



HAL
open science

Réalisation de l'étude d'avant-projet du réseau principal d'eau potable de la Commune urbaine d'Ambohimahasoa, Madagascar

Dominique Weckner

► **To cite this version:**

Dominique Weckner. Réalisation de l'étude d'avant-projet du réseau principal d'eau potable de la Commune urbaine d'Ambohimahasoa, Madagascar. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03553244

HAL Id: dumas-03553244

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03553244v1>

Submitted on 2 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Travail réalisé du 07 janvier
au 07 juin 2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES



Crédit Photo : TOJONIRINA Nantenaina Henri Davidson

**Réalisation de l'étude d'avant-projet du réseau principal d'eau potable de la
Commune Urbaine d'Ambohimahaso, Madagascar**

Auteur : WECKNER Dominique

Tuteur de stage : SIMON François

Promotion Grand Lyon

2016 - 2019

Remerciements

Après trois années d'études à l'ENGEES, ma formation d'ingénieur arrive à son terme. Ce travail de fin d'études à Madagascar fut autant une expérience professionnelle qu'une aventure personnelle. De nombreuses personnes ont participé au bon déroulement de ce stage, et je tiens à remercier chaleureusement :

- Les deux responsables de la métropole de Lyon : François SIMON, mon tuteur de stage et responsable de la coopération à Fianarantsoa ; et Karine BLANC, responsable du programme Eaurizon en France. Merci de m'avoir offert cette opportunité. Et merci François pour ta confiance et tes conseils ! Ce fut un plaisir de travailler dans ces conditions
- L'ensemble des équipes du Programme Eaurizon et Kolorano pour leur générosité, leur facilité à m'intégrer et leur bonne humeur qui ont rendu ce stage très agréable
- Mme Honorine RASOAMALALA, Maire de la Commune Urbaine d'Ambohimahaso, pour son hospitalité lors des visites prolongées dans sa commune. Les études de terrain n'auraient pu être menées à bien sans votre implication
- L'ensemble du personnel de l'ENGEES qui s'est investi pour que ce stage soit mené à bien
- La promotion Grand Lyon avec qui j'ai passé 3 magnifiques années
- Mes amis, Vazahas et Malagasy, qui ont fait de ces 5 mois un moment inoubliable, riche en rencontres
- Ma famille, pour son soutien depuis la France

Misaotra !

Résumé

La Métropole de Lyon et la Région Haute-Matsiatra à Madagascar, sont engagées dans une démarche de coopération décentralisée, par l'intermédiaire du programme Eaurizon. Les missions de ce programme sont de développer les secteurs de l'eau et de l'assainissement dans cette région.

Les missions qui ont été réalisées dans ce stage de fin d'études concernent le réseau principal d'approvisionnement en eau potable de la Commune Urbaine d'Ambohimahaso (environ 4 500 habitants desservis). Il a fallu réaliser dans un premier temps un diagnostic précis et détaillé de la ressource en eau et du fonctionnement du réseau. Puis, une étude d'avant-projet a permis de proposer des améliorations chiffrées pour ce réseau.

Le réseau est alimenté gravitairement à partir de deux stations de traitement dont le fonctionnement a été étudié. La ressource est suffisante et de bonne qualité, des marges de progression ont été identifiées pour satisfaire les besoins à long terme. Le réseau présente des fuites et un rendement faible, le projet proposé améliorera sensiblement son fonctionnement. L'investissement se chiffre à 323 665 351 MGA, soit 78 912 EUR TTC environ.

La situation économique de Madagascar et les ressources techniques pouvant être mobilisées pour la réussite de ce projet sont bien différentes de l'Europe. Le contexte a nécessité une adaptation des méthodes et des solutions robustes mais simples.

Abstract

The city of Lyon and the Haute-Matsiatra region in Madagascar are engaged in a decentralized cooperation, with the Eaurizon program. The aim of this program is to develop the water supply and waste water sectors in this area.

The internship mission was divided into two phases. The preliminary project that has been realized, is about the main drinking water network of the city of Ambohimahaso (4 500 inhabitants are using it). First, a precised and detailed diagnosis of the ressources available and the fonctionning of the network has been done. Then, the study allowed us to propose improvements for this network.

The alimentation of the network uses only gravity. There are two water treatment facilities, whose fonctionning has been studied. The ressource is sufficient and its quality is good. Some improvements have been identified to satisfy all the future needs. The network has many leaks and a low ratio, the project will improve greatly its fonctionning. The investement is estimated at 323 665 351 MGA, or 78 912 EUR incl. taxes.

The economic situation of Madagascar and the technical ressources that can be mobilized for the success of this project are very different from Europe. Context needed and adaptation of the methods used and the recommendations made.

Table des matières

Introduction.....	9
1. Présentation générale et contexte de l'étude	10
1.1. Le contexte malgache, un frein au développement.....	10
1.1.1. Une organisation territoriale centralisée	10
1.1.2. Quelques chiffres sur l'eau potable et l'assainissement à Madagascar.....	10
1.2. La coopération décentralisée	10
1.3. La Commune Urbaine d'Ambohimahaso.....	13
1.3.1. Localisation de la commune et démographie	13
1.3.2. Présentation générale de l'alimentation en eau potable d'Ambohimahaso	14
1.3.1. Historique des études réalisées.....	16
1.4. Cadre logique de l'étude	16
1.4.1. Les enjeux du stage	16
1.4.2. Les missions effectuées durant ce stage	17
1.5. Méthodologie générale	17
2. Synthèse de l'étude de diagnostic.....	18
2.1. Préambule	18
2.1.1. Collecte de données terrain	18
2.1.2. Analyse des données	18
2.1.3. Difficultés rencontrées	19
2.2. Résultats de l'enquête ménage réalisée	19
2.3. Analyse des ressources en eau disponibles.....	22
2.3.1. Les lacs artificiels d'Isaha.....	22
2.3.2. La ressource d'Ampanidinana	24
2.4. Détail du fonctionnement des stations de traitement.....	26
2.4.1. La station de traitement d'Isaha	26
2.4.2. Station de traitement de Tsaramasoandro	28
2.5. Modélisation du réseau.....	30
2.5.1. Méthodologie de modélisation	30
2.5.2. Réalisation de la campagne de mesure.....	31
2.5.3. Construction du modèle.....	33
2.5.4. Calage du modèle	35
2.5.5. Analyse des résultats et diagnostic du réseau	37
3. Présentation de l'étude d'Avant-Projet Détaillée	39

3.1.	Objectifs à atteindre et difficultés rencontrées	39
3.2.	Méthodologie de l'APD	39
3.3.	Principes de conception du projet et de dimensionnement des ouvrages.....	40
3.4.	Etude des besoins et des ressources en eau	40
3.5.	Description détaillée du projet.....	43
3.5.1.	Remplacement des conduites de distribution	43
3.5.2.	Remplacement de l'amenée de Tsaramasoandro.....	44
3.5.3.	Remplacement de l'amenée d'Isaha	45
3.5.4.	Création d'un captage à Ampanidinana	47
3.5.5.	Dessableur d'Ampanidinana.....	49
3.5.6.	Réhabilitation de la station d'Isaha	49
3.5.7.	Réhabilitation de la station de Tsaramasoandro	50
3.5.1.	Réhabilitation du réservoir d'Ambatolampy	52
3.5.2.	Recommandations à l'exploitation.....	52
3.6.	Evaluation financière.....	53
4.	Conclusion et perspectives.....	54
	Bibliographie.....	55
	Annexe 01 : Cadre logique du programme Eaurizon.....	57
	Annexe 02 : Tableau de synthèse du programme Eaurizon.....	60
	Annexe 03 : Carte des réseaux d'AEP de la Commune Urbaine d'Ambohimahaso, Madagascar.....	61
	Annexe 04 : Planning détaillé du stage	62
	Annexe 05 : Résultat des analyses qualité effectuées sur le réseau	63
	Annexe 06 : Evolution des débits et pressions mesurées et modélisées sur la période de calage	64
	67
	Annexe 07 : Livrables de l'APD	70
	Annexe 7.1 : Matrice de risque environnemental.....	70
	Annexe 7.2 : Note de calcul sur le dimensionnement des ouvrages	71
	Annexe 7.3 : Plans des ouvrages	74
	Annexe 7.4 : Bordereau détail estimatif	89

Listes des figures

Figure 1 : Organigramme du programme Eaurizon, Madagascar	11
Figure 2 : Photographies des stations de traitement d'Isaha (gauche) et Tsaramasoandro (droite).....	14
Figure 3 : Schéma méthodologique générale du processus de travaux du programme Eaurizon	17
Figure 4 : Consommation moyenne (L/j/hab) obtenue par une enquête en 2019, en fonction du type de branchement, pour les Fokontany urbains d'Ambohimahasoa	20
Figure 5 : Consommation moyenne (L/j/hab) obtenue par une enquête en 2019, en fonction du type de branchement, pour les Fokontany ruraux d'Ambohimahasoa	21
Figure 6 : Invasion par la végétation du lac d'Isaha, commune d'Ampitana, Madagascar (photographies amont/aval, 2018)	23
Figure 7 : Schéma de principe du bilan hydrologique réalisé sur le bassin versant d'Isaha	24
Figure 8 : Etat du génie civil du dessableur d'Ampanidinana, nord de la commune d'Ambohimahasoa	25
Figure 9 : Anomalies observées sur le dessableur et la conduite d'amenée à Ampanidinana	25
Figure 10 : Schéma synoptique de la station de traitement d'Isaha, Est de la commune d'Ambohimahasoa	26
Figure 11 : Etat du génie civil des décanteurs de la station d'Isaha, Est de la commune d'Ambohimahasoa	27
Figure 12 : Schéma synoptique de la station de traitement de Tsaramasoandro	28
Figure 13 : Photographie du décanteur de la station de Tsaramasoandro, Nord de la commune	28
Figure 14 : Etat des tamis et du génie civil des filtres de la station de Tsaramasoandro.....	29
Figure 15 : Photographie du mécanisme d'injection de désinfectant de la station de Tsaramasoandro.....	29
Figure 16 : Méthodologie suivie pour la modélisation du réseau d'Ambohimahasoa	30
Figure 17 : Positionnement des appareils de mesure sur le réseau d'Ambohimahasoa	31
Figure 18 : Planning des opérations de la campagne de mesure	32
Figure 19 : Photographie de débitmètre SiteLab (gauche) et de manomètre LoLog HMW (droite) utilisés lors de la campagne de mesure à Ambohimahasoa, Mars 2019.....	32
Figure 20 : Courbe de modulation utilisée pour la modélisation.....	35
Figure 21 : Schéma logique de la méthodologie de l'étude APD du réseau principal d'AEP de la commune urbaine d'Ambohimahasoa	39
Figure 22 : Photographie du réservoir d'équilibre, dit "Ambatolampy", Ouest du réseau	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des résultats de l'enquête réalisée sur 4 Fokontany de la commune d'Ambohimahasoa, Madagascar	19
Tableau 2 : Récapitulatif des incertitudes de calage en débit pour le modèle du réseau principal d'AEP d'Ambohimahasoa, Madagascar	36
Tableau 3 : Récapitulatif des incertitudes de calage en pression pour le modèle du réseau principal d'AEP d'Ambohimahasoa, Madagascar	36
Tableau 4 : Scenario de consommation et de répartition identique	41
Tableau 5 : Scenario de consommation identique et de répartition différente.....	41
Tableau 6 : Scenario de rendement différent (50%) et de répartition identique.....	41
Tableau 7 : Scenario de rendement différent (50%) et de répartition différente	42
Tableau 8 : Récapitulatif des besoins retenus dans le cadre de l'étude APD du réseau principal d'AEP d'Ambohimahasoa, Madagascar	42
Tableau 9 : Récapitulatif des coûts estimatifs ouvrage par ouvrage des travaux sur le réseau principal d'AEP de la commune urbaine d'Ambohimahasoa	53

Listes des cartes

<i>Carte 1 : Localisation de la Région Haute Matsiatra et des 16 communes partenaires du programme Eaurizon à Madagascar</i>	<i>12</i>
<i>Carte 2 : Localisation de la commune urbaine d'Ambohimahaso par rapport au chef-lieu de la région</i>	<i>13</i>
<i>Carte 3 : Plan du réseau principal d'AEP de la commune d'Ambohimahaso</i>	<i>15</i>
<i>Carte 4 : Carte des Fokontany d'Ambohimahaso interrogés lors de l'enquête ménage 2019</i>	<i>20</i>
<i>Carte 5 : Carte d'occupation du bassin versant d'Isaha, commune d'Ampitana, Madagascar</i>	<i>22</i>
<i>Carte 6 : Carte des tronçons de distribution à remplacer, Sud du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>43</i>
<i>Carte 7 : Carte des tronçons de distribution à remplacer, Ouest du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>44</i>
<i>Carte 8 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer – Nord du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>44</i>
<i>Carte 9 : Carte des tronçons d'amenée et de distribution à remplacer – Centre/Est du réseau</i>	<i>45</i>
<i>Carte 10 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer, Est du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>46</i>
<i>Carte 11 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer – Est du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>46</i>
<i>Carte 12 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer, Centre du réseau d'AEP d'Ambohimahaso</i>	<i>47</i>
<i>Carte 13 : Carte du linéaire entre le captage et le dessableur d'Ampanidinana</i>	<i>48</i>

Liste des acronymes

AEP	Adduction en Eau Potable
APD	Avant-projet détaillé
BJP	Besoin Journalier de pointe
DN	Diamètre nominal
EAH	Eau Assainissement et Hygiène
FKT	Fokontany
JIRAMA	Jiro sy Rano Malagasy ; compagnie nationale d'eau et d'électricité
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MEEH	Ministère (malgache) de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PVC	Polychlorure de Vinyle
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RN	Route Nationale
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund ; agence des Nations Unies

Introduction

L'accès à l'eau potable est un sujet majeur pour le développement de Madagascar. Cette ancienne colonie française connaît des difficultés de développement depuis son indépendance en 1960. Cela se ressent dans le secteur de l'eau : d'après les chiffres de 2016 du Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures (MEEH) malgache, le taux d'accès à l'eau potable au niveau national est de 50 % [1], cependant ce chiffre varie fortement entre les différentes régions.

Ce stage de fin d'étude a été effectué au sein des locaux de la Région Haute Matsiatra, à Fianarantsoa. Celle-ci est en coopération décentralisée avec la métropole du Grand Lyon depuis 2006. Le partenariat entre ces deux entités vise à renforcer les politiques locales concernant l'accès à l'Eau potable, l'Assainissement amélioré et durable, et l'Hygiène (EAH). Dans le cadre de cette coopération, le programme Eaurizon a été lancé en 2016. Il s'agit du 3^{ème} programme, ses objectifs sont de :

- Renforcer la gouvernance des collectivités locales sur le secteur EAH ;
- Développer l'accès à l'eau potable dans les communes partenaires ;
- Développer l'accès à l'assainissement et accompagner les populations dans l'amélioration de leurs pratiques liées à l'hygiène ;
- Préserver et partager la ressource en eau entre les différents usages ;
- Former et professionnaliser les acteurs du secteur ;
- Capitaliser et diffuser les outils et méthodes produits par le projet ;

Avec le lancement de ce nouveau programme, le nombre de communes bénéficiaires a été porté à 16, dont la Commune Urbaine d'Ambohimahasoa. Cette commune a été accompagnée en 2018 dans la rédaction de son Schéma Directeur en Eau et Assainissement.

Cette étude générale a fait ressortir le besoin urgent de travaux sur le réseau principal d'adduction en eau potable. Le rendement technique du réseau est estimé à 30 %, ce qui est très faible même pour Madagascar. Le réseau dessert environ 4 500 habitants, et est géré par un délégataire privé. Ce dernier est assez peu coopératif, les données financières et techniques ont été compliquées à obtenir.

Les missions qui ont été réalisées dans ce stage étaient de réaliser un diagnostic précis et détaillé de la ressource en eau et du réseau principal de la commune. Ensuite, une étude d'avant-projet détaillée et chiffrée a été réalisée. Elle permettra de réaliser des travaux visant à améliorer sensiblement le fonctionnement du réseau.

Après une introduction générale du contexte, du programme et de la commune, le diagnostic sera présenté. Ensuite, une seconde partie traitera de l'étude d'avant-projet détaillée, par le volet technique et financier.

1. Présentation générale et contexte de l'étude

1.1. Le contexte malgache, un frein au développement

1.1.1. Une organisation territoriale centralisée

Madagascar possède de très nombreux atouts qui auraient dû permettre son développement après l'indépendance. Pourtant, il s'agit de l'un des 5 pays les plus pauvres au monde [2], et le seul pays n'ayant pas connu de conflit armé et dont le PIB par habitant décroît.

Pour tenter de développer le pays et de responsabiliser les acteurs politiques, un processus de décentralisation a été lancé en 1993 [3] et réellement appliqué à partir de 2005 avec la Politique Nationale de Décentralisation et Déconcentration [4]. Les collectivités territoriales ont désormais une vraie légitimité pour planifier et structurer leur politique de développement. Pourtant, moins de 1 % des ressources financières de l'Etat est transféré aux collectivités [5].

Ce manque d'investissement réduit fortement la marge d'action de ces structures et a un impact sur l'efficacité des services publics. Il y a un paradoxe structurel : la volonté de décentraliser les compétences est réelle, tandis que peu de moyens sont effectivement alloués pour le succès de l'opération.

1.1.2. Quelques chiffres sur l'eau potable et l'assainissement à Madagascar

D'après le Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures (MEEH) malgache, en 2016 le taux d'accès à l'eau potable est de 50 % sur la Grande Ile. Les évolutions du secteur sont positives, car ce taux augmente d'après les chiffres du Joint Monitoring Programme (OMS/UNICEF) [6]. Cependant, ces chiffres sont à nuancer car de grandes disparités existent entre les régions, mais aussi entre les zones urbaines et rurales qui sont dans une situation beaucoup plus critique.

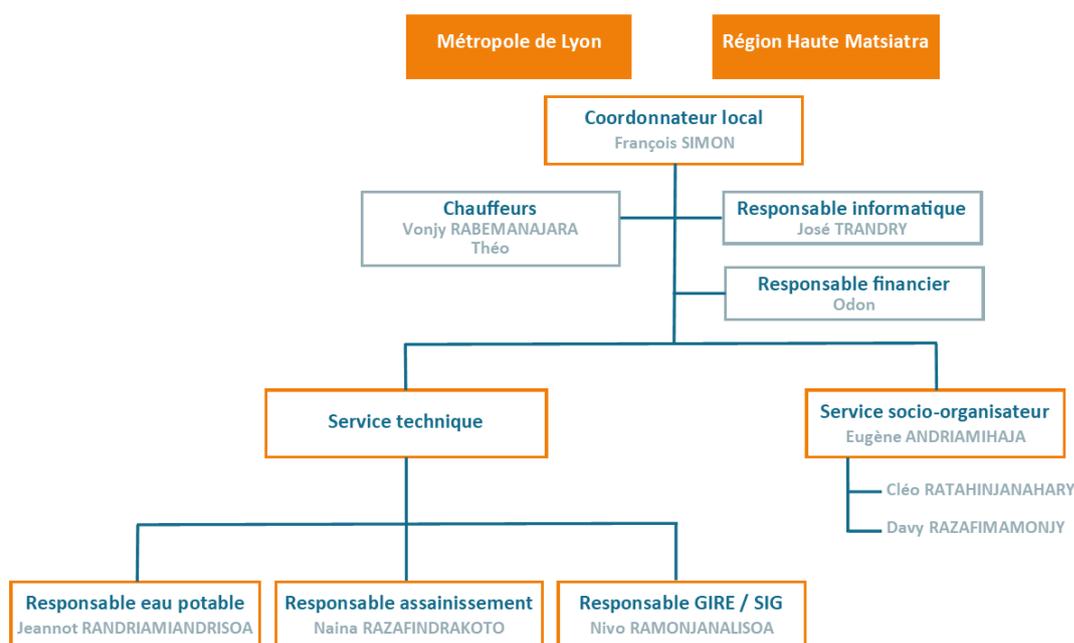
Au niveau de l'assainissement, le retard de Madagascar est inquiétant : 35 % de la population seulement utilise des latrines aux normes [1], en majorité des latrines collectives. Et contrairement au secteur de l'eau potable, le taux d'accès à un assainissement amélioré n'augmente que très peu.

Le mauvais accès à l'eau potable et à l'assainissement impacte directement l'économie du pays. Le manque à gagner lié à l'absentéisme et aux dépenses de santé est estimé à 103 millions de dollar par an, soit 1 % du PIB malgache. Enfin, le mauvais accès à l'eau a des conséquences sanitaires. Ainsi, la diarrhée est la 2^{ème} cause de mortalité dans le pays, et elle affecte particulièrement les enfants [7].

1.2. La coopération décentralisée

L'échelon régional est le plus pertinent pour la planification du secteur de l'eau à Madagascar. C'est pourquoi la Région Haute Matsiatra et la Métropole de Lyon ont créé une coopération décentralisée en 2006. L'équipe locale est basée à Fianarantsoa, la capitale de la région. Elle est composée d'une cellule technique et d'une cellule « socio-organisation », coordonnées par François Simon. C'est dans la cellule technique que ce stage a été réalisé. La Figure 1 présente l'organigramme de la structure.

Figure 1 : Organigramme du programme Eaurizon, Madagascar



Différents projets se sont succédés, élargissant à chaque fois le nombre de communes bénéficiaires. Les premiers programmes étaient « Amélioration de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE) » qui a duré de 2006 à 2011, puis « Des Capacités renforcées pour les acteurs de l’Eau et de l’assainissement dans la région Haute-Matsiatra (CAP’Eau) », de 2012 à 2016. Le projet actuel, Eaurizon, cible 16 communes de la Région (Carte 1) pour un appui sur le secteur de l’Eau, de l’Assainissement et de l’Hygiène (EAH). Les axes d’intervention de la coopération actuelle sont :

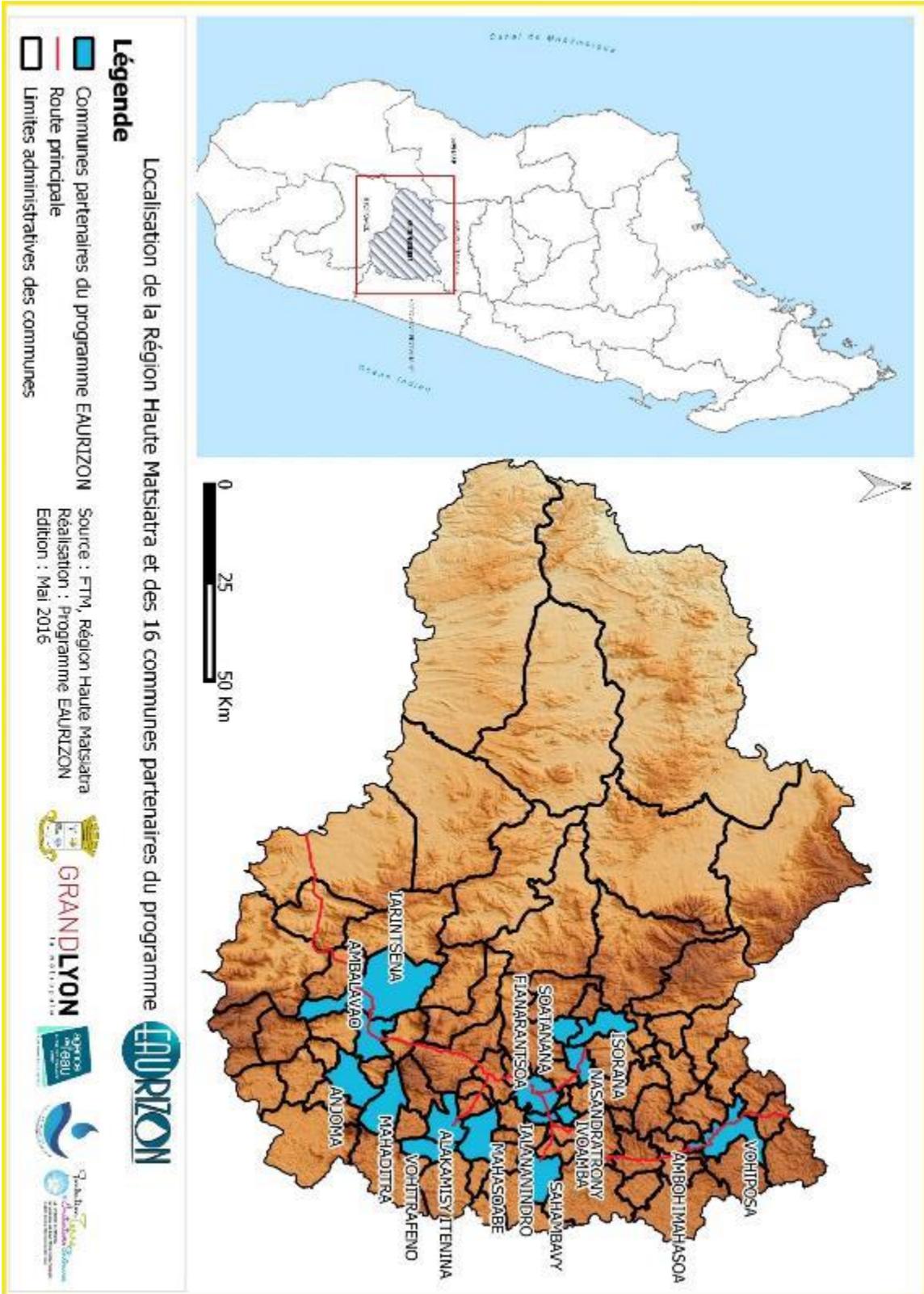
- **Renforcer la gouvernance des collectivités locales sur le secteur EAH ;**
- **Développer l’accès à l’eau potable dans les communes partenaires ;**
- **Développer l’accès à l’assainissement et accompagner les populations dans l’amélioration de leurs pratiques liées à l’hygiène ;**
- **Préserver et partager la ressource en eau entre les différents usages ;**
- **Former et professionnaliser les acteurs du secteur ;**
- **Capitaliser et diffuser les outils et méthodes produits par le projet ;**

Ces axes sont détaillés dans le cadre logique ([Annexe 01](#)) et dans le tableau de synthèse ([Annexe 02](#)).

Les principaux partenaires techniques et financiers du programme sont, pour la partie malgache, la Région Haute-Matsiatra (RHM) et le Ministère de l’Eau, de l’Energie et des Hydrocarbures (MEEH). Du côté français, il s’agit de la Métropole du Grand Lyon, de l’Agence de l’Eau Rhône Méditerranée Corse, et de SAUR Solidarité. Du côté de la formation des acteurs, l’ENGEES joue un rôle en envoyant des enseignants et des stagiaires sur place.

Dans le cadre du premier volet du programme, concernant la planification, chaque commune a été accompagnée à la réalisation de son Plan Communal de Développement. Ce document compile différents avant-projets sommaires que chaque commune classe par ordre de priorité. Pour la commune d’Ambohimahasoa, le Schéma Directeur a été finalisé en octobre 2018. Ce document a fait ressortir l’urgence de réaliser des travaux sur le réseau principal d’AEP, ainsi que les difficultés du délégataire, AπR-Sandandrano.

Carte 1 : Localisation de la Région Haute Matsiatra et des 16 communes partenaires du programme Eaurizon à Madagascar

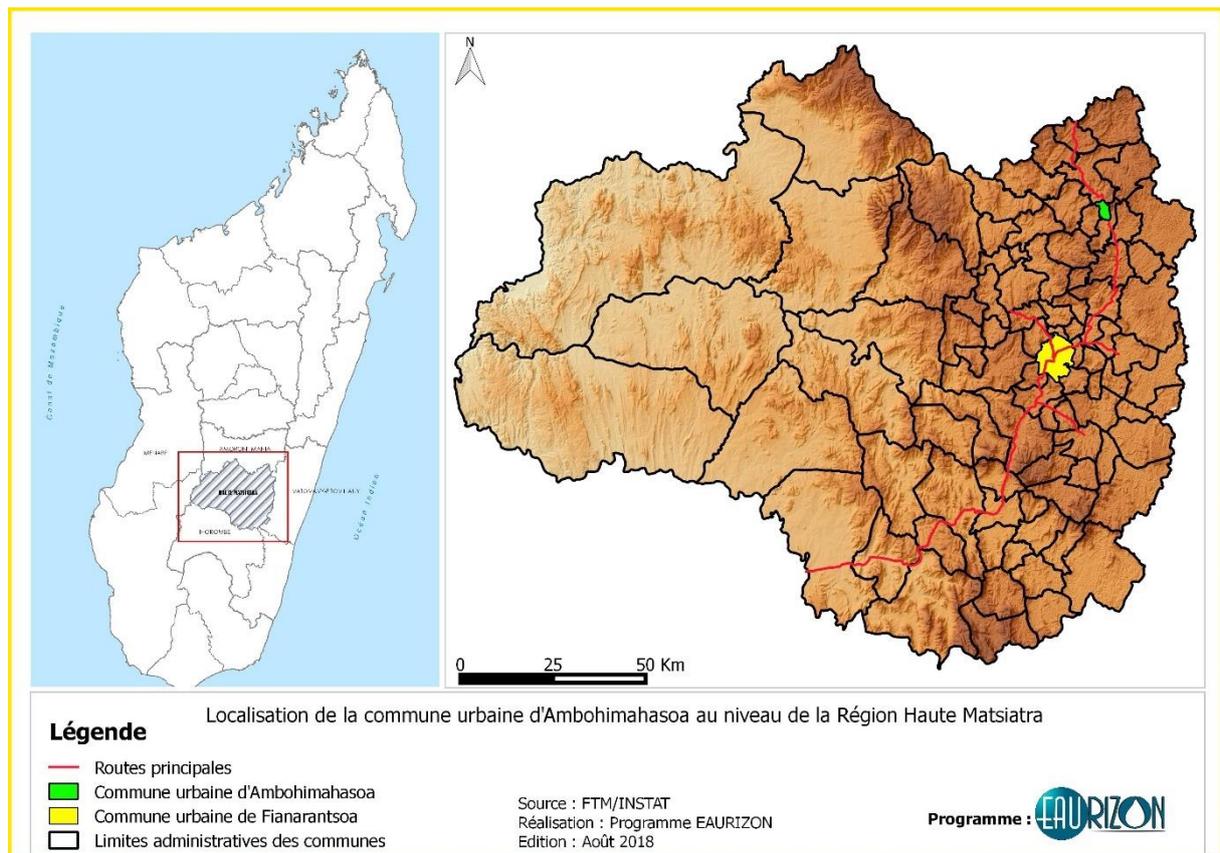


1.3. La Commune Urbaine d'Ambohimahasoa

1.3.1. Localisation de la commune et démographie

La commune étudiée, Ambohimahasoa, est une des trois communes urbaines de la région Haute Matsiatra. Elle est le chef-lieu du district d'Ambohimahasoa. Elle est accessible par la Route Nationale 7 (RN7), à 56 km au Nord de Fianarantsoa et à 350 km au Sud de la capitale, Antananarivo (Carte 2). Sa superficie est de 13 km². **La population de la commune en 2019 est de 11 343 habitants.** Ce chiffre a été obtenu par une enquête réalisée dans le cadre de ce stage.

Carte 2 : Localisation de la commune urbaine d'Ambohimahasoa par rapport au chef-lieu de la région



Ambohimahasoa est entourée par les communes de Vohiposa au Nord et à l'Ouest, Ampitana au Sud et à l'Est, et Ankerana à l'Ouest. La commune est organisée en 9 arrondissements ou « Fokontany », eux-mêmes divisés en villages, ou « Boriboritany ». Il y en a 33 dans la commune. Le centre-ville est situé sur un promontoire, à une altitude de 1 215 m environ. Le climat se divise en deux saisons distinctes : une saison humide de novembre à février, et une saison sèche de mars à octobre.

La ville a le statut de commune urbaine, bien que sa population soit relativement faible. Cela s'explique par l'antériorité de son peuplement et la densité de population élevée dans le centre de la commune. **Environ 75 % de la population se concentre sur 20 % du territoire.** Par ailleurs, en tant que chef-lieu de district, Ambohimahasoa dispose d'un niveau de service important, et reste très fréquentée puisque la principale route de Madagascar la traverse. La majeure partie du territoire communal présente toutefois un habitat dispersé et de vastes espaces forestiers (environ 49 % de la superficie totale).

1.3.2. Présentation générale de l'alimentation en eau potable d'Ambohimahasoa

➤ Les réseaux d'AEP de la commune

La commune d'Ambohimahasoa dispose de quatre réseaux d'adduction en eau potable. L'alimentation de ces réseaux s'effectue gravitairement. La carte en Annexe 03 permet de visualiser la répartition de ces différents réseaux sur le territoire communal.

Cette étude se concentre sur le réseau principal, qui dessert les Fokontany présentant la plus forte densité de population, ainsi que quelques Boriboritany placés à proximité du centre de la commune. Celui-ci dessert environ 40 % de la population de la commune. La gestion de ce réseau a été confiée en 2009 à un délégataire privé, AπR-Sandandrano, pour une durée de 15 ans.

Le deuxième réseau a été construit en 2015, dans le cadre du programme Cap'Eau, afin d'alimenter les habitants de l'Ouest rural de la commune. Le système de gestion est communautaire, avec un système de bornes fontaines publiques.

Le troisième réseau a été construit en 1995 par l'ONG Fikrifama. Il est également géré par la communauté, cependant il est en très mauvais état. Il a été question de fusionner ce réseau avec le réseau principal dans le cadre de ce stage, cependant l'opposition des villageois était trop forte et le projet a été mis en suspens.

Le quatrième réseau est un réseau privé, installé et géré par une congrégation de sœurs catholiques. Le taux d'accès à l'eau potable est de 72 % dans la commune [8], ce qui est assez élevé pour le pays. Cependant, **beaucoup d'abonnés utilisent des ressources non potables en appoint**, en raison du mauvais niveau de service offert par les différents réseaux.

➤ Le réseau principal

Le réseau principal de la commune est alimenté gravitairement par deux stations de traitement (Figure 2). La première est celle de Tsaramasoandro au Nord, qui est fonctionnelle depuis 2010. Elle est alimentée par une prise d'eau dans un ruisseau. La deuxième station est celle d'Isaha, alimentée par une retenue.

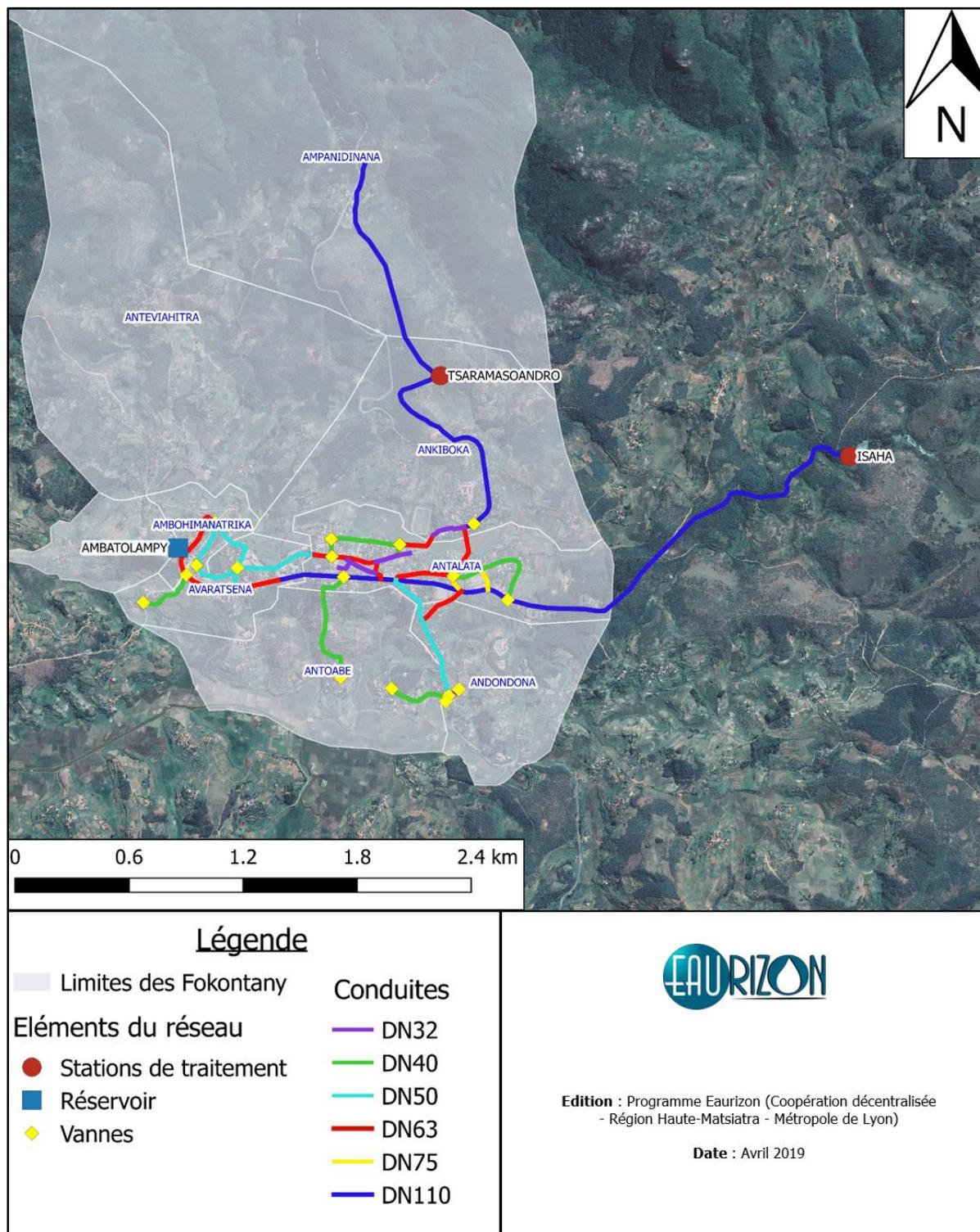
Figure 2 : Photographies des stations de traitement d'Isaha (gauche) et Tsaramasoandro (droite)



La capacité de stockage actuelle du réseau est de 84 m³ environ, répartis entre trois réservoirs : Isaha, Tsaramasoandro, et Ambatolampy. La capacité théorique de stockage est de 109 m³.

La structure du réseau est maillée (Carte 3). Il dessert cinq Fokontany : Ambohimanatrika, Avaratsena, Antalata, Antoabe, Ankiboka et Andondona. **Le linéaire total du réseau est d'environ 13 km**, dont 8 km en distribution. Le réseau est composé de différents types de conduites : de la fonte pour les amenées les plus anciennes, et du PEHD ou du PVC pour la distribution. Les diamètres des conduites de distribution varient entre du DN32 et du DN75, tandis que les amenées sont en DN110.

Carte 3 : Plan du réseau principal d'AEP de la commune d'Ambohimahasoa



➤ Les types de branchements

Il existe trois types de branchements sur le réseau principal :

- Les branchements privés : il s'agit d'un branchement similaire à ce qui se trouve en France, un seul foyer est raccordé avec un abonnement mensuel. Ce type de branchement est le plus rentable pour le gestionnaire. Il s'agit du type d'approvisionnement privilégié dans le centre très densément peuplé.
- Les branchements partagés : il s'agit d'un branchement privé, partagé par plusieurs ménages. La tarification est répartie entre les ménages selon des règles d'usages différentes d'un branchement à l'autre. Les charges sont alors réparties et une solidarité avec les ménages plus pauvres peut se développer. Ce type de branchement se trouve plutôt en périphérie du centre mais dans des zones encore relativement peuplées.
- Les bornes fontaines publiques : ce dernier type de branchement est une fontaine avec des heures d'ouvertures fixes. Un fontainier se charge de remplir les récipients des usagers. Ce type de branchement implique des charges d'exploitation fortes. Il arrive également que le prix soit négocié au bon vouloir du fontainier.

1.3.1. Historique des études réalisées

En 2015, le programme Eaurizon (à l'époque Cap'Eau) a financé une extension du réseau principal. Une modélisation du réseau sans calage avait été effectuée sous EPANET. Puis, le schéma directeur de la commune a été réalisé en 2018, ce qui a permis de dégager des axes de réflexion globaux. Les données disponibles pour réaliser ce stage étaient donc peu nombreuses. Par ailleurs, une partie des informations transmises par le gestionnaire du réseau principal était erronées ou imprécises.

1.4. Cadre logique de l'étude

1.4.1. Les enjeux du stage

Pour le programme Eaurizon, la commune d'Ambohimahasoa est importante car elle est l'une des trois communes urbaines de la région. Il y a donc un intérêt à y améliorer l'accès à l'eau potable, d'autant que les travaux restent concentrés sur le centre de la commune. La commune présente moins de contraintes que dans les zones rurales puisqu'elle est facile d'accès et relativement développée. Des progrès importants peuvent donc être réalisés en mobilisant assez peu de ressources. Le programme a déjà financé des extensions sur ce réseau, mais il dispose de très peu d'informations sur le détail de son fonctionnement et donc de peu de retours.

Le schéma directeur fait état d'un rendement technique du réseau principal autour de 30 %. L'objectif des études a donc été de vérifier ces données, d'identifier avec précision les zones prioritaires pour les travaux, et proposer les améliorations nécessaires. Par ailleurs, le projet s'est intéressé principalement aux besoins actuels en termes d'eau potable, cependant les besoins futurs ont été étudiés. L'état de la production actuelle des stations, et l'état de la ressource future ont dû être vérifiés. La fusion avec le réseau dit « Fikrifama » a également été étudiée sommairement, puisque cet élément est prévu dans le contrat du gestionnaire.

1.4.2. Les missions effectuées durant ce stage

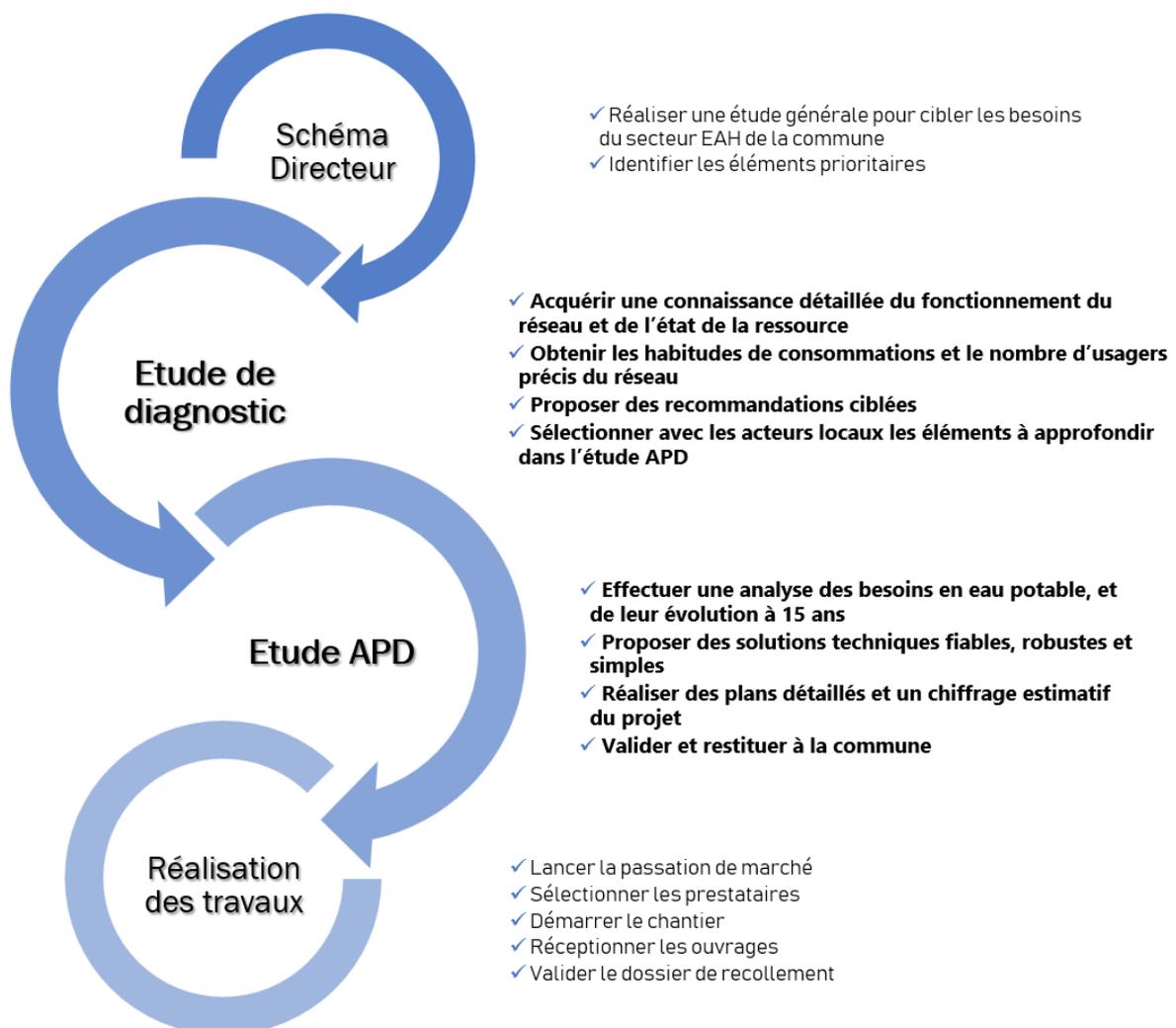
Dans le cadre de ce stage de fin d'études, au sein du Programme Eaurizon, deux études ont été rendues. La première est le diagnostic de la ressource et du fonctionnement du réseau principal. La seconde est le rendu de l'APD, présentant le détail des travaux ainsi que les plans associés et un chiffrage le plus précis possible. Il a fallu traiter les points suivants :

- Description des bassins versant alimentant le réseau ;
- Analyse quantitative et qualitative de la ressource ;
- Diagnostic de l'état des stations de traitement et de leur fonctionnement ;
- Diagnostic de l'état du réseau, avec modélisation à l'appui ;
- Recommandations d'amélioration sous forme d'un avant-projet détaillé et chiffré ;

1.5. Méthodologie générale

La démarche des études d'avant-projet s'inscrit dans un processus long, qui peut prendre plus d'une année dans le cadre du programme Eaurizon. L'objectif final est de réaliser des travaux pour améliorer le secteur EAH des communes partenaires. La Figure 3 présente la méthodologie globale dans laquelle s'inscrit le stage :

Figure 3 : Schéma méthodologique générale du processus de travaux du programme Eaurizon



2. Synthèse de l'étude de diagnostic

2.1. Préambule

La première mission à effectuer a été de diagnostiquer les différents éléments qui composent le réseau principal d'Ambohimahaso. Le choix a été fait de procéder en suivant le sens de l'écoulement de l'eau. Afin de ne pas perdre de temps, les mesures ont été effectuées au début du stage, tandis que l'analyse se faisait au fur et à mesure. Dans un premier temps, il a fallu obtenir des données sur la population et les habitudes de consommation des usagers. Puis, la ressource en eau a été étudiée. Ensuite, le dimensionnement des stations de traitement a été vérifié, et enfin une modélisation du réseau a été réalisée. Le planning détaillé du stage est donné en Annexe 04.

2.1.1. Collecte de données terrain

Grâce au programme Eaurizon, la plupart des informations disponibles sur la commune sont au format numérique, cependant la perte de données est fréquente. De plus, beaucoup d'informations essentielles n'étaient pas disponibles. Il a donc fallu récolter beaucoup de données, en réalisant différentes campagnes de mesures :

- Une campagne de bathymétrie sur le lac principal, qui correspond à 60 % de la ressource ;
- Une campagne d'identification des sources qui correspondent aux 40 % restants ;
- Plusieurs jours consacrés aux mesures des dimensions des stations de traitement ;
- Une campagne de mesures débits/pressions pour la modélisation et le calage du réseau ;
- Des mesures de qualités de l'eau en différents points du réseau ;
- Une enquête porte-à-porte pour récupérer des données démographiques fiables ;
- Une campagne de recherche de fuites ;

Une fois ces données collectées, il a fallu procéder à l'analyse des résultats.

2.1.2. Analyse des données

La phase d'analyse des données permet dans un premier temps de trier les résultats obtenus, et d'écartier les incohérences. Pour des données comme les valeurs de débits, de pression, ou données de population, cette étape est primordiale pour avoir une représentation fiable de la réalité et fournir des recommandations pertinentes. Les facteurs d'imprécisions peuvent être liés à la nature du matériel utilisé, ou à une mauvaise utilisation de celui-ci. De plus, de nombreuses données ne sont pas informatisées à Madagascar, il y a donc un risque d'erreur lors de la numérisation.

Ensuite, la phase de traitement des données s'est effectuée sur différents outils : le logiciel de cartographie QGis pour les données spatialisées, le logiciel de modélisation hydraulique Porteau, et un tableur Excel pour les autres étapes.

2.1.3. Difficultés rencontrées

La phase de recueil des données a pris plusieurs semaines qui ont servies en parallèle à l'analyse des données disponibles. Le matériel nécessaire était difficile à obtenir, il a fallu par exemple faire venir des débitmètres et des manomètres de la capitale. Les plans du réseau fournis par le gestionnaire étaient erronés, tant sur certains tracés que sur des diamètres et des matériaux. Les plans des stations de traitement n'étant pas disponibles, il a fallu manuellement reprendre les dimensions. Il a fallu se rendre en marchant aux différents ouvrages car l'accès aux stations est très compliqué en voiture. Certains logiciels ont nécessité un temps d'adaptation en raison du manque de pratique (notamment les fonctions avancées de QGIS).

Durant la phase des mesures, M. TOJONIRINA Nantenaina Henri Davidson a été d'une aide précieuse. Il s'agit de l'étudiant de l'Ecole Polytechnique d'Antananarivo qui avait réalisé le Schéma Directeur de la commune en 2018. Il a pu faciliter les échanges en malgache, et connaissait bien la commune. Il a permis de comprendre les différences culturelles auxquelles nous avons été confrontés. C'est également lui qui s'est chargé du recrutement d'une équipe d'enquêteurs pour obtenir les données démographiques et les habitudes de consommation dans quelques Fokontany.

2.2. Résultats de l'enquête ménage réalisée

Le premier élément à connaître pour diagnostiquer l'état du réseau est le nombre d'usagers. Il est également utile d'avoir les habitudes de consommations (notamment les volumes journaliers consommés). Le gestionnaire fourni un rapport de suivi dans le cadre du programme Eaurizon. Les valeurs fournies semblaient relativement peu fiables. Par ailleurs, les données de population de la commune dataient de 2016, tandis que les projections de l'Institut de statistique (INSTAT) semblaient largement exagérées.

Alors, pour obtenir les données de population de la commune, une enquête ménage a été effectuée. La méthodologie suivie est un porte-à-porte systématique ciblé sur 4 Fokontany : Ambohimanatrika, Andondona, Antoabe et Avaratsena (Carte 11). L'enquête a également servie à récupérer des données sur les habitudes de consommations concernant l'eau potable.

Le Tableau 1 présente une synthèse des données sur l'accès à l'eau potable dans ces Fokontany :

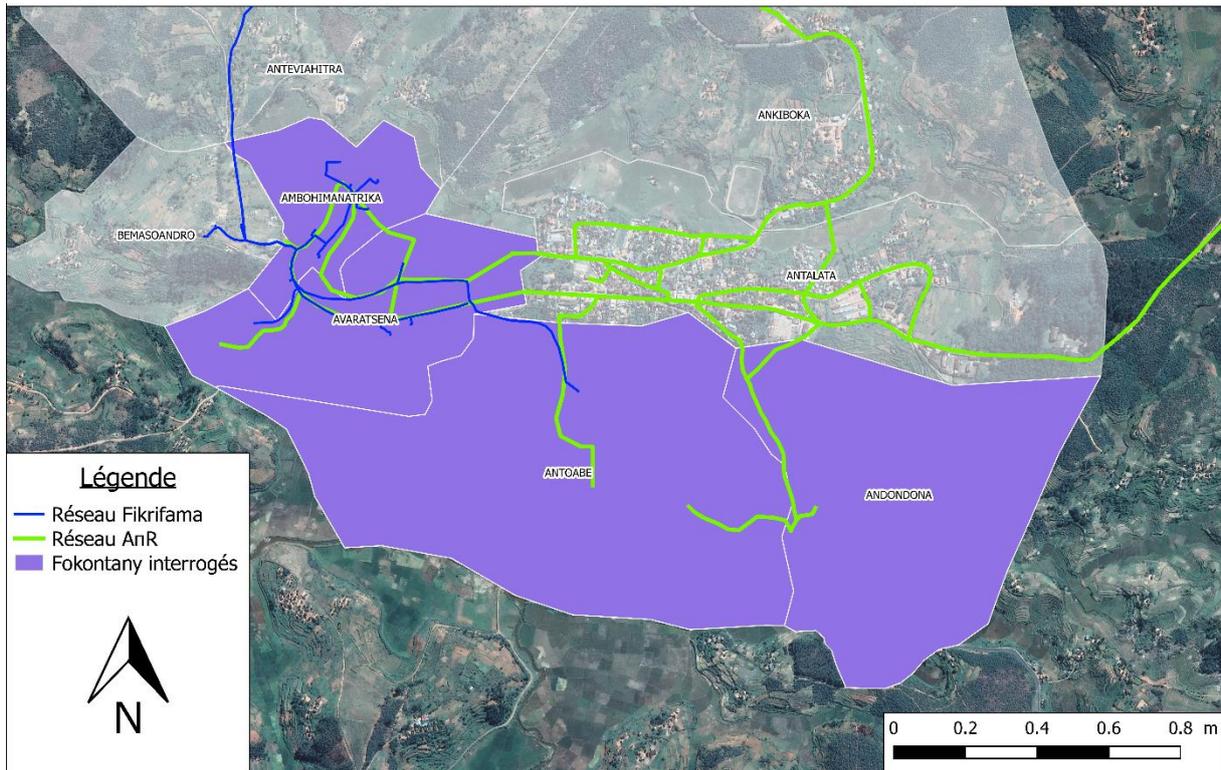
Tableau 1 : Synthèse des résultats de l'enquête réalisée sur 4 Fokontany de la commune d'Ambohimahasoa, Madagascar

FKT	Population	Type	Taux de raccordement AπR	Accès à Fikrifama	Consommation (L/j/hab)
Ambohimanatrika	1033	Urbain	5 %	Oui	70,3
Andondona	770	Rural	41 %	Non	17
Antoabe	832	Rural	39 %	Non	21,6
Avaratsena	1314	Urbain	21 %	Oui	56,8

S'agissant d'une enquête systématique, les résultats sont jugés fiables. Il est donc possible de tirer des conclusions sur le comportement des usagers du réseau principal. Il est utile de souligner que cette méthode était la plus fiable tout en étant la moins contraignante à mettre en place, c'est pourquoi elle a été retenue.

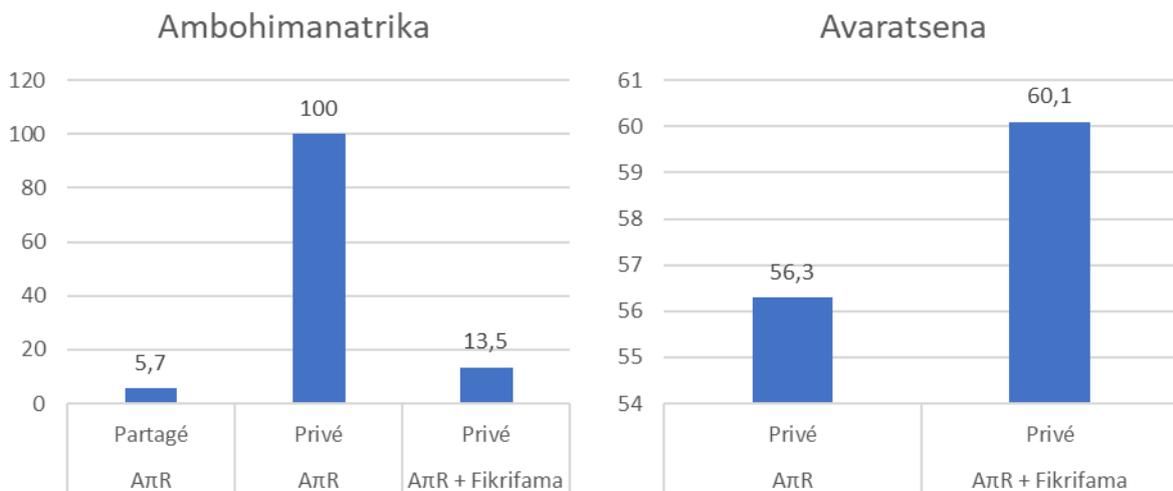
La Carte 4 présente les Fokontany interrogés, ainsi que les différents réseaux d’AEP qui les alimentent :

Carte 4 : Carte des Fokontany d’Ambohimahasoa interrogés lors de l’enquête ménage 2019



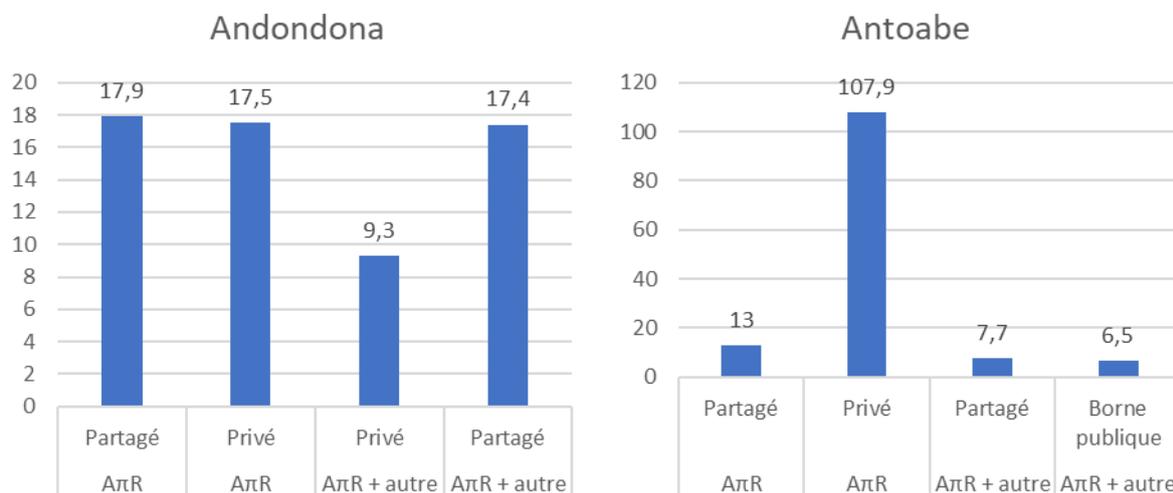
Les données de consommations détaillées pour les Fokontany urbains et ruraux en fonction du type de branchement sont détaillées dans les Figure 4 et Figure 5 :

Figure 4 : Consommation moyenne (L/j/hab) obtenue par une enquête en 2019, en fonction du type de branchement, pour les Fokontany urbains d’Ambohimahasoa



L'analyse de la consommation dans les Fokontany urbains met en évidence le fait que les habitants utilisent les deux réseaux, y compris quand ils ont un branchement privé. Cela s'explique à priori par le mauvais niveau de service rendu par le réseau principal (coupures d'eau ou pression insuffisante) qui oblige les usagers à utiliser le réseau Fikrifama. Cette hypothèse est plausible dans la mesure où le réservoir d'équilibre « Ambatolampy », situé dans cette zone, est vide la plupart du temps.

Figure 5 : Consommation moyenne (L/j/hab) obtenue par une enquête en 2019, en fonction du type de branchement, pour les Fokontany ruraux d'Ambohimahasoa



Dans les Fokontany ruraux, seul le réseau du gestionnaire est présent. Le report de consommation en cas de coupure d'alimentation est cette fois effectué vers des types d'approvisionnement non potable (puits ou rivières). Les usagers ruraux ont une consommation cohérente avec celle fournie par le gestionnaire. Le Fokontany d'Antoabe peut être considéré comme représentatif des habitudes de consommation sur le réseau.

Les données peuvent être utilisées pour extrapoler le comportement des usagers sur le reste du réseau. Le taux de raccordement dans ce Fokontany est de 39 %. En utilisant ce taux d'accès, on obtient le **nombre d'usagers total du réseau qui est de 4 537 environ**. Ce chiffre est proche de celui déclaré par le gestionnaire.

Le rendement technique du réseau a pu être obtenu à partir des données de l'enquête. Les volumes produits ne sont pas connus, en revanche des mesures au seau (méthode la plus précise disponible) ont été réalisées. Le volume produit sur les deux stations est d'environ 420 m³/j. Or, les données de consommations de l'enquête ménage indiquent une consommation d'environ 128 m³/j. Cela signifie que **le rendement du réseau est de 31 %**.

Enfin, les données de population réelle ont permis d'obtenir le taux d'accroissement de la population. Cette information est primordiale pour estimer la population de la commune à l'horizon 2035. En se basant sur une valeur de 2,5 % par an en moyenne, la population a pu être projetée sur 15 ans. Une étude détaillée des besoins a été proposée dans la phase APD.

2.3. Analyse des ressources en eau disponibles

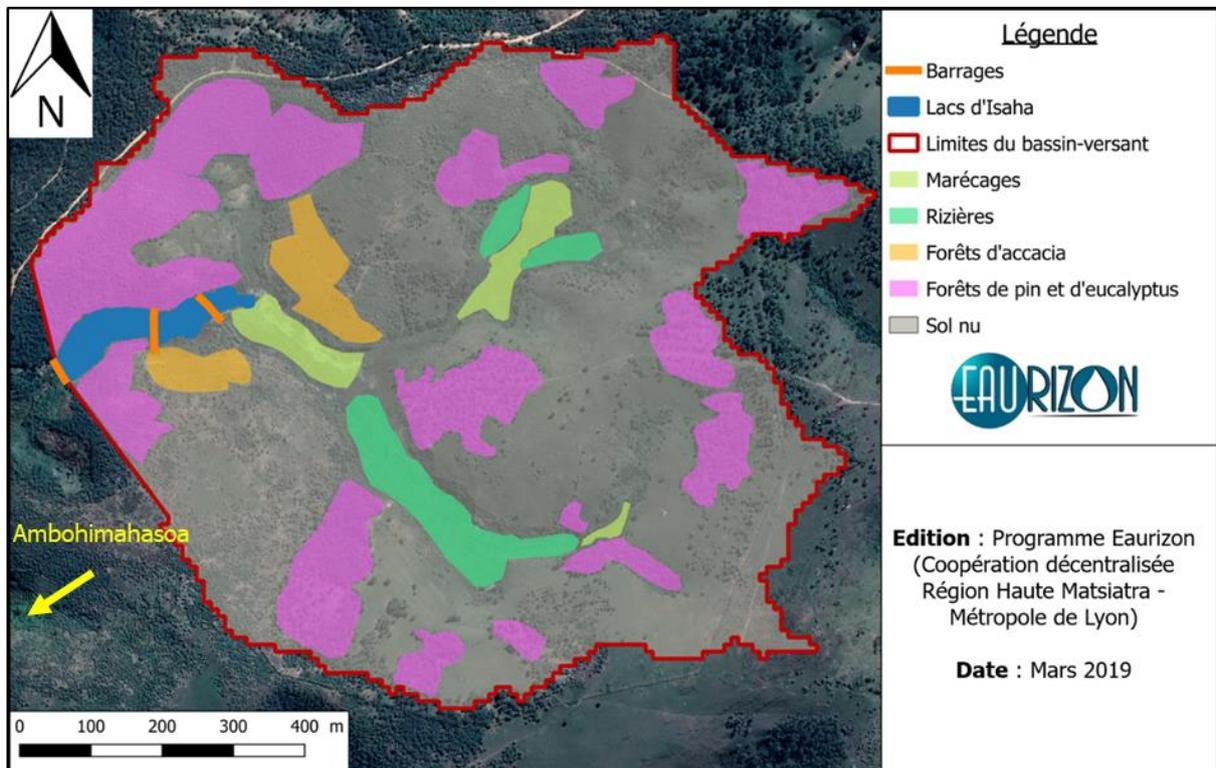
Afin d'anticiper la satisfaction des besoins futurs, une étude des ressources en eau est primordiale. Pour cela, une étude hydrologique simplifiée a été menée sur la ressource principale à l'Est de la commune. Cette ressource est utilisée pour le stockage en saison sèche, par l'intermédiaire de trois lacs. Concernant la ressource Nord, la réalisation d'une étude hydrologique n'a pas été jugée pertinente étant donné qu'elle n'a pas vocation au stockage.

2.3.1. Les lacs artificiels d'Isaha

➤ Présentation du bassin versant

La première ressource en eau qui alimente le réseau provient du bassin versant d'Isaha, situé à l'Est de la commune. Celui-ci est situé sur le territoire communal d'Ampitana. Cette ressource est utilisée pour l'alimentation en eau depuis 1916. Trois lacs artificiels en cascade alimentent la station associée à ce bassin (Carte 5). Cette ressource fournit environ 60 % de la demande journalière.

Carte 5 : Carte d'occupation du bassin versant d'Isaha, commune d'Ampitana, Madagascar



Le sol nu occupe 66 % de la surface du bassin. Le bassin versant est donc dans un état fortement dégradé. Les conséquences sont notamment une augmentation de l'évapotranspiration, donc une diminution de la quantité d'eau disponible, une érosion plus rapide des sols, donc une augmentation de l'apport sédimentaire dans les lacs, et une diminution de la qualité de la ressource. Les problèmes de déforestation et de surexploitation du bassin versant ont été en partie contrôlés par l'intermédiaire d'un projet de reboisement.

➤ Ressources en eau et débit disponible

L'alimentation des lacs d'Isaha provient de résurgences marécageuses. Une visite sur site a permis de localiser les zones, mais le débit disponible n'était pas mesurable car l'apport est trop diffus. Une étude hydrogéologique serait nécessaire pour connaître avec plus de précision le fonctionnement du bassin versant, mais au vu des enjeux et des moyens disponibles une étude simplifiée suffit.

Pour anticiper des problèmes d'approvisionnement en eau, il est nécessaire d'estimer les volumes disponibles dans les lacs d'Isaha. Une bathymétrie a été effectuée sur le lac principal qui est également le plus grand. La méthodologie est assez simple :

- Un opérateur manœuvre une embarcation ;
- Un opérateur effectue les mesures de hauteur d'eau avec un fil à plomb ;
- Un opérateur note les valeurs et le positionnement GPS ;

En utilisant QGis, il est ensuite possible de créer un Modèle Numérique de Terrain (MNT), et ainsi avoir le volume approché du lac. En revanche, la bathymétrie s'est révélée impossible sur les autres lacs en raison de la végétation qui les a envahis (Figure 6).

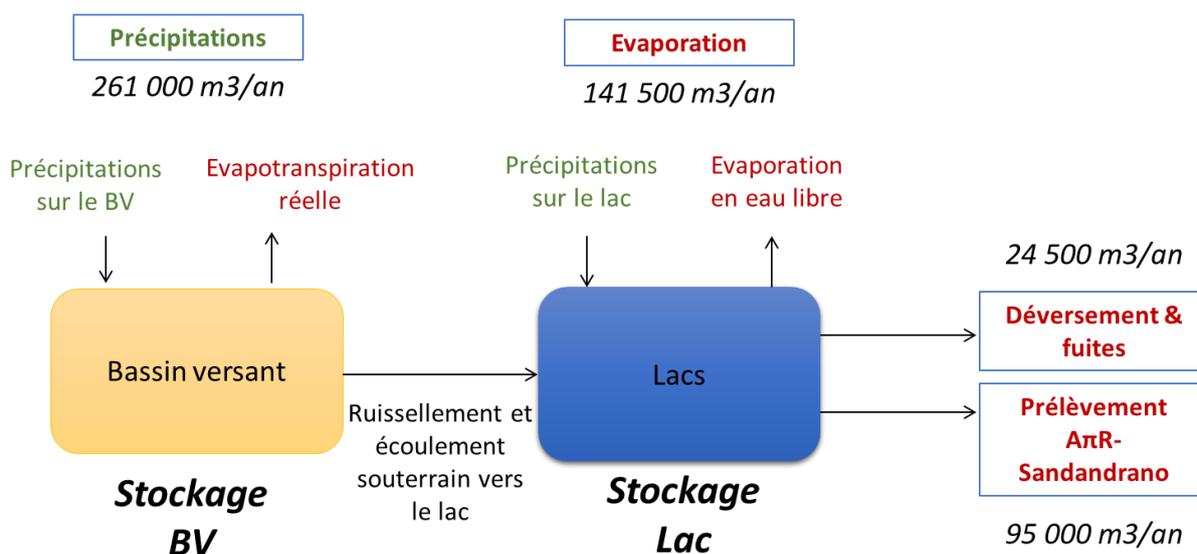
Figure 6 : Invasion par la végétation du lac d'Isaha, commune d'Ampitana, Madagascar (photographies amont/aval, 2018)



Le volume obtenu est de 8 219 m³. La tranche utile correspond au volume entre la surface et la prise d'eau, qui se situe à 1 m sous le seuil du barrage. **Le volume utile du lac est de 3 241 m³.** Cela représente 40 % du volume de ce lac. Le volume total de stockage des trois lacs est estimé à 12 700 m³. **Le débit prélevé pour l'alimentation de la station est de 3,02 L/s environ.** Ce débit est variable au cours des saisons, il arrive qu'il y ait des coupures d'approvisionnement lorsque le niveau dans le lac est trop bas.

Ensuite, un bilan hydrologique simplifié a été réalisé sur ce bassin-versant. Il n'y avait aucune donnée disponible concernant le site. Il a donc fallu reconstituer la pluviométrie à partir des données de l'aérodrome de Fianarantsoa, situé à 50 km. Ces données sont utilisées dans le modèle WorldClim [9], elles sont jugées fiables. Pour l'évapotranspiration, une méthode similaire à celle utilisée par le programme Eaurizon sur des bassins proches [10] a été appliquée. Le résultat est suffisamment précis au niveau des ordres de grandeur pour tirer des conclusions. Le schéma de principe de ce bilan est donné Figure 7.

Figure 7 : Schéma de principe du bilan hydrologique réalisé sur le bassin versant d'Isaha



Le premier constat est que la ressource est pratiquement exploitée au maximum de ses capacités. Les volumes qu'il est possible de gagner sur les fuites et déversements sont assez faibles par rapport aux prélèvements. Le fait que l'alimentation de la station ait déjà été coupée en raison du manque d'eau confirme cet élément.

Le second constat est que le stockage est très limité. Il y a donc un intérêt fort à limiter les prélèvements. La réduction des prélèvements sur cette ressource peut être obtenue en réduisant les pertes sur le réseau à l'aval, et en augmentant la production sur la ressource nord. Ces éléments permettraient de faire face à une demande croissante en eau.

Enfin, l'évaporation représente plus de la moitié de la pluviométrie. Des actions de préservation de la ressource sont indispensables, puisque le bassin-versant est dans un état dégradé. Il faut capter un maximum d'eau sur ce bassin pour lutter contre les effets d'une sécheresse, dans la mesure où cette ressource est la seule qui permet un stockage. Comme les barrages sont encore en bon état, il est possible de maximiser la capacité de stockage. A l'avenir, il pourrait être intéressant d'envisager un rehaussement de la hauteur du seuil du barrage.

2.3.2. La ressource d'Ampanidinana

➤ Présentation du bassin versant

La deuxième ressource en eau du réseau principal provient d'un bassin versant au nord de la commune. Il s'agit d'une zone forestière dans le Fokontany d'Ampanidinana, qui dispose de plusieurs sources de montagnes. L'eau captée sur ce bassin versant alimente la station de Tsaramasoandro. Cette ressource correspond à 40 % environ de la demande.

La couverture végétale du bassin versant est très importante ce qui garantit une bonne qualité de l'eau. Cependant, le bassin est soumis à une exploitation illégale due à l'activité du charbon de bois qui se développe. A court terme, cela n'est pas une menace au vu des faibles surfaces déboisées, cependant il y a un risque à moyen et long terme.

➤ **Ressources en eau et débit disponible à Ampanidinana**

Le bassin versant présente une multitude de sources de montagne. Elles alimentent des rizières et des étangs destinés à la pisciculture dans la partie aval du bassin. Environ 30 % de la ressource rejoint un canal en terre qui sert à alimenter la station de Tsaramasoandro. **Le débit capté est d'environ 1,85 l/s.**

L'eau captée rejoint un ouvrage de dessablage, qui sert de prétraitement aux eaux brutes. Le chemin hydraulique à travers l'ouvrage est particulier. L'entrée dans le dessableur s'effectue par deux compartiments, il y a donc deux filières en parallèle, bien que cela ne se justifie pas techniquement. Les deux filières ne garantissent pas la même qualité de prétraitement de l'eau brute. Le dessableur présente des fuites (Figure 8). **Le génie civil est à reprendre. La phase d'avant-projet a permis de revoir le dimensionnement et le principe de fonctionnement.**

Figure 8 : Etat du génie civil du dessableur d'Ampanidinana, nord de la commune d'Ambohimahasoa



Il n'existe aucun périmètre de protection autour de l'ouvrage. Ainsi, des brèches sont créées par les agriculteurs dans le canal d'alimentation pour détourner le débit vers les rizières pendant la saison de culture. **Le dessableur est parfois utilisé pour l'approvisionnement en eau du bétail (Figure 9)** avec les conséquences sanitaires qu'une telle contamination implique. Une partie de la conduite qui permet l'alimentation de la station est apparente lors de son passage par le Fokontany d'Ampanidinana. Elle est donc exposée aux divers accidents et aux actes de vandalisme.

Figure 9 : Anomalies observées sur le dessableur et la conduite d'amenée à Ampanidinana



2.4. Détail du fonctionnement des stations de traitement

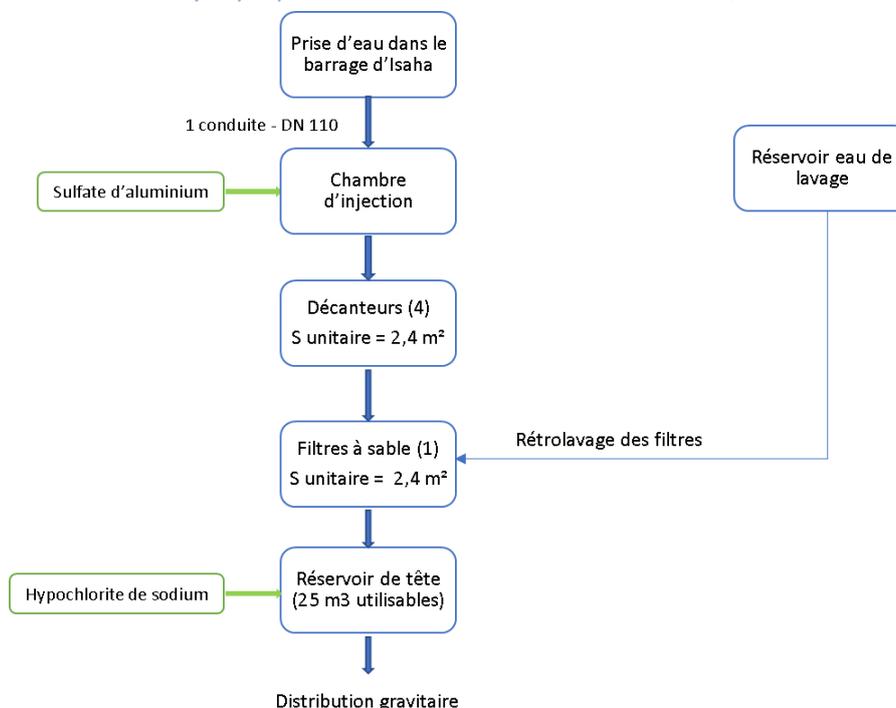
2.4.1. La station de traitement d'Isaha

➤ Filière de traitement

Le réseau dispose de deux stations de traitement. La station de traitement d'Isaha est située à une altitude de 1 267 m, à l'Est de la commune. Elle a été réhabilitée en 2006. La station est dotée d'un périmètre de protection qui n'est pas respecté. Il n'est pas rare de voir circuler librement des individus sur le site, qui utilisent le barrage comme passage d'une berge à l'autre.

Le résumé de la filière de traitement est donné Figure 10. La filière d'Isaha est de type physico-chimique. Il s'agit d'un ensemble classique : coagulation/floculation, décantation, filtration, désinfection. Le détail de chaque étape est présenté dans les paragraphes suivants.

Figure 10 : Schéma synoptique de la station de traitement d'Isaha, Est de la commune



➤ Coagulation - Floculation - Décantation

La première étape de traitement est la coagulation/floculation. À l'entrée de la station, la conduite d'alimentation est obstruée par un tronc d'arbre, qui sert à réguler le débit entrant. La chambre d'injection de coagulant est en mauvais état, des fuites sont à relever sur la structure. L'eau passe ensuite dans une conduite en fonte pour alimenter les décanteurs. Il n'y a pas d'ouvrage dédié à la floculation, celle-ci s'effectuant dans les décanteurs.

Les décanteurs sont constitués de quatre compartiments avec une structure en maçonnerie de moellon. Ce sont des décanteurs couloirs statiques. **Globalement, le génie civil est en mauvais état.** Des fuites ont été observées sur les compartiments (Figure 11). Initialement, la station fonctionnait avec deux filières en parallèles. Cependant, un des compartiments du réservoir situé en aval n'est plus utilisé car il présente trop de fuites. Les agents utilisent donc l'un des filtres comme décanteur. Le dimensionnement est correct, bien que la vitesse ascensionnelle des floccs ne soit pas optimale.

Figure 11 : Etat du génie civil des décanteurs de la station d'Isaha, Est de la commune d'Ambohimahasoa



➤ **Filtration**

L'étape de filtration utilise des filtres à sables monocouches. Les dimensions des filtres sont identiques aux décanteurs, avec une structure en maçonnerie de moellon. Le système de buselures qui existait a été remplacé par un tamis. Les fentes dans les tamis créent des chemins préférentiels et entraînent une mauvaise filtration de l'eau. Ce type de fonctionnement entraîne des pertes en sable importantes, de 2 à 3 kg à chaque lavage. De plus, les agents ne sont pas formés à l'hydraulique ou au traitement. Ils sont satisfaits du fonctionnement actuel car l'exploitation est plus facile.

La hauteur de sable est d'environ 1 m. **La granulométrie utilisée est beaucoup trop importante.** Cela a pour conséquence un traitement moindre de la turbidité. La hauteur d'eau dans les filtres est correcte, tout comme le temps de séjour. Cependant, les filtres s'encrassent trop vite. Le fonctionnement des filtres a été revu dans l'étude APD. Un réservoir en béton armé de 10 m³ alimenté par une source, est utilisé pour le rétro lavage du filtre. Son trop-plein alimente directement le réservoir principal d'Isaha. Cela pose un risque de contamination des eaux traitées dans le réservoir.

➤ **Désinfection**

Après l'étape de filtration, l'eau arrive dans le réservoir de tête de 50 m³. Le deuxième compartiment n'est pas opérationnel à cause de fuites, ce qui limite le stockage à 25 m³. Le réactif de désinfection est injecté directement depuis un bidon dans le réservoir. Cela signifie que le taux de traitement dépend de la charge dans le bidon. Ce type de fonctionnement est à revoir car il ne permet pas une injection régulière de réactif.

➤ **Réactifs de traitement**

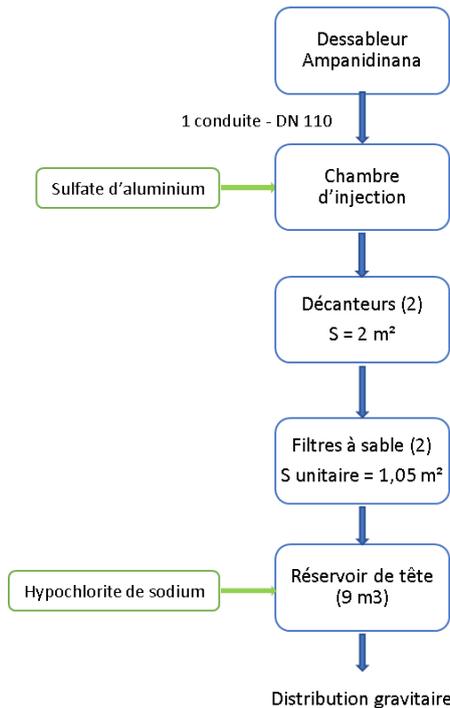
Concernant le traitement chimique, les réactifs utilisés pour la coagulation et la désinfection sont respectivement le sulfate d'alumine et l'hypochlorite de sodium. Sur des stations de cette taille, il est indispensable de maîtriser le taux de traitement. Or, les analyses qualité effectuées après un événement pluvieux (Annexe 05) confirment que le dosage actuel n'est pas adapté à une variation rapide de la turbidité en entrée. Des non-conformités sur le paramètre turbidité sont à relever. La réalisation d'essais jar-tests est préconisée pour permettre un dosage plus fin des réactifs.

2.4.2. Station de traitement de Tsaramasoandro

➤ **Filière de traitement**

La deuxième station qui alimente le réseau est située à Tsaramasoandro, au nord de la commune d'Ambohimahaso, à une altitude de 1 270 m. La station est protégée par une clôture qui fait office de périmètre de protection. La figure ci-dessous présente le schéma synoptique de la station. Le détail de chaque étape est présenté dans les paragraphes suivants.

Figure 12 : Schéma synoptique de la station de traitement de Tsaramasoandro



➤ **Coagulation - Flocculation - Décantation**

La station de Tsaramasoandro utilise les mêmes étapes que la station d'Isaha, mais elle diverge par son dimensionnement. Tsaramasoandro dispose d'un flocculateur. L'écoulement y est turbulent, ce qui favorise la dispersion et le mélange des réactifs avec l'eau brute. Dans les décanteurs, la vitesse au miroir est trop importante ce qui ne garantit pas une décantation optimale des floccs. Le génie-civil de l'ouvrage est en bon état mais des plantes poussent trop près des ouvrages (Figure 13).

Figure 13 : Photographie du décanteur de la station de Tsaramasoandro, Nord de la commune



➤ **Filtration**

L'eau décantée rejoint ensuite deux filtres à sables monocouches, qui fonctionnent à tour de rôle. Le génie civil est en mauvais état et il y a des pertes importantes lors du lavage, comme à Isaha. Les filtres sont équipés de tamis (Figure 14).

Figure 14 : Etat des tamis et du génie civil des filtres de la station de Tsaramasoandro



La granulométrie utilisée pour la filtration est trop importante. Le génie civil est en mauvais état. La hauteur d'eau dans les filtres est inférieure à la hauteur de sable. Le principe des tamis est à revoir.

➤ **Désinfection**

Après l'étape de filtration, l'eau arrive dans un réservoir de 9 m³. Le réactif de désinfection est injecté directement dans le réservoir, avec le même principe qu'à Isaha (Figure 15). Ce type de fonctionnement est à revoir car il ne permet pas une injection régulière de réactif.

Figure 15 : Photographie du mécanisme d'injection de désinfectant de la station de Tsaramasoandro



➤ **Réactifs de traitement**

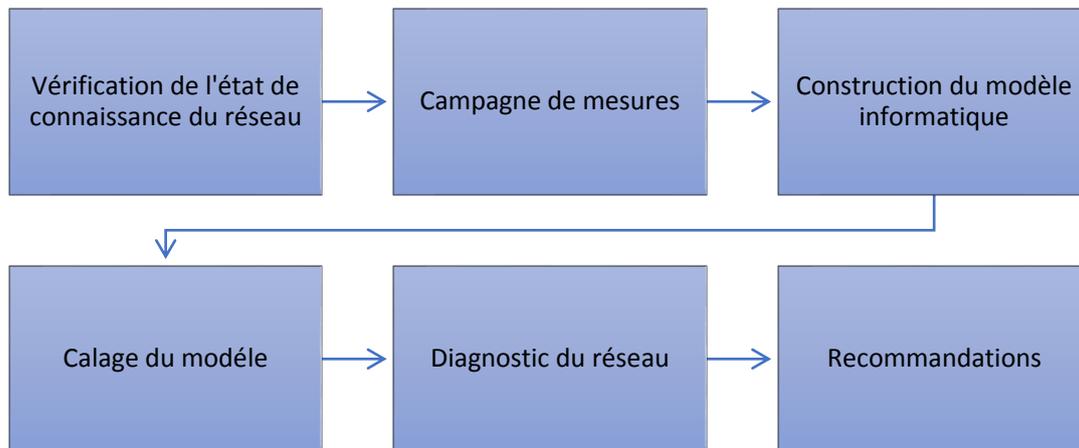
Les réactifs utilisés sont les mêmes qu'à Isaha. La méthode d'injection est identique. Sur les deux stations, des instruments de mesures devront être installés : il est nécessaire d'avoir un turbidimètre pour suivre la qualité des eaux brutes et adapter les doses de réactifs en conséquence, ainsi qu'un débitmètre pour permettre un suivi de la production.

2.5. Modélisation du réseau

2.5.1. Méthodologie de modélisation

Une fois le diagnostic des stations réalisé, il a fallu de modéliser le comportement du réseau. Cela a consisté à construire une représentation mathématique qui reproduise fidèlement le comportement réel du système. La méthodologie suivie est la suivante :

Figure 16 : Méthodologie suivie pour la modélisation du réseau d'Ambohimahasoa



➤ **Vérification de l'état de connaissance du réseau**

La connaissance précise du réseau est indispensable pour réaliser le diagnostic du réseau. Cette phase a permis de valider les plans du réseau, les cotes, les diamètres et d'avoir une vision précise du réseau. La collecte d'informations a été permise grâce au technicien qui a une connaissance très précise des tracés et des matériaux. Le technicien est le seul à connaître le tracé exact du réseau, ce qui est problématique.

➤ **Campagne de mesure**

La campagne de mesure consiste à mesurer en différents points du réseau des paramètres précis : débits et pressions, ainsi que l'évolution de la hauteur d'eau dans les réservoirs. Une campagne permet d'observer le comportement réel du réseau, sur une période de 24 h minimum. L'objectif est de caler le modèle informatique avec les valeurs observées.

➤ **Construction du modèle informatique**

Le modèle mathématique a été construit grâce à un logiciel de modélisation hydraulique, Porteau. Ce logiciel a été développé par Irstea, la version utilisée est la 4.0.10. Il permet de simuler le comportement hydraulique d'un réseau en charge, maillé, sur des périodes de temps longues.

➤ **Calage du modèle**

L'étape de calage permet de reproduire le plus fidèlement possible le comportement réel du réseau en ajustant certains paramètres. Le but est de réduire l'écart entre les valeurs mesurées et modélisées, en modifiant la rugosité des conduites. A noter qu'une phase de validation permettrait de tester si le modèle reste fidèle à la réalité dans une autre configuration que celle du calage. Il aurait fallu avoir, dans le meilleur des cas, des jours très différents pour permettre une validation du modèle.

Cependant la plage de données obtenues n'est pas suffisante pour réaliser cette deuxième phase. En effet, les contraintes rencontrées lors de la campagne de mesure n'ont permis de récolter que 24 h de données. En considérant les enjeux et la taille du réseau, le résultat a été jugé satisfaisant.

➤ **Diagnostic du réseau**

Une fois le calage réalisé, le modèle peut être exploité. L'observation du comportement du réseau modélisé permet de tirer des conclusions sur son fonctionnement réel. Cette observation permet d'identifier ou de vérifier les hypothèses concernant les zones de faibles ou fortes pressions, ainsi que les limites du réseau notamment en heure de pointe. En parallèle de ce diagnostic, une phase de recherche de fuites a été effectuée pour identifier les tronçons à remplacer prioritairement. En effet l'objectif principal de cette modélisation est d'identifier les fuites sur le réseau. Le modèle pourra aussi servir à prédire le comportement du réseau à moyen terme.

2.5.2. Réalisation de la campagne de mesure

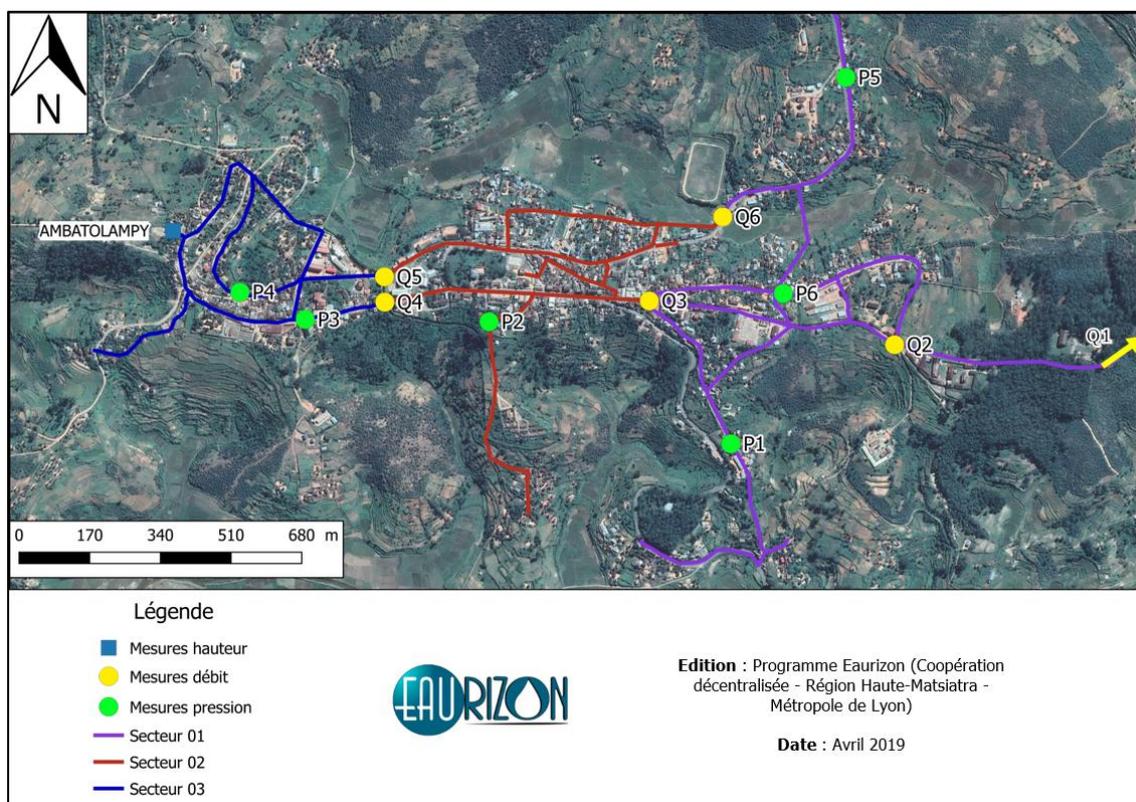
➤ **Planification de la campagne**

Le contexte local a impliqué une organisation rapide, pour intégrer toutes les contraintes. La campagne de mesure a d'abord été planifiée avec la JIRAMA d'Antananarivo afin de déterminer les dates de la campagne, ainsi que les points de mesure (débits et pressions) à partir notamment de :

- La sectorisation du réseau souhaitée ;
- Le nombre d'appareils mis à disposition ;
- La disponibilité des agents ;

Le positionnement final des appareils, ainsi que les différents secteurs obtenus sont les suivants :

Figure 17 : Positionnement des appareils de mesure sur le réseau d'Ambohimahasoa



Les agents de la JIRAMA ont été très efficaces durant la campagne. Une agence de sécurité a été engagée pour surveiller les appareils et effectuer une partie des mesures. **Le fait que des agents non professionnels du domaine de l'eau aient été employés a entraîné une perte de données.** Les débitmètres n'étant pas auto-enregistreurs, l'intervalle de mesure a été fixé à 30 mn. En heure de pointe, l'intervalle a été réduit à 15 mn. Le calendrier de la campagne de mesure est le suivant :

Figure 18 : Planning des opérations de la campagne de mesure

	25.févr		26.févr		27.févr		28.févr		01.mars		02.mars	
	Matin	AM										
Réunion de préparation avec la commune	■											
Déplacement équipe JIRAMA depuis Antananarivo	■	■										
Excavation des conduites	■											
Pose des manomètres enregistreurs			■									
Pose des débitmètres ultrason			■	■	■	■	■	■				
Campagne de mesure			■	■	■	■	■	■				
Dépose des appareils									■			
Traitement des résultats bruts									■			
Remplissage des fouilles										■		
Déplacement équipe JIRAMA jusqu'à Antananarivo											■	■

➤ Les types de mesure et d'appareils

Les appareils utilisés pour la collecte des données ont été mis à disposition par l'équipe de la JIRAMA d'Antananarivo. Le nombre restreint d'appareils a contraint différents choix pour la suite de l'étude. Les deux types de débitmètres utilisés sont de marque Ultraflux et SiteLab (Figure 19). La précision de ces appareils peut atteindre 0.5 % d'après la notice d'utilisation. Cependant, l'incertitude dépend surtout de la maîtrise des techniciens qui installent les appareils.

Figure 19 : Photographie de débitmètre SiteLab (gauche) et de manomètre LoLog HMW (droite) utilisés lors de la campagne de mesure à Ambohimahaso, Mars 2019



Pour les mesures de pression, des manomètres auto-enregistreurs ont été utilisés. Les 2 modèles de manomètres utilisés pour la campagne sont le LoLog R de HWM (Figure 19) et le PrimeLog de Primayer. Le positionnement des manomètres a été conditionné par la présence d'usagers de confiance chez qui l'installation pouvait se faire. Ces appareils ont été installés sur les points haut et bas du réseau, dans la mesure du possible.

Etant donné que les réservoirs ne disposent pas de poires de niveau, il a fallu utiliser un système de mesure à partir d'un mètre attaché à une ficelle pour obtenir la hauteur d'eau dans le réservoir. Seule la hauteur d'eau du réservoir dit d'équilibre, à Ambatolampy, a été mesurée. Les mesures de hauteur à Isaha ne sont pas nécessaires puisqu'un débitmètre y était placé, et pour Tsaramasoandro, le nombre d'agents et d'appareils limités n'a pas permis d'avoir de mesures.

➤ La sectorisation du réseau

Afin d'analyser le réseau plus finement, une sectorisation est utile. Le réseau est d'une taille assez modeste, et vu le nombre d'appareils disponibles, 3 secteurs ont été retenus. Le choix de positionnement des débitmètres a donc été réfléchi pour pouvoir effectuer des bilans sur ces 3 secteurs du réseau. Les mesures s'effectuent simultanément sur l'ensemble des secteurs. Les points suivent la nomenclature de la Figure 17.

1^{er} Secteur :

Le 1^{er} secteur est délimité par les débitmètres Q1, en sortie de la station d'Isaha, et Q3 qui correspond à la sortie du secteur. Le point Q2 permettra d'évaluer les pertes sur la conduite d'amenée. Celle-ci est en fonte et a été partiellement remplacée par du PVC. Son linéaire est important et en mauvais état : des fuites sont visibles à l'œil nu. Ce secteur n'est pas isolé complètement. Une approximation du débit en sortie de la station de Tsaramasoandro a permis de reconstituer l'ensemble des débits entrants.

2^{ème} secteur :

Le 2^{ème} secteur correspond à toute la partie centrale de la commune. Les entrées du secteur se font par les points Q3 et Q6, les sorties aux points Q4 et Q5. Il contient beaucoup d'usagers, de commerces, et les services administratifs de la commune. Des zones de faibles pressions ont été identifiées par les usagers dans cette zone, notamment autour de la Mairie qui est un point haut.

3^{ème} secteur :

Le 3^{ème} secteur se concentre autour du réservoir d'équilibre, à l'Ouest de la commune. Les débitmètres Q4 et Q5 permettent de mesurer le volume transitant dans le secteur. Des zones de faibles pressions ont été identifiées autour des points Q4 et Q5, lors de l'élaboration du schéma directeur. Les mesures permettront de confirmer ces informations.

➤ Limites et incertitudes autour des valeurs collectées

La pertinence et la précision du modèle dépendent de l'incertitude des mesures. Le relevé étant effectué par des agents, il existe une première source d'erreur. Les conduites, notamment celles en fonte, sont jugées en bon état d'après le technicien de la JIRAMA. Ce facteur réduit l'incertitude de mesure des appareils. Afin de tenir compte de l'ensemble de ces éléments, une valeur de 5 % d'incertitude en débit a été fixée.

Concernant les mesures de pressions, les appareils sont posés chez les usagers. Les branchements particuliers sont bien souvent vétustes, et présentent des fuites. Il est possible que la pression relevée chez les abonnés soit assez éloignée de la pression réelle. Sur les mesures de hauteurs d'eau dans le réservoir, l'imprécision du système utilisé est élevée. Une marge d'erreur de 5 cm permet de prendre en compte cette incertitude.

2.5.3. Construction du modèle

Un réseau d'eau potable est constitué d'un ensemble d'éléments physiques qui doivent être renseignés dans le modèle. Porteau a été conçu pour déterminer le débit transitant dans les tronçons, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et éventuellement la qualité de l'eau dans le réseau au cours d'une période de temps.

Ce moteur d'analyse hydraulique permet d'effectuer des calculs en régime permanent en incluant les limites suivantes :

- Une taille de réseau potentiellement illimitée ;
- Un calcul des pertes de charge dans les tronçons, en utilisant les coefficients de Hazen-Williams ou de Colebrook des différents matériaux ;
- Les pertes de charges singulières aux coudes, aux tés, etc. ;
- Des pompes à vitesse fixe ou variable ;
- Différents types de vannes et réservoirs ;
- Des modèles de consommations aux nœuds : industriels, domestiques, fuites ;

En utilisant l'ensemble des informations compilées dans la base de données SIG de la commune, et des données complémentaires recueillies, il est possible de construire le modèle.

➤ Création des éléments physiques du réseau

Le modèle du réseau d'Ambohimahasoa totalise 49 nœuds, dont 3 réservoirs, et 58 tronçons. La cote sol des nœuds a été renseignée en ajoutant un MNT au projet. Une campagne altimétrique permettrait une précision très fine du réseau, mais cela n'est pas pertinent au vu de la taille du réseau. Pour chaque nœud, il faut également renseigner la demande des abonnés. A partir du SIG et de la moyenne des consommations par type de branchements, cette donnée a pu être renseignée. Enfin, une courbe de modulation a été utilisée afin de tenir compte de l'évolution de la demande sur 24 h. La construction de cette courbe de modulation est détaillée au paragraphe suivant.

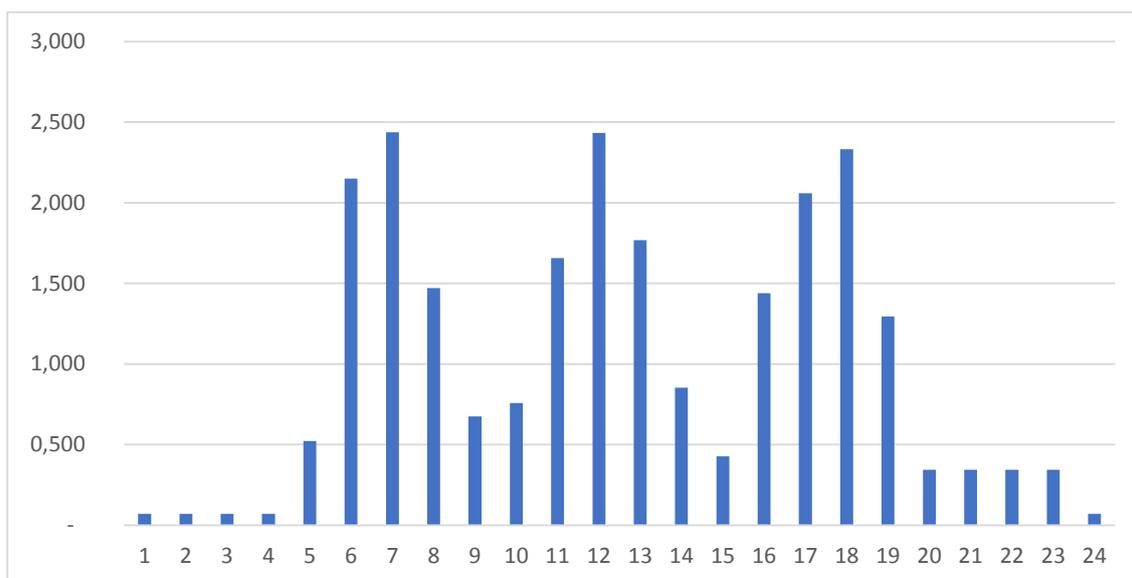
La rugosité des conduites, ainsi que les diamètres ont dû être renseignés pour chaque tronçon. Ces paramètres dépendent du type de matériau et de l'âge des conduites. Ces données permettent également de déterminer les coefficients de perte de charge pour les différents tronçons. En dernier lieu, les données concernant les réservoirs ont été renseignées, (dimensions, cotes de radier et de trop plein). Le réseau ne comporte pas de pompes ni de vannes fonctionnelles, ce qui simplifie la modélisation.

➤ Création des courbes de modulation

Comme le comportement des usagers n'est pas uniforme sur une journée, il est nécessaire de connaître la répartition de la consommation sur 24 h. Pour ce faire, une courbe de modulation est utilisée. Normalement celle-ci s'obtient à partir du coefficient de pointe horaire, qui est déterminé à partir des débits en sortie de stations à l'heure de pointe. Le problème concernant le réseau d'Ambohimahasoa est l'inexistence de compteurs en sortie des stations. **La détermination de ce coefficient est donc impossible.**

En revanche, sur une journée de consommation à Ambohimahasoa, deux pics peuvent être identifiés. Il s'agit des heures d'ouverture des bornes fontaines, ainsi que les heures d'utilisation des branchements partagés. Ces pics ont été utilisés pour construire la courbe. Les coefficients de pointe associés sont compris entre 1 et 3. Puis les autres coefficients horaires ont été ajustés de façon à obtenir une moyenne des coefficients égale à 1 sur 24 h, pour chaque type de branchement. Ensuite, ces coefficients ont été pondérés en fonction de la part de consommation de chaque type de branchement. Par exemple, pour les branchements privés qui représentent 70 % de la consommation, une pondération de 70 % a été appliquée. En sommant ces valeurs, la courbe obtenue est présentée Figure 20.

Figure 20 : Courbe de modulation utilisée pour la modélisation du réseau d'Ambohimahasoa



Cette méthode permet d'obtenir des coefficients de pointe horaire autour de 2,5.

2.5.4. Calage du modèle

L'objectif du calage est d'obtenir un comportement simulé qui se rapproche le plus possible de la réalité. Cela s'obtient en réduisant l'écart entre les résultats de la campagne de mesure et les valeurs calculées par le modèle.

Il s'agit d'une tâche assez compliquée au vu du contexte. En effet, les informations collectées sont parfois imprécises. Des erreurs humaines ont pu être commises (erreurs de relevé sur les appareils par les agents, erreur de saisie lors de la numérisation des données, écart de pression entre les abonnés et la conduite).

La demande à chaque nœud a été approximée en utilisant une moyenne de consommation sur l'ensemble du réseau, en fonction du type de branchement.

Le calage a été réalisé en modifiant les diamètres des conduites pour celles en fonte (un encrassement des conduites anciennes étant possible), mais surtout en jouant sur la rugosité des conduites. Lorsque l'écart est jugé suffisamment faible, le modèle est calé. L'écart est calculé à partir de l'équation suivante :

Équation 1 : Calcul de l'écart entre les valeurs mesurées et modélisées

$$Ecart (\%) = \frac{Valeur\ mesurée - Valeur\ modélisée}{Valeur\ mesurée} \times 100$$

L'écart obtenu aux différents points de mesure de débits a été réduit à 45 % en moyenne (Tableau 2). Il est important de souligner que **sur la plupart des points l'écart est de 30 % ou moins**. Seuls deux points présentent des écarts importants : les points Q4 et Q5. Lors de la campagne, différents problèmes concernant ces points de mesure ont été identifiés : mauvaise compréhension des instructions, valeurs parfois incohérentes, etc. Sur la plupart des points, au moins 80 % des mesures effectuées ont été conservées.

Tableau 2 : Récapitulatif des incertitudes de calage en débit pour le modèle du réseau principal d'AEP d'Ambohimahaso, Madagascar

Point	Ecart moyen	Valeurs retenues
Q1	11 %	100 %
Q2	4 %	100 %
Q3	14 %	100 %
Q4	92 %	81 %
Q5	115 %	50 %
Q6	31 %	97 %
Total	45 %	88 %

Vu la précision attendue du modèle, ce calage est jugé satisfaisant. Il sera donc utilisé pour prévoir le fonctionnement des écoulements dans le réseau en fonction de différents scénarios futurs.

Le deuxième paramètre de calage est la pression dans le réseau. Concernant les 6 points de mesures, il est utile de souligner que ceux-ci ont été placés sur des points problématiques du réseau (points hauts, points bas, points critiques). Par ailleurs, il existe une différence de pression entre la conduite et le robinet des abonnés, sur lequel s'effectuent les mesures. Un écart plus grand est donc toléré pour le calage.

L'écart moyen est de 90 %. Par ailleurs, 49 % des valeurs mesurées ont été conservées pour juger de ce résultat (Tableau 3). Ces chiffres sont faibles, pourtant le modèle reproduit suffisamment bien le fonctionnement du réseau. En effet, le marnage mesuré dans le réservoir d'équilibre est reproduit par le modèle.

Tableau 3 : Récapitulatif des incertitudes de calage en pression pour le modèle du réseau principal d'AEP d'Ambohimahaso, Madagascar

Point	Ecart moyen	Valeurs retenues
P1	128 %	28 %
P2	82 %	81 %
P3	48 %	77 %
P4	103 %	50 %
P5	117 %	32 %
P6	61 %	24 %
Total	90 %	49 %

Comme le réseau dispose d'un potentiel altimétrique qui est bien exploité, les problèmes de pression sont fortement liés aux fuites sur ce réseau. La réduction de ces fuites permettra donc de réduire voire supprimer les problèmes de pression. Une attention particulière sera néanmoins portée sur les pressions dans la suite de l'étude afin de tenir compte de l'imprécision de ce calage.

Les graphiques décrivant l'évolution des débits et des pressions, mesurés et modélisés, sont disponibles en Annexe 06.

2.5.5. Analyse des résultats et diagnostic du réseau

La modélisation a permis de confirmer les informations qui sont remontées des visites sur le terrain. Les zones de faibles pressions sont situées au niveau des points hauts (à l'Ouest du réseau et autour du centre). Par ailleurs, un modèle de fuite a été élaboré en imposant un débit de fuite égal au minimum du débit de nuit. Il permet de bien reproduire le fonctionnement du réseau.

En particulier, le réservoir modélisé d'Ambatolampy est vide la nuit et peine à se remplir dans la modélisation. Il y a également un problème de pression statique forte sur les parties sud du réseau, qui peut expliquer les casses et fuites observées dans cette zone. Cet élément confirme que la pression est théoriquement suffisante en conditions normales sur le réseau. La conception originale du réseau, avec le réservoir d'équilibre à l'Ouest permettait probablement de satisfaire les besoins à l'heure de pointe.

Afin d'identifier les travaux les plus urgents, deux scénarios ont alors été étudiés. L'objectif de ces scénarios est de résoudre les problèmes de pressions et de fuites que connaît le réseau. Ils prennent en compte une hypothèse de **rendement à 80 %**. **Un tel rendement peu facilement être obtenu en changeant quelques tronçons à moindre coût.**

Le premier scénario envisagé pour régler l'ensemble des problèmes identifiés consiste à déconnecter le réservoir d'Ambatolampy, et à créer un nouveau réservoir. L'emplacement du nouveau réservoir peut être à l'Est ou au Nord, puisque l'altimétrie est suffisante sur ces emplacements. Ce scénario est coûteux. Il permet de résoudre l'ensemble des problèmes, notamment la pression puisque le nouveau réservoir dispose de 20 m de charge supplémentaire. Ce scénario n'a pas été retenu lors des discussions avec la commune car il implique de ne pas réutiliser l'ouvrage existant et de construire un nouveau réservoir.

Un deuxième scénario a été étudié. Il consiste à réhabiliter le réservoir d'Ambatolampy. **Ce scénario permet d'assurer le remplissage du réservoir, ainsi que de garantir une pression minimale de 20 m en tous points du réseau.** Ce scénario est simple et présente peu de contraintes, en particulier financière par rapport au premier scénario envisagé. Un problème se pose toutefois, car la modélisation en 2035 montre que des baisses de pressions sont possibles sur les points hauts à l'heure de pointe. Ce scénario a pourtant été retenu car il résout les problèmes immédiats que connaît le réseau, et il s'agit du meilleur scénario vu le contexte.

Pour finir, une campagne de recherche de fuites a été menée sur le réseau. Celle-ci a permis d'identifier au moins 15 fuites, ainsi que de nombreux branchements défectueux. Les tronçons présentant le plus de fuites se situent autour du réservoir d'Ambatolampy à l'Ouest, ainsi que dans les secteurs Sud, en raison de la pression statique trop importante la nuit. Les habitants ont été soulagés de voir que quelqu'un se préoccupait enfin des fuites, ce qui a donné lieu à de vives discussions.

Les points clés du diagnostic

Les ressources en eau de la commune sont abondantes mais le bassin versant d'Isaha, qui fournit la majorité de la ressource, est surexploité et en mauvais état. Il n'est pas certain que cette ressource puisse continuer d'approvisionner autant le réseau à l'avenir. Concernant la ressource d'Ampanidinana, le canal en terre rend la ressource vulnérable et altère sa qualité. Il est judicieux de mettre en place un captage. Des actions de protection de la ressource doivent être mises en place sur les deux bassins.

Les stations de traitement sont légèrement sous-dimensionnées, notamment les ouvrages de décantation. Le système de filtres à sable est pertinent vu le contexte, mais la granulométrie et le système de tamis doivent être modifiés car ils ne garantissent pas une filtration efficace. Le génie civil est globalement en mauvais état, de nombreuses fuites existent. La méthode d'injection actuelle implique une variation du taux de traitement, qui peut rendre l'eau non conforme aux normes malgaches. Des essais-jar test doivent être effectués, et un protocole adapté à la qualité des eaux brutes doit être mis en place.

Concernant le réseau, le mauvais service rendu aux abonnés est principalement dû aux fuites. Les problèmes identifiés relèvent d'une mauvaise gestion par l'exploitant. Certains tronçons doivent être remplacés, mais il y a aussi beaucoup de branchements qui sont simplement mal raccordés. Le fait qu'il n'y ait qu'un seul technicien qui s'occupe de la maintenance et de la facturation pose un problème d'efficacité.

La solution retenue par la commune à l'issue des délibérations consiste à remplacer certaines conduites, bien que ces frais soient normalement à la charge de l'exploitant. L'étude d'avant-projet se concentrera également sur l'optimisation des stations de traitement pour améliorer la qualité de l'eau. Un captage sera également installé sur la ressource d'Ampanidinana, et le réservoir d'Ambatolampy va être réhabilité.

3. Présentation de l'étude d'Avant-Projet Détaillée

3.1. Objectifs à atteindre et difficultés rencontrées

Une fois la phase de diagnostic réalisée, le fonctionnement du réseau est bien connu. L'objectif de l'étude d'avant-projet détaillée est d'approfondir les recommandations proposées lors du diagnostic. Le fonctionnement et le dimensionnement des deux stations ont été revus, et le dimensionnement du nouveau captage a été réalisé. Les plans des ouvrages et un chiffrage détaillé vont permettre de lancer la procédure de passation de marché. Le projet doit donc être solide d'un point de vue technique, et le chiffrage suffisamment précis pour servir de base lors de la rédaction de l'appel d'offre.

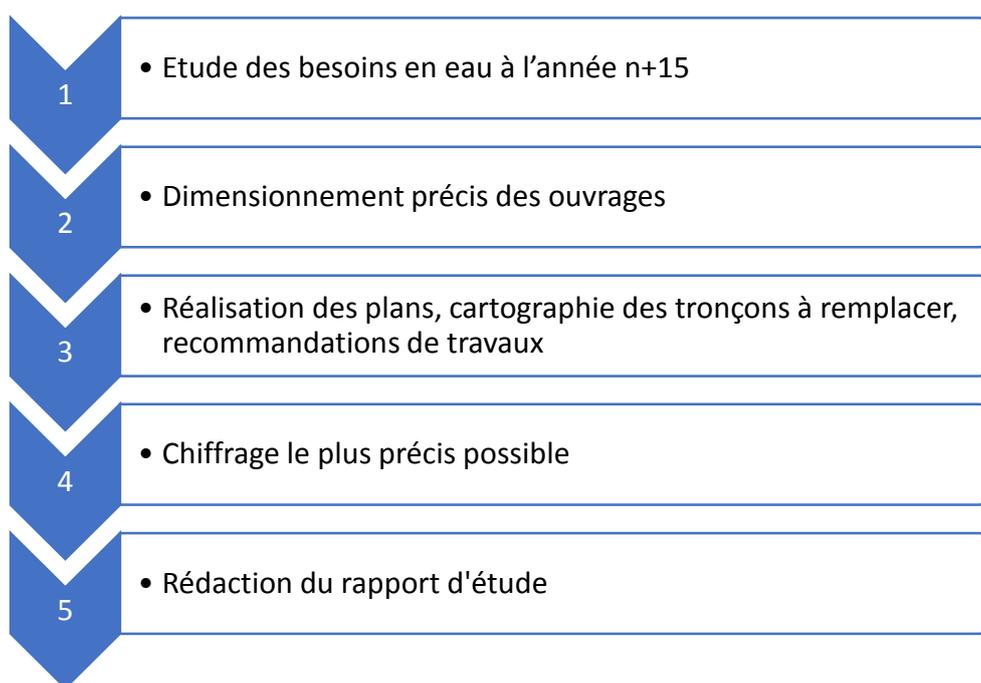
Une note de calcul expliquant le dimensionnement des ouvrages est fournie en [Annexe 7.2](#).

Le manque d'expérience a influencé certaines décisions et conduit à de légères erreurs dans la conception, qui ont compliqué par exemple l'exploitation des stations. Grâce à l'expertise technique des membres du programme Eaurizon, ces détails ont été corrigés. Le manque de temps en fin de stage a fait que le chiffrage est un peu moins précis que ce qui était attendu. Le manque d'investissement du gestionnaire, qui était problématique lors du diagnostic, a cependant permis de prendre plus de libertés sur les propositions avancées dans cette phase.

3.2. Méthodologie de l'APD

Le projet a été conçu comme un ensemble de lots, pour pouvoir réaliser les travaux en plusieurs fois. La méthodologie suivie afin de répondre aux objectifs de l'étude est la suivante :

Figure 21 : Schéma logique de la méthodologie de l'étude APD du réseau principal d'AEP de la commune urbaine d'Ambohimahasoa



3.3.Principes de conception du projet et de dimensionnement des ouvrages

Pour la conception du projet et le dimensionnement des ouvrages, les critères ci-après ont été définis suivant les expériences acquises au niveau régional, tout en respectant les normes stipulées dans le Manuel de procédure du Ministère de l'Eau [11].

Les principes de conception peuvent être résumés comme suit :

- Le nombre d'usagers bénéficiaires à l'année zéro a été fixé à l'issue d'une campagne de recensements effectuée porte-à-porte au cours du diagnostic, avec un taux d'accès au service de 40 % ;
- Les besoins à satisfaire sont basés sur le nombre de population bénéficiaire projeté à l'horizon 15 ans avec un taux d'accroissement de 2,5 % par an, et un taux d'accès au service de 75 % ;
- Les besoins de consommation en eau potable sont issus des valeurs de consommations obtenues lors de la phase de diagnostic ;
- Un coefficient de fuite de 20 % est proposé sur la demande totale (contre 69 % aujourd'hui). Les fuites sont constantes sur la journée ;
- Les bornes fontaines seront ouvertes selon les horaires fournis dans le rapport de diagnostic ;

Les diamètres des conduites des différents tronçons du réseau d'amenée sont dimensionnés en tenant compte du débit de source de manière à :

- Garantir une pression hydraulique positive en tous points du réseau ;
- Respecter les normes de résistance des conduites à la pression (pression nominale indiquée par le constructeur en fonction des matériaux utilisés), les pressions étudiées étant à la fois les pressions statiques et les pressions dynamiques ;

Les diamètres des conduites des différents tronçons du réseau de distribution sont dimensionnés en tenant compte de la consommation de pointe de manière à :

- Fournir un débit minimal de 0,75 m³/h (0,20 l/s) à chaque point d'eau collectif ;
- Garantir une pression hydraulique positive en tous points du réseau, comprise entre 1 et 7,5 bars ;
- Respecter les normes de résistance des conduites à la pression (pression nominale indiquée par le constructeur en fonction des matériaux utilisés), les pressions étudiées étant à la fois les pressions statiques et les pressions dynamiques.

3.4.Etude des besoins et des ressources en eau

L'analyse des besoins futurs de la commune se base sur les résultats de l'enquête porte-à-porte réalisée lors de la phase de diagnostic. A partir du BJP fourni par le gestionnaire et des valeurs de consommations obtenues par l'enquête ménage, il est possible d'estimer la répartition de la population abonnée au réseau en fonction du type d'usage. Les valeurs de consommation ont ensuite été ajustées à l'aide d'un solveur, pour faire correspondre les valeurs de population ainsi obtenues avec les valeurs réelles.

Ces données sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Type de branchement	Moyenne Consommation enquête 2019 (L/j/hab)	BJP gestionnaire (m ³ /j)	Moyenne Consommation ajustée avec un solveur (L/j/hab)	Nb habitants (2019)	Répartition population 2019
Point d'eau public	6,51	9,4	6,38	1472	32,45 %
Partagé	14,24	20,3	13,97	1453	32,02 %
Privé	48,92	77,2	47,90	1612	35,52 %
Total				4537	

Il est intéressant de constater que les valeurs ajustées sont proches de celles obtenues par l'enquête ménage. Les résultats de l'enquête sont donc robustes, le porte à porte systématique a bien permis d'avoir des résultats représentatifs de la réalité.

A partir de ces valeurs de consommations et de répartitions de la population par type de branchement, différents scénarios d'évolution de la consommation ont été étudiés. Il s'agissait d'avoir une idée de la consommation future, à partir des données de population projetée à l'année 15. Le taux de raccordement au réseau a été fixé à 75 % en 2035, contre 40 % aujourd'hui. Cette augmentation du taux de raccordement est cohérente par rapport aux tendances actuelles à Madagascar. Un coefficient de fuites de 20 % a été imposé pour prendre en compte la dégradation naturelle du réseau.

Les différents scénarios sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau 4 : Scenario de consommation et de répartition identique

Type de branchement	Répartition 2019	Nb hab 2035	m ³ /j/hab	BJP (m3/j)	BJP (L/s)
Point d'eau public	32,45 %	3998	0,006	30,63	0,35
Partagé	32,02 %	3945	0,014	66,15	0,77
Privé	35,52 %	4376	0,048	251,56	2,91
Total				348,34	4,03

Tableau 5 : Scenario de consommation identique et de répartition différente

Type de branchement	Répartition 2035	Pop 2035	m ³ /j/hab	BJP (m3/j)	BJP (L/s)
Point d'eau public	10,00 %	1232	0,006	9,44	0,11
Partagé	20,00 %	2464	0,014	41,31	0,48
Privé	70,00 %	8624	0,048	495,71	5,74
Total				546,46	6,32

Tableau 6 : Scenario de rendement différent (50%) et de répartition identique

Type de branchement	Répartition 2035	Pop 2035	m ³ /j/hab	BJP (m3/j)	BJP (L/s)
Point d'eau public	32,45 %	3998	0,006	38,29	0,44
Partagé	32,02 %	3945	0,014	82,69	0,96
Privé	35,52 %	4376	0,048	314,45	3,64
Total				435,42	5,04

Tableau 7 : Scenario de rendement différent (50%) et de répartition différente

Type de branchement	Répartition 2035	Pop 2035	m ³ /j/hab	BJP (m ³ /j)	BJP (L/s)
Point d'eau public	10,00 %	1232	0,006	11,80	0,14
Partagé	20,00 %	2464	0,014	51,64	0,60
Privé	70,00 %	8624	0,048	619,64	7,17
Total				683,08	7,91

Pour rappel, la capacité de production maximale du réseau avoisine les 420 m³/j, soit environ 5 L/s. Le seul scénario où les besoins futurs sont satisfaits est celui qui suppose que l'augmentation de la consommation est uniquement due à l'augmentation de la population. **Dès que la situation évolue, c'est-à-dire si le rendement n'est que de 50 %, ou bien si les usagers privilégient les branchements privés, alors la ressource devient insuffisante.** Le scénario n°1 (rendement à 80 % et répartition identique) est plausible, cependant les usages liés à l'eau évoluent fortement ces dernières années à Madagascar, **il est donc difficile de prévoir cette évolution.** Enfin, dans tous les cas, le taux d'accès en 2035 a été fixé à 75 % de la population (hypothèse très optimiste) ce qui permet une certaine marge d'erreur.

Une solution pour pallier ces problèmes a déjà été évoquée, il s'agit de connecter le réseau Fikrifama et sa ressource au réseau principal. Une étude plus approfondie serait nécessaire pour savoir précisément quelles sources peuvent être utilisées pour l'AEP. Les débits captés actuellement sont de l'ordre de 1 L/s pour le réseau Fikrifama. Il sera donc nécessaire de développer des sources au Nord-Ouest de la commune pour augmenter la production de ce secteur jusqu'à 3 L/s pour faire face au pire scénario. Ces considérations vont au-delà des limites de cette étude, cependant il est utile d'avoir ces éléments en tête pour planifier le développement du secteur de l'eau de la commune.

Finalement, le 1^{er} scénario a été retenu au vu des enjeux immédiat des travaux et de la difficulté à prévoir l'évolution de la consommation. Le tableau récapitulatif des besoins est le suivant :

Tableau 8 : Récapitulatif des besoins retenus dans le cadre de l'étude APD du réseau principal d'AEP d'Ambohimahaso, Madagascar

Consommateurs	Dotation en eau (l/j)	Nombre usagers (n)	Nombre usagers (n+15)	Besoin en eau (n+15) (m ³ /j)
Branchement privé	48,0	1 612	3 998	209,63
Branchement partagé	14,0	1 453	3 945	55,12
Branchement public	6,5	1 472	4 376	25,53
Consommation totale journalière (m ³)				290,28
Perte (20 %)				58,06
Consommation totale journalière retenue (m ³)				348,34
Débit moyen journalier (l/s)				4,03

La modélisation du réseau à l'année 15 montre que des zones de faibles pressions réapparaissent autour de la Mairie. L'altimétrie du réservoir d'équilibre est insuffisante pour compenser les pertes de charges. Il faudra envisager de rehausser ce réservoir de 10 m à l'avenir pour éviter les faibles pressions en journée et stocker de l'eau la nuit lorsque les pressions statiques sont les plus fortes. En cas d'augmentation des besoins ou des fuites, la pression sera probablement insuffisante.

3.5. Description détaillée du projet

3.5.1. Remplacement des conduites de distribution

L'élément central de ce projet est le remplacement d'un certain nombre de conduites. Ces travaux permettront d'améliorer sensiblement le niveau de service du réseau, ils sont à réaliser en premier.

Le premier lot de tronçon à remplacer est celui qui concerne la distribution. Les secteurs prioritaires sont situés au centre, à l'ouest et au sud du réseau. Le bon raccordement des branchements doit être vérifié sur les conduites qui seront mises à nues lors de la phase de travaux. De plus, **Les conduites existantes seront réutilisées dans la mesure du possible afin de minimiser les coûts.**

La Carte 6 présente le tronçon sud, dans le Fokontany d'Andondona. Le linéaire est de 745 m en PEHD DN50, et 335 m en PEHD DN40

Carte 6 : Carte des tronçons de distribution à remplacer, Sud du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa



Un autre tronçon de DN63 est à remplacer à l'Ouest du réseau. Des fuites ont été repérées dans cette zone, ce qui empêche en partie le remplissage du réservoir d'Ambatolampy. Ce tronçon est présenté Carte 7. Le linéaire est de 255 m.

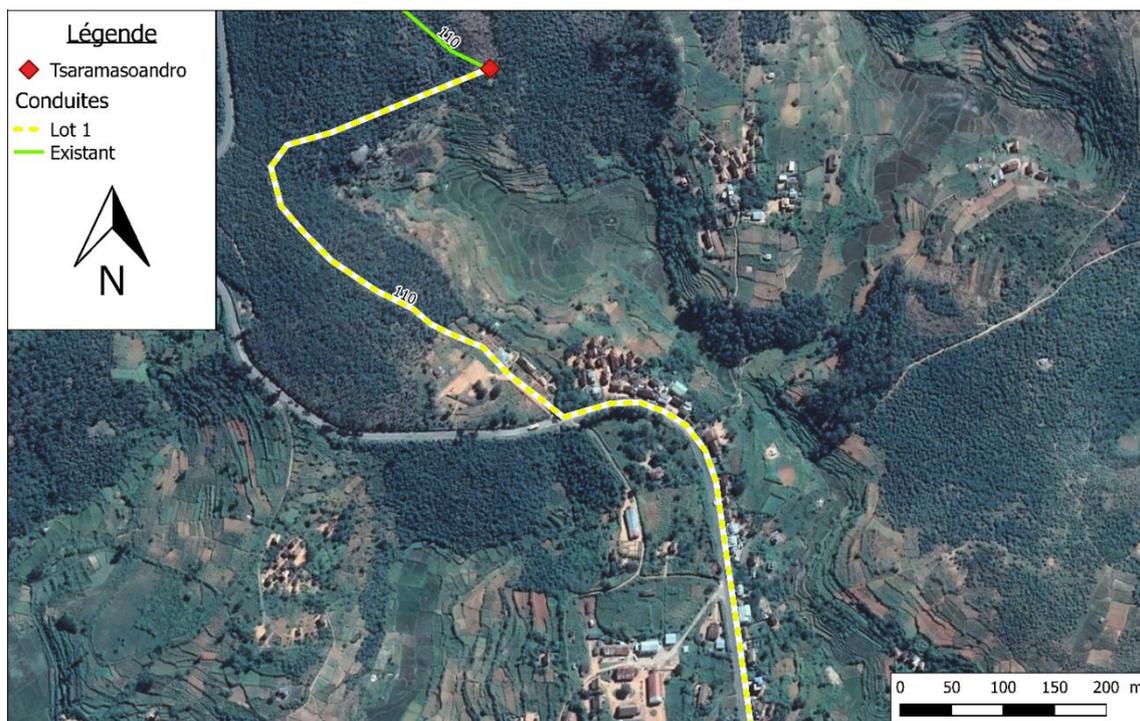
Carte 7 : Carte des tronçons de distribution à remplacer, Ouest du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa



3.5.2. Remplacement de l'amenée de Tsaramasoandro

Le deuxième lot de tronçons à remplacer concerne l'amenée de Tsaramasoandro. Le linéaire actuel qui a été posé en 1916 est en fonte. Il faut remplacer cette conduite par une conduite de diamètre équivalent (DN110) en PVC. Le linéaire est de 1 230 m. La carte de ce tronçon est présentée ci-dessous :

Carte 8 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer – Nord du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa

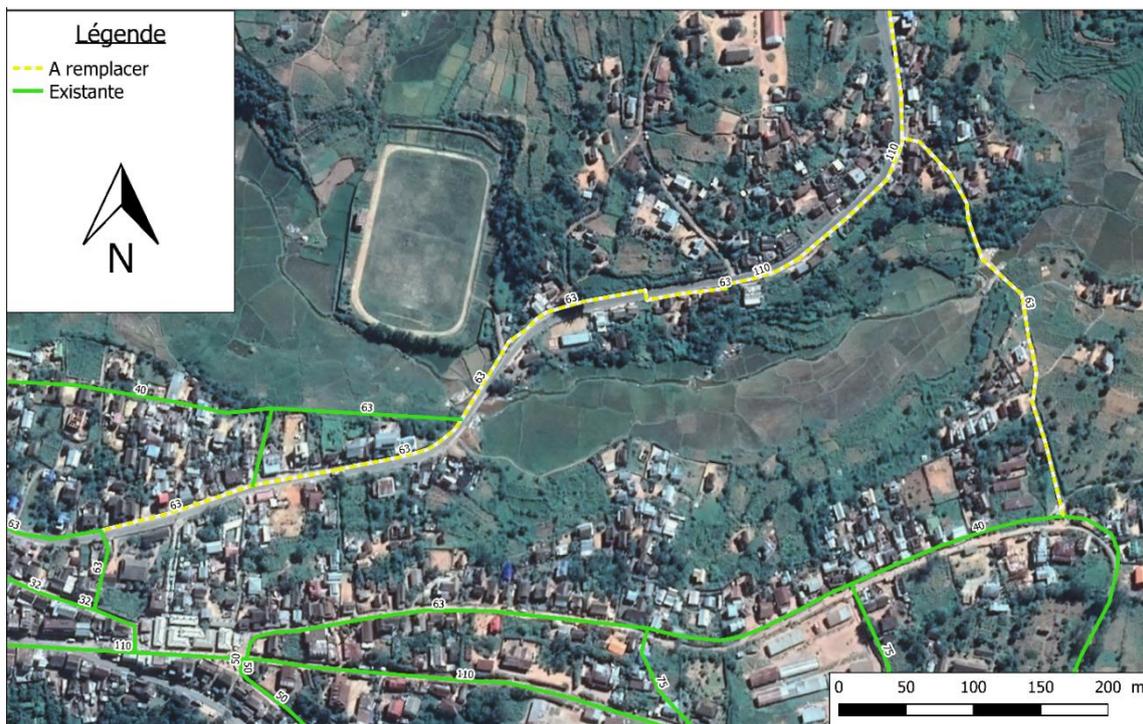


Dans la continuité de ce tronçon, il y a une succession de conduites dont le diamètre varie entre du DN32 et du DN63. Afin de diminuer les pertes de charges, le linéaire sera remplacé par une conduite en PEHD, DN63. Ce linéaire en PEHD sera relié à la conduite d'amenée. Le linéaire de la nouvelle conduite est de 535 m.

Des tronçons de PEHD DN63 sont également à remplacer au centre du réseau. Il s'agit d'un tronçon qui relie les deux amenées en passant par une rizière. Le tracé a été revu et passera dans l'Est de la commune pour éviter les rizières. Le nouveau linéaire est de 328 m. **Une attention particulière sera portée pour maintenir l'alimentation en eau des usagers reliés sur l'ancienne conduite qui passe dans la rizière.**

La Carte 9 présente ces modifications du réseau à l'Est de la commune :

Carte 9 : Carte des tronçons d'amenée et de distribution à remplacer – Centre/Est du réseau



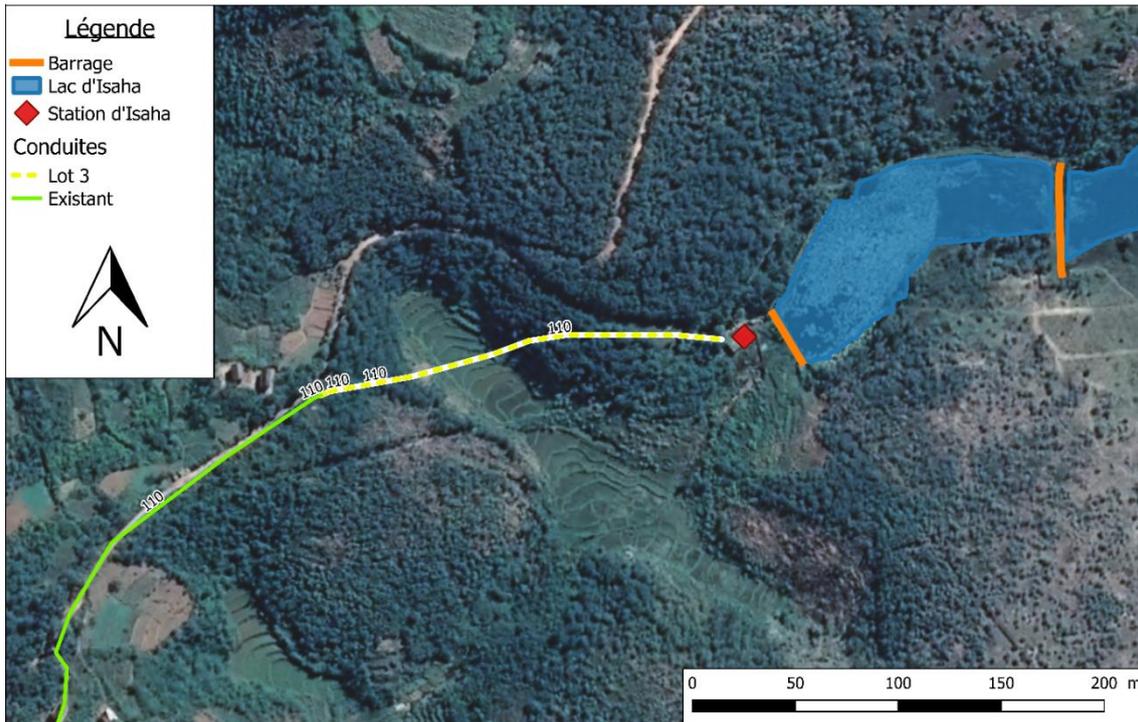
3.5.3. Remplacement de l'amenée d'Isaha

Le troisième lot de tronçons à remplacer concerne l'amenée d'Isaha, à l'Est du réseau. Des fuites ont été relevées sur cette conduite. L'origine de ces fuites est probablement liée au passage des camions de ramassage des ordures de la commune sur le tracé de la conduite, d'autant que celle-ci est apparente à plusieurs endroits.

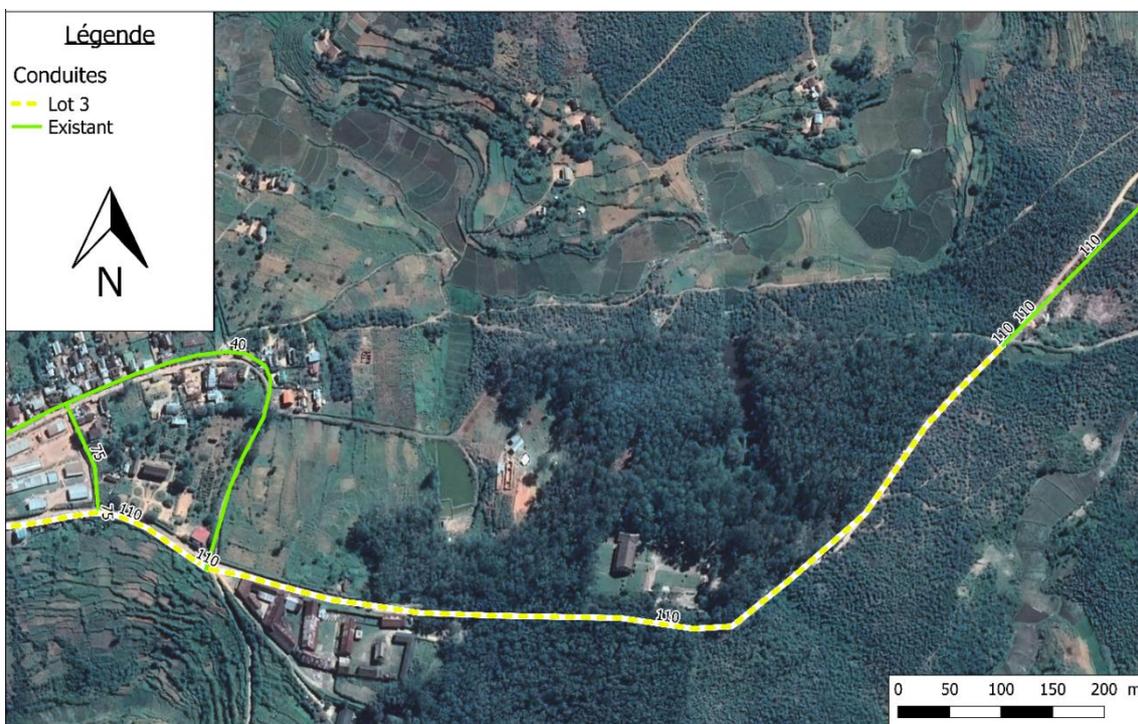
Le linéaire concerné est de 1 710 m, qu'il faudra remplacer par du PVC DN110. Il sera judicieux d'enfouir les conduites à une profondeur suffisante pour limiter les risques de casses. Un remblai de qualité supérieure sera effectué sur ce tronçon afin de garantir l'intégrité de la conduite.

Le tracé proposé est présenté dans les Carte 10, Carte 11 et Carte 12.

Carte 10 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer, Est du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa



Carte 11 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer – Est du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa



Carte 12 : Carte des tronçons d'amenée à remplacer, Centre du réseau d'AEP d'Ambohimahasoa



3.5.4. Création d'un captage à Ampanidinana

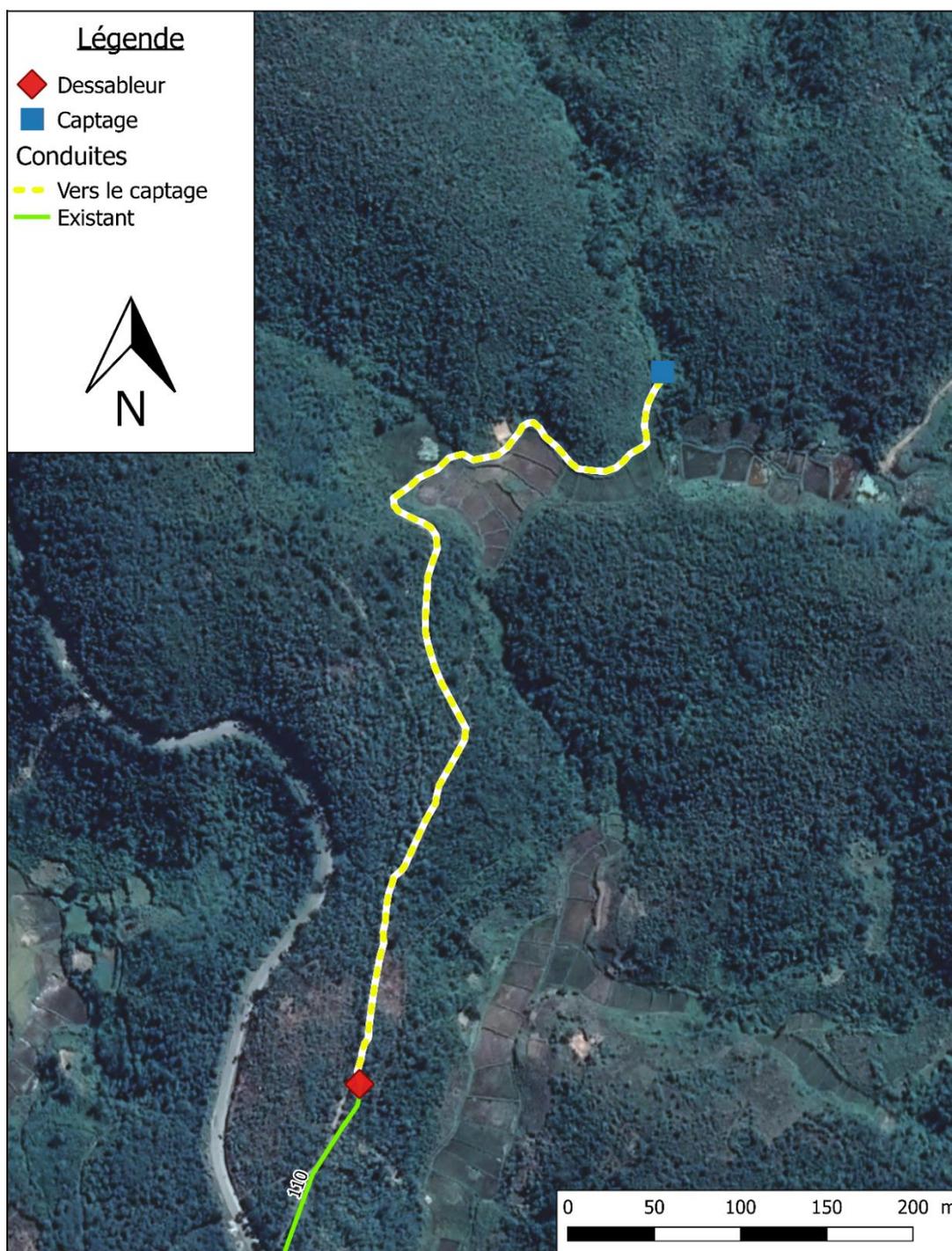
Le diagnostic a fait apparaître la nécessité de sécuriser la ressource d'Ampanidinana. La création d'un captage a été proposée. Le débit actuellement capté dans le canal d'alimentation varie peu au cours des saisons d'après les informations recueillies auprès des habitants. La mise en place de ce captage se fera donc sur l'un des ruisseaux qui alimentent ce canal.

L'emplacement du captage a été choisi pour garantir un débit de l'ordre de 2 L/s pour l'AEP, tandis qu'un débit de fuite sera maintenu pour l'agriculture. L'ouvrage de captage est constitué de :

- Une évacuation des eaux pluviales qui protège le captage des eaux de ruissellement ;
- Un canal permettant d'acheminer l'eau du ruisseau vers le captage, avec une pente de 0,1 m/m qui limite le dépôt autour de l'ouvrage ;
- Un barrage en travers du ruisseau existant ;
- Une chambre de collecte avec une dalle perforée en amont du barrage ;
- Une boîte de captage en béton armé en aval du barrage, relié à la chambre de collecte ;
- Une chambre de vanne permettant la vidange et la régulation du débit ;
- Des dalles de couvertures pour protéger les ouvrages ;

Afin de relier ce captage à l'ouvrage de dessablage situé en aval (existant, ou redimensionné), un linéaire de 600 m en PEHD DN50 est proposé. Ce diamètre a été obtenu à partir de l'équation des pertes de charges de Lechart & Calmon. A noter que la perte de charge réelle n'a pas pu être mesurée en raison d'un problème technique avec le GPS. Le tracé est présenté dans la Carte 13.

Carte 13 : Carte du linéaire entre le captage et le dessableur d'Ampanidinana



3.5.5. Dessableur d'Ampanidinana

L'ouvrage de dessablage existant présente des fuites importantes. Son fonctionnement actuel n'est pas optimal, et sa structure en maçonnerie de moellons se prête mal à une réhabilitation. Une proposition de réhabilitation a tout de même été dessinée, mais cette option n'est pas à privilégier. Celle-ci implique de rehausser les cloisons en moellon des compartiments de l'ouvrage et de reprendre l'étanchéité.

Afin de garantir un fonctionnement optimal de l'ouvrage, tout en étant sûr de la qualité du génie civil, un nouvel ouvrage de prétraitement en béton armé est proposé. Il est composé de 6 couloirs qui permettent une bonne décantation du sable. Entre chaque couloir, un seuil permet le passage de l'eau. La hauteur de ce seuil diminue progressivement pour compenser les pertes de charges.

Les plans des ouvrages sont présentés en Annexe 7.3.

3.5.6. Réhabilitation de la station d'Isaha

La station d'Isaha fournit environ 60 % de la demande en eau de la commune. La ressource actuelle est exploitée au maximum de ses capacités, et des recommandations ont été faites pour améliorer le stockage sur cette ressource. Il est judicieux de redimensionner la station de traitement afin de garantir un meilleur traitement de l'eau. Le dimensionnement a été revu de façon à garantir le bon fonctionnement de l'ensemble.

Deux scénarios sont proposés, ils possèdent une base commune. Le scénario optimal est plus couteux mais il garantit un meilleur fonctionnement des ouvrages. Dans les deux cas, les scénarios proposés sont dimensionnés de telle sorte à optimiser la vitesse de décantation et de filtration de la station.

Si les travaux sur le réseau permettent de réduire suffisamment les fuites, il est possible de n'utiliser qu'une file à la fois. Cela réduirait considérablement l'impact sur la ressource, et permettrait d'avoir un stockage supplémentaire dans les lacs en amont de la station. De plus, les charges d'exploitation seraient réduites.

➤ **Création d'un flocculateur – Base commune**

Le premier élément commun aux deux scénarios consiste à supprimer la chambre d'injection de coagulant existante. Le génie civil de celle-ci est en trop mauvais état pour envisager une réhabilitation. Cela permettra d'en construire une nouvelle, et d'ajouter une chambre de régulation du débit entrant, associé à un système de dégrillage sommaire.

Puis un nouvel ouvrage de floculation est ajouté en aval de la chambre d'injection. Ce compartiment permettra de limiter le colmatage trop rapide des filtres, puisque la floculation se fera en amont des décanteurs, qui fonctionneront mieux. Le flocculateur sera relié aux ouvrages de décantation, avec une différence de hauteur de 30 cm entre les radiers.

Un autre élément à réaliser dans les deux scénarios est la réhabilitation du deuxième compartiment du réservoir. Cela permettrait de doubler le stockage au niveau de la station.

➤ **Le scénario « minimum »**

Le scénario minimum consiste à venir reprendre l'étanchéité de l'ouvrage existant. En amont des décanteurs existants, un nouvel ouvrage de décantation sera construit. Il s'agit d'un décanteur à 2 compartiments, qui vise à augmenter le temps de décantation, et à créer 2 filières en parallèles. Des seuils seront créés sur l'ouvrage existant pour garantir le passage de l'eau entre les différents compartiments.

La réhabilitation des ouvrages existants permet de modifier le fonctionnement des filtres à sable. Le 2^{ème} filtre, actuellement utilisé comme décanteur, sera remis en état. La granulométrie sera adaptée pour garantir une filtration optimale.

Enfin, un système de buselures sera installé pour permettre l'évacuation des eaux traitées vers le réservoir. Enfin, un système de répartition du débit sera installé. Il s'agit d'un tuyau en PVC perforé, DN63. Ce système garantit une meilleure répartition sur la surface de filtration.

➤ **Le scénario « optimal »**

Le scénario optimal proposé se base sur un redimensionnement complet de la station. Il permettrait une amélioration considérable des conditions d'exploitation. Les compartiments de décantation, ainsi que les filtres nécessiteront moins d'entretien. Les dimensions extérieures des ouvrages reprennent les dimensions de la station existante, afin de tenir compte des contraintes foncières.

Deux filières seront créées en parallèles. Le premier élément à construire est le flocculateur.

Ensuite, un ouvrage comprenant les décanteurs et les filtres est proposé. Une différence de hauteur de 50 cm entre les radiers du flocculateur et de l'ouvrage de décantation sera observée. Les décanteurs sont composés de deux compartiments.

Au sein de chaque décanteur, des seuils en béton sont installés afin d'imposer un cheminement de l'eau qui force la décantation.

Des tuyaux perforés seront placés dans les filtres pour permettre une répartition optimale du débit. Le fond de l'ouvrage est constitué de buselures, qui amènent l'eau vers le réservoir. La hauteur de sable est de 1 m, ce qui laisse environ 50 cm de hauteur d'eau.

Les plans détaillés des ouvrages sont disponibles en [Annexe 7.3](#).

3.5.7. Réhabilitation de la station de Tsaramasoandro

La station de Tsaramasoandro fournit actuellement 40 % de la demande en eau de la commune. La réhabilitation de cette station permettrait de faire face à une augmentation des besoins en eau puisque la ressource qui l'alimente n'est pas exploitée au maximum de son potentiel. Comme pour celle d'Isaha, un scénario minimum et un scénario optimal sont proposés.

➤ **Scénario minimum**

Le scénario minimum consiste dans un premier temps à ajouter une vanne de régulation en entrée de la station. Puis, il s'agit de retirer la cloison en moellon qui sépare les deux compartiments du décanteur.

Cette opération est possible car la structure externe de l'ouvrage est en béton, et supportera donc une telle modification. Par ailleurs, le gain de surface ainsi obtenu permet d'optimiser légèrement le fonctionnement de l'ouvrage.

L'ajout d'un nouvel ouvrage de décantation n'est pas possible en l'état car la superficie disponible ne le permet pas. Le sol est par ailleurs très en pente, avec une composition qui ne garantit pas une stabilité suffisante.

Comme pour la station d'Isaha, des tuyaux perforés seront placés au niveau des filtres à sable. L'étanchéité des compartiments et le génie civil sont à reprendre.

Le fond des ouvrages de filtration réhabilité sera composé de buselures, qui amènent l'eau vers le réservoir. La hauteur de sable est actuellement de 0,5 m, ce qui laisse environ 25 cm de lame d'eau au maximum. **Ces dimensions seront insuffisantes pour garantir un fonctionnement optimal**, mais amélioreront le traitement.

➤ **Scénario optimal**

Le scénario optimal permet de redimensionner la station pour satisfaire les besoins actuels et une partie des besoins futurs. Dans un premier temps, il est nécessaire de supprimer les ouvrages existants.

Une nouvelle chambre d'injection sera construite, ainsi qu'une chambre de vanne. Ensuite, un nouvel ouvrage permettant d'avoir 2 filières en parallèle est créé. Il s'agit d'un ensemble composé d'un flocculateur, puis d'un décanteur à 2 compartiments qui viennent alimenter les filtres. Une différence de hauteur de 10 cm sera respectée entre le flocculateur et les décanteurs.

Par ailleurs, des conduites PVC DN63 seront posées pour permettre le passage de l'eau dans l'ouvrage. Comme pour la station d'Isaha, des seuils seront installés dans chaque compartiment pour forcer la décantation des floccs :

Enfin, comme pour le scénario minimum, des tuyaux perforés seront placés au niveau des filtres. Les dimensions actuelles des filtres seront reprises pour la surface, mais la hauteur sera augmentée afin de garantir une hauteur de sable de 1 m, et une lame d'eau de 30 à 40 cm. Le fond de l'ouvrage sera constitué de buselures, qui amènent l'eau vers le réservoir. Avec un tel dimensionnement, la filtration sera beaucoup plus efficace.

Les plans détaillés des ouvrages sont disponibles en [Annexe 7.3](#)

3.5.1. Réhabilitation du réservoir d'Ambatolampy

Figure 22 : Photographie du réservoir d'équilibre, dit "Ambatolampy", Ouest du réseau



Le dernier élément à réhabiliter est le réservoir d'Ambatolampy. Ce réservoir d'équilibre se révèle crucial pour soutenir la demande à long terme, et son rôle sera accru en cas de fusion avec le réseau Fikrifama. Comme pour les stations de traitement, 2 scénarios sont proposés :

Le scénario minimum consiste simplement à réhabiliter l'ouvrage existant. Pour cet ouvrage, cela consisté à reprendre l'étanchéité. Une échelle pour accéder au trou d'homme situé au sommet du réservoir sera installée.

Le scénario idéal consiste à construire un nouveau réservoir de volume identique, surélevé de 10 m. Ce scénario est le seul qui garantisse une pression suffisante sur le réseau à l'horizon 2035. Le coût de construction d'un tel ouvrage peut s'avérer rédhibitoire.

3.5.2. Recommandations à l'exploitation

En parallèle des travaux, des conseils à l'exploitation peuvent être formulés. Concernant la station d'Isaha, il faudra déconnecter le trop-plein du réservoir de lavage, qui est actuellement relié au réservoir d'eau traitée. Ce trop-plein pourra être relié au lac par exemple. La formation des agents en hydraulique et en traitement peut avoir un impact positif sur la gestion des stations.

Ensuite, le système d'injection des réactifs doit être remplacé par un système équivalent à celui de la JIRAMA. Il s'agit de robinets à flotteurs qui permettent de garantir un taux de dosage constant. Des essais jar-test seront effectués pour permettre d'affiner le traitement en fonction de la qualité des eaux brutes. Des turbidimètres doivent être installés sur les stations, ainsi que des compteurs pour permettre le suivi de la production.

Enfin, l'ensemble des équipements hydrauliques des stations sont vétustes, ils seront changés.

3.6. Evaluation financière

La dernière étape de l'étude est le chiffrage du projet. Cette étape est importante car elle sert de base à la rédaction de l'appel d'offres.

Les prix unitaires résultent d'une analyse des prix pratiqués pour ce type de travaux par des petites et moyennes entreprises, selon les prix disponibles en 2017, et des calculs de sous-détails de prix basés sur les renseignements recueillis auprès des principaux fournisseurs de tuyaux à Madagascar. L'estimation du coût du projet a été effectuée sur la base des quantités mesurées sur l'ensemble des ouvrages projetés et du bordereau des prix unitaires.

Le montant total des travaux est estimé à 323 665 351 MGA, dont le récapitulatif ouvrage par ouvrage est présentée ci-après (Tableau 9).

Cela correspond à 78 912 EUR TTC, pour un taux de 1 EUR = 4 101,58 MGA.

Le scénario proposé prend en compte la réalisation du captage et des travaux sur le réseau ; une réhabilitation complète du dessableur d'Ampanidinana ; une réhabilitation complète de la station de Tsaramasoandro ; ainsi que le scénario minimal pour la station d'Isaha. Les détails sont fournis en Annexe 7.4.

Tableau 9 : Récapitulatif des coûts estimatifs ouvrage par ouvrage des travaux sur le réseau principal d'AEP de la commune urbaine d'Ambohimahasoa

RECAPITULATIF DES TRAVAUX AEP - COMMUNE URBAINE D'AMBOHIMAHASOA		
N°	Désignation	Montant
I	Installation et repli de chantier	7 855 955
II	Ouvrage de captage d'Ampanidinana	8 445 276
III	Dessableur d'Ampanidinana	15 824 560
IV	Tsaramasoandro - Scénario optimal	28 062 105
V-a	Isaha - Scénario minimal	32 326 204
VI	Réseau	176 278 900
VII	Réhabilitation Ambatolampy	928 125
TOTAL HT		269 721 126
TVA (20%)		53 944 225
TOTAL TTC		323 665 351

4. Conclusion et perspectives

La Commune Urbaine d'Ambohimahasoa a été sélectionnée par le programme Eaurizon pour réaliser des travaux sur son réseau principal d'AEP, fin 2019. Le schéma directeur réalisé en 2018 faisait état de pertes très importantes sur ce réseau, avec un rendement technique de l'ordre de 30 %. Malgré une participation du programme au financement d'une extension du réseau, les informations étaient rares et peu fiables. C'est dans ce contexte qu'est apparu la nécessité de ce stage. Il avait pour vocation de :

- Connaître l'état de la ressource en eau quantitativement et qualitativement ;
- Connaître avec précision le fonctionnement actuel des stations de traitement et du réseau ;
- Proposer des améliorations techniques simples, robustes et adaptées au contexte malgache ;
- Estimer le chiffrage des travaux le plus précisément possible ;

Afin de démarrer le marché de passation de travaux le plus tôt possible, deux études ont du être menées dans le cadre de ce stage. Elles répondent aux différents objectifs énoncés.

Dans un premier temps, il a fallu acquérir la connaissance sur la ressource et le fonctionnement du réseau. Cette étape a permis d'identifier que la station à l'Est de la commune est au maximum de sa capacité de production, puisqu'aucune augmentation des prélèvements sur la ressource n'est possible. En revanche, la station au Nord dispose d'un potentiel d'augmentation de sa production, et d'une ressource dont la qualité peut être améliorée. Concernant l'état des bassins-versant, des recommandations générales ont été formulées pour la commune, bien qu'elles n'aient pas été intégrées à l'étude APD. Le dimensionnement des stations a été étudié, et il ressort que les ouvrages sont mal conçus, ce qui ne garantit pas un traitement optimal de l'eau. Enfin, l'hypothèse de fuites sur le réseau, formulée dans le schéma directeur, a été confirmée par une modélisation hydraulique. Les tronçons prioritaires au renouvellement ont alors pu être identifiés.

Dans un second temps, il a fallu proposer un projet technique et financier permettant de résoudre les problèmes identifiés dans le diagnostic. Au vu des contraintes (notamment financières) qui sont très fortes à Madagascar, l'étude s'est voulue très modulable. Différents niveaux d'améliorations ont été proposés, sous formes de lots réalisables en plusieurs fois. Le dimensionnement des stations a été revu, et un captage en ruisseau sur la ressource Nord a été proposé. Le rendu final de l'APD propose donc les cartes des tronçons à remplacer, ainsi que les plans des différents ouvrages des stations et du captage, et enfin un bordereau estimatif des coûts associés aux différents lots. Le coût des travaux est estimé à environ 78 912 EUR TTC. La passation de marché se fera au courant de l'été 2019, et les travaux seront réalisés avant la fin de l'année.

Ce stage de fin d'études qui clotûre mon parcours à l'ENGEES, fut une expérience très enrichissante. D'un point de vue professionnel, j'ai pu utiliser la plupart des modules de cours et des logiciels étudié à l'école. Les différences culturelles et linguistiques ont contribuées à développer ma capacité d'adaptation. Le contexte très pauvre du pays m'a obligé a développer mon sens de l'autonomie et ma créativité. Ces 5 mois resteront dans ma mémoire et ont confirmé ma volonté de mettre mes compétences au service des autres.

Bibliographie

[1] Coopération Région Haute-Matsiatra – Métropole de Lyon. **Gérer un réseau d'eau potable – Spécialisation sur les réseaux gravitaires sous contrat d'affermage**, Programme Eaurizon. Avril 2019

Ouvrage disponible à l'adresse : <https://www.pseau.org/outils/biblio/resume.php?d=8019&l=fr>

[2] RAZAFINDRAKOTO M., ROUBAUD François., WACHSBERGER JM. **Institution, gouvernance et croissance de long terme à Madagascar**, Avril 2013, Institut de recherche pour le développement (IRD)

[3] **Loi n°93-005 du 26 janvier 1994 portant sur l'orientation générale de la politique de décentralisation**, Journal officiel °2241 du 02 mai 1994 page 1057

[4] Bidou Jean-Etienne et al. « **Communes et régions à Madagascar** » **De nouveaux acteurs dans la gestion locale de l'environnement**, *Mondes en développement*, 2008/1 n° 141, p. 29-46.

DOI : 10.3917/med.141.0029. Article disponible en ligne à l'adresse : <http://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2008-1-page-29.htm>

[5] François Vaillancourt, **L'économie politique de la décentralisation à Madagascar**, actes d'un colloque tenu à Antananarivo, avril 2008.

[6] **Base de données Joint Monitoring Program.**

Données consultables à l'adresse : <https://washdata.org/files/jmp-2018-wins-madagascar>

[7] Water and Sanitation Program, **Impact économiques d'un mauvais assainissement en Afrique**, Mars 2012. *Brochure disponible sur le site : www.wsp.org*

[8] Coopération Région Haute-Matsiatra – Métropole de Lyon. **Schéma Directeur en eau et en assainissement de la Commune Urbaine d'Ambohimahasoa**, Programme Eaurizon. Octobre 2018

[9] **Données WorldClim**, Version 2, 2016.

Données disponibles à l'adresse : <http://worldclim.org/version2>

[10] Coopération Région Haute-Matsiatra – Métropole de Lyon. **Etude de la ressource en eau du bassin versant d'Antarambivy**, Programme Eaurizon. Août 2018

[11] **Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures**, Manuel de procédures pour la mise en place de projet eau et assainissement, 2005.

Document consultable à l'adresse : <https://www.pseau.org/outils/biblio/resume.php?d=1294>

Sommaire des annexes

Annexe 01 : Cadre logique du programme Eaurizon	57
Annexe 02 : Tableau de synthèse du programme Eaurizon	60
Annexe 03 : Carte des réseaux d’AEP de la commune urbaine d’Ambohimahasoa	61
Annexe 04 : Planning détaillé du stage	62
Annexe 05 : Résultats des analyses qualités effectuées sur le réseau	63
Annexe 06 : Evolution des débits et pressions mesurées et modélisées sur la période de calage ..	64
Annexe 07 : Livrables de l’APD	70
Annexe 7.1 : Matrice de risque environnemental	70
Annexe 7.2 : Note de calcul sur le dimensionnement des ouvrages	71
Annexe 7.3 : Plans des ouvrages	74
Annexe 7.4 : Bordereau détail estimatif	89

Annexe 01 : Cadre logique du programme Eaurizon

Activités		Indicateurs Objectivement Vérifiables	Sources de vérification	Hypothèses
1. Renforcer la gouvernance des collectivités locales sur le secteur de l'Eau, l'Assainissement et de l'Hygiène (EAH)				
Activité 1.1	Structuration des services techniques communaux autour l'ACEA	1 ACEA en poste dans chaque commune à temps partiel ou temps plein	Organigramme commune/arrêté communal	_ La situation politique reste stable sur Madagascar _ L'Etat augmente ses transferts vers les communes _ Les communes améliorent leurs ressources propres
Activité 1.2	Réaliser des PCDEA sur les 3 nouvelles communes	3 PCDEA réalisés	Le PCDEA et la BDD associée	
Activité 1.3	Actualiser les PCDEA préexistants	9 PCDEA existants actualisés	PCDEA et BDD associée mis à jour	
Activité 1.4	Mettre en place un schéma directeur	1 schéma directeur Eau et Assainissement produit sur Fianarantsoa	Le Schéma directeur	
Activité 1.5	Appuyer la Région et le Direah dans l'établissement d'une stratégie régionale sur l'E&A	1 schéma directeur régional Eau et Assainissement réalisé ; 1 SIG régional opérationnel	Le document cadre et une BDD associée	
Activité 1.6	Réaliser une activité annuelle sur le secteur portée par la RHM et la Direah	1 activité par an est réalisée par la RHM/Direah sur le secteur E&A en dehors des seules communes partenaires	Rapport d'activités	
Activité 1.7	Accompagner et mesurer la performance des gestionnaires de réseau d'eau	4 rapports annuel sur la performance des gestionnaires réalisés ; Une base de données existante	Rapport d'activités	
2. Développer l'accès à l'eau potable dans les communes partenaires du projet				
Activité 2.1	Réaliser les études avant-projets sur le volet technique (APS et APD)	15 APS et APD techniques réalisés	Les APS et APD	_ Exploitation des ressources en eau réalisée de manière concertée
Activité 2.2	Réaliser les études avant-projets socio-économiques et financières (APS)	4 APS et APD sur les volets socio-économiques et financiers réalisés	Les APS et APD	
Activité 2.3	Réaliser les réseaux d'eau potable avec branchements domiciliaires	4 réseaux avec des branchements particuliers réalisés pour 10 000 habitants (soit 1 800 ménages) et 6000 écoliers	Les rapports d'exécution	

				avec les agriculteurs
Activité 2.4	Réaliser les réseaux d'eau potable avec points d'eau collectifs uniquement	15 réseaux construits pour 30 000 habitants (soit 5 400 ménages) et 15 000 écoliers	Les rapports d'exécution	
Activité 2.5	Suivre les entreprises lors de la réalisation des travaux	380 réunions de chantiers sont organisées (1 réunion/semaine/chantier pendant 5 mois)	Les PV hebdomadaires de réunion de chantiers	
3. Développer l'accès à l'assainissement et accompagner les populations dans l'amélioration de leurs pratiques liées à l'hygiène				
Activité 3.1	Evaluer les connaissances, pratiques et besoins en assainissement	1 évaluation participative des connaissances, pratiques et besoins en assainissement	Rapport d'activités	_ Identification d'un partenaire sur l'assainissement _ Economie autour de l'assainissement suffisamment dynamique pour créer un marché de biens et services
Activité 3.2	Améliorer le taux d'équipements des ménages en latrine en milieu rural	16 000 personnes soit 2880 ménages ont accès à des latrines améliorées	Rapport d'activités	
Activité 3.3	Mettre en place des filières sur l'assainissement en milieu urbain	1 filière d'assainissement mise en place (accès aux latrines, collecte et traitement des boues de vidanges)	Rapport d'activités	
Activité 3.4	Réaliser des infrastructures collectives d'assainissements (blocs sanitaires)	10 000 écoliers ont accès à des latrines	Les rapports d'exécution	
Activité 3.5	Réaliser les campagnes de sensibilisation en lien avec la construction des réseaux d'eau	20 campagnes de sensibilisation sur les messages WASH réalisées	Rapport d'activités	
Activité 3.6	Mesurer l'impact des infrastructures mises en place sur la santé des ménages	2 rapports sont produits	Les rapports produits	
4. Préserver et partager la ressource en eau entre les différents usages				
Activité 4.1	Agir sur les bassins versants les plus vulnérables, projet Kolorano	Voir cadre logique spécifique à l'opération	Rapport d'activités	_ Absence d'aléas climatiques majeurs
Activité 4.2	Aménager de manière ciblée l'amont des captages d'eau potable	19 bassins versants sont aménagés (hors projet GIRE)	Rapport d'activités	
5. Former et professionnaliser les acteurs du secteur				
Activité 5.1	Former les 15 communes partenaires suivant les 12 modules de formations identifiés	34 formations mises en œuvre réunissant 630 participants	Compte rendu de formation et fiche de présence	_ Stabilisation du contexte universitaire à

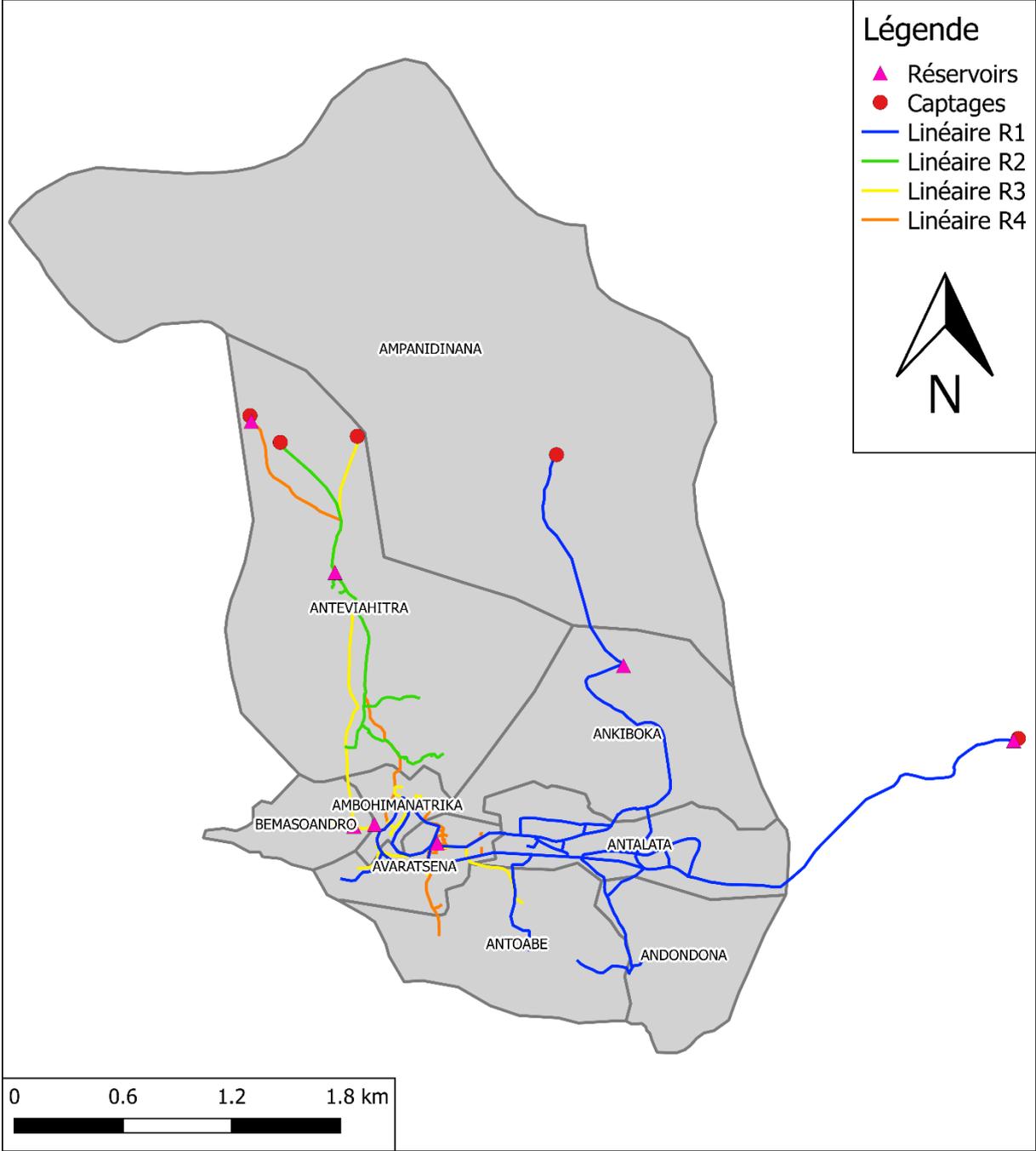
Activité 5.2	Former et accompagner les gestionnaires délégués	19 gestionnaires formés et performants (taux de recouvrement des cotisations à 90% à la fin du 1er exercice)	Statut et règlement des gestionnaires	Madagascar _ Clarification de la position de l'université sur les formations sur l'eau existantes
Activité 5.3	Professionnaliser les gestionnaires délégués lorsque les conditions sont réunies	4 gestionnaires ayant un statut professionnel ou associatif recrutent des salariés	Statut et règlement des gestionnaires	
Activité 5.4	Développer les compétences du secteur privé au service des collectivités	5 formations à destination des professionnels mises en œuvre réunissant 65 participants	Compte rendu formation et fiche de présence	
Activité 5.5	Accompagner le développement de la formation initiale à Fianarantsoa	Une formation sur les métiers de l'eau est opérationnelle et en lien avec une formation française	Rapport d'activités	
Activité 5.6	Développer des passerelles vers le monde professionnel pour les étudiants français et malgaches	32 stages proposés aux étudiants malgaches et 4 à des étudiants français ; 4 visites de chantier pour les étudiants malgaches	Rapport d'activités	
6. Capitaliser et diffuser les méthodes et outils produits par le projet				
Activité 6.1	Développer une stratégie de communication autour du projet	Production d'un rapport détaillant la stratégie de communication	Le rapport produit	
Activité 6.2	Produire des outils de communication ponctuels sur le projet (film, plaquette)	1 film et 1 plaquette sont produits	Film et plaquette	
Activité 6.3	Produire des outils de communication périodiques sur le projet (bulletin d'information)	12 bulletins d'information sont réalisés	Les bulletins d'information	
Activité 6.4	Communiquer sur les activités du projet et sur la thématique de l'E&A	8 ateliers nationaux à Madagascar et participation à 2 événements sur le territoire lyonnais	Rapport d'activités	
Activité 6.5	Encourager les échanges entre les partenaires du projet avec les autres acteurs du secteur	Réseaux des maires et des ACEA opérationnels ; Participations de partenaires du projet à 8 ateliers nationaux	Rapport d'activités	
Activité 6.6	Former les techniciens du projet et encourager les échanges avec les autres acteurs du secteur	4 sessions organisées ; 2 visites d'échanges d'autres projets sur le secteur à Madagascar	Rapport d'activités	
Activité 6.7	Capitaliser sur les méthodes, formations ou outils produits	Un support numérique compile les productions du projet	Le support produit	

Annexe 02 : Tableau de synthèse du programme Eaurizon

Titre	Eaurizon, coopération décentralisée Région Haute Matsiatra et Métropole de Lyon						
Lieux	Madagascar, Région de la Haute-Matsiatra, 15 communes de la Région						
Dépenses estimées sur 4 ans	TOTAL : 2 814 009 € dont : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépenses financières : 2 729 649 € ▪ Dépenses valorisées (côté malgache uniquement) : 84 360 € 						
Sources de financements identifiées	<i>Ressources de financement identifiées - hors apports valorisés - en euros :</i>						
	Métropole de Lyon	RHM et communes	AERMC	Fondation TIS ¹	SAUR Solidarités	Apport ETC Terra	TOTAL
	793 085 €	93 025 €	1 550 336€	18 702 €	245 000 €	29 500 €	2 729 649€
	29,05 %	3,4 %	56,8 %	0,7 %	9 %	1,1 %	100 %
	<i>État d'avancement des recherches de financements : terminé</i>						
Durée	4 ans - 48 mois – mars 2016 à février 2020						
Objectifs généraux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Renforcer les compétences des acteurs locaux sur le secteur de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène ▪ Améliorer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement pour les populations 						
Objectifs spécifiques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Renforcer la gouvernance des collectivités locales sur le secteur de l'Eau, l'Assainissement et de l'Hygiène (EAH) 2. Développer l'accès à l'eau potable dans les communes partenaires du projet 3. Développer l'accès à l'assainissement et accompagner les populations dans l'amélioration de leurs pratiques liées à l'hygiène 4. Préserver et partager les ressources en eau entre les différents usages 5. Former et professionnaliser les acteurs du secteur 6. Capitaliser et diffuser les méthodes et outils produits par le projet 						
Chef de file	Métropole de Lyon / Direction de l'eau						
Partenaires	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Région Haute-Matsiatra ⇒ Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène ⇒ Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ⇒ Saur Solidarités ⇒ Fondation Terre d'Initiatives Solidaires (TIS) ⇒ 16 communes de la Région Haute-Matsiatra ⇒ Université de Fianarantsoa ⇒ Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) ⇒ ETC Terra et Agrisud International ⇒ Practica et SIA 						

¹ TIS pour Terre d'Initiatives Solidaires

Annexe 03 : Carte des réseaux d'AEP de la Commune Urbaine d'Ambohimahaso, Madagascar



Annexe 04 : Planning détaillé du stage

Activité	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Prise de connaissance du contexte	■				
Mesures terrain	■	■			
<i>Campagne de bathymétrie Isaha</i>	■	■			
<i>Campagne d'identification de sources Ampanidinana</i>		■			
<i>Mesures qualité de l'eau</i>		■			
<i>Enquête ménage pour la population FKT</i>		■			
<i>Vérification des plans du réseau & Mesures du dimensionnement stations</i>		■			
<i>Campagne de mesures pression/débit</i>		■			
Diagnostic		■	■	■	
<i>Diagnostic ressource/BV (bilan hydro)</i>		■	■	■	
<i>Diagnostic des stations de traitement</i>		■	■	■	
<i>Modélisation du réseau sous EPANET</i>		■	■	■	
<i>Calage et validation du modèle</i>		■	■	■	
<i>Campagne de recherche de fuites</i>		■	■	■	
<i>Rédaction du rapport d'étude</i>		■	■	■	
Restitution intermédiaire à la commune				■	
APD				■	■
<i>Etude technique</i>				■	■
<i>Chiffrage du projet</i>				■	■
Rédaction du rapport final					■
Restitution finale à la commune					■

Annexe 05 : Résultat des analyses qualité effectuées sur le réseau

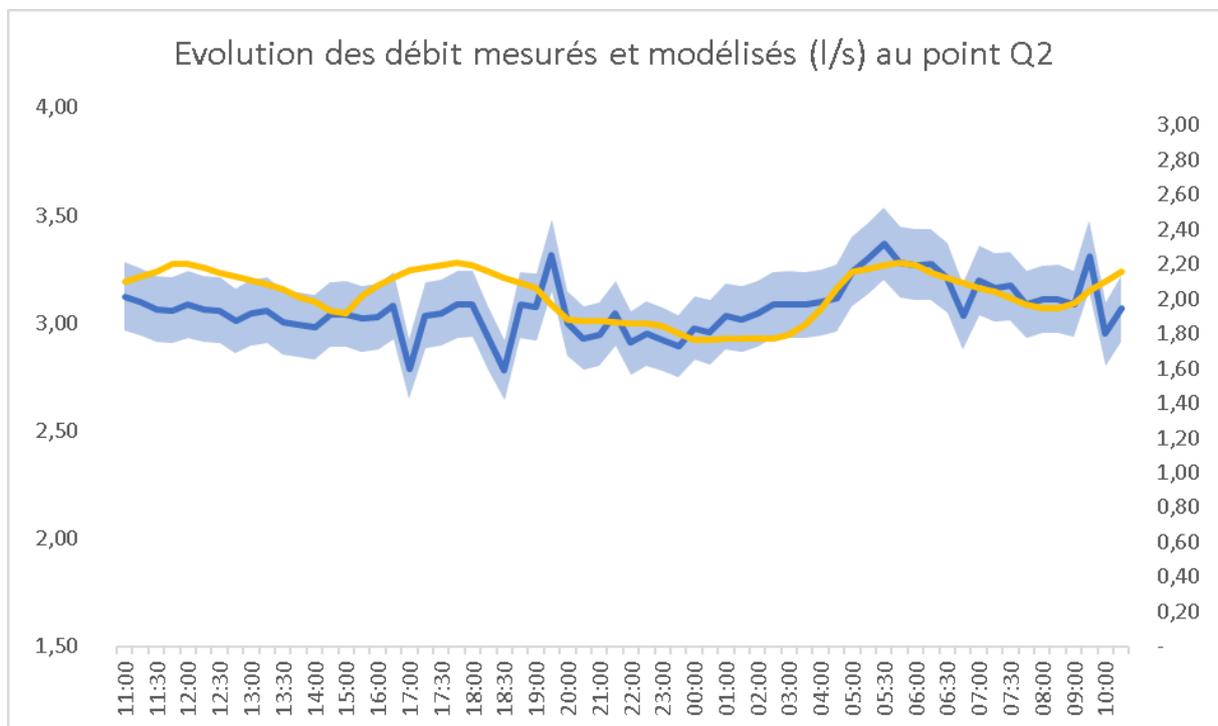
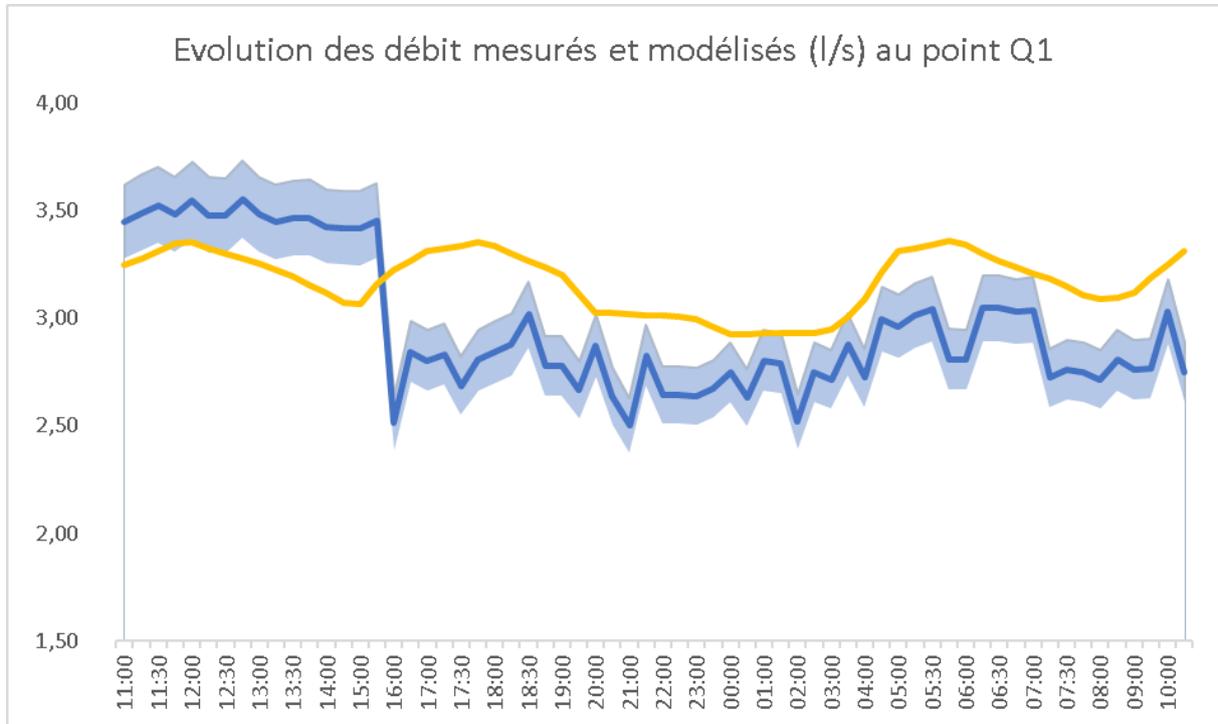
COMMUNE : AMBOHIMAHASOA
DISTRICT : AMBOHIMAHASOA
RESEAU : R1 - ATTR
DATE : 01/02/2019
CONTENANT : Bouteille plastique "eau vive" 0,5L
MATERIEL D'ANALYSE : Kit d'analyses Wagtech
 (Matériel fourni par la DREAH de Fianarantsoa)

RESULTAT D'ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE

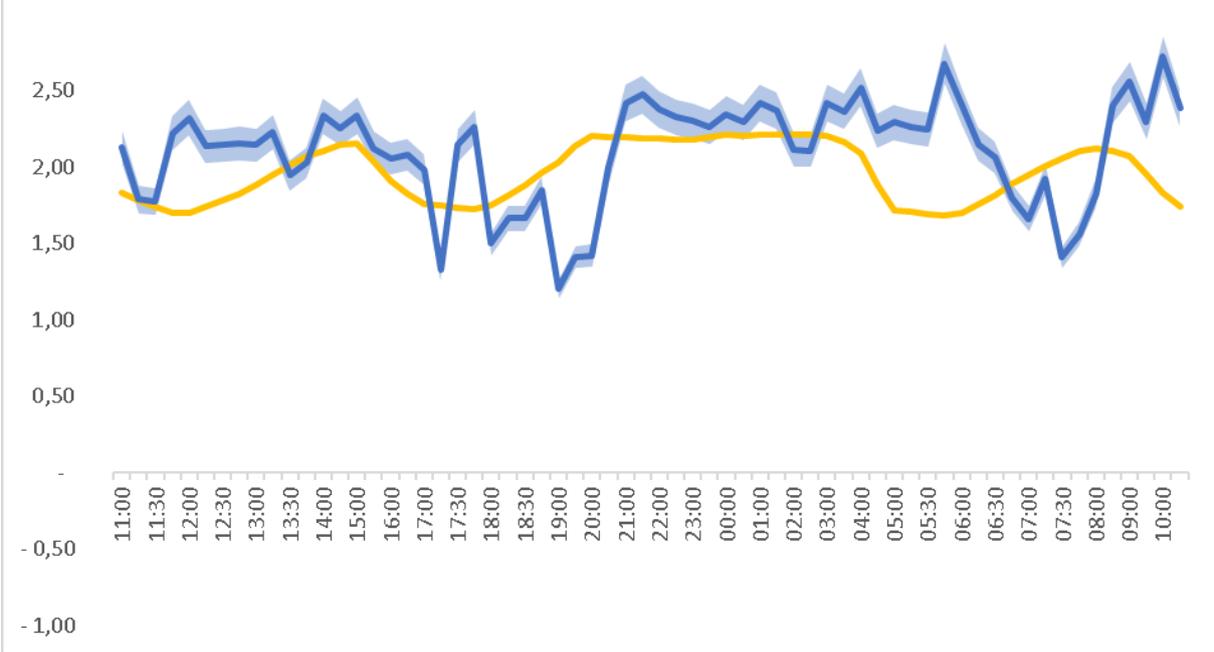
	1	2	3	4	5	6
	Dessableur Ampanidinana	Mime le Maire	Entrée Isaha	Sortie Isaha	Réseau 1	Réseau 2
ph	8,3	6,6	5,2	6,12	6,02	5,97
turbidité	14	3,09	10,7	6,63	6,36	5,24
Conductivité	35,9	19,9	18,4	13,8	17,7	11,2
Fer	0,15	0,25	0,3	0,5	0,65	0,55
Ammonium	0	0	0	0	0	0
Nitrite	0,01	0,02	0	0	0,03	0,01
Fluor	0	0	0	0	0	0
Aluminium	0,03	0,04	0	0,07	0,03	0,04
Manganèse	0	0	0,009	0,006	0,004	0,004
Chlore	0,06	0,06	0,15	0	0,06	0

Annexe O6 : Evolution des débits et pressions mesurés et modélisés sur la période de calage

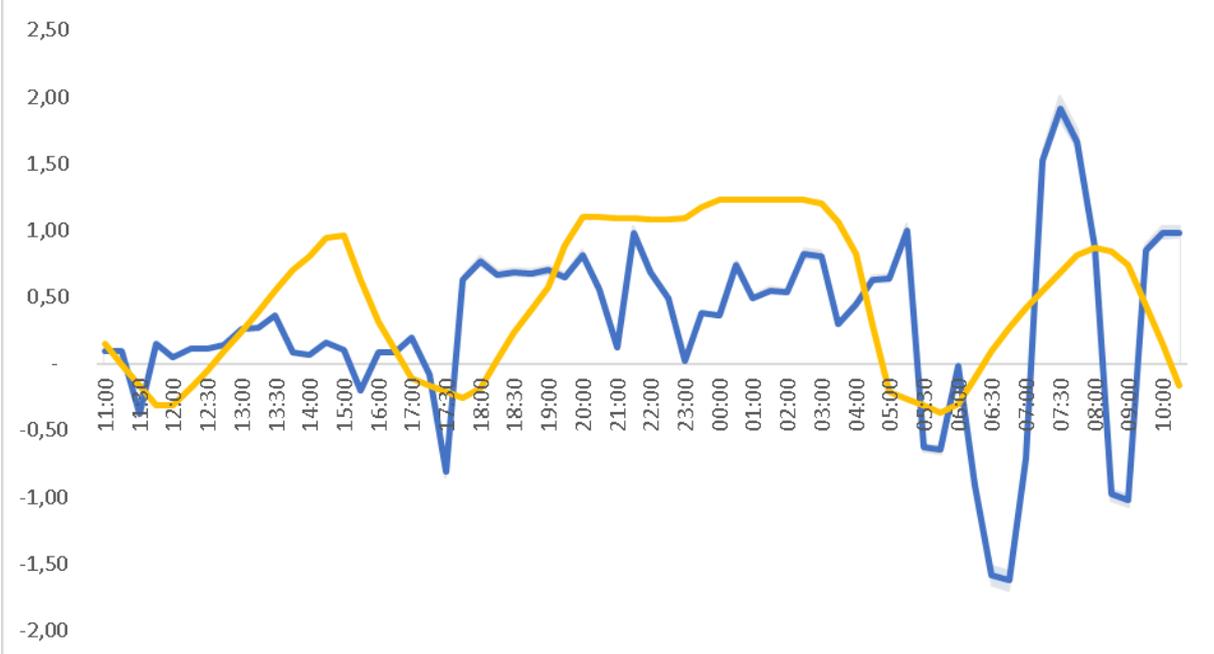
Chaque graphique donne l'enveloppe des incertitudes de mesures ($\pm 5\%$) en bleu clair

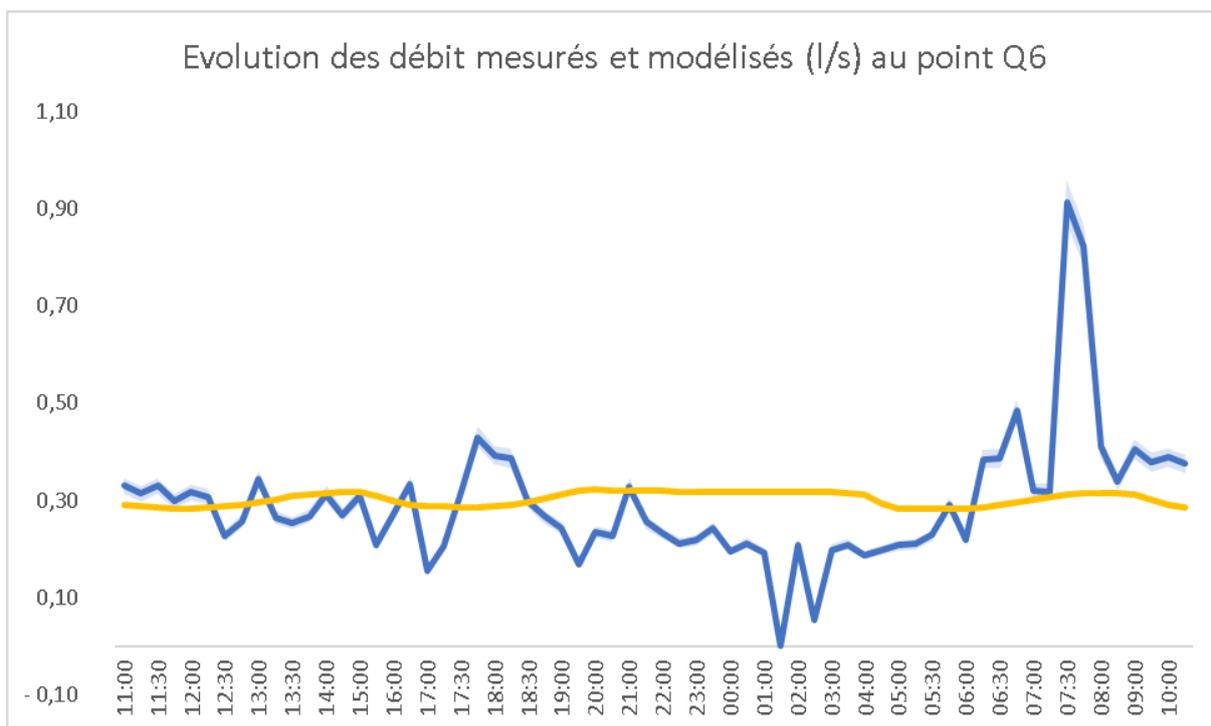
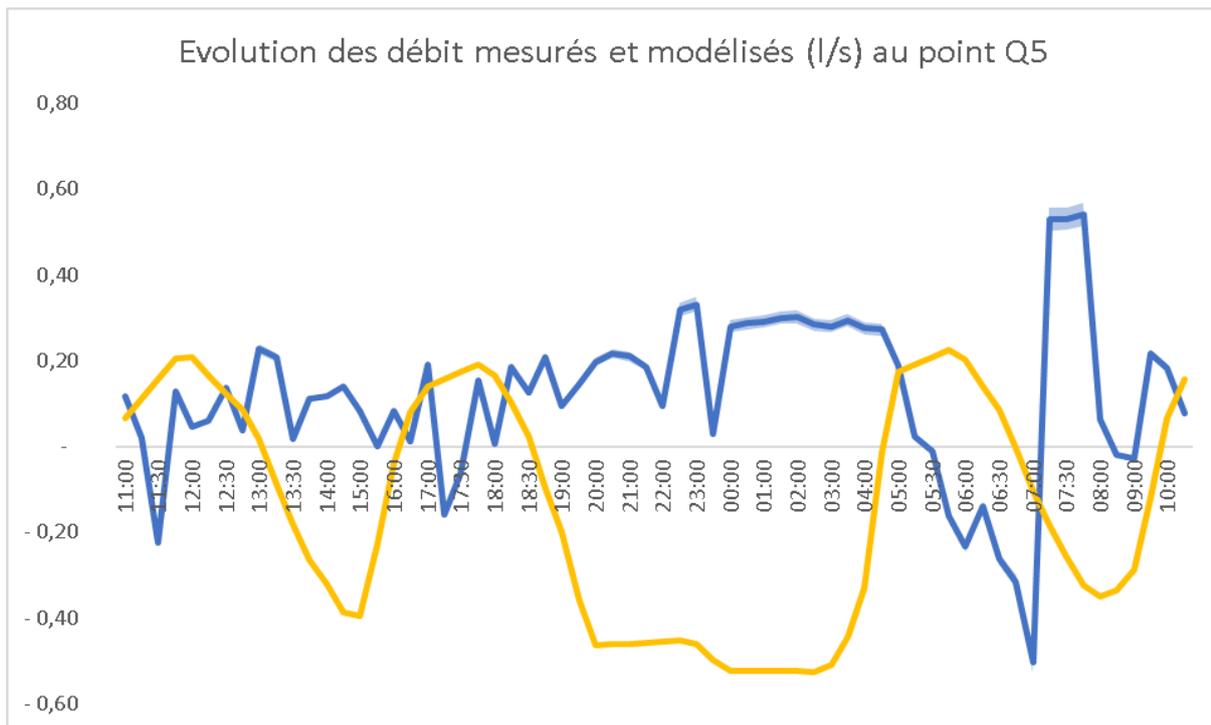


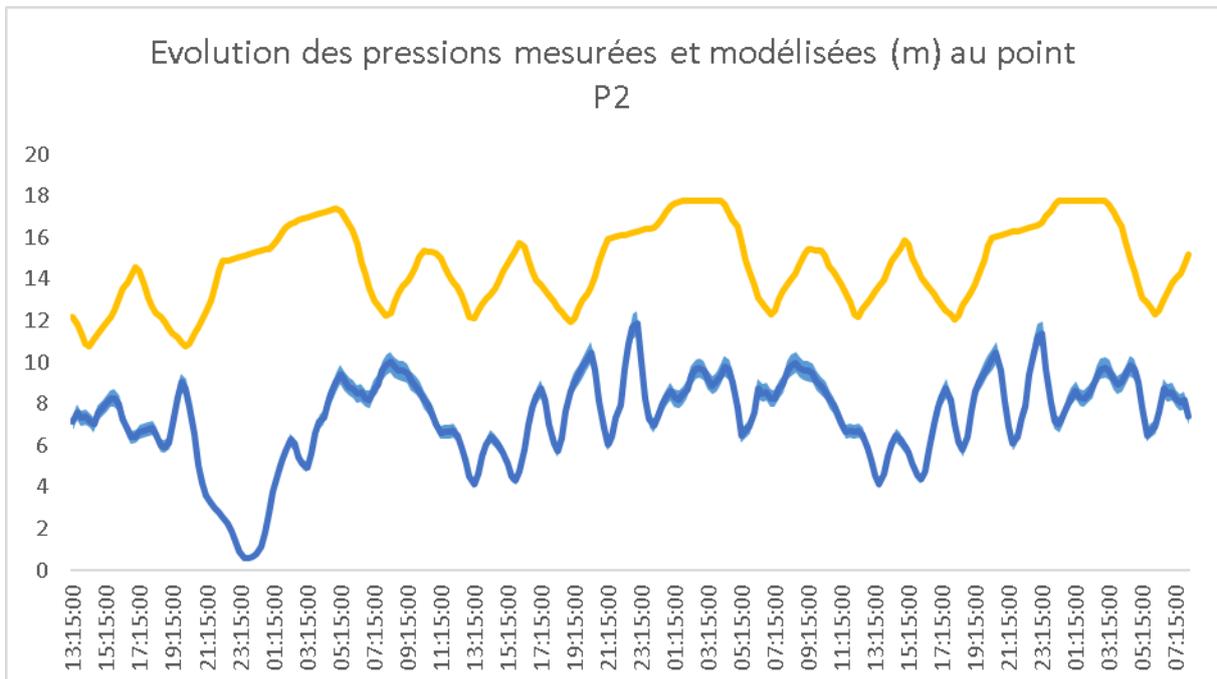
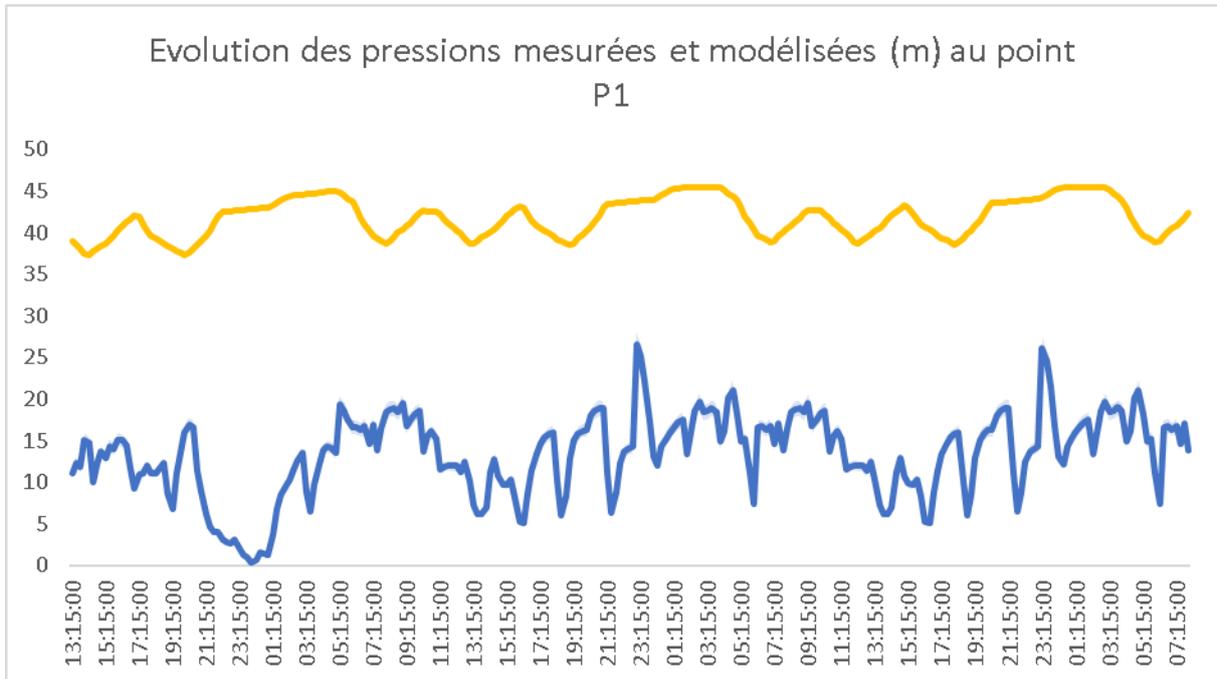
Evolution des débit mesurés et modélisés (l/s) au point Q3



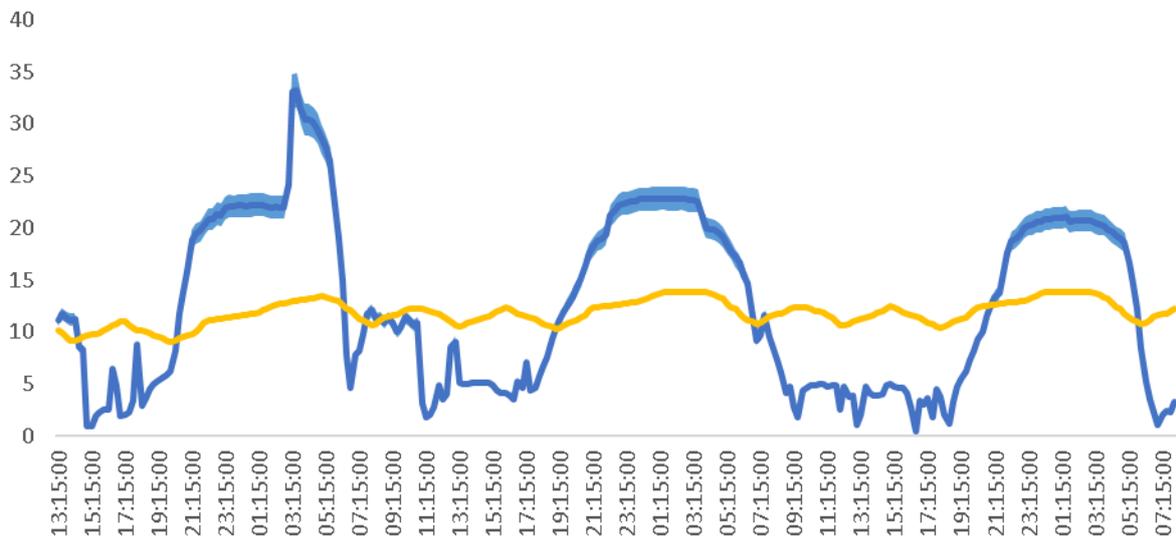
Evolution des débit mesurés et modélisés (l/s) au point Q4



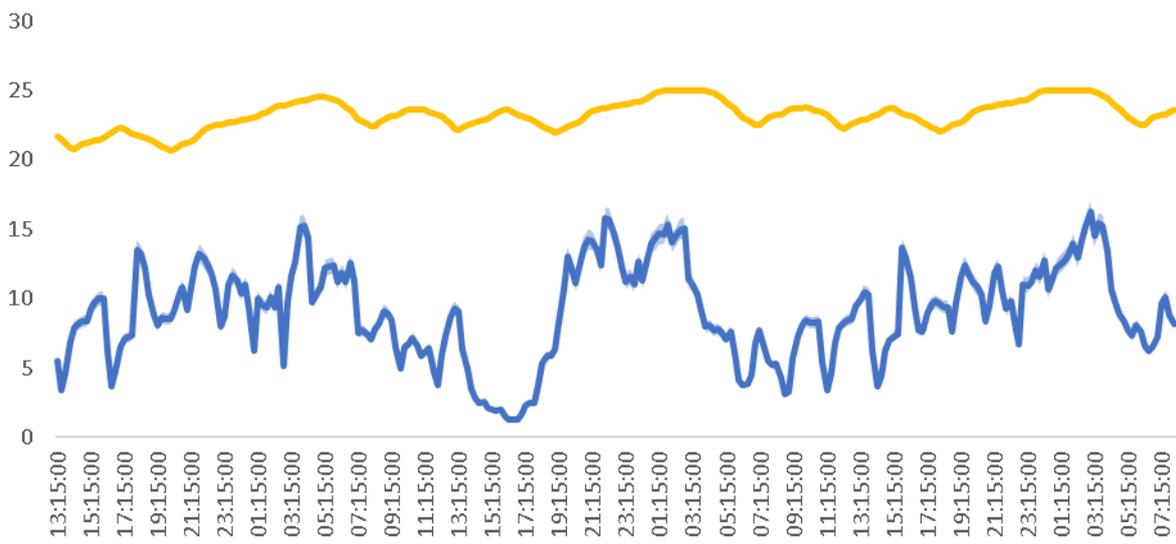


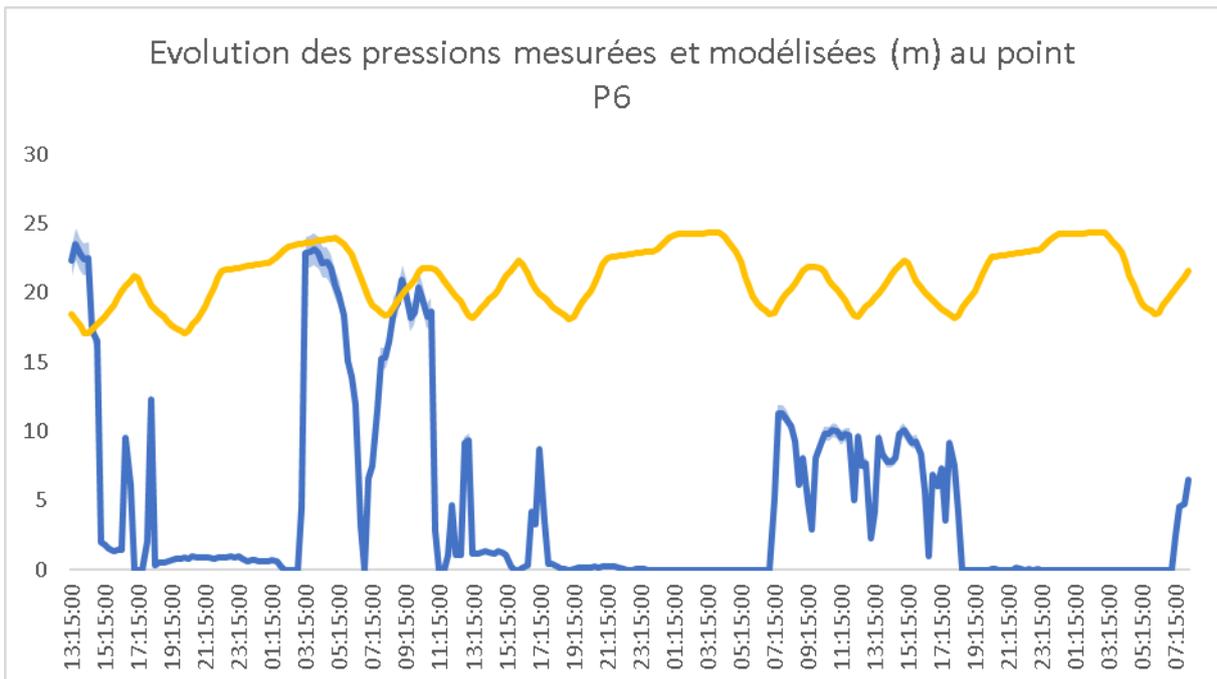
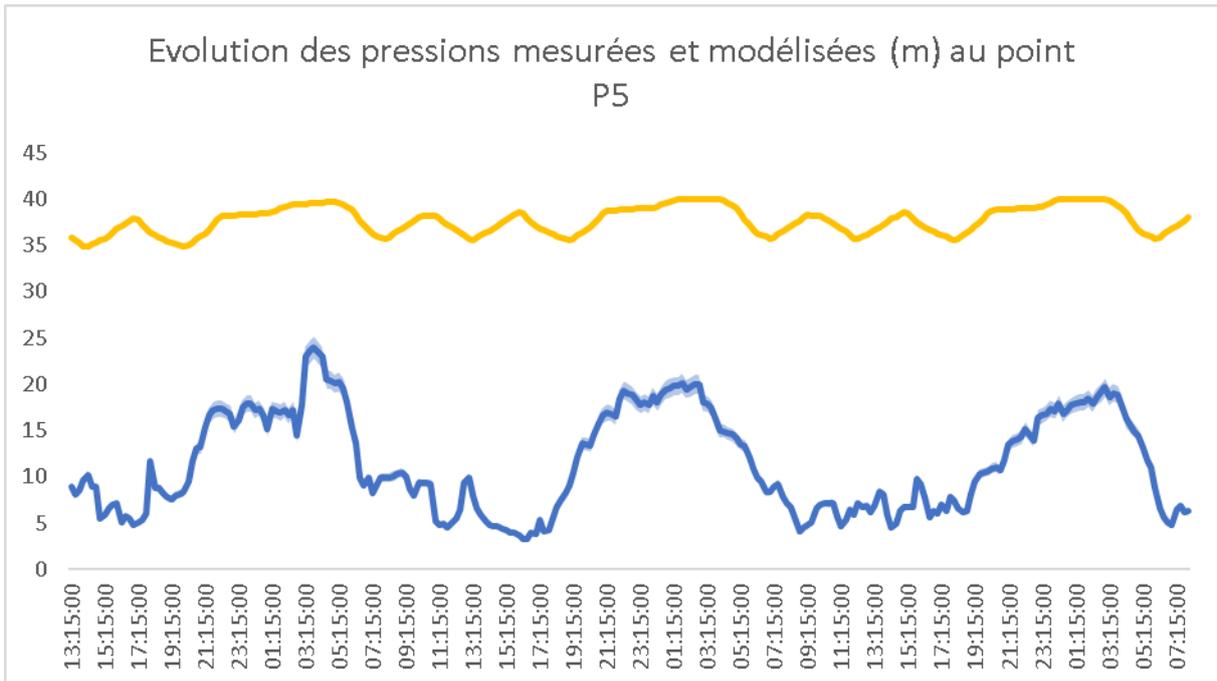


Evolution des pressions mesurées et modélisées (m) au point P3



Evolution des pressions mesurées et modélisées (m) au point P4





Annexe 07 : Livrables de l'APD

Annexe 7.1 : Matrice de risque environnemental

Risque	Cotation	Mesures conservatoires
Les tranchées en forte pente peuvent provoquer des écoulements préférentiels et dégâts érosifs	-2	Le remblaiement des tranchées en forte pente sera particulièrement soigné et des plantes fixatrices seront à planter pour empêcher l'érosion.
Les zones d'emprunt pour les matériaux sont sources d'érosion	-1	Les zones d'emprunt doivent être remblayées et remise en état par l'entrepreneur.
Les cultures sont détruites lors du chantier	-2	L'entrepreneur veillera à minimiser les dégâts aux cultures. Les agriculteurs seront informés à temps du passage de travaux. Les lieux de construction d'ouvrages importants seront négociés par le Maire. Des avertissements en moellon seront faits
L'utilisation d'engins motorisés peut générer de la pollution, notamment des sols en cas d'épandage de carburant	-3	L'entrepreneur, et plus tard l'exploitant, prendra toutes les précautions pour éviter de répandre les hydrocarbures. Les réservoirs de carburant seront posés à l'intérieur des bâtiments et un dispositif de récupération des fuites éventuelles sera présent à ces endroits.
Les opérations de nettoyage des ouvrages génèrent des rejets d'eau en grande quantité, ce qui provoque des érosions.	-1	Les sorties des vidanges et trop plein seront implantés à l'écart des ouvrages vers des exutoires naturels qui seront éventuellement protégés
Les réseaux ne sont pas correctement gérés et entretenus et se dégradent rapidement notamment à cause du vandalisme	-3	Les réseaux doivent être gérés par des techniciens compétents sous contrôle des autorités locales. Le Maire, et plus particulièrement le chef du Village, apporteront leur concours à la sécurisation des installations.
Création d'emploi pendant l'exécution des travaux.	+1	
La population dispose d'eau potable	+3	

Risques positifs : +1 favorable, +2 très bon, +3 excellent impact

Risques négatifs : -1 faible, -2 risque moyen (à surveiller), -3 risque grave (mesures de correction à prendre)

Annexe 7.2 : Note de calcul sur le dimensionnement des ouvrages

Le débit d'alimentation des stations, noté Q, est pris en L/s. Il s'agit d'une valeur moyenne relevée sur les stations à différentes périodes de l'année puisqu'il n'existe pas de suivi de la production.

Coagulation-Floculation

Le temps de coagulation doit être de 2 mn environ au vu des débits d'alimentation considérés. Il est d'usage d'injecter le réactif avec un goutte à goutte, vu les doses requises. La coagulation se fera directement dans l'ouvrage de floculation.

Concernant la floculation, le temps de séjour doit être de 30 mn. C'est ce paramètre qui fixe le volume de l'ouvrage. Les équations utilisées sont les suivantes :

$$\text{Temps de séjour} = 30 \text{ min} + 2 \text{ min} = \frac{Q(m^3/min)}{Vol(m^3)}$$

$$Vol(m^3) = \frac{Q(m^3/min)}{32 \text{ min}}$$

Une fois le volume obtenu, il s'agit de donner les dimensions L x l x h. Or, la floculation est indépendante de la hauteur, elle est fixée à 1,5 m. L'usage fait que l'on prend L=2 x l. D'où les équations de dimensionnement ci-dessous :

$$l(m) = \sqrt{\frac{Vol(m^3)}{2 * h(m)}}$$

$$L(m) = 2 * l(m)$$

Il s'agit de prendre un arrondi des valeurs pour faciliter la mise en œuvre. Ensuite le temps de séjour réel est calculé :

$$\text{Temps de séjour réel (min)} = \frac{L(m) * l(m) * h(m)}{Q(m^3/min)}$$

Décantation

Pour la décantation, le paramètre primordial à obtenir est la vitesse ascensionnelle des floes. Il faut que cette vitesse soit d'environ 1 m/h et, dans tous les cas, inférieure à 4 m/h, puisqu'il s'agit d'un décanteur couloir statique. La surface utile est alors obtenue à partir de l'équation :

$$\text{Surface utile (m}^2\text{)} = \frac{Q(m^3/h)}{V_{asc}(m/h)}$$

Le même principe de dimensionnement concernant le rapport L/l est pris que pour l'ouvrage de floculation. La vitesse de décantation est indépendante de la hauteur pour un décanteur couloir. La vitesse effective est alors calculée en utilisant l'équation suivante :

$$V_{réelle}(m/h) = \frac{Q(m^3/h)}{3(m) * l(m)}$$

Filtration

Pour une filtration rapide monocouche, la granulométrie des sables doit être inférieure à 1 mm. Par ailleurs, la largeur des ouvrages doit être inférieure à 2,5 m. Le paramètre qui permet de déterminer les dimensions de l'ouvrage est la vitesse de filtration. Celle-ci doit être comprise entre 5 et 10 m/h. L'équation de dimensionnement suivante a été utilisée :

$$Surface(m^2) = \frac{Q (m^3/h)}{7 (m/h)}$$

Puis, les dimensions sont fournies à partir des équations X et Y. La hauteur de sable doit être de 1 m, la hauteur totale de l'ouvrage est donc prise à 1,5 m. Enfin, il s'agit de calculer la vitesse de filtration réelle :

$$Vitesse(m/h) = \frac{Q (m^3/h)}{3(m) * l(m)}$$

Désinfection

Pour dimensionner le débit de la pompe de désinfection (Soit une pompe type Dosatron, soit un système de robinet à flotteurs), un document de la JIRAMA a été utilisé. Le système de dosage doit rester complètement mécanique puisqu'il n'y a pas d'accès à l'électricité dans les stations. L'injection se faisant directement dans le réservoir, le temps de contact minimum de 30 mn est respecté. La méthode ci-dessous est extraite du document de la JIRAMA :

Pour déterminer le dosage de chlore adéquat correspondant à la qualité de l'eau à traiter, il existe une méthode dite « jar test ». C'est une méthode assez simple et facile à réaliser. Voici un exemple :

- Préparation de solution mère de 1 %, c'est-à-dire 10 g de chlore actif pour 1 litre d'eau, avec du HTH 70 % (type de désinfectant à base de chlore dont 70 % du produit représente le chlore actif). Le dosage sera de 14 g/l d'eau.
- Prendre 6 seaux plastiques de 10 litres d'eau à traiter et y ajouter avec une seringue la solution mère de façon à encadrer des doses variant de 1 à 5 mg de chlore actif par litre d'eau, c'est-à-dire :
 - ✚ Seau 1 : 1 ml de solution mère à 1 %, soit 1 mg/l de chlore actif ;
 - ✚ Seau 2 : 1.5 ml de solution mère à 1 %, soit 1.5 mg/l de chlore actif ;
 - ✚ Seau 3 : 2 ml de solution mère à 1 %, soit 2 mg/l de chlore actif ;
 - ✚ Seau 4 : 2.5 ml de solution mère à 1 %, soit 2.5 mg/l de chlore actif
 - ✚ Seau 5 : 3 ml de solution mère à 1 %, soit 3 mg/l de chlore actif ;
 - ✚ Seau 6 : 5 ml de solution mère à 1 %, soit 5 mg/l de chlore actif ;
- Remuer vigoureusement et laisser agir pendant 30 mn.
- Mesurer le chlore résiduel (avec un kit DPD 1) et choisir comme référence la dose permettant d'obtenir une valeur comprise entre 0.5 à 1 mg/l de chlore résiduel.

Pour le calcul du débit de la pompe doseuse, on peut s'inspirer de l'exemple suivant :

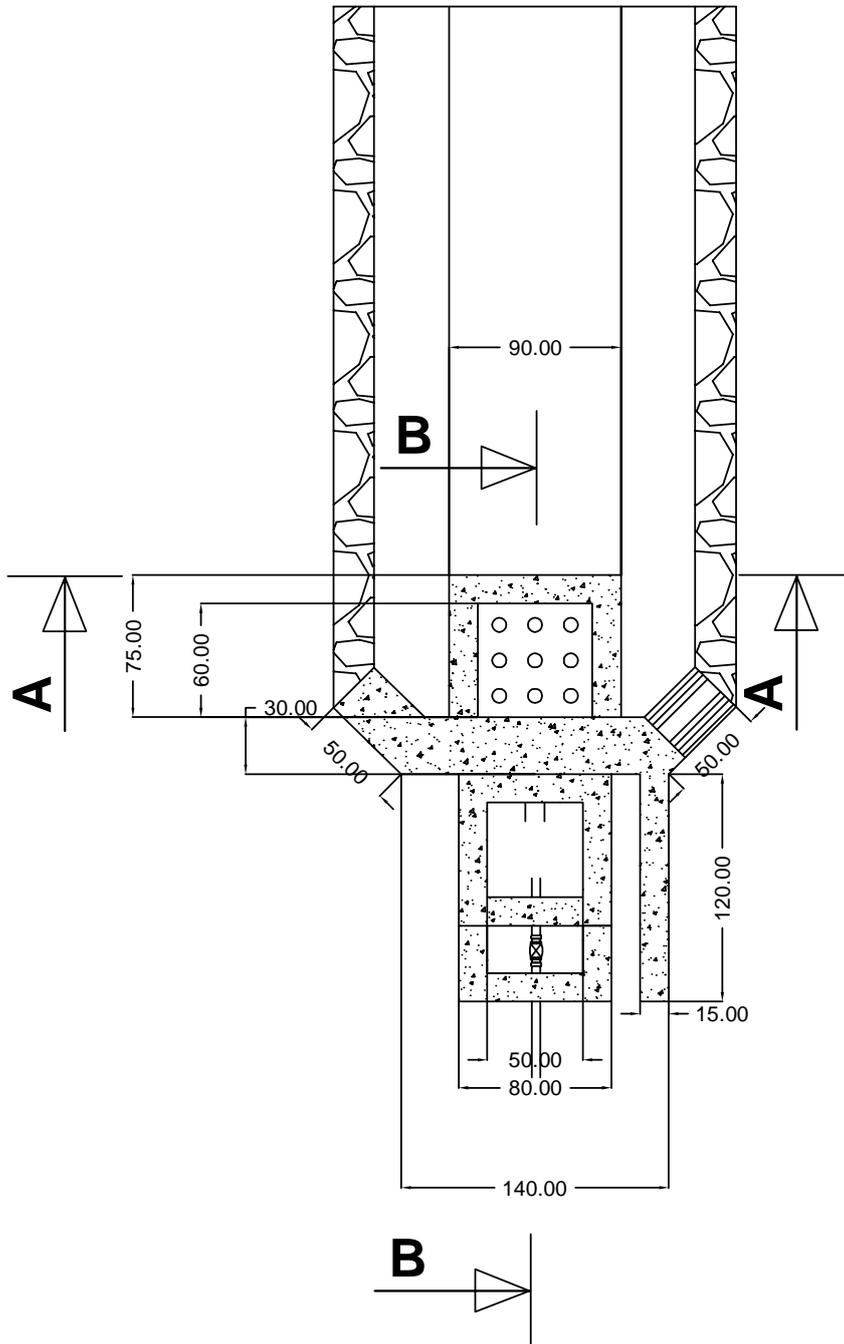
- *Considérons que d'après le jar test ci-dessus le résultat avec le seau 4 est exact, soit 2.5 ml de solution à 1 % pour 10 litres ;*
- *Puis on divise 2.5 ml par 10 litres pour obtenir la quantité de solution à 1 % pour 1 litre d'eau à traiter, soit 0.25 ml ;*

Sachant que le débit d'alimentation Q est de 2 à 3 L/s selon les stations (soit entre 7,2 et 10,8 m³/h), le débit de la pompe doseuse (q) est calculé avec l'équation suivante :

$$q(L/min) = Q(L/min) * \text{Taux traitement (mL/1L)}$$

L'usage de bacs avec robinets à flotteurs est pertinent vu le contexte des stations. Le dimensionnement de ces bacs doit permettre d'obtenir le débit souhaité. Cependant, des essais jar tests sont indispensables pour connaître le taux de traitement à appliquer. Il faut également équiper les stations d'un moyen rustique permettant de mesurer la turbidité des eaux brutes.

Annexe 7.3 : Plans des ouvrages (Dimensions en cm)



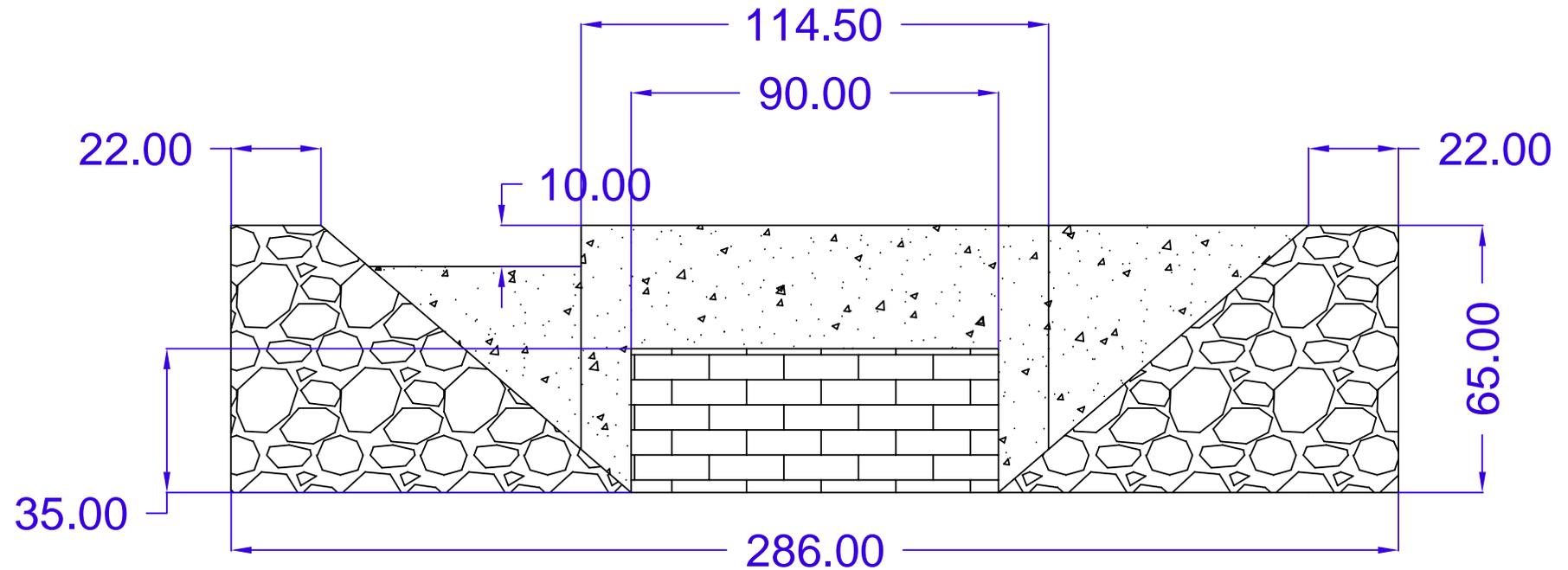
AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAURIZON

CAPTAGE D'AMPANIDINANA

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/40

COUPE A-A



AVANT PROJET DETAILLE
ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMAHASOA

PROGRAMME EAURIZON

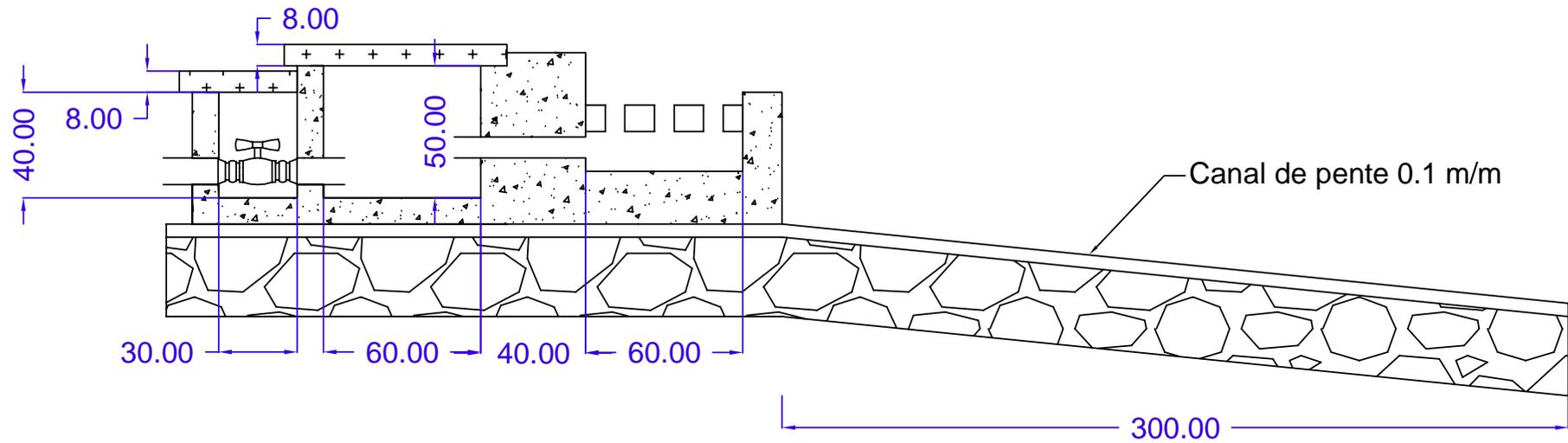
CAPTAGE D'AMPANIDINANA

VUE EN COUPE A-A

Date : Mai 2019

Echelle :1/16

COUPE B-B



AVANT PROJET DETAILLE
ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMHASOA

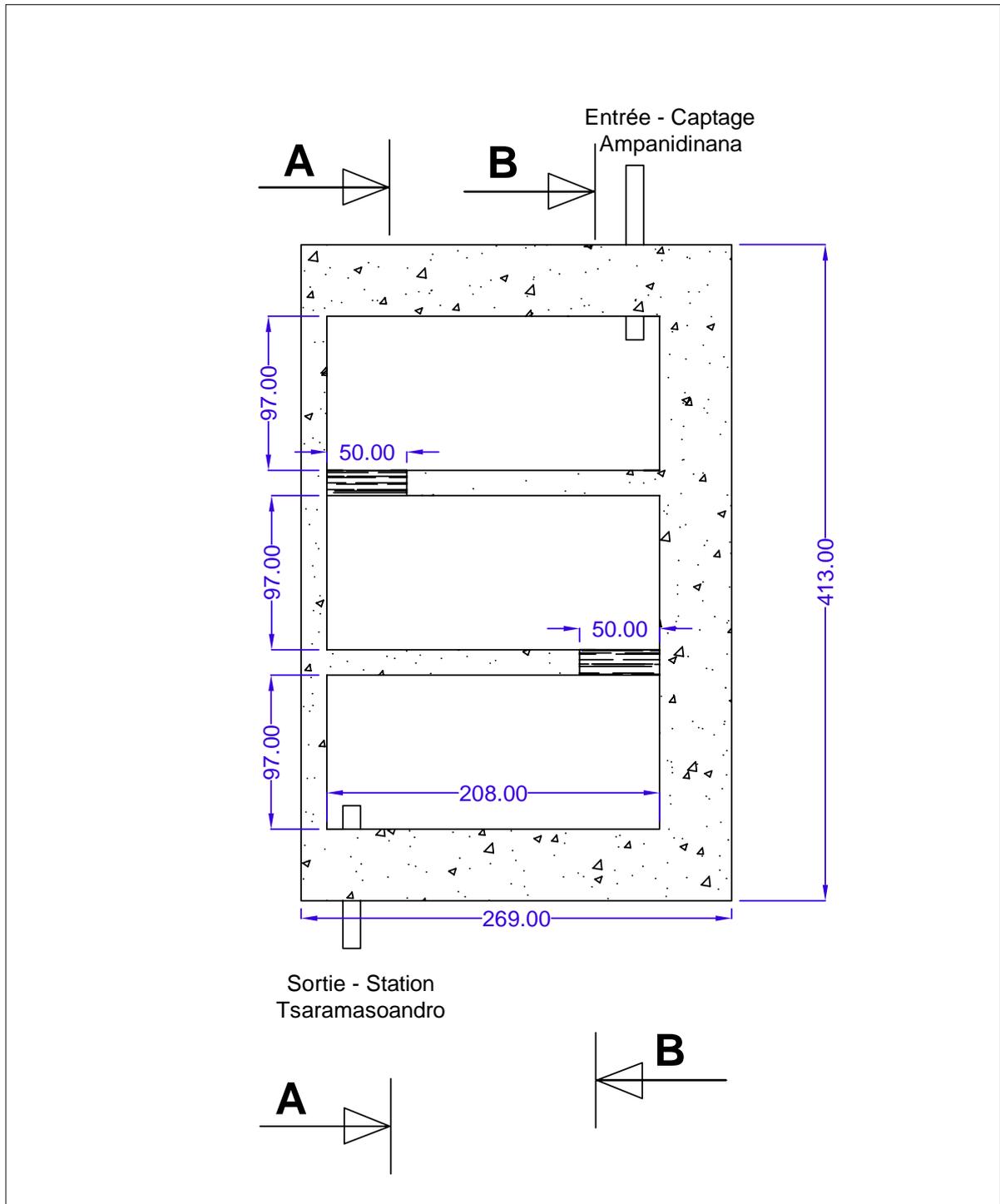
PROGRAMME EAU RIZON

CAPTAGE D'AMPANIDINANA

VUE EN COUPE B-B

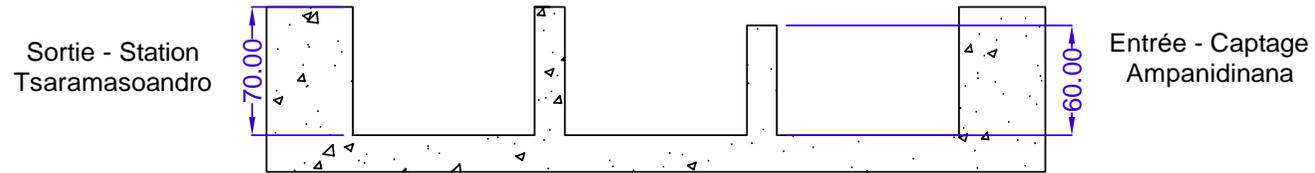
Date : Mai 2019

Echelle :1/25

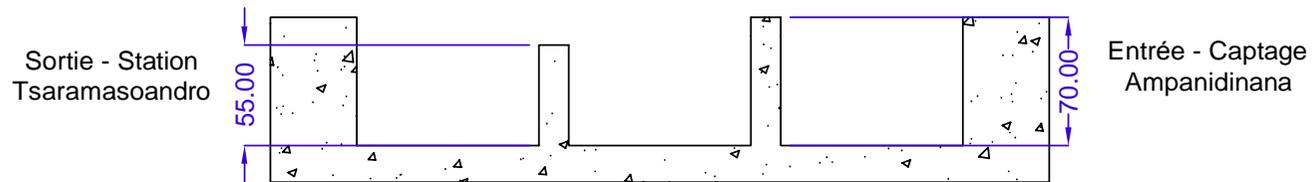


AVANT PROJET DETAILLE ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE URBAINE D'AMBOHIMASOIA	PROGRAMME Eaurizon
	DESSABLEUR DE PRETRAITEMENT Scénario minimum VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/40

COUPE A-A



COUPE B-B

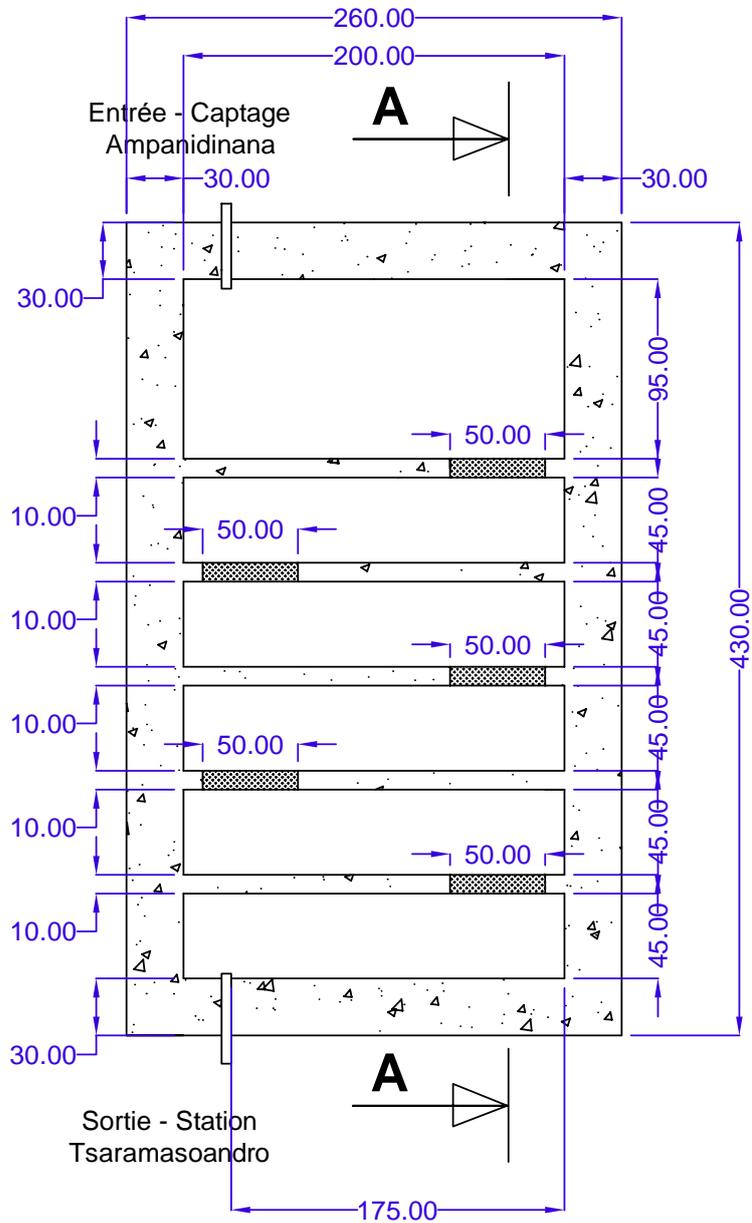


AVANT PROJET DETAILLE
ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAURIZON

DESSABLEUR DE PRETRAITEMENT
Scénarion minimum

VUE EN COUPE Date : Mai 2019 Echelle :1/40



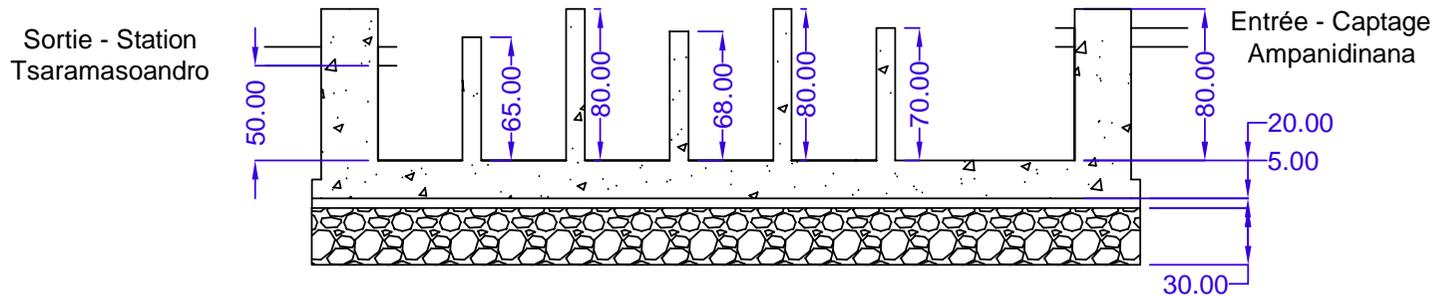
AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAURIZON

DESSABLEUR DE PRETRAITEMENT
 Scénario optimum

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/40

COUPE A-A

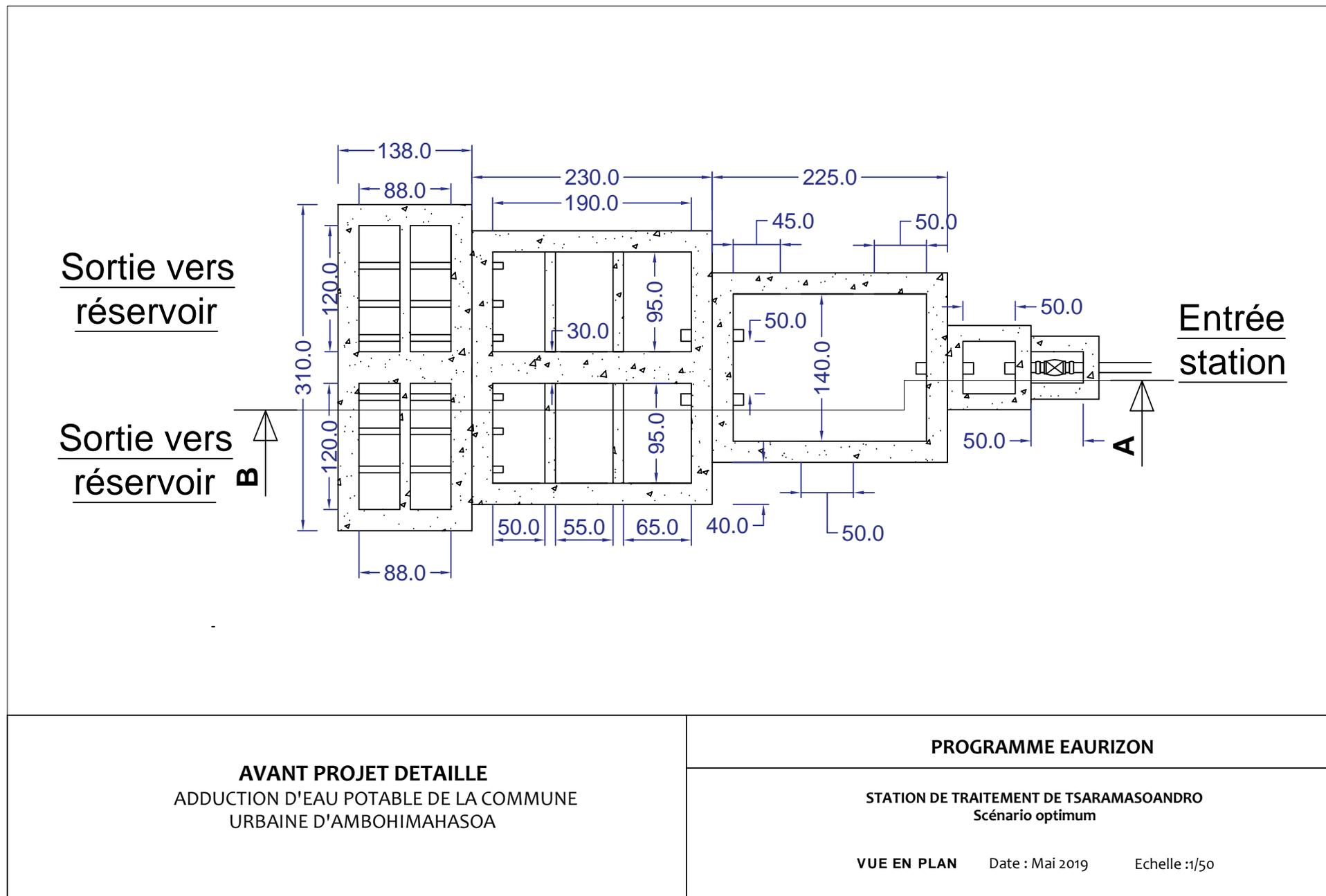


AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMHASOA

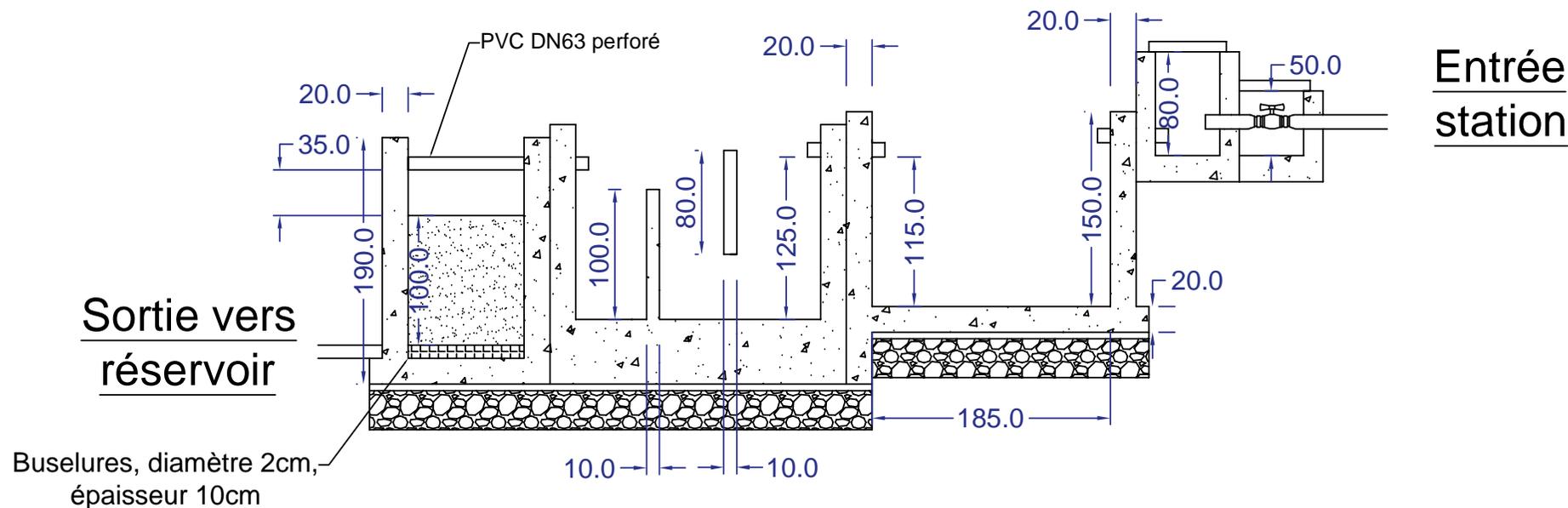
PROGRAMME EAU RIZON

DESSABLEUR DE PRETRAITEMENT
 Scénario optimum

VUE EN COUPE Date : Mai 2019 Echelle :1/40



COUPE A-B



Sortie vers
réservoir

Entrée
station

Buselures, diamètre 2cm,
épaisseur 10cm

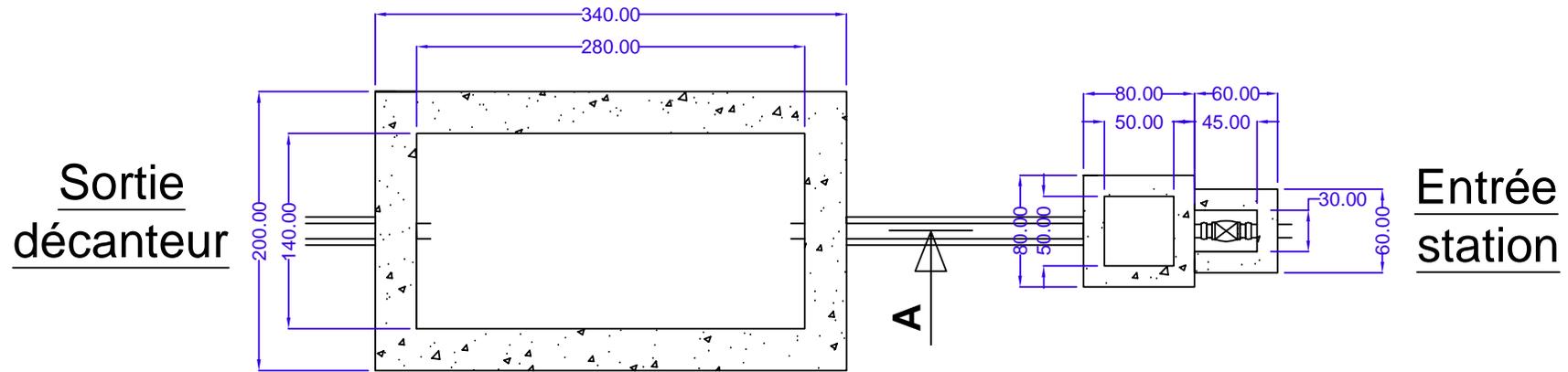
AVANT PROJET DETAILLE

ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAURIZON

STATION DE TRAITEMENT DE TSARAMASOANDRO
Scénario optimum

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/50

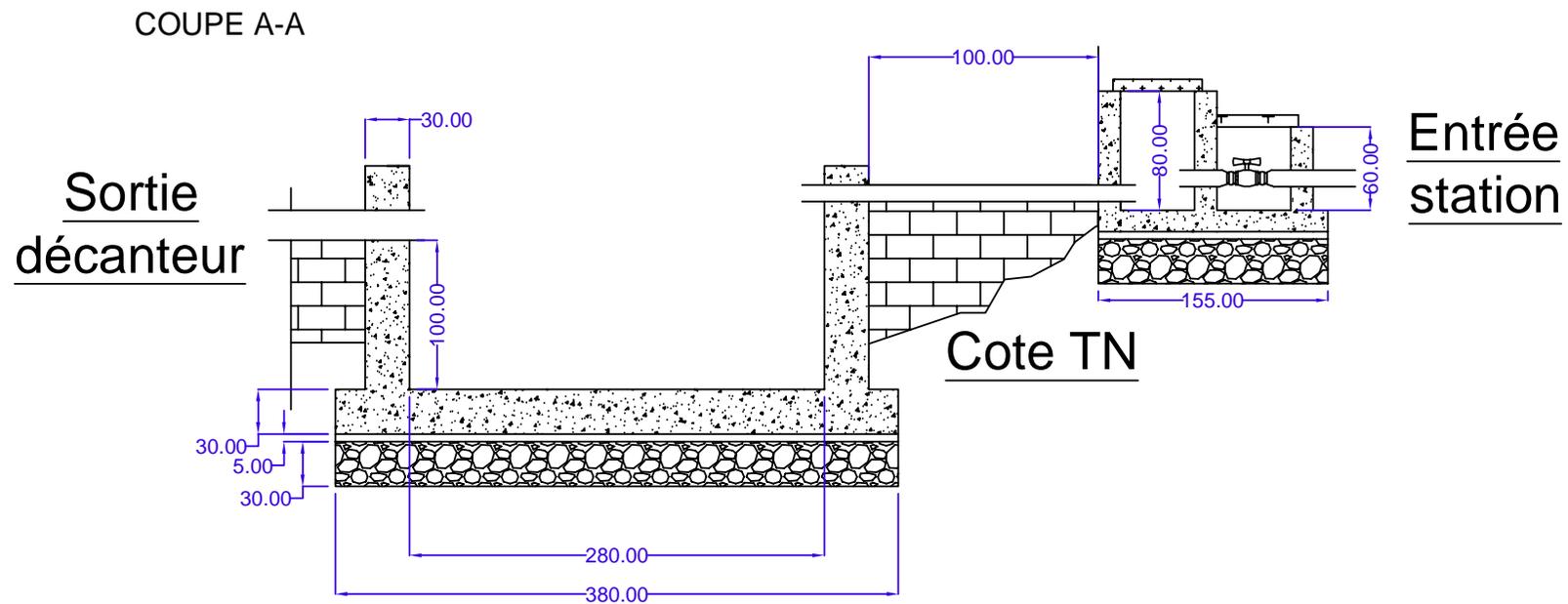


AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMAHASOA

PROGRAMME EAURIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
 Base commune - Flocculateur

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/50



AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMAHASOA

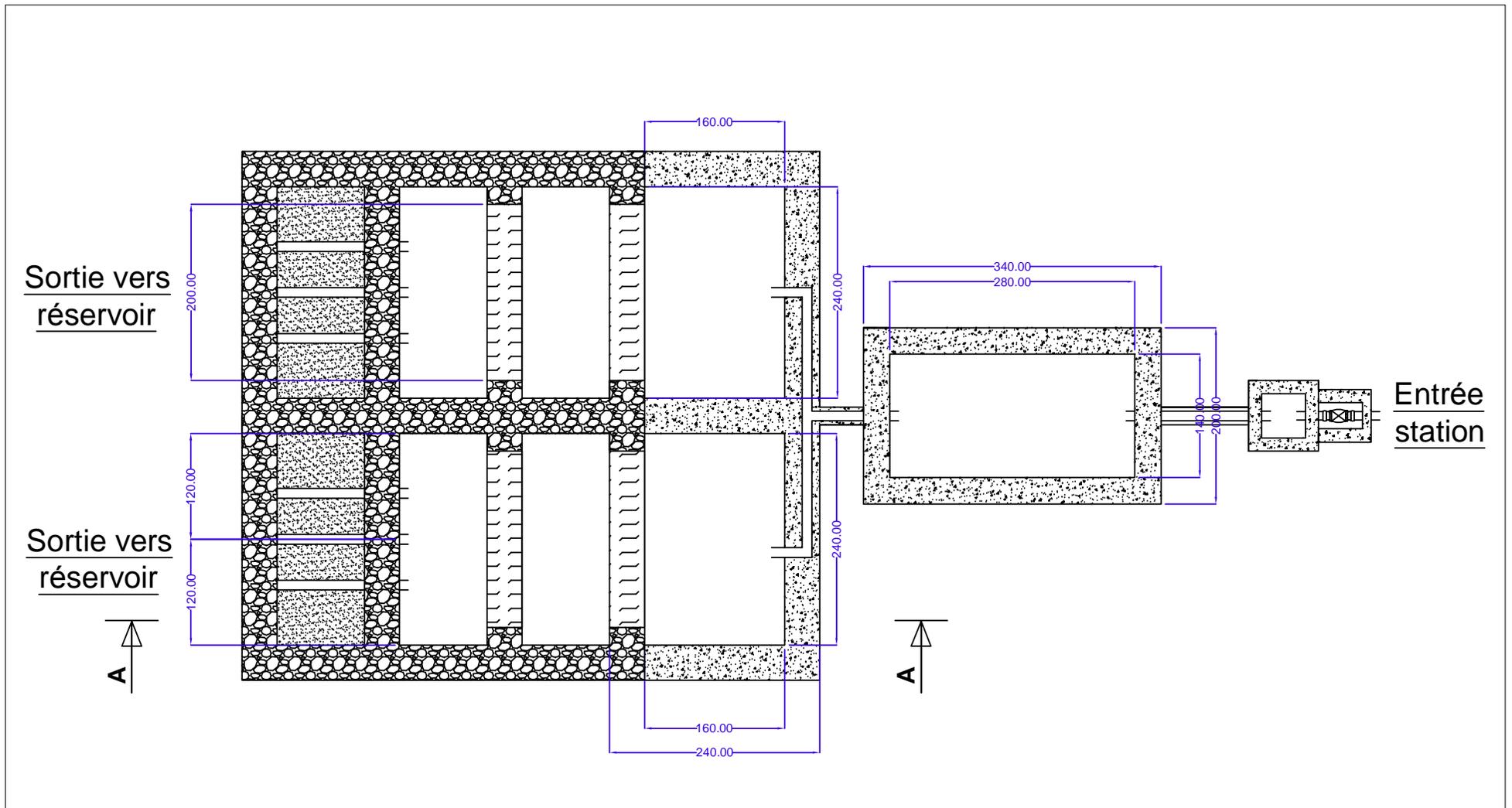
PROGRAMME EAURIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
 Base commune - Flocculateur

VUE EN COUPE

Date : Mai 2019

Echelle :1/50

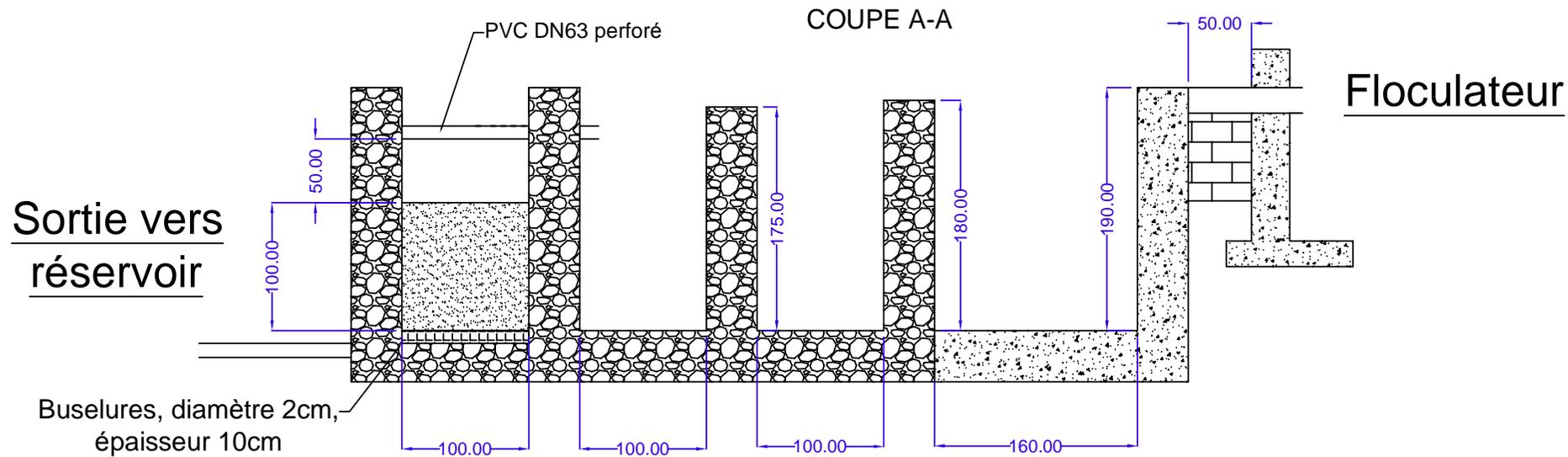


AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAU RIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
 Scénario minimum

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle :1/60



AVANT PROJET DETAILLE
 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
 URBAINE D'AMBOHIMAHASOA

PROGRAMME EAURIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
 Scénario minimum

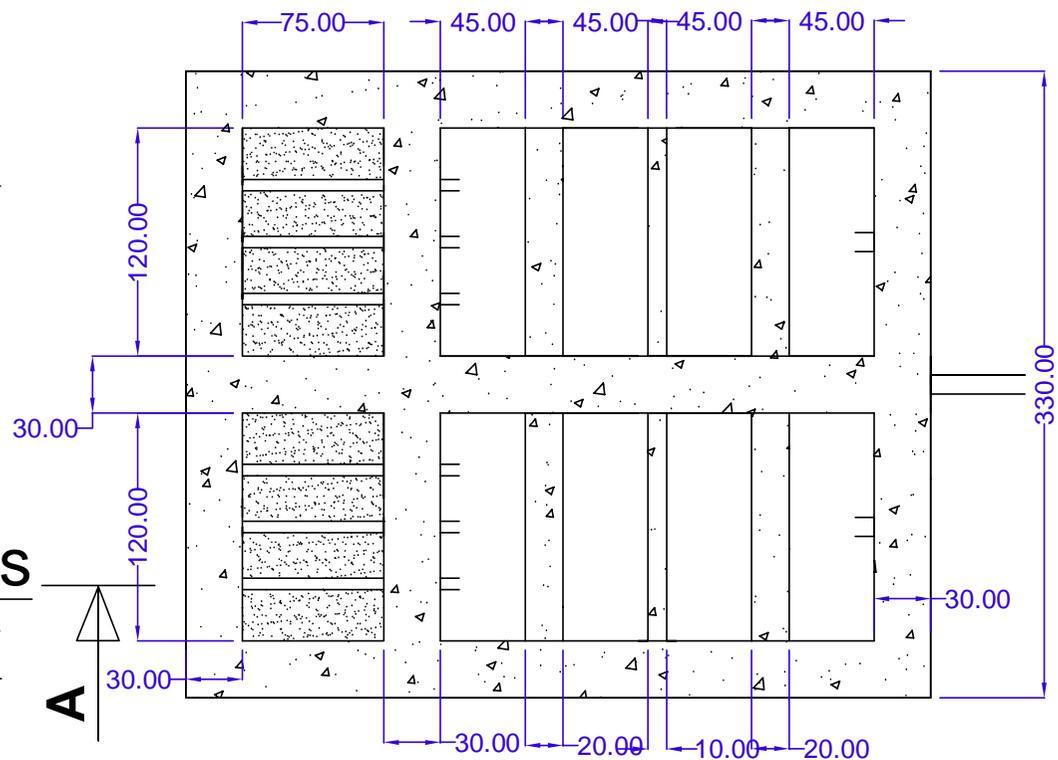
VUE EN COUPE

Date : Mai 2019

Echelle :1/50

Sortie vers
réservoir

Sortie vers
réservoir



Floculateur

AVANT PROJET DETAILLE
ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMHASOA

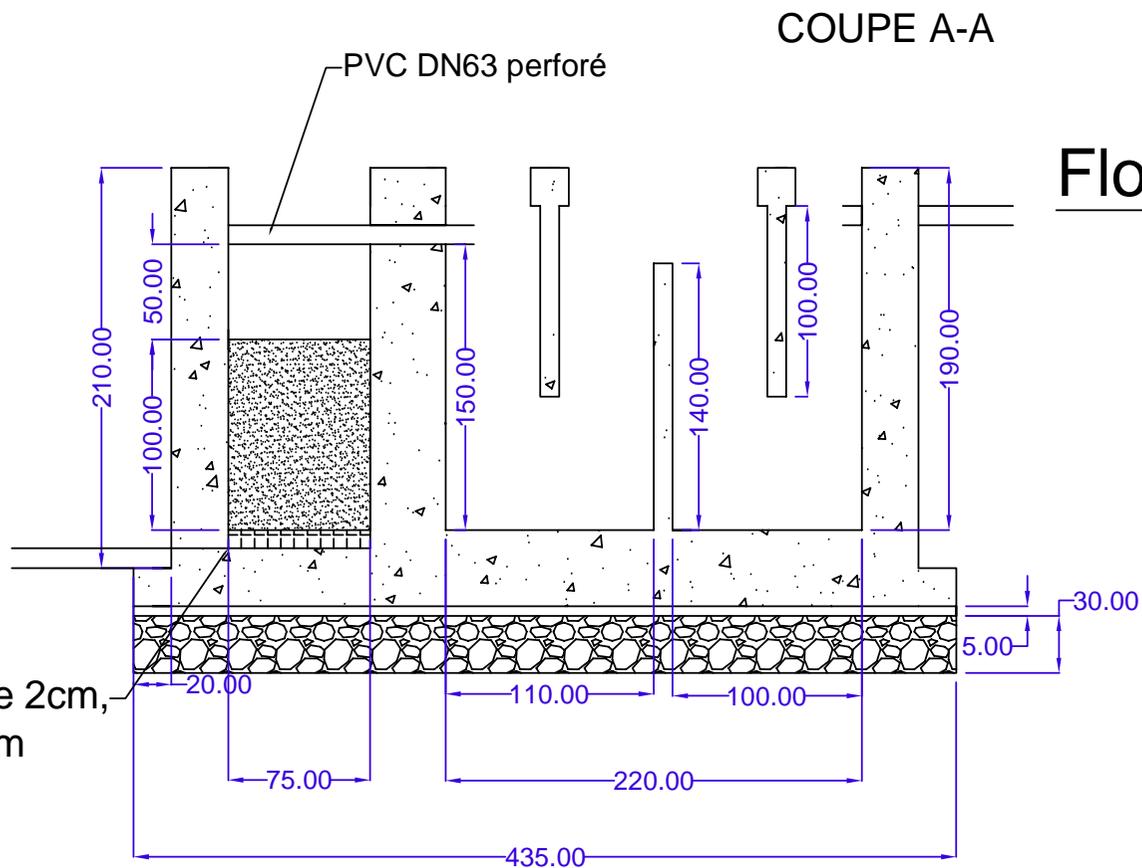
PROGRAMME EAU RIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
Scénario optimum

VUE EN PLAN Date : Mai 2019 Echelle : 1/40

Sortie vers
réservoir

Buselures, diamètre 2cm,
épaisseur 10cm



AVANT PROJET DETAILLE

ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE
URBAINE D'AMBOHIMHASOA

PROGRAMME EAURIZON

STATION DE TRAITEMENT D'ISAHA
Scénario optimum

VUE EN COUPE

Date : Mai 2019

Echelle :1/40

Annexe 7.4 : Bordereau détail estimatif

I INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER					
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
	Installation et repli de chantier	Fft	1,00	7 855 955	7 855 955
	TOTAL				7 855 955

II OUVRAGE DE CAPTAGE D'AMPANIDINANA					
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
100 - TERRASSEMENT					
101	Décapage et débroussaillage	m ²	14,00	2 100	29 400
102	Fouille pour ouvrage en terrain de toute nature	m ³	12,60	30 000	378 000
107	Fouille en tranchée pour canalisation en terrain meuble	ml	600,00	1 100	660 000
Total terrassement					1 067 400
200 - MACONNERIE- BETON ET OUVRAGES METALLIQUES					
201	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	0,45	210 000	94 500
202	Fourniture et mise en place de hérissonage 40/70	m ³	4,54	50 000	226 800
203	Béton armé dosé à 350 kg/m3	m ³	1,81	430 000	778 472
203-1	Dalle perforée en béton armée dosé à 350kg/m3	m ³	0,05	450 000	24 300
204	Coffrage plan en bois ordinaire y compris traverses et étais	m ²	9,24	18 500	170 940
205	Armature en acier de différents diamètres	kg	108,62	7 150	776 662
207	Enduit ordinaire dosé à 400 kg/m3	m ²	3,96	10 500	41 580
208	Enduit étanche dosé à 450 kg/m3	m ²	5,28	12 000	63 360
210	Chape étanche dosé à 500 kg/m3	m ²	9,62	13 125	126 263
Total génie civil.....					2 302 876
300 - TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES					
301-4	Fourniture et pose de tuyau PEHD PN10 DN50	ml	600,00	8 000	4 800 000
Total tuyauterie.....					4 800 000
400 - ROBINETTERIE - VANNES ET AUTRES					
407	Robinet de vidange	U	1,00	145 000	145 000
408-3	Vanne de sectionnement DN50	U	1,00	130 000	130 000
Total robinetterie.....					275 000
	TOTAL				8 445 276

III DESSABLEUR D'AMPANIDINANA					
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
SUPPRESSION DES OUVRAGES EXISTANTS			1,00	4 000 000	4 000 000
100 - TERRASSEMENT					
101	Décapage et débroussaillage	m ²	13,60	2 100	28 560
102	Fouille pour ouvrage en terrain de toute nature	m ³	10,35	30 000	310 500
Total terrassement					339 060
200 - MACONNERIE- BETON ET OUVRAGES METALLIQUES					
201	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	0,52	210 000	108 780
202	Fourniture et mise en place de hérissonage 40/70	m ³	3,11	50 000	155 250
203	Béton armé dosé à 350 kg/m3	m ³	5,92	430 000	2 543 450
204	Coffrage plan en bois ordinaire y compris traverses et étais	m ²	34,72	18 500	642 320
205	Armature en acier de différents diamètres	kg	354,90	7 150	2 537 535
207	Enduit ordinaire dosé à 400 kg/m3	m ²	10,40	10 500	109 200
208	Enduit étanche dosé à 450 kg/m3	m ²	24,32	12 000	291 840
210	Chape étanche dosé à 500 kg/m3	m ²	7,40	13 125	97 125
241	Fourniture et pose clôture en bois d'eucalyptus traité au xylophène	ml	100,00	50 000	5 000 000
Total génie civil.....					11 485 500
TOTAL					15 824 560

IV TSARAMASOANDRO - SCENARIO OPTIMAL					
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
SUPPRESSION DES OUVRAGES EXISTANTS			1,00	8 000 000	8 000 000
100 - TERRASSEMENT					
101	Décapage et débroussaillage	m ²	12,60	2 100	26 460
102	Fouille pour ouvrage en terrain de toute nature	m ³	18,35	30 000	550 560
Total terrassement					577 020

200 - MACONNERIE- BETON ET OUVRAGES METALLIQUES					
201	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	0,76	210 000	160 440
202	Fourniture et mise en place de hérissonage 40/70	m ³	6,11	50 000	305 500
203	Béton armé dosé à 350 kg/m3	m ³	15,06	430 000	6 474 940
204	Coffrage plan en bois ordinaire y compris traverses et étais	m ²	98,89	18 500	1 829 428
205	Armature en acier de différents diamètres	kg	903,48	7 150	6 459 882
207	Enduit ordinaire dosé à 400 kg/m3	m ²	44,47	10 500	466 935
208	Enduit étanche dosé à 450 kg/m3	m ²	54,42	12 000	653 016
210	Chape étanche dosé à 500 kg/m3	m ²	6,09	13 125	79 944
Total génie civil.....					16 430 085
300 - TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES					
-	Buselures	U	52,00	34 000	1 768 000
316-a	Fourniture et pose de tuyau PVC DN 63 perforée	ml	5,00	8 000	40 000
Total tuyauterie.....					1 808 000
400 - ROBINETTERIE - VANNES ET AUTRES					
407	Robinet de vidange	U	5,00	145 000	725 000
408-5	Vanne de sectionnement DN110	U	1,00	522 000	522 000
Total robinetterie.....					1 247 000
TOTAL					28 062 105

V-à	ISAHA - SCENARIO MINIMAL				
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
100 - TERRASSEMENT					
101	Décapage et débroussaillage	m ²	47,04	2 100	98 784
102	Fouille pour ouvrage en terrain de toute nature	m ³	37,63	30 000	1 128 960
103	Déblai ordinaire	m ³	18,82	4 500	84 672
Total terrassement					1 312 416
200 - MACONNERIE- BETON ET OUVRAGES METALLIQUES					
201	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	1,01	210 000	212 520
202	Fourniture et mise en place de hérissonage 40/70	m ³	8,10	50 000	404 800
203	Béton armé dosé à 350 kg/m3	m ³	23,12	430 000	9 942 460
204	Coffrage plan en bois ordinaire y compris traverses et étais	m ²	165,44	18 500	3 060 640
205	Armature en acier de différents diamètres	kg	1 387,32	7 150	9 919 338

207	Enduit ordinaire dosé à 400 kg/m ³	m ²	39,80	10 500	417 900
208	Enduit étanche dosé à 450 kg/m ³	m ²	125,64	12 000	1 507 680
210	Chape étanche dosé à 500 kg/m ³	m ²	35,92	13 125	471 450
Total génie civil.....					25 936 788
300 - TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES					
-	Buselures	U	120,00	34 000	4 080 000
316-a	Fourniture et pose de tuyau PVC DN 63 perforée	ml	5,00	8 000	40 000
Total tuyauterie.....					4 120 000
400 - ROBINETTERIE - VANNES ET AUTRES					
407	Robinet de vidange	U	3,00	145 000	435 000
408-5	Vanne de sectionnement DN110	U	1,00	522 000	522 000
Total robinetterie.....					957 000
TOTAL					32 326 204

VI	RESEAU				
N° PRIX	DESIGNATION	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
100 - TERRASSEMENT					
104	Remblai compacté	m ³	4 110,40	15 750	64 738 800
107	Fouille en tranchée pour canalisation en terrain meuble	ml	5 138,00	1 100	5 651 800
Total terrassement					70 390 600
300 - TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES					
301-3	Fourniture et pose de tuyau PEHD PN10 DN40	ml	335,00	6 000	2 010 000
301-4	Fourniture et pose de tuyau PEHD PN10 DN50	ml	745,00	8 000	5 960 000
301-5	Fourniture et pose de tuyau PEHD PN10 DN63	ml	1 118,00	12 600	14 086 800
-	Fourniture et pose de tuyau PVC PN10 DN110	ml	2 940,00	25 000	73 500 000
303-3	Fourniture et pose de raccord PEHD DN40	U	8,00	26 250	210 000
303-4	Fourniture et pose de raccord PEHD DN50	U	19,00	31 500	598 500
303-5	Fourniture et pose de raccord PEHD DN63	U	28,00	42 000	1 176 000
-	Fourniture et pose de raccord PVC DN110	U	74,00	70 000	5 180 000
305-3	Fourniture et pose de manchon réduit PEHD 63/50	U	1,00	42 000	42 000
-	Fourniture et pose de Manchon réduit PEHD 110/63	U	3,00	70 000	210 000
315	Fourniture et pose coude 45° en pvc 100	U	6,00	7 500	45 000
Total tuyauterie.....					103 018 300

400 - ROBINETTERIE - VANNES ET AUTRES					
-	Fourniture et pose vanne d'arrêt galvanisée DN 110	U	3,00	185 000	555 000
407	Robinet de vidange	U	5,00	145 000	725 000
408-2	Vanne de sectionnement DN40	U	6,00	97 500	585 000
408-3	Vanne de sectionnement DN50	U	3,00	130 000	390 000
408-4	Vanne de sectionnement DN63	U	3,00	205 000	615 000
Total robinetterie.....					2 870 000
TOTAL					176 278 900

VII REHABILITATION AMBATOLAMPY					
N° PRIX	N° PRIX	UNITES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
200 - MACONNERIE- BETON ET OUVRAGES METALLIQUES					
208	Enduit étanche dosé à 450 kg/m3	m ²	50,00	12 000	600 000
210	Chape étanche dosé à 500 kg/m3	m ²	25,00	13 125	328 125
Total terrassement					928 125
TOTAL					928 125

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES
Spécialité : Exploitation/Travaux

Auteur : WECKNER Dominique

Année : 2019

Titre :

Réalisation de l'étude d'avant-projet du réseau principal d'eau potable de la
Commune Urbaine d'Ambohimahasoa, Madagascar

Nombre de pages : Texte : Annexes :

Nombre de références bibliographiques :

Structure d'accueil : Métropole de Lyon – Décentralisation à Madagascar – Fianarantsoa, Madagascar

Maître de stage : François Simon

Résumé :

La Métropole de Lyon et la Région Haute-Matsiatra sont en coopération décentralisée pour développer le secteur de l'eau à Madagascar. Ce stage a permis de réaliser l'étude d'avant-projet détaillée du réseau d'AEP pour la commune d'Ambohimahasoa, 11 000 habitants. Les études ont servi à effectuer des travaux, en vue d'améliorer le service rendu aux usagers.

Le réseau dessert 4 500 habitants. La réhabilitation des stations de traitement, et du réservoir d'équilibre, la mise en place d'un captage et le renouvellement de 5 km de conduites d'amenée ont été proposées. Le projet se chiffre à 78 912 EUR TTC environ.

Mots-clés :

Réseau d'eau potable gravitaire, étude de diagnostic, étude d'avant-projet détaillée, Madagascar, Métropole de Lyon