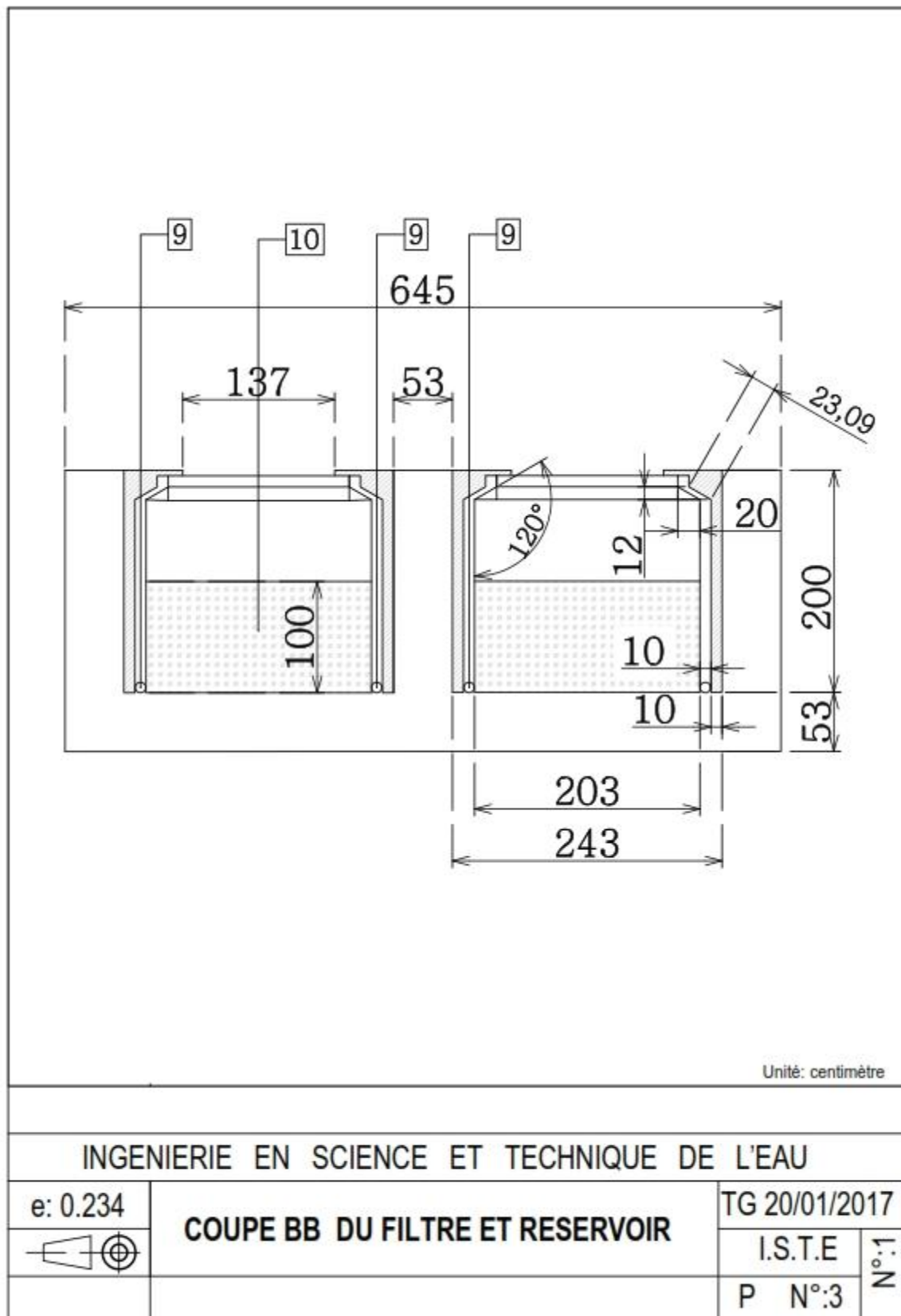
Planche N°1 : Vue de haut du filtre et réservoir


Planche N°2 : Coupe AA du filtre et réservoir

Planche N°3 : Coupe BB du filtre

Planche N° 4 : Listes des désignations et matériaux de construction





12	Sortie d'eau filtrée	PVC
11	Entré d'eau brute	PVC
10	Couche filtrante	Sable
9	Tube criblé d'entre d'eau	Béton armé
8	Chanmbre de ralentisseur de vitesse	Béton armé
7	Chambre de pré-décantation	Béton armé
6	Chambre de décantation 2	Béton armé
5	Deversoir de la chambre decantion 2	Béton armé
4	Chambre de pré-filtration	Béton armé
3	Support du couche filtrante	Béton armé
2	Canal de récupération d'eau filtrée	Béton armé
1'	Reservoir d'eau filtrée	Béton armé
1	Ouverture du reservoir	
N°:	Désignations	Matériaux
INGENIERIE EN SCIENCE ET TECHNIQUE DE L'EAU		
	NOMENCLATURE	TG 20/01/2017
		I.S.T.E
		P N°:4
		Σ Z

Annexe 21 : Demande auprès de la Commune : d'Ikongo, d'Antsenavolo, de Manakana Nord et de Tolongoïna pour les enquêtes au niveau des ménages durant l'étude de pérennisation



Immeuble CRS – Lot II Y 24bis A - Ampasanimalo
BP 6073
101 ANTANANARIVO - Madagascar
Tel : (261 20) 22 206 66
(261 20) 22 265 34
(261) 20 22 665 65
e-mail : Madagascar@global.crs.org

Antananarivo, faha-12 May 2016

Ho an'Andriamatoa/Ramatoa Ben'ny Tanàna

Kaominina Ikongo

Antony: Fangatahana alalana hanao fanadihadiana eny an-toerana

Voninahitra lehibe ho anay ato amin'ny tetik'asa Fararano izay vatsian'ny Governemanta Amerikana vola ka tantanan'ny Catholic Relief Services (CRS) no mandefa aminareo izao fangatahana izao.

Ho fampiharana eny an-tsehatra (tokantrano) ny fampiofanana ireo mpianatr'asa mpanadihady mahakasika ny rano dia nosafidianay manokana ho amin'izany ny Kaominina Ikongo.

Ny fanadihadiana dia atao eo anivon'ny tokantrano miisa 30 isa, manerana ny Fokontany manana foto-drafitr'asa ny rano. Eo amin'ny 15 minitra eo ny faharetan'ny fanadihadiana atao amin'ny olona iray.

Ny daty hanaovana izany dia ny Alakamisy 19 May 2016 ka hatramin'ny Asabotsy 28 May 2016.

Ireto avy ny anaran'ireo Mpanadihady amin'izany:

- RAKOTOARIMANANA Maminiaina Firaisantsoa
- RAHARINATOANDRO Gerald

Adidy raisinay ny manatitra ny valin'ny fanadihadiana any aminareo aorian'ny fikirakirana ireo antontam-baovao azo (Traitement des données).

Eo ampiandrasana ny valiny mahafa-po avy aminareo, raiso Andriamatoa, Ramatoa, Ben'ny Tanàna ny haja ambony atolotray anareo.

Joshua Poole

Mpisolotenan'ny CRS eto Madagasikara

REPUBLIKAN'Y MADAGASIKARA
Fitiavana—Tanindrazana—Fandrosoana
FARITRA VATOVAHY FITOVINANY
DISTRICT IKONGO
Commune Ambonivokitra IKONGO

Vu
IKONGO LE 18 MAY 2016



faith. action. results.



Immeuble CRS – Lot II Y 24bis A - Ampasanimalo
BP 6073
101 ANTANANARIVO - Madagascar
Tél : (261 20) 22 206 66
(261 20) 22 265 34
(261) 20 22 665 65
e-mail : Madagascar@global.crs.org

Antananarivo, faha-12 May 2016

Ho an' Andriamatoa/Ramatoa Ben'ny Tanàna

Kaominina Antsenavolo

Antony: Fangatahana alalana hanao fanadihadiana eny an-toerana

Voninahitra lehibe ho anay ato amin'ny tetik'asa Fararano izay vatsian'ny Governemanta Amerikana vola ka tantanan'ny Catholic Relief Services (CRS) no mandefa aminareo izao fangatahana izao.

Ho fampiharana eny an-tsehatra (tokantrano) ny fampiofanana ireo mpianatr'asa mpanadihady mahakasika ny rano dia nosafidianay manokana ho amin'izany ny Kaominina Antsenavolo.

Ny fanadihadiana dia atao eo anivon'ny tokantrano miisa 30 isa, manerana ny Fokontany manana foto-drafitr'asa ny rano. Eo amin'ny 15 minitra eo ny faharetan'ny fanadihadiana atao amin'ny olona iray.

Ny daty hanaovana izany dia ny Alarobia 15 Jona 2016 ka hatramin'ny Zoma 24 Jona 2016.

Ireto avy ny anaran'ireo Mpanadihady amin'izany:

- RAKOTOARIMANANA Maminiaina Firaisantsoa

- RAHARINATOANDRO Gerald

Adidy raisinay ny manatitra ny valin'ny fanadihadiana any aminareo aorian'ny fikirakirana ireo antontam-baovao azo (Traitement des données).

Eo ampiandrasana ny valiny mahafa-po avy aminareo, raiso Andriamatoa, Ramatoa, Ben'ny Tanàna ny haja ambony atolotray anareo.

Joshua Poole

Mpisolotenan'ny CRS eto Madagasikara

Antsenavolo ce 10 APR 2016



LE MAIRE

RANAHITRA Berthe

faith. action. results.



Immeuble CRS – Lot II Y 24bis A - Ampasanimalo
BP 6073
101 ANTANANARIVO - Madagascar
Tél : (261 20) 22 206 66
(261 20) 22 265 34
(261 20) 22 665 65
e-mail : Madagascar@global.crs.org

Antananarivo, faha-12 May 2016

Ho an' Andriamatoa/Ramatoa Ben'ny Tanàna

Kaominina MANAKANA NORD

Antony: Fangatahana alalana hanao fanadihadiana eny an-toerana

Voninahitra lehibe ho anay ato amin'ny tetik'asa Fararano izay vatsian'ny Governemanta Amerikana vola ka tantanan'ny Catholic Relief Services (CRS) no mandefa aminareo izao fangatahana izao.

Ho fampiharana eny an-tsehatra (tokantrano) ny fampiofanana ireo mpianatr'asa mpanadihady mahakasika ny rano dia nosafidianay manokana ho amin'izany ny Kaominina MANAKANA NORD

Ny fanadihadiana dia atao eo anivon'ny tokantrano miisa 30 isa, manerana ny Fokontany manana foto-drafitr'asa ny rano. Eo amin'ny 15 minitra eo ny faharetan'ny fanadihadiana atao amin'ny olona iray.

Ny daty hanaovana izany dia ny Alarobia 29 Jona 2016 ka hatramin'ny Talata 12 Jolay 2016.

Ireto avy ny anaran'ireo Mpanadihady amin'izany:

- RAKOTOARIMANANA Maminiaina Firaisantsoa
- RAHARINATOANDRO Gerald

Adidy raisinay ny manatitra ny valin'ny fanadihadiana any aminareo aorian'ny fikirakirana ireo antontam-baovao azo (Traitement des données).

Eo ampiandrasana ny valiny mahafa-po avy aminareo, raiso Andriamatoa, Ramatoa, Ben'ny Tanàna ny haja ambony atolotray anareo.

Joshua Poole

Mpisolotenan'ny CRS eto Madagasikara



chef fokontany

Dej. Rigue

faith. action. results.



Immeuble CRS – Lot II Y 24bis A - Ampasanimalo
BP 6073
101 ANTANANARIVO - Madagascar
Tél : (261 20) 22 206 66
(261 20) 22 265 34
(261) 20 22 665 65
e-mail : Madagascar@global.crs.org

Antananarivo, faha-12 May 2016

Ho an' Andriamatoa/Ramatoa Ben'ny Tanàna

Kaominina Tolongoina

Antony: Fangatahana alalana hanao fanadihadiana eny an-toerana

Voninahitra lehibe ho anay ato amin'ny tetik'asa Fararano izay vatsian'ny Governemanta Amerikana vola ka tantanan'ny Catholic Relief Services (CRS) no mandefa aminareo izao fangatahana izao.

Ho fampiharana eny an-tsehatra (tokantrano) ny fampiofanana ireo mpianatr'asa mpanadihady mahakasika ny rano dia nosafidianay manokana ho amin'izany ny Kaominina Tolongoina.

Ny fanadihadiana dia atao eo anivon'ny tokantrano miisa 30 isa, manerana ny Fokontany manana foto-drafitr'asa ny rano. Eo amin'ny 15 minitra eo ny faharetan'ny fanadihadiana atao amin'ny olona iray.

Ny daty hanaovana izany dia ny Alarobia 01 Jona 2016 ka hatramin'ny Asabotsy 11 Jona 2016.

Ireto avy ny anaran'ireo Mpanadihady amin'izany:

- RAKOTOARIMANANA Maminiaina Firaisantsoa

- RAHARINATOANDRO Gerald

Adidy raisinay ny manatitra ny valin'ny fanadihadiana any aminareo aorian'ny fikirakirana ireo antontam-baovao azo (Traitement des données).

Eo ampiandrasana ny valiny mahafa-po avy aminareo, raiso Andriamatoa, Ramatoa, Ben'ny Tanàna ny haja ambony atolotray anareo.

Joshua Poole

Mpisolotenan'ny CRS eto Madagasikara

Handwritten: Hita ary vandalo Teto
Le Maire de la Commune Rurale Tolongoina

Le Chef de Fokontany Tsimbahambo

Le Chef de Fokontany Tsimbahambo

BIA MAROKOTO Gilbert

faith. action. results.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : CONTEXTE ET JUSTIFICATION	2
CHAPITRE 1 : RAPPEL THEORIQUE	3
<i>I.1.2 Objectif du développement durable 2016.....</i>	<i>3</i>
I.1 DEFINITION ET NOMENCLATURE.....	4
<i>I.1.3 Vulnérabilité</i>	<i>4</i>
<i>I.1.4 Pérenne.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.5 Echantillonnage.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.6 Enquête.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.7 Population</i>	<i>5</i>
<i>I.1.8 Types de délégation de gestion</i>	<i>5</i>
<i>I.1.9 Partenariat public privé (PPP)</i>	<i>5</i>
<i>I.1.10 Maître d'ouvrage.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.11 Source améliorée.....</i>	<i>6</i>
<i>I.1.12 Adduction d'Eau Potable Gravitaire AEPG</i>	<i>6</i>
I.2 JUSTIFICATION DE L'ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU	6
<i>I.2.1 Critères de l'analyse qualitative de l'eau</i>	<i>6</i>
<i>I.2.2 pH</i>	<i>7</i>
<i>I.2.3 TDS.....</i>	<i>7</i>
<i>I.2.4 Conductivité électrique :.....</i>	<i>8</i>
<i>I.2.5 Mesure de la conductivité électrique</i>	<i>9</i>
<i>I.2.6 Formule reliant TDS et EC à 25°C.....</i>	<i>9</i>
<i>I.2.7 Dureté.....</i>	<i>9</i>
<i>I.2.8 Nitrates et nitrites</i>	<i>9</i>
<i>I.2.9 Sulfates.....</i>	<i>10</i>
<i>I.2.10 Phosphates</i>	<i>10</i>

<i>I.2.11 Ions chlorures</i>	<i>10</i>
<i>I.2.12 Chlores dissouts</i>	<i>10</i>
<i>I.2.13 Bactériologies des eaux</i>	<i>10</i>
<i>I.2.14 Escherichia coli</i>	<i>11</i>
<i>I.2.15 Désinfection de l'eau par chloration</i>	<i>12</i>
<i>I.2.16 Conditions requises pour une bonne efficacité de la chloration</i>	<i>13</i>
<i>I.2.17 Loi de Chick et Watson :</i>	<i>14</i>

CHAPITRE 2 : RAPPORT D'UN CAS DE RECHERCHE DU SYSTEME D'AEP DE LA COMMUNE

IKONGO 16

II.1 GENERALITE SUR LA RECHERCHE 16

<i>II.1.1 Contexte</i>	<i>16</i>
<i>II.1.2 Problèmes constatés ou problématiques</i>	<i>16</i>
<i>II.1.3 Approches déjà utilisées auparavant dans le contexte de pérennisation d'un système d'AEP</i>	<i>17</i>
<i>II.1.4 Objectif de l'étude (cas de recherche)</i>	<i>17</i>
<i>II.1.5 Résultats attendus</i>	<i>17</i>
<i>II.1.6 Limite de l'étude</i>	<i>18</i>
<i>II.1.7 Questions à répondre</i>	<i>18</i>
<i>II.1.8 Hypothèses</i>	<i>18</i>
<i>II.1.9 Méthodologie</i>	<i>19</i>
<i>II.1.10 Sit Indicator Tools (SIT)</i>	<i>19</i>

II.2 PRESENTATION GENERALE ET SPECIFIQUE DE LA COMMUNE..... 20

<i>II.2.1 Localisation.....</i>	<i>20</i>
<i>II.2.2 Délimitation de la zone d'étude</i>	<i>21</i>

II.3 CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE 23

<i>II.3.1 Température.....</i>	<i>23</i>
<i>II.3.2 Précipitation</i>	<i>24</i>
<i>II.3.3 Vents.....</i>	<i>25</i>
<i>II.3.3 Cyclone</i>	<i>26</i>

II.4 CADRE PHYSIQUE..... 27

II.4.1	<i>Relief.....</i>	27
II.4.2	<i>Géologie :.....</i>	27
II.4.3	<i>Hydrologie</i>	28
II.4.4	<i>Hydrochimie.....</i>	29
II.4.5	<i>Hydrogéochimie.....</i>	30
II.4.6	<i>Insolation.....</i>	32
II.5	APPROCHE BASSIN VERSANT	32
II.5.1	<i>Rectangle équivalent (RE)</i>	32
II.5.2	<i>Temps de concentration</i>	33
II.6	CONTEXTE SOCIOECONOMIQUE.....	34
II.6.1	<i>Histoire et ethnologie de la Commune</i>	34
II.6.2	<i>Fokontany desservies par le système</i>	34
II.6.3	<i>Education :.....</i>	35
II.6.4	<i>Infrastructures locales.....</i>	35
II.6.5	<i>Maladies liées à l'utilisation de l'eau non propre</i>	36
II.7	SYSTEME D'ADDUCTION D'EAU POTABLE GRAVITAIRE (AEPG) DE LA COMMUNE D'IKONGO.....	37
II.7.1	<i>Source d'approvisionnement d'eau du système.....</i>	38
II.7.2	<i>Traitement et potabilisation.....</i>	38
II.7.3	<i>Filtration sur sable.....</i>	39
II.7.4	<i>Gestion du système</i>	40
DEUXIEME PARTIE : MESURE DES PARAMETRES QUANTITATIFS ET QUALITATIFS DU SYSTEME D'AEPG : ANALYSES ET RESULTATS		
		41
CHAPITRE 3 : ANALYSES ET RESULTATS SUR TERRAIN		
		42
III.1	ANALYSES DE LA QUANTITE DE L'EAU.....	42
III.1.1	<i>Exploitation des données collectées par le transducteur.....</i>	42
III.1.2	<i>Consommation de l'eau.....</i>	45
III.2	ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU	46
III.2.1	<i>Procédé d'analyse de l'eau</i>	46

III.2.2	<i>Echantillonnage et prélèvement d'eau</i>	47
III.2.3	<i>Analyse physico-chimiques de l'eau</i>	48
III.3	EFFICACITE DE LA CHLORATION.....	52
III.3.2	<i>Détermination de la demande en chlore.....</i>	53
III.3.3	<i>Résultats des essais de demande en chlore par méthode du break point</i>	56
III.4	EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU SYSTEME AEP DE LA COMMUNE D'URBAINE D'IKONGO.....	57
III.4.1	<i>Sondages sur le niveau d'appréciation.....</i>	57
III.4.2	<i>Etude de la vulnérabilité du système AEP de la Commune urbaine d'Ikongo</i>	60
	TROISIEME PARTIE : INTERPRETATIONS DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS.....	61
	CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS	62
IV.1	INTERPRETATIONS DES RESULTATS	62
IV.1.1	<i>Système bassin versant</i>	62
IV.1.2	<i>Système de traitement et distribution.....</i>	63
IV.1.3	<i>Système de gestion.....</i>	64
IV.1.4	<i>Risques qui menacent le système AEP de la Commune urbaine d'Ikongo</i>	65
IV.1.5	<i>Etat actuel du système AEP de la Commune d'Ikongo.....</i>	67
	CHAPITRE 5 : RECOMMANDATIONS.....	68
V.1.1	<i>Recommandations sur le bassin versant Sahalagnary.....</i>	68
V.1.2	<i>Recommandations sur le système de chloration et distribution d'eau</i>	68
V.1.3	<i>Recommandations sur la gestion du système</i>	69
V.1.4	<i>Recommandations pour la Commune d'Ikongo maître d'ouvrage</i>	70
	CONCLUSION	71
	ANNEXES	75

Master 2 en Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau (ISTE)

Thème : « *ETUDE DE VULNERABILITE DE LA QUALITE D'EAU D'UN SYSTEME D'ADDUCTION D'EAU POTABLE : CAS DE LA COMMUNE D'IKONGO* »

Nombre d'annexes : 21
Nombre de cartes : 07
Nombre de figures : 04
Nombre de graphes : 18

Nombre de pages : 71
Nombre de photos : 10
Nombre de tableaux : 30

RESUME

L'objectif de cette étude est d'arriver à évaluer les risques qui menacent la qualité de l'eau d'un système d'adduction d'eau potable et de définir les mesures à prendre en faveur de sa pérennisation. L'expertise de la vulnérabilité du système d'adduction d'eau potable de la Commune d'Ikongo a permis de trouver les risques auxquels le système fait face. Au niveau de la qualité microbiologique de l'eau, cette étude a montré une valeur de vulnérabilité inférieure à 1. Cette valeur indique un risque élevé pour la potabilité de l'eau. La méthode par break-point est efficace pour évaluer la demande en chlore au niveau du système adduction d'eau potable. Après cet essai soit effectué au niveau du réservoir de chloration, une valeur au break-point de 2,45 mg.L⁻¹ a été obtenue. Pour avoir une concentration de chlore résiduel de 0,2 à 0,5 mg.L⁻¹ aux bornes les plus défavorables, il va falloir effectuer un autre essai au niveau de ces bornes. Grâce aux efforts apportés par cette étude de vulnérabilité, pour le futur, il serait possible d'établir une meilleure façon d'empêcher le système de se dégrader.

Mots clés : Vulnérabilité, adduction, eau potable, norme

ABSTRACT

The aim of this study is to assess the risks which allow the drinking water quality of the drinking water system and how to define the better way to make a drinking water supplying sustainable. The expertise of the drinking water vulnerability's in the municipality of Ikongo was made possible to find the risks that the system faces. The vulnerability of the water microbiological quality showed a value inferior to 1. This value counts for a high risk in terms of the water potability. The break-point method is effective in studying the chlorine demand of a drinking water supply. During the chlorine demand test at the chlorination tank, the break-point 2.45mg.L⁻¹ was found. In order to have a chlorine residual concentration of 0.2 to 0.5 mg.L⁻¹ at the most unfavorable conditions points, it will be necessary to do another test on those points. By the present study, it will be easy to find the better way to prevent the system from deteriorating.

Key words: Vulnerability, supplying, drinking water, standard

Auteur : RAHARINATOANDRO Gérald	Rapporteur : RASAONINA Hery Lanto
Tél : 261 34 19 006 07	Spécialiste en Infrastructure WASH (CRS)
E-mail : natogerlad@gmail.com	E-mail : herylanto.rasaonina@crs.org