



HAL
open science

Réalisation des études d'avant-projet sommaires puis détaillées du réseau central de la commune d'Ambalakely

Arthur Frachon

► To cite this version:

Arthur Frachon. Réalisation des études d'avant-projet sommaires puis détaillées du réseau central de la commune d'Ambalakely. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03576901

HAL Id: dumas-03576901

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03576901v1>

Submitted on 16 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.

Réalisation des études d'avant-projet sommaires puis détaillées du réseau central de la commune d'Ambalakely

Mémoire pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur

Stage réalisé du 03/02/2020 au 20/07/2020



Frachon Arthur

Promotion Bretagne 2017/2020

REMERCIEMENTS :

Je tiens à remercier chaleureusement toute l'équipe du projet EAURIZON à Fianarantsoa qui m'a accueilli et aidé tout au long de mon stage et plus particulièrement mon tuteur de stage, François SIMON, qui aura toujours été disponible pour me conseiller dans le suivi de mon projet et dans l'intégration quotidienne de la vie malgache.

J'aimerais également remercier Karine BLANC, Frédéric MAQUET qui m'ont aidé lors de mes démarches administratives et notamment pour l'obtention de mon visa avant de partir mais aussi Mathieu, Alex AGNELLI et sa compagne Karen qui m'ont aidé à m'accoutumer à la ville de Fianarantsoa.

Enfin, je tiens aussi à remercier mes parents, Jocelyne QUINCIEU et Didier FRACHON pour leurs conseils qu'ils m'ont donnés et leur soutien.

RESUME :

Le projet à mener consiste en la réalisation d'études d'avant-projet sommaires puis détaillées pour la mise en place d'un réseau d'adduction d'eau potable dans la commune d'Ambalakely à Madagascar.

Ces études ont été séparées en 3 volets : social, économique et technique :

Le volet social regroupe l'évaluation du nombre d'usagers futurs ainsi que le type de branchements dont ces derniers disposeront.

Le volet économique regroupe les coûts et bénéfices envisagés pour le gestionnaire afin d'aider la commune à choisir le mode de gestion le plus adapté.

Le volet technique est la partie où le réseau est dimensionné tout comme le choix du traitement.

Dans le cas de la commune étudiée ici, le réseau devra alimenter 9 636 habitants lors de sa mise en place qui atteindra 15 013 en 2035. En plus des habitants il faudra prendre en compte l'installation d'une prison regroupant 1 400 personnes.

L'eau qui servira à alimenter le réseau sera puisée dans la nappe d'accompagnement de la rivière s'écoulant au niveau du chef-lieu de la commune. Un traitement simple lui sera appliqué : aération-décantation, filtration rapide puis chloration avant stockage dans un réservoir de 150 m³.

La longueur totale de canalisation à poser est de 31,7 km.

ABSTRACT:

The following report deals with the realization of basic then detailed studies in order to realize a drinking water web in Ambalakely, a Malagasy town.

These studies were divided in 3 parts: social, economic and technical.

The social part gathers the calculation of the number of future users and what types of connection they will have.

The economic part gathers costs and profits that the manager of the web may have. It also helps the town decides what will be the type of web management.

The technical part is the part in which the web is sized and the treatment plant too.

In this case, the number of people who will benefit from the web is 9636 and 15 013 in 2035. It will also be necessary to add 1400 person due to the building of a prison.

The water that the inhabitants will be drinking will be taken from a phreatic table near the river flowing next to the county-town. The water will be treated by a simple plant: airing-decantation, filtering and chlorination before storage in a tank. The tank will have a volume of 150 m³.

The web will have a total length of 31,7 km.

Table des matières

1.	Introduction.....	7
1.1.	Présentation de la structure d'accueil	7
1.2.	Présentation de la commune et de la région	7
1.3.	Présentation du projet	9
2.	Etudes d'Avant-Projet Sommaires	9
2.1.	Partie socio-économique.....	9
2.1.1.	Description de la méthodologie du porte à porte.....	10
2.1.2.	Résultats du porte à porte.....	13
2.1.3.	Description de la méthodologie de l'enquête ménage	13
2.2.	Partie technique	17
2.2.1.	Emplacement et type de puits	18
2.2.2.	Qualité de l'eau et filière de traitement envisagée.....	20
2.2.3.	Construction du réseau et positionnement du réservoir.....	22
2.3.	Partie financière	26
2.3.1.	Les différents modes de gestion	26
2.3.1.1.	La gérance (intéressée ou non)	26
2.3.1.2.	La gestion associative avec salariés.....	27
2.3.1.3.	La gestion avec micro fermier local.....	27
2.3.2.	Recettes envisagées	29
2.3.2.1.	Les niveaux de consommation	29
2.3.2.2.	La tarification.....	29
2.3.3.	Les charges anticipées.....	30
2.3.4.	Le plan d'affaires	31
3.	Etudes d'Avant-Projet Détaillées.....	32
3.1.	Présentation de l'entreprise sous-traitante	32
3.2.	Présentation du terrain à l'entreprise sous-traitante	32
3.3.	Puits et bâtiment d'exploitation.....	34
3.3.1.	Puits.....	34
3.3.2.	Bâtiment d'exploitation.....	37
3.4.	Topographie et altitudes	39
3.5.	Simulations du réseau	43
3.5.1.	Courbes de modulation des consommations.....	45
3.5.2.	Fuites	49
3.5.3.	Résultats de la modélisation	51
3.6.	Equipement du réseau	52
3.7.	Précision du traitement de l'eau	53
3.7.1.1.1.	Aération et décantation	56
3.7.1.1.2.	Filtration rapide.....	56
3.7.1.1.3.	Chloration et stockage.....	58
3.7.1.1.4.	Instrumentation	59

4. Conclusion	60
5. Bibliographie.....	61
6. Annexes	62

Table des figures et des tableaux :

Figure 1 Localisation des villages et Fokontany constituant la commune d'Ambalakely.....	8
Figure 2 Localisation des villages sondés lors du porte à porte.....	10
Figure 3 Répartition géographique des ménages pouvant avoir accès à des branchements privés	16
Figure 4 Les différents points d'approvisionnement en eau de la commune	18
Figure 5 Emplacement de la zone retenue pour l'implantation du puits et celle du réservoir	19
Figure 6 Présentation visuelle de la turbidité de l'eau, à gauche l'eau du puit du CSB, à droite l'eau de la rivière	20
Figure 7 Emplacements des buses	23
Figure 8 Tracé du réseau de la commune au stade de l'APS	24
Figure 9 Zoom sur le réseau du chef-lieu de la commune.....	25
Figure 10 Emplacements étudiés pour le puit ainsi que le bâtiment d'exploitation.....	33
Figure 11 Plan de l'ouvrage de captage envisagé dans le cas d'un captage avec drain	35
Figure 12 Plan de l'ouvrage de captage envisagé dans le cas d'un captage foré	36
Figure 13 Plan du système de pompage dans le cas d'une pompe de surface (source : Bushproof).....	38
Figure 14 Plan du système de pompage dans le cas d'une pompe immergée (source : Bushproof).....	39
Figure 15 Profil altimétrique d'une partie du tracé de la zone Nord.....	40
Figure 16 Profil altimétrique du tracé de la zone Sud jusqu'à la ferme d'état	40
Figure 17 Profil altimétrique du tracé d'une partie du réseau Ouest.....	40
Figure 18 Raccourcissement du réseau au niveau du Sud-Ouest de la commune	41
Figure 19 Modification du réseau près de l'emplacement du réservoir	42
Figure 20 Représentation schématique du réseau dans Porteau avec à gauche un aperçu plus précis de l'alimentation du réservoir	44
Figure 21 Courbe de modulation des branchements partagées	45
Figure 22 Courbe de modulation pour les branchements privés	46
Figure 23 Courbe de modulation de la prison.....	47
Figure 24 Courbe de modulation de la borne fontaine du marché	48
Figure 25 Courbe de modulation des bornes fontaines	49
Figure 26 Courbe de modulation des fuites du modèle	50
Figure 27 Marnage du réservoir dans le cas d'un pompage durant 10h lors d'un jour de marché à gauche et d'un pompage sur 11h pendant le reste de la semaine à droite	51

Figure 28 Emplacements de toutes les vannes présentes sur le réseau 52

Tableau 1 Nom de tous les villages présents dans la zone alimentées ainsi que quelques données 11

Tableau 2 Grilles d'analyse sur la volonté et la capacité à payer 15

Tableau 3 Tableau récapitulatif des différents modes de gestion envisageables 27

Tableau 4 Explication des postes de dépenses 30

Tableau 5 Mesures de différents paramètres physico-chimique de l'eau (source : Bushproof) 53

Table des annexes :

Annexe 1 : Questionnaire du porte à porte

Annexe 2 : Questionnaire de l'enquête ménage

Annexe 3 : Note de calcul de Bushproof concernant le NPSHd et NPSHr

Annexe 4 : Profils topographiques complémentaires

Annexe 5 : Pressions en différents points et marnage du réservoir à l'année n

Annexe 6 : Plan provisoire de décanteur-aérateur

Annexe 7 : Plan provisoire du filtre à sable

Annexe 8 : Plan provisoire du réservoir

1. Introduction

Depuis 2006, la commune du Grand Lyon est partenaire de la région Haute Matsiatra à Madagascar. Ce partenariat a donné naissance à plusieurs projets de développement de l'eau potable et l'assainissement dans des communes malgaches au fil des années. Le stage présenté s'est tenu dans le cadre du programme EAURIZON qui a débuté en Mars 2016 et doit se terminer en 2020. L'objectif était de réaliser les études d'avant-projet sommaires puis détaillées du réseau d'eau potable de la commune d'Ambalakely à Madagascar.

1.1. Présentation de la structure d'accueil

Le stage s'est déroulé dans le cadre du programme de coopération internationale entre la commune du Grand Lyon en France et la région Haute-Matsiatra à Madagascar. Ce programme a pour but d'aider les communes de la région dans les domaines de l'eau et l'assainissement qui en font la demande. Il est constitué de 12 personnes qui travaillent en coopération étroite avec les communes partenaires. Parmi les actions de ce programme, il y a notamment l'aide à la rédaction d'un plan d'action auprès des communes ainsi que le dimensionnement et le financement de solutions techniques. Cette année, la commune d'Ambalakely a émis une demande concernant l'alimentation en eau potable et c'est dans ce cadre que le stage présenté ici s'est tenu.

1.2. Présentation de la commune et de la région

La commune dans laquelle s'est déroulé le projet, est située dans la région de Haute Matsiatra qui tire son nom de la rivière la traversant, la Matsiatra, et dont le chef-lieu est Fianarantsoa. La carte 1 ci-dessous présente la situation de la région et de la commune dans le pays.

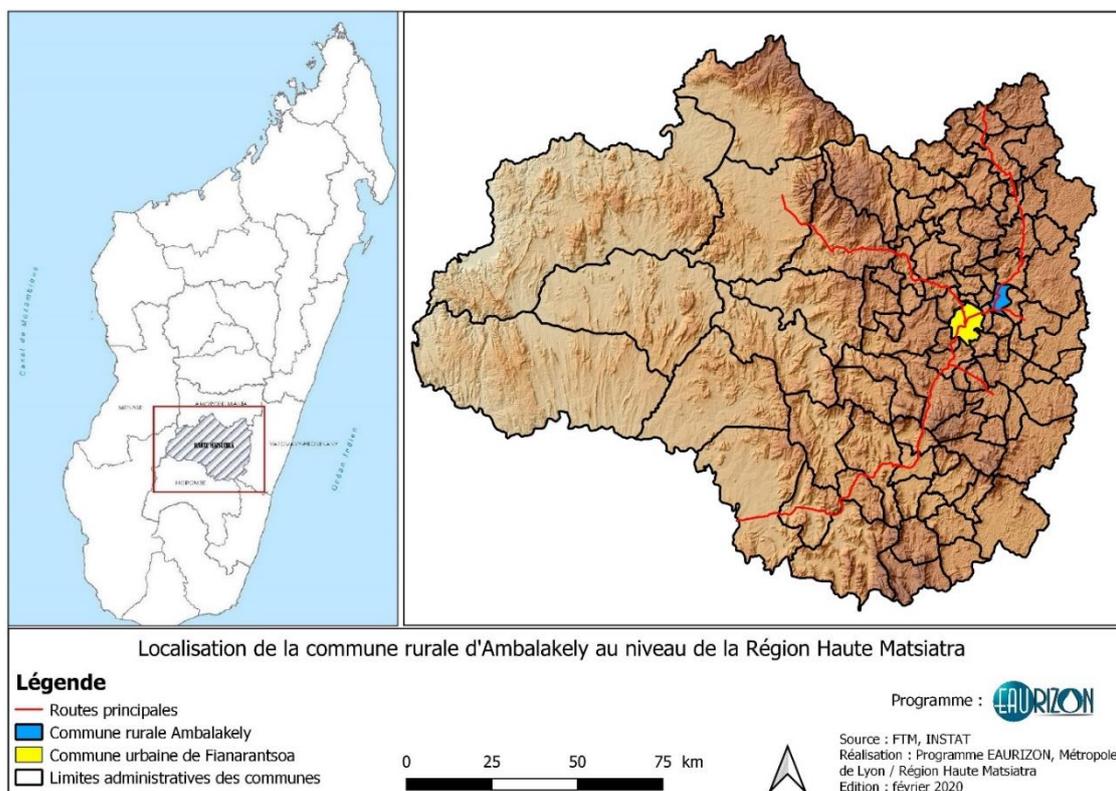


Figure 1 Localisation de la commune d'Ambalakely par rapport à Fianarantsoa

La région Haute Matsiatra se situe dans les terres, ce qui induit un climat relativement proche de ce qu'il est possible de voir en France : chaud en été et froid en hiver, avec une période pluvieuse qui s'étale de Novembre à Mars.

La commune d'Ambalakely se situe à 5-10 km au Nord-Est de Fianarantsoa en suivant la Route Nationale n°7. Elle s'étend sur 38,72 km² et regroupe 15003 habitants répartis en 82 villages selon un relevé en novembre 2019. Le chef-lieu de cette commune est Ambalakely. La Figure 2 ci-dessous présente la disposition de la commune ainsi que des quartiers la constituant :

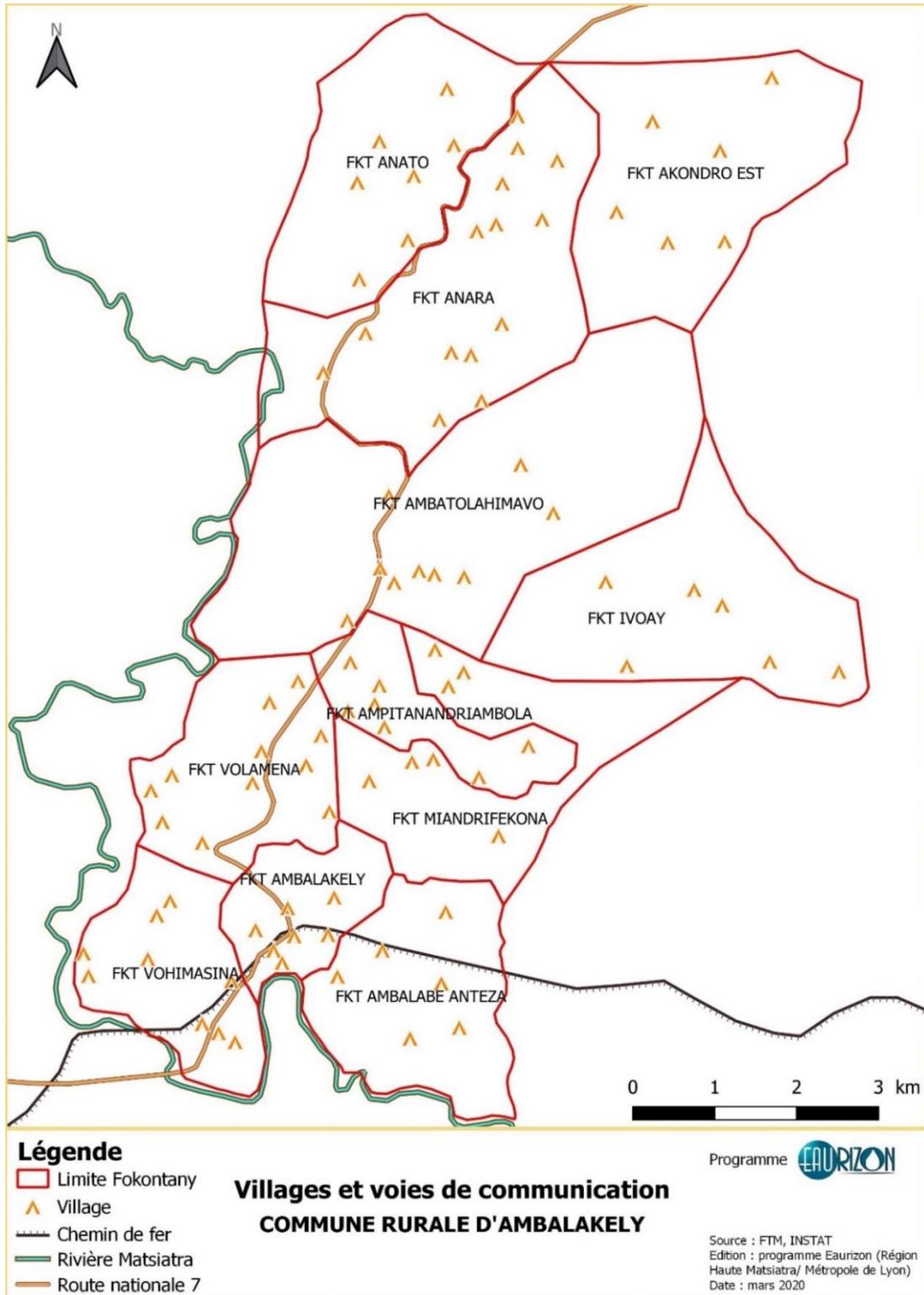


Figure 2 Localisation des villages et Fokontany constituant la commune d'Ambalakely

1.3. Présentation du projet

Le projet dans lequel s'inscrit mon stage vise à développer l'accès à l'eau potable et l'assainissement dans les communes partenaires. Cette année, 4 communes ont été choisies pour participer à ce programme. La commune d'Ambalakely est l'une d'entre elles.

Le but est d'améliorer l'autonomie de la commune en l'aidant à rédiger un Plan Communal de Développement en Eau et Assainissement (PCDEA) afin de lui permettre d'identifier les points à traiter en priorité ainsi que les mesures à mettre en œuvre.

Dans son PCDEA, la commune d'Ambalakely a privilégié l'accès à l'eau potable. En effet, cette dernière ne dispose d'aucun réseau ou accès à une eau de bonne qualité.

Les études d'avant-projet se sont ensuite déroulées en 2 phases : d'abord les études d'avant-projet sommaires qui ont pour but d'étudier plusieurs scénarios possibles afin de laisser la commune choisir l'option qu'elle préfère et aussi la possibilité de lui laisser commenter la pertinence de certains choix. Après concertation avec la commune, les études d'avant-projet détaillées peuvent commencer. Durant ces dernières, le scénario choisi par la commune est développé afin d'avoir plus de précisions sur les contraintes, avantages, coûts et mode de gestion qui y seront liés.

Après avoir fini les études d'avant-projet détaillées, l'appel d'offre est lancé afin de savoir quelles seront les entreprises qui participeront aux travaux et qui sera le gestionnaire du réseau.

2. Etudes d'Avant-Projet Sommaires

Comme indiqué précédemment, le but des études d'avant-projets sommaires est d'identifier plusieurs scénarios à soumettre à la commune pour qu'elle puisse faire des remarques et choisir la solution la plus adaptée à ses besoins. Les études d'avant-projet sommaires sont séparées en 3 parties : socio-économique, technique et financière. Ces 3 parties auront un impact les unes sur les autres (ex : la partie financière sera impactée par le linéaire de canalisation ; les maisons alimentées dépendront du profil socio-économique des ménages y vivant).

2.1. Partie socio-économique

Dans cette partie des études d'avant-projet, le but est d'identifier différentes catégories de ménages en fonction de leurs revenus et de leur situation familiale afin de savoir quelle serait la solution d'alimentation qui leur conviendrait le mieux (borne fontaine, branchement partagé, branchement privé). En effet, les solutions qu'il est possible de mettre en œuvre n'ont pas forcément le même coût de mise en place ni le même tarif pour l'utilisateur : les branchements privés seront réservés aux ménages les plus aisés car les tarifs seront plus élevés que ceux des branchements partagés, qui eux-mêmes seront plus chers que ceux des bornes fontaines. Cette étude s'est déroulée en 2 temps : un premier temps de sondage en porte à porte afin d'avoir le nombre exact d'habitants de chaque village et de savoir quels seront les ménages qui pourront, potentiellement, être raccordés à des branchements privés et qui seront interrogés de manière plus détaillée ultérieurement. Le deuxième temps (aussi appelé « enquête ménage ») a lieu après restitution du premier temps à la commune, qui

pourra commenter le choix des ménages à interroger et en rajouter ou enlever certains. Il a pour but de connaître plus précisément la situation socio-économique des ménages.

2.1.1. Description de la méthodologie du porte à porte

Au début du projet, un repérage très rapide des villages potentiellement alimentés gravitairement a été fait afin d'orienter le porte à porte sur ces villages. La zone d'étude s'est réduite à 56 villages et sont indiqués sur la figure 3 ci-dessous :

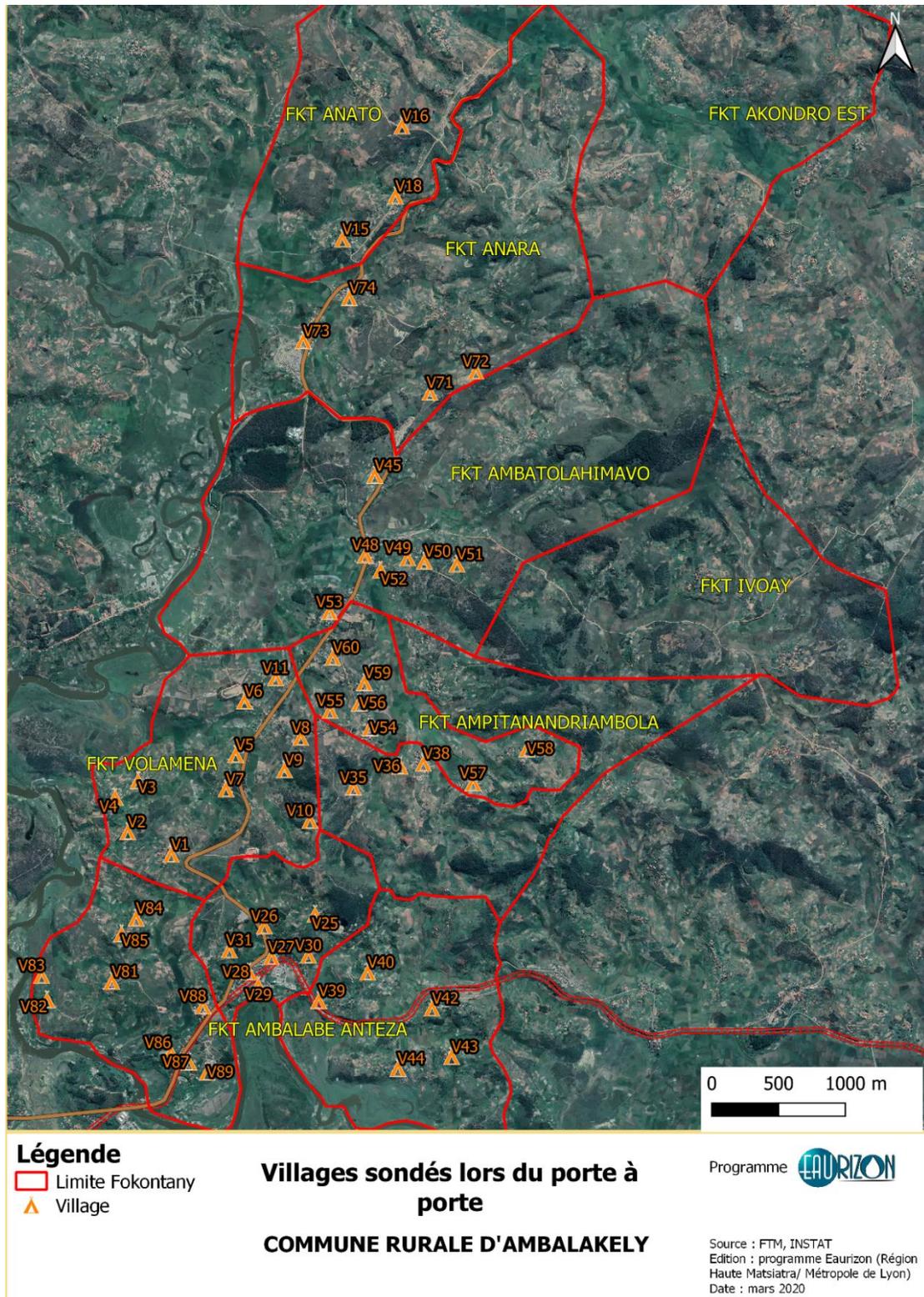


Figure 3 Localisation des villages sondés lors du porte à porte

Le tableau 1 ci-dessous présente les noms des villages ainsi que leur id dans le fichier QGis. Dans le cas de certains villages, leur altitude selon Google Earth est également indiquée.

Tableau 1 Nom de tous les villages présents dans la zone alimentées ainsi que quelques données

Id	Nom_vill	Lib_FKT	Nom boribo	Habitants Novembre 2019	Ménage Novembre 2019	Alt GE
V1	ANTOKOMASIKA	VOLAMENA	ANTOKOMASIKA	146	45	1118
V10	TSARAHETY	VOLAMENA	TSARAHETY	207	39	1128
V11	TSAHANIARIVO	VOLAMENA	TSAHANIARIVO	155	30	1086
V15	AMBALAMARINA	ANATO	ANATO EST	199	38	1089
V16	AMBOHIMAHAMASINA	ANATO	AMBOHIMAHAMASINA	53	5	
V18	AMBOAFOHY	ANATO	AMBALAMAHARIVO	263	46	
V2	AMBALA AMBANY	VOLAMENA	ANTOKOMASIKA	102	14	1111
V25	ANKOFOKA	AMBALAKELY	ANKOFOKA	98	28	1134
V26	TANAMBAO	AMBALAKELY	TANAMBAO	238	60	1100
V27	TSARAHONENANA	AMBALAKELY	TSARAHONENANA	530	178	1085
V28	BEMASOANDRO OUEST	AMBALAKELY	BEMASOANDRO OUEST	380	146	1078
V29	BEMASOANDRO EST	AMBALAKELY	BEMASOANDRO EST	580	208	1078
V3	ANDOVOMBE AVARATRA	VOLAMENA	ANDOVOBE	215	39	1088
V30	AMBALAKELY	AMBALAKELY	AMBALAKELY	198	52	1084
V31	VATOMITA	AMBALAKELY	VATOMITA	219	97	1094
V35	SAHASAMPANA	MIANDRIFEKONA	SAHASAMPANA	95	12	1110
V36	MIARENA	MIANDRIFEKONA	MIARENA	215	31	1101
V38	IKELIBE	MIANDRIFEKONA	IKELIBE	107	13	1102
V39	AMBONDRONA	AMBALABE	AMBONDRONA	162	32	1105
V4	ANDOVOBE ATSIMO	VOLAMENA	ANDOVOBE	237	32	1093
V40	AMBATOLAHIKIJOA	AMBALABE	AMBATOLAHIKIJOA	337	52	1111
V42	ANTEZA	AMBALABE	ANTEZA	201	34	1124
V43	AMBALABE	AMBALABE	AMBALABE	186	28	1108
V44	AMBODINAMBONDRONA	AMBALABE	AMBODINAMBONDRONA	297	52	1097
V45	TAMBOHOLAVA	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 1	113	28	1101
V48	AMBAVAFITANA	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 2	142	37	1077

V49	ANKAIFIRANA	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 2	103	28	1092
V5	VOLAMENA NORD	VOLAMENA	VOLAMENA	42	12	1088
V50	AMBOANJOMBE	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 2	130	32	1094
V51	ANTEZANA	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 2	132	22	1112
V52	SOARANO	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 3	460	75	1089
V53	ALAROBIA SOALAZAINA	AMBATOLAHIMAVO	AMBATOLAHIMAVO 3	239	46	1085
V54	AMPITANANDRIAMBOLA	AMPITANANDRIAM BOLA	AMPITANANDRIAMBOLA	105	21	1101
V55	AMBALAVAOKEY	AMPITANANDRIAM BOLA	AMPITANANDRIAMBOLA	35	7	1101
V56	ANDREFATANANA	AMPITANANDRIAM BOLA	AMPITANANDRIAMBOLA	25	5	1093
V57	ANDRANOMENA	AMPITANANDRIAM BOLA	ANDRANOMENA	145	29	1130
V58	ANKOTRO	AMPITANANDRIAM BOLA	ANKOTRO	129	28	
V59	ANTSAHAMAVO	AMPITANANDRIAM BOLA	ANTSAHAMAVO	60	10	1091
V6	TSARASOTRA	VOLAMENA	VOLAMENA	68	15	1084
V60	VAHAMBE	AMPITANANDRIAM BOLA	VAHAMBE	238	44	1087
V7	VOLAMENA SUD	VOLAMENA	VOLAMENA	41	15	1092
V71	TAMBOHOLAVA	ANARA	TAMBOHOLAVA	130	18	1105
V72	AMBONIATSIMO	ANARA	TAMBOHOLAVA	12	2	
V73	ANDOHANASANA	ANARA	ANDOHASANA	147	30	1084
V74	AMBALAMENA	ANARA	AMBALAMENA	182	40	1087
V8	AMBONDRONA	VOLAMENA	TSARAHETY	49	14	1116
V81	VOHIMASINA	VOHIMASINA	VOHIMASINA	420	72	1100
V82	ANTOBY	VOHIMASINA	VOHIMASINA	51	8	1087
V83	VOHIMASINA NORD	VOHIMASINA	VOHIMASINA	5	1	1087
V84	ANTSOLAITRA	VOHIMASINA	ANTSOLAITRA	228	35	1085
V85	MANGARIVOTRA	VOHIMASINA	ANTSOLAITRA	10	3	1099
V86	ANTSAPANIMHAZO	VOHIMASINA	ANTSAPANIMHAZO	200	50	1078
V87	FERME D'ETAT	VOHIMASINA	ANTSAPANIMHAZO	25	10	1088

V88	AMBOASARY	VOHIMASINA	ANTSAPANIMAHAZO	63	21	1084
V89	CITE FERME	VOHIMASINA	CITE FER	42	21	1088
V9	TATADAVA	VOLAMENA	TSARAHETY	35	10	1096

Le « porte à porte » a été mené par deux étudiants de Fianarantsoa sur une durée de 2 semaines. Le questionnaire est simple et porte sur le nombre de personnes dans le ménage, la présence d'un toit partagé, ou non, et la volonté du ménage à se raccorder aux branchements privés. Le questionnaire est présenté en annexe 1.

Il doit être rapide à mener car la proportion de ménages intéressés et pouvant se permettre d'avoir accès à des branchements partagés est faible (environ 10 % d'après l'expérience des projets passés) et le nombre de ménages à interroger est assez élevé (1 000 environ d'après le relevé de Novembre 2019).

Dans le cadre de ce projet, les sondages ont été faits avec des téléphones portables en utilisant l'application mWater. Ce logiciel permet de créer des sondages sur ordinateur et de les remplir sur téléphone portable facilitant grandement la récupération des données lors d'enquêtes. Ces données sont ensuite mises en ligne afin de pouvoir les visualiser et les traiter rapidement.

2.1.2. Résultats du porte à porte

Dans la zone concernée par le sondage de la commune d'Ambalakely, les résultats du « porte à porte » ont indiqué la présence de 10 903 habitants répartis en 1 937 ménages. Toutefois certains ménages ne pourront pas être alimentés ce qui indique que le réseau ne pourra concerner que 9 636 habitants répartis en 1 670 ménages.

Parmi tous les ménages de la zone alimentée, 243 ménages étaient potentiellement intéressés par un branchement privé (c'est-à-dire qu'ils ont répondu "oui" ou "peut-être" à la question concernant leur volonté d'avoir un branchement privé ; 98 ménages ont répondu "oui").

A ce stade, il n'y a pas de traitement particulier des résultats à faire, seul un entretien avec la commune sera nécessaire afin de confirmer que les ménages étant intéressés par un branchement privé sont crédibles. Cet entretien marquera le passage de la phase de « porte à porte » à la phase d'enquête ménage.

2.1.3. Description de la méthodologie de l'enquête ménage

A l'issue du « porte à porte », les résultats ont été compilés et analysés afin de déterminer quels sont les types de branchements les plus adaptés à chaque village et à chaque situation. Un autre enseignement des résultats du « porte à porte » est la connaissance du nombre de ménages susceptibles d'être raccordés à des branchements privés. En effet, une des questions du « porte à porte » portait sur la volonté des ménages de se raccorder au réseau qui serait mis en place. Si le ménage en avait exprimé le souhait, alors il serait interrogé lors de la phase de l'enquête ménage, sous réserve que les responsables de la commune aient jugé la demande pertinente.

Le questionnaire de cette enquête est plus détaillé que celui de l'étape précédente comme indiqué en annexe 2.

C'est également lors de cette phase que sont interrogés les consommateurs utilisant plus de 1 m³ d'eau par jour, car ils sont alors considérés comme des « gros » consommateurs. Dans le cas de la commune d'Ambalakely, il n'y a qu'un hôtel et la prison qui rentreront dans cette dernière catégorie.

Une des difficultés de cette 2^{ème} étape est de bien cerner la capacité à payer (i.e. les moyens financiers dont dispose le ménage) et la volonté à payer (i.e. les moyens financiers que les ménages sont prêts à utiliser pour payer leur facture d'eau) des ménages. D'après plusieurs études il est possible d'utiliser des indicateurs de richesse. Cette méthode est déjà utilisée par le programme EAURIZON depuis plusieurs années. Cependant, dans le but de l'améliorer, des informations autres ont été recherchées pour confirmer que ces indicateurs de richesses sont pertinents.

Une étude menée dans des contextes africains similaires (J Guillard, 1961) indique que la mesure du temps passé au travail peut faire partie des indicateurs de richesse. Ceci reste toutefois compliqué à mettre en œuvre car il faudrait suivre les habitants tout au long de leur journée, ce qui n'est pas possible à mettre en œuvre car ce serait trop chronophage.

Les résultats de l'entretien avec la commune ont permis d'identifier 197 ménages à interroger dans toute la commune (y compris dans la zone qui ne sera pas alimentée). Cependant, lors de l'enquête ménage, certains ménages avaient changé d'avis soit :

- ils avaient pris conscience qu'ils n'auraient pas les moyens de payer leurs factures,
- d'autres ont finalement choisi de s'alimenter via des bornes fontaines et enfin,
- certains ont dit qu'ils disposaient de puits,

aussi le nombre de réponses à l'enquête ménage est descendu à 106.

Afin de pouvoir convertir les réponses des ménages au questionnaire de l'enquête ménage, des points sont attribués en fonction des réponses à certaines questions. Ces points sont ensuite utilisés pour obtenir 2 notes : une concernant la volonté à payer du ménage et une concernant la capacité à payer. Les ménages doivent obtenir une note minimale à ces 2 critères afin que la demande soit retenue. L'attribution des notes se fait sur les critères présentés dans le tableau 2 suivant. Les critères utilisés sont discutables mais plusieurs études (Observatoire du Sahara et du Sahel 2013 ; Nations Unies 1986 ; Ferdi Garenne ; P. Pélissier 1966) ayant eu lieu en Afrique comme le projet étudié ici, utilisent le même type d'indicateurs. Ces derniers reprennent, notamment, la taille du troupeau des habitants, l'équipement des ménages (biens possédés), le taux d'accroissement de la population, le revenu par habitant par an, le niveau de développement de la santé. Certains de ces indicateurs servent à mesurer le niveau de vie globale d'un village, tandis que dans le projet qui nous concerne, c'est le niveau de vie des ménages qui est évalué. Dans le cas de l'étude menée par P. Pélissier, il est possible de retrouver des critères de richesse similaires à ceux utilisés. Néanmoins il est aussi mentionné qu'il est important de prendre en compte la valeur spirituelle de certains biens qui prendront alors une plus forte valeur.

Cependant, les biens recensés doivent ensuite être associés à une valeur monétaire afin de pouvoir quantifier la richesse des ménages. Pour cela, les valeurs du marché ont été utilisées. Cette méthode a déjà été utilisée dans des études du niveau de vie (Organisation internationale du Travail 2013) ce qui semble confirmer la pertinence de la méthode.

Le Tableau 2 ci-dessous présente les différents points d'analyse utilisés dans l'analyse socio-économique (pour information : 1 € = 4000 Ar).

Tableau 2 Grilles d'analyse sur la volonté et la capacité à payer

Volonté à payer		Capacité à payer	
Critères	Points attribués	Critères	Points attribués
Prix acceptable du raccordement		Alimentation en électricité	
- si 75 000 ar	3	- si panneau solaire	2
- si 100 000 ar	5	- si abonnement à la Jirama	5
- si 150 000 ar	7	- si groupe électrogène	7
- si 200 000 ar	9	Dépenses mensuelles en électricité	
Mode paiement		- supérieures ou égales à 10000 ar	3
- si paiement en une fois	2	Revenus mensuels	
Facture mensuelle acceptable		- si supérieure ou égale à 200 000 ar	5
- si supérieure ou égale à 3000 ar	3	- si supérieure ou égale à 400 000 ar	7
Usage de porteurs d'eau		Biens possédés	
- si oui	5	- si télévision	2
		- si antenne satellite	2
		- si réfrigérateur	4
		- si salon (canapé)	2
		- si moto	4
		- si voiture	4
Note maximale	19	Note maximale	35
Seuil à atteindre	8	Seuil à atteindre	14

Les ménages ayant obtenu un score dépassant le seuil à atteindre dans la volonté et la capacité à payer auront l'accès à un branchement privé.

Les points attribués aux questions ont été indiqués en fonction à la fois des retours d'expériences des projets précédents et des prix du marché.

Les revenus des ménages sont obtenus directement pour certains ménages (ex : si l'enquêté est chauffeur, cette personne a un salaire régulier) mais dans le cas des agriculteurs par exemple, les revenus sont obtenus après indication de la production qui sera multipliée par le prix du marché des biens produits.

De plus, il est une nouvelle fois demandé aux enquêtés quel sera le type d'alimentation qu'ils utiliseront (branchement particulier ou borne fontaine). En effet, il peut arriver que certains ménages changent d'avis entre l'étape de « porte à porte » et l'étape de l'enquête ménage.

Des réponses aberrantes ont été obtenues (ex : des consommations de 3000 L par jour pour un ménage de 12 personnes ou de 1000 L par jour pour un ménage de 3 personnes). Elles ont été corrigées en étant divisées par 10, une erreur de l'enquêteur étant le plus probable.

Les ménages retenus grâce à leur score sont au nombre de 65.

Des graphiques complémentaires pouvant aider à choisir d'éventuels ménages supplémentaires sont situés en annexe. En effet, après avoir sélectionné des ménages uniquement à partir de leurs scores, une vérification manuelle est effectuée afin de voir si certains ménages ne sont pas exclus car ils n'ont pas répondu honnêtement ou parce qu'ils ont mal évalué certaines réponses. Cette vérification se fait en étudiant le revenu et les biens des ménages afin de voir s'il y a des incohérences (ex : un ménage gagnant peu d'argent mais disposant de nombreux biens de forte valeur comme une voiture). De plus, certains ménages ont des scores atypiques, c'est-à-dire une volonté à payer élevée et une capacité à payer juste en dessous du seuil ou l'inverse. Ces ménages ont été récupérés et considérés comme ayant accès à des branchements privés.

Les ménages sont répartis en 4 catégories ("Aisés", "Intermédiaires", "Démunis", "Très démunis") afin de faciliter la lecture mais elles n'ont pas d'influence sur le fait qu'une personne puisse ou non bénéficier d'un branchement privé.

Le graphique 4 ci-dessous résume la répartition des branchements privés au sein de la zone.

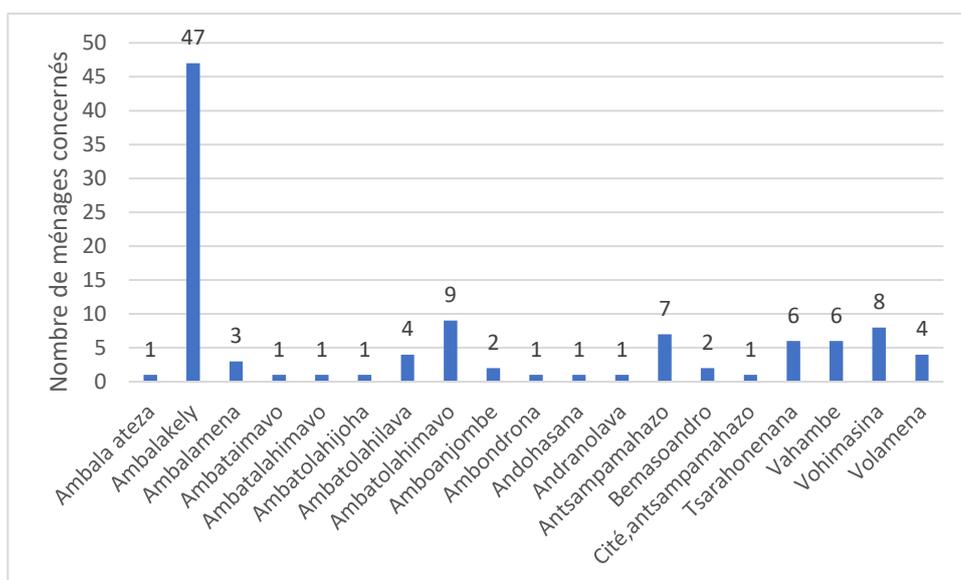


Figure 4 Répartition géographique des ménages pouvant avoir accès à des branchements privés

Les ménages éligibles à un branchement privé sont étalés sur la commune mais il est tout de même possible d'observer qu'une très grande partie des ménages est située au niveau du chef-lieu.

En ce qui concerne les « gros » consommateurs, l'hôtel consomme 1 m³ d'eau par jour uniquement en période touristique, de plus, il dispose d'un puits, il ne sera donc pas retenu en tant que « gros » consommateur. Pour la consommation de la prison, il a fallu discuter directement avec le chef de l'administration pénitentiaire de la région. D'après celui-ci, la prison pourra accueillir 900 prisonniers. Il faudra également prendre en compte les employés ainsi que les familles de ces derniers qui logeront sur place. Il est donc nécessaire de rajouter 500 personnes ce qui amène à un total de 1 400 usagers au niveau de la prison. Toujours durant la discussion, il a été demandé vers quels horaires la prison (sans compter les familles)

consommeront le plus. Les prisonniers devraient avoir accès à l'eau très régulièrement ce qui entraîne une demande uniforme durant les horaires où il y a une demande (entre 6h et 20h).

Le Centre de Santé de Base ne regroupe que très peu de lits, il n'y aura donc pas une grande consommation.

Il n'y aura pas de gros « consommateurs » dans cette zone.

2.2. Partie technique

L'objectif de la partie technique des APS est de déterminer quels seront les villages (et donc le nombre d'habitants) qu'il est possible d'alimenter, quel sera le tracé ainsi que le linéaire de canalisation qu'il faudra installer.

Dans le cadre de ce projet, il est également prévu de mettre en place un puits d'où sera pompée l'eau et installé une station de traitement sommaire. Ces ouvrages ne seront pas dimensionnés au stade de l'APS mais ils seront toutefois évoqués afin de les choisir et de déterminer certaines caractéristiques essentielles.

2.2.1. Emplacement et type de puits

Au vu de la situation de la commune, il n'est pas possible d'utiliser les sources présentes sur le territoire afin d'alimenter les villages. En effet, le débit fourni par ces dernières est insuffisant et elles sont séparées d'une grande partie du réseau par des rizières (ce point sera développé plus bas). La commune possède également des puits mais la plupart ne sont plus fonctionnels et l'eau fournie n'est pas potable.

La figure 5 ci-dessous présente les infrastructures mentionnées.

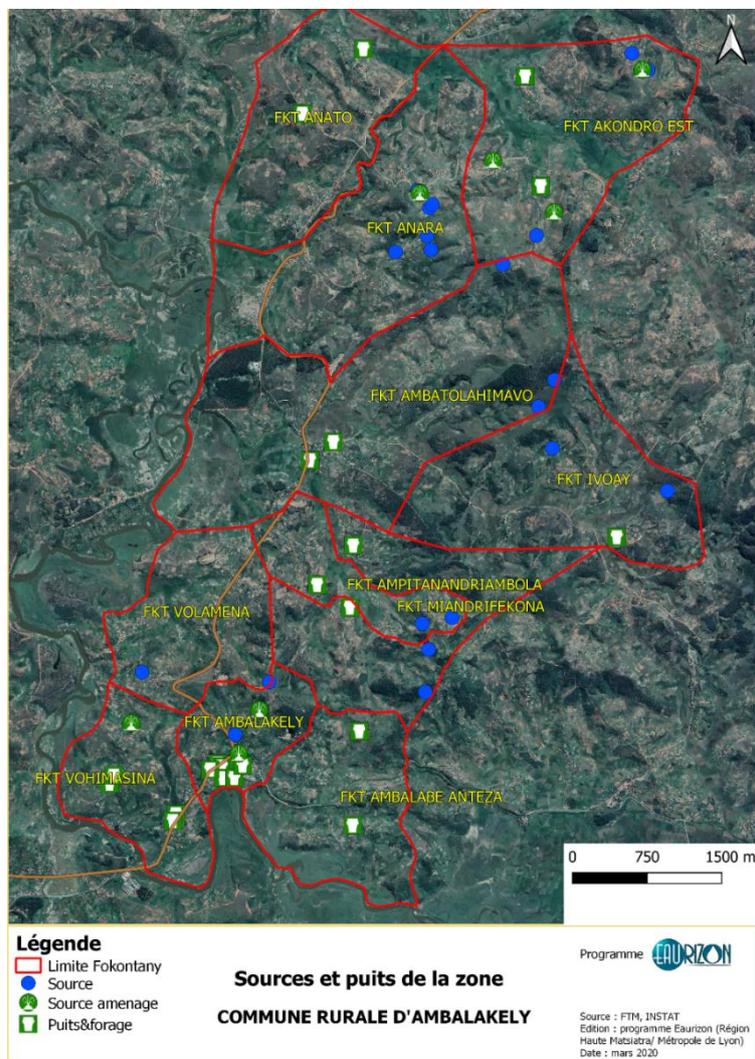


Figure 5 Les différents points d'approvisionnement en eau de la commune

La dernière solution envisageable pour l'alimentation du réseau est donc un pompage de l'eau de la Matsiatra qui s'écoule juste au Sud du chef-lieu. Cependant, l'eau de la rivière est de trop mauvaise qualité (la turbidité est beaucoup trop importante et il est possible que des éléments grossiers soient transportés par le courant) pour envisager un pompage direct dans la rivière. Le choix s'est donc porté sur la construction d'un puits proche de la rivière afin de profiter de l'action filtrante du sol.

A ce stade, il était envisagé d'installer des drains rayonnants ou des puits annexes afin de s'assurer de la productivité du puits.

La partie concernant l'étude de ce puits a été déléguée à une entreprise locale Bushproof car cette dernière possède de bonnes compétences en ce qui concerne ce type d'ouvrage et sera

présentée dans la partie de l'avant-projet détaillé. De plus, la région Haute Matsiatra a déjà travaillé avec cette entreprise.

Un premier repérage pour désigner les emplacements possibles a été fait. Ce repérage a été fait avec l'appui d'un responsable de la commune. Il a permis d'identifier un site principal situé dans une zone inondable, l'emplacement exact n'est pas encore déterminé. La zone d'implantation prévue est présentée dans la figure 6 ci-dessous sous le nom de "Zone inondable".



Figure 6 Emplacement de la zone retenue pour l'implantation du puits et celle du réservoir

Toutefois, tous ces emplacements n'étaient pas forcément tous aussi pratiques pour installer un puit. En effet, le niveau de l'eau dans le puit proche du centre de santé de base ainsi qu'à l'emplacement au Nord-Ouest de la zone inondable est très bas : 12 m en dessous du niveau du terrain naturel. Ce qui impose une pompe immergée, rend compliqué les essais de pompage ainsi que la construction des drains ou des puits annexes.

C'est pour cela que le choix s'est finalement porté sur la zone inondable. Cet emplacement permet d'installer un puits peu profond et facilite la mise en place de drains ou de puits annexes de par sa grande surface. En plus de cela, il est possible de se placer plus proche de l'eau que dans les autres cas.

Toutefois, cette zone d'implantation a aussi des inconvénients :

- Comme précisé plus haut elle est inondable, ce qui impose une protection des ouvrages en surface ainsi qu'une étanchéisation du puits afin qu'il n'y ait pas de rentrée d'eau via le dessus (cela dégraderait la qualité de l'eau et le traitement ne serait pas forcément dimensionné pour ce type de cas).
- Les femmes du chef-lieu vont laver le linge vers cette zone ce qui peut provoquer des infiltrations des produits ménagers, dégradant alors la qualité de l'eau.
- Le bétail vient régulièrement brouter dans cette zone. Il peut donc également y avoir infiltration de matière fécale ce qui va dégrader la qualité de l'eau.

2.2.2. Qualité de l'eau et filière de traitement envisagée

L'eau de la rivière est très turbide et au stade de l'APS, aucune donnée sur les autres paramètres de l'eau n'est disponible. Toutefois, il a été possible d'observer l'eau du puits du centre de santé de base et cette dernière ne présente pas d'odeur ou de couleur particulière. Elle est même très peu turbide ce qui laisse à penser qu'une décantation ou coagulation/floculation ne sera pas forcément nécessaire avant la filtration. La figure 7 présentée ci-dessous permet de se représenter la qualité de l'eau.



Figure 7 Présentation visuelle de la turbidité de l'eau, à gauche l'eau du puit du CSB, à droite l'eau de la rivière

Il sera tout de même nécessaire de faire des analyses plus poussées pour s'assurer de la qualité de l'eau. Au stade de l'APS, les ouvrages de traitement ne sont pas dimensionnés et les plans de ces derniers ne sont pas encore créés.

Au vu du contexte de la commune, la filière de traitement devra être rustique et robuste afin d'éviter une maintenance trop régulière, en effet, il n'est pas facile de trouver des personnes ayant les compétences pour s'occuper de systèmes trop complexes.

Le choix s'est donc tourné vers une filière assez générale mais qui devrait permettre de traiter la plupart des paramètres de l'eau :

- Aération suivie d'une décantation (si la turbidité est supérieure à 5 NTU), l'aération pourra se faire via une succession de cascades ou de plateaux. La décantation sera utile pour éliminer les précipités d'oxydes qui se seront formés lors de l'aération. Cette succession d'étapes a pour but d'éliminer le fer et le manganèse présents dans l'eau.
- Filtration sur sable. L'objectif de cette étape est de diminuer la quantité de matière organique présente dans l'eau. Cela va également permettre de filtrer les éléments grossiers qui auront réussi à passer la décantation. Selon les résultats de l'analyse d'eau, le choix pourra se porter sur une filtration rapide s'il n'y a pas besoin de nitrification. Si la quantité de nitrates est trop importante, il pourra être utile de mettre en place une filtration lente, en effet d'après Bernard Legube ce type de filtre permet d'abattre la matière organique mais aussi les nitrates et une partie de la pollution dues aux matières fécales. Cette action provient de la mise en place d'un film biologique sur le filtre. Pour le fonctionnement du filtre, ce dernier pourra être à encrassement simple ou avec un régulateur hydraulique juste à l'aval afin que la perte de charge engendrée par le filtre et le régulateur soit constante (Bernard Legube). Dans ce cas, la hauteur de la lame d'eau au-dessus du filtre serait constante.
- Désinfection par chloration. La production de chlore sera faite sur site. Cette étape sera facile à installer mais il sera nécessaire de prêter une attention particulière au système de dosage du chlore car il faut que le taux de traitement indiqué soit respecté. En effet, les systèmes d'injection du chlore malgaches ne semblent pas toujours très fiables (Gérer un réseau d'eau potable), un système d'alimentation à débit constant peut provoquer des mauvais dosages en cas de variations de débits arrivant à la station et un système à débit d'injection variable est plus complexe à mettre en place. Il est possible d'utiliser des pompes doseuses mécaniques (JIB Sara), il faudra toutefois prêter attention à la perte de charge que cette dernière engendre.

2.2.3. Construction du réseau et positionnement du réservoir

Le placement du réservoir a été fait en fonction de la topographie du terrain ce qui n'a pas laissé beaucoup de possibilités. En effet, la colline située juste au Nord du chef-lieu de la commune est le point idéal. C'est le point le plus haut de la zone (1190 m au maximum) et elle n'est pas trop éloignée du site de pompage (environ 1 km) permettant ainsi de limiter les pertes de charges et donc le coût de la pompe. De plus, il est possible de placer le réservoir à une altitude permettant d'avoir une pression statique dans le réseau ne dépassant pas 8-10 bars ce qui évitera la dégradation prématurée des canalisations, joints et autres équipements. Le positionnement approximatif du réservoir est présenté plus haut sur la figure 5 page 20.

Le réservoir sera implanté à une altitude de 1154 m et de forme carré. Cette forme n'est pas la meilleure pour ce type d'ouvrage mais les entreprises malgaches semblent ne pas maîtriser parfaitement les coffrages de réservoir circulaires (Gérer un réseau d'eau potable). Le réservoir sera semi enterré afin de limiter les travaux de terrassement et sa hauteur devrait être de 4 m au maximum.

Avant de commencer à tracer le réseau, une première étude très rapide des altitudes et emplacements des villages a été faite afin de savoir lesquels il serait possible d'alimenter. Cela a été fait avant le début du stage.

Les villages qui ont été écartés ne semblaient pas permettre une alimentation gravitaire à cause de leur altitude et éloignement ou étaient séparés du reste du réseau par des rizières.

Suite à ce premier repérage sommaire, le tracé du réseau a débuté. La zone présente plusieurs contraintes qui ont imposé une construction du réseau spécifique. En effet, la commune comprend un grand nombre de rizières parfois très larges (jusqu'à 200 m) qu'il était impossible de traverser. De plus, la route nationale n°7 (RN7) traverse la commune dans le sens Nord-Sud, séparant ainsi le réseau en deux. Il n'y a qu'au niveau des buses, indiquées sur la figure 8 ci-dessous, que l'on peut traverser la RN7 car les travaux à un autre endroit seraient trop complexes et nécessiteraient des autorisations.

Se rajoute à ces contraintes, la présence d'une ligne de chemin de fer dans le chef-lieu qu'il est aussi impossible de couper en l'absence de buses.

Toutes les contraintes et les buses sont indiquées sur la figure 8 ci-dessous.

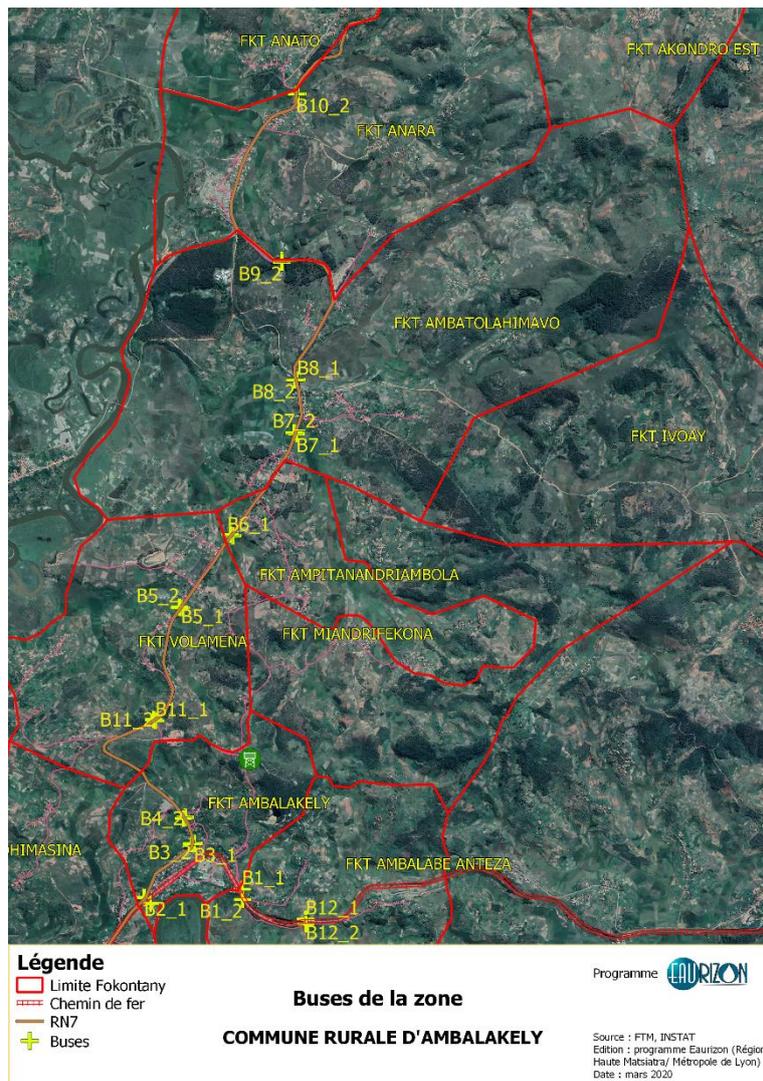


Figure 8 Emplacements des buses

Durant les APS, le réseau a été tracé puis dimensionné en fonction des contraintes citées précédemment. Bien que le repérage exclue certains villages trop éloignés ou trop hauts, il a quand même été tenté de les alimenter afin de s’assurer de la fiabilité du repérage.

Les canalisations utilisées pour la construction du réseau sont en PEHD et la pression nominale est de 10 bars. Le coefficient de Hazen-William de ces tuyaux est 135.

Les pertes de charge linéaires ont été calculées avec la formule de Hazen-William. Dans une première approximation il a été considéré que les pertes de charge singulières seraient égales à $\frac{v^2}{2g}$ avec v la vitesse dans le tronçon considérée et g l’accélération de pesanteur. Ces pertes de charge singulières seront considérées une fois pour chaque tronçon. Cette méthode est approximative mais permet tout de même de bonnes estimations des pertes de charge totales.

En première approximation, tous les calculs de pertes de charge seront faits pendant l’heure de pointe un jour de marché sur une projection à 15 ans après la mise en route du réseau afin de prendre en compte le pire cas possible. Les points d’eau utilisés à cette étape sont des bornes fontaines, sachant qu’une borne fontaine doit alimenter 200-250 personnes. Le débit utilisé pour le dimensionnement des réseaux est un débit empirique de 0,21 L/s pour chaque

borne fontaine. Dans un premier temps, ce débit sera considéré comme un débit de pointe maximal. Cela donne un débit sortant du réservoir bien plus élevé que si une approximation type norme EN805 avait été employée. En ce qui concerne le réservoir, son altitude a été considérée comme étant celle du radier prévu plus haut, c'est-à-dire 1154 m, là encore pour prendre le pire cas possible.

Une autre possibilité est d'utiliser la méthode de Tribut, toutefois, certains paramètres nécessaires au calcul ne sont pas forcément connus comme le débit spécifique par exemple.

A ce stade, différentes consommations ne sont pas considérées : la consommation des écoles, des lieux de culte. Pour ces deux points de consommation il n'est pas prévu de les alimenter directement, mais les villages alimentés où ils sont situés auront des bornes fontaines qui le permettront.

Afin de fournir une alimentation en eau correcte au niveau de l'abonné, la pression minimale qui doit être fournie est une pression de 10 mce. Elle est retenue d'après les retours d'expérience des projets antérieurs. De plus cette pression permet une plus grande latitude en ce qui concerne le choix des diamètres des tuyaux.

Le tracé du réseau obtenu pour les tests est tel que présenté sur les figures 9 et 10.

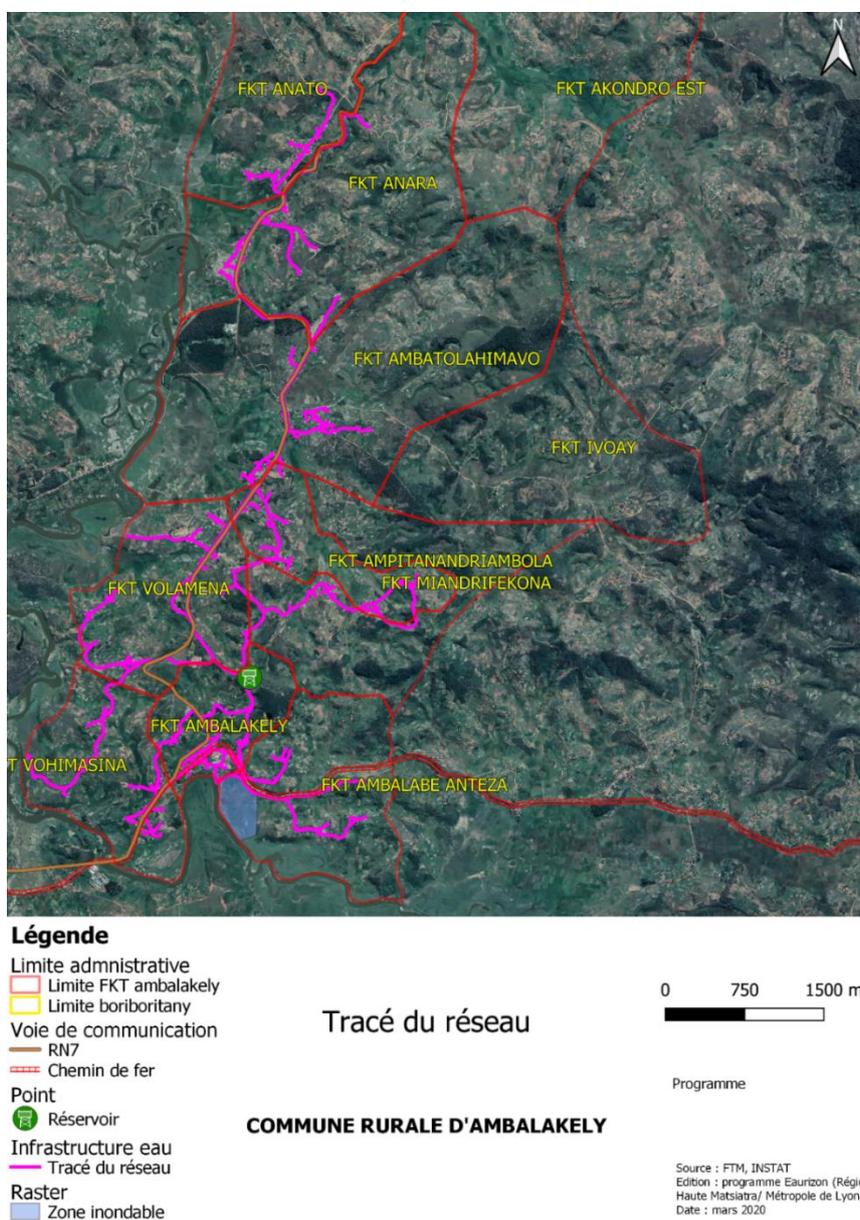
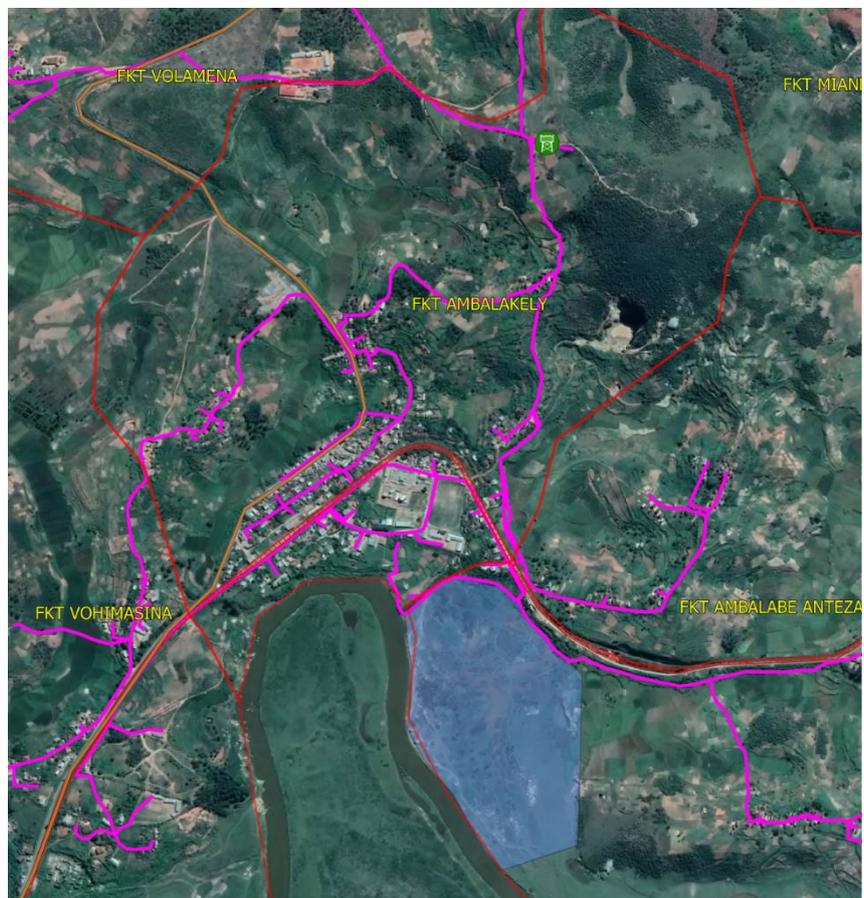


Figure 9 Tracé du réseau de la commune au stade de l'APS



Légende

- Limite administrative
- Limite FKT ambalakely
- Limite boriboritany
- Voie de communication
 - RN7
 - Chemin de fer
- Point
 - Réservoir
- Infrastructure eau
 - Tracé du réseau
- Raster
 - Zone inondable

Tracé du réseau

0 750 1500 m

Programme

COMMUNE RURALE D'AMBALAKELY

Source : FTM, INSTAT
 Edition : programme Eaurizon (Région Haute Matsiatra/ Métropole de Lyon)
 Date : mars 2020

Figure 10 Zoom sur le réseau du chef-lieu de la commune

Après avoir effectué les tests, il est apparu que les villages V18 et V60 (les villages les plus au Nord de la zone) ne pouvaient effectivement pas être alimentés à l'inverse du village V58. Cependant ce dernier ne le sera pas pour des raisons économiques.

Le premier tracé du réseau permet de se rendre compte que certains villages ne seront pas alimentés même en installant des tuyaux de grands diamètres. Les pressions aux points alimentés sont supérieures à 10 mce sauf en 2 points où la pression est aux alentours de 8,5 mce durant l'heure de pointe.

2.3. Partie financière

L'objectif de cette partie des avant-projets sommaires est d'obtenir une première estimation des coûts et bénéfices liés à l'exploitation du réseau. Cette étape permet au gestionnaire d'évaluer les bénéfices et donc d'avoir une visibilité financière sur les années à venir.

Avec un schéma pessimiste, c'est-à-dire qu'il faut chercher à diminuer les bénéfices et à augmenter les charges tout en conservant un point de vue réaliste, les fuites sont surévaluées tandis que le nombre de bénéficiaires est sous-évalué. La consommation des ménages est également sous-évaluée.

Afin d'avoir une idée réaliste des coûts et des recettes, il est nécessaire de connaître le profil socio-économique des habitants de la zone ainsi que ce qui va être mis en place dans le cadre du projet. C'est pour ces raisons que l'étude d'Avant-Projet Sommaire financière est réalisée après les deux autres.

Dans cette partie, un des objectifs est de savoir quel sera le mode de gestion qui sera retenu pour le réseau. Les différents modes de gestion sont présentés ci-dessous selon les données issues indiquées par le programme EAURIZON.

Toutefois, il est important de noter que cette partie n'a pas pu être finalisée compte tenu des circonstances (COVID 19 retardant des actions d'étude de terrain).

2.3.1. Les différents modes de gestion

2.3.1.1. La gérance (intéressée ou non)

« La gérance est un mode de gestion par lequel la collectivité va confier à une personne la gestion du réseau, le contact avec les usagers et qui va exécuter les entretiens et réparations sur le réseau, mais qui agit pour le compte de la collectivité moyennant une rémunération versée par la collectivité. La gérance peut être intéressée lorsque la rémunération intègre une part variable liée à la performance (ex. indexé sur le chiffre d'affaires).

Tous les engagements et toutes les charges sont supportés par la commune, qui pour ce faire récupère les recettes prélevées par le régisseur et qui le paie pour service rendu.

Les risques financiers sont donc pris par la commune et cela implique également d'avoir une commune dynamique et du personnel dédié dans la mesure où elle pilote grandement le processus. Pour s'assurer de la motivation du régisseur, la commune a donc intérêt à le motiver via l'intéressement aux résultats.

Le régisseur peut être appuyé par des employés permanents ou temporaires qu'il emploie lui-même et dont les rémunérations sont intégrées dans l'indemnité reçue par le régisseur par la commune.

2.3.1.2. La gestion associative avec salariés

Ce modèle a déjà été testé sur le réseau du chef-lieu de Sahambavy ou d'Alakamisy Itenina. L'association qui gère le réseau, lorsque ce dernier est dans une configuration avec uniquement des bornes-fontaines, est maintenue et recrute un ou deux salariés suivant le contexte économique anticipé sur le réseau. Le premier salarié à recruter est le responsable administratif et financier, il est indispensable dans la bonne gestion d'un réseau avec des branchements particuliers. Le 2^{ème} salarié à recruter si les finances de l'association le permettent est le technicien réseau. Son rôle est également important dans la mesure où il doit réaliser les devis lors de demande de raccordement des usagers, procéder aux raccordements, relever les factures et entretenir le réseau.

Dans ce modèle, la commune a pour mission de contrôler le gestionnaire et de s'assurer que le contrat est bien exécuté que le service est bien rendu. La gestion financière est assurée par le gestionnaire, la commune ne reçoit que les taxes et redevances fixées dans le contrat.

Les rôles majeurs au sein de l'association sont occupés par les salariés. L'association peut les motiver aux résultats pour les impliquer plus fortement dans la nécessité de bien gérer le réseau et bien recouvrir les factures des usagers.

2.3.1.3. La gestion avec micro fermier local

Dans ce modèle, le gestionnaire est un petit opérateur local structuré sous la forme d'une entreprise. La commune lui délègue par contrat la gestion technique et financière du réseau. Charge à lui de s'organiser pour gérer au mieux le réseau en recrutant les salariés ou prestataires dont il a besoin. Il se rémunère directement sur les recettes du service. Le niveau de ses bénéfices dépend directement de sa capacité à être performant sur les tous les aspects de la gestion (technique, financière, commerciale).

Le tableau 3 ci-dessous résume différents points de chaque mode de gestion.

Tableau 3 Tableau récapitulatif des différents modes de gestion envisageables

Thématiques	La gérance (intéressée ou non)	La gestion associative avec salariés	La gestion un avec micro fermier local
Pilote de la gestion	La commune	Le bureau de l'association	Le fermier
Responsable de la gestion quotidienne	Le régisseur	Les salariés de l'association	Le fermier
Gestion des aspects financiers (avec l'épargne)	La commune	Le bureau de l'association	Le fermier
Instance en charge du contrôle du gestionnaire	Le Ministère de l'Eau	La commune	La commune
Instance en charge du contrôle financier	Le district	La commune	La commune

Thématiques	La gérance (intéressée ou non)	La gestion associative avec salariés	La gestion un avec micro fermier local
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Maitrise de la stratégie sur la gestion pour la commune sur un service public essentiel - Charge financière faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Maintien de la forme associative permettant la bonne implication des usagers et un bon dialogue entre les différentes parties 	<ul style="list-style-type: none"> - Charges financières moindres - Forte responsabilisation du gestionnaire - Profil de petit fermier existant sur la Région
Risques	<ul style="list-style-type: none"> - Possible populisme de la commune pour s'assurer la satisfaction des usagers qui sont aussi des électeurs - Gestion financière pouvant être trouble (recettes réinvesties sur un autre réseau voir même sur un autre secteur) - Détournement du régisseur qui pourrait ne pas reverser toutes les recettes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rémunérations des membres du bureau pouvant être lourdes en termes de charges. - Laxisme du bureau vis-à-vis des « mauvais payeurs » - Structure un peu lourde ne facilitant pas la prise de décision 	<ul style="list-style-type: none"> - Motivation d'un opérateur local à se lancer - Marge de manœuvre assez faible pour la commune pour influencer sur les orientations stratégiques. - acceptation sociale non garantie

Pour choisir le mode de gestion, il faut déterminer les coûts et les recettes, là encore en envisageant un scénario pessimiste. » Programme Eaurizon

2.3.2. Recettes envisagées

Les recettes proviendront de la vente de l'eau suivant les tarifs prévus par les différents types de service. La répartition anticipée des ménages sur les différents services proposés a déjà été exposée dans le volet socio-économique de cet avant-projet sommaire.

2.3.2.1. Les niveaux de consommation

Les niveaux de consommation anticipée ne sont pas issus des analyses réalisées lors de l'enquête socio-économique. Même si le réseau a été dimensionné par rapport à ces enquêtes, il serait trop optimiste de penser que le passage à une consommation volumétrique n'impacte pas à la baisse les volumes d'eau consommés. Le parti pris est donc de prendre une consommation journalière de :

- 25 litres par jour par habitant sur les branchements privés,
- 14 litres par jour par habitant sur les branchements partagés et les branchements institutionnels
- 18 litres par jour par habitant sur les points d'eau collectifs,
- 1 litre par jour d'école par écolier

Les consommations utilisées selon le type de branchement sont issues des retours d'expérience des différents projets effectués par le passé.

Il faut également noter que ces différentes consommations sont sous-évaluées, ainsi, lors des étapes de modélisation, des consommations supérieures seront utilisées.

En ce qui concerne les « gros consommateurs », à savoir la prison et le marché, il a été considéré que le volume consommé par prisonnier est de 25 L par jour et que la borne fontaine du marché devra fournir 4000 L d'eau par jour.

2.3.2.2. La tarification

Pour permettre l'accès à tous au service d'eau potable, différents tarifs seront instaurés en fonction de la qualité de service dont bénéficie le ménage ou l'entreprise. Le tarif aux points d'eau collectif sera donc plus accessible pour permettre aux plus démunis l'accès au service.

La tarification peut inclure une part fixe et une part variable ou n'avoir qu'une part variable. Pour faciliter la construction du plan d'affaires, le choix s'est porté sur un tarif avec une part variable uniquement.

La tarification choisie habituellement dans ce modèle est la suivante :

- Point d'eau collectif : 1000 ar le m³ dont 200 ar de part fontainier
- Branchement partagé : 850 ar le m³
- Branchement équipements collectifs : 850 ar le m³
- Branchement privé : 1100 ar le m³
- Gros Consommateur : 1050 ar le m³

Une augmentation annuelle de 3% des tarifs est préconisée sur tous les points d'eau sauf sur les PEP qui, pour des raisons pratiques, il est conseillé de modifier le tarif pour tomber sur des chiffres facilement payables par les usagers.

En fonction des niveaux de consommation de chacun et de la taille moyenne des ménages, la facture moyenne d'un ménage pour la première année devrait être de :

- 3 630 ar/mois soit 43 560 ar/an pour un branchement particulier
- 1 797 ar/mois soit 21 564 ar/an pour un branchement partagé
- 1 983 ar/mois soit 23 796 ar/an pour un point d'eau collectif

2.3.3. Les charges anticipées

Le gestionnaire supportera différentes charges dans le cadre de sa mission. Elles se répartissent en 3 grandes catégories (charges d'exploitation, d'amortissement et impôt, taxes et redevance). Il est anticipé une augmentation des charges d'exploitation et d'amortissement de 4% chaque année pour accompagner l'inflation.

Vu la taille assez importante du réseau, le fermier ne devrait pas avoir à faire de trop grands compromis au niveau de la gestion. L'estimation des charges a été réalisée suite aux différentes expériences de gestion similaire dans la Région.

Dans le type de contrat utilisé pour ce projet, le fermier aura une part d'investissement à fournir. Pour compenser cela, la durée du contrat sera de 15 ans. Il lui sera fourni le matériel et le stock nécessaires au démarrage de l'exploitation du réseau. Les compteurs lui seront également donnés sur la base des estimations sur le nombre nécessaire sur la durée du contrat.

Le tableau 4 suivant regroupe un exemple des différents postes de dépenses que le fermier aura à prévoir. En effet, cette partie n'a pas pu être traitée correctement, des corrections seront donc à prévoir dans le futur.

Tableau 4 Explication des postes de dépenses

Charges d'exploitation	
Réparations et maintenance réseau	Le réseau sera neuf au début de la gestion. Les pressions étant raisonnables (pas de suppressions anticipées), le gestionnaire ne devrait pas avoir beaucoup de charges sur les premières années.
Loyer bureau	Dans une commune comme Ambalakely, les charges locatives sont très faibles.
Fournitures de bureau	L'édition des factures est la principale dépense sur ce poste et notamment l'achat des cartouches d'encre.
Communication	Il ne sera pas nécessaire d'avoir des frais de communication élevés (téléphone, courrier)
Énergie	Ce poste représente les dépenses en électricité. La commune est alimentée par un réseau de la Jirama, il sera donc possible de s'y raccorder.

Déplacement / transport	Les frais de transport sont programmés pour un voyage par semaine sur Ambalavao et un par mois pour Fianarantsoa.
Analyse qualité	Une analyse par an est programmée. Un accord de partenariat avec l'université devrait permettre d'avoir des coûts modestes.
Frais administratifs	Cela inclut tous les frais que le gestionnaire serait amené à payer vis-à-vis de l'administration (commune, impôts, chambre de commerce...)
Charges diverses	Toutes autres charges non anticipées
Rémunération du personnel	Cela comprend les salaires et indemnités du personnel. Il est prévu un salaire de 240 000 ar / mois pour le gérant, une indemnité de 150 000 ar pour le technicien, une de 37500 ar par mois pour son assistant qui l'aidera notamment pour les raccordements des ménages, une de 50 000 ar pour le gardien et enfin une part fixe de 10 000 ar / mois pour chaque fontainier.
Intéressement variable des fontainiers	Les fontainiers seront également intéressés aux volumes d'eau vendus. L'intéressement est fixé à 200 ar le m3.
Cotisations employeur	Le gérant et le technicien plombier auront un véritable salaire et seront donc soumis à la CNAPS et à l'OSTIE
Charges d'amortissement	
Impayés	Il est programmé un taux d'impayés de 5%
Impôt, taxes et redevances	
Taxe communale	La taxe communale est fixée à 10 % au total. Dans le détail, différentes taxes prévues par les canevas du Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène seront instaurées.
Impôt sur les bénéfices (20%)	L'impôt sur les bénéfices est de 20 %. – Le calcul se base sur le minimum de perception de 320 000 ariary par an

2.3.4. Le plan d'affaires

Pour le plan d'affaires, l'hypothèse d'un contrat de 15 ans avec investissement de la part du fermier est retenu. Il pourra être modifié selon le choix final de la commune. Les tarifs devraient augmenter à partir de la 5^{ème} année d'exploitation.

En plus des recettes, il est également calculé la valeur nette actualisée permettant de déterminer si le projet est rentable. Il est également possible de calculer un taux de rendement interne qui déterminera à partir de combien d'années ce projet sera rentable.

3. Etudes d'Avant-Projet Détaillées

Après la phase d'avant-projet sommaire, il est important de préciser les calculs car les ouvrages et le réseau seront construits d'après ces calculs. Pour cette étape, seule la partie technique est plus poussée qu'à l'étape précédente.

Durant la phase d'Avant-Projet Détaillée, une rencontre sur le terrain a été effectuée avec l'entreprise sous-traitante afin de pouvoir préciser quelle serait la zone où l'étude du forage sera menée.

Il a fallu leur présenter la zone ainsi que leur indiquer des précisions concernant les inondations.

3.1. Présentation de l'entreprise sous-traitante

L'entreprise mobilisée dans le cadre de ce projet se nomme Bushproof. Il s'agit d'une entreprise présente à Madagascar depuis 2005. Cette entreprise traite de nombreux domaines tels que l'hydrogéologie, l'adduction d'eau potable et le traitement de l'eau (Site internet de Bushproof). Cette entreprise connaît donc très bien le contexte local, et a déjà été amenée plusieurs fois à travailler avec le programme de coopération de la région Haute-Matsiatra.

3.2. Présentation du terrain à l'entreprise sous-traitante

Bushproof, les sous-traitants de cette partie de l'étude, sont venus sur la commune afin de pouvoir se rendre compte de la disposition de la zone.

Lors de l'inspection de la zone, il est apparu que la zone prévue a une épaisseur variable et qui est maximale près de la rivière. Il serait alors préférable pour la productivité du captage de placer le puits vers la rivière.

Après discussion avec eux, il a été décidé de placer le puits près de la rivière et du promontoire. La figure 11 suivante présente l'emplacement qui sera étudié pour le puits ainsi que la localisation prévue du local pour l'exploitant. Ce choix d'emplacement nécessitera tout de même des aménagements de terrain ainsi qu'une discussion avec le propriétaire du terrain où sera implanté le bâtiment d'exploitation. D'après le responsable du cadastre de la commune, cela ne devrait pas poser de problèmes.



Figure 11 Emplacements étudiés pour le puits ainsi que le bâtiment d'exploitation

Les problèmes rencontrés lors du choix des emplacements du local et du puits sont les suivants :

- La différence d'altitude entre le niveau habituel de l'eau et le sommet du promontoire où sera placé le local est trop importante (environ 8-10 m) pour y placer une pompe
- Une partie des femmes du village lave le linge juste en amont du point de captage ce qui pose problème vis-à-vis d'éventuelles pollutions de l'eau.

Afin de résoudre ces problématiques, il a été proposé que :

- Le terrain où sera implanté le local sera terrassé afin de diminuer la hauteur de ce dernier pour que la différence d'altitude soit plus faible afin de permettre à la pompe de fonctionner correctement.
- Un lavoir sera installé juste à l'aval du promontoire afin d'inciter les habitantes à faire leur lessive à l'aval du captage afin de ne pas engendrer de contamination.

Après avoir étudié ces options, l'entreprise a commencé à mener une étude concernant la conductivité du sol de la zone afin d'avoir une 1^{ère} analyse de l'état du sol.

Il a également été prévu 2 options différentes pour placer la pompe, soit directement sur le promontoire du local soit sur une plateforme qui s'avancera au-dessus du puits et où la pompe sera installée. Chacune des 2 solutions proposées devra prendre en compte les inondations régulières.

En plus des discussions à propos des emplacements prévus, l'entreprise en a profité pour faire des premières analyses de l'eau dans certains puits (relevé de la conductivité, du pH, de la température). Il est apparu que l'appareil utilisé était mal calibré, ces premiers relevés sont donc à prendre avec précaution.

3.3. Puits et bâtiment d'exploitation

3.3.1. Puits

Dans un premier temps, l'étude de Bushproof a abouti à 2 solutions possibles pour le type de puits, une solution avec des drains et une constituée uniquement d'un captage foré.

Solution numéro 1 : Captage avec drains horizontaux

Voici ce que Bushproof indique concernant cette solution :

« Une option adaptée à l'épaisseur des dépôts en place est la mise en place d'une galerie drainante. Il s'agit d'un drain horizontal construit pour exploiter des eaux souterraines peu profondes. C'est un ouvrage utilisé pour extraire l'eau d'alluvions, de dépôts d'altération et de lits de rivières sableuses, lorsque la couche productive est trop fine pour être exploitée adéquatement par un captage vertical. Un exemple typique est la vallée alluviale avec une fine couche productive recouvrant la roche en place, imperméable.

L'ouvrage est construit en creusant une tranchée de quelques mètres de profondeur dans la nappe phréatique, en considérant sa piézométrie d'étiage. Un tuyau de drainage est ensuite placé dans la tranchée et entouré d'un massif de gravier propre avant d'être remblayé. L'objectif est de créer une zone ayant une perméabilité plus grande afin de drainer l'eau de l'aquifère. Un puits de captage, à partir duquel l'eau est pompée, est mis en place à l'une des extrémités de la tranchée.

La galerie drainante est dimensionnée de manière spécifique. L'ouverture des crépines doit permettre des vitesses d'entrée de l'eau ne dépassant pas 0.03 m/s en exploitation, et de recouper une section assez large de l'aquifère. Les crépines doivent aussi être placées plus bas que le niveau piézométrique d'étiage (et niveau d'étiage de la rivière). Sur le site, un ouvrage de 4 m de profondeur et 20 m de longueur est envisagé. Quatre drains crépinés (longueur : 20 m, diamètre : 75/64 mm, ouverture : 5.5%) seront installés et entourés d'un massif de graviers 15/25 mm propre, de perméabilité plus grande que l'aquifère lui-même afin d'augmenter les vitesses de l'eau dans la galerie. Le massif drainant sera protégé par du géotextile avant remblayage de la zone. Le puits de captage sera cuvelé par des buses perforées (04) et non-perforées (03) de 1.0 m de large, et sera placé à proximité du relief terminant la zone alluvionnaire de la rive droite au nord, offrant une situation parfaite pour placer le matériel de pompage au sec en toute saison. Le puits de captage (6.5 m) sera plus profond que le drain le plus bas (4.0 m). La prise d'eau de la pompe sera placée à profondeur adéquate à l'intérieur du captage et sera protégée. La tête de puits sera étanche afin de ne permettre aucune

infiltration dans l'ouvrage durant les crues. » *Etude conception captage et pompage_AmbalakelyEaurizon_2020*, Bushproof, 2020

Le plan du captage associé à cette solution est présenté sur la figure 12 ci-dessous :

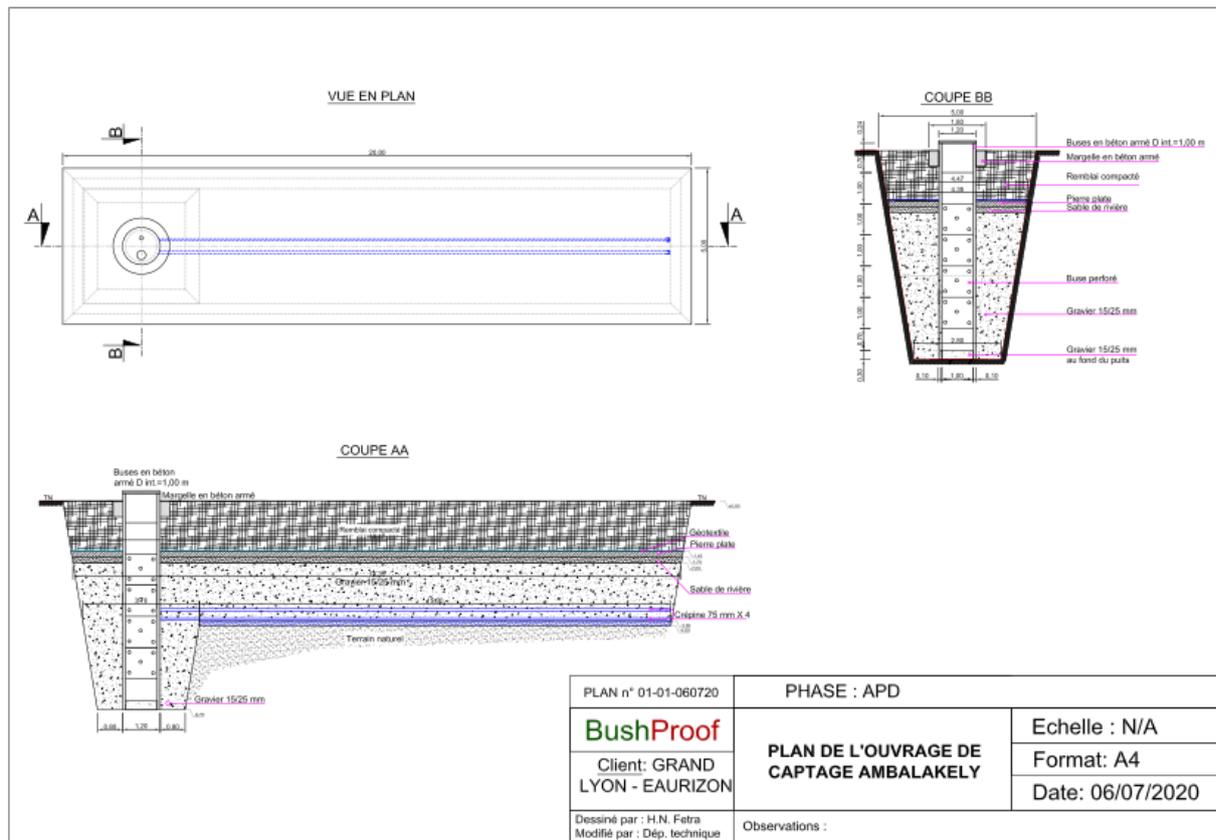


Figure 12 Plan de l'ouvrage de captage envisagé dans le cas d'un captage avec drain

Solution numéro 2 : Captage foré

Voici ce que Bushproof indique concernant cette solution :

« Il semble envisageable de mettre en place un captage vertical peu profond, avec une partie captante permettant de reprendre les écoulements dans la partie de sable propre entre 2 et 4 m de profondeur. L'ouverture de la partie captante est définie de manière à permettre le transit des volumes d'eau nécessaires et mobilisables dans l'aquifère, à une vitesse adaptée (maximum 0.03 m/s). L'ouvrage devra permettre la production maximale sur le site, tout en restant efficace (performances de plus de 70%). Le puits devra être complet, reprenant toute l'épaisseur des alluvions, et la partie superficielle de la roche en place. L'ouvrage de captage final sera protégé d'abord par une tête de puits métallique avec plaque boulonnée et imperméable (pas d'infiltration dans l'ouvrage durant les crues), puis par un box en dur venant coiffer l'ouvrage et le protégeant durant les crues.

Les caractéristiques et le plan d'un ouvrage adapté sont présentées ci-dessous :

- Equipement PVC 200/177 mm, permettant exploitation par un groupe de pompage d'un diamètre de 6''.
- Crépine PVC 200/177 mm, 6.5 m de crépine permettant l'entrée de 25 m³/h à une vitesse adéquate.
- Puits complet, captage des couches supérieures et des écoulements au contact.

- Chambre de pompage.
- Tête de puits étanche. » *Etude conception captage et pompage_AmbalakelyEaurizon_2020*, Bushproof, 2020

Le plan du captage associé à cette solution est présenté sur la figure 13 ci-dessous :

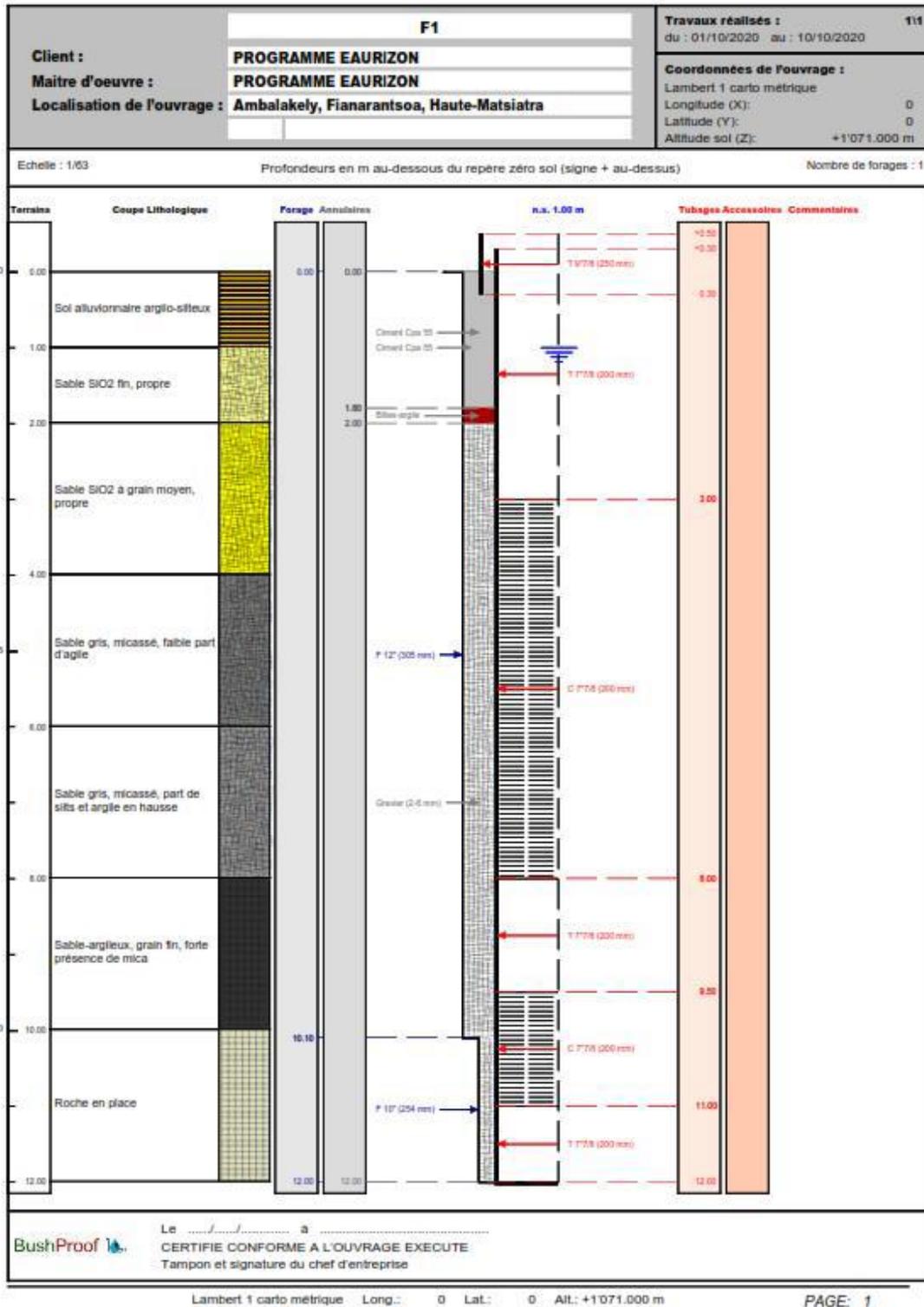


Figure 13 Plan de l'ouvrage de captage envisagé dans le cas d'un captage foré

Après l'exposition des 2 solutions, il sera nécessaire de choisir quelle sera la solution qui sera retenue. Toutefois, il manque différents éléments nécessaires au choix : notamment le nombre de drains dans le cas du captage à drain, en effet, sur la solution il n'en est présenté qu'un seul mais plusieurs drains sont évoqués dans les explications.

Parmi les points pouvant aider à choisir entre les deux solutions, il y a le coût et la facilité de réalisation. Dans le cas d'un captage à drain, il faudra prendre en compte la charge qui pourra passer au-dessus et qui pourrait parfois faire s'écrouler le drain.

Dans les deux cas il faudra imposer une zone de protection du captage. Le périmètre de protection fera 50 m de diamètre, aucune activité ne pourra avoir lieu à l'intérieur de ce périmètre. Le passage de véhicules devra être réglementé près du captage mais cela ne devrait pas poser de problème à part pour le chemin situé juste à l'Est du captage qui devra être fermé à la circulation. Cette fermeture n'aura pas un grand impact compte tenu que la circulation sur ce chemin est déjà très réduite. Les femmes du chef-lieu ne devront plus laver leur linge à l'amont du captage. Pour les inciter à se positionner à l'aval du captage, il est envisagé de construire un lavoir juste à l'aval du promontoire où sera positionner le bâtiment d'exploitation.

3.3.2. Bâtiment d'exploitation

Afin de protéger le matériel, il sera nécessaire de construire un bâtiment d'exploitation. Ce dernier a aussi été étudié par Bushproof et là encore, 2 options ont été proposées parmi lesquelles un choix sera nécessaire.

La grosse différence réside dans l'emplacement de la pompe : la première option propose de placer une pompe de surface centrifuge dans le bâtiment d'exploitation tandis que la deuxième option utilise une pompe immergée. Là encore, l'étude de Bushproof est présentée directement.

Option 1 : Pompe de surface

« La pompe de surface sera de type centrifuge, horizontale ou verticale, et sera installée dans le local technique, lequel est placé le plus bas possible sur le site afin de limiter la différence d'élévation avec le captage, tout en restant plus haut que les niveaux de crue moyens connus. La partie aspiration, d'une longueur de 20 m, sera enterrée et fixée et la prise d'eau placée dans le puits à une profondeur de 6 m sous le sol. »

La figure 14 ci-dessous présente une vue en coupe du système :

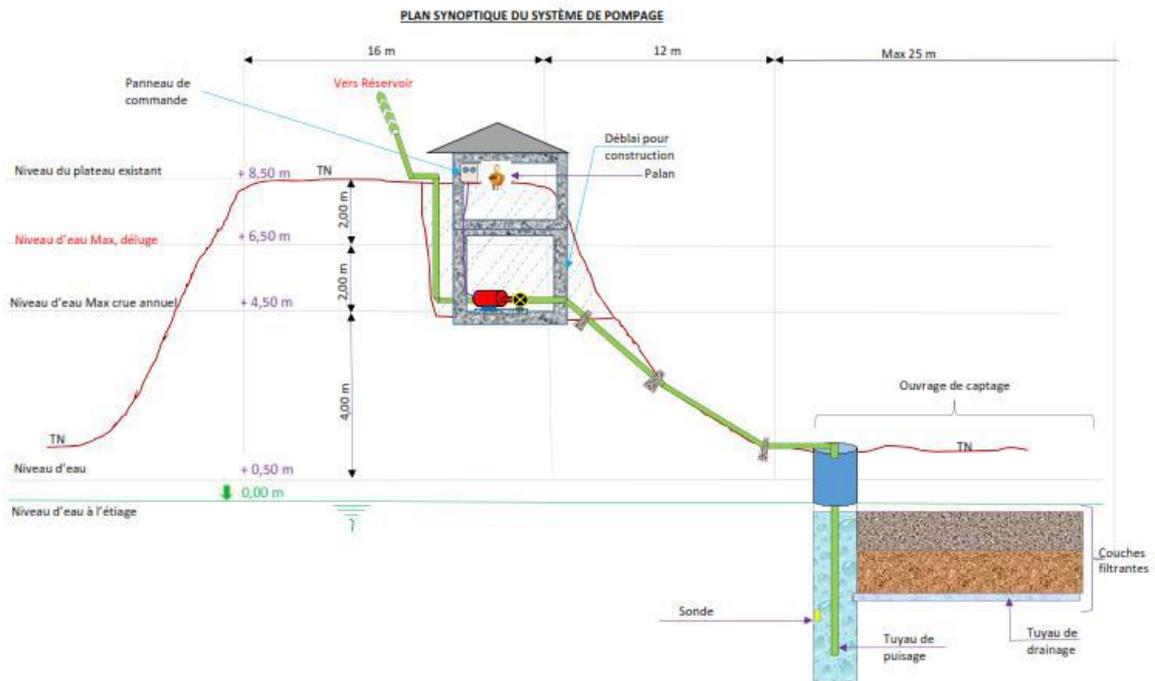


Figure 14 Plan du système de pompage dans le cas d'une pompe de surface (source : Bushproof)

« La différence de niveau entre l'entrée de la pompe et le niveau d'eau en exploitation (6 m), la longueur et le type de conduite (tube galvanisé 3" ou 80/90 mm, 20 m), les accessoires installés sur la conduite d'aspiration (clapet, coudes et vanne), l'altitude du site et les caractéristiques du fluide pompé (eau, 20°C, pression de vapeur : 2.4 kPa) permettent de caractériser le système et sélectionner une pompe adéquate. [...]

L'avantage du système est que la pompe est placée au-dessus du niveau de la rivière, accessible facilement pour les opérations de maintenance. Le désavantage est que l'efficacité du système est tributaire des variations de niveau d'eau, si celui-ci descend trop bas, le système ne fonctionnera plus. » *Etude conception captage et pompage_AmbalakelyEaurizon_2020*, Bushproof, 2020

Comme il est possible de le voir sur le plan de cette solution, un système sera mis en place pour soulever la pompe en cas d'inondation trop importante. Le niveau d'eau des crues annuelles ne devrait pas atteindre la station mais avec le changement climatique les événements extrêmes verront leur fréquence augmenter. C'est en prévision des événements extrêmes que le système pour élever la pompe est prévu. Une vanne permettra de bloquer l'eau pour éviter qu'elle ne retourne dans le captage.

En ce qui concerne le NPSHd et le NPSHr, ces deux paramètres ont été étudiés. D'après l'étude de Bushproof, le NPSHr de la pompe ne devra pas dépasser 1,32 m. La note de calcul de l'entreprise peut être trouvée en annexe 3 tout comme le plan de masse de cette option.

Option 2 : Pompe immergée

« La pompe submersible sera installée dans le captage, à profondeur adéquate dans la chambre de pompage, et de manière à assurer un refroidissement correct de son moteur. La conduite de refoulement sera-enterrée et fixée, et passera par un local technique implanté

sur le haut du relief, dans lequel les commandes et accessoires d'exploitation seront installés. »

La figure 15 ci-dessous présente une vue en coupe du système de pompage.

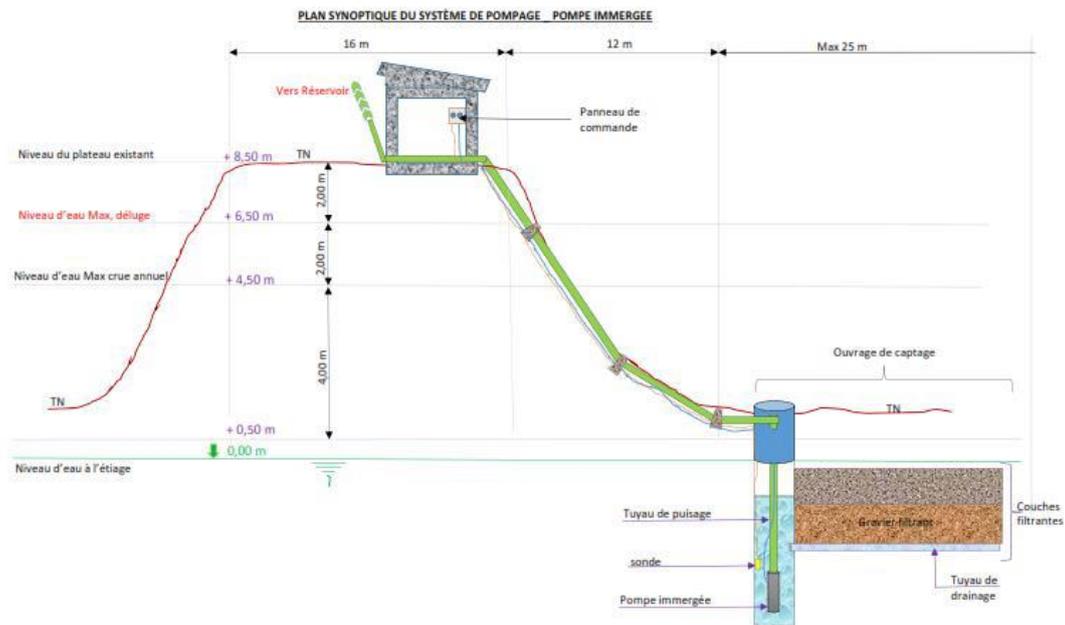


Figure 15 Plan du système de pompage dans le cas d'une pompe immergée (source : Bushproof)

« L'avantage du système est qu'il est plus simple que la mise en place d'une pompe de surface. Désavantages : la pompe n'est pas accessible facilement en cas de problème technique, particulièrement en saison de hautes-eaux. Les maintenances éventuelles ne pourront se faire qu'en saison sèche, ou lorsque la tête de puits est accessible. Un autre désavantage est l'efficacité du moteur qui est moindre que le moteur d'une pompe de surface (plus d'énergie consommée à production égale). » *Etude conception captage et pompage_AmbalakelyEaurizon_2020, Bushproof, 2020*

Le choix entre les 2 solutions sera fait après avoir demandé des précisions au sous-traitant. En effet, certains points, tel que la présence d'un ballon anti-bélier, doivent encore être clarifiés.

3.4. Topographie et altitudes

Les simulations des études d'avant-projet sommaires ont permis d'avoir le tracé du réseau ainsi qu'une première estimation des pressions observées en différents points de ce réseau. Toutefois, il y a des imprécisions, notamment au niveau des altitudes des différents points du réseau. Pour obtenir des données plus précises que les valeurs utilisées précédemment qui provenaient de Google Earth, une campagne de topographie a été menée par les 2 étudiants qui avaient déjà assuré l'enquête ménage et le « porte à porte ».

Ce relevé de topographie a été réalisé à l'aide d'un niveau optique, ce qui permet d'avoir – un faible taux d'erreurs au prix d'un temps de relevé très long. L'échelle (perche graduée) utilisée pour faire ce relevé a toutefois une précision assez faible qu'il sera nécessaire de prendre en compte au vu du nombre de relevés. Il a fallu 2 semaines afin de faire le relevé de tout le tracé (soit environ 30 km de réseau).

Cette campagne de topographie a permis d'obtenir les profils topographiques présentés sur les figures 16, 17 et 18 ci-après.

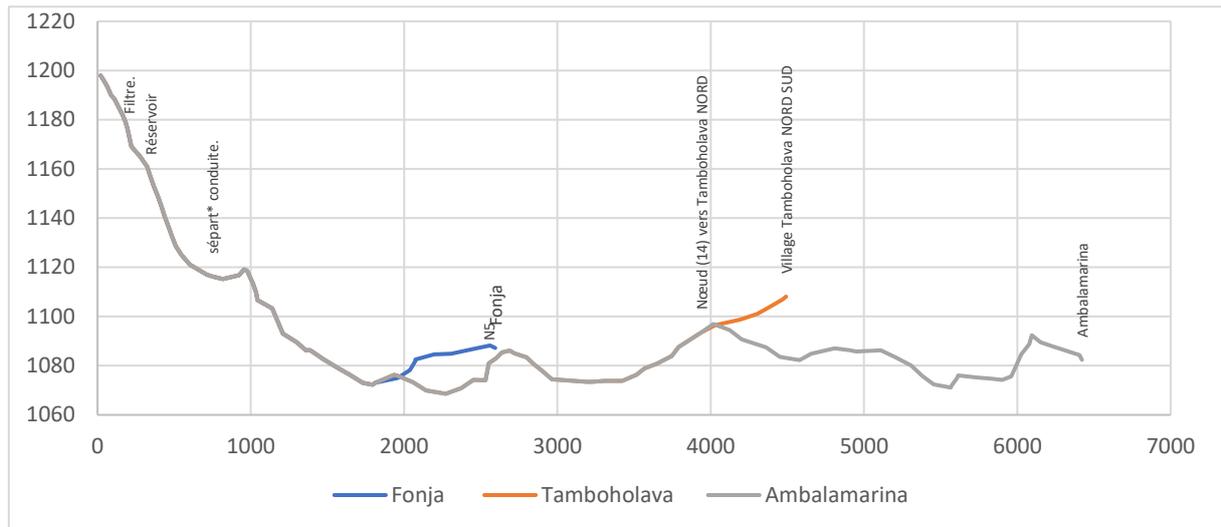


Figure 16 Profil altimétrique d'une partie du tracé de la zone Nord (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

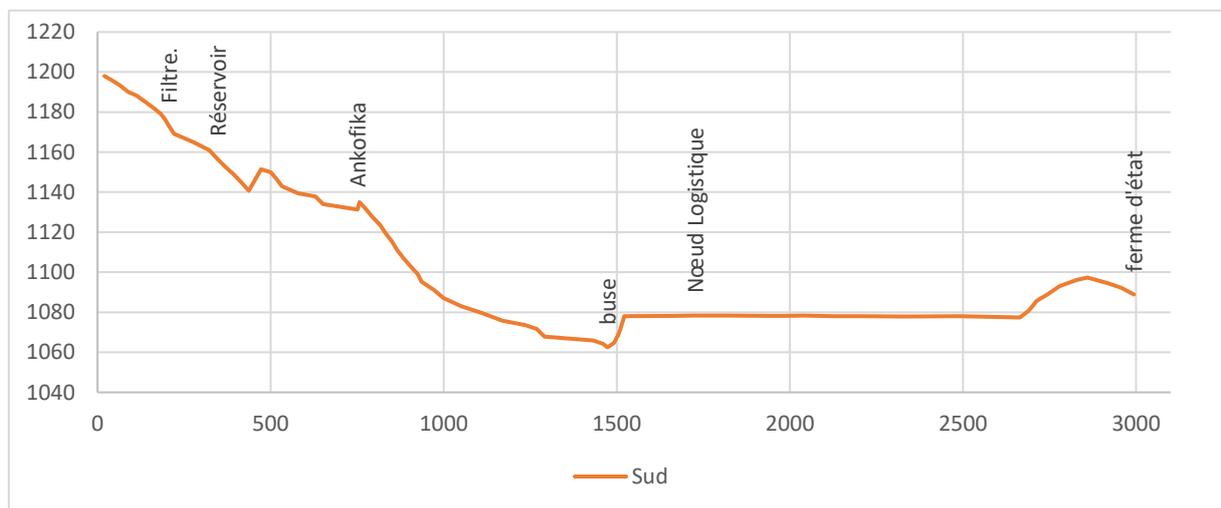


Figure 17 Profil altimétrique du tracé de la zone Sud jusqu'à la ferme d'état (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

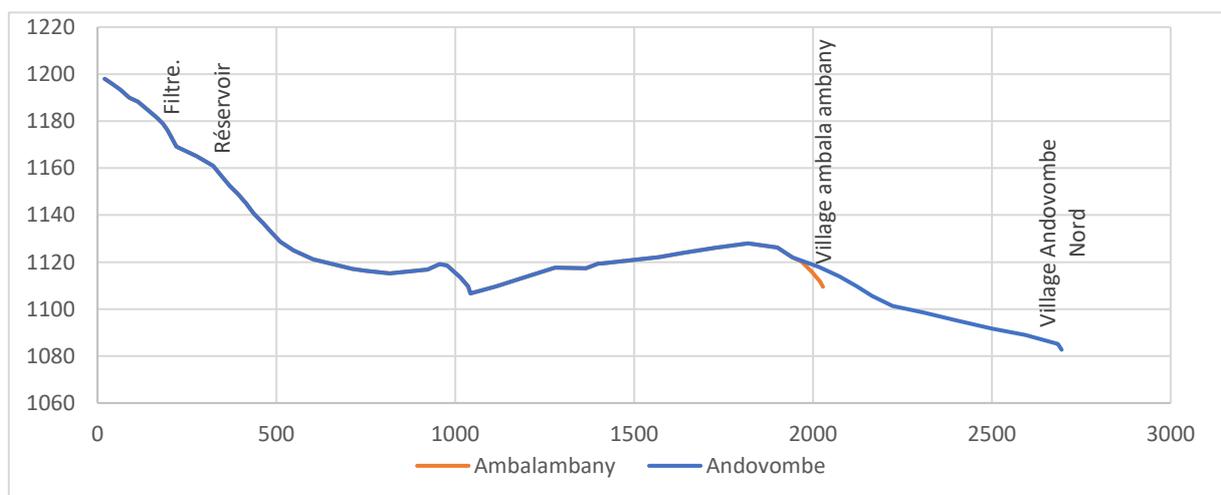


Figure 18 Profil altimétrique du tracé d'une partie du réseau Ouest (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

D'autres profils altimétriques seront placés en annexe 4.

L'intérêt de cette topographie est de permettre de mieux connaître le tracé du réseau. En effet, il était possible de passer par certains endroits d'après les responsables de la commune mais lors de la topographie, il a fallu modifier légèrement le tracé du réseau. En plus de cela, certains villages ne sont plus alimentés. Le nouveau tracé est présenté sur les figures 19 et 20 ci-dessous.



Figure 19 Raccourcissement du réseau au niveau du Sud-Ouest de la commune

Les endroits qui ne sont plus alimentés ne regroupaient pas assez d'habitants pour qu'ils soient retenus dans le projet.



Figure 20 Modification du réseau près de l'emplacement du réservoir

Cette modification est due à un changement d'emplacement d'une buse.

La longueur de tuyau rajoutée étant relativement faible, cela ne devrait avoir que peu d'impact sur les pertes de charge. De plus la séparation, plus en amont qu'initialement des deux tuyaux de la partie Nord-Ouest, entrainera une diminution du débit et donc des pertes de charges linéaires plus faibles. Les coûts ne seront pas non plus significativement impactés.

Les modifications observées ne devraient pas avoir un gros impact, en effet, la modification au niveau du chef-lieu rajoute uniquement 30 m de réseau, dans une zone proche du réservoir où les pressions sont situées aux alentours de 50-70 mce. Il faudra toutefois déplacer légèrement une borne fontaine car il sera alors impossible de l'alimenter (ce déplacement se fera sur une distance de 30-40 m environ). Un autre changement a dû être mis en place proche du réservoir au Nord-Ouest. Ce changement est dû à un problème lié à une buse. Les responsables avaient indiqué la présence de 2 buses proches alors qu'il n'y en avait qu'une

seule. Ce changement rajoute quelques dizaines de mètres de tuyau pour la partie Ouest et la partie Nord du réseau. La partie Ouest ayant des pressions suffisantes, cela aura un impact minime sur cette partie. En ce qui concerne la partie Nord, la buse marque une séparation en 2 canalisations, l'une partant alimenter la zone vers la prison et l'autre continuant vers le Nord. La modification effectuée rajoute quelques dizaines de mètres de réseau mais permet de séparer la canalisation principale plus rapidement, ce qui devrait donc permettre une augmentation globale des pressions de la zone Nord. Il faudra tout de même vérifier cela lors des simulations.

3.5. Simulations du réseau

Après un premier calcul sur Excel afin d'obtenir une évaluation des pressions, l'utilisation d'un logiciel de simulation (Porteau) a été ensuite indispensable. Porteau présente l'avantage d'être simple d'utilisation pour la complexité des réseaux mis en place dans le cadre du programme Eaurizon. De plus, certains membres de ce programme ont déjà utilisé ce logiciel et sont donc familiers avec son emploi.

Pour passer de QGis à Porteau, un simple export a été fait afin d'obtenir rapidement les tronçons du réseau ainsi que les nœuds, cette méthode permet également de limiter le risque d'erreur.

Vu que le choix de la pompe est déterminé par le sous-traitant, elle ne sera pas étudiée dans la modélisation et sera remplacée par un lac ayant un débit maximum très élevé ainsi qu'un volume prélevé journalier maximum très élevé. Ce lac sera suivi d'un limiteur de débit :

- qui simulera la pompe en limitant le débit à la même valeur que celui qui devra être fourni par la pompe,
- il réduira le débit à une valeur extrêmement faible lorsque la pompe est sensée être à l'arrêt (cela permet d'éviter d'obtenir des résultats « étranges »).

Le réservoir de forme carrée (cette forme est la plus adaptée aux conditions malgaches bien qu'il serait préférable de mettre en place un réservoir cylindrique) a une surface de 50 m² et une hauteur de 4 m.

En plus de cela, le réseau a été épuré afin d'apporter plus de lisibilité et de permettre de mieux se représenter son tracé final. Les parties qui ne sont pas prises en compte sont des petits tronçons d'une vingtaine de mètres. Il est alors considéré que la pression au point le plus proche est une bonne approximation de la pression au point supprimé.

La figure 21 ci-dessous permet de visualiser le rendu du réseau.

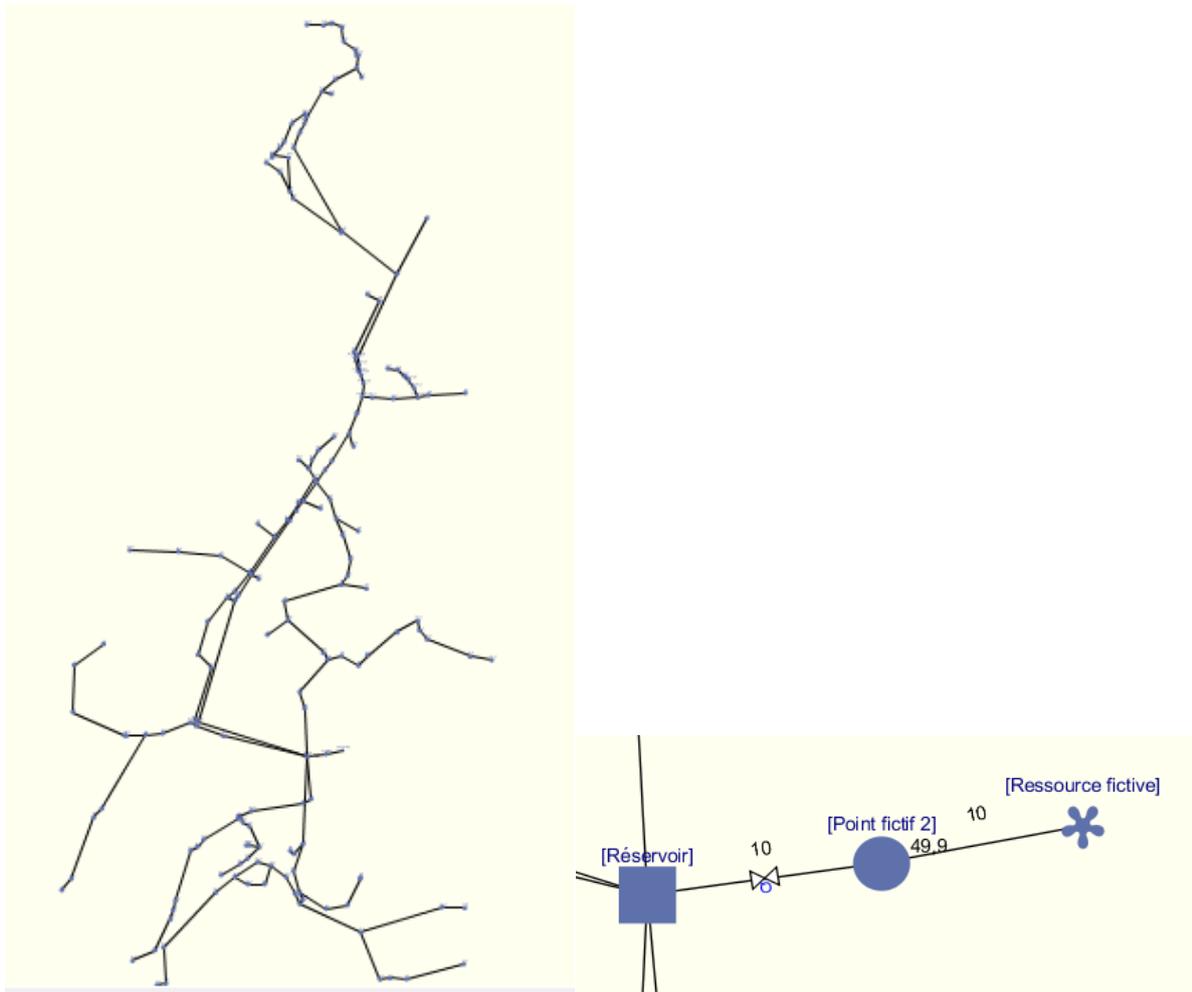


Figure 21 Représentation schématique du réseau dans Porteau avec à gauche un aperçu plus précis de l'alimentation du réservoir

3.5.1. Courbes de modulation des consommations

Lorsque le réseau est construit, il faut indiquer à Porteau quelles seront les consommations des différents points d'eau mis en place. Pour le dimensionnement, ce sera le nombre d'utilisateurs à l'année N+15 qui sera retenu. Si les pressions sont satisfaisantes à l'année N+15 alors elles le seront également à l'année de construction du réseau.

Pour cela, des profils de consommations créés par Caroline Haritiana RAMARA qui a travaillé sur cette question ont été utilisés. Elle a étudié des ménages alimentés par des branchements privés et des ménages alimentés par des branchements partagés pour ensuite construire des courbes de modulation correspondant à ces catégories de ménages.

Les profils de consommation sont présentés sur les figures 22 et 23 ci-dessous.

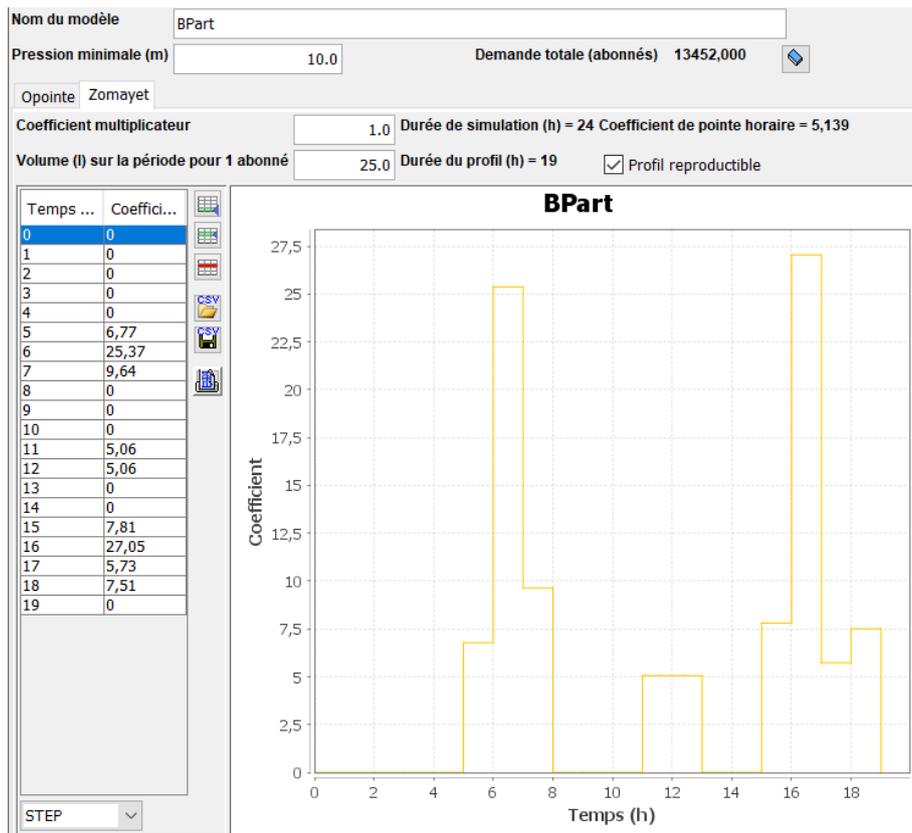


Figure 22 Courbe de modulation des branchements partagés

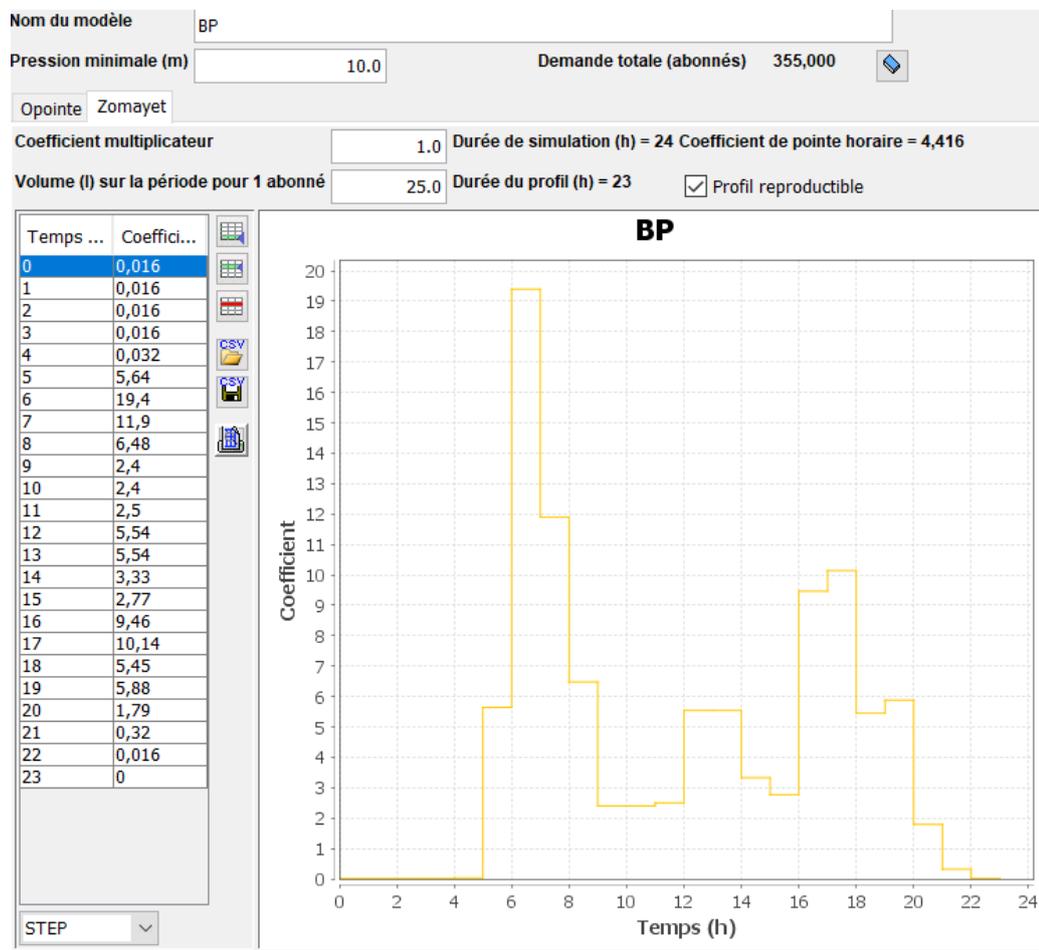


Figure 23 Courbe de modulation pour les branchements privés

En plus de ces branchements, il y a la consommation :

- du marché,
- de la prison
- et des bornes fontaines.

Pour avoir des données sur le profil de consommation de la prison, il a fallu discuter avec les responsables de l'administration pénitentiaire afin de connaître la consommation des prisonniers ainsi que les horaires de consommation. Il semblerait que les prisonniers consomment peu d'eau et que la consommation sera régulière tout au long de la journée. Il faudra également prendre en compte les membres du personnel et leur famille (500 personnes au total). La prison sera alimentée par un seul gros branchement qui sera ensuite séparé en plusieurs.

Le profil de consommation de la prison est présenté sur la figure 24 suivante.

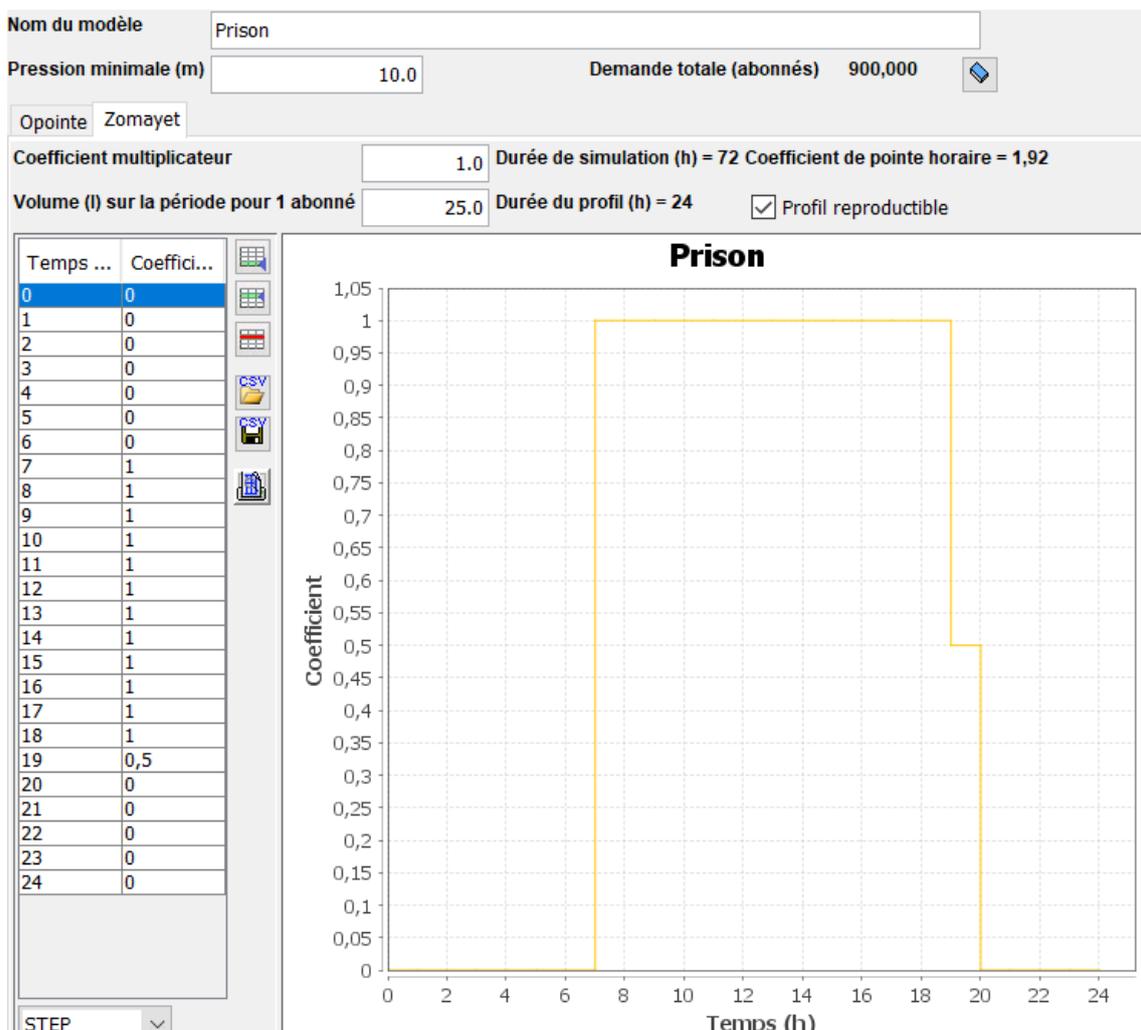


Figure 24 Courbe de modulation de la prison

Ce profil de consommation pourra être appliqué aux prisonniers uniquement et le profil de consommation des branchements partagés sera rajouté au niveau du nœud correspondant à la prison. Il paraît toutefois très optimiste que la consommation de la prison soit régulière à ce point, il sera donc nécessaire de prendre une marge de sécurité lors du choix du diamètre des tuyaux pour garantir une pression satisfaisante.

En ce qui concerne le marché, il a été considéré que la borne fontaine placée à son emplacement, devra fournir un volume de 4000 m³ par jour. Cependant, le marché ne dure pas toute la journée car un certain nombre de personnes qui s’y rendent ne viennent pas de la commune, la consommation commence donc plus tard et se terminera plus tôt que dans le cas des autres branchements.

La courbe de modulation est présentée sur la figure 25 suivante :

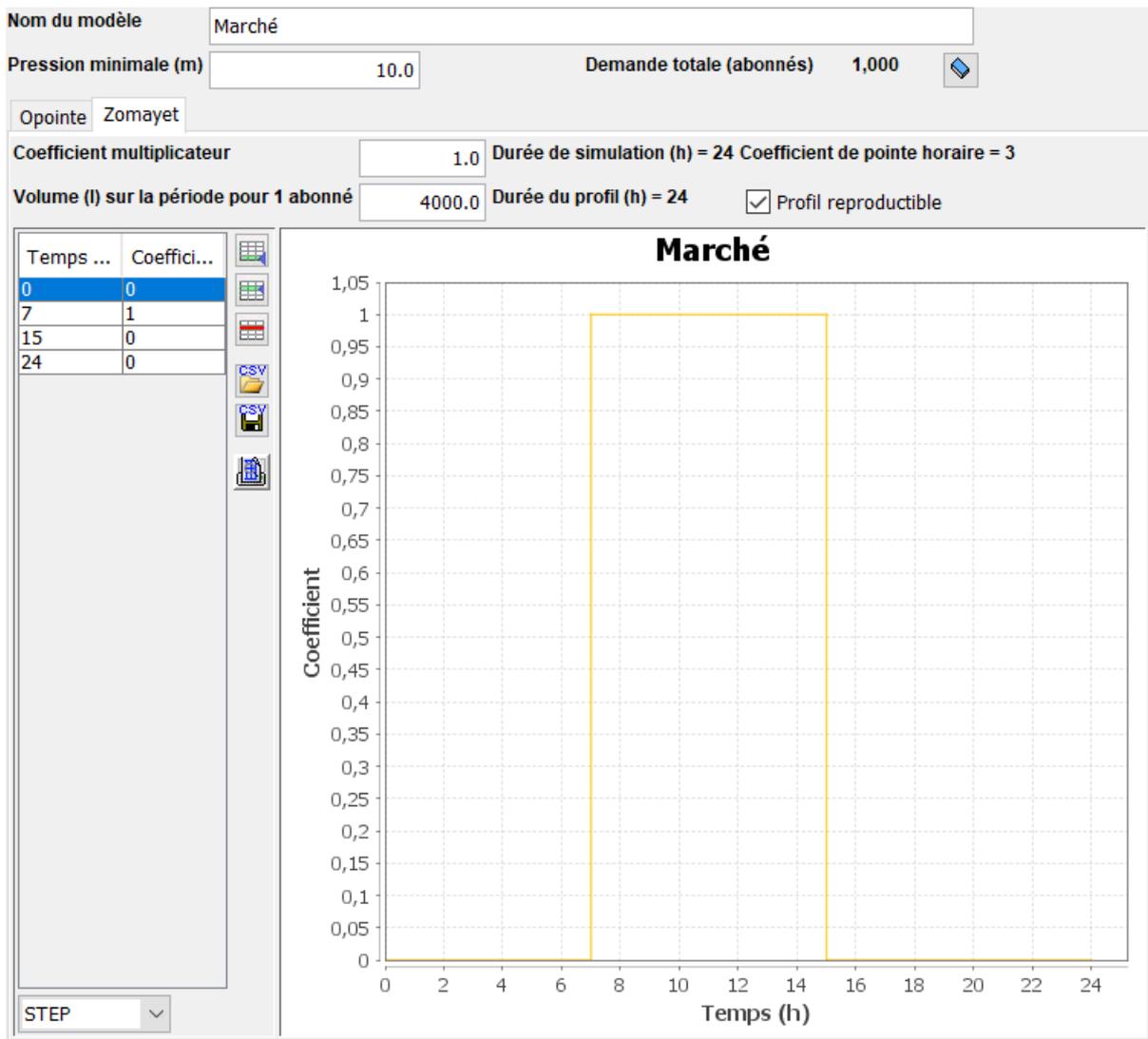


Figure 25 Courbe de modulation de la borne fontaine du marché

Là encore la courbe de modulation est très lisse, toutefois, au vu de l'activité du marché, il ne semble pas improbable que la consommation en eau soit régulière tout au long de la journée.

Le fonctionnement des bornes fontaines est similaire à celui des branchements partagés sauf qu'elles ne sont pas ouvertes en permanence. En effet, les habitants ne peuvent y prélever de l'eau que durant les plages allouées par le gestionnaire du réseau. Pour s'assurer du bon fonctionnement et de la bonne facturation, un fontainier est présent.

Il y aura 7 bornes fontaines en comptant celle du marché (qui aura toutefois un fonctionnement différent comme vu plus haut).

La courbe de modulation des bornes fontaines est présentée sur la figure 26 ci-dessous.

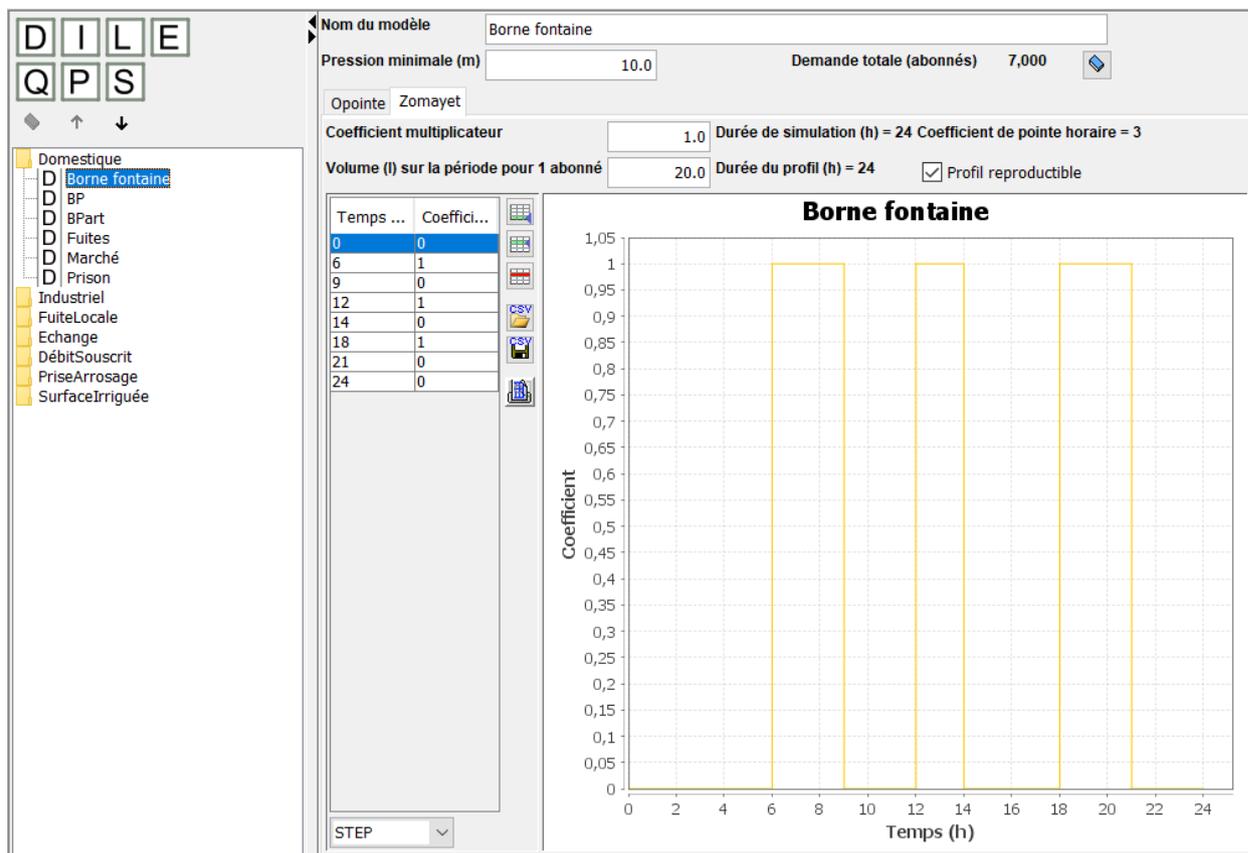


Figure 26 Courbe de modulation des bornes fontaines

Les bornes fontaines ne devraient pas avoir de grandes variations de consommation durant leurs heures d'ouverture.

3.5.2. Fuites

Les fuites sont prises en compte dans le calcul du volume consommé quotidiennement au stade de l'APS, toutefois elles sont uniquement prises en compte aux points de consommation. Cela est plus facile à modéliser mais cette méthode va grandement augmenter les pertes de charge puisque tout le débit des pertes sera conservé durant tout le trajet du réseau. Pour remédier à cela, les pertes ont été simulées par un service en route dont le volume total est égal à 10 % du volume consommé (le même volume que celui qui est prévu initialement dans l'APS).

Les coefficients de modulation des fuites ont été considérés comme l'inverse des coefficients des courbes concernant la consommation.

La figure 27 montre la courbe de modulation des fuites entrée dans le modèle.

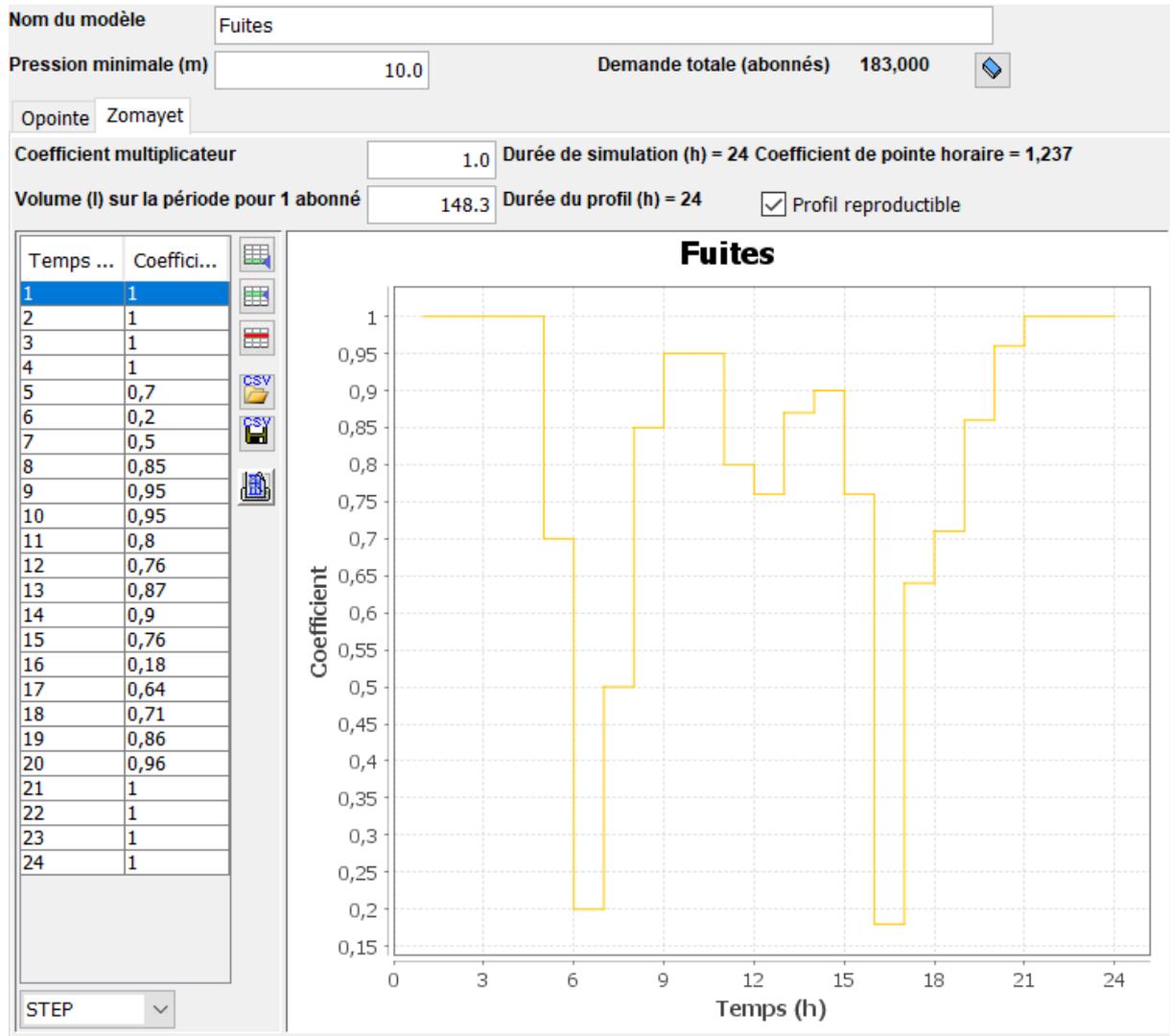


Figure 27 Courbe de modulation des fuites du modèle

Les fuites étant dépendantes de la pression au sein du réseau, il est logique qu'elles soient maximales durant la nuit, lorsqu'il n'y a aucune consommation et minimales lors des heures de pointe quand le débit est maximal.

Cette consommation est ensuite ajoutée à tous les tronçons en tant que service en route.

3.5.3. Résultats de la modélisation

La modélisation s'est faite majoritairement avec les prévisions à l'année n+15 en utilisant le module Zomayet. La durée des simulations était variable selon les cas. Les résultats indiquent que les pressions sont satisfaisantes (ie supérieures à 10 mce) au niveau de tous les nœuds si des ajustements des diamètres de certains tuyaux sont effectués. Par soucis de lisibilité, seules les pressions au niveau des nœuds situés aux extrémités du réseau seront présentées.

En ce qui concerne le marnage du réservoir, il est présenté sur la figure 28 ci-dessous.

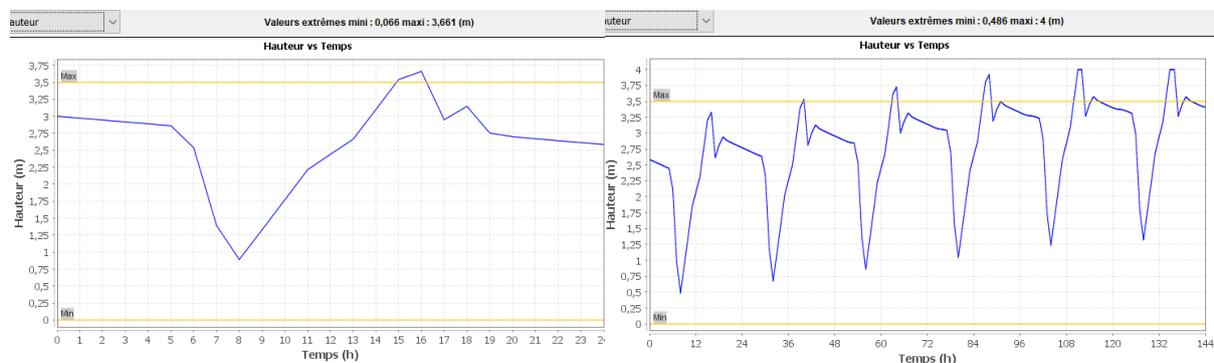


Figure 28 Marnage du réservoir dans le cas d'un pompage durant 10h lors d'un jour de marché à gauche et d'un pompage sur 11h pendant le reste de la semaine à droite

Comme représenté, le réservoir a tendance à plus se vider lors des jours de marché ce qui peut être compensé par un pompage plus long le reste de la semaine. La durée de pompage passera alors de 10 h à 11 h. Cela donnera une consommation électrique plus importante mais raisonnable. En ce qui concerne l'exploitant, cela ne rajoute pas une grande durée (contrôle manuel).

Lors des premières simulations, le réservoir était plus haut, le marnage n'exploitait donc pas toute la hauteur. Il a été choisi de diminuer la marge de sécurité ce qui fait que le réservoir a une hauteur de 3 m avec tout de même un trop plein placé à 3,5 m de hauteur.

Les pressions en différents points lors des simulations seront présentées à l'annexe 5. Il sera aussi possible de voir le marnage du réservoir à l'année n.

Une grosse partie de la difficulté à remplir le réservoir est due aux fuites. Il est donc nécessaire d'initier une rénovation du réseau au bout des 15 ans.

Il peut être intéressant pour le gestionnaire de surveiller la différence de niveau d'eau du réservoir entre le soir et le matin, ce qui sera un bon indicateur des fuites. Si la différence de niveau est vraiment trop importante, il pourrait être utile de fermer certaines vannes de sectorisation le soir afin de préciser l'emplacement des fuites les plus importantes.

Cependant, ce problème de fuite est prévisible pour un réseau de 15 ans, c'est d'ailleurs en prévision de son état au bout de cette durée que les plans d'affaires et les simulations sont effectués.

Il faut toutefois prendre en compte qu'un excès de chlore dans le traitement pourrait causer des dégradations précoces du réseaux et donc des fuites plus importantes.

A l'aide des modélisations effectuées il est possible de vérifier que le réseau fonctionnera correctement dans le cadre du projet. Cependant, il faudra que l'exploitant s'adapte aux conditions réelles qu'il rencontrera dans le futur.

3.6. Equipement du réseau

Afin de permettre une exploitation du réseau correcte, il est nécessaire de rajouter des équipements spécifiques tels :

- que des vannes,
- des ventouses,
- et des purges en certains points du réseau.

En ce qui concerne les ventouses, au vu du profil altimétrique de la zone, la purge de l'air du réseau se fera au niveau des robinets installés. En effet, l'altitude plus élevée des extrémités du réseau devraient permettre à l'air de s'évacuer correctement.

Les purges doivent permettre de vider une partie de l'eau du réseau et de se débarrasser des éventuels dépôts qui s'y retrouveraient. Ces purges seront placées au niveau des points bas du réseau. Dans certaines parties du réseau leur placement sera plus dur à choisir car il n'y a pas forcément de point bas très marqué, notamment dans les zones Nord et Sud.

Les 19 vannes permettront de séparer le réseau en plusieurs parties et d'assurer une bonne sectorisation. Les craintes liées à la mise en place de nombreuses vannes sont dues à une fragilisation éventuelle du réseau. Cependant, au vu des pressions observées au sein du réseau, il ne semble pas que des casses soient prévisibles. De plus, bien que les vannes pourraient fragiliser le réseau, l'expérience tirée des autres projets menés par le programme Eaurizon ne semble pas accréditer cette hypothèse.

Ces 19 vannes seront placées aux emplacements présentés sur la figure 29 ci-dessous.

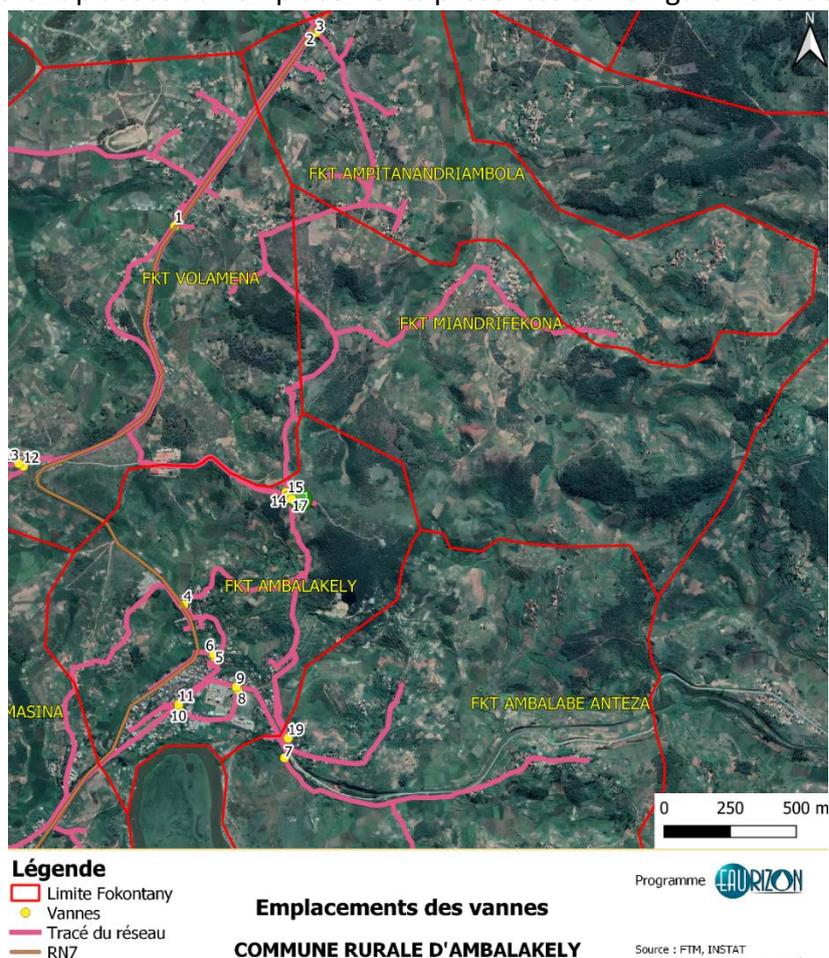


Figure 29 Emplacements de toutes les vannes présentes sur le réseau

3.7. Précision du traitement de l'eau

En plus des analyses effectuées, l'entreprise sous-traitante a déjà réalisé un forage pour la Logistique Pétrolière, ainsi, elle a déjà des données sur la qualité de l'eau souterraine bien que l'emplacement du forage soit éloigné de celui du puits du projet actuel.

D'après les premières analyses du sous-traitant, l'eau devrait être acide (pH aux alentours de 5-6 ; même si le pH-mètre était mal calibré, le pH des eaux de la zone est proche de ces valeurs). Il faudra aussi prévoir la présence d'une forte concentration en fer et en manganèse.

En ce qui concerne la présence de substances plus dangereuses telles que l'arsenic, il ne devrait pas y en avoir, ce dernier se retrouvant plus fréquemment dans les deltas. En plus de cela, il n'y a aucune industrie en amont du point de captage, limitant le risque de retrouver des substances particulièrement nocives et complexes à traiter dans l'eau. En amont se situe uniquement des villages.

Toutefois, les femmes du village nettoyant leur linge dans la rivière vers la zone d'implantation du puit prévue, il y a de fortes probabilités de retrouver de la lessive dans l'eau à traiter. Pour éviter cela, un lavoir sera installé juste à l'aval du promontoire afin d'inciter les femmes à laver leur linge à cet endroit afin qu'il n'y ait pas de contamination de l'eau brute. Toujours en ce qui concerne la contamination, il a déjà été indiqué que les animaux viennent brouter dans la zone inondable entraînant un risque élevé de contamination par les matières fécales.

L'entreprise Bushproof a pu fournir une analyse de la qualité de l'eau en différents points. Les résultats sont présentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 Mesures de différents paramètres physico-chimique de l'eau (source : Bushproof)

	Provenance de l'échantillon		Puits CSB	Affleurement nappe alluviale	Riv. Matsiatra
	Date sampling		16/06/2020	16/06/2020	16/06/2020
	Paramètres physiques		16/06/2020	16/06/2020	16/06/2020
	Analyse +/-		18.06.2020	18.06.2020	18.06.2020
	Analyse métaux lourds		--	--	--
	Analyse bact		--	--	--
	Observation		--	--	--
	Laboratoire, technicien		BushProof, Tahina et Labo-Chimie Madagascar		
Paramètres	U	Standards WHO	Résultat	Résultat	Résultat
Odeur		Acceptable pour la conso.	Sans	Sans	Sans
Couleur		Acceptable pour la conso.	Sans	Sans	Jaunâtre
Goût		Acceptable pour la conso.	Sans	Sans	Sans

Turbidité	NTU	5	< 5	< 5	12
Conductivité	µS/cm	2 000	196,0	45,4	25,8
TDS	ppm	1 200	139,0	31,8	18,3
pH	-	6.5 > 8.5	5,02	6,11	7,07
Température	°C	--	21,2	25,3	18,2
Dureté	°F	50	nc	nc	nc
Alcalinité	mg/l CaCo3	500	20,00	40,00	25,00
Chlore résiduel	mg/l	0,5	0,00	0,00	0,00
Calcium (Ca 2+)	mg/l	--	1,00	0,00	0,00
Magnésium (Mg 2+)	mg/l	--	24,00	12,00	14,00
Sodium (Na +)	mg/l	--	31,91	9,06	0,79
Potassium (K +)	mg/l	12	2,70	2,30	1,20
Ammonium (NH 4+)	mg/l	0,5	nc	nc	nc
Fer (Fe 2+)	mg/l	0,3	0,01	0,10	0,30
Fer total (Fe 2+, Fe 3+)	mg/l	0,3	0,06	0,29	0,74
Manganèse (Mn 2+)	mg/l	0,05	0,050	0,004	0,004
Aluminium (Al 3+)	mg/l	0,2	0,52	0,05	0,03
Carbonates (CO3 2-)	mg/l	--	15,00	25,00	15,00
Bicarbonates (HCO3 -)	mg/l	--	25,00	50,00	35,00
Chlorures (CL -)	mg/l	250	49,00	14,00	1,00
Sulphate (SO4 2-)	mg/l	250	10,00	13,00	6,00
Nitrites (NO2 -)	mg/l	0,2	0,06	0,02	0,01
Nitrates (NO3 -)	mg/l	50	35,00	3,30	1,22
Phosphates (PO4 3-)	mg/l	5	0,27	0,32	0,27
Fluorures (F -)	mg/l	1,5	0,00	0,00	0,00
Hydroxyde (OH -)	mg/l	--	5,00	10,00	5,00

Arsenic (As)	mg/l	0,01	0,00	0,00	< 0.0001
Mercure (Hg)	mg/l	0,006	nc	nc	< 0.0001
Plomb (Pb)	mg/l	0,01	nc	nc	< 0.0001
Zinc (Zn)	mg/l	3,00	nc	nc	0,0195
Nickel (Ni)	mg/l	0,07	nc	nc	< 0.0001
Chrome (Cr 6+)	mg/l	0,05	nc	nc	< 0.0001
Cadmium (Cd)	mg/l	0,003	nc	nc	< 0.0001
Vanadium (V)	mg/l	--	nc	nc	< 0.0001
Cobalt (Co)	mg/l	--	nc	nc	< 0.0001
TTC (thermotolerant coliforms)	n/100ml	0 (10)	--	--	--

Les 3 colonnes de résultats correspondent à des mesures à 3 endroits différents.

La colonne "Affleurement nappe alluviale" correspond à un prélèvement au niveau d'un point d'eau près de l'emplacement prévu du puits. C'est cet échantillon qui est le plus proche en termes de géographie, cependant, il s'agit de l'eau à l'affleurement et ce ne sera donc pas forcément représentatif de la qualité de l'eau en profondeur. Les résultats obtenus lors des prélèvements dans le puits du CSB peuvent aussi être utilisés car l'eau sera similaire bien que l'emplacement ne soit pas tout à fait le même.

La colonne "Standards WHO" correspond aux limites de consommation acceptable selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et qui sont les limites en vigueur à Madagascar.

Comme il est possible de le voir, l'eau qui sera utilisée devrait être de très bonne qualité ce qui laisse à prévoir que la filière de traitement envisagée plus tôt sera suffisante.

Toutefois, ces analyses n'ont été faites qu'à un instant donné, il n'est donc pas possible de connaître la qualité de l'eau à différents moments de l'année. En effet, le niveau de l'eau de la rivière variant d'environ 2 mètres entre les saisons, l'eau pourra transporter d'autres substances récupérées sur la berge. Sa qualité pourrait aussi varier en fonction de la pluie qui va permettre l'écoulement d'essence et de bitume en provenance de la route située à 50 m au Nord-Est du puits. Il faudra prendre en compte l'infiltration de pollution fécale due au bétail venant brouter.

Les limites supérieures du traitement résident à la fois dans le fait qu'il n'est pas possible de mesurer tous les paramètres entrant en ligne de compte pour le dimensionnement de la filière de traitement, et dans le fait qu'il ne sera pas possible d'installer certaines filières de traitement pour traiter des paramètres spécifiques (ex : coagulation-floculation, filtre à charbon actif en poudre, ...). Ne pas connaître tous les paramètres présents est dommageable pour le traitement, en effet, certains traitements seront efficaces uniquement sur certaines formes dissoutes par exemple.

Après avoir étudié les pollutions potentielles ainsi que des analyses, la filière de traitement a pu être affinée.

Avant de décrire les ouvrages de traitement, il est important de noter qu'ils n'ont pas été validés définitivement et que leurs dimensions pourront être amenées à changer.

3.7.1.1.1. Aération et décantation

L'aération est un traitement efficace pour traiter le fer et le manganèse présent dans l'eau (Memento Degremont Suez ; JIB S).

Aération en cascade suivi d'un couloir permettant la décantation des oxydes formés. Les méthodes de dimensionnements (B Legube ; cela a également été étudié au cours de discussions avec BushProof) préconisent des paliers de 30 cm, c'est ce qui sera mis en place ici. En ce qui concerne le couloir de décantation, il fera 3 m de diamètre pour 9,05 m de longueur avec une hauteur d'eau de 1,5 m en bout de décanteur. Cette hauteur sera assurée par une sortie de l'eau en surverse. Ces dimensions devraient assurer une vitesse de l'eau au miroir suffisamment faible pour permettre aux oxydes de décanter. Il est important de préciser que le but de cette décantation n'est pas d'être aussi efficace qu'une décantation traditionnelle mais juste de se débarrasser des oxydes. Afin de faciliter l'évacuation des oxydes précipités, le plancher du décanteur sera penché. Il est conseillé (Gérer un réseau d'eau potable) de mettre une pente minimum de 1 %, dans le décanteur retenu, la pente est de 5 %. Elle sera suffisante pour permettre un bon regroupement des matières décantées tout en étant pas trop abrupt. En plus de tout cela, il sera possible d'ajouter des lamelles afin d'améliorer l'efficacité de la décantation si la qualité de la ressource se dégrade dans le futur. Les lamelles les plus couramment utilisées sont des lamelles hexagonales en nid d'abeilles inclinées à 45°. Une des limites du dimensionnement de la partie décantation de ce traitement est qu'il n'est pas possible d'évaluer la vitesse de précipitations des oxydes métalliques produits, ne permettant pas d'ajuster correctement la longueur du décanteur. Toujours dans les limites, il est important de rappeler que tous les paramètres de l'eau ainsi que leur forme dominante ne sont pas forcément connus ce qui peut fortement limiter l'efficacité du traitement si la forme dominante du fer et du manganèse ne sont pas les plus faciles à éliminer par oxydation.

Le plan de masse de cet ouvrage est présenté en annexe 6.

3.7.1.1.2. Filtration rapide

La deuxième partie est une filtration rapide sur sable avec un filtre à encrassement. Une filtration lente aurait été plus efficace et aurait permis de traiter d'autres paramètres comme l'ammonium (Saur) mais l'espace au sol nécessaire est trop important. Cette étape de filtration permet de retenir les matières organiques dissoutes ainsi que les oxydes métalliques qui n'auraient pas complètement précipité à l'étape précédente.

Les vitesses de filtration communément admises (SAUR) sont comprises entre 5 et 20 m/h. Dans le cadre du dimensionnement, la vitesse prise en compte était de 5 m/h (ce qui est un cas pessimiste car il aura pour effet d'augmenter la surface au sol requise). Sachant que le débit prévu est de 7,22 l/s (soit 26 m³/h), il faudra alors une surface de 5,2 m² pour satisfaire ces exigences. Afin de permettre d'augmenter le temps entre 2 nettoyages, la surface du filtre sera de 5,6 m². Le filtre sera un filtre monocouche d'une épaisseur de 1 m utilisant un sable de taille effective égale à 0,5 mm (le sable le plus communément trouvé dans la région) et reposant sur des galets et sur un plancher de béton de 10 cm d'épaisseur. Dans le but de

faciliter l'exploitation en limitant le nombre de nettoyage ainsi que pour préserver la production durant la maintenance, il y aura 2 filtres en parallèle.

Concernant le fonctionnement du filtre, il devrait être assez autonome. L'eau devra toujours recouvrir le filtre, c'est pourquoi la goulotte d'évacuation des eaux filtrées sera légèrement plus haute (5 cm) que le filtre à sable. En fonctionnement, le filtre va progressivement s'encrasser augmentant ainsi la perte de charge générée par ce dernier et le niveau de l'eau au-dessus du sable. Afin de prévenir le phénomène d'embolie gazeuse qui pourrait apparaître dans le filtre, il peut être utile d'augmenter le niveau d'eau maximum au-dessus du filtre. Ce phénomène consiste en le relargage de bulles créant des amas de sable pouvant ensuite influencer le chemin de l'eau dans le filtre. La précaution généralement retenue est le double du niveau d'eau habituel avec un maximum de 1,2 m (B Legube). Afin de faciliter l'exploitation en augmentant la durée entre 2 nettoyages, la hauteur maximum prévue est de 1,2 m, cela se traduit par un génie civil un peu plus important.

Le nettoyage du filtre sera effectué au moyen d'un rétro lavage d'eau uniquement qui sera mis en place via un jeu de vannes. Ce type de lavage n'est pas conseillé (B Legube, Cours) car il a des effets néfastes sur le filtre (agrégation du sable, mauvaise fluidisation du lit, tendance à colmater le filtre) d'autant plus qu'il sera effectué au moyen de l'eau brute à peine aérée et décantée. Il aurait été préférable de faire un rétro lavage avec de l'air également. Cependant, après discussion avec l'entreprise s'occupant des analyses d'eau, il s'est avéré que des filtres à sable avec des rétro lavages similaires avaient déjà été installés dans des contextes similaires sans qu'il y ait dégradations des performances. C'est pour cette dernière raison que le fonctionnement décrit a été sélectionné bien qu'il ne soit pas le meilleur. En plus de poser d'éventuels problèmes concernant la qualité du nettoyage, ce fonctionnement impose une différence d'altitude plus élevée avec l'aération, en effet, comme tout le traitement doit fonctionner de manière gravitaire, il faut que le rétro lavage puisse être efficace malgré la faible pression disponible.

Des calculs seront sans doute nécessaires afin de bien espacer les ouvrages.

En effet, puisque le lavage doit se faire à l'eau seule, la vitesse de circulation de l'eau doit être assez élevée. Sachant que la perte de charge due au filtre sera égale à la différence entre le niveau de l'eau au-dessus du filtre et le niveau de l'eau ajoutée à celle qui aura lieu dans les tuyaux, il devient alors possible de calculer la différence d'altitude nécessaire pour obtenir le débit voulu.

Le plan de masse de cet ouvrage est présenté en annexe 7.

3.7.1.1.3. Chloration et stockage

L'étape finale du traitement avant le stockage sera la chloration, cette étape ayant pour but de désinfecter l'eau en éliminant les microorganismes pathogènes qui s'y trouvent. Elle est très importante dans le cas du projet car il y a de fortes probabilités que l'eau soit contaminée par des matières fécales et qu'elle contienne donc des bactéries telles que E.Choli et des entérocoques. En plus de cela, le chlore dispose d'un effet rémanent dans le réseau ce qui permet de prévenir des contaminations après la mise en distribution.

Le point de vigilance de cette étape est le dosage de la quantité de chlore injectée (qui doit être fonction du débit). Cela peut sembler évident mais les dispositifs de dosage de solutions en fonction du débit sont plus complexes et plus chers à mettre en place dans le contexte du projet. La dose de chlore injectée doit respecter plusieurs contraintes : elle doit être suffisante afin de permettre une bonne désinfection de l'eau tout en étant pas trop importante afin de ne pas donner de goût à l'eau La législation malgache n'impose pas de concentration minimum autre que celle de l'OMS. La dose minimum de chlore dans l'eau en sortie de réservoir est de 0,1 mg/L.

L'étape de chloration peut créer différents problèmes à cause des éventuels sous-produits de chloration notamment les trihalométhanes (THM) qui sont soupçonnés de causer des troubles du développement (Institut National de Santé Publique Québec). Ces sous-produits sont dus à l'interaction entre le chlore et les matières organiques en suspension. Il est donc nécessaire de s'assurer que ces MES soient bien éliminées lors des étapes précédentes. Au vu des tests menés sur l'eau, il est peu probable qu'une forte quantité de THM soit produite. Il existe d'autres sous-produits de chloration à prendre en compte (Production d'eau potable, B Legube). Toutefois, bien que ces sous-produits soient évoqués, il n'est pas évident qu'ils soient présents dans l'eau et il n'est pas toujours possible de faire en sorte de diminuer leur concentration car des traitements plus spécifiques seraient nécessaires en amont.

Enfin, un dernier point important concernant la dose de chlore est le fait que si la dose injectée est trop grande, cela donnera un goût à l'eau ce qui pourrait rebuter les consommateurs et diminuerait donc leur volonté à boire l'eau proposée.

Il n'y a pas de plan concernant la chloration car il n'y a pas d'ouvrage spécifique, seul un abri sera installé afin de protéger le dispositif d'injection du chlore. La solution de chlore sera injectée au moyen d'une pompe doseuse Dosatron. Ce type de pompe fonctionne avec le débit circulant dans le tuyau auquel elle est branchée. Un débit minimum ainsi qu'une pression minimale sont également nécessaires, ce qui influera sur le placement des ouvrages. Dans notre cas, la pression minimale nécessaire au fonctionnement de la pompe est de 0,5 bar soit 5 mce. Au vu de la topographie de la zone, respecter la contrainte de pression minimale ne sera pas un problème.

La solution de Chlore sera préparée à partir de de chlore en poudre (Hypoclorite de Chlore) de la marque HTH avec une concentration en masse de 70 %. Le dosage devra être effectué en fonction de la quantité nécessaire pour respecter la concentration minimum imposée par l'OMS (0,1 mg/L en sortie du réservoir).

L'eau sera enfin stockée dans un réservoir carré dont le plan provisoire est placé en annexe 8.

La surface de la cuve sera de 50 m² pour 3 m de hauteur. Un trop plein sera tout de même placé à 3,5 m de haut. 6 canalisations avec vannes seront installées en sortie du réservoir (5 sorties d'alimentation et 1 vidange). En plus des vannes, des compteurs seront installés afin

de connaître les volumes sortants du réservoir. Afin de faciliter la vidange, le radier aura une pente supérieure à 1 % en direction des conduites de sorties.

Pour les opérations de maintenances, un trou d'homme sera prévu. Ce dernier sera carré et aura pour dimensions 60 cm X 60 cm.

3.7.1.1.4. Instrumentation

Le fonctionnement de la station ne fera pas intervenir d'automatisme mais certains capteurs devront tout de même être mis en place.

Bushproof préconise de mettre en place un capteur de débit au niveau du réservoir afin de pouvoir contrôler le fonctionnement de la pompe, qui devra s'arrêter quand le réservoir aura atteint son niveau maximal. Le seuil à partir duquel la pompe devra reprendre son fonctionnement sera déterminé par le gestionnaire en fonction de la demande.

Il est également prévu de mettre un capteur de niveau d'eau dans le puits afin d'éviter que la pompe extrayant l'eau fonctionne dans le vide.

Parmi les équipements nécessaires au fonctionnement, il y aura des débitmètres au niveau de chacune des sorties du réservoir afin de mesurer les volumes sortant du réservoir.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, il serait préférable d'avoir des mesures régulières mais le contexte rend ceci impossible. A la place, seule une mesure par an de la qualité de l'eau sera effectuée par un laboratoire.

Les différents capteurs électriques seront reliés au bâtiment d'exploitation à côté du puits.

Lors de son étude, Bushproof n'a pas étudié la mise en place d'un ballon anti-bélier en cas d'arrêt brutal de la pompe. Cette remarque pourra leur être remontée.

4. Conclusion

Le but de ce projet a été la réalisation d'études d'avant-projet afin de permettre la réalisation des travaux de mise en place d'un système d'adduction d'eau potable. Cette étude a eu lieu **dans un contexte avec des spécificités qu'il a fallu prendre en compte**. Le déroulement des études a nécessité l'intervention de personnes issues de **secteurs d'activité multiples** avec lesquelles les nombreux échanges ont permis d'obtenir les données essentielles au bon déroulement du projet.

Le travail s'est articulé autour de **3 axes : social, économique et technique**, liés et imbriqués entre eux, qui ont fourni une source importante de données telles que le nombre d'usagers, le type de branchement dont les particuliers vont disposer, les coûts et bénéfices du gestionnaire, le diamètre des tuyaux, leur longueur, etc...

Pour obtenir les informations des **études sociales et économiques**, des sondages ont été menés, d'abord larges et peu précis pour connaître le nombre d'habitants puis plus ciblés afin d'identifier le niveau de vie des ménages concernés. La zone à alimenter regroupe 9636 habitants à l'année de construction et 15 013 prévus à 15 ans.

L'**étude technique**, quant à elle, a nécessité le recours à un sous-traitant pour obtenir des données sur la ressource en eau qui sera utilisée. Ce dernier a pu les fournir ainsi que d'autres éléments relatifs aux moyens de capter l'eau.

Grâce à l'ensemble de ces données, il fut ensuite possible de préciser la partie technique de l'étude au moyen du logiciel de simulation hydraulique Porteau notamment.

L'eau qui sera utilisée pour l'alimentation du réseau devant être traitée, il sera nécessaire de placer une station de traitement composée de :

- Aération-décantation
- Filtration rapide sur sable
- Chloration

L'eau sera enfin stockée dans un réservoir de 150 m³.

Suite à ces études, il sera possible de réaliser les travaux nécessaires à la mise en place et au fonctionnement du réseau.

Au final, le réseau prévu devrait faire 31,7 km de long.

Il reste toutefois certains points à traiter, notamment concernant l'étude demandée au sous-traitant (ballon anti-bélier, ...). En plus de cela, malgré les prévisions et calculs, le gestionnaire devra procéder à des ajustements lors de l'exploitation car certaines données varieront et il n'est pas forcément évident de les prévoir à ce jour (ex : la diminution de la consommation des ménages après raccordement).

5. Bibliographie

FERDI GARENNE Michel, **Indicateurs de richesse des ménages : Implications pour l'étude des relations avec les paramètres démographiques et la mesure des inégalités**, 2014. En ligne à l'adresse :

https://ferdi.fr/rails/active_storage/disk/eyJfcMfPbHMiOmsibWVzc2FnZSI6IkBaDdDRG9JYtjWNVNTSWRSbmhsWmxSeWQyWnBRMmsxZG5SaVYwNVJRbVZUVG5wVUJqb0dSVIE2RUdScGMzQnZjMmwwYVc5dVNTSUJ0R2x1YkdsdVpUc2dabWxzWlc1aGJXVTlJbVpsY21ScExXZGhjbVZ1Ym1VdGFxNWthV05oZEdWMWNuTmZaR1ZmY21samFHVnpjMlZmY0dGeVlXMWxkSEpsYzE5a1pXMXZaM0poY0docGNyVmxjMTkzWldJdWNHUm1JanNnWm1sc1pXNWhiV1VxUFZWV VJpMDRKeWRtWlhKa2FTMW5ZWepsYm01bExXbHVhR2xqWVhSbGRYSnpYmIJsWDNKcFkyaGxiM05sWDNcCaGntRnRaWFJ5WlhOZlphVnRiMmR5WVhCb2FYRjFaWE5mZDJWaUxuQmtaZ1k3QmxRNkVXTnZibJJsYm5SZmRlbHdaVWtpRkdGd2NHHeHBZMkYwYVc5dUwzQmtaZ1k3QmxRP SlsImV4cCI6IjIwMjAtMDgtMDVUMTg6MzY6MjAuMjAxWjlsInB1cml6ImJs2Jfa2V5In19--542d29e82aaa432991e6f1160325b771a2e84b70/ferdi-garenne-indicateurs-de-riche-sses-parametres-demographiques-web.pdf?content-type=application%2Fpdf&disposition=inline%3B+filename%3D%22ferdi-garenne-indicateurs-de-riche-sses-parametres-demographiques-web.pdf%22%3B+filename%2A%3DUTF-8%27%27ferdi-garenne-indicateurs-de-riche-sses-parametres-demographiques-web.pdf

GUILLARD Joanny, A propos de l'enquête rurale en milieu africain. Méthodes et techniques utilisées pour l'étude d'un village du Nord Cameroun, 1961

INSTITUT NATIONAL DE SANTE PUBLIQUE QUEBEC, Centre d'expertise et de référence en santé publique. Disponible sur : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/trihalomethanes> (consulté le 03/08/2020)

JIB Sara, **Eléments de construction et de mise en service de réseaux d'eau potable de la région Sud-Ouest de Madagascar**, 2018. En ligne à l'adresse : https://www.pseau.org/outils/ouvrages/experts_solidaire-les-elements-de-construction-et-de-mise-en-service-de-reseaux-d-eau-potable-de-la-region-sud-ouest-de-madagascar_2019.pdf?fbclid=IwAR0Jcm8x0nrkaYrDO9tEjDhogyw-mQWDD-9hs5JJ0FIYhACqtfAt_S-imZI

LEGUBE Bernard, **Production d'eau potable**, 2015

PELISSIER Paul, **Les paysans du Sénégal : Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance**, Saint-Yrieix (Haute-Vienne), Impr Fabrègue, 1966

NATION-UNIS, **Manuel des méthodes d'enquêtes sur les ménages**, 1986

RAMARA Haritiana Caroline

SAUR, **Traitement des eaux de distribution, Chapitre 13, Filtration**, 2019

SUEZ, Memento Degremont.

Disponible sur : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-eaux-potables/traitements-specifiques/elimination-du-manganese> (consulté le 03/08/2020)

Disponible sur : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-eaux-potables/traitements-specifiques/elimination-du-fer> (consulté le 03/08/2020)

La Surveillance environnementale dans le circum-Sahara : Guide technique pour la collecte, l'analyse des données et le calcul des indicateurs socio-économiques suivant l'approche harmonisée ROSELT/DNSE/OSS 2012/OSS, 2013, ISBN : 978-9973-856-77-7

6. Annexes

Annexe 1 : Questionnaire du porte à porte

Annexe 2 : Questionnaire de l'enquête ménage

Annexe 3 : Note de calcul de Bushproof concernant le NPSHd et NPSHr

Annexe 4 : Profils topographiques complémentaires

Annexe 5 : Pressions en différents points et marnage du réservoir à l'année n

Annexe 6 : Plan provisoire de décanteur-aérateur

Annexe 7 : Plan provisoire du filtre à sable

Annexe 8 : Plan provisoire du réservoir

Annexe 1 : Questionnaire du porte à porte

Porte a porte Ambalakely

Localisation

Nom du Village

Localisation du ménage

Information sur le ménage

Nom Chef de ménage

Plus de 18 ans

Moins de 18 ans

Autres

Toit partagé

Oui
 Non

Voulez-vous redevenir usagers du service

Oui
 Peut-être
 Non

Annexe 2 : Questionnaire de l'enquête ménage

Enquête ménage

Age

Sexe

- Homme
- Femme

Situation familiale

- Célibataire
- Marié(e)
- Divorcé(e)
- Veuf(ve)

Niveau d'étude

- Non scolarisé(e) analphabète
- Non scolarisé(e) alphabétisé(e)
- Primaire
- Collège
- Lycée
- Supérieur

Activités principales

- Agriculteur
- Commerçant/Epicier/Hotely/Gargote
- Fonctionnaire/Retraité avec pension
- Artisan
- Autres (à mentionner)
- Si entreprise (à mentionner)

If Activités principales is one of Agriculteur:

Agriculteur

	Quantité produite	Quantité vendue	Prix unitaire
Paddy			
Autres			
Porc			
Volailles			

If Activités principales includes Commerçant/Epicier/Hotely/Gargote:

Commerçant/Epicier/Hotely/Gargote

Chiffre d'affaire par jour

If Activités principales includes Fonctionnaire/Retraité avec pension:

Fonctionnaire/Retraité avec pension

- Moins de 100 000
- 100 000-200 000
- 200 000-400 000
- Plus de 400 000

If Activités principales includes Artisan:

Artisan

Hint: Gain (Ariary/mois)

If Activités principales includes Autres (à mentionner):

Autres

A mentionner

Gain (Ariary/mois)

If Activités principales includes Si entreprise (à mentionner):

Entreprise

A mentionner

Chiffre d'affaire (Ariary/an)

Ménage

Adulte :

Enfant :

Nombre salariés si entreprise

Logement

Logement

- Propriétaire
- Locataire

If Logement is Locataire:

Loyer (Ariary/mois)

Oui: Electricité

If Electricity is checked:

Source d'énergie

	Dépense mensuelles (Ariary/mois)
Panneau solaire	
Jirama	
Groupe électrogène	
Heri Madagascar	

Bien du ménage

- TV
- Lecteur VCD
- Antenne satellite
- Frigo
- Salon
- Vélo
- Moto
- Charette
- Voiture
- Rizière

Approvisionnement en eau

- Réseau d'eau
- Puits/forage
- Rivière/Rizière
- Source

Quantité par jour, boisson, cuisine et hygiène (l/lj)

Distance points d'eau (mètre)

Temps de puisage (minute)

Satisfaction de service

Qualité de l'eau

- Oui
- Un peu
- Non

Tarif

- Oui
- Un peu
- Non

Gestion

- Oui
- Un peu
- Non

Confiance

- Oui
- Un peu
- Non

Dépense mensuelles porteur d'eau

Dépense mensuelles porteur d'eau

- Oui
- Non

If Dépense mensuelles porteur d'eau is Oui:

Coût total bidon 20 litres avec porteur (Ariary)

Traitement de l'eau

- Bouillir
- Sur'eau
- Filtre

Stockage eau

- Oui
- Non

If Stockage eau includes Oui:

Combien de litre

Latrine

- Oui
- Partagée
- Non

Type de fosse

- Trou simple
- Septique

Type de dalle

- Porcelaine
- Ciment
- Sanplat
- Bois ou terre

Douche

- Oui
- Partagée
- Non

Type de branchement envisagé

- Borne fontaine
- Particulier

Prix acceptable pour un bidon

Facture mensuelle si branchement

Coût de raccordement si particulier

- à 200 000 Ariary
- à 150 000 Ariary
- à 100 000 Ariary
- à 75 000 Ariary

Mode de paiement du raccordement

- Une fois
- Echelonné

Ajouter au futur usages

- Oui

Net Positive Suction Head Calculator

Site Information

Altitude 1071 Meters Above Sea Level

What type of fluid supply system do you have?

- My pump is being supplied with fluid from an open tank
- My pump is being supplied with fluid from a pipeline, pressurized tank, or another pump

Tank fluid level above or below centerline of pump

-6 Meters

Fluid Parameters

Flow Rate 7 L/SEC

Liquid/Fluid Water

Fluid Temperature Select Fluid Temperature

Viscosity 0.999996 CENTIPOISE / CP

Specific Gravity 0.998

Vapor Pressure 2.4 KPA

Piping System

Pipe Length 20 Meters

Pipe ID 80 Millimeters

Pipe Material Galvanized iron

HZ Friction Coeff. 120 Hazen William Coeff.

Roughness Height 0.15 Millimeters

Fitting Type	Qty
<u>Elbow, 90° SR</u>	<u>2</u>
<u>Valve, Gate, Full Open</u>	<u>1</u>

NPSH Calculator Results

Return Results As HEAD M

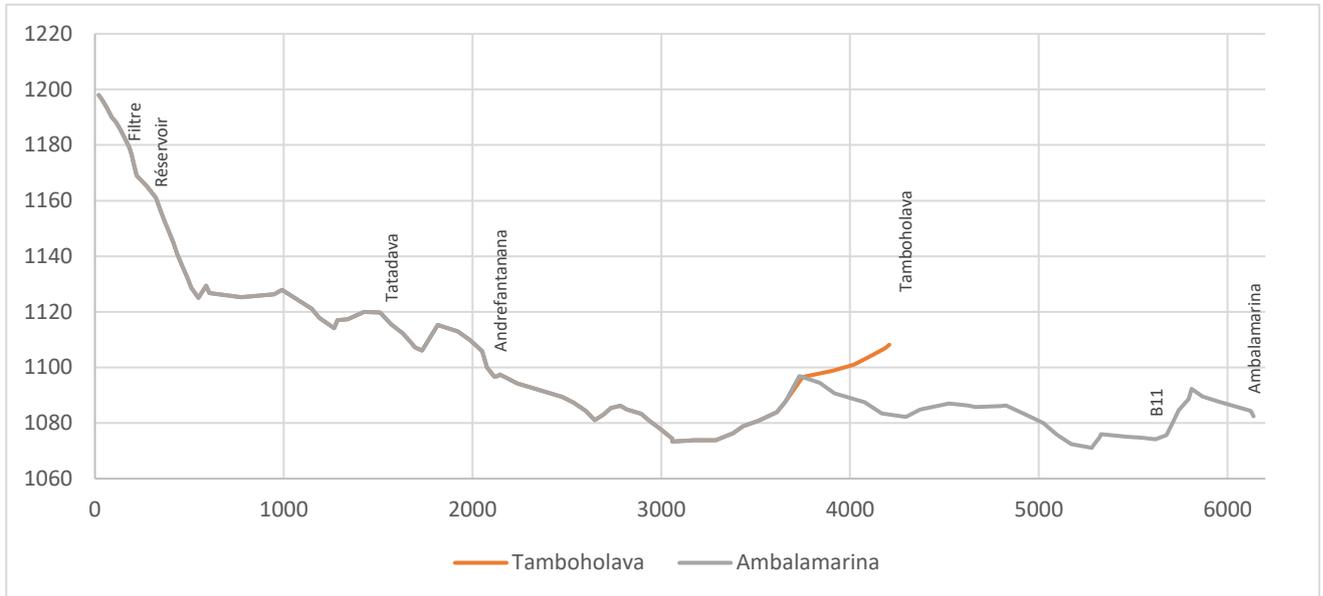
NPSH Available 1.9938 HEAD M

Friction Loss 0.8776 HEAD M (Hazen Williams)

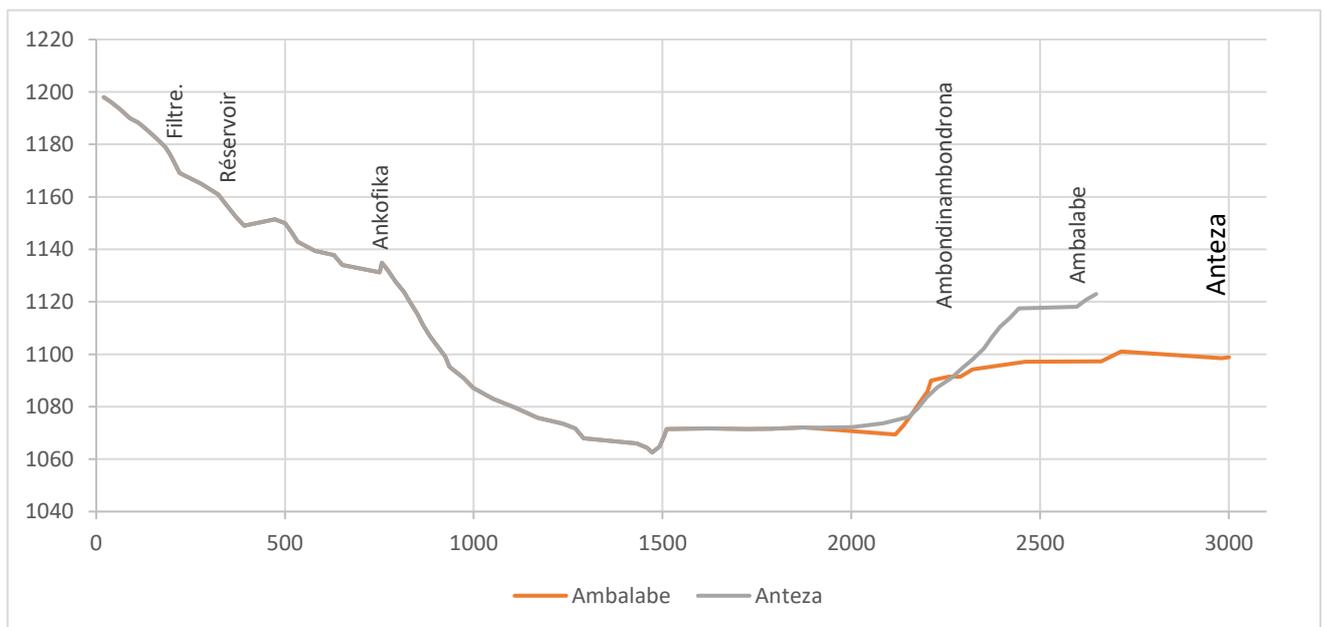
Explanation: To calculate NPSH Available, take the source pressure - 6, add the atmospheric pressure, subtract the losses from friction within the pipeline and subtract the vapor pressure of the fluid 2.4. The result equals the NPSHA (or Net Positive Suction Head Available) of your system. The Net Positive Suction Head Required by the pumps, referred to as NPSHR, must be LESS THAN the NPSHA of the system, else the pump will cavitate.

Annexe 4 : Profils topographiques complémentaires

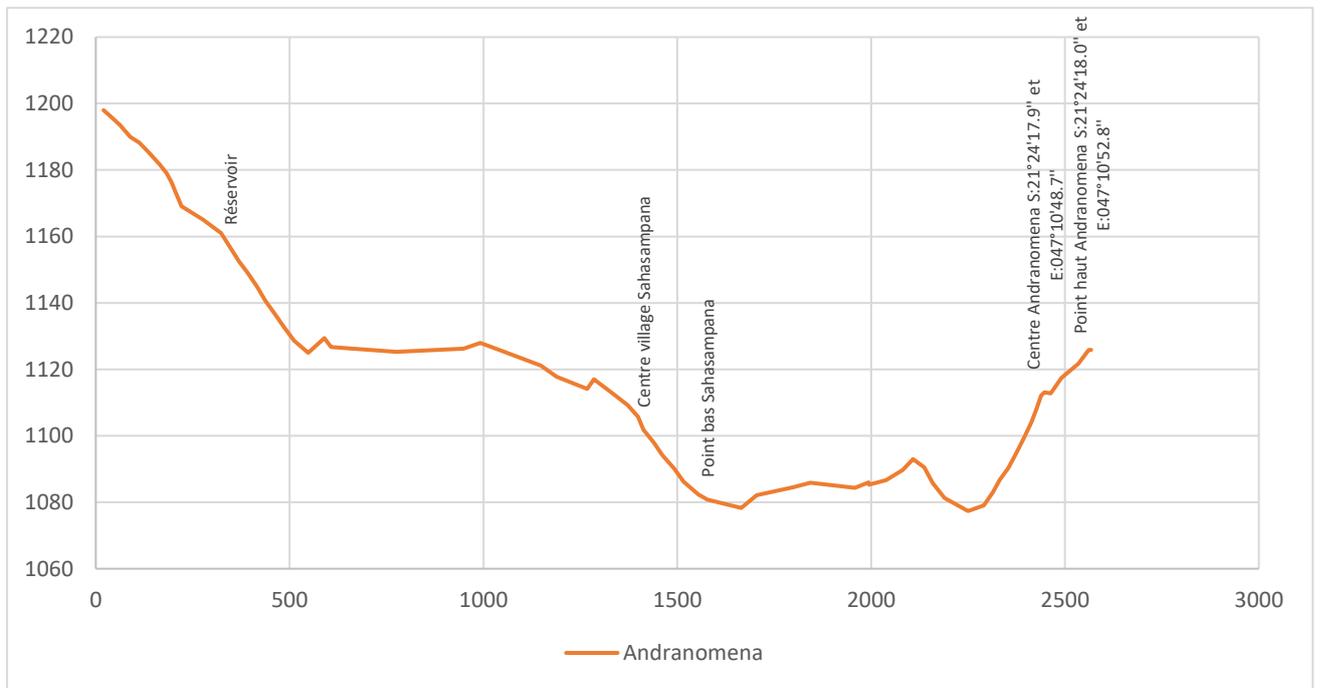
En ce qui concerne l'incertitude liée aux mesures, elle est de 1 m tous les 100 m d'après un technicien du programme. Cependant, cela semble faible au vu du fait que les graduations de la perche de lecture sont de 1 cm et que les étudiants qui se sont occupés de la topographie n'étaient pas très expérimentés ce qui se traduit par une incertitude plus grande au niveau de la lecture ainsi qu'au niveau du placement de l'appareil de mesure. L'incertitude est aussi augmentée par le fait que l'échelle où se trouvaient les graduations pouvait être inclinée. Il est donc compliqué d'évaluer précisément l'incertitude liée à la mesure de l'altitude.



Profil topographique d'une autre partie du tracé de la zone Nord (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

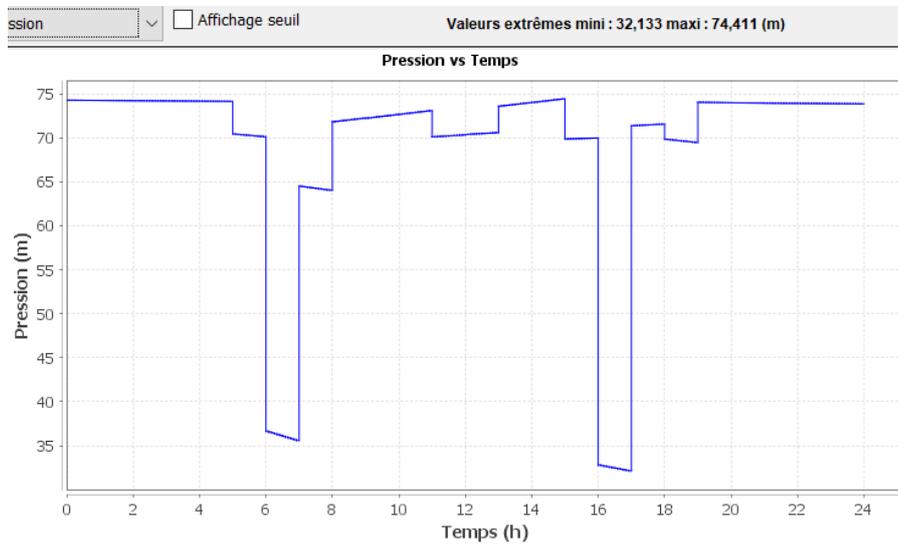


Profil topographique d'une partie du réseau Sud-Est (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

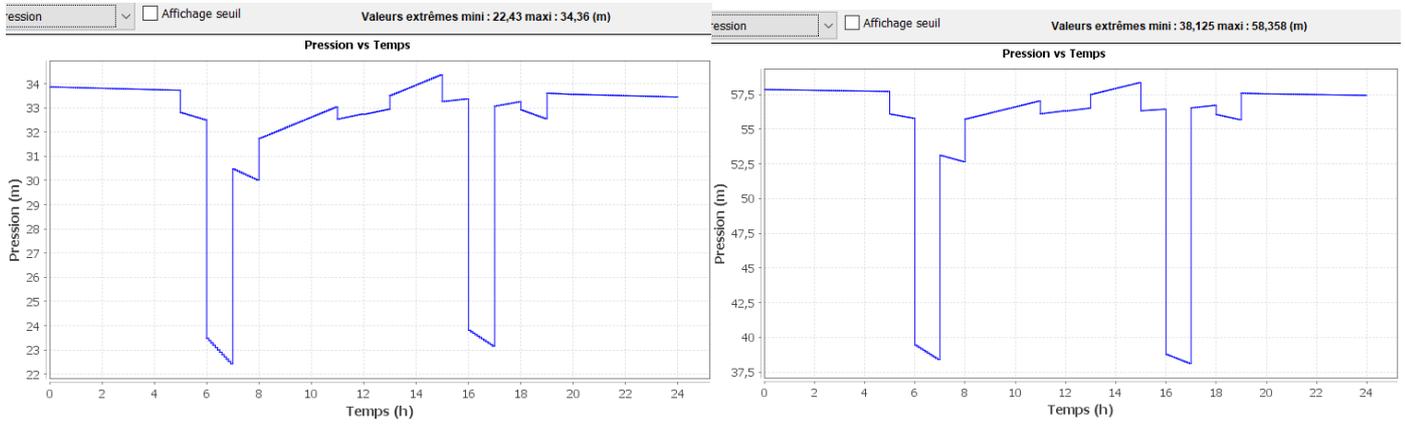


Profil topographique d'une partie du réseau Nord-Est (source : Mickael Niaina Ranaivonjato)

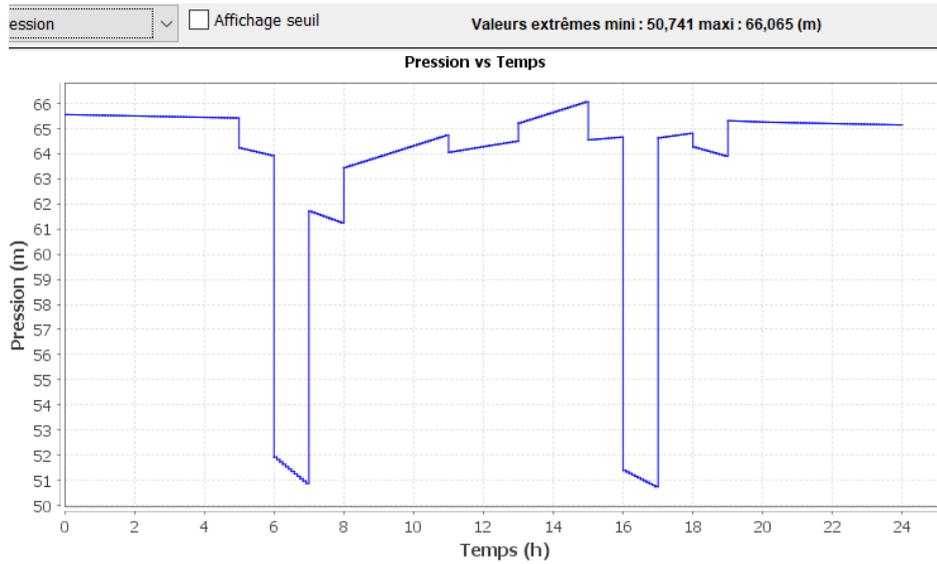
Annexe 5 : Pressions en différents points et marnage du réservoir à l'année n



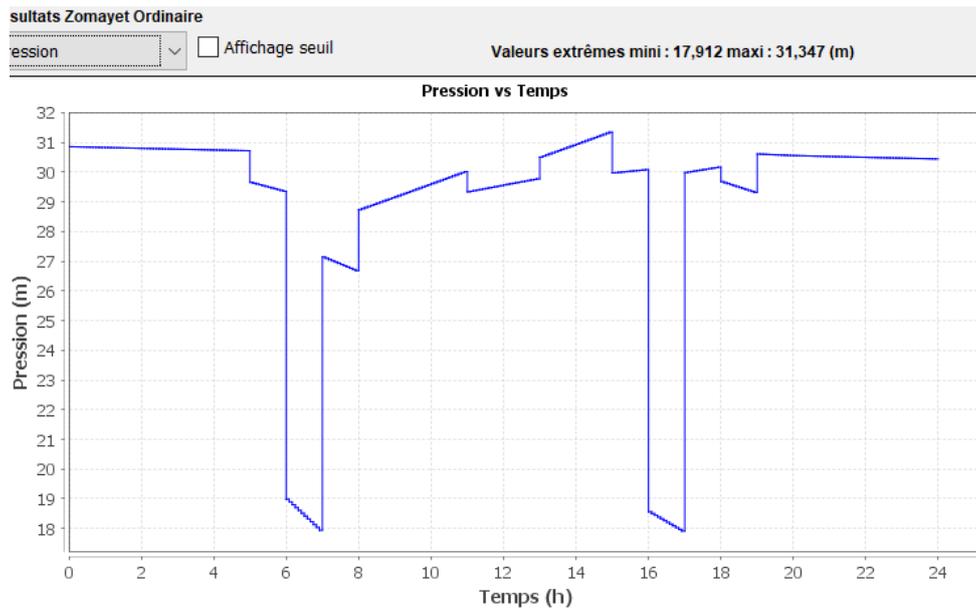
Pression au niveau de l'extrémité Nord du réseau (V15)



Pression au niveau de l'extrémité Sud-Est du réseau (V42 à gauche, V43 à droite)

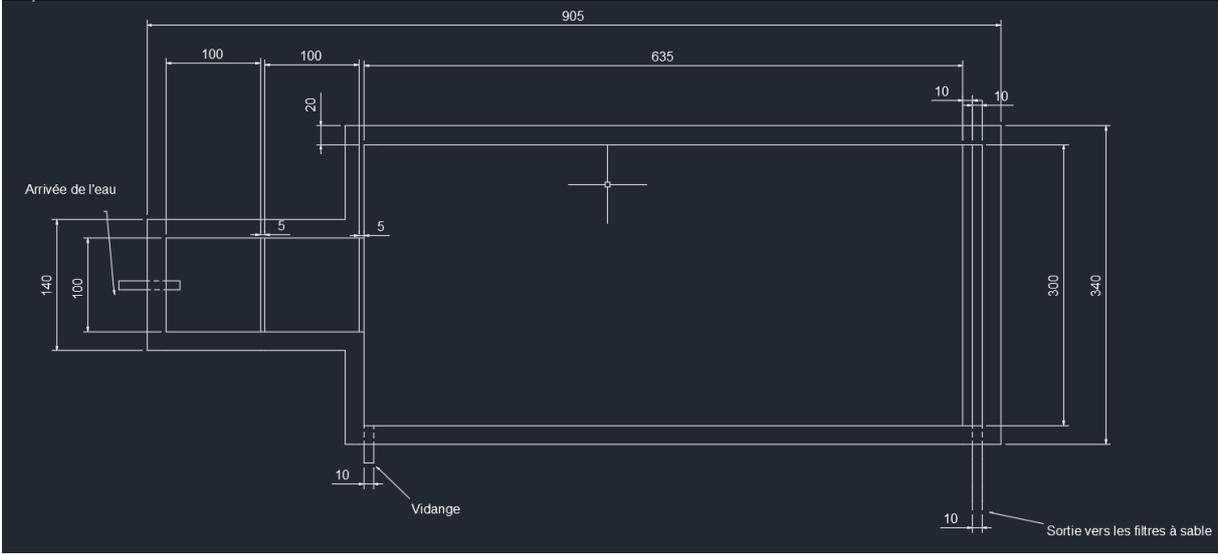


Pression au niveau d'une extrémité Ouest du réseau (V81)

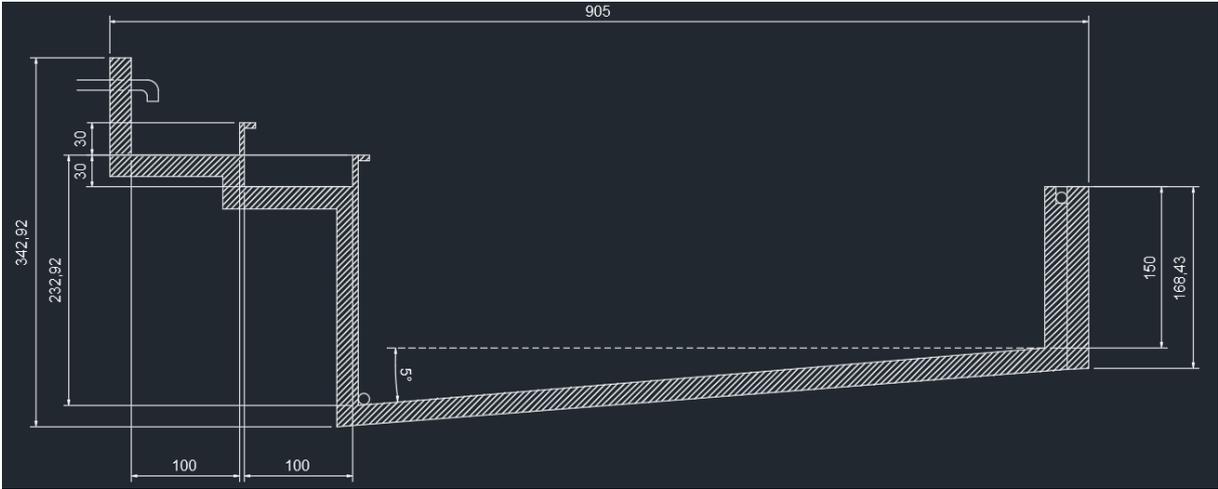


Pression au niveau d'une extrémité Nord-Est du réseau (V57)

Annexe 4 : Plan provisoire de décanteur-aérateur

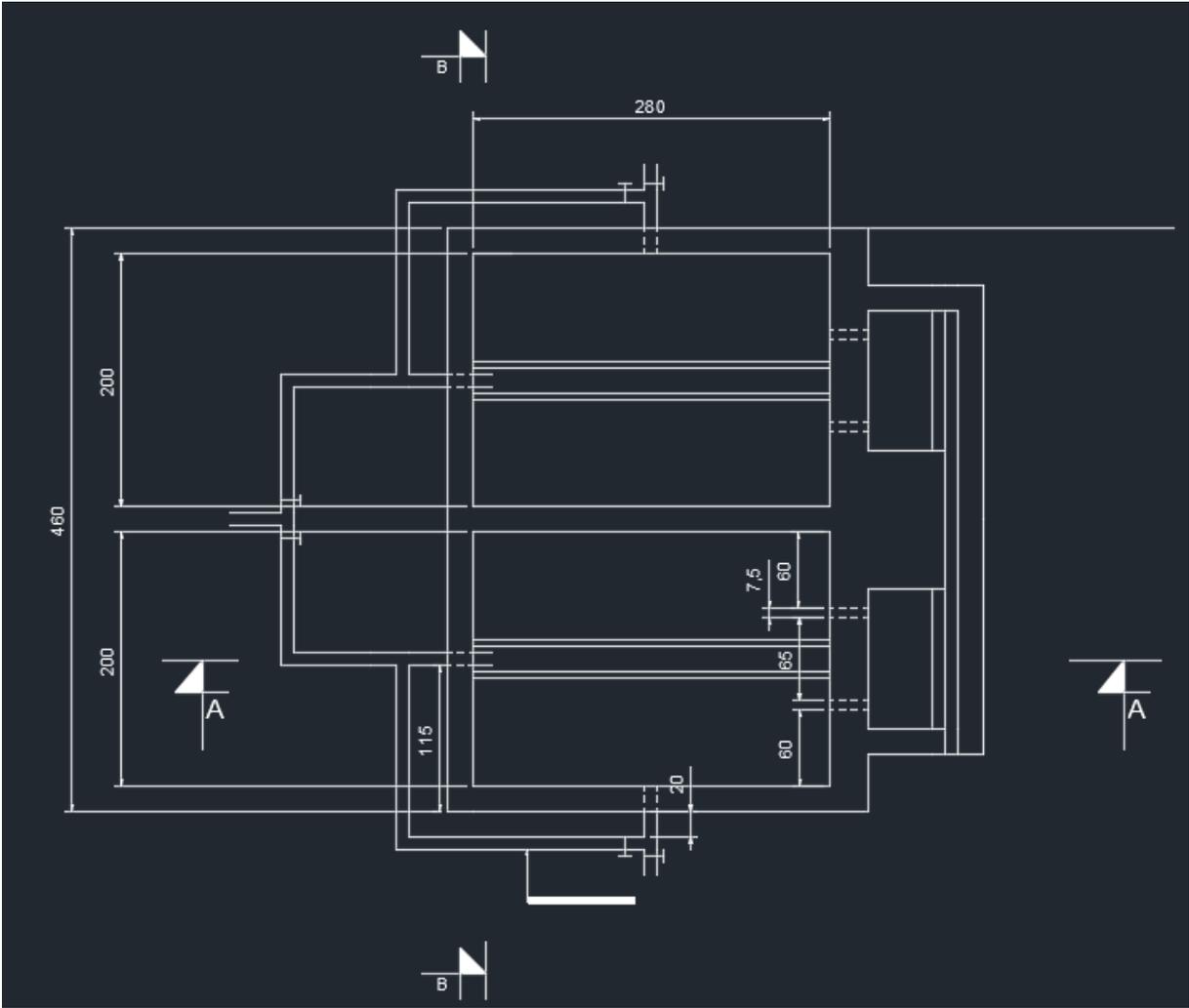


Vue du dessus

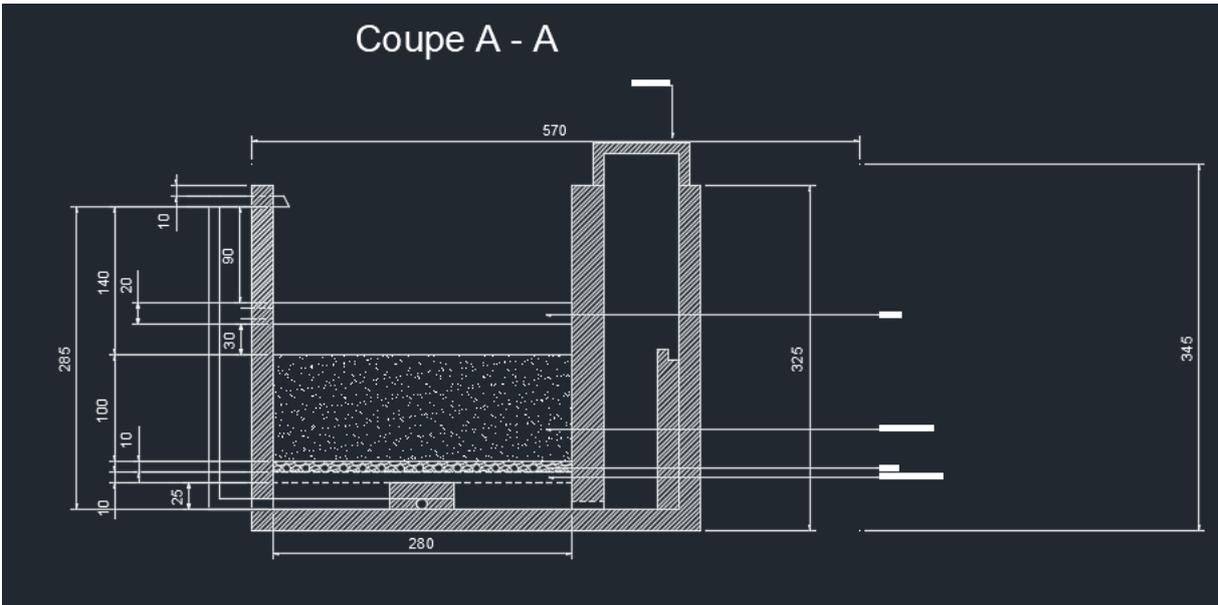


Vue en tranche

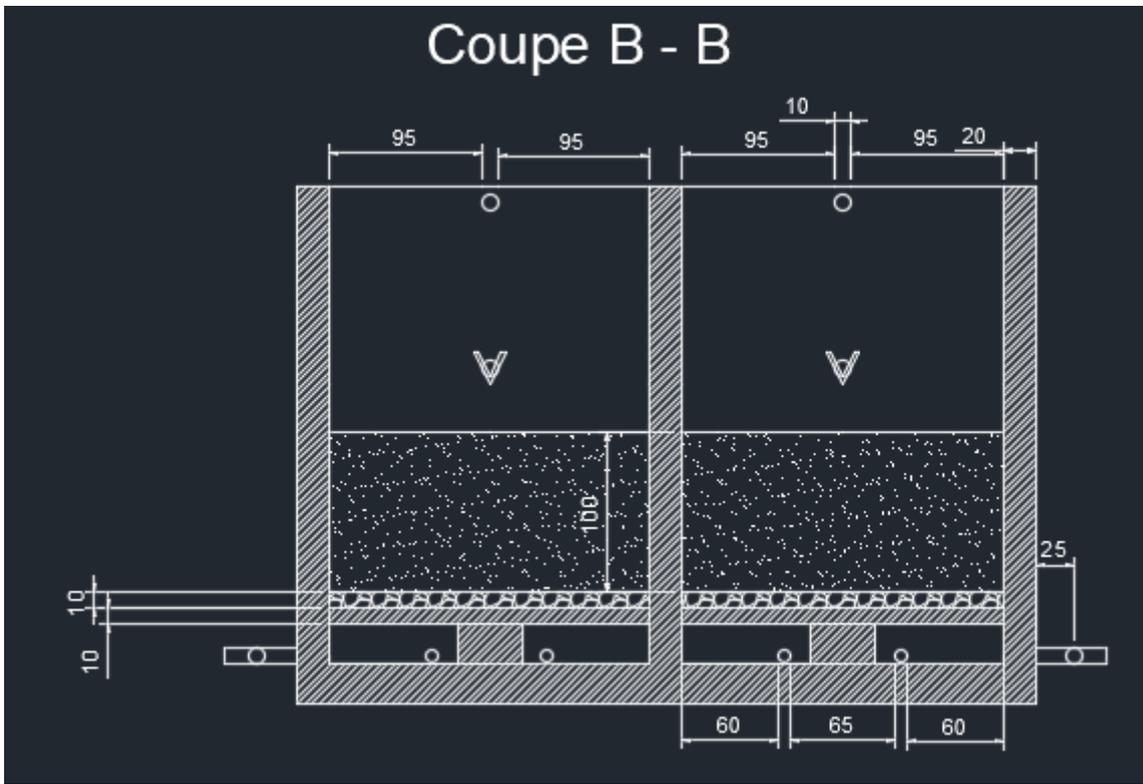
Annexe 5 : Plan provisoire du filtre à sable



Vue du dessus

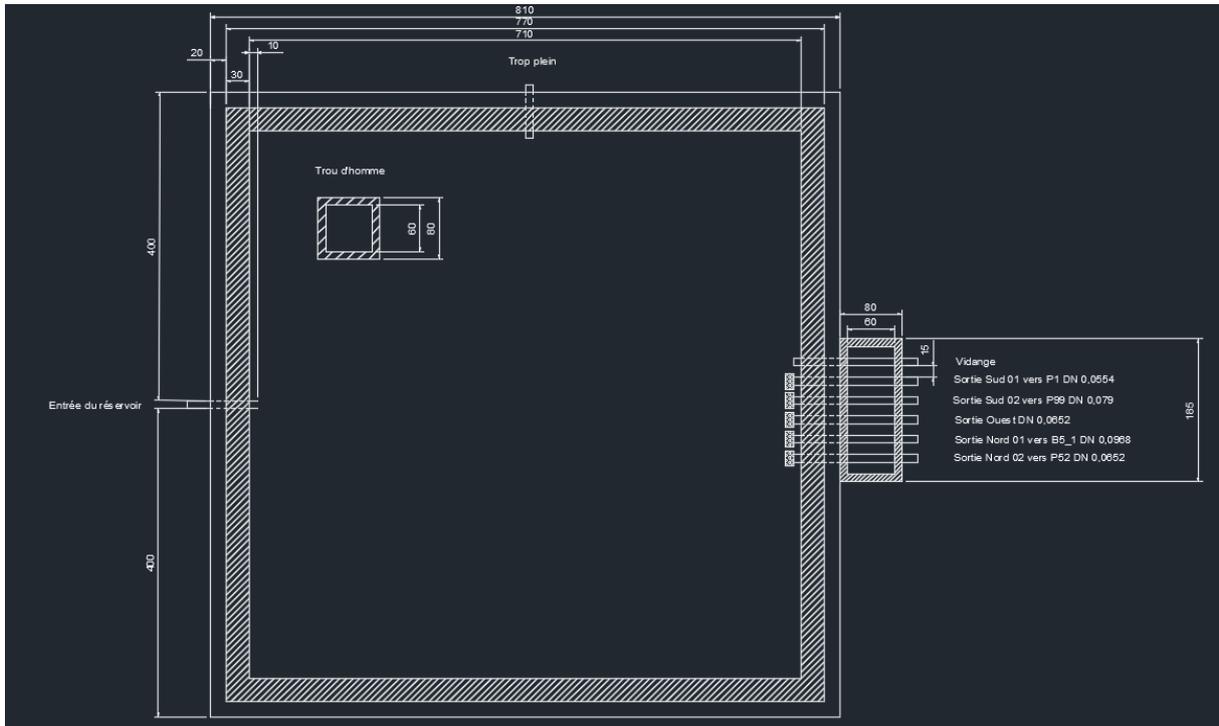


Vue en tranche selon la coupe A-A

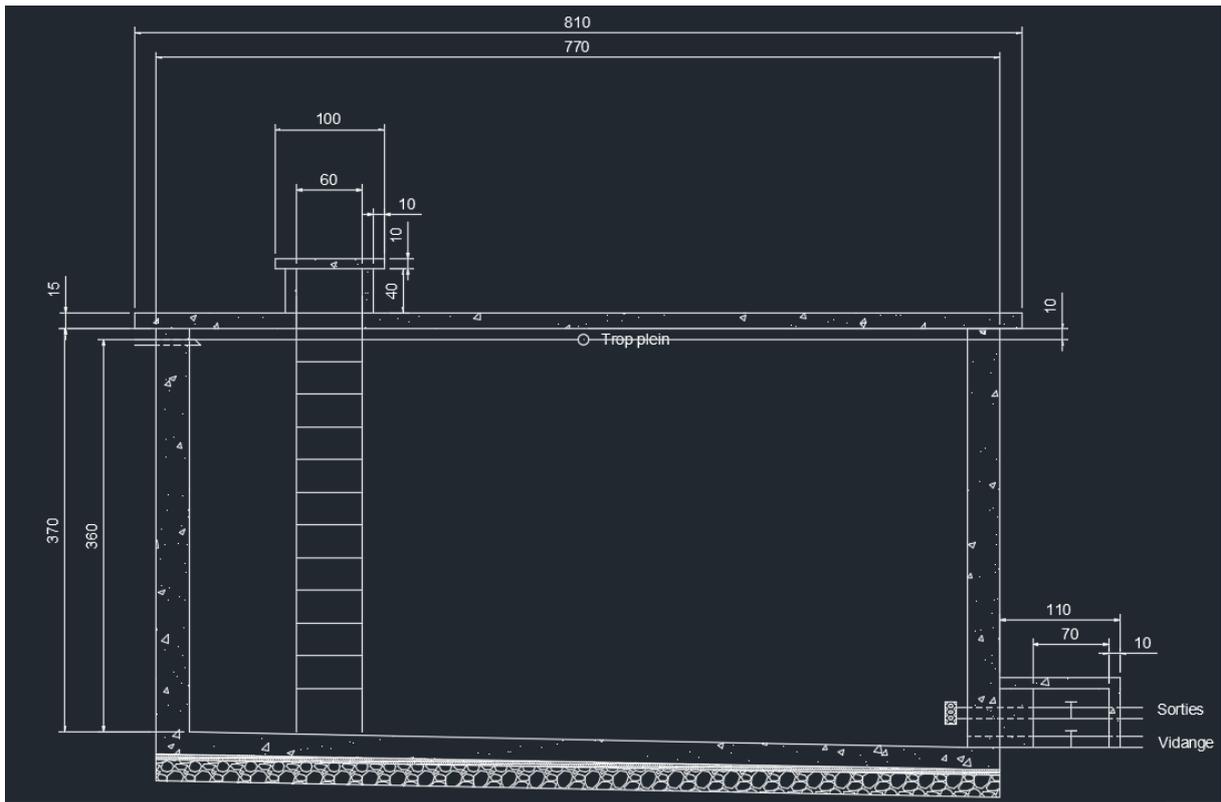


Vue en tranche selon la coupe B-B

Annexe 6 : Plan provisoire du réservoir



Vue du dessus



Vue en tranche

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Diplôme d'ingénieur

Spécialité : Traitement

Auteur : Arthur Frachon

Année

2020

Titre

Réalisation des études d'avant-projet sommaires puis détaillées du réseau central de la commune d'Ambalakely

Nombre de pages 60 texte 15 annexes

Nombre de références bibliographiques : 11

Structure d'accueil

Transmad/Antananarivo/Madagascar

Maître de stage François Simon

Résumé

Le but du projet est de mettre en place un réseau d'eau potable dans la commune d'Ambalakely. Le réseau sera alimenté via une nappe d'accompagnement. L'eau sera traitée sommairement (aération-décantation, filtration rapide, chloration) avant d'être stockée puis envoyée aux usagers.

Mots-clés : Adduction d'eau potable, traitement