

# Vulnérabilité de Toliara face à l'insuffisance en eau, région Sud-Ouest de Madagascar

Randriatsitohaina J.B.<sup>1\*</sup>, Raniriketra C.<sup>1</sup>, Mara T.<sup>1</sup>, Champin L.<sup>2</sup>, Taïbi A.N.<sup>2</sup>, Razakamanana T.<sup>1</sup>, Fleurant C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Toliara (Madagascar), BP. 185 - 601  
<sup>2</sup> Département de Géographie, LETG49045 Angers Cedex 01, Université d'Angers (France)

\*Auteur correspondant : Randriatsitohaina O., Tel.+261342990413, E-mail: jacquesbablo@gmail.com

**Résumé-** La vulnérabilité de la ville de Toliara face à l'insuffisance en eau potable est l'un des problèmes majeurs de cette région semi-aride du Sud-ouest de Madagascar. Pour évaluer cette vulnérabilité, nous avons identifié tous les facteurs en lien avec la société JIRAMA (eau et électricité malagasy), puis analysé ceux de l'insuffisance en eau par un indice numérique basé sur la vulnérabilité et les impacts sur la population et enfin la cartographie des quartiers vulnérables en utilisant le SIG. On observe à priori que la station de pompage de Miary, le réseau de distribution, les stations de traitement de Miary et d'Andranomena ont un niveau de vulnérabilité élevé, les réservoirs d'eau de la ville ont une vulnérabilité moyenne et la station de pompage d'Andranomena a une vulnérabilité faible. Certes, 60 à 100 % des ménages observés utilisent l'eau des bornes fontaines publiques et l'eau d'autres sources. Après avoir analysé les paramètres suivants : climat, croissance démographique, diamètre des conduites, ménages abonnés à la société JIRAMA, nombre d'heures de distribution journalière, on a pu montrer que 35.90 % des quartiers de la ville de Toliara sont très fortement (Anketraka, Tsongobory, Betania Tanambao, Amborogony Tanambao, Amborogony, Tsianengea, Tsimenatse Iii, Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse I Est, Tsimenatse II, Ankatsaka, Tanambao II Tsf Nord, Ampasikibo et Tanambao Motombe), 25.64 % le sont fortement (Antaninarenina, Anketa Bas, Tsianaloka, Anketa Haut, Betaritarika, Tanambao I, Sanfily, Konkasera, Ankiembe Bas et Ankiembe Haut), 28.21 % moyennement (Ambohitsabo, Tanambao Morafeno, Betania Ouest, Betania Centre, Betania Ankilifaly, Mahavatse II Ouest, Mahavatse II Est Ambararata, Mahavatse I Tanambao, Mahavatse I Ouest, Mahavatse I Est et Andabizy) et 10.26 % faiblement (Besakoa, Toliara Centre, Andaboly et Mangabe) vulnérables. Une étude géomatique (Télétection et SIG), hydrogéologique, climatique et géophysique seront menées pour résoudre le problème de l'insuffisance en eau potable.

**Mots-clés-** Madagascar, Toliara, Insuffisance en eau, Vulnérabilité, Indicateur, SIG.

**ABSTRACT-** The vulnerability of the city of Toliara facing shortage of drinking water is a major problem for the semi-arid region of South-western Madagascar. To assess the vulnerability, we have identified any vulnerabilities related of the JIRAMA company (Malagasy water and electricity), and then analyzed the various factors that cause the risk of water shortage by a numerical index based on vulnerability and the impacts on the population and then mapping of vulnerable areas using GIS. We observe a priori that the pumping station Miary, the distribution network, the Miary treatment plant and Andranomena have a high level of vulnerability, the water tanks of the city have an average vulnerability and station pumping Andranomena has low vulnerability. Certainly 60 to 100% of the observed households use water from public taps and other water sources. After having analyzed the following parameters: climate, population growth, pipe diameter, household subscribers of the JIRAMA company, number of daily distribution time, it could deduce that 35.90 %, 25.64 %, 28.21 %, 10.26 % of districts the city of Toliara respectively high strong (Anketraka, Tsongobory, Betania Tanambao, Amborogony Tanambao, Amborogony, Tsianengea, Tsimenatse Iii, Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse I Est, Tsimenatse II, Ankatsaka, Tanambao II Tsf Nord, Ampasikibo et Tanambao Motombe), strong (Antaninarenina, Anketa Bas, Tsianaloka, Anketa Haut, Betaritarika, Tanambao I, Sanfily, Konkasera, Ankiembe Bas et Ankiembe Haut), medium (Ambohitsabo, Tanambao Morafeno, Betania Ouest, Betania Centre, Betania Ankilifaly, Mahavatse II Ouest, Mahavatse II Est Ambararata, Mahavatse I Tanambao, Mahavatse I Ouest, Mahavatse I Est et Andabizy) and low (Besakoa, Toliara Centre, Andaboly et Mangabe) risk. A geomatic study (Remote Sensing and GIS), hydrogeology, climate and geophysics will be undertaken to address of shortage problem of drinking water.

**Keywords-** Madagascar, Insufficient water, Vulnerability, Indicator, GIS, Toliara, Madagascar.

## I. INTRODUCTION

À Madagascar comme partout ailleurs, l'eau est un patrimoine commun national, est ressource naturelle indispensable aux organismes humains comme tous les êtres vivants et cause des problèmes d'ordre économique, social et sanitaire en cas d'insuffisance (Code de l'eau, 1999). L'eau fait partie des éléments essentiels au fonctionnement d'une ville (Hard, 2009). La gestion du cycle urbain de l'eau permet de définir les objectifs et l'évaluation du fonctionnement du système d'assainissement en ville (Matos *et al.*, 2003 ; Taylor *et al.*, 2006) eau de ménage, eau pour l'industrie et services publics, eau du jardin, etc.

À Toliara, l'eau reste toujours problématique depuis 3 ans. En saison des pluies, elle engloutit, sinon ravage la ville, à contrario en saison sèche, elle se fait rare. Ceci engendre constamment des effets sur l'approvisionnement en eau d'un point de vue qualitatif, quantitatif et économique (Système des Nations Unies à Madagascar, 2010). Durant la période sèche, la pression de l'eau courante est très souvent faible, d'où le fait que certains quartiers n'y aient accès qu'une partie de la journée ou quelques heures seulement. En revanche, durant la saison des pluies, l'eau est abondante en général de très courte durée ; les zones basses sont submergées, les réservoirs et les puisards de Service de la société JIRAMA (eau et électricité malagasy) sont chargés. Selon Perrier de la Bathie (1934), la sécheresse du Sud-Ouest de Madagascar provient davantage de sa constitution géologique que du manque de précipitations.

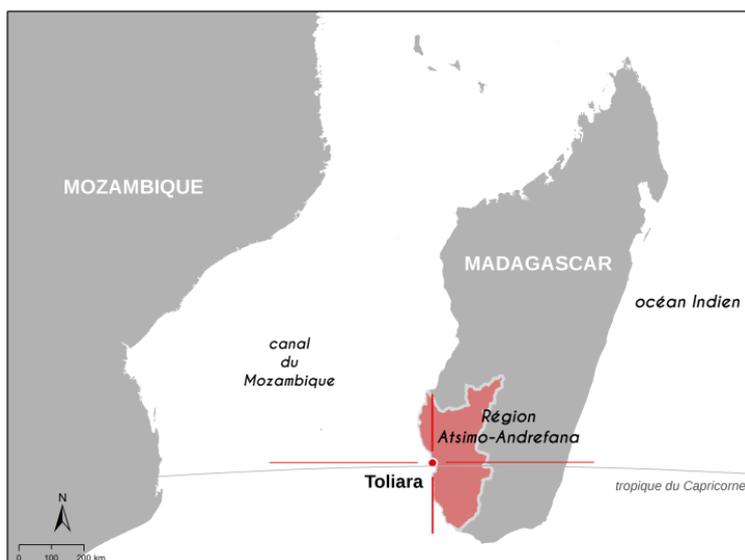
La formation géologique du sud-ouest est dominée par de roches sédimentaires (calcaire, dolomie, craie, alluvion), milieu très hétérogène à circulations très rapides constitué d'un réseau de drains, qui entraînent l'infiltration rapide de l'eau de surface. Et le manque de précipitation est dû par l'insuffisance de la couverture forestière.

La vulnérabilité de Toliara face à l'insuffisance en eau est liée à divers facteurs, tels que : le changement climatique saisonnier, le diamètre des tuyaux en lien avec la densité de la population donc le pourcentage de ménages abonnés à la société JIRAMA (eau et électricité malagasy) et la durée de distribution journalière. Ceci permet d'établir une présentation cartographique des différents facteurs et de l'indice de vulnérabilité à l'échelle du quartier.

Clark et Deininger (2000), Egan (2007) et Hardy (2009) ont utilisés une méthode appelée mise au point à Quito (D'Ercole, Metzger, 2004). Cette méthode consiste à décomposer les différents éléments du système d'approvisionnement en eau potable. La décomposition permet de déterminer et d'évaluer la vulnérabilité des différents éléments du système d'approvisionnement en eau. La détermination de la vulnérabilité du système aide à comprendre les problématiques qui causent la vulnérabilité de Toliara face à l'insuffisance en eau. Nous utiliserons donc cette méthode pour déterminer la vulnérabilité des éléments du système d'approvisionnement en eau de la ville de Toliara.

Récemment, Nafissa *et al.* (2014) ont utilisés la méthode qui consiste à déterminer un indice de vulnérabilité, en se basant sur 5 paramètres : l'insuffisance des ressources hydriques, vétusté des réseaux, matériaux des réseaux, densité démographique et urbanisation anarchique. Cette méthode sert aussi à estimer la vulnérabilité à la pollution bactériologique de l'eau distribuée dans l'espace urbain. Alors, pour déterminer la vulnérabilité de Toliara face à cette insuffisance en eau, nous avons utilisé la même méthode mais on s'est basé sur les paramètres suivants : changement climatique, diamètre du tuyau, densité de la population, pourcentage de ménages abonnés, et nombre d'heure de distribution journalière.

La ville de Toliara (23°21'S et 43°41'E) se trouve à l'Est du Canal de Mozambique, à 10 km au Nord du Tropique du Capricorne (Fig.1). La ville se divise en deux unités urbaines, Toliara I composé de 41 quartiers et une partie de Toliara II constitué de 33 quartiers (Fig.2). L'étude se concentre sur la partie Toliara I, en raison du manque de données concernant Toliara II.



**Figure 1 :** Localisation de la ville de Toliara

Cette région Sud-Ouest de Madagascar est classée climat semi-aride. En 1978, la température moyenne annuelle était de 24,7°C avec la moyenne du mois le plus frais de 20,8°C (Sorre in Arlery et al., 1973). Actuellement les températures moyennes annuelles sont de 26,5 °C et les précipitations moyennes annuelles de 31,23 mm (SRM, 2014).

Pendant la saison sèche (juillet et août) la pluviométrie est presque nulle dans la partie littorale (Komeno, 2006) contrairement à la saison pluvieuse, où l'eau est abondante notamment lors de

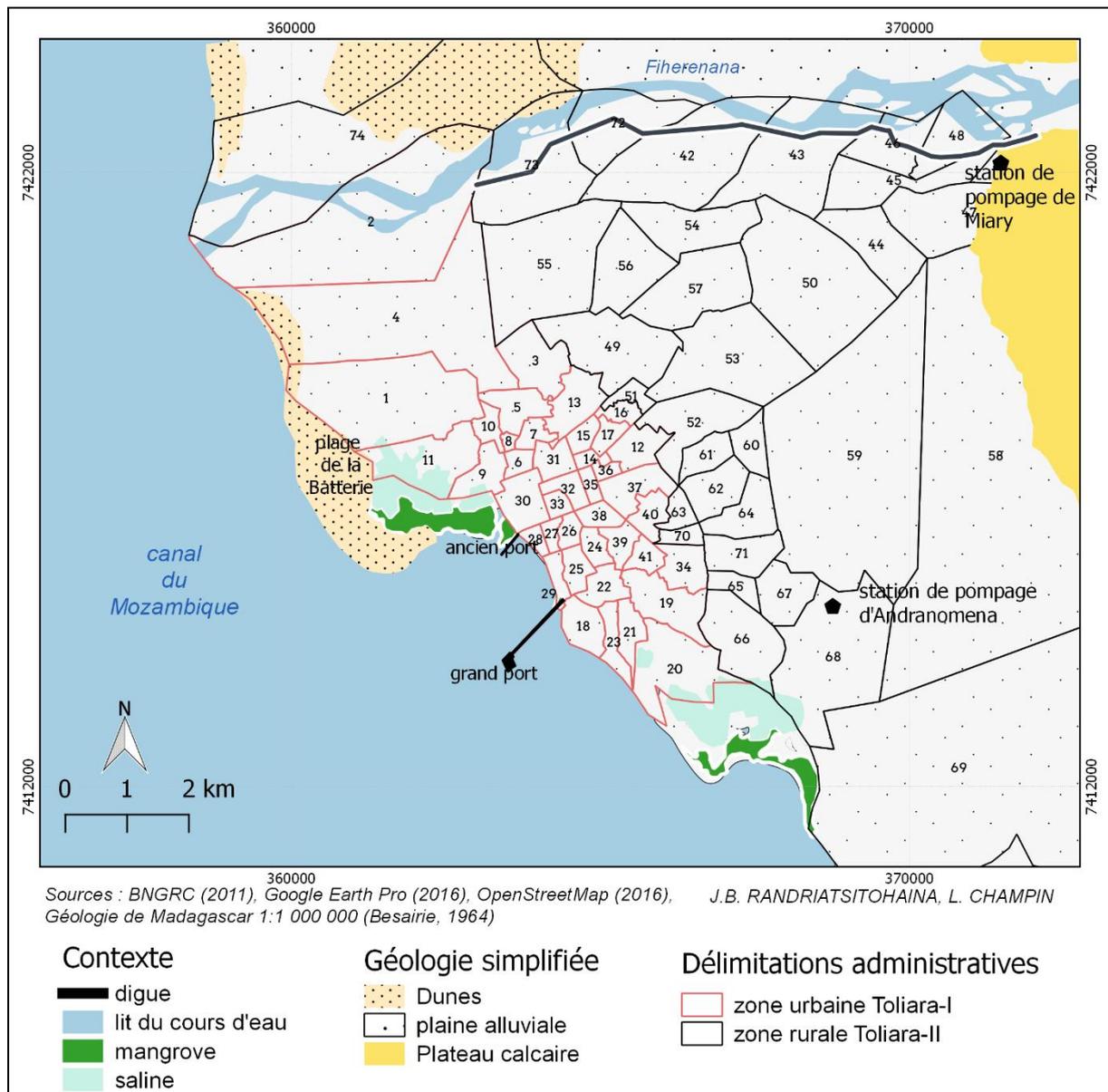
passages de cyclones. Le régime du Fleuve Fiherena qui draine la plaine côtière de Toliara est déterminé par la pluviométrie de bassins versants comprise entre 500 à 800 mm en amont et 350 à 140 mm en aval (Salomon, 1987).

Géologiquement, la ville se localise dans une plaine alluviale sur des formations dunaires et grésocalcaires ou marneuses de la partie affaissée de ce plateau calcaire Eocène qu'est le Plateau Mahafaly souvent karstique (Guilcher, 1965 ; Battistini et al., 1975). Les formations superficielles ne sont pas de même consistance selon l'endroit. Les sols sur limons et sables fluviaux sont d'épaisseurs variables et les dunes dominantes du fini-Pléistocène sont de formations actuelles (Sourdat, 1977).

Dans cette plaine côtière de Toliara, le Fleuve Fiherena construit un delta surplussant de 13 km depuis son débouché du plateau calcaire jusqu'au front de la mer (Salomon, 1979). Des formations paléalluviales témoignent également d'un ancien lit du Fiherena. Ces formations piègent les nappes aquifères utilisées par la population locale (Rabenarivelo, 2007 ; Razakamanana et al., 2014).

Par le contexte hydrogéologique et hydrologique, les eaux de ruissellement du bassin versant de Fiherena s'écoulent vers de puits qui sont directement connectés avec le réseau de fissures et de conduites karstiques calcaires et les formations-réservoirs d'origine fluviale qu'elles traversent. Le débit du Fiherena à Bemia (15 km à l'Est de Toliara) était de 3000 m<sup>3</sup>/s en 1920, 1000 m<sup>3</sup>/s en 1946, 6500 m<sup>3</sup>/s en 1950 et entre 500-1000 m<sup>3</sup>/s en 1976, pendant la période de crue (Salomon, 1987). En 2007, Ratsitohaina apporte de nouvelles données et indique que le débit était presque nul en 2003 durant la période d'étiage. Il s'agit d'un changement par rapport aux périodes antérieures résultant de l'assèchement progressif des nappes phréatiques et la diminution du débit des principaux cours d'eau (Salomon, 1987).

Le transfert assez rapide de l'aquifère du calcaire vers les conduites karstiques produit des eaux souterraines pour l'alimentation en eau de la ville (à mettre de figure et reprendre la phrase). Il permet ainsi l'apparition de nombreuses résurgences le long du littoral qui favorisent le développement de mangroves. Cette continuité entre le réseau karstique et la bande littorale est incontestable, car il n'y a pas d'alimentation directe par infiltration dans les formations quaternaires (Aurouze, 1959 et Guyot, 2002).



**Figure 2** : Délimitation administrative de Toliara selon BNGRC, 2011 (Bureau National de Gestion des Risques et Catastrophes)

Les quartiers : 1 : Anketraka , 2 : Sakabera , 3 : AntavavSalimo, 4 : Tsongobory, 5 : Anketa Bas, 6 : Tsianaloka, 7 : Anketa Haut, 8 : Betaritarika, 9 : Besakoa , 10 : Antaninarenina, 11 : Ambohitsabo, 12 : BetaniaTanambao, 13 : Andaboly, 14: BetaniaAnkilifaly, 15 : Betania Ouest , 16 : Mangabe, 17 : Betania Centre, 18 : Ankiembe Bas, 19 : TanambaoMotombe, 20 : Ankiembe Haut, 21 : Mahavatse I Est, 22 : Mahavatse I Tanambao, 23: Mahavatse I Ouest, 24 : Tsimenatse II, 25 : Mahavatse II Est Ambararata, 26 : Tsimenatse I Est, 27 : Tsimenatse I Ouest, 28 : Tsimenatse Iii, 29 : Mahavatse II Ouest, 30 : Toliara Centre, 31 : TanambaoMorafeno, 32 : Tanambao I, 33 : Tsianengea, 34 : Andabizy, 35 : Amborogony, 36 : AmborogonyTanambao, 37: Ampasikibo, 38 : Sanfily, 39 : Ankatsaka, 40 : Tanambao II Tsf Nord, 41 : Konkasera, 42 : MiaryBeleboka, 43 : MiaryAnkoronga, 44 : MiaryAnkasy, 45 : Miary Ville, 46 : MiaryBereketa, 47 : MiaryAmbohibola, 48 : Miary Betsileo, 49 : MitsinjoBetanimena, 50 : Befanamy, 51 : AndamasinyTanambao, 52 : Besasavy, 53 : Ampasinabo, 54 : Andalavy, 55 : TanandavaMikambana, 56 : Analatsimavo, 57 : BelebokaAndrovakely, 58 : Ankaiasy, 59 : BetsinjakaAmbony, 60 : Samotelahy, 61 : Ambolofoty, 62 : Betsingilo, 63 : Andakoro I, 64 : Antsihanaka, 65 : Motombe Est, 66 : Motombe West, 67 : Antanimikodoy, 68 : Andranomena, 69 : AnkorongaAndatabo, 70 : Andakoro II, 71 : Toby Betela, 72 : Bekoake, 73 : Tsinjoriaka, 74 : Belalanda.

Dans ce contexte de déficience en eau, la population utilise différentes ressources pour satisfaire ses besoins en eau potable et utilise notamment de l'eau non traitée (prélevée dans les puits ou dans le Fleuve Fiherena). Le système d'alimentation en eau de la société JIRAMA (eau et électricité malagasy) est également vulnérable depuis longtemps jusqu'à son réhabilitation en 2017 et beaucoup de ménages qui s'approvisionnent en eau aux bornes fontaines publiques et puits non protégés et non traités, ont des problèmes d'insuffisance hydrique. En observant la capacité de distribution (litre par jours) de la société de JIRAMA par rapport à la population totale de la ville Toliara, on peut constater une moyenne de capacité de distribution de 70 l/hab/j (litres par habitant par jour) aux branchements particuliers et de 18l/hab/j aux bornes fontaines (Ramampanjaka, 2015). Alors, la direction régionale de la statistique à Toliara (DIR/INSTAT/Toliara, 2015), la norme nationale est environ 30 litres par personne par jour. Donc, certains habitants (environ 70 000 personnes) sont vulnérables face à cette insuffisance en eau (Ramampanjaka, 2015).

L'objectif de l'étude est de connaître la vulnérabilité spatiale de l'accès à l'eau à Toliara. Il est important d'analyser et évaluer cette vulnérabilité du système d'alimentation en eau et l'évaluation de sa réhabilitation pour sécuriser le fonctionnement du système (Egan, 2007 et Hardy, 2009). Car son altération voire sa disparition pourrait impacter d'autres éléments de la ville, comme le système de santé par exemple qui pourrait engendrer de profondes crises (Hardy, 2009).

## II. MÉTHODOLOGIE

Cette étude exige en premier lieu la caractérisation détaillée du système d'alimentation en eau par la société JIRAMA (eau et électricité malagasy), les conditions climatiques et le nombre d'habitants. L'importance de chaque facteur en termes de vulnérabilité dépend de son poids exprimé par un indice numérique qui représente une évaluation du niveau de risque de l'insuffisance en eau. Le degré de l'insuffisance en eau en termes de vulnérabilité dépend de son indice numérique qui est évalué selon son niveau de risque. La valeur de l'indice est fonction de l'augmentation du niveau de risque.

Pour cela, il sera nécessaire de :

- a. identifier tous les facteurs de la vulnérabilité au niveau de la société JIRAMA (eau et électricité malagasy) et déterminer le nombre de ménages non abonnés à la JIRAMA.
- b. analyser les différents facteurs qui causent le risque de l'insuffisance en eau par un indice numérique basé sur la vulnérabilité et les impacts sur la population.
- c. cartographier les quartiers vulnérables en utilisant le SIG.

### II.1. Vulnérabilité du système d'alimentation en eau de la ville de Toliara

Il est très important d'analyser et évaluer la vulnérabilité du système d'alimentation en eau pour sécuriser le fonctionnement du système (Egan, 2007 et Hardy, 2009). Ceci permet de comprendre la vulnérabilité de ce système d'approvisionnement en eau potable de la ville de Toliara. La perte du système d'approvisionnement en eau pourrait en effet provoquer des problèmes sur d'autres éléments de fonctionnement urbain – comme sur le système de santé – pouvant à leur tour engendrer des crises (Hardy, 2009).

La méthodologie choisie est la méthode utilisée par Clark et Deininger (2000) ; Egan (2007) et Hardy (2009) qui sert à déterminer la vulnérabilité des différents éléments du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de Toliara sans avoir fait une étude détaillée sur l'évaluation. Celle-ci est combinée à la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des installations pour les exploitations desservant des populations numériquement importantes (Houssin et al., 2007). Ces méthodes servent à évaluer la vulnérabilité des matériels utilisés par la société

JIRAMA (eau et électricité malagasy) sur son état, son entretien et ses problèmes. L'évaluation se fait à partir du captage jusqu'à la distribution au robinet.

*Un état de fonctionnement* est attribué pour chaque élément en fonction de son importance dans le fonctionnement du sous-système. La valeur faible est 1 et la valeur la plus élevée est 3 (À cette valeur les éléments du système ne sont plus fonctionnels) (Tab.1). *L'âge du système* donne une valeur âge qui varie entre 1 la plus faible et 5 la plus élevée. *La valeur de l'expérience technique* est de 1 pour la faible à 2 pour la plus élevée (Cette valeur exprime le suivi de l'entretien).

**Tableau1** : Matrice d'évaluation de vulnérabilité du système d'approvisionnement en eau de JIRAMA

Vétusté du système		Expérience technique		Fonctionnement	
	Valeur âge		Valeur		Valeur
<10ans	0	sans problème	0	Fonctionnement nulle	0
10 ans	1	quelques problèmes	1	Fonctionnement faible	1
20 ans	2	problèmes fréquents	2	Fonctionnement moyen	2
30 ans	3			Bon fonctionnement	3
40 ans	4				

*Le niveau de vulnérabilité* est la somme des valeurs de ces trois critères dans le tableau1, pour chaque composant des éléments du système. L'évaluation est basée sur l'état de fonctionnement, la vétusté du système et l'expérience technique (Tab.2). Le niveau de vulnérabilité total est la somme des valeurs de niveau de la vulnérabilité de chaque composant. Nous obtenons alors un niveau de vulnérabilité pour chaque élément du système. Le tableau suivant montre cette évaluation (Tab.2).

**Tableau2** : Évaluation du niveau de vulnérabilité

Niveau de la vulnérabilité	Valeur totale	Niveau de vulnérabilité totale	Somme de Valeur Totale
Vulnérabilité nulle	0	Vulnérabilité nulle	0
Faible vulnérabilité	1 à 3	Faible vulnérabilité	1 à 10
Vulnérabilité moyenne	4 à 7	Vulnérabilité moyenne	11 à 20
Vulnérabilité élevée	8 et plus	Vulnérabilité élevée	21 et plus

*L'évaluation de la vulnérabilité du système* de la société JIRAMA montre son état de fonctionnement, son entretien, des problèmes déjà reportés. On a commencé l'évaluation à partir du groupe les éléments du système de la captation de l'eau de la nappe (Tab.3), le traitement (Tab.4), le réservoir (Tab.5) jusqu'à la distribution (Tab.6).

**Tableau3** : Évaluation des captages

Composants	Etat de fonctionnement	Valeur âge	Valeur expérience technique	Valeur totale	Niveau de vulnérabilité
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : STATION DE POMPAGE À MIARY</b>				<b>28</b>	<b>Elevé</b>
Forage 1	3	3	2	8	Elevé
Forage 2	3	3	2	8	Elevé
Forage 3	0	3	0	3	Faible
Forage 4	0	3	0	3	Faible
Forage 5	0	3	2	5	Moyen
Forage 6	0	0	0	1	Nul
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : STATION DE POMPAGE À ANDRANOMENA</b>				<b>8</b>	<b>Faible</b>
Forage 1	0	3	0	3	Faible
Forage 2	0	3	2	5	Moyen

Ce tableau montre que la station de pompage de Miary a un niveau de vulnérabilité élevé. Cette station est constituée de six forages dont 2 (forage «1 » et «2 ») qui sont totalement abandonnés, donc leurs niveaux de vulnérabilité sont élevés. Les 4 forages sont équipés du groupe électrogène immergé (G.E.P.I) (Tohindrainy, 2016). Les forages « 3 » et « 4 » ont un faible niveau de vulnérabilité car ils fonctionnent bien et n'ont pas de problèmes. Mais, ils sont très anciens, leur mise en service date de décembre 1979. Ils ont un débit respectif de 156m<sup>3</sup>/h et 190 m<sup>3</sup>/h. Le forage « 5 » est aussi ancien, de plus la pompe G.E.P.I. était en panne lors de notre visite du site le 14 mai 2016, son niveau de vulnérabilité est donc moyen. Le forage « 6 » fonctionne bien et récemment mis en service, en 2004 (Said, 2013), donc son niveau de vulnérabilité est nul et a un débit de 100m<sup>3</sup>/h.

La station de pompage d'Andranomena a un faible niveau de vulnérabilité. Le forage « 1 » a été mis en service en juillet 1980 et le forage « 2 » en août 1980 (Said, 2013). Le forage « 1 » a un débit de 65m<sup>3</sup>/h et le forage « 2 » a un débit de 55m<sup>3</sup>/h. Ils ont presque 36 ans de mise en fonctionnement, ce qui donne un niveau de vulnérabilité faible pour le forage « 1 ». Mais, moyen pour le forage « 2 », la pompe du forage « 2 » était également en panne lors de notre visite du 14 mai 2016.

**Tableau4 :** Évaluation de la station de traitements

Composants	Etat de fonctionnement	Valeur âge	Valeur expérience technique	Valeur totale	Niveau de vulnérabilité	
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : STATION DE POMPAGE À MIARY</b>					<b>28</b>	<b>Elevé</b>
canalisation d'entrée	0	3	0	3	Faible	
floculation	0	3	0	3	Faible	
système/ pompe clore	0	3	0	3	Faible	
réservoir de silicate d'allumine	0	3	0	3	Faible	
générateur électrique	0	3	0	3	Faible	
équipement électronique de contrôle	0	3	0	3	Faible	
Filtration	0	3	0	3	Faible	
injection	0	3	0	3	Faible	
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : TRAITEMENT À ANDRANOMENA</b>					<b>24</b>	<b>Elevé</b>
canalisation d'entrée	0	3	0	3	Faible	
floculation	0	3	0	3	Faible	
système/ pompe clore	0	3	0	3	Faible	
réservoir de silicate d'allumine	0	3	0	3	Faible	
générateur électrique	0	3	0	3	Faible	
équipement électronique de contrôle	0	3	0	3	Faible	
filtration	0	3	0	3	Faible	
injection	0	3	0	3	Faible	

Les stations de traitement de Miary et d'Andranomena ont un niveau de vulnérabilité élevé, car les éléments qui constituent la station sont presque âgés plus de 30 ans et donne aussi un niveau de vulnérabilité faible de chaque composant.

**Tableau 5 :** Évaluation de réservoirs de stockage

Composants	Etat de fonctionnement	Valeur âge	Valeur expérience technique	Valeur totale	Niveau de vulnérabilité	
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : RÉSERVOIRS</b>					<b>17</b>	<b>Moyen</b>
Réservoir 1000m <sup>3</sup> à Miary	0	3	1	4	Moyen	
Réservoir 600m <sup>3</sup> à Miary	3	3	2	8	Elevé	
Réservoir 500m <sup>3</sup> à Tanambao	0	3	2	5	Moyen	

Le niveau de vulnérabilité du réservoir de 1000m<sup>3</sup> à Miary est moyen, car son âge est très ancien. Et celui de 600m<sup>3</sup> à un niveau de vulnérabilité élevé, car ce réservoir est fissuré et n'est plus en service. Le réservoir 500m<sup>3</sup> à Tanambao est encore fonctionnel, mais il n'y a pas de surpresseur pour le mettre en service.

**Tableau 6 : Évaluation** de la conduite principale de distribution

Composants	Valeur de vulnérabilité	Valeur âge	Valeur expérience technique	Valeur totale	Niveau de vulnérabilité
<b>ÉLÉMENT DU SYSTEME : DISTRIBUTION</b>				26	Elevé
Conduite 1 à Miary	0	3	3	6	Moyen
Conduite 2 à Miary	0	3	3	6	Moyen
Conduite d'Andranomena	0	3	3	6	Moyen
Surpresseur à Miary	0	3	1	4	Moyen
Surpresseur à Mitsinjo	0	3	1	4	Moyen

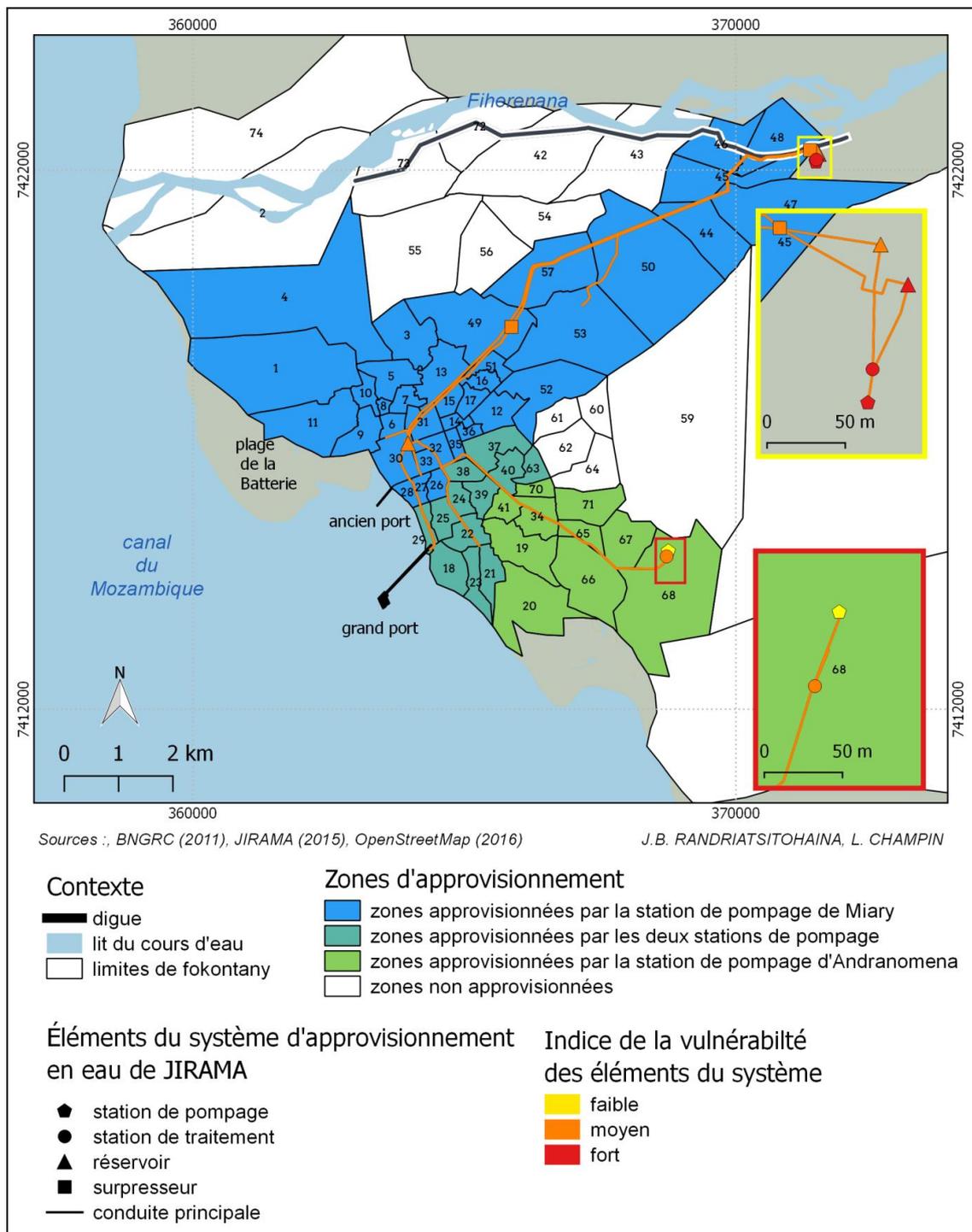
Les conduites principaux « 1 » et « 2 » de Miary ont des âges de plus de 30 ans et ont des diamètres de 250 mm qui n'arrivent pas à subvenir aux besoins de la population de Toliara. Son niveau de vulnérabilité est donc moyen. Elles ont un débit moyen respectif : 169 m<sup>3</sup>/h et 246m<sup>3</sup>/h. La conduite principale d'Andranomena est similaire aux conduites de Miary, qui ont un débit de 120m<sup>3</sup>/h. Ces conduites devraient être changées par des conduites dont le diamètre de tuyau est supérieur à 250 mm pour satisfaire les besoins en eau de la ville de Toliara. Les surpresseurs à Miary et à Mitsinjo sont eux aussi âgés, leur niveau est donc moyen donc il est nécessaire d'augmenter la pression hydraulique du conduit pour approvisionner la ville de Toliara (PIC II, 2016).

La vulnérabilité des éléments du système de JIRAMA est représentée par la carte suivante (Fig.3). Sur la carte, le point en forme de polygone indique les stations de pompage, dont le polygone en couleur jaune représente la station à Andranomena qui a un niveau de vulnérabilité faible et la station de pompage à Miary est indiquée par le polygone colorée en rouge qui a un niveau de vulnérabilité élevé. Ces stations de pompage produisent 10704 m<sup>3</sup> par jour pour celle de Miary et 2880 m<sup>3</sup> par jour pour celle d'Andranomena.

Les stations de traitement à Andranomena et à Miary sont représentées par les points ronds de la couleur rouge qui ont un niveau de vulnérabilité élevé. Les réservoirs à Miary (1000m<sup>3</sup>) et à Tanambao (500m<sup>3</sup>) sont les points orange en forme de triangle sur la carte, ils ont un niveau de vulnérabilité moyen. Le deuxième réservoir à Miary (600m<sup>3</sup>) qui est fortement vulnérable est le point coloré en rouge. Le réservoir de 1000m<sup>3</sup> à Miary contient au minimum de 700-800m<sup>3</sup> par jour pour distribuer en permanence l'eau vers la ville de Toliara. Les surpresseurs à Miary et à Mitsinjo sont représentés par des points en forme de carrés colorés en orange. Ces surpresseurs sont moyennement vulnérables. Enfin, les conduites principales qui viennent de Miary et d'Andranomena sont indiquées par des lignes orangées qui ont un niveau de vulnérabilité moyen. La conduite « 1 » à Miary distribue journalièrement une quantité d'eau de 4060m<sup>3</sup> et la conduite « 2 » distribue 5900m<sup>3</sup>. La conduite d'Andranomena distribue journalièrement une quantité d'eau de 2880m<sup>3</sup>. Donc la quantité moyenne journalière distribuée par la société JIRAMA (eau et électricité malagasy) est de 13584 m<sup>3</sup> en 2016.

Il est bien visible que les conduites « 1 » et « 2 » alimentent les quartiers de Miary Ankasy, Miary Ville, Miary Bereketa, Miary Ambohibola, Miary Betsileo, Befanamy, Belemboka, Mitsinjo, Betanimena, Andamasiny Tanambao, Besasavy, Ampasinabo, Anketraka, Sakabera, Antaravay Salimo, Tsongobory, Anketa Bas, Tsianaloka, Anketa Haut, Betaritarika, Besakoa, Antaninarenina, Ambohitsabo, Betania Tanambao, Andaboly, Betania Ankilifaly, Betania Ouest, Mangabe, Betania Centre, Tsimenatse I Est, Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse Iii, Toliara Centre, Tanambao Morafeno, Tanambao I, Tsianengea, Amborogony et Amborogony Tanambao (Fig.3).

Les quartiers Mahavatse I Est, Mahavatse I Tanambao, Mahavatse I Ouest, Tsimenatse II, Mahavatse II Est Ambararata, Ankiembe Bas, Ampasikibo, Sanfily, Ankatsaka, Tanambao II Tsf Nord, Mahavatse II Ouest et Andakorosont des zones mixtes alimentées par les deux stations.



**Figure3:** Carte montrant la vulnérabilité du système d’approvisionnement en eau de la société JIRAMA

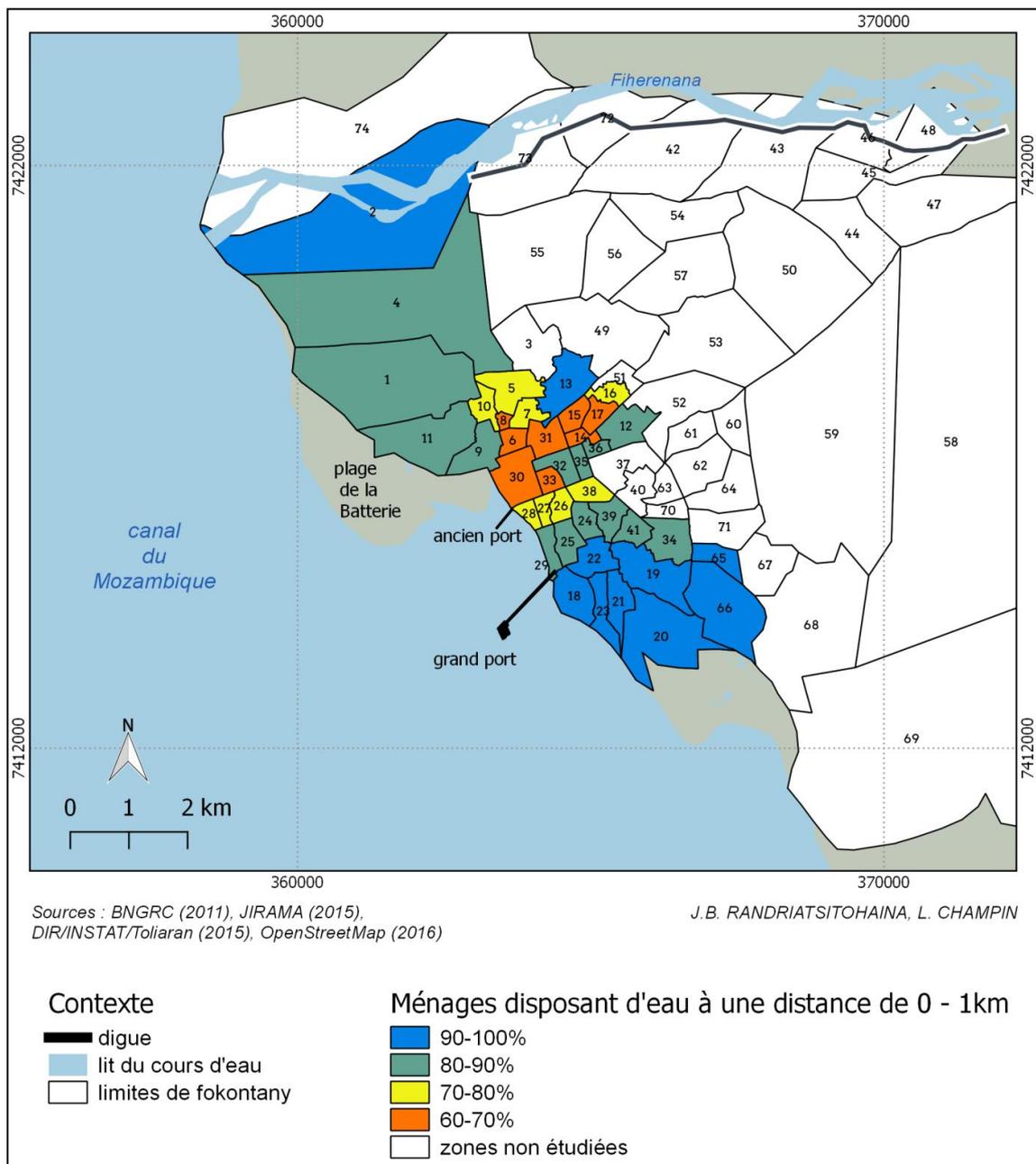
La station de pompage d’Andranomena approvisionne les quartiers de Tanambao Motombe, Ankiembe Haut, Andabizy, Konkasera, Motombe Est, Motombe ouest, Antanimikodoy, Andranomena, Ankoronga Andatabo, Andakoro II et Toby Betela.

C’est une première carte de vulnérabilité globale du système d’approvisionnement en eau potable de la ville de Toliara (Fig.3). Elle montre les éléments du système et leur niveau de

vulnérabilité réparti en trois classes : bas, moyen et élevé. Ces trois classes sont représentées respectivement par la couleur jaune, orange et rouge.

## II.2. Répartition de ménages s’approvisionnant en eau aux bornes de fontaine publique et autres sources

Selon la DIR/INSTAT/Toliara (2015), les zones urbaines de Toliara montrent que 61,4% des ménages utilisent l’eau de la borne fontaine et 7,1 % des ménages s’approvisionnent en eau de puits artisanaux (Fig.4 pour le cas de Mahavatse II).



**Figure4:** Pourcentage de ménages disposant d’eau de borne fontaine et d’autres sources

Dans les quartiers : Ankiembe Bas, TanambaoMotombe, Ankiembe Haut, Mahavatse I Est, Mahavatse I Tanambao, Mahavatse I Ouest, MotombeEst, AnkorongaAndatabo, Sakabera etAndaboly, 90 à 100% des ménages cherchent de l’eau dans un rayon de 0 à 1km. Dans les quartiers : Anketraka, Tsongobory, Besakoa, Ambohitsabo, Amborongony, AmborongonyTanambao, Tanambao I, BetaniaTanambao, Tsimenatse II, Mahavatse II Est

Ambararata, Mahavatse II Ouest, Andabizy, Ankatsaka et Konkasera, 80 à 90% des ménages ont leur source aux bornes fontaines et autres sources à une distance de 0 à 1 km. Alors que 70 à 80% des ménages sont dans les quartiers de Tsimenatse I Est, de Tsimenatse I Ouest, de Tsimenatse Iii, de Sanfily, de Mangabe, d'Anketa Bas, d'Anketa Haut et d'Antaninarenina. Concernant les quartiers de Betania Ankilifaly de Betania Ouest, de Betania Centre, de Toliara Centre, de Tanambao Morafeno, de Tsianengea, de Tsianaloka et de Betaritarika, c'est entre 60 à 70% des ménages.

La distance entre le point d'eau et le lieu d'habitation est entre 0-1 km avec une durée d'attente et de collecte entre 5 mn à plus de 1 h de temps. La majorité des ménages de la ville de Toliara et ses environs s'approvisionnent en eau à la borne fontaine publique dont la consommation mensuelle moyenne est entre 34977-37119 m<sup>3</sup> ; l'eau des puits et autres sources ont un pourcentage de 60-100 % (Fig5).



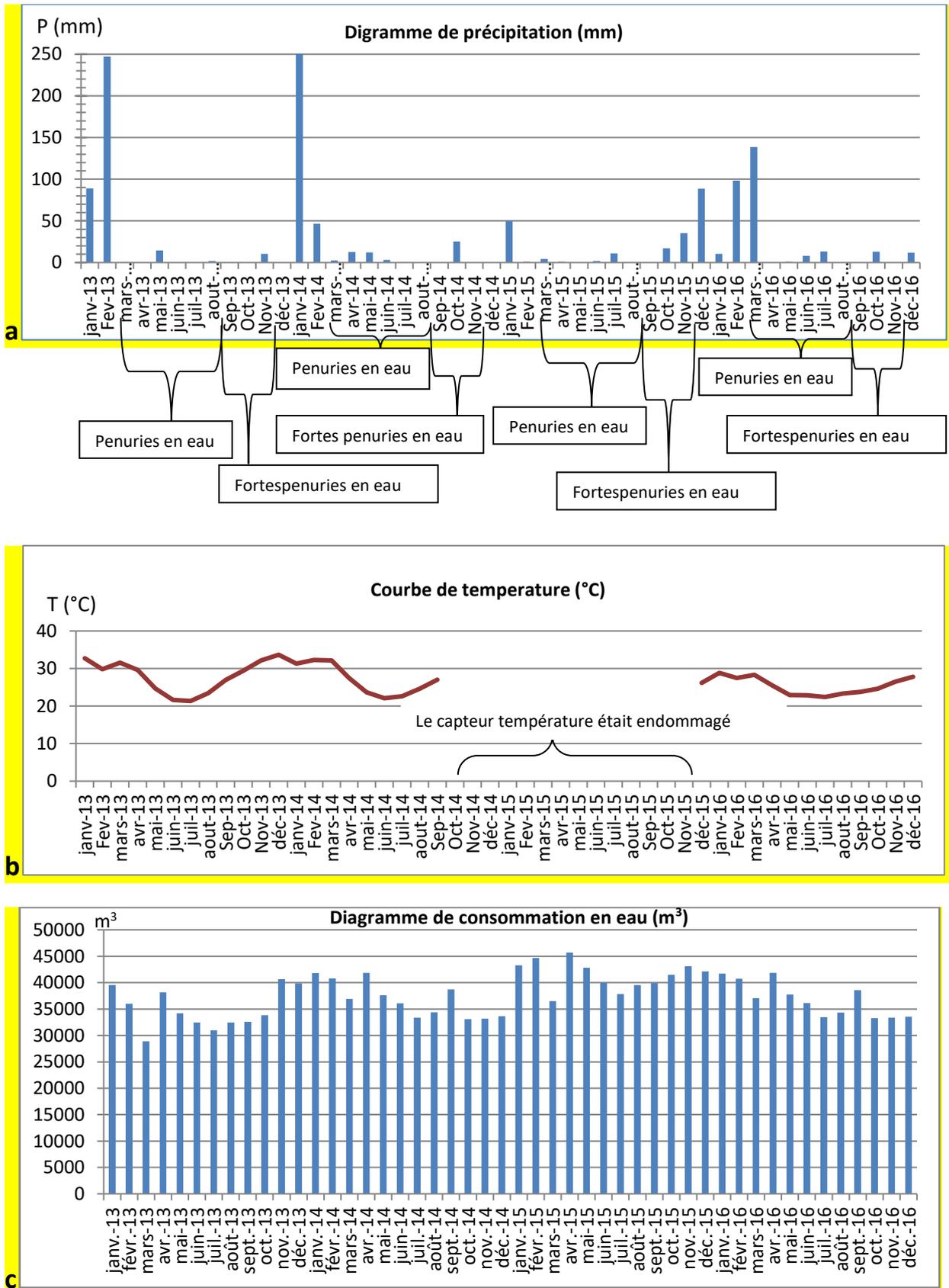
**Figure 5 :** Puits artisanal non protégé dans le quartier de Mahavatse II. (Source : Mara, 2016)

### **II.3. Facteurs de vulnérabilité liés à l'insuffisance en eau de la ville de Toliara**

La vulnérabilité de la ville de Toliara face à l'insuffisance en eau est causée par différents facteurs : facteur climatique, diamètre de tuyau de distribution, densité de la population, pourcentage de ménages abonnés par la société JIRAMA et l'insuffisance hydrique.

#### **II.3.1. La variation climatique en fonction de la saison.**

La consommation en eau dans la ville de Toliara varie suivant les variations de températures et de précipitations (Fig.6). Entre le mois de décembre et le mois d'avril, la température augmente, ce qui provoque une augmentation de la consommation en eau. La température moyenne mensuelle varie entre 26,5°C et 32,4°C. Cet intervalle de temps appartient à la saison des pluies qui recharge la nappe. La valeur de précipitation mensuelle varie entre 0-251 mm. Le problème de l'insuffisance en eau est donc allégé, parce que le niveau statique de l'eau augmente, ce qui entraîne la facilité du pompage en eau des pompes GEPI des stations de pompage dans les zones de captage. De plus, la plupart des gens peuvent alors utiliser l'eau de pluies. La consommation mensuelle en eau de la ville de Toliara atteint un volume de 36.018-41.838 m<sup>3</sup>/mois.



**Figure 6:** a) Diagramme de la précipitation, b) Courbe de la variation de la température et c) Diagramme de la consommation en eau du 01/01/2013-01/12/2014

Beaucoup de bornes fontaines publiques fonctionnent sur cette période car la pression hydraulique est forte et l'eau peut être distribué dans tous les zones de distribution de JIRAMA.

Du mois de mai jusqu'au mois de juin, la pluie diminue en petite quantité et la saison de l'hiver austral commence. La température moyenne mensuelle varie entre 21,4-23,7°C et la précipitation mensuelle est entre 0-14,5mm. La consommation en eau diminue entre 32471-36084m<sup>3</sup>/mois. Les habitants utilisent moins d'eau en saison froide. La saison froide continue toujours entre les mois de juillet et mois de septembre, mais il n'y a pas de pluie. S'il y en a c'est accidentel. La température moyenne mensuelle est entre 21,8-24,6°C et la précipitation mensuelle entre 0-2mm. La consommation mensuelle de toutes les bornes fontaine varie entre 30992-34369m<sup>3</sup>. La saison chaude commence entre mois de septembre et mois de novembre. La température moyenne mensuelle varie entre 26,8-28,8°C et la précipitation moyenne est entre 0-25 mm. En effet, la température augmente ce qui entraîne des besoins en eau de la population d'un côté et de l'autre côté, la précipitation n'est pas suffisante pour alimenter la recharge en eau. Par conséquent, la pénurie en eau s'aggrave sur cette période, et la consommation en eau de la ville de toutes les bornes fontaines augmente. La consommation des bornes fontaine dans toute la ville varie entre 32601-40635 m<sup>3</sup> et le nombre de bornes fontaine est entre 354-363.

### **II.3.2. Croissance démographique et diamètre de conduite**

La population augmente de 17.000 habitants en 1932, de 34.000 habitants en 1960, de 46.000 habitants en 1975, de 60.000 habitants en 1980 et de 140.000 habitants en 1991 (Source Collège français), de 217.124 habitants en 2014 et de 218.409 habitants en 2015 dans les zones urbaines (DIR/INSTAT/Toliara, 2015). La démographie de la ville de Toliara ne cesse d'augmenter, celle-ci est le résultat de l'exode rural. Ces données statistiques ont leurs limites, elles sont basées sur des projections puisque le derniers RGPH date de 1993. Cette croissance démographique a généré des problèmes sur l'approvisionnement en eau potable dans la ville de Toliara. La densité fait partie du facteur le plus évident de la vulnérabilité. La densité de la population est inégale dans tous les quartiers de la ville de Toliara (Fig.7). Les quartiers d'Anketraka, de Sakabera, de Tsongobory, de BetaniaAnkilifaly, deBetaniaOuest, deMangabe, de Betania Centre et de Konkaseraont une densité entre 22-105 hab/Ha. La densité de population varie entre 106-207 hab/Ha dans les quartiersde Besakoa, d'Antaninarenina, d'Ambohitsabo, de TanambaoMotombe, d'Andaboly, de Mahavatse I Est, de Mahavatse I Tanambao, de Mahavatse I Ouest, de Tsimenatse II, de Mahavatse II Est Ambararata, de Mahavatse II Ouest, d'Ankatsaka, de Tanambao II Tsf Nord, de Toliara Centre et Sanfily. La densité de population augmente entre 208-395hab/Ha dans les quartiers :Ankiembe Bas, Ankiembe Haut, Andabizy, Tsimenatse I Est, Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse Iii, Amborogony, AmborogonyTanambao, Tanambao I. Les quartiersdeTsianaloka, d'Anketa Bas, d'Anketa Haut, de Betaritarika, de Tsianengea, de BetaniaTanambao, d'Ampasikibo, de TanambaoMorafenoreprésentent une forte densité qui varie entre 396-564hab/Ha.

La taille du diamètre de la conduite joue un rôle important sur la vulnérabilité. La ville de Toliara dispose d'un réseau de distribution en eau potable de 120 kilomètres linéaires. La nature des matériaux des conduites est constituée de fonte, eternit, galva et PVC. La carte suivante montre la répartition des réseaux de distribution selon le diamètre des conduites (Fig.7).

Les conduites qui ont un diamètre entre 150-250mm passent dans les quartiers de :MiaryAnkasy, Miary Ville, MiaryBereketa, MiaryAmbohibola, Miary Betsileo, Befanamy, Beleboka, Mitsinjo, Betanimena, Anketa Bas, TanambaoMorafeno, Tanambao I, Tanambao II Tsf Nord, Andaboly, Tsimenatse I Est, Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse Iii, Toliara Centre, Tsimenatse II, Mahavatse II Ouest, Mahavatse II Est, Konkasera, Andabizy, Motombe Est, Motombeouest Andranomena.

Les conduites entre 100-149 mm de diamètre sont des réseaux de distribution qui traversent les quartiers de Toliara centre, de Besakoa, Antaninarena, d'Amborogony, d'AmborogonyTanambao, de Sanfil et d'Ampasikibo.

Les réseaux qui ont des conduites de diamètres entre 75-99 mm distribuent tous les quartiers d'Ampasikibo, de BetaniaTambao, de Besasavy, d'Andakoro, de Betsinjake, de Toby Betela, d'Ambohitsabo, d'Ankiembe haut et de Tsimenatse II.

Les réseaux qui ont un diamètre entre 50-74mm distribuent l'eau dans les quartiers d'Amketrake, Antaravaysalimo, de Tsongobory, d'Ampasikibo, de TanambaoMotombe et de Samotelahy.

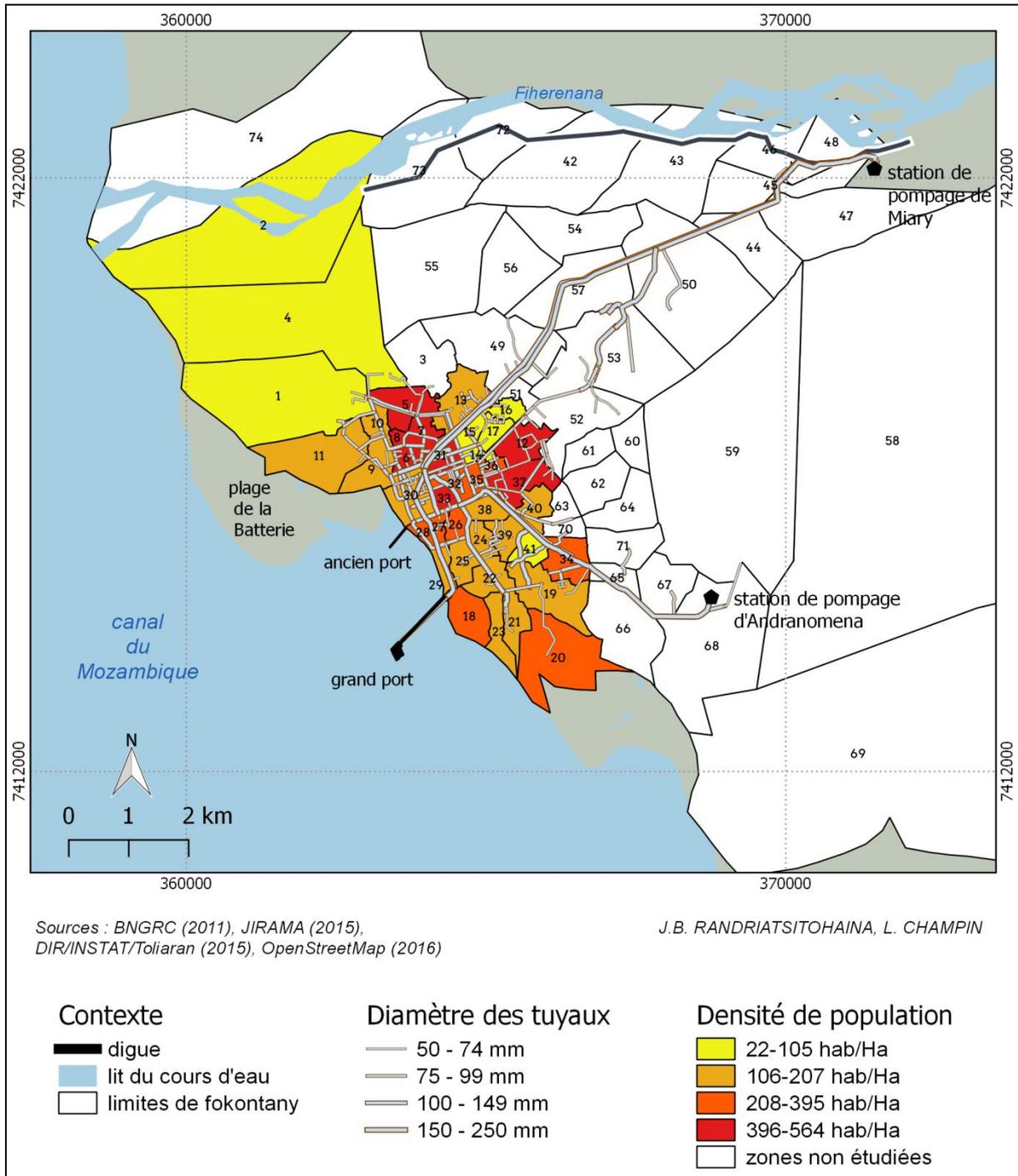


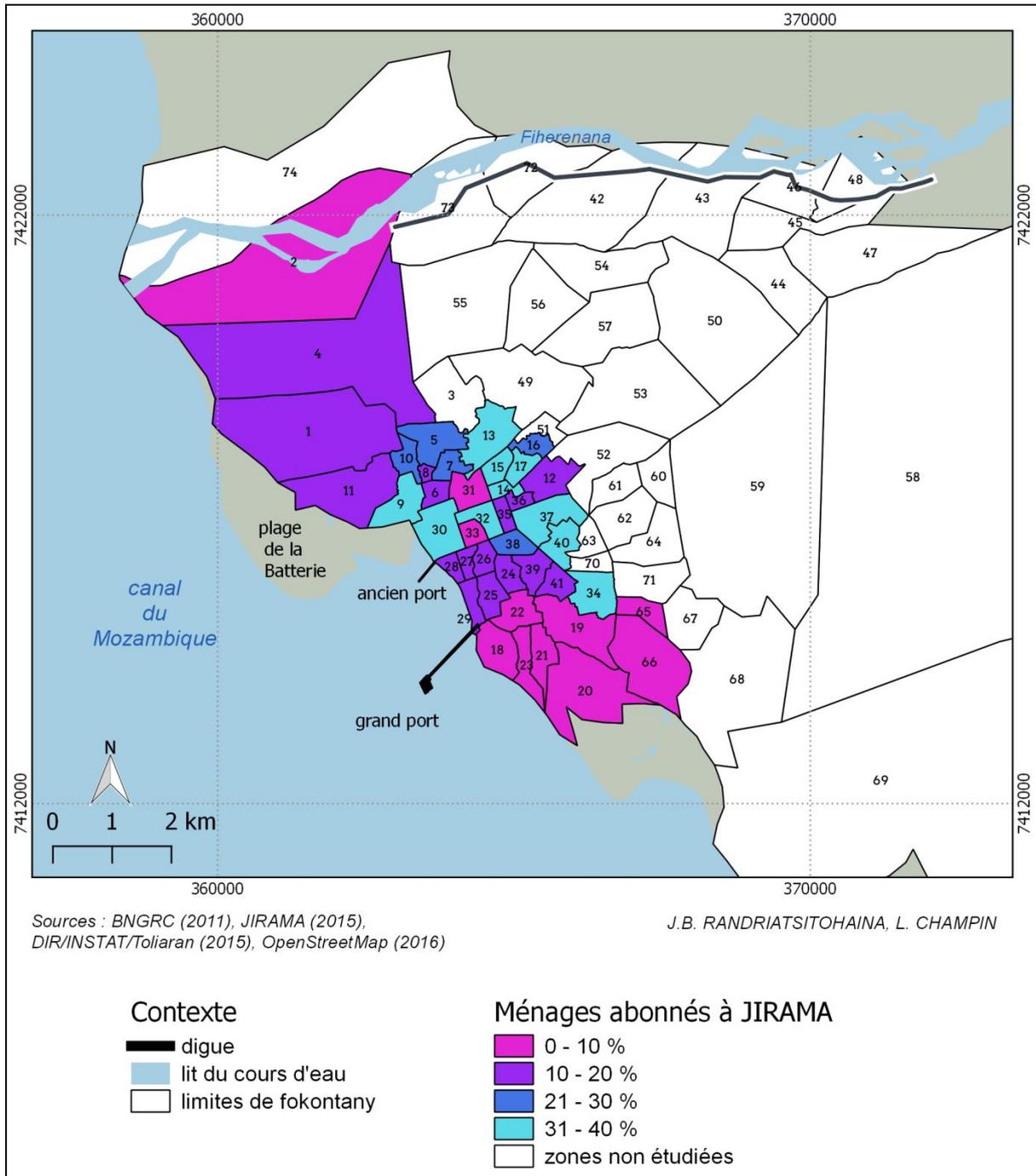
Figure7: Carte de la densité de la population et du diamètre des conduites

### II.3.3. Ménages abonnés à la société JIRAMA

Dans la ville de Toliara et ses environs, les ménages qui ont un accès en eau potable par le réseau de distribution, sont entre 0-40% des ménages dans la ville (Fig.8).

Selon DIR/INSTAT/Toliara (2015), 29,50% des ménages utilisent l'eau des bornes fontaines privées pour s'approvisionner en eau pour la boisson et la cuisine.

Pour en bénéficier, les clients de JIRAMA doivent effectuer une demande de raccordement auprès de l'Entreprise pour faire le branchement au sein de leur habitat. Il est bien visible que 30-40% des ménages dans les quartiers de Besakoa, Toliara centre, Andaboly, Betania Centre, BetaniaAnkilifale, Ampasikibo et Andabizy sont abonnés à la société JIRAMA.



**Figure8:** Carte des ménages abonnés à la société JIRAMA

Un abonnement à la société JIRAMA par un ménage signifie qu'il possède un branchement particulier c'est-à-dire une arrivée d'eau privée. 20 à 30% des ménages sont abonnés à JIRAMA dans les quartiers d'Antaninarena, d'Anketa, de Mangabe et de Sanfil. 10 à 20% des ménages sont abonnés à la société JIRAMA dans les quartiers d'Anketraka, d'Ambohitsabo, de

Tsongobory, de Tsiananaloka, de Betaritarika, de Tanamabao I, de Tanambao II Tsf Nord, d'Amborogony Ouest, d'Amborogony Est, de Betania Tanambao, de Betania Est, de Tsimenatse I Est, de Tsimenatse I Ouest, de Tsimenatse Iii, Tsimenatse II, de Mahavatse II Est Ambararata, de Mahavatse II Ouest et d'Ankatsake.

Cette inégalité de répartition en pourcentage de ménages abonnés dans tous les quartiers dépend de l'ancienneté du quartier par exemple les quartiers qui sont formés lors de la période coloniale ont de forts pourcentages (Besakoa, Toliara centre, Andaboly etc..). De plus la densité de la population et le niveau de vie de la population mettent en jeu cet inégalité, par exemple selon DIR/INSTAT/Toliara (2015), le classement économique représente 15,2% de classe intermédiaire aisée ; 44,3% de classe moyenne ; 22,9% de classe intermédiaire pauvre et 15,2% de classe pauvre.

Ces taux d'abonnement montrent que la population s'expose à la vulnérabilité face à l'insuffisance en eau.

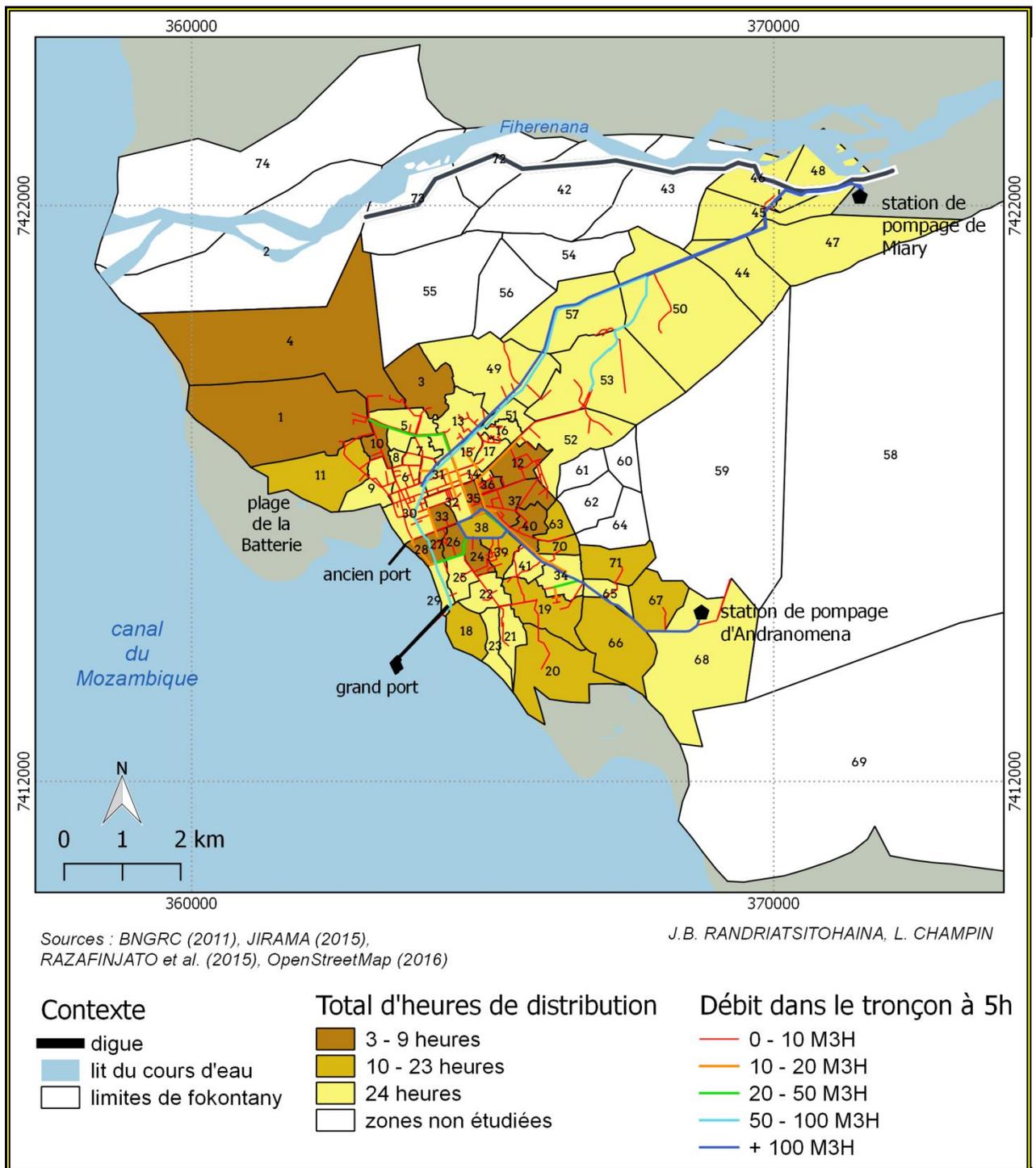
### **II.3.4. Nombre d'heures de distribution journalière**

La pénurie a un lien avec le diamètre des tuyaux qui entraîne un faible débit dans certains quartiers qui ont des tuyaux de petites tailles de diamètres (Cas de Quartier d'Ampasikibo). Les quartiers de hautes altitudes, ont des problèmes de circulation en eau dans leurs canaux de distribution, l'élévation du niveau topographique entraîne aussi cette pénurie car la pression d'eau n'arrive pas à atteindre les zones en hautes altitudes (Cas des quartiers de Tsienengea, d'Antaninarena et de Tsimenatse II).

Par conséquent, le total d'heures de distribution en eau de la ville de Toliara varie en fonction du quartier. Cette variation est entre 3-9 heures, 10-23 heures et 24 heures par jour (Fig.9).

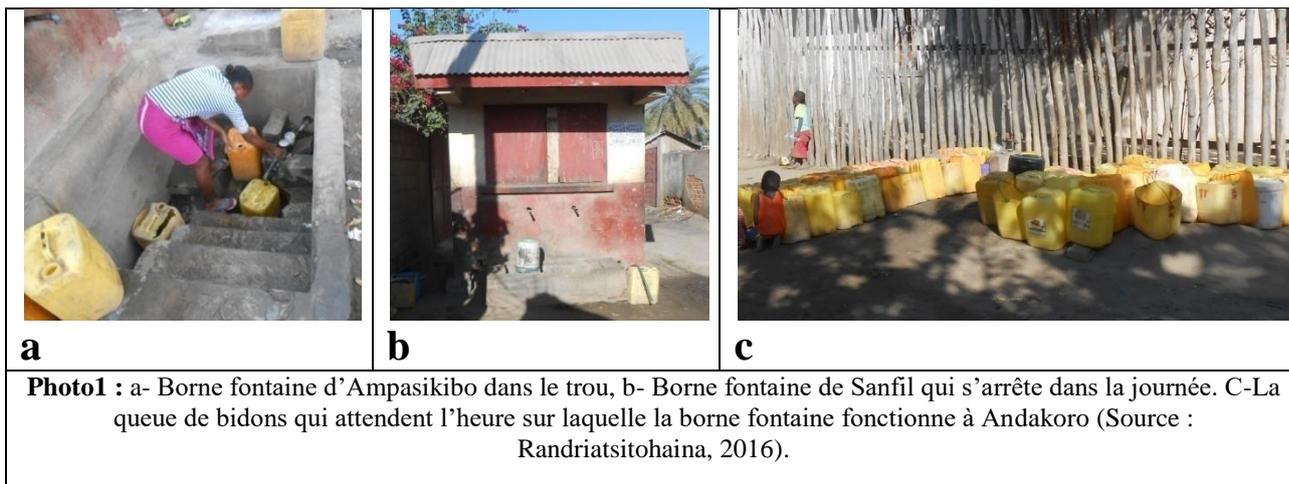
Les quartiers de Miary, Befanamy, Beleboka, Mitsinjo, Betanimena, Andaboly, Andamasiny Tanambao, Mangabe, Ampasinabo, Betania Centre, Betania Ankilifaly, Anketa bas, anketa haut Tsianaloka, Betaritarika, Besako, Toliara Centre, Tanabao I, Mahavatse II Est Ambararata, Mahavatse II Ouest, Mahavatse I, Mahavatse Tanambao, Konkasera, Andabizy, Motombe Est et Andranomena ont des bornes fontaines qui marchent pendant 24 heures. Le débit dans les tronçons qui passe dans ces quartiers, est supérieur à  $100\text{m}^3/\text{h}$ . Ce fonctionnement peut être diminué en cas de période d'entretien de JIRAMA, sur le système d'alimentation en eau.

La pression en eau diminue dans les quartiers de Toby Betela, d'Ankiembe haut, Motombe bas, de Sanfil, Ankatsake, Andakoro, et Ambohitsabo. Donc le total d'heure de distribution est entre 10-23 heures sans panne du système. Ces quartiers contiennent des tronçons qui ont un débit d'entre  $10\text{-}100\text{m}^3/\text{h}$ . Les quartiers d'Antaninarena, de Tsongobory, d'Antaravay Salimo, de Tsimenatse I Est : Tsimenatse I Ouest, Tsimenatse Iii, Tsimenatse II, Tsienengea, Tanambao Morafeno, d'Amborogony Ouest, d'Amborogony Est, de Betania Tanamabo, de Besasavy, d'Ampasikibo sont des quartiers qui ont des bornes fontaines qui fonctionnent entre 3-9 heures. Le débit des tronçons est entre  $0\text{-}10\text{m}^3/\text{h}$  (Fig.9).



**Figure9:** Carte de l'insuffisance hydrique

Dans ces quartiers, beaucoup de personnes ne peuvent aller chercher de l'eau qu'à partir de 18h, 19h, 20h, 21h, 22h et 23h, voire même minuit parce que durant la journée la pression d'eau est faible et le flux d'eau n'arrive pas à ces quartiers (Fig9). Les bornes fontaines peuvent s'arrêter à 3h, 4h, 5h, 6h, 7h et 8h du matin. Même si le système fonctionne, c'est avec un très faible débit (on a besoin d'environ 5-10mm pour emplir un bidon de 20l) il est nécessaire de creuser un trou, et c'est dans ce trou que l'on remplit le bidon à partir du tuyau de distribution (Fig.10).



### II.3.5. Estimation de la vulnérabilité en fonction de différents paramètres

On a utilisé la méthode de Nafissa et al. (2014), pour estimer la vulnérabilité de la ville de Toliara face à l'insuffisance en eau. Cette méthode sert à déterminer l'indice de vulnérabilité, en se basant sur les paramètres influents : la variation climatique en fonction de la saison, la croissance démographique, le diamètre des conduites, le pourcentage de ménages abonnés par JIRAMA, l'insuffisance des ressources hydriques. L'importance de chaque facteur dépend de son poids (Tab.7), sur lequel le facteur qui a une valeur poids de 5 est plus important et le facteur de valeur de 1 est moins important.

**Tableau7** : Classification des paramètres selon leurs influences sur la vulnérabilité

Paramètres	Poids
Changement climatique	5
Diamètre du tuyau	4
Densité de la population	3
Pourcentage de ménages abonnés	2
Insuffisance hydrique	1

Le facteur de changement climatique est plus important parce que durant la saison sèche il n'y pas de recharge qui alimente la source, ce qui cause en premier l'insuffisance dans la nappe source, cette sécheresse s'aggrave au fil du temps. Le diamètre des tuyaux est considéré comme un facteur important qui suit le facteur de changement climatique car même s'il y a assez de stock dans le réservoir d'eau, si les conduites du réseau de distribution sont petites, il y aura toujours une faible quantité d'eau qui arrive à la population à desservir.

La densité de la population est le facteur qui suit le facteur diamètre de tuyau, parce que les débits distribués par les réseaux ne sont pas suffisants pour les 218.409 habitants de la ville de Toliara. Le pourcentage de ménages abonnés est le facteur après le facteur densité de la population parce que les ménages (0-40 %) qui ont de borne fontaine privée peuvent avoir accès à l'eau facilement tandis que les ménages (60-100%) qui vont aller aux bornes fontaines publiques pour chercher l'eau font la queue et même cherche l'eau de distance de 0-1km à partir de leurs habitats. L'insuffisance hydrique est le dernier facteur car c'est un facteur résultant des facteurs précédents.

Le degré de la vulnérabilité de l'insuffisance en eau est codé de 0-4, ceci est représenté par la valeur de cote (Tab.8)

**Tableau8** : Facteurs de la vulnérabilité selon leur le degré de l'insuffisance en eau

Changement climatique	Cote	Diamètre du tuyau(mm)	Cote	Densité dela population (hab/H)	Cote	Pourcentage de ménages abonnés	Cote	Distribution d'eau par jour (h)	Cote
Septembre-Novembre	4	50-74	4	396-564	4	1-10 %	4	<3	4
Juillet-Août	3	75-99	3	208-395	3	10-20 %	3	3-9	3
Mai-Juin	2	100-149	2	106-207	2	20-30 %	2	10-23	2
Décembre – Avril	1	150-250	1	22-206	1	20-40 %	1	24	1

L'évaluation de la vulnérabilité est faite par un indice numérique de la somme des cotes multipliée par le poids d'impact de chaque paramètre :

- paramètre climat (C)
- paramètre densité de la population (D)
- paramètre de diamètre de la conduite (Dc)
- le paramètre de ménages abonnés (A)
- paramètre de durée de distribution de l'eau par jour (E)

Le niveau de vulnérabilité correspond donc à la valeur de l'indice de la vulnérabilité qui est calculé suivant la formule suivante :

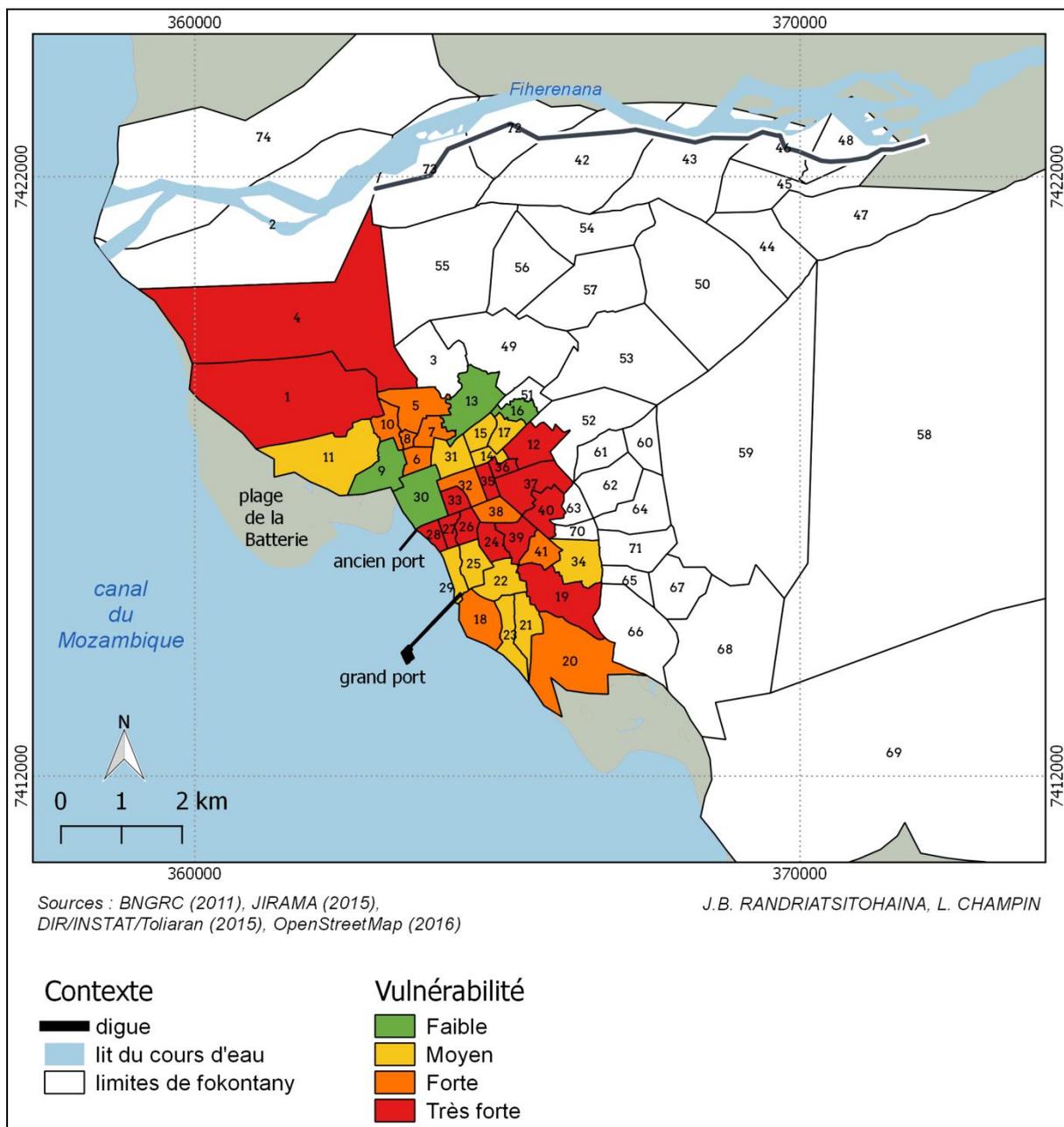
$$PC \times CC + PD \times CD + PDc \times CDc + PA \times CA + PE \times CE = \text{indice de vulnérabilité}$$

Les valeurs (V) de l'indice de la vulnérabilité sont classifiées entre faible et très forte en fonction des intervalles suivants :

- $V > 60$  (vulnérabilité très forte)
- $45 < V < 60$  (vulnérabilité forte)
- $30 < V < 45$  (vulnérabilité moyenne)
- $15 < V < 30$  (vulnérabilité faible)

Pour mettre en évidence les zones vulnérables à l'insuffisance en eau, on a cartographié les résultats obtenus à partir de calculs de l'indice des paramètres de vulnérabilité. Une carte de vulnérabilité des 39 quartiers étudiés parmi 41 (dont les 2 quartiers de Sakabera et d'AntaravaySalimo sont non étudiés) de la ville de Toliara (zone urbaine) est synthétisée en se basant sur la valeur de ces indices (Fig.11).

Les 14 quartiers d'Anketraka, de Tsongobory, de Betania Tanambao, d'Amborogony de Tanambao, d'Amborogony, de Tsianengea, de Tsimenatse Iii, de Tsimenatse I Ouest, de Tsimenatse I Est, de Tsimenatse II, de Ankatsaka, Tanambao II Tsf Nord, d'Ampasikibo et de Tanambao Motombe sont très fortement vulnérables. Les 10 quartiers d'Antaninarenina, d'Anketa Bas, de Tsianaloka, d'Anketa Haut, de Betaritarika, de Tanambao I, de Sanfily, de Konkasera, d'Ankiembe Bas et d'Ankiembe Haut ont une forte vulnérabilité. Les 11 quartiers d'Ambohitsabo, de Tanambao Morafeno, de Betania Ouest, de Betania Centre, de Betania Ankilifaly, de Mahavatse II Ouest, de Mahavatse II Est d'Ambararata, de Mahavatse I Tanambao, de Mahavatse I Ouest, de Mahavatse I Est et d'Andabizy sont moyennement vulnérables. Les 4 quartiers de Toliara Centre, de Besakoa, d'Andaboly et de Mangabe ont une faible vulnérabilité.



**Figure11:** Carte de vulnérabilité des quartiers de la ville de Toliara

#### II.4. Travaux de renforcement et de réhabilitation des systèmes d'alimentation en eau potable de la ville de Toliara

Le Projet PIC II (Pôle Intégré de Croissance qui est financé par la Banque Mondiale) a réalisé une étude sur les systèmes d'alimentation de la ville de Toliara en 2015 dans le but de les renforcer et de les réhabiliter pour pouvoir approvisionner la ville de Toliara d'une quantité d'eau de 23.000 m<sup>3</sup>/j jusqu'en 2025. Les travaux concernent les changements de l'agencement des composantes du système d'Adduction en Eau Potable (AEP) de Toliara : l'abandon de forage d'Andranomena ; le déplacement du nouveau réservoir R 2.000 de Tanambao à Andranomena l'abandon total de la conduite en DN 250 de 1933 ; la pose d'une nouvelle ligne de transfert en DN 300 sur près de 5.700 ml, allant de Befanamy à Tanambao et d'une ligne en DN 400 de 7.400ml, de Befanamy à Andranomena. Maintenant, les travaux de renforcement et de la réhabilitation sont en cours (Fig.12).



**Photo 2:** Installation de nouveau tuyau PVC du 17/08/2017 sur la route vers Andaboly  
(Source : Randriatsitohaina,2017)

### III. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'insuffisance en eau de la ville de Toliara est un problème majeur qui a besoin d'être résolu en priorité, en déterminant le niveau de vulnérabilité. Tous les éléments essentiels au fonctionnement de la ville de Toliara se basent sur cette résolution sur le plan social, économique et sanitaire par exemple : les hôpitaux, les restaurants, les hôtels, même la vie quotidienne de la population qui a besoin d'approvisionnement permanent et suffisant en eau.

Pour réaliser cette étude, en premier lieu on a évalué la vulnérabilité des éléments du système d'approvisionnement de la société JIRAMA. On a trouvé que la plupart des éléments qui constituent le système d'approvisionnement en eau de Toliara sont presque tous obsolètes (plus de 30 ans). L'ensemble des éléments du système ont un niveau moyen de vulnérabilité sauf la station de pompage, la station du traitement et le réservoir de 600m<sup>3</sup> à Miary qui ont un niveau élevé tandis que la station de pompage d'Andranomena a un niveau faible. Cette évaluation a permis d'identifier quelques sources de problèmes sur la cause de l'insuffisance en eau.

En deuxième lieu, on a évalué la vulnérabilité de la ville de Toliara face à cette insuffisance à partir des différents facteurs : paramètre climat (C), paramètre densité de population (D), paramètre de diamètre de la conduite (Dc), le paramètre de ménages abonnés (A), paramètre de durée de distribution de l'eau par jour (E). On a pu synthétiser une carte de vulnérabilité à partir des indices numériques de ces paramètres. Cette carte montre que 41 % de quartiers de la ville de Toliara sont très fortement vulnérables, 24% ont de vulnérabilité forte, 21% des quartiers représentent la vulnérabilité moyenne et 14% sont faiblement vulnérables. Actuellement, une adduction en eau potable de la ville de Toliara est en cours de réalisation, menée par le Projet PIC II.

Ces évaluations ont permis de voir les points à améliorer ou à revoir pour résoudre ce problème. Il serait cependant envisageable de faire une étude basée sur des modélisations hydrogéologiques, hydrologiques, climatiques afin de trouver de nouvelles nappes aquifères et gérer les ressources en eau qui pourraient alimenter la ville de Toliara à long terme sur une période de 50ans et prévoir le seuil d'alerte de sécheresse. Ces études seront accompagnées par l'étude de l'occupation du sol en appliquant la télédétection pour pouvoir prévoir la dynamique de la ville pendant ces 50ans en fonction de la croissance démographique et pour voir aussi les espaces qui utilisent l'eau et, enfin le pourcentage de couverture végétale qui est en relation avec le changement climatiques.

## REMERCIEMENTS

Cette recherche a fait l'objet d'un soutien matériel du Laboratoire de Pétrologie et Minéralogie du Département des Sciences de la Terre. Nous adressons nos sincères remerciements aussi au Service de Météorologie de Toliara et JIRAMA Toliara pour leur contribution à nos travaux, les mêmes remerciements à l'équipe du DST de m'avoir soutenu indéfectiblement durant les premières campagnes de mesures et d'échantillonnage.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arlery, R., Grisollet, H. & Guilmet, B., 1973. "Climatologie : méthodes et pratiques". 2e édition, Gauthier-Villars, Paris, Bruxelles, Montréal, 434p.
- Aurouze, J. 1959. Hydrogéologie du Sud de Madagascar. Thèse de Doctorat, Université Paris.
- Battistini R., Jouannic' C., Maugé L.-A., Casellato G. & Vernie E., 1975. Morphologie et sédimentologie du canyon sous-marin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar). Cah. ORSTOM, sér. Géol., VII, 2, p. 95-110
- Clark R., Deininger A., 2000, "Protecting the Nation's Critical Infrastructure: The Vulnerability of U.S. Water Supply Systems". *Journal of contingencies and crisis management*, Vol.8, No.2, 73-80
- Code de l'eau, 1999. Lois No 98-029, Madagascar. 26p.
- Collège Français. Présentation générale de Toliara. Collège Français de Toliara, Madagascar. 6p.
- D'Ercole R., Metzger P., 2004, *La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*, Quito, MDMQ/IRD, 496 p.
- DIR/INSTAT/Toliara, 2015. Direction Régionale de la Statistique Toliara.
- Egan M., 2007. "Anticipating Future Vulnerability: Defining Characteristics of Increasingly Critical Infrastructure-like Systems". *Journal of contingencies and crisis management*, Vol.15, No.1, 4-17
- Guilcher A., 1965. La géomorphologie de l'Extrême Sud de Madagascar, d'après René Battistini. In : *Annales de Géographie*. t. 74, n°404. pp.491-495
- Guyot L., 2002. Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau d'une plaine littorale en milieu semi-aride : Sud-Ouest de Madagascar. Thèse de Doctorat, Université de Nantes. 232p.
- Hardy S., 2009. La vulnérabilité de l'approvisionnement en eau dans l'agglomération pacéniennaise: le cas du sous-système El Alto. (<https://cybergeog.revues.org/28>)
- Houssin D., Dumont G., 2007. Le système d'alimentation en eau potable, Evaluer leur vulnérabilité. Guide technique. Ministère de la santé et de la solidarité. République Française. 106p.
- JIRAMA 2015, (JiroyRAno Malagasy- Eau et Electricité Malagasy), Toliara
- Komeno R. J.L., 2006. Répartition Spatio-temporelle des Dinoflagellés benthiques dans la baie de Toliara (Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire de DEA Océanographie Appliquée I.H.S.M 79p.
- Matos R., Ashley R., Cardoso A., Duarte P. Molinari A., Schulz A., 2003. *Performance Indicators For Wastewater Service*, IWA Publishing
- Montfraix B., 2011. Etude de vulnérabilité aux changements climatiques évaluation qualitative, Rapport National Madagascar, ASCONIT. 124p.
- Nafissa B., Mahadi K., Hadda D., Lamine B.M., 2014. Analyse et modélisation de la vulnérabilité aux maladies à transmission hydrique dans l'espace urbain de la ville de Batna nord-est algérien. *Rev. Roum.Géogr./Om. Journ. Géogr.*, 59, (1) p. 41-53.
- Perrier de la Bathie H, mars 1934. Les Famines du Sud-Ouest de Madagascar. Causes et Remèdes. In : *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 14<sup>e</sup> années, bulletin n°151. pp. 173-186.

- Rabenarivelo A., 2007. *Contribution à l'étude Géographique de la protection de la ville de Toliara contre l'inondation de Fiherena*. Mémoire de D.E.A, Département de Géographie, Univ. Toliara, 72p.
- Ramampanjaka J. R.et Rakotoson S. L., 2015. Travaux de renforcement et de réhabilitation des systèmes d'alimentation en eau potable de la ville de Toliara. Rapport d'avant-projet sommaire complémentaire, Artelia Madagascar - Pôles Intégrés de Croissance et Corridors (PIC). 58 p.
- Ratsitohaina O., 2007. *Contribution à l'étude sédimentologie et minéralogie de la formation holocène de la Baie de Toliara (Madagascar)*. Mémoire de D.E.A, Département de Sciences de la Terre, Univ Toliara.126 p.
- Razafinjato G., Rakotovololona P. J., Jaony F. A. et Randriamananazy G., 2015. Diagnostics technique et institutionnel des secteurs « Assainissement et Eau potable" à Toliara Région Atsimo Andrefana. Rapport définitif, Pôle Intégré de Croissance, 89 p.
- Razakamanana T., Ratsitohaina O., Tovondrafale T., Ramiharison R. C. D., Mong Y., 2014. Géologie urbaine et environnement de la ville de Toliara, Sud-ouest de Madagascar : Quelles politiques de gestion durable ? In *Aziz Ballouche et Aude NusciaTaïbi (eds) : Eau, milieux et aménagement- Une recherche au service des territoires*. Presses de l'Université d'Angers, pp.205-223
- Salomon, J.N.,1987. "Le Sud-Ouest de Madagascar", Thèse de Doctorat. Tome I. Université d'Aix-Marseille, 420 p.
- Salomon, J.N., 1979. "Notice de la carte géomorphologique de Tuléar", *Mad .rev. géo.*, n° 34. Janv.-Juin., 188 p. : 79-186
- SMR, 2014. Le service météorologique régional de Toliara
- Sourdat M., 1977. Le Sud-Ouest de Madagascar, morphogenèse et pédogenèse. Thèse sciences, Public. Orstom, Dijon, 212 p.
- Système des Nations-Unies à Madagascar, 2010. Situation socio-économique des ménages de la Commune Urbaine de Toliara et impact de la crise sociopolitique au niveau des ménages en juin 2010, Madagascar. United Nations Multi-Cluster Rapid Assessment Mechanism (McRAM IV) R Antananarivo,116 p.
- Taylor A.C., Fletcher T., Peljo L., 2006. *Triple-bottom-line assessment of stormwater quality projects: advances inpracticality, flexibility and rigour*, Urban Water Journal, Vol. 3, No. 2
- Tohindrainy A.F., 2016. Contribution à l'optimisation de la qualité de l'eau potable. Mémoire de Licence professionnelle, Institut Supérieur de Technologie, Université de Toliara, Madagascar. 51p.