

SOMMAIRE

LISTE DES ACRONYMES	7
LISTE DES FIGURES.....	8
LISTE DES CARTES	8
LISTE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION.....	11
I-1- Généralités :	13
I-1-1- Définition de l'adduction en eau potable (AEP) :	13
a- L'adduction en eau potable gravitaire :	13
b- L'adduction par pompage dans un puits :	13
I-1-2- Les objectifs d'une alimentation en eau potable :	14
I-1-3- Constitution d'un système d'AEP :	14
I-1-4- Termes de référence du projet :	15
I-2- Présentation du site :	15
I-2-1- Localisation :	15
I-2-2- Milieu physique :	16
a- Pédologie :	16
b- Végétation :	17
c- Hydrographie :	17
d- Climat :	17
I-2-3- Milieu humain et infrastructures de base existantes :	18
a- Population :	18
b- Habitat :	20
c- Les infrastructures à caractère social :	20
I-2-4- Milieu socio-économique :	22
a- Secteur primaire :	23
b- Secteur secondaire et tertiaire :	24
I-2-5- Milieu socio-culturel :	25
I-2-6- Evaluation des ressources locales de développement :	25
II-1- Estimation du besoin en eau de la population :	27
II-1-1- Etude démographique :	27
II-1-2- Estimation du besoin en eau de la population :	28
a- Estimation de la consommation moyenne journalière :	28
b- Evaluation de la consommation journalière effective C_e :	28
c- Calcul du débit de pointe Q_p :	30
d- Le coefficient de pointe:	31
e- Consommation journalière réelle :	31
f- Tableau récapitulatif des besoins en eau des 3 fokontany :	32
II-2- Géologie générale et topographie :	32
II-2-1- Géologie générale :	32
II-2-2- Topographie :	33
a- Topographie générale :	33
b- Levée topographique :	33
II-3- Analyses des eaux :	33
II-3-1- Examen bactériologique :	34
II-3-2- Analyse physico-chimique :	35
II-3-3- Précaution d'utilisation :	36

II-4- Climatologie, études hydrologiques et hydrogéologiques :	36
II-4-1- Climatologie :	36
II-4-2- Etudes statistiques des pluies :	37
II-4-3- Etudes hydrogéologiques :	38
II-5- Estimation des ressources disponibles :	39
II-5-1- Sources d'émergences :	39
II-5-2- Nappe d'arène :	41
II-6- Adéquation ressources-besoins :	43
III-1- Propositions d'aménagements :	45
III-2- 1ère variante : l'alimentation par adduction gravitaire :	45
III-2-1- Le captage et son périmètre de protection :	45
a- Le captage :	45
b- Périmètre de protection de l'ouvrage de captage :	46
III-2-2- La conduite d'amenée :	46
III-2-3- Le traitement des eaux :	47
III-2-4- Le dimensionnement du réservoir R :	48
III-2-5- Dimensionnement de la conduite de distribution :	50
a- Les pertes de charges linéaires et la vitesse moyenne de l'eau :	51
b- Les pertes de charges singulières :	53
c- La charge et la pression au sol :	53
III-2-6- La distribution de l'eau :	53
III-2-7- Récapitulation :	54
III-3- 2ème variante : l'alimentation par pompage dans un puits :	54
III-3-1-Aspect géologique :	55
a- Aspect général :	55
b- Prospection géophysique :	55
III-3-2- Estimation des besoins en eau de la population :	58
III-3-3- Les moyens d'exhaure :	59
III-3-4- Mise en place du système de captage :	59
a- Le captage :	59
b- Le cuvelage :	60
c- L'aménagement de surface :	60
d- Le système d'exhaure :	60
III-3-5- Utilisation d'une pompe électrique immergée :	60
a- Caractéristiques de la pompe :	60
b- Essai de pompage et débits d'alimentation :	61
c- Les réservoirs :	62
d- Conduites de refoulement :	64
III-3-6- Utilisation d'une pompe solaire immergée :	65
a- Notions d'énergies renouvelables :	65
b- La conversion photovoltaïque :	67
c- Le pompage solaire pour l'alimentation en eau potable d'Anosiarivo :	69
d- Les réservoirs de stockage :	72
III-3-7- La distribution de l'eau :	73
III-3-8- Entretien et mesures d'accompagnement :	74
IV-1- Les prix unitaires et les métrés :	75
IV-2- Les coûts des travaux :	75
IV-2-1- Estimation du coût pour l'adduction gravitaire :	76
IV-2-2- Estimation du coût pour le pompage électrique :	76
IV-2-3- Estimation du coût pour le pompage solaire :	77

IV-3- Prix de vente de l'eau :	77
IV-3-1- Les frais de gestion annuel des points d'eau :	78
IV-3-2- Les frais de réparation et de fonctionnement pour chaque variante :	79
a- Coûts d'entretien pour l'adduction gravitaire :	79
b- Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage électrique :	80
c- Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage solaire :	81
V-1- Description du milieu récepteur :	83
V-1-1- Zone d'influence du projet :	83
V-1-2- Description des milieux récepteurs :	84
a- Milieu physique :	84
b- Milieu biologique :	84
c- Milieu humain :	84
V-1-3 Les sources d'impact :	84
V-2- Analyse des variantes du projet :	85
V-3- Identification des impacts probables :	87
V-4- Evaluation des impacts :	90
V-5- Les mesures à prendre :	95
V-6- Les éléments du plan de gestion environnemental :	100
CONCLUSION.....	101
BIBLIOGRAPHIE.....	102
ANNEXES.....	100

LISTE DES ACRONYMES

AEP	Adduction d'eau potable
BDQE	Bordereaux de devis quantitatifs et estimatifs
BF	Borne Fontaine
BFS	Borne Fontaine Scolaire
CEG	Collège d'Enseignement Général
CR	Commune Rurale
CSB	Centre de Santé de Base
CT	Coliformes totaux
DSRP	Document Stratégique pour la Réduction de la Pauvreté
EC	Escherichia Coli
EPP	Ecole Primaire Publique
FID	Fond d'Intervention pour le Développement
FTM	Foiben-Taosarintan'i Madagasikara
HMT	Hauteur Manométrique Totale
HP	Hauteur Piézométrique
IRA	Infections respiratoire aiguë
JIRAMA	Jiro sy RAho MAagasy
MEM	Ministère de l'Energie et des Mines
MES	Matières En Suspension
PCD	Plan Communal de Développement
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PN	Pression Nominale
PVC	Polychlorure de vinyle
SF	Streptocoques fécaux
TENEMA	TENESol Madagascar
TRI	Taux de Rentabilité Interne

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Profil géoélectrique pour le site d'Antsahakely.	56
Figure 2: Profil géoélectrique pour le site Anosiarivo.	57
Figure 3: L'effet photovoltaïque.	69
Figure 4: Pompe solaire immergée.	70
Figure 5: Production et distribution selon la hauteur du réservoir.	73

LISTE DES CARTES

Carte 1: Présentation de la zone de projet	16
Carte 2: Les sources issues de la colline de Mangabe	40
Carte 3: Zone d'influence du projet	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition de la population par classe d'âge par fokontany.	19
Tableau 2 : Evolution du nombre de la population pour les trois fokontany.	20
Tableau 3: Etablissement primaire.	22
Tableau 4 : Etablissement secondaire.	22
Tableau 5: Secteur d'activité.	23
Tableau 6: Cultures pratiquées.	23
Tableau 7: Types d'exploitation.	23
Tableau 8: Elevage.	24
Tableau 9: Temples et églises.	25
Tableau 10: Matériaux disponibles.	26
Tableau 11: Projection de la population.	28
Tableau 12: Consommations des équipements spéciaux.	29
Tableau 13: Besoin effectif de la population.	29
Tableau 14: Besoin effectif pour les équipements spéciaux.	30
Tableau 15: Consommations horaires.	31
Tableau 16: Les besoins en eau de la population.	32
Tableau 17: Analyse bactériologique.	34
Tableau 18: Analyse physico-chimique.	35
Tableau 19 : Répartition mensuelle de la température.	36
Tableau 20: Pluies observées sur 15 ans.	37
Tableau 21: Bilan hydrique.	39
Tableau 22: Résultats de mesure pour les sources d'émergences.	41
Tableau 23: Débit de la nappe.	42
Tableau 24: Adéquation ressources-besoins.	43
Tableau 25: Critères de dimensionnement d'un filtre lent.	47
Tableau 26: Débit à l'entrée du bassin.	48
Tableau 27: Volume du réservoir R.	49
Tableau 28: Valeurs de β en fonction de Q, D, L et J.	52
Tableau 29: Valeurs de C en fonction de l'état des tuyaux.	52
Tableau 30: Besoins en eau selon les réseaux consicérés.	58
Tableau 31: Besoins de pointe journalière.	58
Tableau 32: Débits d'alimentation d'une pompe.	62
Tableau 33: Volume du réservoir R1 (Anosiarivo).	63
Tableau 34: Volume du réservoir R2 (Antsahakely).	63
Tableau 35: Valeurs de f.	65
Tableau 36: Coûts des travaux pour la 1 ^{ère} variante.	76
Tableau 37: Coûts pour la 2 ^{ème} variante utilisant une pompe électrique.	76
Tableau 38: Coût pour la 2 ^{ème} variante utilisant des pompes solaire.	77
Tableau 39: Frais de gestion des points d'eau.	78
Tableau 40: Coûts d'entretien pour l'adduction gravitaire.	79
Tableau 41: Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage électrique.	80
Tableau 42: Coûts d'entretien pour l'adduction par popage solaire.	81
Tableau 43: Coût d'entretien et coût d'amortissement.	81
Tableau 44: Prix de vente de l'eau.	82
Tableau 45: Les sources d'impact.	85

Tableau 46: Critères d'analyse.	86
Tableau 47: Identification des impacts.	89
Tableau 48: Système d'évaluation.	90
Tableau 49: Evaluation des impacts.	94

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable est problématique à Madagascar. En effet, le taux moyen d'accès à la distribution d'une eau de qualité se situe parmi les plus faibles du monde (28% de la population) malgré une abondance de ressources considérable. Ce taux d'accès est inégalement réparti, d'une part entre les grandes régions de l'île (cas du grand sud) et d'autre part, entre les zones urbaines et les zones rurales (3% des ruraux et 34% des urbains ont accès à l'eau potable).

Dans les milieux urbains, le prix de l'eau n'est pas à la portée de toutes les bourses et une seule société détient le monopole de la distribution. En milieu rural, le problème est tout autre, les sources d'eau sont en effet éloignées des communautés villageoises présentant ainsi de lourdes corvées pour les femmes et les enfants. De plus, nous assistons à une mauvaise gestion quantitative des ressources en eau de la population.

Pour pallier à ces problèmes et surtout dans le souci d'améliorer l'accès à l'eau potable, le gouvernement malgache collabore avec des bailleurs de fonds, des organisations non gouvernementales et des investisseurs privés dans des activités de développement englobant le secteur de l'eau.

Plusieurs projets d'alimentation en eau potable ont alors été mis en application jusqu'à ce jour par ces derniers surtout dans les milieux ruraux malgaches où le taux de desserte est très faible. Les objectifs principaux de ces projets étant l'amélioration des conditions de vie des personnes pauvres :

- amélioration de l'hygiène et de la santé des villageois,
- contribution à augmenter la qualité de vie des femmes et des enfants en les libérant de la corvée du transport de l'eau,
- renforcement de la gestion quantitative et qualitative des ressources en eau des communautés villageoises,
- diminution du prix de l'eau dans le maximum du possible.

Ainsi, le présent mémoire expose un cadre de projet de développement dans un milieu rural de la région Analamanga (Antananarivo Avaradrano), concernant trois fokontany

(Anosiarivo, Antsahakely, Ambodisiarivo) de l'arrondissement d'Anosiarivo dans la commune rurale d'Ambohimanga Rova.

Cette commune se trouvant seulement à une vingtaine de kilomètres de la capitale se voit malheureusement exposée à des problèmes d'accès en eau de qualité. Le projet consistera alors à desservir les trois fokontany de la dite commune en eau potable.

Après une étude technique de faisabilité, nous proposerons deux solutions techniques pouvant répondre aux besoins des usagers, à des normes de qualités techniques et environnementales et surtout au budget prévu :

- une adduction d'eau gravitaire à partir du captage d'une source d'émergence,
- une alimentation par pompage dans des puits en considérant deux moyens d'exhaure : la pompe électrique dans un premier temps et la pompe solaire dans un deuxième temps.

Ce mémoire comprend subséquemment cinq parties :

- la première partie définit l'adduction d'eau potable et parle des termes de référence du projet ;
- les études techniques de base nécessaires aux dimensionnements des ouvrages et à la mise en place des aménagements sont exposées dans la deuxième partie ;
- la troisième partie propose des aménagements pour desservir les trois fokontany de l'arrondissement d'Anosiarivo ;
- la quatrième partie évalue le coût des travaux pour chaque aménagement proposé ;
- la dernière partie est l'étude d'impact environnemental du projet.

Partie I : Contexte général :

I-1- Généralités :

I-1-1- Définition de l'adduction en eau potable (AEP) :

L'adduction en eau potable est l'action de conduire une eau obéissant à des normes physico-chimique, biologique et bactériologique à partir d'une ressource en passant éventuellement par une station de traitement jusqu'à un réseau de distribution pour subvenir aux besoins des habitants et des services publics d'une agglomération donnée. Cette eau ne doit alors avoir aucune conséquence néfaste sur la santé du consommateur à court terme, à moyen terme et à long terme.

Vue l'utilisation de l'eau de façon tout à fait temporaire par les consommateurs, il est nécessaire de prévoir des installations permettant d'évacuer ou de rejeter les eaux après usage sous des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement.

a- L'adduction en eau potable gravitaire :

L'adduction d'eau se fait de façon gravitaire de la source jusqu'à la zone à desservir. Elle est dite gravitaire lorsque son origine (captage) est situé à une côte supérieure à celle de son point d'arrivée (réservoir de stockage). Ce type d'adduction peut être réalisée à l'aide d'ouvrages à écoulement libre (canaux découverts ou aqueducs fermés) ou au moyen de conduites forcées. Les amenées d'eau destinée à l'alimentation humaine par canaux à ciel ouvert sont à déconseiller. On utilise des canalisations fermées à écoulement libre (aqueducs) ou à écoulement en charge (tuyaux).

Elle est la plus répandue à Madagascar.

b- L'adduction par pompage dans un puits :

Le puits est un ouvrage qui permet de capter l'eau de la nappe souterraine. Il est composé par trois parties différentes :

- le *captage* est la partie qui se trouve au niveau de la nappe. Il est constitué par des buses barbacanées pour laisser entrer l'eau de la nappe dans le puits, des graviers filtres pour

éliminer l'envasement et l'ensablement et une dalle de fond pour éviter l'envasement et l'ensablement venant du fond du puits ;

- le *cuvelage* est la partie verticale busée pour éviter l'éboulement et l'infiltration ou la contamination du puits. La partie cuvelée du puits devrait être isolée de toute infiltration ;
- l'*aménagement de surface* est la superstructure du puits composée d'une margelle, d'un aire d'assainissement, d'un couvercle, de graviers anti-bourbiers, d'une rigole et d'un puisard pour l'évacuation et l'élimination des eaux usées et obligatoirement d'un système d'exhaure qui assure l'hygiène, la sécurité et le moyen de puisage.

L'adduction par pompage dans un puits peut se faire par la motricité humaine, par les pompes électriques, par les pompes solaires ou par les pompes fonctionnant avec des aérogénérateurs

Ce système est surtout représenté dans les localités rurales par les puits traditionnels.

I-1-2- Les objectifs d'une alimentation en eau potable :

L'objectif principal n'est pas seulement de subvenir aux besoins en eau potable d'une population cible mais aussi d'établir des normes d'assainissement convenables.

L'alimentation en eau potable d'une agglomération permet en fait l'amélioration des conditions de vie des personnes pauvres, ainsi les infrastructures de base doivent être fonctionnelles et pérennes pour assurer un développement durable de la localité considérée.

I-1-3- Constitution d'un système d'AEP :

Un réseau d'alimentation en eau potable comprend :

- un captage de source avec son périmètre de protection ;
- une conduite d'amenée qui transporte l'eau depuis la prise jusqu'au lieu de stockage.
- éventuellement une station de traitement d'eau ;
- un réservoir de stockage d'eau potable ;
- un réseau de conduite de distribution d'eau desservant vers des bornes fontaines et des branchements particuliers.

I-1-4- Termes de référence du projet :

Dans le cadre de la mise en application des projets de développement mis en priorité par l'Etat, la Direction Inter Régional d'Antananarivo du Fond d'Intervention pour le Développement (F.I.D.) a lancé les études d'adduction d'eau potable dans le fokontany d'Anosiarivo et ses environs, commune Ambohimanga Rova, district Antananarivo Avaradrano et région Analamanga. Le cabinet d'études MIARY (Antananarivo) est le maître d'œuvre et est titulaire du dit marché.

Les études ont été lancées sur la base du Plan Communal de Développement (PCD) de la commune rurale d'Ambohimanga Rova et sur la base du manuel de procédure pour la mise en place des projets « Eau et Assainissement » élaboré par le Ministère de l'Energie et des Mines.

Une des conditionnalités d'intervention du FID est l'existence d'une Association, issue des bénéficiaires, assurant la réalisation et l'exploitation du projet. Sans hésiter, le Fokontany, avec l'appui de la commune locale, a constitué l'Association « MAHASOA » régie par le décret 60-133 du 03 Octobre 1960 qui est déjà fonctionnelle depuis le 21 mars 2006. Cette Association a déjà mis à la disposition du FID la somme de Ar 1.610.212,61 faisant partie de la participation des bénéficiaires pour la réalisation du projet.

I-2- Présentation du site :

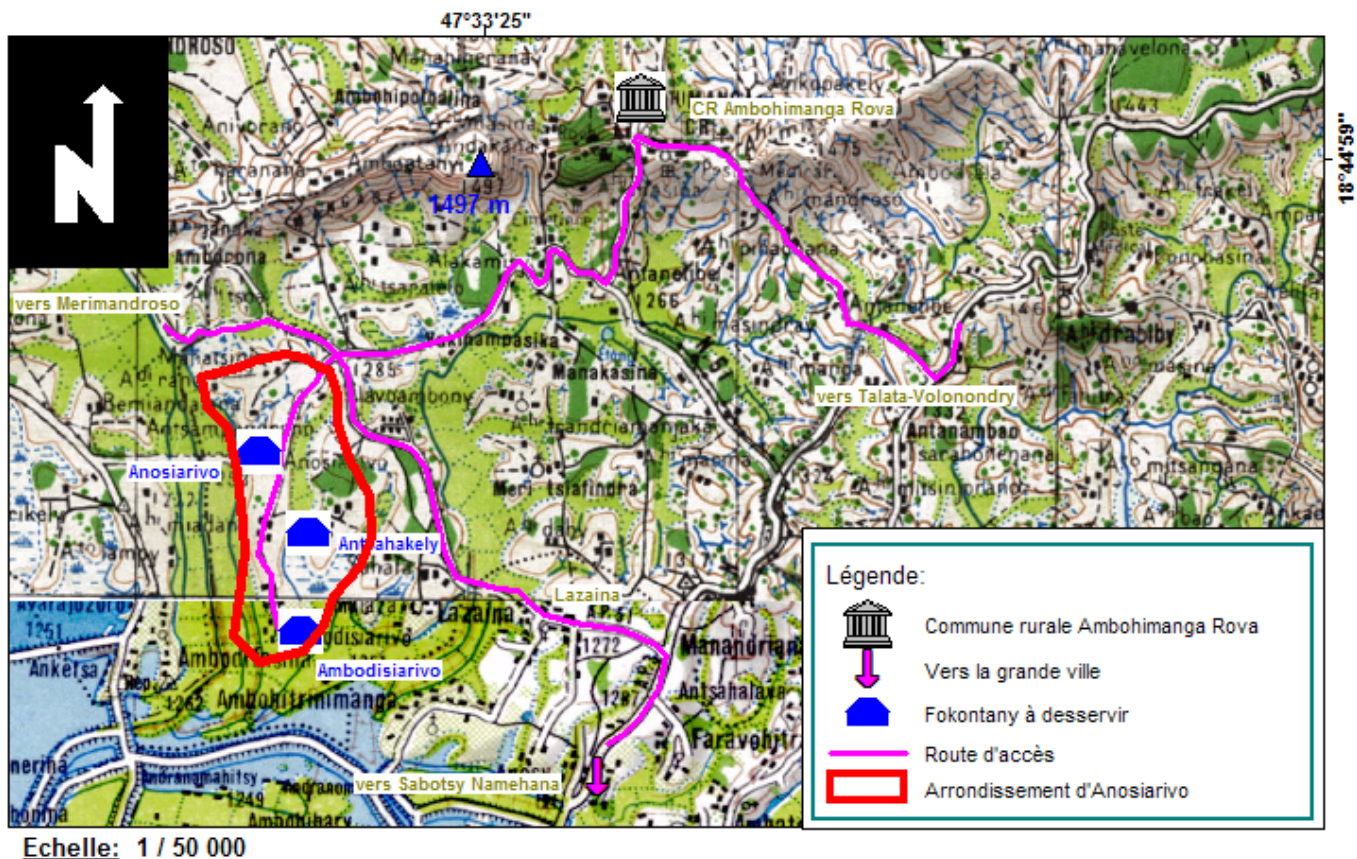
I-2-1- Localisation :

Sur le plan administratif, la zone de projet est représentée par les fokontany d'Anosiarivo, d'Antsahakely et d'Ambodisiarivo qui se trouvent dans l'arrondissement d'Anosiarivo dans la commune d'Ambohimanga Rova, district Antananarivo Avaradrano, région Analamanga, province autonome d'Antananarivo.

Sur le plan géographique, l'arrondissement d'Anosiarivo est situé au sud-ouest de la commune d'Ambohimanga Rova qui se trouve à 21 km de la ville d'Antananarivo. Sur la carte 1 : 100 000^{ème} de la FTM (feuille p.46), l'arrondissement se trouve entre les parallèles 18°45' et 18°48' de latitude sud et les méridiens 47°30' et 47°35' de longitude est.

La zone de projet a comme commune limitrophe celui :

- d'Antsahafilo au nord ;
- de Sabotsy Namehana au sud ;
- de Talata-volonondry à l'est ;
- de Merimandroso à l'ouest.



Carte 1: Présentation de la zone de projet.

I-2-2- Milieu physique :

a- Pédologie :

Les versants de l'arrondissement d'Anosiarivo sont occupés par quelques tanety entrecoupés de vallées, par quelques montagnes de roches granitiques qui sont formées par des sols ferralitiques plus ou moins remaniés, par des sols hydromorphes (dans les talwegs, les petites dépressions et les rivières) et par des sols peu évolués d'apport alluvial-colluvial.

Les tanety, la plaine de Laniera ainsi que les bas fonds se trouvant au niveau de la zone de projet constituent des sols cultivables.

b- Végétation :

Les sols ont de bonnes aptitudes aux cultures pluviales et aux cultures sèches. Les bas fonds et la plaine de Laniera sont propices à la riziculture (650 ha de rizières, soit plus de 50 % de la superficie totale de l'arrondissement). Les flancs des collines ainsi que les bas fonds sont favorables aux cultures maraîchères ou aux cultures sèches (occupent une surface de 1000 ha, soit 36 % de la superficie totale de la commune).

Des résidus de forêt naturelle et des parcelles reboisées d'eucalyptus et de pins disséminées limitent le Fokontany d'Anosiarivo avec celui de Mahatsinjo. Nous remarquons l'existence d'une savane herbacée due aux feux de brousse.

Les plateaux et les versants constituent aussi des zones d'habitation (2 % de la superficie totale).

c- Hydrographie :

Aucun lac ni cours d'eau remarquables passent dans la commune rurale d'Ambohimanga Rova. L'hydrographie de la région est surtout formée des ruisseaux des sources collinaires (Mangabe, Ambatondradama et Ambohimitsinjo).

Toutefois la rivière de Mambakely (prenant sa source dans le massif de Langana) passe à proximité de la commune pour rejoindre le fleuve de Mamba après avoir irrigué la plaine de Laniera.

d- Climat :

L'arrondissement d'Anosiarivo s'insère dans l'entité physique des hautes terres de l'île subissant un climat chaud et assez humide avec une température moyenne annuelle variant entre 14,8° C à 21,4° C.

La zone du projet est marquée par deux saisons contrastées :

- une saison sèche du mois d'avril au mois de septembre,
- une saison de pluie du mois d'octobre au mois de mars.

La pluviométrie moyenne varie selon la période observée mais la moyenne annuelle observée se situe autour de 1645.7 mm. Cette pluviométrie moyenne annuelle de 1645.7 mm est calculée sur 15 années d'observations de 1980 à 1994 à la station d'Ambohimanga (Météorologie nationale), les 90% de la hauteur de pluies sont enregistrés sur 6 mois entre octobre et mars.

I-2-3- Milieu humain et infrastructures de base existantes :

a- Population :

D'après les données statistiques disponibles au sein du bureau communal d'Ambohimanga Rova, la population des trois fokontany concernés par le projet (recensement septembre 2005) compte 2973 habitants répartis sous 539 toits qui longent l'axe routier d'Anosiarivo jusqu'à Ambodisiarivo en passant par Antsahakely sur une longueur de 2 kilomètres.

Le tableau 1 montre la répartition par classe d'âge et par sexe de la population des trois fokontany.

Classe d'âge (ans)	Sexe	Fokontany			Total
		Ambodisiarivo	Antsahakely	Anosiarivo	
0 à 4	F	90	58	56	204
	H	70	57	42	179
5 à 9	F	69	58	49	176
	H	51	61	46	158
10 à 15	F	84	46	61	191
	H	70	53	52	175
16 à 19	F	56	31	62	149
	H	48	23	48	119
20 à 24	F	26	19	47	92
	H	38	22	28	88
25 à 29	F	76	22	42	140
	H	64	23	30	117
30 à 34	F	85	29	34	148
	H	88	23	31	142
35 à 39	F	32	23	30	85
	H	30	31	39	100
40 à 44	F	69	34	22	125
	H	59	21	21	101
45 à 49	F	42	26	26	94
	H	49	13	13	75
50 à 54	F	44	21	21	86
	H	56	15	15	86
> à 55	F	31	22	22	75
	H	46	11	11	68
Total		1373	752	848	2973

Tableau 1: Répartition de la population par classe d'âge par fokontany.

Source : CR Ambohimanga Rova (recensement septembre 2005).

Le tableau 2 montre l'évolution du nombre de la population au niveau des trois fokontany.

Année	1999	2001	2003	2005
Nombre d'habitants	2240	2312	2509	2973

Tableau 2 : Evolution du nombre de la population pour les trois fokontany.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans les trois Fokontany.

Le taux de croissance de la commune étant de 3.14% (statistique du PCD 2003).

Du point de vue composition ethnique, le peuplement de la zone de projet est surtout marqué par la domination du foko Merina.

b- Habitat :

La grande majorité de la population est logée dans des habitations traditionnelles, soit dans des maisons construites en agglomérés de terre et toiture de chaume, soit dans des maisons construites en maçonnerie de briques de terre cuites ou non cuites et toiture en tuile ou tôle dont les caractéristiques générales sont les suivants :

- nombre de pièces : 2 à 3
- surface habitable : 30 à 45 m² par ménage,
- surface vitale par personne : 5 à 7 m² (pour un nombre moyen de 5.5 personnes par ménage).

c- Les infrastructures à caractère social :

- Approvisionnement en eau :

La population utilise des puits traditionnels (parois en briques de terre cuite) jusqu'à une profondeur moyenne de 06 à 12 mètres. Généralement, la qualité de l'eau atteint la limite acceptable de la potabilité ; cependant, à partir du mois de septembre le débit s'affaiblit et devient insuffisant par rapport aux besoins jusqu'à l'arrivée de la première pluie au mois de novembre. Par conséquent, la population a recours aux multiples ruisseaux issus des sources souterraines des collines environnantes (Mangabe, Ambatondradama, ...).

Pour la partie basse de la région (fokontany d'Ambodisiarivo), à proximité des bas fonds ou des plaines (Laniera), le débit est favorable mais l'eau n'est pas de bonne qualité.

- Electricité :

28 habitations sur 167 à Anosiarivo et 12 habitations sur 163 à Antsahakely sont alimentées par le réseau de la JIRAMA (source : enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY au sein de la commune rurale d'Ambohimanga Rova).

- Sanitaire et hygiène :

Les habitations disposent en général d'une latrine à fosse perdue mais la plupart d'entre eux ne sont pas équipées de douche.

- Santé :

Anosiarivo dispose d'un centre de santé de base niveau II (CSB II) dirigé par un médecin avec deux personnels médicaux (sage femme et dispensatrice).

Le bâtiment compte huit salles et dispose d'une toilette à fosse sceptique ainsi que d'une douche et de deux lavabos dont l'eau courante est alimentée par un puits en buse muni d'une pompe électrique immergée.

Les maladies courantes (source : chef de poste du CSB) sont :

- les infections respiratoires aiguës (IRA)
- la diarrhée sans déshydratation,
- la fièvre (suspicion de paludisme),
- les infections cutanées.

- Scolarisation :

Les trois fokontany disposent de trois écoles primaire et d'une école de niveau secondaire à Anosiarivo (classe de 6^{ème} et classe de 5^{ème}).

Les tableaux 3 et 4 caractérisent les écoles existantes dans les trois fokontany :

Désignation	Ecoles Publiques	Ecoles Privées Confessionnelles	Total
Nombre d'établissements	2 EPP	1	3
Nombre de classes	6	3	9
Nombre d'élèves	391	133	524
Nombre d'enseignants	5	3	8

Tableau 3: Etablissement primaire.

Désignation	Ecoles Publiques	Ecoles Privées Confessionnelles	Total
Nombre d'établissements	1 CEG	-	1
Nombre de classes	2	-	2
Nombre d'élèves	72	-	72
Nombre d'enseignants	3	-	3

Tableau 4 : Etablissement secondaire.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans les trois fokontany.

Les établissements scolaires (public et privé) dans le niveau primaire ne possèdent pas de point d'eau (puits, ...).

L'établissement secondaire de premier cycle (CEG) est récemment installé dans l'arrondissement d'Anosiarivo pour l'année scolaire 2006 –2007.

Le taux de scolarisation dans le niveau primaire est de 75%.

Ainsi, les infrastructures sociales de base sont présentes dans la zone mais l'absence d'un approvisionnement en eau potable ne permet pas l'exploitation optimale de ces infrastructures.

I-2-4- Milieu socio-économique :

L'environnement économique de la zone du projet est marqué par la domination des activités agricoles.

La distribution de la population pour chaque secteur d'activité est décrite par le tableau 5.

Secteur d'activité	%
Primaire	88
Secondaire	2
Tertiaire	0
Demandeurs d'emploi	10

Tableau 5: Secteur d'activité.

Source : CR Ambohimanga Rova.

a- Secteur primaire :

L'agriculture occupe 51 % de la surface totale (1650 ha) de l'arrondissement d'Anosiarivo. Les tableaux 6 et 7 résument les types de cultures pratiquées dans la région.

Cultures	Superficie des exploitations	Zone
Riz	650 ha	Sud et Ouest
Légumes et cultures sèches	1000 ha	Nord et Est

Tableau 6: Cultures pratiquées.

Types d'exploitation	Superficie exploitée en Ha	Exploitants	Mode d'exploitation
Riz	250	140	Pluviale
Maïs	-	-	Pluviale
Haricot	-	-	Arrosage à partir des étangs
Voanjobory	50	-	Arrosage à partir des étangs
Brèdes	-	-	Arrosage à partir des étangs
Patate douce	-	-	Arrosage à partir des étangs
Arachide	100	-	Arrosage à partir des étangs
Oignon	-	-	Arrosage à partir des étangs
Chou	750	300	Arrosage à partir des étangs

Tableau 7: Types d'exploitation.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans les 3 fokontany.

La superficie totale des plaines cultivables est de 1650 ha pour une surface exploitée de 1150 ha. En moyenne chaque famille exploite 10 à 25 ares. La culture attelée est largement répandue (charrettes, charrues, herse, sardeuses, brouettes, pulvérisateurs).

Une grande partie de la production est destinée à la consommation familiale. Le chou et l'arachide sont acheminés sur les marchés périphériques et vers la capitale (Andravoahangy, Isotry et Anosibe).

L'élevage constitue une activité secondaire d'appoint orientée vers l'agriculture car en effet le cheptel bovin est destiné pour les travaux agricoles (traction animale, production de fumier).

La filière avicole semble de plus en plus pratiquée et des essais encore timides se tournent vers la rizipisciculture. Quant à la filière porcine, elle est conduite de façon traditionnelle (10 mois d'embouche).

Le tableau 8 donne une estimation des effectifs bestiaux dans la zone de projet.

Elevage	Effectifs
Bovidés	2000
Porcs	1000
Volailles	8500
Caprins	10

Tableau 8: Elevage.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans les trois fokontany.

La population utilise les eaux de puits pour la nourriture des bestiaux de l'élevage qui entre en concurrence avec les besoins ménagers.

b- Secteur secondaire et tertiaire :

Ces deux secteurs occupent une infime partie de la population. L'arrivée du réseau d'électricité dans la zone a pu exprimer un début de développement de ces secteurs. Toutefois, une proportion non négligeable de la population active est investie dans ces secteurs à l'extérieur de la commune (tourisme...).

Un pourcentage très minime s'essaie dans les activités de commerce de proximité (40 commerçants et artisans réguliers recensés), l'enseignement et autres services publics déconcentrés.

I-2-5- Milieu socio-culturel :

Les espaces culturels et récréatifs : tranom-pokonolona, hall d'information, bibliothèque, salle d'œuvre ou autres, n'existent pas à Anosiarivo et ses environs mais ce sont les projections de films dans des salles privées qui tendent à gagner du terrain dans la région.

Sur le plan spirituel, le christianisme domine la région, nous y rencontrons trois temples et une église catholique (récapitulés dans le tableau 9).

Etablissements	Anosiarivo	Antsahakely	Ambodisiarivo
Temples Protestants	1	1	-
Eglise Catholique	-	1	-
Temple Jesosy Mamonjy	-	-	1

Tableau 9: Temples et églises.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans les 3 fokontany.

I-2-6- Evaluation des ressources locales de développement :

Une des conditions d'intervention du FID dans les projets qu'il finance est la participation des bénéficiaires dans la réalisation des travaux. Cette participation peut être effectuée soit en apport numéraire en main d'œuvre ou en fourniture de matériaux de construction qui peuvent exister localement (sable, gravillons, blocages, ...).

La participation des bénéficiaires en apport en main d'œuvre est le creusement des canaux pour la pose des conduites. En effet, la zone du projet dispose d'environ 1500 unités de travail humain disponibles pour la participation des bénéficiaires pendant l'exécution du projet.

Comme matériaux locaux (tableau 10), le Fokontany voisin de Soamonina dispose :

DESIGNATION	SITE	DISTANCE (de la commune)	QUANTITE
Sable	Andriambe	2,500 Km	Moyenne
Carrière de granite	Colline d'Ambohimitsinjo	0,500 Km	Abondante
Bois de pin	Colline d'Ambohimitsinjo	0,500 Km	Abondante

Tableau 10: Matériaux disponibles.

Source : Enquêtes menées par le cabinet d'études MIARY dans la commune d'Ambohimanga Rova.

Partie II : Etudes techniques de base :

II-1- Estimation du besoin en eau de la population :

II-1-1- Etude démographique :

Ici, l'étude démographique ne porte que sur la détermination du nombre de la population à desservir selon un horizon de projet fixé au préalable.

Le volume d'eau nécessaire à l'alimentation d'une agglomération dépend notamment :

- de l'importance et du caractère de la localité à desservir ;
- des besoins municipaux, agricoles et industriels ;
- des habitudes de la population.

Actuellement le Ministère de l'Energie et des Mines (M.E.M.) préconise une quantité moyenne de 40 litres d'eau par habitant et par jour pour les communes rurales. Mais pour des calculs effectifs nous pouvons prendre les consommations suivantes :

- 30 litres par jour pour un homme ;
- 40 litres par jour pour une femme ;
- et 25 litres par jour pour un enfant.

L'évaluation du besoin en eau se base ainsi sur le nombre de population à desservir. Nous considérerons un horizon de 20 ans pour le projet par rapport à l'année 2007 (année de référence).

Ainsi, la projection de la population pour un horizon de 20 ans (tableau 11) est donnée par la formule générale :

$$P_n = P_0(1+\alpha)^n$$

P_n : nombre de la population à l'année n de projection,

P_0 : nombre de la population à l'année initiale considérée,

α : taux d'accroissement de la population,

n : nombre d'année de projection.

Les données statistiques du P.C.D. 2003 de la commune indiquent un taux d'accroissement de la population de 3.14 % (cf. Partie I, I-3-3, a) dans l'ensemble des trois fokontany. Pour l'année 2005, la population est de 2973 (cf. tableau 1).

Année	2005	2007	2027
Homme	903	961	1783
Femme	987	1050	1949
Enfant (âge scolaire, moins de 16 ans)	1083	1152	2138
Total	2973	3163	5869

Tableau 11: Projection de la population.

II-1-2- Estimation du besoin en eau de la population :

L'évaluation du besoin en eau dans les trois fokontany se calculera pour l'année 2027.

a- Estimation de la consommation moyenne journalière :

Le besoin journalier B de la population est le produit de la consommation moyenne journalière C (C = 40 L/j/hab) par le nombre de la population P.

$$B = P_{2027}.C$$

soit $B = 234775 \text{ L/j} = 2.72 \text{ L/s}$

b- Evaluation de la consommation journalière effective C_e :

Pour une étude plus précise, il faut tenir compte de la consommation des équipements spéciaux dont les valeurs données par le tableau 12 prennent déjà en compte les pertes dans le réseau et les gaspillages éventuels. Nous considérons aussi une réserve d'incendie à hauteur de 5% de la consommation effective.

Désignation	Consommation journalière
Ecole	10 L/j/élève
Centre de santé	160 L/j/lit et 40 L/j/visiteur
Elevage: bovidé	50 L/j/tête
porc	20 L/j/tête
volaille	0,25 L/j/tête
chèvre	5 L/j/tête
Bureau	20 L/j/employé
Rassemblement occasionnel: messe	5 L/j/hab
réunion	5 L/j/hab
Ménage	50 L/j/toit
Homme	30 L/j/personne
Femme	40 L/j/personne
Enfant	25 L/j/personne

Tableau 12: Consommations des équipements spéciaux.

Ainsi, les consommations effectives de la population selon les infrastructures en place dans les trois fokontany sont données par les tableaux 13 et 14.

	Unité (personne)	C _e (L/j/unité)	Besoin effectif C _e 1 (L/j)	Besoin effectif C _e 1 (L/s)
Homme	1783	30	53490	
Femme	1949	40	77960	
Enfant	2138	25	53450	
Total			184 900	2,14

Tableau 13: Besoin effectif de la population.

	Unité	Ce (L/j/unité)	Besoin effectif Ce2 (L/j)	Besoin effectif C _e 2 (L/s)
2 EPP	391	10	3910	
1 école privée	133	10	1330	
1 CEG	72	10	720	
CSB II	10	160	1600	
Visiteurs CSB II	40	40	1600	
Bovidé	2000	50	100000	
Porc	1000	20	20000	
Volaille	8500	0,25	2125	
Chèvre	50	5	250	
3 temples	100	5	500	
1 église	100	5	500	
Bureau communal	10	20	200	
Ménage	539	50	26950	
Consommation effective partielle			159685	
Réserve d'incendie			7984	
Total			167669	1,94

Tableau 14: Besoin effectif pour les équipements spéciaux.

De ce fait, nous avons le débit effectif total $Q_e = C_{e1} + C_{e2}$

soit $Q_e = 352569 \text{ L/j} = 4.08 \text{ L/s}$

c- Calcul du débit de pointe Q_p :

Pour évaluer le débit de pointe, il est nécessaire de déterminer les consommations horaires de la population. Le débit de pointe est alors le besoin maximal requis pour une tranche horaire donnée et les besoins horaires en L (tableau 15) ne sont autres que la consommation effective journalière en L/j affectée de coefficients horaires dépendant de la consommation en eau de la population pour des tranches horaires de la journée.

Tranches horaires	Durée (h)	Coefficients horaires	Besoins horaires (L)
05 à 08h	3	0,18	63462
08h à 12h	4	0,22	77565
12h à 15h	3	0,18	63462
15h à 19h	4	0,22	77565
19h à 22h	3	0,12	42308
22h à 05h	7	0,08	28206

Tableau 15: Consommations horaires.

Le besoin est maximal de 08h à 12h et de 15h à 19h soit pour une durée de 4h. Le débit de pointe est donc le rapport du besoin horaire maximal à savoir 77565 L par la durée de 4h, soit 19391 L/h.

$$Q_p = 19391 \text{ L/h} = 5.39 \text{ L/s}$$

d- Le coefficient de pointe:

Le coefficient de pointe est un coefficient qui permet de déterminer réellement la consommation journalière nécessaire pour tous dimensionnements ultérieurs du réseau d'adduction. Il est donné par :

$$K = \frac{Q_p}{Q_e}$$

soit $K = 1.32$

e- Consommation journalière réelle :

La consommation journalière réelle est :

$$C_{réelle} = K.B$$

$$C_{réelle} = 309.903 \text{ L/j} = 3.59 \text{ L/s}$$

f- Tableau récapitulatif des besoins en eau des 3 fokontany :

	L/j	m³/h	L/s
Consommation moyenne journalière par habitant C	40	$1,67 \cdot 10^{-3}$	$4,63 \cdot 10^{-4}$
Besoin journalier dans les 3 fokontany B	234775	9,78	2,72
Débit effectif Q_e	352569	14,69	4,08
Débit de pointe Q_p		19,39	5,39
Coefficient de pointe K			1,32
Consommation journalière réelle C_{réelle}	309903	12,91	3,59

Tableau 16: Les besoins en eau de la population.

La consommation réelle de la population est donc de **3,59 litres par seconde** ; ce débit servira de base de calcul dans le présent mémoire d'étude.

II-2- Géologie générale et topographie :

II-2-1- Géologie générale :

Le centre de l'Imerina se caractérise par l'escarpement de faille de l'Angavo et le paysage de collines de l'Imerina Est.

La zone d'Ambohimanga se trouve sur une formation de métamorphisme constituée principalement de la migmatite.

La nappe d'arène, qui donne naissance à de multiples sources sur le flanc de la colline Mangabe à l'exutoire des talwegs, est emmagasinée dans une couche d'altération dont l'épaisseur ne dépasse pas trois mètres, limitant ainsi les dimensions ainsi que la capacité de la roche réservoir. Cette couche est constituée de latérite ferrallitique ; par conséquent, le dépôt des ions ferriques peut être observé à la sortie de l'eau. L'analyse chimique faite en 2001 par le Laboratoire National des Mines conforte cette teneur en fer de l'ordre de 0,7 milligramme par litre d'eau.

II-2-2- Topographie :

a- Topographie générale :

Le relief de la zone d'Ambohimanga est peu accidenté et est caractéristique de ceux des hauts plateaux du centre.

L'arrondissement d'Anosiarivo elle-même est constitué de quelques tanety entrecoupés de vallées et parsemés de quelques montagnes de roches granitiques. L'altitude moyenne se situe entre 1100 m et 1400 m.

b- Levée topographique :

Des levées topographiques ont été effectuées par l'équipe technique du cabinet d'études MIARY à savoir :

- aux sites de captage au niveau des sources souterrains sur le flanc de la colline Mangabe ;
- aux emplacements des ouvrages (bassin de filtration, réservoirs, puits, ...) ;
- tout le long du tracé de la conduite d'amenée ;
- tout le long du tracé de la conduite de distribution ;
- aux emplacements des 14 bornes fontaines,

en vue de pouvoir identifier l'emplacement des différents constituants du système d'adduction en eau.

II-3- Analyses des eaux :

L'étude des eaux a pour objet de déterminer leur possibilité d'utilisation. Elle comporte un examen bactériologique et une analyse physico-chimique. De ce fait, trois échantillons ont été prélevés, à savoir :

- eau provenant de la source souterraine de la colline de Mangabe ;
- eau de puits se trouvant à Ambodisiarivo (à proximité de la plaine rizicole) ;
- eau de puits se trouvant à Anosiarivo.

II-3-1- Examen bactériologique :

Un examen bactériologique a été fait à l'institut Pasteur de Madagascar (Antananarivo) sur trois échantillons :

La détermination de la potabilité de l'eau doit comporter une analyse bactériologique dont l'objectif est de s'assurer que l'eau n'a pas été infectée par des pollutions d'origine organique surtout fécale, ne contient ni organismes parasites ou pathogènes, ni d'organismes indices de pollution fécale (*Escherichia coli* (EC), coliformes, streptocoques fécaux (SF), *Clostridium sulfito* - réducteurs).

Les résultats de l'analyse des eaux provenant des trois points d'intervention sont donnés par le tableau 17 ci-après :

Nom de l'échantillon	NOM DE LA BACTERIE			
	Coliformes totaux (CT 37°)	Escherichia coli (EC)	Entérocoques (SF)	Salmonelles
Eau souterraine (source Mangabe)	2,2	<3	<3	Absence
Eau de puits d'Ambodisiarivo	$2,2 \times 10^1$	$2,3 \times 10^1$	$9,3 \times 10^1$	Absence
Eau de puits d'Anosiarivo	$2,3 \times 10^1$	$9,2 \times 10^1$	$4,3 \times 10^1$	Absence
Seuil de la normale	0	<3	<3	Absence

Tableau 17: Analyse bactériologique.

Conclusion : tous les échantillons signalent la présence de germes tests de contamination fécale qui conduit à considérer l'eau comme bactériologiquement mauvaise ou menacée de pollution, en particulier la présence de *Escherichia coli* et de streptocoques fécaux (Entérocoques). L'eau issue de ces trois échantillons est alors non potable.

Interprétation : ceci est la conséquence de la proximité d'activités humaines (jardins potagers dans les talwegs) et à la faible profondeur de la nappe.

Traitement : une filtration très lente suffit à l'élimination du faible taux de coliformes totaux de l'eau souterraine provenant de la colline de Mangabe.

II-3-2- Analyse physico-chimique :

Le tableau 18 donne les taux limites des ions contenus dans un échantillon d'eau passé à une analyse physico- chimique :

Elément (unités de mesure)	Limite idéale (souhaitable)	Limite absolue	Résultat des analyses		
			Source Mangabe	Puits Anosiarivo	Puits Ambodisiarivo
Conductivité (µS/cm)	2 000	3 400	148,3	143,8	321
pH	entre 6,5 et 8,5	entre 4,5 et 10	5,79	4,5	4,3
Turbidité (NTU)	5	20	3,31	3,5	9,3
Fluor (mg/l)	1,5	8	--	--	--
Arsenic (µg/l)	10	50	--	--	--
Alcalinité (mg/l)	--	--	--	--	--
Nitrate (mg/l NO3)	50	100	14,07	23,83	23,68
Nitrite (mg/l NO2)	0.1	3	0,00	0,00	0,00
Fer (mg/l)	0,3	5	0,00	0,00	0,01
Manganèse (mg/l)	0,1	4			
Chlorure (mg/l)	250	1000	15,97	14,2	35,5

Tableau 18: Analyse physico-chimique.

Source : Manuel de procédure pour la Mise en place des Projets Eau et Assainissement MEM et résultats de la JIRAMA.

D'après le résultat des analyses physico-chimiques sur les trois échantillons présentés, seul l'échantillon de l'eau de puits d'Ambodisiarivo est non-conforme où le pH est à tendance acide. Toutefois des analyses répétées doivent être faites pour connaître les variations saisonnières de ces teneurs, car il s'agit ici d'une nappe peu profonde.

Le traitement physico-chimique et bactériologique des eaux ne seront pas obligatoirement nécessaires pour les eaux de puits car elles sont d'origine potable, sauf pour le cas de nappe peu profonde et à proximité des rizières : cas des puits d'Ambodisiarivo (cf. Tableau 23). En effet, l'ouvrage de captage d'un puits est conçu pour éviter les infiltrations directes des eaux de surface, son étanchéité sera assurée grâce à son équipement.

II-3-3- Précaution d'utilisation :

A partir des résultats de l'examen bactériologique et analyse physico-chimique, le traitement de ces échantillonnages d'eau est primordial avant toute forme d'exploitation :

- conception d'un bassin de filtration avant d'emmagasinier l'eau dans le réservoir ;
- choix de l'emplacement des puits : éviter de placer le puits en aval d'une latrine selon le sens de l'écoulement de la nappe souterraine et sur un rayon de 100 mètres ;
- respect du périmètre de protection.

II-4- Climatologie, études hydrologiques et hydrogéologiques :

Les études hydrologiques et hydrogéologiques nous permettent de dimensionner les ouvrages hydrauliques (réservoir...) et d'aboutir à une bonne gestion et à l'exploitation des ressources en eau surtout en période d'étiage.

II-4-1- Climatologie :

Anosiarivo est situé dans la région des hautes terres de l'île subissant un climat chaud et assez humide avec une température moyenne annuelle variant entre 14,8° à 21,4 °C.

La répartition mensuelle des conditions thermiques (1980-1994) est donnée par le tableau 19 ci-après :

	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Température moyenne
T°C	21,4	21,4	21	19,9	17,5	15,5	14,8	15,6	17,4	15,7	21,1	21,4	18,6

Tableau 19 : Répartition mensuelle de la température.

Source : Station d'Ambohimanga – Météorologie nationale.

La pluviométrie moyenne annuelle de la zone d'Ambohimanga est de 1645.7 mm ; plus de 85% de la hauteur des pluies sont enregistrés sur 6 mois entre octobre et mars (cf. tableau 20).

La zone du projet est marquée par deux saisons contrastées :

- une saison sèche du mois d'avril au mois de septembre ;
- une saison de pluie du mois d'octobre au mois de mars.

Le volume total de pluies qui tombe durant la saison pluvieuse (qui s'étale surtout du mois de janvier au mois de mars) représente la moitié de la pluviométrie moyenne annuelle.

II-4-2- Etudes statistiques des pluies :

L'étude hydrologique est basée sur 15 ans d'observations (tableau 20) de 1980 à 1994 de la pluviométrie :

Année	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Pluie annuelle
1980	204,3	317,5	306,4	2,0	6,6	24,8	0	32,7	27,1	48,9	158	271,8	1400,1
1981	328,0	305,0	136,1	73,6	0	0	0	1,4	29,2	52,6	147,5	426,4	1499,8
1982	418,3	388,0	230,6	16,4	0	0	5,5	2,9	5,8	100,6	52,9	382,6	1603,6
1983	302,4	395,6	428,3	149,0	11,3	0	9,7	0	163,5	63,4	127,6	219,7	1870,5
1984	533,2	135,6	401,8	101,4	7,7	5,5	9,0	25,9	0	29,0	179,3	442,4	1870,8
1985	439,6	242,6	667,7	99,9	92,2	0	2,3	21,8	13,6	171,5	373,8	732,3	2857,3
1986	269,8	663,6	289,1	171,2	22,1	67,2	22,3	0	28,8	112,7	240,3	499,7	2386,8
1987	327,8	237	171,9	21,1	0	23,8	61,6	3,8	0	30,0	10,5	96,4	983,9
1988	302,4	265,0	138,2	70,5	10	7	0	0	5,4	64,2	116,8	263,9	1243,4
1989	244,5	270,5	86,1	143,1	22,1	31,1	0	6,8	7,7	10,3	67,6	394,8	1284,6
1990	276,9	105,9	279,0	63,3	0	0	0	0	0	20,0	179,7	290,8	1215,6
1991	476,1	267,1	106,4	38,8	22,8	0	0	0	12,4	62,0	234,4	142,3	1362,3
1992	384,6	343,5	272,8	27,2	60,7	0,8	32,5	10,9	0	221,9	56,7	377,4	1789
1993	407,1	378,7	253,8	78,5	0	4,5	18,8	10,4	24,2	80,0	284,8	347,0	1887,8
1994	272,1	259,2	167,3	239,6	9,6	18,4	0,5	4,0	0,3	70,6	101,8	286,4	1429,8
Pluie moyenne annuelle													1645,7

Tableau 20: Pluies observées sur 15 ans.

Source : Station d'Ambohimanga – Météorologie nationale.

L'ajustement statistique par la loi normale sur les valeurs observées de la pluie a permis d'obtenir les résultats suivants (cf. Annexe-Note de calcul) :

pluie moyenne annuelle	\bar{P}	: 1645.7 mm,
pluie quinquennale sèche	P_{S5}	: 1236.44 mm,
pluie décennale sèche	P_{S10}	: 1022.07 mm.

II-4-3- Etudes hydrogéologiques :

L'étude hydrogéologique se fera à partir du bilan hydrique de Thorntwait. Ce bilan permet d'effectuer la gestion intégrée de la ressource en eau. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer les paramètres suivants :

- la précipitation P (mm) ;
- la température T (°C) ;
- l'évapotranspiration potentiel ETP (mm) qui est la capacité de l'atmosphère d'évaporer de l'eau superficielle ou l'humidité du sol. Il est donné par :

$$ETP = \lambda \cdot 1.6 \cdot \left(\frac{10T}{I} \right)^a \text{ [cm/mois]}$$

avec I: indice thermique annuel $I = \sum i$

i: indice thermique mensuel $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

a : paramètre $a = 0.016 \cdot I + 0.5$

λ : coefficient de correction mensuel pour la zone considérée,

- le stock S (mm) qui constitue la réserve d'eau contenue dans la zone d'aération du sol. Le stock est calculé pour les $P - ETP < 0$ et il est obtenu à partir de l'abaque donnant la valeur des stocks en fonction du déficit cumulé PE (cf. Annexe-Abaque) ;

- et l'évapotranspiration réelle ETR (mm) qui est définie de telle façon que :

si $P - ETP > 0$ alors $ETR = ETP$;

par contre si $P - ETP < 0$ nous avons $ETR = P + \Delta S$.

Le tableau 21 résume le bilan hydrique de Thorntwait :

	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total ou moyenne
T°C	21,4	21,4	21	19,9	17,5	15,5	14,8	15,6	17,4	15,7	21,1	21,4	18,6
i	9,037	9,037	8,782	8,095	6,664	5,545	5,171	5,600	6,606	5,654	8,846	9,037	88,072
a													1,909
λ	0.97	0.86	0.93	0.86	0.88	0.82	0.85	0.84	0.87	1.45	0.93	0.98	
P (mm)	345,8	305,0	262,4	86,4	17,7	12,2	10,8	8,0	21,2	75,8	155,4	344,9	1645.7
ETP (mm)	84,7	75,1	78,5	65,2	52,0	38,7	36,6	40,0	51,1	69,9	78,5	85,2	755.5
P-ETP	261,1	229,9	183,9	21,1	-34,3	-26,5	-25,8	-31,9	-29,9	5,9	77,0	259,7	74.2
Déficit cumulé PE					34,3	60,8	86,6	118,5	148,4				
Stock S	100	100	100	100	70	54	41	30	22	27,9	100	100	70.4
ΔS	0	0	0	0	-30	-16	-13	-11	-8	5,9	72,1	0	-78
Excédent E (mm)	261,1	229,9	183,9	21,1						5,9	77,0	259,7	1038,6
ETR (mm)	84,7	75,1	78,5	65,2	47,7	28,2	23,8	19,0	29,2	69,9	78,5	85,2	685.1
ETR/ETP (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	91,7	72,9	65,1	47,6	57,2	100,0	100,0	100,0	90.68

Tableau 21: Bilan hydrique.

Interprétation du tableau : nous pouvons observer que les mois les plus secs (P inférieure à 21 mm), s'étendent de mai à septembre, la fin de l'été est en novembre. Les mois les plus arrosés vont de décembre à mars avec un maximum en janvier. Par conséquent, la réalimentation de la nappe, à partir de ces données, ne pourra donc excéder 78 mm par an. En outre, le rapport ETR/ETP égal à 90.68 indique que les besoins de l'ETP ne sont pas satisfaits toute l'année.

II-5- Estimation des ressources disponibles :

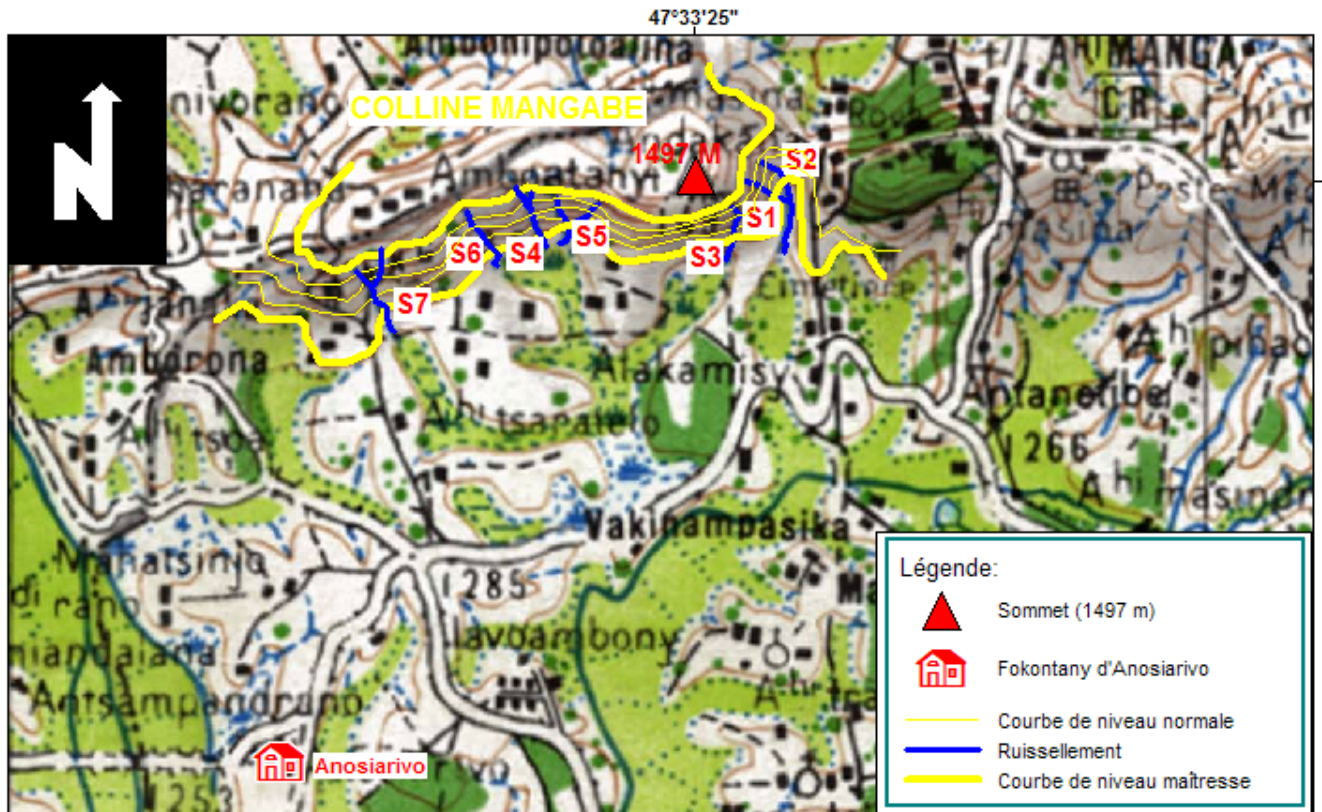
II-5-1- Sources d'émergences :

Selon la demande des bénéficiaires, les sources issues de la colline de Mangabe seront à aménager pour l'alimentation en eau des trois Fokontany. Nous distinguons sept sources d'émergences (S1 à S7) mais seules cinq sources peuvent être exploitées (S1 à S5). Les sources S6 et S7 présentent des valeurs traditionnelles pour la communauté villageoise.

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

Les mesures de débit (deux mesures effectuées) ont été faites par système volumétrique.

Les bassins versants de chaque source sont délimités sur une carte au 1 : 100000^{ème} (feuille p46) de la FTM, la surface et le périmètre de chaque bassin sont déterminés sur un outil S.I.G. (Système d'Information Géographique) – Mapinfo-. Les sources S1 et S2 étant issues du même bassin versants.



Echelle: 1 / 25 000

Carte 2: Les sources issues de la colline de Mangabe.

Le débit d'étiage est alors donné par la formule de Pont à Mousson :

$$Q_{\text{étiage}} = 0,031 \times K \times h \times S \text{ [L/s]}$$

avec

K: indice d'écoulement dépendant de la nature du terrain et de l'évaporation $K = 0,30$
(Pelletier, Bonnenfant),

h: hauteur d'eau tombée en mm/an, $h = 1645.7$ mm,

S: superficie du bassin versant en km^2 .

Comme il s'agit d'une source d'émergence, le débit obtenu se diffère du débit issu du bassin versant (exutoire). En effet, la formule ne considère point l'infiltration lors de son écoulement.

Les résultats de mesure sont donnés par le tableau 22 :

Source	S1 - S2	S3	S4	S5	Total (L/s)
Mesure de débit 1 (L/s)	0,065	0,025	0,065	0,045	0,200
Mesure de débit 2 (L/s)	0,075	0,035	0,070	0,045	0,225
Surface bassin versant (km^2)	0,020	0,008	0,012	0,010	
Périmètre bassin versant (km)	0,040	0,032	0,041	0,035	
Débit d'étiage (L/s)	0,31	0,12	0,18	0,15	0,77

Tableau 22: Résultats de mesure pour les sources d'émergences.

II-5-2- Nappe d'arène :

L'arrondissement d'Anosiarivo compte en tout 72 puits traditionnels d'une profondeur variant entre 6 et 12 m.

Afin de déterminer le débit de la nappe au sein des 3 fokontany, nous avons considéré un puits dans chaque fokontany pour effectuer les essais de débit (tableau 23) avec les matériels suivants :

- chronomètre ;
- pompe électrique :

marque : Pentax (Italie)

type : GAM 100/00

hauteur manométrique total : > 50 m

débit moyen : 20 à 40 L/mn

puissance : 0,74 Kw

tension : 220 volts

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

- sonde électrique (50 m).

Ces essais ont été effectués par le cabinet d'études MIARY en période d'étiage (mois de juillet).

Localité	Profondeur Z (m)	Niveau statique n _s (m)	Débit pompe Q _p (L/s)	Débit nappe Q _n (L/s)
Anosiarivo	10,95	8,30	0,30 – 0,40	0,32
Antsahakely	10,50	8,95	0,30 – 0,40	0,39
Ambodisiarivo	5,65	3,45	0,30 – 0,40	0,45

Tableau 23: Débit de la nappe.

Le débit moyen annuel est donné par la formule de Thorntwait :

$$Q(m^3/s) = \frac{E(mm).A(km^2)}{t(an)} 3.17.10^{-5}$$

avec

A : surface du bassin englobant les 3 fokontany,

E : excédent annuel E = 1038.6 mm,

t : nombre d'année d'observation .

Le débit d'étiage est déterminé par la formule de Pont à Mousson :

$$Q_{\text{étiage}} = 0,031 \times K \times h \times A \text{ [L/s]}$$

avec

K: indice d'écoulement dépendant de la nature du terrain et de l'évaporation K = 0,30 (Pelletier, Bonnenfant),

h: hauteur d'eau tombée en mm/an, h = 1645.7 mm.

Le bassin englobant les trois fokontany est délimité sur une carte de la FTM au 1 : 100000^{ème} (feuille p46).

Soient

$$A = 1.265 \text{ km}^2$$

$$Q = 27.77 \text{ L/s}$$

$$\text{et } Q_{\text{étiage}} = 19.36 \text{ L/s}$$

En résumé, nous avons:

- source d'émergence : $Q_{\text{étiage}} = 0.77 \text{ L/s}$;
- nappe d'arène : $Q_{\text{étiage}} = 19.36 \text{ L/s}$.

Les débits d'étiage obtenus par calcul théorique sont nettement supérieurs aux débits réels, ces débits d'étiage serviront ainsi de valeurs limites et non de base de calcul pour le dimensionnement du projet.

Les valeurs des débits réels sont :

- source d'émergence : **$Q = 0.23 \text{ litres par seconde}$** ;
- nappe d'arène : **$Q = 1.16 \text{ litres par seconde}$** .

II-6- Adéquation ressources-besoins :

Le besoin journalier réel de la population sur une prévision de vingt ans est estimé à 3,59 L/s (cf. Partie II, II-1-2, e).

	Ressources (L/s)	Besoins (L/s)
Source d'émergence	0,23	3,59
Nappe d'arène	1,16	3,59

Tableau 24: Adéquation ressources-besoins.

A partir de ce tableau, l'exploitation des sources d'émergence risque un mauvais fonctionnement du réseau d'alimentation en période d'étiage, c'est à dire à partir du mois d'avril au mois d'octobre, le débit n'arrive pas à satisfaire le besoin de la population.

Par contre, l'exploitation de la nappe d'arène permet d'obtenir un débit satisfaisant au besoin de la population en multipliant le nombre de puits ; dans notre cas, on a considéré l'exploitation de cinq (05) puits.

Partie III : Etudes techniques de faisabilité :

III-1- Propositions d'aménagements :

Nous avons vu que deux types de sources peuvent être exploitée pour l'alimentation en eau des trois fokontany : les sources d'émergence issues de la colline Mangabe et la nappe aquifère au niveau des trois fokontany.

Les sources d'émergence ne comblent pas les besoins de la population, l'emplacement d'un réservoir de stockage d'eau peut alors être proposé.

La nappe d'arène présente un débit suffisant mais sur le site d'Ambodisiarivo l'eau est saumâtre, l'exploitation de l'aquifère des sites d'Anosiarivo et d'Antsahakely est alors recommandée.

Ainsi, dans la suite, deux variantes d'aménagements sont proposées :

- une adduction d'eau potable gravitaire ;
- une alimentation en eau potable par pompage de puits où nous considérerons l'utilisation de deux scénarios de moyen d'exhaure : pompe électrique et pompe solaire.

III-2- 1ère variante : l'alimentation par adduction gravitaire :

L'objectif est d'exploiter au mieux le débit de la source, tout en la protégeant des pollutions extérieures, notamment d'origine fécale.

III-2-1- Le captage et son périmètre de protection :

a- Le captage :

Les cinq sources issues de la colline de Mangabe sont des sources d'émergence.

Pour le cas de l'alimentation gravitaire dans l'arrondissement d'Anosiarivo, les cinq sources exploitables (cf. Carte 2) sont captées dans des boîtes de captage. Les sources S1 et S2 sont ensuite dirigées vers une chambre collecteur (cf. Annexe, Plans d'ouvrage) et S3 vers une autre chambre collecteur avant le traitement tandis que S4 et S5 sont amenées directement vers le bassin de filtration.

Les boîtes de captage seront des chambres en béton sans radier établies sur le lieu d'émergence. Afin de recueillir l'eau de son gisement géologique, l'ouvrage doit complètement traverser la couche d'alluvion au dessus de la nappe et doit s'encastrent dans la couche imperméable sous-jacente afin d'éviter tout mélange des eaux de captage avec les eaux provenant des alluvions. Ces ouvrages sont hermétiquement fermés et étanches pour éviter toute pollution de l'eau et sont équipés d'une trappe de visite, d'un trop-plein, d'une conduite de vidange et du départ des adductions vers les points d'eau éventuels.

b- Périmètre de protection de l'ouvrage de captage :

Deux moyens de protection peuvent être utilisés :

- l'exécution de travaux de défense contre les contaminations extérieures comme :
 - éviter les puits environnant qui peuvent être facilement pollués ;
 - tracer autour de l'ouvrage un fossé collecteur qui recueille et évacue les eaux de ruissellement ;
 - installer des protections anti-érosives si nécessaire ;
 - enherber ou empierrer l'aire de captage ;
- la création d'une zone de protection où toutes opérations susceptible de nuire à la qualité des eaux sont interdites (empêcher les pollutions de surface : animaux, défécation, déchets...).

III-2-2- La conduite d'amenée :

Pour la plupart, la conduite d'amenée est composée par des tuyaux en PEHD 21/25 PN 10. Néanmoins, les départs sont faits avec des tuyaux en galva 20/27 afin d'éviter les éventuels coups de bélier. Aussi, au passage d'un terrain accidenté (ravins) ou des terrains rocheux, les tuyaux en aciers galvanisés sont utilisés. Enfin, cette conduite d'adduction sera munie de ventouses sur ses points haut et de vidanges sur ses points bas.

La conduite d'amenée est dimensionnée à partir du débit moyen des cinq sources (déterminer à partir du tableau 22) et les méthodes de calcul des différentes pertes de charges dans les conduites sont données en paragraphe III-2-5, a- et III-2-5, b- . Les résultats de dimensionnement sont les suivants :

- débit moyen : 0.053 L/s ;
- diamètre de la conduite : 0.019 m ;
- perte de charge totale : 0.0056 m/mL ;

- vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite d'amenée : 0.21 m/s.

III-2-3- Le traitement des eaux :

Nous avons vu que les eaux provenant de la colline de Mangabe respectent les normes physico-chimique de potabilité requises (cf. Tableau 18), tandis que les analyses bactériologiques montrent la présence d'un faible taux de coliformes totaux (cf. Tableau 17).

Ce taux de coliformes totaux sera réduit dans un premier temps quand le périmètre de protection des ouvrages de captage sera mis en place.

Toutefois, toutes les eaux pourront être traitées par une filtration très lente, de l'ordre de 3 m/j où les colloïdes et la majeure partie des germes microbiens seront arrêtés par la membrane filtrante (couche de sable); cette filtration permettra aussi la rétention d'éventuelles MES (matières en suspension).

Le tableau 25 donne les critères de dimensionnement du bassin de filtration :

Vitesse de filtration : V	0,1 à 0,2 m ³ /m ² /h
Surface du lit filtrant par unité : S	5 à 200 m ²
Epaisseur total du gravier et des drains : E1	0,3 à 0,5 m
Epaisseur du sable initialement : E2	0,8 à 0,9 m
après plusieurs nettoyages	0,5 à 0,6 m
Hauteur de l'eau surnageant: débit contrôlé à l'entrée : H1	Variable ; maximum 1 m
débit contrôlé à la sortie : H2	1 m

Tableau 25: Critères de dimensionnement d'un filtre lent.

La formule du débit $Q = V.S$ permet de dimensionner le bassin,

Q : débit à l'entrée du bassin ;

S : surface du lit filtrant ;

V : vitesse de filtration.

Le débit à l'entrée du bassin correspond au débit accumulé dans les tronçons à partir des 5 sources jusqu'au bassin de filtration, il est déterminé dans le tableau 26 :

Tronçons	Débits en route (L/s)	Débits en aval (L/s)	Débits de tronçon (L/s)
S1-BC1	0,07	0	0,07
S2-BC1	0,07	0	0,07
BC1-P3	0	0,14	0,14
P3-ST102	0	0,14	0,14
ST102-BC2	0	0,14	0,14
S3-BC2	0,03	0	0,03
BC2-P4	0	0,17	0,17
P4-P5	0	0,17	0,17
P5-P6	0	0,17	0,17
P6-P7	0	0,17	0,17
P7-Bfiltr	0	0,17	0,17
S4-Bfiltr	0,07	0	0,07
S5-Bfiltr	0,05	0	0,05
Bfiltr-R	0	0,28	0,28

Tableau 26: Débit à l'entrée du bassin.

Nous avons $Q = 0.283 \text{ L/s} = 1.017 \text{ m}^3/\text{h}$ et $V = 3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j} = 0.125 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, soit $S = 8.13 \text{ m}^2$.

Il faut une hauteur de bassin $H > E1_{\max} + E2_{\max} + H2 = 2.4 \text{ m}$.

Nous pouvons ainsi prendre les dimensions suivantes :

- hauteur du bassin $H = 3.7 \text{ m}$;
- longueur du lit filtrant $L = 3.5 \text{ m}$;
- largeur du lit filtrant $l = 2.3 \text{ m}$.

III-2-4- Le dimensionnement du réservoir R :

Nous savons que la consommation journalière réelle est $C_{\text{réelle}} = 309903 \text{ L/j}$ (cf. Partie II, II-1-2, e) et que le débit d'alimentation est de 0.23 L/s (cf. Tableau 24). Ainsi, comme les besoins journaliers (309903 L) sont supérieurs au volume d'eau produit par la source en 24h , il est nécessaire de construire un réservoir de stockage.

Dans une première évaluation si on utilise le débit d'alimentation de 0.23 L/s pour dimensionner le réservoir, on aura une très grande capacité (donc très coûteux). Ainsi, pour un

dimensionnement plus économique on se référera à la valeur limite du débit d'étiage qui est de 0.77 L/s (cf. Partie II, II-5, II-5-2)

Pour dimensionner le réservoir, nous calculons la répartition des besoins de la population et de la production de la source par tranches horaires en utilisant un coefficient de consommation (cf. Tableau 15) sur chaque période. Le volume du réservoir correspond alors au volume minimum* requis pour couvrir les besoins horaires de la population. Le tableau 27 présente les résultats de calcul pour le dimensionnement du réservoir.

Tranches horaires	Coefficients	Besoin sur la période V1(L)	V1 cumulé	Production de la source V2(L)	V2 cumulé	V2-V1 (cumulé)
05 à 08h	0,18	55783	55783	8316	8316	-47467
08h à 12h	0,22	68179	123961	11088	19404	-104557
12h à 15h	0,18	55783	179744	8316	27720	-152024
15h à 19h	0,22	68179	247922	11088	38808	-209114
19h à 22h	0,12	37188	285111	8316	47124	-237987
22h à 05h	0,08	24792	309903	19404	66528	-243375
Valeur minimale de V2-V1						-243375
Valeur absolue						243375
Capacité du réservoir R (m ³)						244

Tableau 27: Volume du réservoir R.

Nous recommandons donc un réservoir d'une capacité de 244 m³. Il sera semi-enterré et de forme circulaire (plus résistant et plus durable). Pour ce réservoir, le radier sera établi avec une pente vers un puisard, une ventilation convenable sera aménagée et conçue de façon à éviter l'entrée des petits animaux ou insectes et un accès avec regard et échelle de descente sera prévu pour les visites ; il sera aussi muni d'un trop-plein et d'une conduite de vidange qui part du point bas du réservoir et se raccorde sur la canalisation de trop-plein (cf. Annexes, Plans d'ouvrages).

Les calculs de ferrailage du réservoir sont ramenés en annexes.

*volume minimum : si sa valeur est négatif nous prenons sa valeur absolue et si sa valeur est positif nous prenons 0.

III-2-5- Dimensionnement de la conduite de distribution :

Le dimensionnement du réseau consiste à déterminer le diamètre de la conduite à installer pour assurer la distribution de l'eau à chaque destination (bornes fontaines, branchements particuliers).

La connaissance du diamètre résulte du calcul des pertes de charge. Mais il faut tout d'abord connaître le débit des différents tronçons (le dimensionnement se fait avec le débit de pointe).

La répartition des débits au niveau des tronçons est donnée sous forme de tableau en annexe.

Nous choisissons le diamètre de conduite en fonction du débit et de la vitesse moyenne. La vitesse moyenne de l'eau dans la conduite doit être comprise entre 0.2 m/s et 1.4 m/s, si cette vitesse est trop faible il y a formation de dépôt dans les conduites qu'il est parfois difficile à évacuer, par contre si elle est trop élevée, elle risque de provoquer l'usure prématurée de la conduite et de générer des pertes de charges dues au frottement trop importantes. Une fois que le diamètre est choisi pour chaque tronçon, nous établirons le tableau de calcul de pression (cf. Annexes, Tableau de calcul des pertes de charges 1) en tout point du réseau. Nous veillons alors à ce que la pression en tout point du réseau ne descend pas dans la mesure du possible en dessous de 5 m (0,5 bars) et ne dépasse pas 80 % de la pression admissible pour la conduite choisie.

Ce calcul est basé sur l'application du théorème de Bernoulli. Les données de base nécessaires sont :

- les côtes des points amont et aval du tronçon ;
- la longueur du tronçon ;
- le débit véhiculé ;
- la charge ou la pression au point considéré.

Les valeurs à déterminer sont:

- les pertes de charges linéaires ;
- la vitesse moyenne de l'eau ;
- les pertes de charges singulières ;
- la charge ;
- et la pression au sol.

a- Les pertes de charges linéaires et la vitesse moyenne de l'eau :

La formule de Darcy-Weisbach constitue le fondement à partir duquel nous évaluons la perte de charge pour l'écoulement dans les tuyaux et conduites. Elle est donnée par :

$$J = f \frac{L.V^2}{D.2g}$$

c'est la perte de charge dues au frottement contre les parois dans les conduites circulaires coulant sous pression,

avec

J : perte de charge dans une conduite de longueur L ;

f : coefficient de frottement, il est fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité de la paroi de la conduite ;

L : longueur de la conduite ;

V : vitesse moyenne de l'eau dans la conduite.

La formule de Hazen Williams $V = 0.849 C R_h^{0.63} s^{0.54}$, permet de calculer les caractéristiques des écoulements dans les conduites sous pression,

avec

C : coefficient de Hazen Williams,

R_h : rayon hydraulique égal à D / 4 dans une conduite circulaire,

s : pente de la ligne d'énergie.

Ainsi, à l'aide des équations de Darcy-Weisbach et de Hazen Williams nous avons le débit $Q = S.V = S.0.849 C \left(\frac{D}{4}\right)^{0.63} s^{0.54}$, et nous montrons la relation qui existe entre les pertes de charges J qui se produisent dans une conduite coulant sous pression et le débit Q qui y passe (la pente d'énergie, s, étant égale au quotient de la perte de charge et de la longueur de la conduite) :

$$J = \frac{\beta L Q^{1.852}}{D^{4.871} C^{1.852}}$$

β étant une constante et ses valeurs sont données dans le tableau 28.

	J (m)			
Q	m ³ /s	L/s	L/s	m ³ /s
D	m	mm	cm	mm
L	m	m	m	m
β	10,679	1,218 10 ¹⁰	163874	4,38 10 ¹⁵

Tableau 28: Valeurs de β en fonction de Q, D, L et J.

Finalement, la perte de charge par mètre linéaire est $j_l = \frac{10.679Q^{1.852}}{D^{4.871}C^{1.852}}$ et la vitesse

moyenne dans la conduite est donnée par $V = 0.35464.C.D^{0.63}.j_l^{0.54}$.

Les valeurs de C sont données dans le tableau 29 :

	Valeurs de C
Tuyaux droits et très lisses	140
Tuyaux de fonte lisse et neufs	130
Tuyaux de fonte usés	110
Tuyaux de fonte ayant quelques années d'usage	100
Tuyaux en mauvais état	80

Tableau 29: Valeurs de C en fonction de l'état des tuyaux.

Le dimensionnement se fera pour un cas défavorable où C=110 (nous supposons que les tuyaux seront usés après 20 ans).

Pour le choix de la conduite maîtresse, nous utilisons des tuyaux PEHD (Polyéthylène Haute Densité) de pression nominale 10 bars qui se présentent sous forme de rouleaux de 50 m, les conduites de service (trop-plein, vidange, rejet des eaux usées) et les tuyaux de plomberie (au niveau des bornes fontaines) seront en PVC (tuyaux en polychlorure de vinyle) ou galvanisés.

b- Les pertes de charges singulières :

La perte de charge résulte du passage du liquide au point singulier, une perte de charge est donnée par la formule $j_s = k V^2 / 2g$ où k est un coefficient qui dépend de la nature du point singulier.

Cependant, les pertes de charge singulière sont négligeables si :

- elles sont inférieures à 5% des pertes de charges totales car le calcul de ces dernières ne sont précises qu'à 5%,
- le nombre n de points singuliers présents dans une conduite de longueur L satisfait à la relation $n < L / 1000.D$, D étant le diamètre de la conduite.

Or, $L = 50$ m, D varie de 34 mm à 76.6 mm dans le tableau de calcul des pertes de charge (cf. Annexe) et le nombre de points singuliers pour une conduite de longueur L est $n > 2$; ce qui permet de dire que les pertes de charges singulières ne sont pas négligeables. Mais comme elles ne sont précises qu'à 5%, nous prendrons $j_s = 5\% j_{total}$ avec j_{total} la perte de charge totale par mètre linéaire, et comme $100j_{total} = 95j_l + 5j_s$ nous avons :

$$j_s = \frac{5}{95} j_l.$$

c- La charge et la pression au sol :

La charge à considérer est la hauteur piézométrique (HP) en amont et en aval de chaque point considéré de telle sorte que $HP_{\text{amont}} = HP_{\text{aval}} - j_t$ où j_t : perte de charge totale.

La pression au sol en un point donné est alors la différence entre la charge et la cote au sol de ce point.

III-2-6- La distribution de l'eau :

Les points de distribution sont constitués par quatorze bornes fontaines (onze bornes fontaines publiques et trois bornes fontaines scolaires) dont six à Anosiarivo, quatre à Antshakely et quatre à Ambodisiarivo (cf. Annexes, Plans d'ouvrages).

Pour le souci de pérennité des bornes fontaines, qui sont utilisées fréquemment par la population, leur construction sera exécutée en maçonnerie de briques. Elles sont protégées par des clôtures réalisées en maçonnerie, et supportées par des poteaux en maçonnerie de briques.

III-2-7- Récapitulation :

L'adéquation ressources-besoins (cf. Partie III, III-1) nous montre déjà que l'alimentation par source d'urgence risque un mauvais fonctionnement du système.

Le problème est que le stockage d'eau, déjà coûteux, n'assure pas un service continu. La solution est alors d'effectuer une distribution d'eau par tour d'eau. Ainsi, plus le réservoir est grand plus le besoin journalier est assuré. L'alimentation gravitaire des trois communes sera donc adoptée :

- dans un premier cas où elle sera retenue comme une solution complémentaire d'alimentation en eau,
- dans un second cas où le rapport du coût des travaux et du besoin assuré par tour d'eau est considérable par rapport au projet et par rapport aux autres variantes d'adduction possible d'être prises en compte.

III-3- 2ème variante : l'alimentation par pompage dans un puits :

L'adéquation ressources-besoins nous montre que la valeur limite du débit d'étiage de la nappe d'arène est largement suffisante. Toutefois, les valeurs obtenues par essais de débit (cf. Tableau 23) en pleine période d'étiage ont une tendance vers la réalité. Ainsi, l'exploitation de la nappe d'aquifère, moyennant un ouvrage de stockage d'eau, sera une solution envisagée pour une production d'eau potable pérenne.

Comme la nappe d'aquifère d'Ambodisiarivo est peu profonde et à proximité des rizières (risque de non potabilité de l'eau), les aménagements proposés considèrent alors la mise en place de deux réseaux d'alimentation (cf. Annexes, Schémas synoptiques des réseaux) : un site pour le fokontany d'Anosiarivo où nous envisageons la mise en place de deux puits et un autre site (au sein d'Antsahakely) pour ceux d'Antsahakely et d'Ambodisiarivo où nous envisageons trois puits.

Deux cas de moyens d'exhaure seront étudiés :

- l'utilisation d'une pompe électrique,
- l'utilisation d'une pompe solaire.

III-3-1-Aspect géologique :

a- Aspect général :

La zone d'Ambohimanga se trouve sur une formation de métamorphisme constituée principalement de la migmatite. La nappe d'arène qui donne naissance à de multiples sources sur le flanc de la colline de Mangabe à l'exutoire des talwegs, est emmagasinée dans une couche d'altération dont l'épaisseur ne dépasse pas trois mètres, limitant de ce fait les dimensions et la capacité de la roche réservoir ; elle présente alors un débit limité. Ainsi, pour déterminer les zones (points) favorables d'implantation des puits, le cabinet d'études MIARY a procédé à des prospections géophysiques sur les 2 sites envisagés (Anosiarivo et Antsahakely).

b- Prospection géophysique :

La prospection géophysique dans une zone donnée permet de déterminer la profondeur et la quantité d'eau dans le sous sol, elle permet aussi d'obtenir des informations sur la structure et la formation du sous sol afin de déterminer le niveau de la nappe phréatique et le gisement des aquifères

La méthode est basée sur la prospection électrique pour mettre en évidence la distribution de la résistivité et de la chargeabilité dans le sous sol.

Le principe de la prospection consiste à faire passer un courant électrique dans le sol ; le passage du courant s'accompagne de processus électrochimiques dont les caractères et l'intensité dépendent directement des propriétés chimiques et physiques du sol.

La résistivité (en ohm.m) détermine alors la résistance des couches souterraines au passage du courant électrique. On se réfère alors à une gamme de résistivité (valeur de la résistivité selon le type de terrain) pour déterminer le type de couche.

La chargeabilité représente le temps de décharge (en mV/V), plus la chargeabilité est petite plus la quantité d'eau dans la couche est importante (couche poreuse).

Les résultats de la prospection sont donnés pour chaque site :

- Sur le site d'Antsahakely

Le profil géoélectrique (ou tomographie électrique) est de direction est-ouest et son centre a pour coordonnée 18°47'53.8'' de latitude sud et 47°31'47.0'' de longitude est.

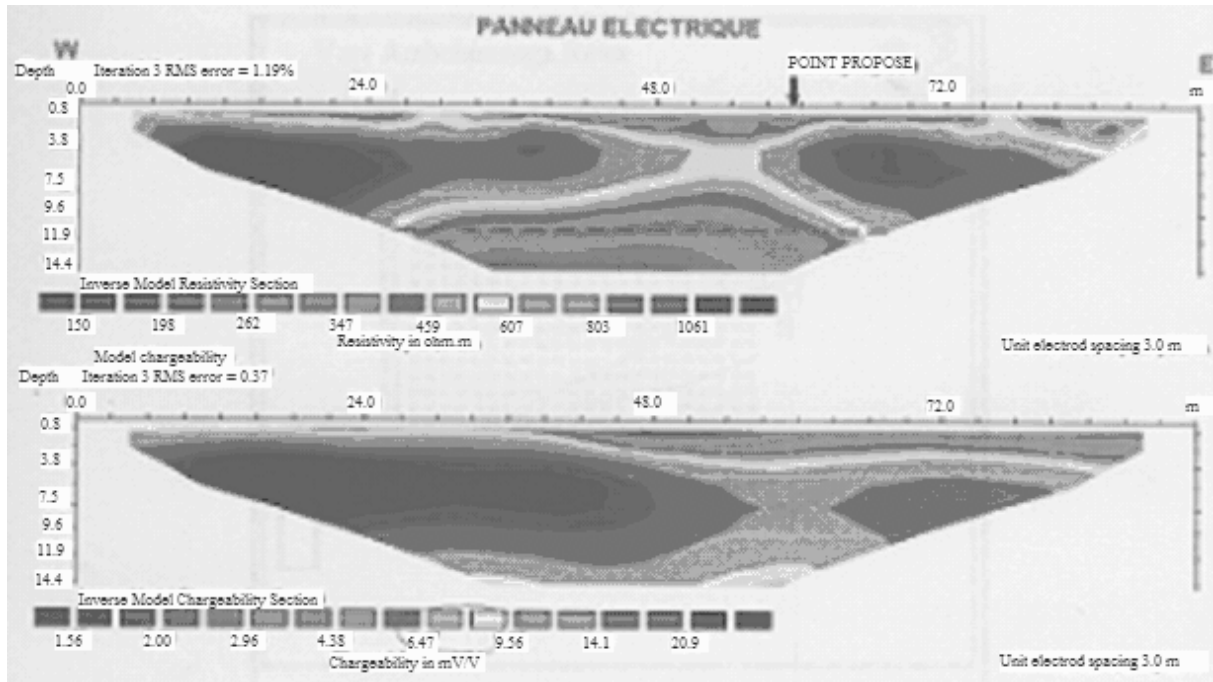


Figure 1: Profil géoélectrique pour le site d'Antsahakely.

Interprétation :

Ce profil montre la succession de 4 couches:

- un premier terrain superficiel très mince de résistivité apparente environ 300 Ωm ;
- un deuxième terrain de résistivité apparente supérieure à 800 Ωm qui correspond au formation en altérée, elle est bâti dans les deux extrémité de ce profil ;
- la troisième couche montre une formation de résistivité comprise entre 250 Ωm à 550 Ωm qui correspond à la nappe aquifère ;
- enfin le dernier terrain de résistivité inférieure à 200 Ωm constitue une formation imperméable.

La chargeabilité observée est relativement faible attestant la présence d'un aquifère souterrain et d'une formation altérée poreuse.

Conclusion :

L'implantation d'un puits peut être envisagée à un point de repère X = 58 m.

- Sur le site d'Anosiarivo

Le profil géoélectrique est de direction nord-est / sud-ouest.

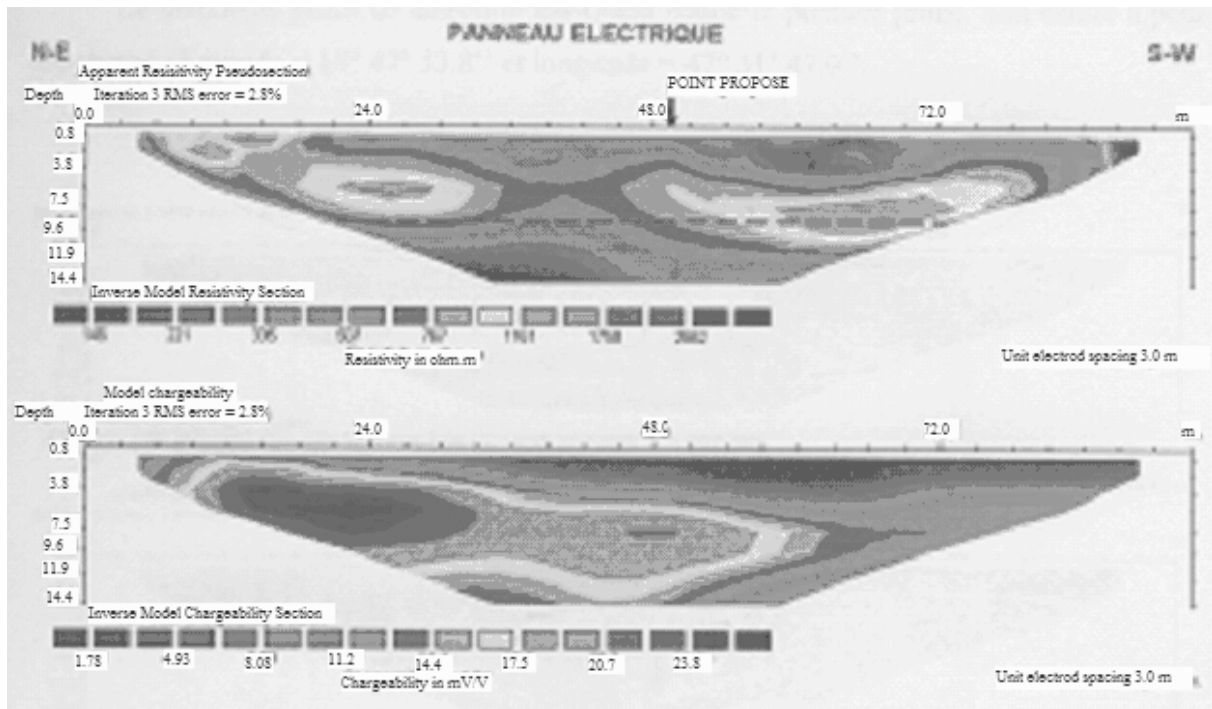


Figure 2: Profil géoélectrique pour le site Anosiarivo.

Interprétation :

Ce modèle montre la succession de trois couches :

- la couche superficielle hétérogène montre une formation de résistivité apparente comprise entre 140 Ωm à 500 Ωm et se trouve au point d'abscisse $X = 21 \text{ m}$ à $X = 81 \text{ m}$. les deux extrémités de ce profil ont une résistivité apparente supérieure à 1000 Ωm ;
- la deuxième couche montre une formation faiblement résistant, d'après la valeur de résistivité apparente observée de 300 Ωm à 650 Ωm une nappe d'eau souterraine se trouve à 9 m de profondeur.
- enfin le dernier terrain montre un substratum conducteur de résistivité apparente inférieure à 200 Ωm qui est principalement la couche imperméable

La chargeabilité observée est relativement faible attestant la présence d'un aquifère souterrain.

Conclusion :

L'implantation d'un puits peut être envisagée à un point de repère $X = 48.5 \text{ m}$.

III-3-2- Estimation des besoins en eau de la population :

La méthode d'estimation des besoins est la même que dans la Partie II, II-1 ; les résultats de calcul sont donnés par le tableau 30 ci-dessous :

	Anosiarivo	Antsahakely
Nombre d'habitant en 2007	902	2261
Taux d'accroissement (%)	3,14	
Horizon du projet (ans)	20	
Nombre d'habitant en 2027	1674	4196
Débit unitaire (L/j/hab)	40	
Consommation journalière (L/j)	88387	221549
Débit moyen journalier (L/s)	1,023	2,56
Coefficient de pointe	1,32	

Tableau 30: Besoins en eau selon les réseaux considérés.

Et la répartition des besoins selon les consommations horaires de la population est donnée par le tableau 31 :

Horaires	5 -8 h	8-12 h	12 - 15 h	15 - 19 h	19 - 22 h	22 -05 h	Total
Durée (h)	3	4	3	4	3	7	24
Coefficient	0,18	0,22	0,18	0,22	0,12	0,08	1
Anosiarivo							
Volume puisé (l)	15 910	19 445	15 910	19 445	10 606	7 071	88 387
Débit de pointe (l/s)	1,47	1,35	1,47	1,35	0,98	0,28	
Antsahakely							
Volume puisé (l)	39 879	48 741	39 879	48 741	26 586	17 724	221 549
Débit de pointe(l/s)	3,69	3,38	3,69	3,38	2,46	0,70	

Tableau 31: Besoins de pointe journalière.

III-3-3- Les moyens d'exhaure :

Comme les profondeurs des nappes à capter se trouvent dans les 14 m, l'utilisation de pompes immergées est préconisée.

Une pompe immergée est définie par son débit et sa HMT (Hauteur Manométrique Totale) qui définissent le point de fonctionnement au meilleur rendement. Le générateur d'une pompe par contre ne met en jeu que l'énergie hydraulique. Le générateur sera par exemple le même pour une pompe donnant $20\text{m}^3/\text{jour}$ à 40 m ou une autre donnant $40\text{m}^3/\text{jour}$ à 20 m de HMT. Le choix se porte alors surtout sur la partie hydraulique de la pompe (le débit est en fonction de la HMT).

Les pompes utilisées seront donc choisies selon les conseils techniques des fournisseurs et ne seront en aucun cas dimensionnées par rapport aux besoins de la population car des ouvrages de stockage d'eau répondant aux besoins de pointe sont envisagés.

III-3-4- Mise en place du système de captage :

Les emplacements des systèmes de captage sont définis selon les résultats des prospections géologiques. Les ouvrages de captage seront des puits en buse de diamètre 2000 mm et de profondeur 15 m avec une margelle en béton de 0.50 m. Afin d'éviter les influences entre les puits, il faut respecter le rayon d'influence égal au moins à 10 m. Par ailleurs, il faut également éviter de placer les puits en aval des latrines selon le sens de l'écoulement de la nappe souterraine et sur un rayon de 50 m.

Les différentes dimensions du puits sont les suivantes (le schéma d'un puits est porté en annexe dans les plans d'ouvrages)

:

a- Le captage :

Le captage est la partie qui se trouve au niveau de la nappe. Il est constitué par les buses barbacanées pour laisser entrer l'eau de la nappe dans le puits, les graviers filtres pour éliminer l'envasement et l'ensablement, la dalle de fond pour éviter l'envasement et l'ensablement venant du fond du puits. La hauteur d'eau dans le puits devra être au minimum 2,5 mètres ainsi, nous prenons la hauteur égale à 3,00 mètres.

b- Le cuvelage :

Le cuvelage est la partie verticale busée pour éviter l'éboulement et l'infiltration ou la contamination du puits. Les diamètres intérieurs des buses peuvent être de 1,80 mètres. Cette partie cuvelée du puits devrait être isolée de toutes infiltrations et sera en buse également de diamètre intérieur 1,80 mètres.

c- L'aménagement de surface :

L'aménagement de surface est la superstructure du puits composée de la margelle, de l'aire d'assainissement, du couvercle, d'une rigole d'évacuation des eaux usées, d'un puisard et obligatoirement du système d'exhaure.

La margelle est un garde-fou qui a pour but de protéger le puits des souillures provenant de la surface mais elle peut aussi selon le cas faciliter l'utilisation du puits ; elle sera en béton et aura une hauteur de 0.50 m pour 0.40 m de large.

Le couvercle du puits sera en béton et sera muni d'une trappe de visite de 0.60 m x 0.60 m.

L'aire d'assainissement permet de maintenir aussi propre que possible les abords du puits, elle sera en béton ordinaire de dimension 5.50 m x 5.50 m.

La rigole et le puisard doivent assurer l'évacuation et l'élimination des eaux usées

- la rigole sera un caniveau en béton ordinaire de section intérieure 0,20 m x 0,15 m,
- le puisard absorbant de dimension intérieure 1,00 m x 1,00 m x 1,80 m.

d- Le système d'exhaure :

Le système d'exhaure sera placé dans un petit bâtiment en dur de 3.00 m x 2.50 m avec toiture et porte métallique. Le générateur, les appareils de protection du système de pompage (tableau général d'électricité, disjoncteurs des pompes...) seront placés dans ce local technique.

III-3-5- Utilisation d'une pompe électrique immergée :

a- Caractéristiques de la pompe :

La pompe choisie auprès des fournisseurs est une pompe électrique multicellulaire dont les caractéristiques principale sont les suivantes :

- Caractéristiques de service :

Marque : AQUASON A-26-M,

Débit : jusqu'à 7 m³/h,

Hauteur d'aspiration : 5 à 15 m,

Hauteur de refoulement : 5 à 30 m,

HMT : jusqu'à 72 m,

Tension : monophasé de 230 Volts avec protection thermique (alimenté par le réseau de la JIRAMA locale),

Puissance : 0.74 KW.

- Limites de service :

Profondeur maximale d'immersion : 20 m,

Profondeur minimale d'immersion : 0,10 m,

Diamètre intérieur mini du puits : 0,135 m.

- Accessoires de la pompe :

Interrupteur flotteur (placé dans chaque puits avec la pompe),

Coffret de démarrage comprenant : condensateur, protection thermique, interrupteur lumineux, bouton de réarmement et prise de raccordement.

b- Essai de pompage et débits d'alimentation :

Après la mise en place de l'ouvrage de captage, un curage du puit (pendant 1 h) et un essai de pompage d'au moins 72 h doivent être entrepris.

Le curage permet de nettoyer le puits en enlevant les boues et les particules fines durant les travaux.

L'essai de pompage, lui, permet le développement de l'ouvrage : ouverture des fissures dans la formation, démarrage de l'écoulement dans la formation poreuse et mise en fonction du massif de gravier.

Les débits d'alimentation obtenus sur les 2 sites considérés (Anosiarivo et Antsahakely) sont donnés par le tableau 32.

Sites	Anosiarivo	Antsahakely
Profondeur de puits (m)	15	15
Débits d'alimentation (m ³ /h)	2,05	3,55
Nombres de puits exploités	2	3
Débit total (L/s)	1,14	2,96

Tableau 32: Débits d'alimentation d'une pompe.

c- Les réservoirs :

Pour chaque site un réservoir surélevé sera construit pour satisfaire les débits de pointe de la population à desservir.

A part le stockage d'eau, il jouera le rôle de chambre de mise en charge pour dominer les points de distribution. Il sera aussi utile pour parer les accidents qui peuvent survenir dans l'adduction et pour une marche plus uniforme des pompes ou des bornes fontaines.

Compte tenu de l'appui qu'il doit apporter pendant les heures de pointe des jours de plus forte consommation, le dimensionnement du réservoir devrait être établi à partir de ce besoin de pointe.

Le réservoir sera muni d'un interrupteur flotteur pour arrêter le pompage quand il est plein, mais aussi d'un trop-plein dans le cas où ce dernier aura un problème technique. Le remplissage des cuves se fait vers le haut pour qu'en cas d'intervention sur la tuyauterie de remplissage, nous ne sommes pas obligé de vidanger le réservoir ni d'installer une vanne. De plus, la chute d'eau du haut de l'extrémité de la tuyauterie provoque dans le réservoir un brassage d'eau favorable à son oxygénation.

Volumes des réservoirs :

La méthode de calcul du volume des réservoirs est la même que dans le paragraphe III-2-4, les tableaux 33 et 34 donnent respectivement les volumes du réservoir R1 pour Anosiarivo et du réservoir R2 pour Antsahakely. Ces réservoirs seront de forme circulaires

Tranches horaires	Coefficients	Besoin sur la période V1(L)	V1 cumulé	Production de la source V2(L)	V2 cumulé	V2-V1 (cumulé)
05 à 08h	0,18	15910	15910	12312	12312	-3598
08h à 12h	0,22	19445	35355	16416	28728	-6627
12h à 15h	0,18	15910	51265	12312	41040	-10225
15h à 19h	0,22	19445	70710	16416	57456	-13254
19h à 22h	0,12	10606	81316	12312	69768	-11548
22h à 05h	0,08	7071	88387	28728	98496	10109
Valeur minimale de V2-V1						-13254
Valeur absolue						13254
Capacité du réservoir R1 (m ³)						14

Tableau 33: Volume du réservoir R1 (Anosiarivo).

Tranches horaires	Coefficients	Besoin sur la période V1(L)	V1 cumulé	Production de la source V2(L)	V2 cumulé	V2-V1 (cumulé)
05 à 08h	0,18	39879	39879	31968	31968	-7911
08h à 12h	0,22	48741	88620	42624	74592	-14028
12h à 15h	0,18	39879	128498	31968	106560	-21938
15h à 19h	0,22	48741	177239	42624	149184	-28055
19h à 22h	0,12	26586	203825	31968	181152	-22673
22h à 05h	0,08	17724	221549	74592	255744	34195
Valeur minimale de V2-V1						-28055
Valeur absolue						28055
Capacité du réservoir R2 (m ³)						28

Tableau 34: Volume du réservoir R2 (Antsahakely).

Hauteurs des réservoirs :

La hauteur minimale du radier du réservoir doit être au moins égal à la pression nécessaire au point d'eau le plus haut desservi. Cette hauteur est déterminée dans les tableaux de calcul des pertes de charge en annexe. Elle est prise à 4 m pour R1 et à 5 m pour R2.

Les réservoirs seront surélevés sur des poteaux en béton armé (cf. Annexes, Plans d'ouvrages) encastrés dans le sol dont la fondation est conçue pour supporter les différentes charges auxquelles elle est soumise.

d- Conduites de refoulement :

La conduite de refoulement d'eau du puits vers le réservoir sera dimensionnée à l'aide de la formule de M. Vibert.

$$D=1.547\left(\frac{ne}{f}\right)^{0.154} Q^{0.46}$$

avec

D : diamètre économique de la conduite en m,

n : temps de fonctionnement journalier de la pompe en h, divisé par 24,

e : prix du kilowattheure en ariary

f : prix de la conduite posée en ariary par kilogramme,

Q : débit en m³/s

Nous considérons le cas défavorable où la pompe fonctionne durant 24 h, donc n = 1. La pompe étant alimentée par le réseau de la JIRAMA local, nous avons e = 605 Ar. (prix du kilowattheure d'après une facture de la JIRAMA).

La conduite de refoulement sera en PEHD PN 10 bars, le prix de la conduite posée (Tableau 35) sera alors déterminé comme suit :

- d'après les sous-détails de prix (contenu dans l'avant-projet sommaire du projet) établi par le cabinet d'étude, nous avons les prix de règlement pour la pose du mètre linéaire des conduites en PEHD PN 10 bars selon différentes sections ;

- or, selon leurs sections nous pouvons déterminer la masse linéique des conduites à l'aide de la fiche établie par la société PLASCOM (cf. Annexes, Tables et abaque) ; ce qui permet de déterminer le prix de la conduite posée par kilogramme.

Diamètre (mm)		Pression nominale PN (bars)	Pose du mL (Ar)	Masse linéique (kg/mL)	f (Ar)
Intérieur	Extérieur				
34	40	10	4020	0,36	11167
42,6	50	10	6160	0,56	11000
53,6	63	10	9560	0,88	10864
64	75	10	13280	1,23	10797
76,8	90	10	19020	1,76	10807

Tableau 35: Valeurs de f.

Nous pouvons alors prendre la valeur moyenne de $f = 10927 \text{ Ar..}$

Ainsi, pour le réseau d'Anosiarivo où $Q = 2.05 \text{ m}^3/\text{h}$ nous avons la valeur $D = 0.0319 \text{ m}$ et pour le réseau d'Antsahakely-Ambodisiarivo où $Q = 3.55 \text{ m}^3/\text{h}$ nous avons $D = 0.0410 \text{ m}$.

Les calculs ont abouti à des diamètres compris entre deux diamètres normalisés de fabrication, nous adopterons le plus grand de ceux-ci, en raison des possibilités d'extension réservées pour l'avenir soient :

- une conduite de diamètre 34/40 pour Anosiarivo,
- et une conduite de diamètre 42.6/50 pour Antsahakely-Ambodisiarivo.

III-3-6- Utilisation d'une pompe solaire immergée :

a- Notions d'énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie puisées dans les ressources naturelles de la terre qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables pour l'homme.

Les énergies renouvelables sont utilisées par l'homme depuis des millénaires : bois de chauffage, traction animale, chute d'eau ou vent pour des actions mécaniques. Elles ont été

supplantées depuis près de 200 ans par l'utilisation des combustibles fossiles (gaz, pétrole, charbon) plus appropriés aux développements industriels mais dont la durée de vie est limitée. Toutes les énergies ne sont cependant pas égales vis à vis de l'impact sur l'environnement. Non seulement cet impact a un coût économique souvent négligé mais il introduit surtout des déséquilibres de l'écosystème. De plus, le rallongement de la durée de vie des combustibles fossiles va dans le sens d'extractions plus coûteuses.

Les énergies renouvelables ont donc petit à petit pris une part importante tant dans le développement économique que dans les impacts positifs sur l'environnement (surtout due à l'épuisement des ressources fossiles, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre).

L'énergie thermique du soleil est alors le grand pourvoyeur des énergies renouvelables car en effet une partie de cette énergie thermique est transformée en énergie mécanique : celles du vent, des vagues, des courants marins, des précipitations atmosphériques qui donnent naissance au courant des fleuves....

Nous pouvons distinguer ainsi comme types d'énergies renouvelables :

- *l'énergie hydraulique* qui est la plus utilisée, elle peut fournir la consommation en électricité ou encore la consommation en eau

exemples : constructions de barrages hydroélectriques, récupération des eaux de pluies

- *l'énergie des océans* qui existe sous diverses formes : énergie marémotrice due à l'attraction de la lune, énergie des vagues, l'énergie thermique due à la différence de température entre la surface et les eaux profondes. Les deux dernières formes sont difficilement exploitables et l'énergie marémotrice est rarement exploitée.

exemple : construction de centrale marémotrice pour électrification.

- *l'énergie éolienne* qui est utilisée depuis l'antiquité (moulins, marine à voile...). La très grande variabilité (direction, vitesse, jour/nuit, saison) de cette énergie est son principal handicap.

exemple : pompe éolienne pour alimentation en eau

- *l'énergie solaire* qui est surtout utilisé dans sa conversion en énergie électrique via la conversion photovoltaïque. Les principales difficultés d'exploitations de l'énergie solaire reposent d'une part sur sa grande variabilité dans le temps (cycle journalier et annuel) qui implique la nécessité d'un stockage (coûteux et souvent aléatoire).

exemple : pompes à chaleur pour le chauffage (captage de la chaleur naturelle de l'atmosphère)

- *la bioénergie ou biomasse* qui englobe toutes les formes d'énergies renouvelables dérivées de matières végétales produites par photosynthèse.

exemples : l'utilisation du bois, l'utilisation de plantes (colzas, maïs...) pour fournir du biocarburant.

- *le biogaz* qui est le résultat de la fermentation anaérobie des déchets organiques.

L'utilisation des énergies renouvelables représente donc un facteur de développement important selon les besoins des consommateurs : eau, électricité, gaz, carburants.... Le projet d'alimentation en eau d'Anosiarivo s'expose d'ailleurs dans ce cadre de développement, en effet une des variantes étudiées pour le projet est l'alimentation en eau par pompage solaire.

b- La conversion photovoltaïque :

Notions sur l'électricité :

La matière, qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse se compose de molécules qui sont des groupements d'atomes. L'atome est formé d'électrons gravitant autour d'un noyau (proton + neutron). La charge électrique du neutron est nulle. Le proton a une charge positive égale en valeur absolue à celle de l'électron qui lui, est négatif. A son état normal un atome est donc électriquement neutre, le nombre d'électrons étant égal au nombre de protons.

L'électricité est une forme d'énergie utilisée à des fins mécaniques ou pour l'éclairage, le chauffage.... Il existe deux formes d'électricité : l'électricité statique et l'électricité dynamique.

L'électricité statique est développée par frottement entre 2 matières ; le frottement produit en effet un excès d'électrons déterminant une charge négative ou une perte d'électron déterminant une charge positive au sein des atomes. Ces charges se manifestent sur les matières frottées par forces d'attraction ou de répulsion et nous avons une électricité statique.

Quand ces charges sont en mouvement dans des matériaux conducteurs (exemple : le cuivre) elles constituent l'électricité dynamique (courant électrique).

En effet, lorsque la température s'élève, sous l'effet d'une agitation thermique, des électrons réussissent à s'échapper et participent à la conduction (action de mettre de proche en proche l'électricité). Dans le cristal (groupement d'atomes liés et régulièrement disposés), ces électrons se situent sur des niveaux d'énergie appelés bande de valence. Les électrons qui peuvent participer à la conduction possèdent des niveaux d'énergie appelés bande de conduction. Entre la bande de valence et la bande de conduction peut se situer une bande

interdite. Pour franchir cette bande interdite l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photons...). Pour les isolants la bande interdite est quasi infranchissable, pour les conducteurs elle est inexistante. Les semi-conducteurs ont une bande interdite assez étroite.

L'atome qui a perdu un électron devient un ion positif et le trou (charge positive) ainsi formé peut participer à la formation d'un courant électrique en se déplaçant.

L'effet photovoltaïque :

La conversion photovoltaïque consiste à transformer l'énergie solaire en énergie électrique. L'effet photovoltaïque implique donc la production et le transport de charges négatives (électrons) et positives (trous) sous l'effet de la lumière dans un matériau semi-conducteur (ordinairement le cristal de silicium).

Ce matériau (silicium) comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N (négatif) et dopée de type P (positif). Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P, une jonction PN a été ainsi formée.

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière, sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches de valence ont tendance à être décrochés et créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque (figure 3).

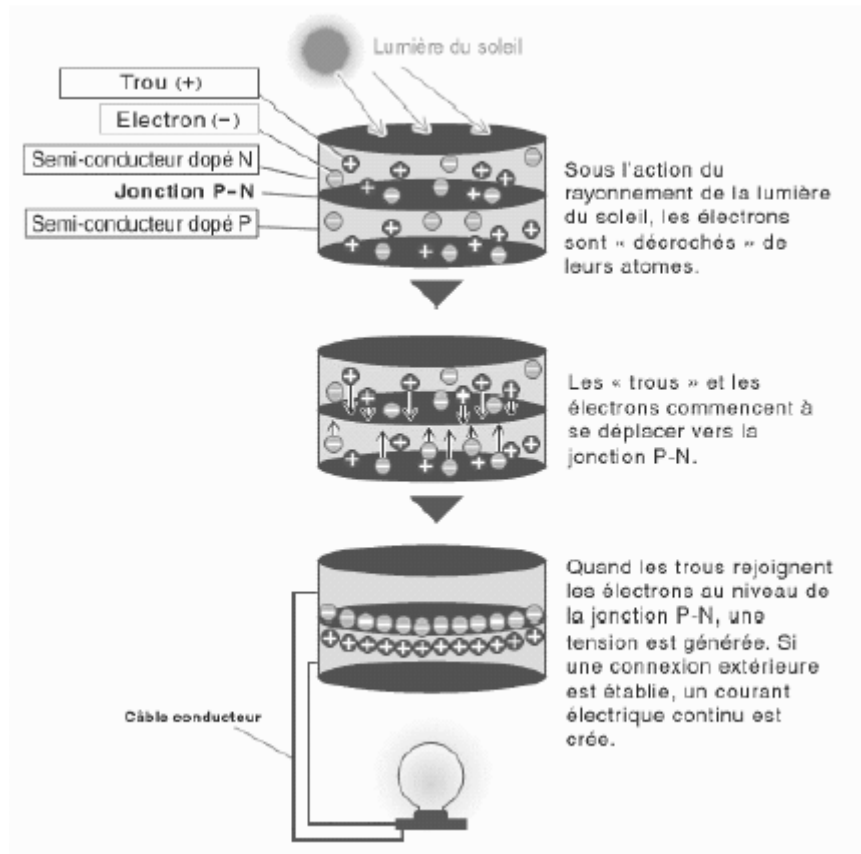


Figure 3: L'effet photovoltaïque.

c- Le pompage solaire pour l'alimentation en eau potable d'Anosiarivo :

L'étude de cette variante à été considérée pour Anosiarivo car :

- la région d'Anosiarivo se trouve dans une zone où nous avons un ensoleillement important (zone tropicale chaud et humide),
- les exigences en énergie pour le pompage des puits entrent parfaitement dans les possibilités de la technologie actuelle,
- la pointe saisonnière de la demande coïncide avec la pointe de l'ensoleillement,
- le stockage de l'eau pompée réduit le coût des systèmes inévitablement associés à l'emmagasinement de l'énergie.

Fonctionnement d'une pompe solaire immergée :

Une pompe solaire immergée (figure 4) est principalement constituée :

- d'un panneau solaire formé par une plaque de couleur noire (de façon à absorber au maximum le rayonnement solaire) et par un matériau semi-conducteur (photopiles au silicium),
- d'un adaptateur de tension,
- d'un câble conducteur,
- et d'une électropompe immergée.

Le principe de fonctionnement est tel que l'énergie électrique générée au niveau de la plaque est d'abord adaptée à la tension d'utilisation de l'électropompe. Un câble conducteur permet ensuite l'alimentation de l'électropompe en courant électrique pour actionner le refoulement de l'eau. Comme l'eau refoulée sera stockée, nous pouvons proposer l'utilisation d'un interrupteur flotteur afin d'arrêter le pompage quand le réservoir est plein.

Pour avoir le maximum de rendement, la plaque solaire doit être inclinée suivant la latitude de la région considérée soit inclinée à 18° pour la région d'Anosiarivo (exposition est).

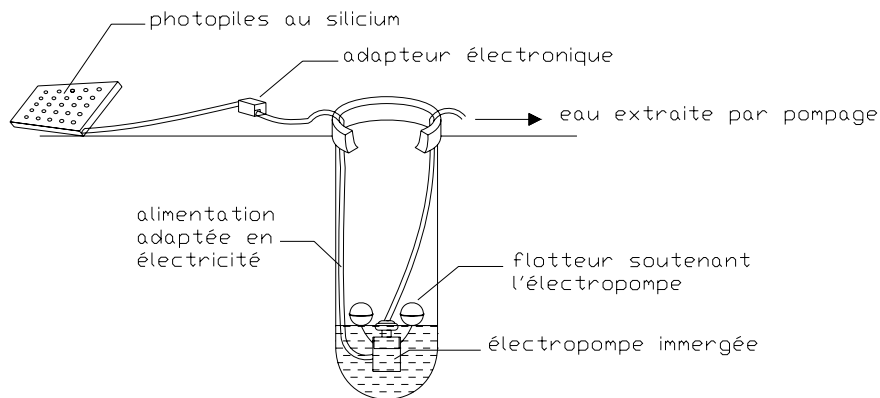


Figure 4: Pompe solaire immergée.

Caractéristiques de la pompe :

La pompe a été choisie selon les conseils techniques obtenus auprès de TENEMA (Tenesol Madagascar) – Ambatoroaka.

- Caractéristiques de service :

Marque : SXT-1000,

Débit : jusqu'à 2.5 m³/h,

Hauteur d'aspiration : jusqu'à 20 m,

Hauteur de refoulement : 5 à 45 m,

HMT : jusqu'à 110 m,

Tension d'alimentation : 12 volts alimentés par des panneaux de 100 watts,

Protégée contre les inversions de polarité,

Température maximale : 50°C,

Conduite de refoulement : 0.025 à 0.060 m.

- Limites de service :

Profondeur maxi d'immersion : 10 m,

Profondeur mini d'immersion : 0,10 m.

- Accessoires de la pompe :

Interrupteur flotteur (placé dans chaque puits avec la pompe),

Câble de forte section : 4 à 10 mm² (pour réduire les chutes de tension),

Panneau solaire,

Adapteur électronique et disjoncteur.

d- Les réservoirs de stockage :

Leurs rôles sont déjà donnés dans le paragraphe III-3-5, c. Toutefois nous notons que le décalage entre la production (période d'ensoleillement) et la consommation pourra, dans une certaine mesure, être atténué par l'effet tampon constitué par la capacité du réservoir surtout en saison humide.

Capacité des réservoirs :

Le calcul du stockage nécessaire en pompage solaire reste souvent inexploitable car les phénomènes qui entrent en jeu sont liés à la météorologie et il n'est pas possible de paramétrer la faculté d'adaptation des usagers.

En première approximation, le volume du réservoir est égal à la production de la pompe à son débit maximal sur 12 h d'ensoleillement soit un volume de $2.5 \text{ m}^3/\text{h} \times 12\text{h} = 30 \text{ m}^3$. Toutefois, l'adoption de ce volume en saison humide pénalise les coûts apportés aux travaux d'aménagement.

Nous estimons alors un volume de stockage entre 80 et 120 % (80 % en région désertique) de la production journalière des mois les plus favorables : avril à septembre pour la région d'Anosiarivo (cf. Tableau 20).

Cependant, à certaines périodes de la journée il se peut que le réservoir soit plein, en général autour de midi où la pompe débite le plus ; il est nécessaire donc d'établir un programme de distribution d'eau durant cette période afin d'éviter l'arrêt de la pompe.

Comme aucun essai de pompage n'a été effectué avec la pompe solaire immergée, nous prendrons comme volume des réservoirs (R3) le volume théorique égal à 30 m^3 .

Hauteurs des réservoirs :

Les hauteurs de radier pour chaque site sont données dans le paragraphe III-3-5, c.

La hauteur de la cuve par contre est limitée par la HMT au sol. Cette hauteur va donc déterminer la HMT de la pompe (la part liée à la hauteur de la tuyauterie de remplissage par rapport au sol) et va donner une charge supplémentaire aux robinets des bornes fontaines. Ainsi du côté distribution, plus cette hauteur est importante, meilleur sera le débit aux robinets; le réseau pourra également accepter plus de perte de charge (utilisation d'une tuyauterie plus petite en diamètre). Toutefois une grande hauteur de réservoir pénalise la

production mais favorise la distribution de l'eau (augmentation des charges du réseau) comme le montre la figure 5 ci-dessous.

Les puits étant à 15 m de profondeur et les radiers à une hauteur de 5 m et comme la HMT de la pompe va largement jusqu'à 110 m ; nous considérerons une cuve de forme ramassée afin de favoriser la production.

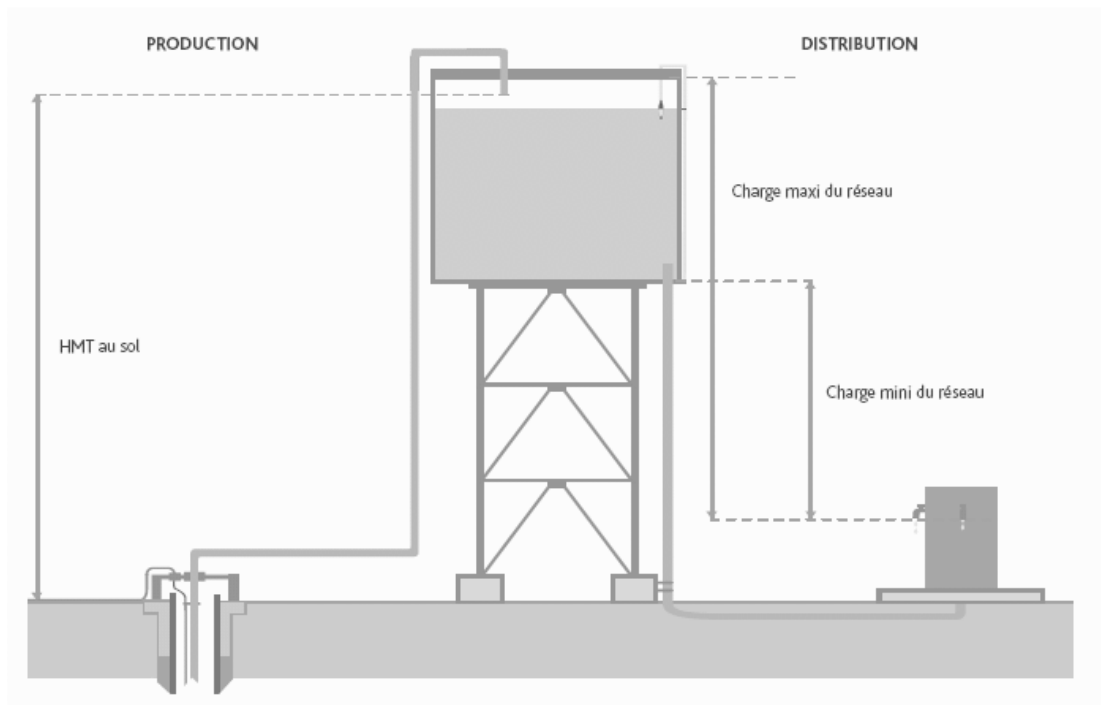


Figure 5: Production et distribution selon la hauteur du réservoir.

III-3-7- La distribution de l'eau :

Même si l'ouvrage de captage d'un puits est conçu pour éviter les infiltrations directes des eaux de surface grâce à son étanchéité, nous connecterons directement à la conduite de distribution (dans le local technique) à la sortie du réservoir un jeu de filtre à 3 éléments ($100\mu - 50\mu - 25\mu$) pour parer à la présence d'éventuels matières en suspension dans l'eau lors de la distribution.

Le dimensionnement des conduites de distribution pour les 2 réseaux considérés est similaire aux méthodes de dimensionnement antérieures ; les résultats de calcul sont présentés sous forme de tableau en annexes.

III-3-8- Entretien et mesures d'accompagnement :

L'entretien des réseaux ne devrait pas consister à compenser de façon périodique les conséquences d'une mauvaise conception et d'une mauvaise installation.

- Au niveau du réseau de distribution, les entretiens les plus fréquents sont généralement : la réparation de fuites, le remplacement de robinets, le curage périodique des fossés au niveau des bornes fontaines, vidange périodique des tuyauteries....

- Au niveau du système de captage :

le forage étant exempt de sable, les pompes (solaire ou électrique) ne seront remplacées qu'au bout de leur durée de vie normale (8 à 10 ans), l'électronique aura une durée de vie similaire en climat chaud,

les tuyauteries de refoulement souple offrent des facilités d'extraction en cas de problèmes,

Les limites de l'entretien par les villageois sont : le curage du puits à condition de ne pas le poursuivre au-delà de la base du captage, les petites maçonneries au niveau du cuvelage, les remblaiement des abords des puits et les réparations de la margelle.

Il faut alors adopter des mesures d'accompagnement pour tout entretien nécessitant l'intervention d'une équipe technique. Elles consistent à la mise en place :

- d'un comité de point d'eau ;
- d'une caisse villageoise alimentée par un recouvrement de coût fonctionnel ;
- d'une structure de réparation privée ayant reçu une formation par les fournisseurs de pompes ;
- d'un réseau de ventes de pièces détachées ravitaillé efficacement, géré par des opérateurs privés locaux.

Partie IV : Evaluations économiques :

Economiquement, ce projet n'apporte pas d'intérêt direct ; il s'agit plutôt d'un projet à caractère social et à caractère politique. Ainsi, le calcul de TRI (Taux de Rentabilité Interne) du projet ne sera pas intégré dans cette partie. Toutefois, une étude économique basée sur le calcul du coût d'entretien et du coût d'amortissement des ouvrages sera établie afin de tirer un prix du litre d'eau limitant le tarif à appliquer pour la gestion et l'entretien du réseau dans le futur.

Nous rappelons que l'avant projet sommaire du projet d'alimentation en eau d'Anosiarivo concerne l'alimentation par pompage électrique. De ce fait, nous n'évaluerons que les coûts des travaux pour l'adduction d'eau potable gravitaire et pour l'alimentation en eau par pompage solaire. Les bordereaux de détail quantitatif et estimatif (BDQE) sont ramenés en annexe pour ces 2 cas.

IV-1- Les prix unitaires et les métrés :

Pour les prix unitaires et les métrés, nous nous référerons au sous détail de prix établi dans l'avant projet sommaire du projet par le cabinet d'étude MIARY. Ces prix résultent de l'analyse des prix relevés sur les études de projet de réhabilitation des réseaux d'AEP dans la région d'Analamanga et des prix pratiqués pour ces types de travaux par des petites et moyennes entreprises locales, en considérant les conditions économiques actuelles (prix des matériels et des matériaux sur le marché, ...).

IV-2- Les coûts des travaux :

Les coûts des travaux pour l'alimentation par pompage électrique seront tirés à partir de l'avant projet sommaire du projet.

Les coûts des travaux seront donnés sous forme de tableau.

IV-2-1- Estimation du coût pour l'adduction gravitaire :

Désignation des ouvrages	Unité	Prix unitaires (Ar.)	Montant (Ar.)
Travaux préparatoires	FFT	4 154 760,00	4 154 760,00
Boîte de captage	5	922 311,60	4 611 558,00
Chambre collecteur	2	1 192 131,00	2 384 262,00
Conduite d'amenée	-	4 627 201,44	4 627 201,44
Bassin de filtration	1	14 961 573,94	14 961 573,94
Réservoir semi-enterré de 244 m3	1	42 796 820,38	42 796 820,38
Conduite de distribution	-	173 727 672,56	173 727 672,56
Borne fontaine publique	11	1 092 901,26	12 021 913,86
Borne fontaine scolaire	3	783 282,28	2 349 846,84
TOTAL HORS TAXE			261 635 609,02

Tableau 36: Coûts des travaux pour la 1^{ère} variante.

IV-2-2- Estimation du coût pour le pompage électrique :

Désignation des ouvrages	Unité	Prix unitaires (Ar.)	Montant (Ar.)
Travaux préparatoires	FFT	4 154 760,00	4 154 760,00
Puits en buse	5	6 455 910,24	32 279 551,20
Pompe électrique immergée	5	4 832 160,00	24 160 800,00
Conduite d'amenée	-	1 197 332,00	1 197 332,00
Réservoir surélevée de 14 m3	1	16 837 224,97	16 837 224,97
Réservoir surélevée de 28 m3	1	29 710 336,16	29 710 336,16
Conduite de distribution	-	32 486 936,00	32 486 936,00
Borne fontaine publique	11	1 092 901,26	12 021 913,86
Borne fontaine scolaire	3	783 282,28	2 349 846,84
TOTAL HORS TAXE			155 198 701,03

Tableau 37: Coûts pour la 2^{ème} variante utilisant une pompe électrique.

IV-2-3- Estimation du coût pour le pompage solaire :

Désignation des ouvrages	Unité	Prix unitaires (Ar.)	Montant (Ar.)
Travaux préparatoires	FFT	4 154 760,00	4 154 760,00
Puits en buse	5	6 455 910,24	32 279 551,20
Pompe solaire immergée	5	17 702 580,00	88 512 900,00
Conduite d'amenée	-	1 197 332,00	1 197 332,00
Réservoir surélevée de 30 m3	1	32 150 642,00	32 150 642,00
Conduite de distribution	-	32 486 936,00	32 486 936,00
Borne fontaine publique	11	1 092 901,26	12 021 913,86
Borne fontaine scolaire	3	783 282,28	2 349 846,84
TOTAL HORS TAXE			205 153 881,90

Tableau 38: Coût pour la 2^{ème} variante utilisant des pompes solaire.

Ces tableaux nous permettent de dire que l'adoption de la 2^{ème} variante est plus appropriée au projet d'alimentation en eau des 3 fokontany. Toutefois, nous procéderons à une analyse comparative des variantes ultérieurement dans le volet environnemental afin de déterminer la solution acceptable du point de vue technique, économique et environnemental.

IV-3- Prix de vente de l'eau :

L'accès à l'eau doit être payant et les modalités varient selon la forme de gestion. En effet, le tarif de l'eau doit couvrir les frais d'entretien et de réparation de l'ensemble du réseau d'adduction ainsi que le coût de rentabilisation du projet sur une période de 20 ans (le projet étant basé sur une projection de 20 ans). Néanmoins, il faut prendre en considération la capacité de paiement des usagers et considérer le principe de l'accès universel de l'eau potable des consommateurs domestiques ayant les plus faibles revenus.

Ainsi, les prix de vente de l'eau pour les différents scénarios étudiés seront déterminer à partir :

- des frais de gestion annuelle des points d'eau,
- des frais de réparation des ouvrages (bornes fontaines, réservoirs...) en considérant que les ouvrages soient amortis sur 20 ans,

- des frais de réparation des matériels (conduite, pompe...) en considérant une durée de vie de 10 ans pour les matériels,
- des frais de fonctionnement du réseau (coût de l'énergie de fonctionnement).

Ces frais d'entretien correspondent donc aux coûts d'amortissement de chaque investissement établi.

IV-3-1- Les frais de gestion annuel des points d'eau :

Ce sont les frais se rapportant au fontainier (tableau 39).

	Prix unitaire (Ar.)	Unité	Investissement (Ar.)	Taux d'amortissement (%)	Coût d'entretien
Salaire fontainier	100000 / mois	12	1 200 000,00	-	1 200 000,00
Bicyclette amorti sur 20 ans	160 000,00	1	160 000,00	5	8 000,00
Frais d'entretien de la bicyclette	5000 / mois	12	60 000,00	-	60 000,00
TOTAL					1 268 000,00

Tableau 39: Frais de gestion des points d'eau.

IV-3-2- Les frais de réparation et de fonctionnement pour chaque variante :

a- Coûts d'entretien pour l'adduction gravitaire :

	Prix unitaire (Ar.)	Unité	Investissement (Ar.)	Taux d'amortissement (%)	Coût d'entretien
Frais de réparation des ouvrages					
Boîte de captage	922 311,60	5	4 611 558,00	5	230 577,90
Chambre collecteur	1 192 131,00	2	2 384 262,00	5	119 213,10
Bassin de filtration	4 627 201,44	1	4 627 201,44	5	231 360,07
Réservoir semi-enterré de 244 m3	42 796 820,38	1	42 796 820,38	5	2 139 841,02
Borne fontaine publique	1 092 901,26	11	12 021 913,86	5	601 095,69
Borne fontaine scolaire	783 282,28	3	2 349 846,84	5	117 492,34
Frais de réparation des matériels					
Conduite d'amenée	4 627 201,44	-	4 627 201,44	10	462 720,14
Conduite de distribution	173 727 672,56	-	173 727 672,56	10	17 372 767,26
TOTAL					21 275 067,53

Tableau 40: Coûts d'entretien pour l'adduction gravitaire.

b- Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage électrique :

	Prix unitaire (Ar.)	Unité	Investissement (Ar.)	Taux d'amortissement (%)	Coût d'entretien
Frais de réparation des ouvrages					
Puits en buse	6 455 910,24	5	32 279 551,20	5	1 613 977,56
Réservoir surélevé de 14 m3	16 837 224,97	1	16 837 224,97	5	841 861,25
Réservoir surélevé de 28 m3	29 710 336,16	1	29 710 336,16	5	1 485 516,81
Borne fontaine publique	1 092 901,26	11	12 021 913,86	5	601 095,69
Borne fontaine scolaire	783 282,28	3	2 349 846,84	5	117 492,34
Frais de réparation des matériels					
Pompe électrique immergée	4 832 160,00	5	24 160 800,00	10	2416080
Conduite d'amenée	1 197 332,00	-	1 197 332,00	10	119733,2
Conduite de distribution	32 486 936,00	-	32 486 936,00	10	3248693,6
Frais de fonctionnement					
Pompe de 0,74 Kw à 605 Ar./Kwh	818,00	5	6482,4 Kw/an	-	26513016
TOTAL					36 957 466,45

Tableau 41: Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage électrique.

c- Coûts d'entretien pour l'adduction par pompage solaire :

	Prix unitaire (Ar.)	Unité	Investissement (Ar.)	Taux d'amortissement (%)	Coût d'entretien
Frais de réparation des ouvrages					
Puits en buse	6 455 910,24	5	32 279 551,20	5	1 613 977,56
Réservoir surélevée de 30 m3	32 150 642,00	1	32 150 642,00	5	1 607 532,10
Borne fontaine publique	1 092 901,26	11	12 021 913,86	5	601 095,69
Borne fontaine scolaire	783 282,28	3	2 349 846,84	5	117 492,34
Frais de réparation des matériels					
Pompe électrique immergée	17 702 580,00	5	88 512 900,00	10	8851290
Conduite d'aménée	1 197 332,00	-	1 197 332,00	10	119733,2
Conduite de distribution	32 486 936,00	-	32 486 936,00	10	3248693,6
TOTAL					16 159 814,50

Tableau 42: Coûts d'entretien pour l'adduction par popage solaire.

Nous avons le tableau récapitulatif suivant :

	1ère variante	2ème variante	
		Pompe électrique	Pompe solaire
Coût d'entretien	22 543 067,53	38 225 466,45	17 427 814,45
Coût d'amortissement (TVA comprise)	15 698 136,54	9 311 922,06	12 309 232,91

Tableau 43: Coût d'entretien et coût d'amortissement.

Partant de ce tableau, et avec l'hypothèse que le besoin réel de la population est de 309903 L/j (cf. Partie II, II-1-2, e), nous pouvons en déduire le prix de vente de l'eau :

$$\text{prix.de.vente.} = \frac{\text{coût.d'entretien.} + \text{coût.d'amortissement}}{365 \text{ j.} \times 309903 \text{ L/j}}$$

	1ère variante	2ème variante	
		Pompe électrique	Pompe solaire
Prix du litre (Ar.)	0,34	0,42	0,26
Prix du seau d'eau de 12L (Ar.)	4,00	5,00	3,15

Tableau 44: Prix de vente de l'eau.

Le recouvrement des coûts peut se présenter sous deux formes, la vente de l'eau ou la cotisation forfaitaire périodique :

- la vente de l'eau se fait soit au volumétrique, soit avec une autre unité de mesure bien déterminée. Le montant unitaire est décidé par assemblée générale sur proposition des membres de l'association des usagers de l'eau, basée sur un calcul de rentabilité et approuvée par la commune,
- la cotisation forfaitaire et périodique dont le montant et la période sont décidés en assemblée générale sur proposition des membres, basée sur un calcul d'amortissement et approuvée par la commune.

C'est la commune qui décide de la forme du recouvrement des coûts en fonction du contexte local et de la capacité financière de chaque communauté.

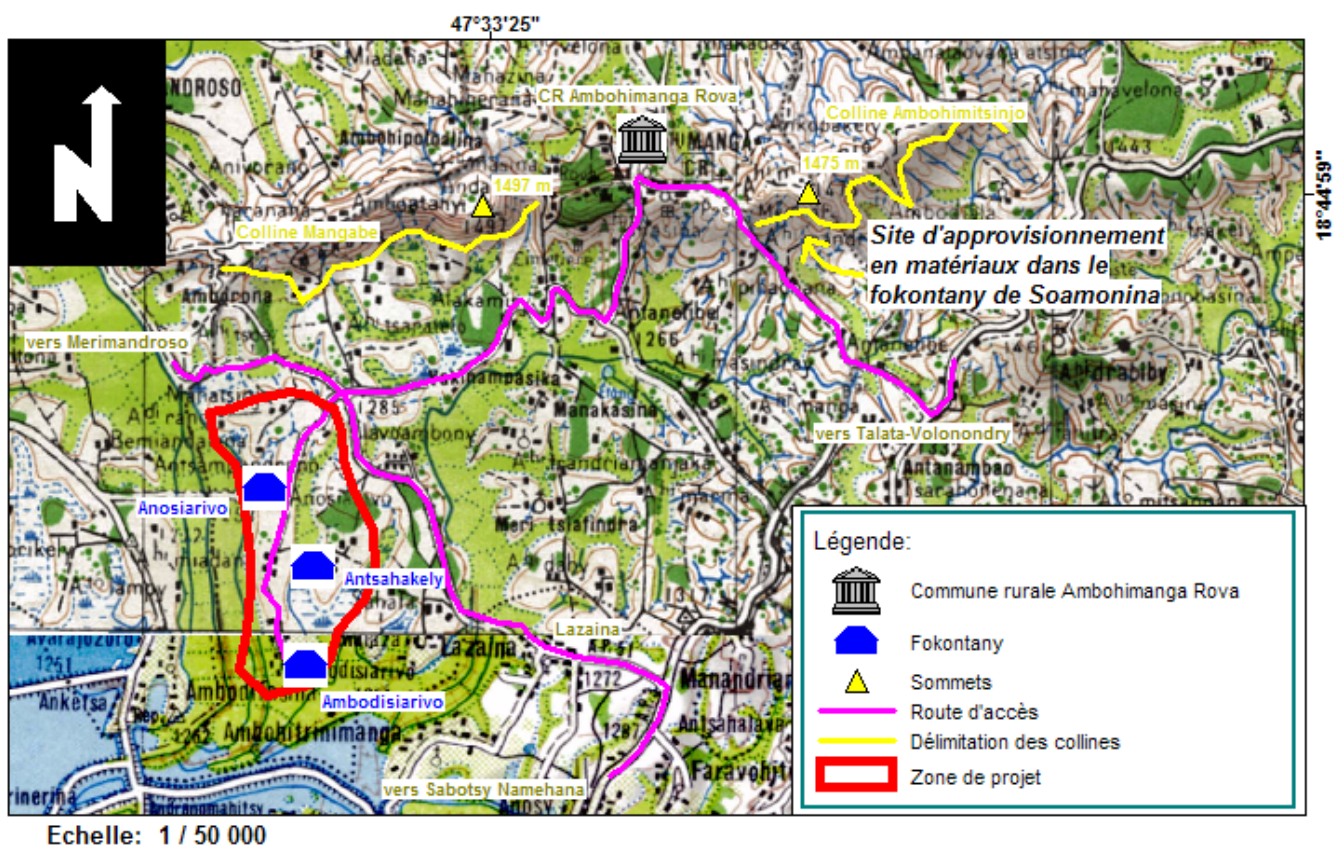
Partie V : Volet environnemental :

V-1- Description du milieu récepteur :

V-1-1- Zone d'influence du projet :

Les milieux récepteurs (pour les deux variantes) qui se spécifient par leur fragilité à la mise en place du projet sont définis et délimités en fonction de la zone d'influence du projet (Carte 3). Cette zone d'influence concerne :

- les sites d'approvisionnement en matériaux (cf. Tableau 10),
- les routes d'accès vers les zones de projet,
- les zones de projet (selon les deux variantes).



Carte 3: Zone d'influence du projet.

V-1-2- Description des milieux récepteurs :

a- Milieu physique :

Le milieu physique est défini par des sols occupés par quelques tanety et quelques montagnes qui ont de bonne aptitude aux cultures pluviales et aux cultures sèches ; l'hydrographie est formée par des ruisseaux de sources collinaires (cf. Partie I, I-2-2).

b- Milieu biologique :

Pour la flore, les formations sont plutôt des herbacées (graminacées) sujettes aux feux de brousse périodiques, malgré l'existence de quelques arbres (eucalyptus, pins, arbres fruitiers) par endroit.

La faune observée dans la zone d'étude comprend : des reptiles qui sont rares et vivent entre les pierres (bibilava), des insectivores qui se trouvent dans les arbustes (tanalahy), des oiseaux (goaika, les papango, et les hitsikitsika). Les faunes aquatiques sont abondantes dans les étangs aménagés dans les rizières, nous citons entre autres : les pirina, les tilapia, les trondro gasy,....

c- Milieu humain :

Les caractéristiques de ce milieu sont donnés dans la Partie I, I-2-3.

V-1-3 Les sources d'impact :

D'une manière générale, les activités prévues (Tableau 45) dans le cadre du projet constituent les principales sources d'impact.

PHASE	ETAPES DE TRAVAIL	ACTIVITES PREVUES
Phase préparatoire	Installation de chantier	Amenée des matériels et matériaux
		Amenée des mains d'œuvre
		Construction d'une base vie
		Stockage des matériaux et matériels
Phase de réalisation	Terrassement	Débroussaillage
		Déblai pour creusement canaux
		Fouille en puits
		Fouille d'ouvrages
		Remblai d'emprunt
	Maçonnerie	Construction des puits
		Construction du hangar pour abri
		Construction de réservoir
		Construction des bornes fontaines
	Divers	Tuyauterie
		Abri des matériaux locaux (sable, rocheux, ...)
		Point d'eau (maçonnerie)
		Lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, vétiver,
		Transport (matériaux, matériels) et équipements)
	Repli de chantier	Repli de chantier
Phase d'exploitation		Activités quotidiennes et amélioration des échanges socio-économique

Tableau 45: Les sources d'impact.

V-2- Analyse des variantes du projet :

Cette analyse consiste à démontrer que la variante du projet choisie admet globalement une solution acceptable du point de vue technique, économique et environnemental.

Comme indiqué précédemment, l'adoption de la 2^{ème} variante est plus appropriée ; le tableau 36 montre une analyse comparative des variantes permettant de déterminer la solution adéquat pour alimenter les trois fokontany, elle se porte surtout sur une comparaison entre l'alimentation en eau par pompage solaire et l'alimentation par pompage électrique.

		Pompe électrique	Pompe solaire
Critères d'analyse	1 ^{ère} variante	2 ^{ème} variante	
Critères économiques			
Coût des travaux (Ar.)	313 962 730.8	186 238 441.2	246 184 658.3
Coût d'entretien annuel (Ar.)	22 543 067,53	38 225 466,45	17 427 814,45
Coût de réparation des pompes	-	Moins coûteux	Plus coûteux
Critères techniques			
Besoin en eau	Non satisfait	Satisfait	Satisfait mais distribution variable selon ensoleillement
Pièces détachées (pompes)	-	Abordable	Cher
Fournisseurs en pièces de réparation	-	Abondant	Peu
Evolution dans le temps	-	Energie coûteuse mais amorti (prix de l'eau, caisse villageoise)	Energie gratuite
Critères environnementaux			
Impacts sur l'environnement à long terme	Aucun	Pas très important	Aucun

Tableau 46: Critères d'analyse.

Ce tableau permet de dire que la variante retenue correspond à l'alimentation par pompage électrique; non seulement le coût des travaux est largement inférieur aux coût des autres variantes mais les réseaux de fournisseurs en pièces de réparation (pompe) sont plus étendus, elle constitue la meilleure solution technique, économique et environnementale.

V-3- Identification des impacts probables :

Pour chacune des inter-relations entre les activités du projet et les composantes du milieu récepteur, nous identifierons dans le tableau 47 les impacts probables par rapport au milieu physique, au milieu biologique et au milieu humain.

Etapes de travail	Activités prévues	Composantes affectées	Impacts probables	Types d'impact
Phases de préparation et de construction				
Installation de chantier	Amenée des mains d'œuvre	Population, santé publique, commerce	Afflux des populations aux alentours Insécurité Augmentation des risques de transmission de maladies d'une communauté à l'autre à cause de l'augmentation des échanges	Négatif
			Amélioration de certaines transactions commerciales	Positif
	Construction d'une base vie	Atmosphère	Pollution organique et nuisance olfactive (absence de toilette, déchets ménagers)	Négatif
Terrassement	Débroussaillage	Flore	Destruction ou modification de la végétation	Négatif
	Creusement des puits	Sol	Perturbation de l'écoulement de la nappe souterraine	Négatif
	Fouille d'ouvrage	Sol	Eviter l'érosion du sol	Positif
Maçonnerie	Construction des puits en buse	Sol, homme	Eparpillement des sachets des ciments	Négatif
	Construction du hangar pour abri		Risque de protestation de propriétaire terrien sur l'emplacement des ouvrages	
	Construction de réservoir	Vie quotidienne	Mesure technique prise pour remédier les perturbations créées par la construction des ouvrages	Positif
	Construction des bornes fontaines	Sol, homme	Protection contre l'érosion	Positif
Divers	Tuyauterie	Sol, air, santé publique	Risque d'accident Eparpillement des sachets, des morceaux de tuyaux	Négatif

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

	Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux, ...)	Sol, végétation, faune	Risque d'érosion du sol Destruction ou modification de la végétation Perturbation d'habitat faunistique	Négatif
	Lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, vétiver)	Sol, végétation, faune	Risque d'érosion du sol Destruction ou modification de la végétation Perturbation d'habitat faunistique	Négatif

Repli de chantier	Repli de chantier	Sol Homme	Pollution du sol Risque de propagation de maladie due à la pollution	Négatif
Phase d'exploitation				
	Mauvaise utilisation des puits	Nappe	Rabattement des nappes	Négatif
		Eau Homme	Pollution et risque de propagation de maladie	Négatif
	Mauvais entretien et gestion	Ouvrage Homme	Risque de destruction des ouvrages Conflit social	Négatif
		Association	Non fonctionnalité de l'institution	
	Contamination de l'eau	Homme	Pollution et risque de propagation de maladie	Négatif
	Retenue d'eau, fuites et flaques d'eau stagnantes aux points d'eau (puits ou borne fontaine)	Homme Ouvrage	Insalubrité	Négatif
	Infrastructure en normes	Homme	Eau potable	Positif

Tableau 47: Identification des impacts.

V-4- Evaluation des impacts :

L'évaluation des impacts repose sur trois critères d'évaluation, à savoir : l'intensité, la durée et l'étendue. Les impacts sont évalués selon leur degré d'importance.

Critères d'évaluation	Degré d'importance		
	1	2	3
Intensité	Faible	Moyen	Fort
Durée	Ponctuelle	Intermédiaire	Permanente
Etendue	Local	Régional	National

Tableau 48: Système d'évaluation.

En effet, ce n'est qu'après analyse et combinaison de ces trois critères sur le milieu considéré que nous pouvons juger et catégoriser les impacts en impacts majeurs, impacts moyens et impacts mineurs.

Ainsi, trois catégories de notation sont prises en compte pour l'analyse des résultats :

- catégorie 1 comprise dans l'intervalle [3,4] pour les impacts mineurs ,
- catégorie 2 comprise dans l'intervalle [5,6] pour les impacts moyens,
- catégorie 3 comprise dans l'intervalle [7,9] pour les impacts majeurs.

Etapas de travail	Activités prévues	Composantes affectées	Critères			Total	Importance
			Intensité	Durée	Etendue		
Phases de préparation et de construction							
	Amenée des mains d'œuvre	Population	1	2	2	5	Moyenne
		Santé publique	2	2	2	6	Moyenne
		Commerce	2	2	2	6	Moyenne
	Construction d'une base vie	Atmosphère	1	2	1	4	Mineure
		Sol	1	2	1	4	Mineure
	Terrassement	Débroussaillage	Flore	1	3	1	5
Creusement des puits		Sol	1	2	1	4	Mineure
Fouille d'ouvrage		Sol	1	2	1	4	Mineure
Maçonnerie	Construction des puits en buse	Sol	2	2	1	5	Moyenne
		Eau	1	2	1	4	Mineure

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

		Vie quotidienne	2	2	1	5	Moyenne
	Construction du hangar pour abri	Sol	1	2	1	4	Mineure
	Construction de réservoir	Sol	1	2	1	4	Mineure
		Vie quotidienne	1	2	1	4	Mineure
	Construction des bornes fontaines	Sol	1	2	1	4	Mineure

Divers	Tuyauterie	Sol	1	2	1	4	Mineure
		Végétation	1	2	1	4	Mineure
		Santé publique	2	1	1	4	Mineure
	Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux, ...)	Sol	1	2	1	4	Mineure
		Végétation	1	2	1	4	Mineure
		Faune	1	1	1	3	Mineure
	Lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, vétiver,)	Sol	1	2	1	4	Mineure

		Végétation	1	2	1	4	Mineure
		Faune	1	1	1	3	Mineure
Repli de chantier	Repli de chantier	Sol	1	1	1	3	Mineure
		Homme	2	1	1	4	Mineure
Phase d'exploitation							
		Nappe	2	2	2	6	Moyenne
		Eau	2	2	1	5	Moyenne
	Mauvaise utilisation des puits	Homme	2	2	1	5	Moyenne
		Ouvrage	2	2	1	5	Moyenne
		Homme	2	2	1	5	Moyenne
	Mauvais entretien et gestion	Association	2	2	1	5	Moyenne
	Contamination de l’eau	Homme	3	2	2	7	Majeure

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

	Retenue d'eau, fuites et flaques d'eau stagnantes aux points d'eau (puits ou borne fontaine)	Homme	2	2	1	5	Moyenne
		Ouvrage	2	2	1	5	Moyenne
	Infrastructure en normes	Homme	3	3	1	7	Majeure

Tableau 49: Evaluation des impacts.

Ainsi, les impacts générés par le projet sont classés comme des impacts moyens (surtout à long terme durant la phase d'exploitation).

V-5- Les mesures à prendre :

Pour les impacts positifs, les mesures à prendre sont d'optimiser ou de capitaliser ces impacts, les impacts négatifs, quant à eux, seront à atténuer. Les tableaux 50 et 51 présentent les mesures à prendre pouvant favoriser l'existence du projet lui même.

POSTE DE TRAVAIL	MESURES D'ATTENUATION	RESPONSABLE	PHASE DU PROJET
Installation de chantier	Installer le camp et le chantier sur des terrains loin des habitats et terrain de culture et munis de latrines et bac à ordures	Entreprise	Phase préparatoire
Terrassement	Débroussailler uniquement les zones concernées par les travaux Mettre en place les produits de fouille dans des aires de stockage Utiliser le produit de fouille pour remblayer Remettre en état le lieu de prélèvement au cas où le produit des fouilles n'est pas suffisant	Entreprise	Phase de travaux
	Déterminer et bien délimiter le lieu de dépôt pour éviter le charriage et éparpillement	BE	Phase de travaux
Infrastructure et superstructure	Stocker les sachets utilisés avant rejet dans la poubelle Minimiser les carrières/emprunts avec la réouverture des emprunts/carrières existants Délimiter uniquement les terrains indispensables aux emprunts et carrières, Utiliser des récipients d'eau propres Penser à l'hygiène des utilisateurs	Entreprise	Phase de travaux
Implantation des puits	Considérer la mise en place d'une clôture au niveau du captage comme une obligation	BE/ entreprise	Phase préparatoire
	Protection du bassin versant par plantation des arbres ou arbustes	BE / bénéficiaires	
Choix d'emplacement: puits, borne fontaine	Faire des consensus pour l'emplacement de borne fontaine, puits Persuader les propriétaires de terre à accepter par écrit (lettre d'acceptation) l'installation du projet pour le bien de tous	BE / bénéficiaires	Phase préparatoire
Borne fontaine	Clôturer les bornes fontaines ou puits	Entreprise	Phase de travaux

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

	Assurer un drainage efficace de l'eau autour des points d'eau (bornes fontaines, puits) pour éviter les flaques d'eau stagnante Bien identifier l'exutoire pour le déversement des eaux		
Conduite de distribution	Creuser à la taille nécessaire pour la mise en place de tuyau Bien compacter le remblai	Entreprise /bénéficiaires	Phase de travaux

Repli de chantier	Réaménager les aires de stockage Nettoyer l'environnement de la construction : Mettre en décharge les déchets non recyclables	Entreprise	Repli de chantier
Sensibilisation	Sensibiliser les bénéficiaires pour le mode de puisage, à la gestion de l'eau et au respect du périmètre de sécurité	BE /FID	Réception provisoire
Phase étude et exploitation	Assurer un suivi régulier de la qualité physico-chimique : pH, température, conductivité (mesures sur terrain) Bactériologique : tests officiels de potabilité (Institut Pasteur ou mesures sur terrain)	BE	Avant travaux
		Bénéficiaires	Après réception définitive
Phase exploitation	Assurer un entretien rigoureux des canalisations pour éviter les fuites d'eau	Bénéficiaires	Phase d'exploitation
Sensibilisation	Sensibiliser les bénéficiaires sur le maintien de la salubrité et les risques associés avec l'eau stagnante	BE	Réception provisoire et définitive
		FID	Phase entretien

Phase exploitation	Assurer un entretien rigoureux des infrastructures	Bénéficiaires	Phase d'exploitation
	Mettre en place des outils de gestion	BE /bénéficiaires	Avant la réception
	Impliquer la Commune pour le contrôle	/FID	des travaux

Tableau 50: Mesures d'atténuation des impacts négatifs.

POSTE DE TRAVAIL	MESURES D'OPTIMISATION OU DE CAPITALISATION	RESPONSABLE OU BENEFICIAIRE	PHASE DU PROJET
Exécution des travaux	Création d'emploi	Population	Phase de travaux, phase préparatoire
	Réduction au minimum de la durée des travaux dans les zones sensibles		
	Prise de mesures pour réduire au maximum les nuisances (déchets, bruits...)		
Installation de chantier	Amélioration de certaine transaction commerciale	Population	Phase préparatoire
Terrassement	Stabilité du sol, aucun risque d'éboulement	Région	Phase de travaux
	Véhicules adaptées à la nature du sol		
Maçonnerie	Mesures techniques prises pour remédier aux perturbations créées par la construction des ouvrages	Population	Phase de travaux
	Stabilité du sol, aucun risque d'éboulement	Région	
Formations	Formation technique sur l'entretien du site, sur la gestion intégrée des ressources en eau	BE/FID	
	Formation technique sur l'utilisation, l'entretien (et voire la réparation) des pompes	Fournisseurs	

Adduction d'eau potable à Anosiarivo.

Utilisation de l'eau potable	Corvée d'eau amoindrie Amélioration de l'hygiène et de la santé	Population locale	
	Répartition équitable de l'eau par fokontany Augmentation probable de la productivité agricole		Phase d'exploitation

Tableau 51: Mesures d'optimisation ou de capitalisation des impacts positifs.

V-6- Les éléments du plan de gestion environnemental :

Le plan de gestion environnemental est un document présentant un programme de surveillance et de suivi environnemental à mettre en œuvre durant toutes les différentes phases du projet (jusqu'à la phase d'exploitation).

Ce programme permet de documenter certains impacts à long terme d'un projet sur l'environnement, dont l'importance était parfois difficile à établir au préalable. L'objectif est de pouvoir noter l'effet du projet sur certaines composantes environnementales dont l'intégrité écologique est préoccupante et pour apporter, le cas échéant, les correctifs nécessaires.

Le suivi environnemental permet d'établir d'une manière souvent quantitative, l'impact réel d'un projet sur certaines composantes de l'environnement et, à ce titre, contribue à améliorer les connaissances sur les effets de certaines activités de l'homme sur son environnement. Dans le cadre des projets d'adduction d'eau, le programme de suivi devrait informer sur :

- le suivi des mesures d'atténuation (cf. Tableau 50),
- l'évolution des fluctuations du niveau de la nappe phréatique (disponibilité de la ressource),
- l'évolution des effets de la qualité de l'eau sur les usagers,
- l'évolution de la qualité de l'eau,
- l'évolution de la qualité des eaux souterraines dans la zone influencée par le pompage,
- l'évolution de la stabilité des sols dans les emprises,
- le suivi des mesures de capitalisation ou d'optimisation (cf. Tableau 51).

CONCLUSION

Pour diverses raisons, nous avons vu que l'adoption de la variante d'alimentation en eau potable par pompage électrique constitue la meilleure solution technique, économique et environnementale :

- le projet n'ayant aucun intérêt économique pour les investisseurs, il leur sera favorable d'opter pour la variante dont le coût des travaux est le moins cher,
- le coût de fonctionnement de la pompe est amorti par le prix de vente de l'eau (0.42 Ar. le litre) qui est à la portée des villageois,
- à long terme, les impacts du projet sur l'environnement sont mineurs.

Toutefois, à long terme l'alimentation en eau potable par pompage solaire des 3 fokontany (Anosiarivo, Antsahakely et Ambodisiarivo) est sujette à discussion. En effet, la flambée des cours du brut a une conséquence directe sur les tarifs de consommation appliqués par la JIRAMA ; l'emploi d'une pompe solaire s'avère alors plus adéquat. L'utilisation des énergies renouvelables gagnant petit à petit du terrain à Madagascar, on aura plus de fournisseurs et de techniciens spécialisés dans ce domaine à long terme.

BIBLIOGRAPHIE

André DUPONT. *Hydraulique urbaine : Hydrologie – Captage et traitement des eaux, Tome 1*. Editions Eyrolles.

André DUPONT. *Hydraulique urbaine : Ouvrages de transport – Elévation et distribution des eaux, Tome 2*. Editions Eyrolles.

Cabinet d'études MIARY. 2007. *Avant projet sommaire du projet d'alimentation en eau d'Anosiarivo*.

Cyril GOMELLA et Henri GUERREE. *La distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales*. Editions Eyrolles.

François G. BRIERE. *Distribution et collecte des eaux*. Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal.

Hubert BONNEVIOT. *Adduction d'eau potable avec pompe photovoltaïque : pratique et recommandations de conception et d'installation*. Editions ADEME.

Jean Donné RASOLOFONIAINA. Février 2004 *Formation en technique d'adduction d'eau potable*. FID.

Michel DETAY. *Le forage d'eau : réalisation, entretien, réhabilitation*. Editions MASSON

Ministère de l'énergie et des mines (MEM). Juin 2005. *Elaboration d'un manuel de procédure pour la mise en place des projets eau et assainissement*. Organisation TARATRA.

St Gall. *Manuel technique pour l'approvisionnement en eau des zones rurales*. Editions SKAT.

1974. *La construction des puits en Afrique tropical et « l'investissement humain »*. Editions BURGEAP..

Le pompage photovoltaïque. Institut français de l'énergie.

Les cours de :

- Mr. RAKOTOARIMANANA : Hydrogéologie appliquée (4^{ème} année).
- Mr. RAKOTODRAINIBE Jean Herivelo : Ressources en eau (5^{ème} année).
- Mr. RAMANANTSOA Benjamin : Station et traitement d'eau potable (5^{ème} année).
- Mr. RAMANARIVO Solofomampionona : Hydrogéologie (3^{ème} année).

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

- Mr. RANDRIAMAHERISOA Alain : Hydrologie appliquée (4^{ème} année), Etudes d'impact environnemental (5^{ème} année).
- Mr. RANDRIANASOLO David : Hydraulique urbaine (4^{ème} année), Adduction d'eau potable (5^{ème} année).
- Mr. RANJATOSON Claude : Ecoulement en charge (3^{ème} année).

ANNEXES

ANNEXE 1 : Note de calcul sur l'ajustement statistique des pluies selon la loi normale et sur les ferraillages du réservoir de 244 m³.

ANNEXE 2 : Tables de correspondance et abaque.

ANNEXE 3 : Tableaux de dimensionnement des conduites de distribution pour chaque variante étudiée.

ANNEXE 4 : Plans de masse, schémas synoptiques des réseaux, plans d'ouvrages.

ANNEXE 5 : Bordereaux de devis quantitatifs et estimatifs pour l'adduction d'eau potable gravitaire et pour l'alimentation en eau par pompage solaire.

ANNEXE 1 : Notes de calcul.

Ajustement statistique sur les valeurs observées de la pluie :

***Analyse statistique :**

On déterminera :

- la pluie moyenne mensuelle

$$\overline{P_{mois}} = \sum_{i=1980}^{1994} P_{i_{mois}} \text{ [mm]}$$

$$\overline{P_{mois}} [\%] = \frac{100 \cdot \overline{P_{mois}} [\text{mm}]}{P_{annuelle}}$$

- l'écart-type de la série des pluies

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1980}^{1994} (P_i - \overline{P})^2}{n-1}}$$

	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	
Moyenne (mm)	345,8	305,0	262,4	86,4	17,7	12,2	10,8	8,0	21,2	75,8	155,4	344,9	1645,7
Moyenne (%)	21,01	18,53	15,94	5,25	1,07	0,74	0,66	0,49	1,29	4,61	9,45	20,96	100,00
Ecart-type													487,20

***Détermination des pluies quinquennale et décennale sèche et humide par ajustement selon la loi de Gauss :**

La loi de Gauss ou loi normale est définie par la fonction de répartition de la forme :

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

F est la fréquence d'observation où F = 1/T pour une année sèche et F = 1 - 1/T pour une année humide,

u est la variable réduite telle que $u = \frac{P - \overline{P}}{\sigma}$.

La pluie pour une fréquence donnée est : $P(F) = \bar{P} \mu u \sigma$

	Année sèche		Année humide	
Période T (ans)	5	10	5	10
Fréquence	0,2	0,1	0,8	0,9
u	0,84	1,28	0,84	1,28
P (F) (mm)	1236,4	1022,1	2055,0	2269,3

Ferraillage du réservoir de 244 m³ :

- Les hypothèses de dimensionnement :

Les hypothèses suivantes seront considérées :

- poids spécifique du béton $G_b = 2.5 \text{ t/m}^3$ (béton bien vibré),
- poids spécifique de l'eau $G_{\text{eau}} = 1 \text{ t/m}^3$,
- contrainte admissible du sol $S_{\text{adm sol}} = 15 \text{ t/m}^2$ (on a des roches granitiques décomposées sur les flancs de la colline de Mangabe),
- contrainte admissible du béton $S_{\text{adm b}} = 0.08 \text{ t/cm}^2$,
- contrainte admissible de l'acier $S_{\text{adm acier}} = 2.8 \text{ t/cm}^2$ (pour des aciers HA FeE400).

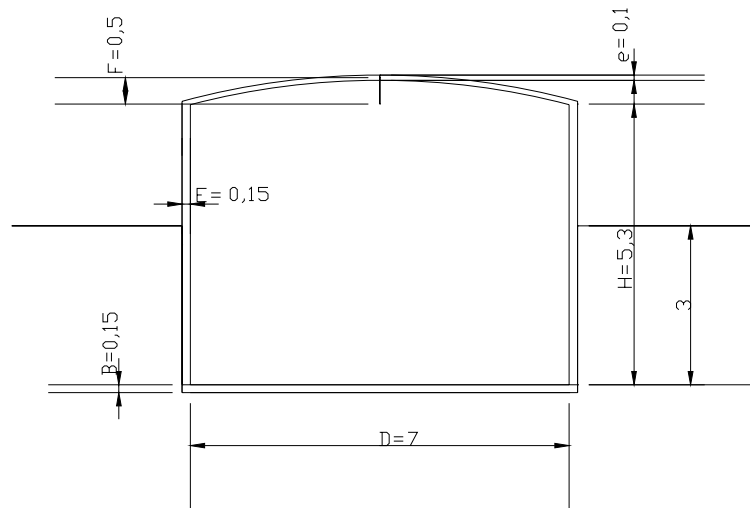
- Le prédimensionnement :

Pour un volume V de 244m³, nous prendrons les dimensions suivantes :

- diamètre du réservoir D = 7m,
- hauteur du réservoir H = 5.3m dont 3m enterré,
- flèche F = 0.5m,
- les épaisseurs de la base et de la cuve sont les mêmes E = B = 0.15m,
- épaisseur de la coupole e = 0.1m

Ce prédimensionnement permet de déterminer les caractéristiques de la coupole du réservoir comme l'indique le tableau suivant :

Caractéristique de la coupole		
Rayon sphérique	$R_s = (R^2 + F^2) / 2F$	12,50 m
Surface de la coupole	$S_c = 2\pi \times R_s \times F$	39,25 m ²
Volume de la coupole	$V_c = 2\pi \times R_s \times F \times e$	3,93 m ³



Pour que les dimensionnements pris soient bons il faut que la contrainte du sol S_{sol} soit inférieure à la contrainte admissible du sol ($S_{adm\ sol} = 15\ t/m^2$).

La contrainte du sol, elle, est donnée par :

$$S_{sol} = \frac{P1 + 1,5P2}{S} \quad [M.L^{-2}]$$

avec

P1 : charges permanentes,

P2 : charges variables,

et S : surface où les charges sont appliquées, $S = \pi(R+E)^2$

La charge permanente est le poids du béton P_b appliqué sur S et le poids de l'eau P_{eau} représente la charge variable. Les résultats de calcul de ces charges sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

P1 : Poids du béton P_b		
Cuve	$P(\text{cuve}) = G_b \times 2\pi \times R \times H \times E$	43,69 t
Coupole	$P(\text{coupole}) = G_b \times V_c$	9,81 t
Base	$P(\text{base}) = G_b \times \pi \times B \times (R+E)^2$	15,69 t
	P_b	69,18 t
P2 : Poids de l'eau P_{eau}		
Eau	$P_{\text{eau}} = G_{\text{eau}} \times V$	244 t

Par la suite nous trouvons $S_{\text{sol}} = 10.40 \text{ t/m}^2$.

Comme la portance du sol $S_{\text{sol}} = 10.40 \text{ t/m}^2$ est inférieure à la contrainte admissible du sol $S_{\text{adm sol}} = 15 \text{ t/m}^2$, alors les dimensionnements pris sont bons.

- Ferraillage du réservoir :

Nous nous référerons à la table de correspondance des poids, des sections et des périmètres nominaux des barres d'acier qui se trouve en annexe pour le choix des armatures du réservoir.

Les schémas de ferraillages seront portés en annexe dans les plans d'ouvrages.

Coupole :

La coupole en tous ses points est soumise à une compression méridionale s (N_φ) où N_φ est la charge répartie le long de la circonférence d'appui $2\pi R$.

Nous avons :

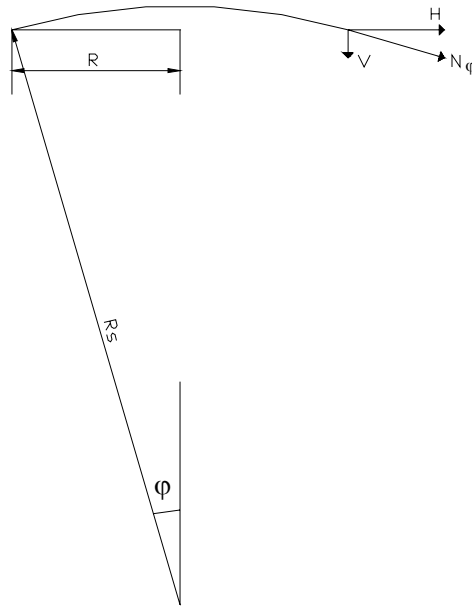
$$\sigma(N_\varphi) = \frac{N_\varphi}{e} \text{ [M.L}^{-2}\text{]}$$

$$\text{où } N_\varphi = \frac{V}{\sin\varphi} = \frac{P(\text{coupole})}{2.\pi.R.\sin\varphi}$$

V étant la charge verticale répartie le long de la circonférence d'appui $2\pi R$.

Par ailleurs la relation géométrique dans une coupole donne $\sin\varphi = \frac{R}{R_s}$,

R_s est le rayon sphérique de la coupole.



Finalement, nous trouvons une valeur de 15.9 t/m^2 de la compression méridionale de la coupole pour un volume de béton qui résiste à 800 t/m^2 .

Le béton résistant à 80 kg/cm^2 , nous mettrons des armatures de principe à raison 100 kg/m^3 de béton. Or $V_c = 3.93 \text{ m}^3$ est le volume du béton de la coupole, dans ce cas le poids total d'acier à mettre est de 393 kg ($V_c \times 100 \text{ kg/m}^3$). Nous choisissons des barres $\phi 12$ de 0.887 kg/mL , soit une longueur totale d'acier de $L_t = 443 \text{ m}$ ($393 \text{ kg} / 0.887 \text{ kg/mL}$) qui sera répartie sur les méridiens de la coupole.

Sur la coupole nous plaçons un trou d'homme de dimension $a \times a = 1[\text{m}] \times 1[\text{m}]$ (cf. Annexe, Plan d'ouvrage). Le parement du réservoir est exposé aux intempéries et est au contact de l'eau, nous prenons alors un enrobage $e_b = 0.02 \text{ m}$.

Ainsi, nous pouvons déterminer la longueur d'acier L_m sur un méridien de la coupole, soit :

$$L_m = R_s \varphi - 2e_b - \frac{a}{2} = 3\text{m} \quad (\varphi \text{ en radians}).$$

Et le nombre de barres de principe sur la coupole est : $n = \frac{L_t}{L_m} = 148 \text{ barres}$ pour un espacement

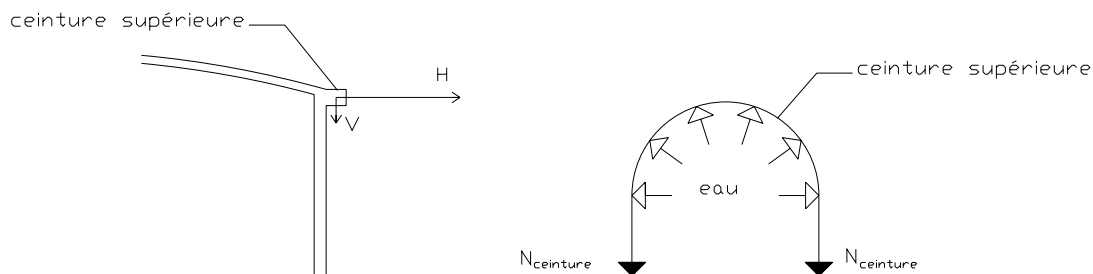
de $s = \frac{\pi D}{n} = 15 \text{ cm}$.

Donc, nous aurons des barres $\phi 12$ réparties par longueur de 3 m sur les méridiens de la coupole avec un espacement de 15 cm. Nous mettrons aussi sur la coupole 4 cerces $\phi 6$ qui seront des cerces de montage.

Ceinture supérieure :

La ceinture supérieure de la cuve du réservoir est soumise à un effort de traction $N_{\text{ceinture}} = HR$ [M]

où H : charge horizontale répartie le long de la circonférence d'appui $2pR$ tel que $H = N_{\varphi} \cos \varphi$ [M.L⁻¹].



La section de l'acier au niveau de la ceinture est donnée par $A = \frac{N_{\text{ceinture}}}{S_{\text{acier}}}$, où S_{acier} est la contrainte de résistance de l'acier.

Or nous avons la relation $S_{\text{acier}} < S_{\text{adm acier}}$, nous pouvons donc écrire que :

$$A > \frac{N_{\text{ceinture}}}{S_{\text{adm.acier}}} [\text{L}^2]$$

Soient

$$H = 1.53 \text{ t/m,}$$

$$N_{\text{ceinture}} = 5.36 \text{ t,}$$

$$\text{et } A > 1.91 \text{ cm}^2.$$

Nous mettrons au niveau de la ceinture supérieure 4 cerces $\phi 8$ ayant pour section 2.01 cm².

Paroi du cuve :

Le calcul d'armature se fera par mètre de profondeur. Le réservoir est supposé rempli et la pression hydrostatique est donné par $p = G_{\text{eau}} \cdot Z$ [M.L⁻²], Z étant la profondeur.

L'effort normal de compression au niveau du paroi du cuve est donné par $N_{\text{cuve}} = pR$ [M.L⁻¹] et la section d'armature transversale est :

$$A_t > \frac{N_{\text{cuve}}}{S_{\text{acier}}} \text{ [L}^2 \cdot \text{L}^{-1}]$$

pour les armatures longitudinales nous aurons $A_l = \frac{1}{4} A_t$ [L²].

Le tableau suivant montre les armatures à considérer par mètre de profondeur.

Tranches	Profondeur(m)	p (t/m2)	N (t/m)	A _t (cm2)	Cerces	A _l (cm2)	Barres
6 m à 5 m	1	1	3,5	1,25	3 ϕ 8	0,31	2 ϕ 6
5 m à 4 m	2	2	7	2,50	5 ϕ 8	0,63	3 ϕ 6
4 m à 3 m	3	3	10,5	3,75	5 ϕ 10	0,94	2 ϕ 8
3 m à 2 m	4	4	14	5,00	10 ϕ 8	1,25	3 ϕ 8
2 m à 1 m	5	5	17,5	6,25	8 ϕ 10	1,56	2 ϕ 10
1 m à 0 m	6	6	21	7,50	6 ϕ 8 et 6 ϕ 10	1,88	7 ϕ 6

Base :

Le béton de la base du réservoir subit un effort égal à $\frac{P_{\text{eau}}}{\pi R^2} = 6.34 \text{ t/m}^2$ qui est négligeable par rapport à la contrainte admissible du béton $S_{\text{adm b}}$, nous mettrons alors dans la base un quadrillage de ϕ 8 (maille de 30 cm).

ANNEXE 2 : Tables de correspondance et abaque.

Stock en fonction du déficit cumulé PE.

PE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	86	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
360	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
370	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
380	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
390	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
410	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
430	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
440	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table de correspondance des poids, des sections
et des périmètres nominaux des barres d'aciers.

ϕ (mm)	SECTION (cm ²)										Poids (kg/m)	Périmètres nominaux (mm)
	1 barre	2 barres	3 barres	4 barres	5 barres	6 barres	7 barres	8 barres	9 barres	10 barres		
5	0,196	0,392	0,589	0,785	0,981	1,180	1,374	1,570	1,760	1,960	0,154	1,570
6	0,283	0,565	0,848	1,130	1,414	1,690	1,979	2,260	2,540	2,830	0,222	1,800
8	0,503	1,000	1,500	2,010	2,513	3,010	3,518	4,820	4,520	5,030	0,394	2,510
10	0,785	1,570	2,350	3,140	3,925	4,710	5,498	6,280	7,070	7,850	0,616	3,140
12	1,130	2,260	3,390	4,520	5,650	6,780	7,920	9,040	10,180	11,310	0,887	3,770
14	1,540	3,080	4,620	6,160	7,700	9,240	10,780	12,320	13,850	15,390	1,208	4,400
16	2,010	4,020	5,030	8,040	10,050	12,100	14,070	16,130	18,150	20,170	1,578	5,130
20	3,140	5,280	9,420	12,570	15,710	12,850	21,990	25,130	28,150	31,340	2,466	6,280
25	4,010	9,820	14,730	19,630	24,540	29,450	34,360	369,270	44,180	49,090	3,853	7,250
32	8,040	16,080	24,130	32,170	40,210	48,250	56,300	64,340	72,380	80,420	6,313	10,050
40	12,570	25,130	37,700	50,270	52,830	75,400	87,960	100,530	113,100	125,660	9,954	12,570

Masse linéique pour PEHD PN 10 bars (fiche PLASCOM).

PEHD d'adduction en rouleaux de 50 ou 100 m				
Diamètre (mm)		Pression nominale PN (bars)	Epaisseur (mm)	Masse linéique (kg/mL)
Intérieur	Extérieur			
34	40	10	3,0	0,36
42,6	50	10	3,7	0,56
53,6	63	10	4,7	0,88
64	75	10	5,5	1,23
76,8	90	10	6,6	1,76

ANNEXE 3 : Tableaux de dimensionnement des conduites de distribution.

Tableau de calcul des débits de tronçon pour le dimensionnement
des conduites de distribution (réseau gravitaire).

Le débit de tronçon est déterminé à partir de la consommation de pointe. On rappelle que le coefficient de pointe $K = 1.32$ et que la consommation moyenne journalière est $C = 40$ L/j/hab.

Tronçons	n (hab)	Consommation moyenne (L/s)	Débit de pointe (L/s)	Débit de calcul (L/s)		
				En route	Aval	Tronçon
R-P9	0	0	0	0	3,31	3,31
P9-P10	0	0	0	0	3,31	3,31
P10-P11	0	0	0	0	3,31	3,31
P11-P12	0	0	0	0	3,31	3,31
P12-P13	0	0	0	0	3,31	3,31
P13-P14	0	0	0	0	3,31	3,31
P14-ST106	0	0	0	0	3,31	3,31
ST106-ST107	0	0	0	0	3,31	3,31
ST107-ST108	0	0	0	0	3,31	3,31
ST108-P16	0	0	0	0	3,31	3,31
P16-P17	0	0	0	0	3,31	3,31
P17-P18	0	0	0	0	3,31	3,31
P18-P19	0	0	0	0	3,31	3,31
P19-ST109	0	0	0	0	3,31	3,31
ST109-ST110	0	0	0	0	3,31	3,31
ST110-ST111	0	0	0	0	3,31	3,31
ST111-S112	0	0	0	0	3,31	3,31
ST112-ST113	0	0	0	0	3,31	3,31
ST113-P20	0	0	0	0	3,31	3,31
P20-ST114	0	0	0	0	3,31	3,31
ST114-ST115	0	0	0	0	3,31	3,31
ST115-P21	0	0	0	0	3,31	3,31
P21-ST117	0	0	0	0	3,31	3,31
ST117-P22	0	0	0	0	3,31	3,31
P22-ST1118	0	0	0	0	3,31	3,31

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

ST118-P25	0	0	0	0	3,31	3,31
P25-ST119	0	0	0	0	3,31	3,31
ST119-BF1	200	0,093	0,122	0,122	0	0,122
ST119-ST120	0	0	0	0	3,19	3,188
ST120-BF2	200	0,093	0,122	0,122	0	0,122
ST120-ST121	0	0	0	0	3,07	3,066
ST121-ST122	0	0	0	0	3,07	3,066
ST122-BFS3	200	0,093	0,122	0,122	0	0,122
ST122-ST123	0	0	0	0	2,94	2,944
ST123-BF4	300	0,139	0,183	0,183	0	0,183
ST123-ST124	0	0	0	0	0,18	0,183
ST124-C1	0	0	0	0	0,18	0,183
C1-BF5	300	0,139	0,183	0,183	0	0,183
ST123-P29	0	0	0	0	0,17	0,167
P29-BFS6	274	0,127	0,167	0,167	0	0,167
ST123-P31	0	0	0	0	2,41	2,411
P31-ST127	0	0	0	0	2,41	2,411
ST127-P32	0	0	0	0	2,41	2,411
P32-BF7	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
P32-ST129	0	0	0	0	2,09	2,093
ST129-BF8	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
ST129-C2	0	0	0	0	1,78	1,775
C2-ST131	0	0	0	0	0,5	0,501
ST131-BFS9	300	0,139	0,183	0,183	0	0,183
ST131-BF10	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
C2-ST132	0	0	0	0	1,27	1,274
ST132-C3	0	0	0	0	1,27	1,274
C3-BF11	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
C3-C4	0	0	0	0	0,96	0,956
C4-BF12	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
C4-C5	0	0	0	0	0,64	0,638
C5-BF13	520	0,241	0,318	0,318	0	0,318
C5-ST134	0	0	0	0,32	0	0,32
ST134-BF14	523	0,242	0,32	0,32	0	0,32

R : réservoir, STi : station de référence de l'appareil topographique au point i, Pj et Ck : points visés à partir des points de référence, BF: borne fontaine, BFS : borne fontaine scolaire.

Tableau de dimensionnement des conduites de distribution (réseau gravitaire).

Tronçons	Q (L/s)	Tuyau PEHD, PN 10 bars	D (m)	j _t (m/mL)	V (m/s)	L (m)	J (m/m)	HP amont (m)	HP aval (m)	CS amont (m)	CS aval (m)	P au sol amont (m)	P au sol aval (m)
R-P9	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	93,5	1,386	1361,360	1359,974	1358,360	1352,360	3,00	7,61
P9-P10	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	21,5	0,319	1359,974	1359,655	1352,360	1349,080	7,61	10,58
P10-P11	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	46,0	0,682	1359,655	1358,974	1349,080	1360,050	10,58	-1,08
P11-P12	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	109,0	1,616	1358,974	1357,358	1360,050	1331,720	-1,08	25,64
P12-P13	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	98,2	1,456	1357,358	1355,902	1331,720	1331,720	25,64	24,18
P13-P14	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	85,8	1,272	1355,902	1354,631	1331,720	1320,870	24,18	33,76
P14-ST106	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	71,7	1,063	1354,631	1353,568	1320,870	1315,470	33,76	38,10
ST106-ST107	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	44,0	0,652	1353,568	1352,916	1315,470	1316,460	38,10	36,46
ST107-ST108	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	96,6	1,432	1352,916	1351,484	1316,460	1315,760	36,46	35,72
ST108-P16	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	125,6	1,862	1351,484	1349,622	1315,760	1312,170	35,72	37,45
P16-P17	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	233,0	3,454	1349,622	1346,169	1312,170	1305,770	37,45	40,40
P17-P18	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	141,0	2,090	1346,169	1344,079	1305,770	1302,050	40,40	42,03
P18-P19	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	162,0	2,401	1344,079	1341,677	1302,050	1287,770	42,03	53,91
P19-ST109	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	141,0	2,090	1341,677	1339,588	1287,770	1282,830	53,91	56,76
ST109-ST110	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	328,0	4,862	1339,588	1334,726	1282,830	1279,180	56,76	55,55
ST110-ST111	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	216,0	3,202	1334,726	1331,524	1279,180	1277,740	55,55	53,78
ST111-S112	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	187,0	2,772	1331,524	1328,752	1277,740	1274,230	53,78	54,52
ST112-ST113	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	137,0	2,031	1328,752	1326,722	1274,230	1271,550	54,52	55,17
ST113-P20	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	112,0	1,660	1326,722	1325,062	1271,550	1268,900	55,17	56,16

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

P20-ST114	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	158,0	2,342	1325,062	1322,720	1268,900	1270,210	56,16	52,51
ST114-ST115	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	260,0	3,854	1322,720	1318,866	1270,210	1276,670	52,51	42,20
ST115-P21	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	270,0	4,002	1318,866	1314,864	1276,670	1273,460	42,20	41,40
P21-ST117	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	50,0	0,741	1314,864	1314,123	1273,460	1272,340	41,40	41,78
ST117-P22	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	208,0	3,083	1314,123	1311,040	1272,340	1266,290	41,78	44,75
P22-ST1118	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	370,0	5,484	1311,040	1305,556	1266,290	1263,530	44,75	42,03
ST118-P25	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	310,0	4,595	1305,556	1300,961	1263,530	1260,150	42,03	40,81
P25-ST119	3,587	76,8 / 90	0,0768	0,0148	0,77	138,0	2,045	1300,961	1298,915	1260,150	1258,990	40,81	39,93
ST119-BF1	0,153	28 / 32	0,0280	0,0059	0,25	93,0	0,545	1298,915	1298,370	1258,990	1259,549	39,93	38,82
ST119-ST120	3,434	76,8 / 90	0,0768	0,0137	0,74	161,0	2,201	1298,915	1296,714	1258,990	1259,190	39,93	37,52
ST120-BF2	0,153	28 / 32	0,0280	0,0059	0,25	16,0	0,094	1296,714	1296,620	1259,190	1259,341	37,52	37,28
ST120-ST121	3,281	76,8 / 90	0,0768	0,0126	0,71	158,0	1,985	1296,714	1294,728	1259,190	1258,480	37,52	36,25
ST121-ST122	3,281	76,8 / 90	0,0768	0,0126	0,71	190,0	2,388	1294,728	1292,341	1258,480	1258,490	36,25	33,85
ST122-BF3	0,153	28 / 32	0,0280	0,0059	0,25	45,0	0,264	1292,341	1292,077	1258,490	1258,620	33,85	33,46
ST122-ST123	3,128	76,8 / 90	0,0768	0,0115	0,68	50,0	0,575	1292,077	1291,502	1258,490	1256,730	33,59	34,77
ST123-BF4	0,214	34 / 40	0,0340	0,0042	0,24	50,0	0,212	1291,502	1291,290	1256,730	1256,903	34,77	34,39
ST123-ST124	0,214	34 / 40	0,0340	0,0042	0,24	113,0	0,479	1291,502	1291,023	1256,730	1256,222	34,77	34,80
ST124-C1	0,214	34 / 40	0,0340	0,0042	0,24	40,0	0,170	1291,023	1290,853	1256,222	1255,880	34,80	34,97
C1-BF5	0,214	34 / 40	0,0340	0,0042	0,24	97,5	0,413	1290,853	1290,440	1255,880	1253,474	34,97	36,97
ST123-P29	0,158	28 / 32	0,0280	0,0062	0,26	47,0	0,292	1291,502	1291,209	1256,730	1256,903	34,77	34,31
P29-BF6	0,158	28 / 32	0,0280	0,0062	0,26	145,0	0,902	1291,209	1290,307	1256,903	1255,578	34,31	34,73
ST123-P31	2,542	76,8 / 90	0,0768	0,0078	0,55	192,0	1,504	1291,502	1289,998	1256,730	1255,570	34,77	34,43
P31-ST127	2,542	76,8 / 90	0,0768	0,0078	0,55	90,0	0,705	1289,998	1289,293	1255,570	1254,320	34,43	34,97
ST127-P32	2,542	76,8 / 90	0,0768	0,0078	0,55	302,0	2,366	1289,293	1286,927	1254,320	1250,670	34,97	36,26

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

P32-BF7	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	2,0	0,007	1286,927	1286,921	1250,670	1250,670	36,26	36,25
P32-ST129	2,206	76,8 / 90	0,0768	0,0060	0,48	112,0	0,675	1286,927	1286,253	1250,670	1249,920	36,26	36,33
ST129-BF8	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	3,0	0,010	1286,253	1286,243	1249,920	1249,920	36,33	36,32
ST129-C2	1,870	76,8 / 90	0,0768	0,0044	0,40	151,0	0,670	1286,243	1285,573	1249,920	1247,790	36,32	37,78
C2-ST131	0,550	53,6 / 63	0,0536	0,0027	0,24	156,0	0,414	1285,573	1285,159	1247,790	1250,312	37,78	34,85
ST131-BF9	0,214	34 / 40	0,0340	0,0042	0,24	40,0	0,170	1285,159	1284,990	1250,312	1250,050	34,85	34,94
ST131-BF10	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	50,0	0,163	1285,159	1284,996	1250,312	1248,402	34,85	36,59
C2-ST132	1,320	64 / 75	0,0640	0,0057	0,41	80,0	0,453	1285,573	1285,120	1247,790	1246,461	37,78	38,66
ST132-C3	1,320	64 / 75	0,0640	0,0057	0,41	211,0	1,194	1285,120	1283,927	1246,461	1243,110	38,66	40,82
C3-BF11	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	3,0	0,010	1283,927	1283,917	1243,110	1243,110	40,82	40,81
C3-C4	0,984	64 / 75	0,0640	0,0033	0,31	56,0	0,184	1283,927	1283,743	1243,110	1242,290	40,82	41,45
C4-BF12	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	7,0	0,023	1283,743	1283,720	1242,290	1242,770	41,45	40,95
C4-C5	0,648	64 / 75	0,0640	0,0015	0,20	100,0	0,151	1283,743	1283,592	1242,290	1240,710	41,45	42,88
C5-BF13	0,336	42,6 / 50	0,0426	0,0033	0,24	7,0	0,023	1283,592	1283,569	1240,710	1240,890	42,88	42,68
C5-ST134	0,312	42,6 / 50	0,0426	0,0028	0,22	100,0	0,284	1283,592	1283,308	1240,710	1240,165	42,88	43,14
ST134-BF14	0,312	42,6 / 50	0,0426	0,0028	0,22	8,0	0,023	1283,308	1283,285	1240,165	1240,042	43,14	43,24

PN : pression nominale, HP : hauteur piézométrique, CS : côte au sol, P : pression.

Tableau de calcul des débits de tronçon pour le dimensionnement
des conduites de distribution (exploitation nappe d'arène).

- Réseau : Anosiarivo

Tronçons	n (hab)	Consommation moyenne (L/s)	Débit de pointe (L/s)	Débit de calcul (L/s)		
				En route	Aval	Tronçon
R-ST121	0	0,000	0,000	0	1,024	1,024
ST121-ST120	0	0,000	0,000	0	0,327	0,327
ST120-BF2	215	0,100	0,131	0,131	0	0,131
ST120-ST119	0	0,000	0,000	0	0,196	0,196
ST119-BF1	320	0,148	0,196	0,196	0	0,196
ST121-ST122	0	0,000	0,000	0	0,697	0,697
ST122-BF3	215	0,100	0,131	0,131	0	0,131
ST122-ST123	0	0,000	0,000	0	0,566	0,566
ST123-ST124	0	0,000	0,000	0	0,196	0,196
ST124-C1	0	0,000	0,000	0	0,196	0,196
C1-BF5	320	0,148	0,196	0,196	0	0,196
ST123-P29	0	0,000	0,000	0	0,37	0,37
P29-BF4	320	0,148	0,196	0,196	0	0,196
P29-BF6	284	0,131	0,174	0,174	0	0,174

- Réseau : Antsahakely-Ambodisiarivo

Tronçons	n (hab)	Consommation moyenne (L/s)	Débit de pointe (L/s)	Débit de calcul (L/s)		
				En route	Aval	Tronçon
R-C6	0	0,000	0,000	0	2,564	2,564
C6-ST128	0	0,000	0,000	0	2,564	2,564
ST128-BF7	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
ST128-ST129	0	0,000	0,000	0	2,228	2,228
ST129-BF8	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
ST129-C2	0	0,000	0,000	0	1,892	1,892
C2-ST131	0	0,000	0,000	0	0,544	0,544
ST131-BF9	340	0,157	0,208	0,208	0	0,208
ST131-BF10	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
C2-C3	0	0,000	0,000	0	1,348	1,348

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

C3-BF11	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
C3-C4	0	0,000	0,000	0	1,012	1,012
C4-BF12	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
C4-C5	0	0,000	0,000	0	0,676	0,676
C5-BF13	550	0,255	0,336	0,336	0	0,336
C5-ST134	0	0,000	0,000	0	0,34	0,34
ST134-BF14	556	0,257	0,340	0,34	0	0,34

Tableau de dimensionnement des conduites de distribution (exploitation nappe d'arène).

- Réseau : Anosiarivo

Tronçons	Q (L/s)	Tuyaux PEHD	D (m)	j_t (m/mL)	L (m)	V (m/s)	J (m/m)	HP amont (m)	HP aval (m)	CS amont (m)	CS aval (m)	P au sol amont (m)	P au sol aval (m)
R1-ST121	1,024	42,6/50	0,0426	0,0262	20,00	0,75	0,524	1263,189	1262,665	1259,189	1258,480	4,00	4,19
ST121-ST120	0,327	42,6/50	0,0426	0,0032	158,00	0,24	0,506	1262,665	1262,159	1258,480	1259,190	4,19	2,97
ST120-BF2	0,131	28/32	0,028	0,0065	16,00	0,26	0,104	1262,159	1262,055	1259,190	1259,341	2,97	2,71
ST120-ST119	0,196	34/40	0,034	0,0037	161,00	0,23	0,596	1262,159	1261,564	1259,190	1258,990	2,97	2,57
ST119-BF1	0,196	34/40	0,034	0,0037	93,00	0,23	0,344	1261,564	1261,220	1258,990	1259,549	2,57	1,67
ST121-ST122	0,697	42,6/50	0,0426	0,0128	190,00	0,51	2,432	1262,665	1260,233	1258,480	1258,490	4,19	1,74
ST122-BF3	0,131	28/32	0,028	0,0065	45,00	0,26	0,293	1260,233	1259,941	1258,490	1258,620	1,74	1,32
ST122-ST123	0,566	42,6/50	0,0426	0,0087	50,00	0,41	0,435	1260,233	1259,798	1258,490	1256,730	1,74	3,07
ST123-ST124	0,196	34/40	0,034	0,0037	113,00	0,23	0,418	1259,798	1259,380	1256,730	1256,222	3,07	3,16
ST124-C1	0,196	34/40	0,034	0,0037	40,00	0,23	0,148	1259,380	1259,232	1256,222	1255,880	3,16	3,35
C1-BF5	0,196	21/25	0,021	0,0385	97,50	0,59	3,754	1259,232	1255,478	1255,880	1253,474	3,35	2,00
ST123-P29	0,37	34/40	0,034	0,0119	47,00	0,42	0,559	1259,798	1259,239	1256,730	1256,903	3,07	2,34
P29-BF4	0,196	21/25	0,021	0,0385	3,00	0,59	0,116	1259,239	1259,123	1256,903	1256,903	2,34	2,22
P29-BF6	0,174	34/40	0,034	0,0030	145,00	0,20	0,435	1259,239	1258,804	1256,903	1255,578	2,34	3,23

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

- Réseau : Antsahakely-Ambodisiarivo

Tronçons	Q (L/s)	Tuyaux PEHD	D (m)	j_t (m/mL)	L (m)	V (m/s)	J (m/m)	HP amont (m)	HP aval (m)	CS amont (m)	CS aval (m)	P au sol amont (m)	P au sol aval (m)
R2-C6	2,564	76,8/90	0,0768	0,0086	38,00	0,59	0,3268	1254,517	1254,190	1249,517	1250,583	5,00	3,61
C6-ST128	2,564	76,8/90	0,0768	0,0082	39,00	0,58	0,3198	1254,190	1253,870	1250,583	1250,679	3,61	3,19
ST128-BF7	0,336	42,6/50	0,0426	0,0033	2,00	0,24	0,0066	1253,870	1253,864	1250,679	1250,670	3,19	3,19
ST128-ST129	2,228	76,8/90	0,0768	0,0063	112,00	0,50	0,7056	1253,870	1253,165	1250,679	1249,920	3,19	3,24
ST129-BF8	0,336	42,6/50	0,0426	0,0033	3,00	0,24	0,0099	1253,165	1253,155	1249,920	1249,920	3,24	3,23
ST129-C2	1,892	76,8/90	0,0768	0,0047	151,00	0,43	0,7097	1253,165	1252,455	1249,920	1247,790	3,24	4,67
C2-ST131	0,544	42,6/50	0,0426	0,0081	156,00	0,40	1,2636	1252,455	1251,192	1247,790	1250,310	4,67	0,88
ST131-BF9	0,208	34/40	0,034	0,0085	40,00	0,35	0,3400	1251,192	1250,852	1250,310	1250,030	0,88	0,82
ST131-BF10	0,336	42,6/50	0,0426	0,0033	50,00	0,24	0,1650	1251,192	1251,027	1250,310	1248,400	0,88	2,63
C2-C3	1,348	64/75	0,064	0,0060	291,00	0,44	1,7460	1252,455	1250,709	1247,790	1243,110	4,67	7,60
C3-BF11	0,336	34/40	0,034	0,0100	3,00	0,39	0,0300	1250,709	1250,679	1243,110	1243,110	7,60	7,57
C3-C4	1,012	42,6/50	0,0426	0,0256	56,00	0,74	1,4336	1250,709	1249,276	1243,110	1242,290	7,60	6,99
C4-BF12	0,336	34/40	0,034	0,0100	7,00	0,39	0,0700	1249,276	1249,206	1242,290	1242,290	6,99	6,92
C4-C5	0,676	42,6/50	0,0426	0,0121	100,00	0,49	1,2100	1249,276	1248,066	1242,290	1240,710	6,99	7,36
C5-BF13	0,336	34/40	0,034	0,0100	7,00	0,39	0,0700	1248,066	1247,996	1240,710	1240,160	7,36	7,84
C5-ST134	0,34	42,6/50	0,0426	0,0034	100,00	0,25	0,3400	1248,066	1247,726	1240,710	1240,160	7,36	7,57
ST134-BF14	0,34	34/40	0,034	0,0102	8,00	0,39	0,0816	1247,726	1247,644	1240,160	1240,020	7,57	7,62

ANNEXE 4 : Plans.

Plan 00 : Plans de masse.

Schémas synoptiques des réseaux.

Plan 01 : Boîte de captage, vue en plan.

Plan 02 : Boîte de captage, coupe A-A.

Plan 03 : Chambre collecteur, vue en plan.

Plan 04 : Chambre collecteur, coupe B-B.

Plan 05 : Bassin de filtration, coupe longitudinale.

Plan 06 : Bassin de filtration, coupe C-C.

Plan 07 : Bassin de filtration, coupe D-D.

Plan 08 : Réservoir R de 244 m³, vue en plan et ferrailage.

Plan 09 : Réservoir R de 244 m³, coupe E-E.

Plan 10 : Réservoir R de 244 m³, plan de ferrailage.

Plan 11 : Puits avec pompe électrique immergée, vue en plan.

Plan 12 : Puits avec pompe électrique immergée, coupe F-F.

Plan 13 : Station de pompage et réservoir R1 de 14 m³.

Plan 14 : Borne fontaine, vue en plan.

Plan 15 : Borne fontaine, coupe G-G et coupe H-H.

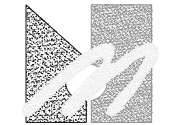
Plan 16 : Borne fontaine scolaire, vue en plan.

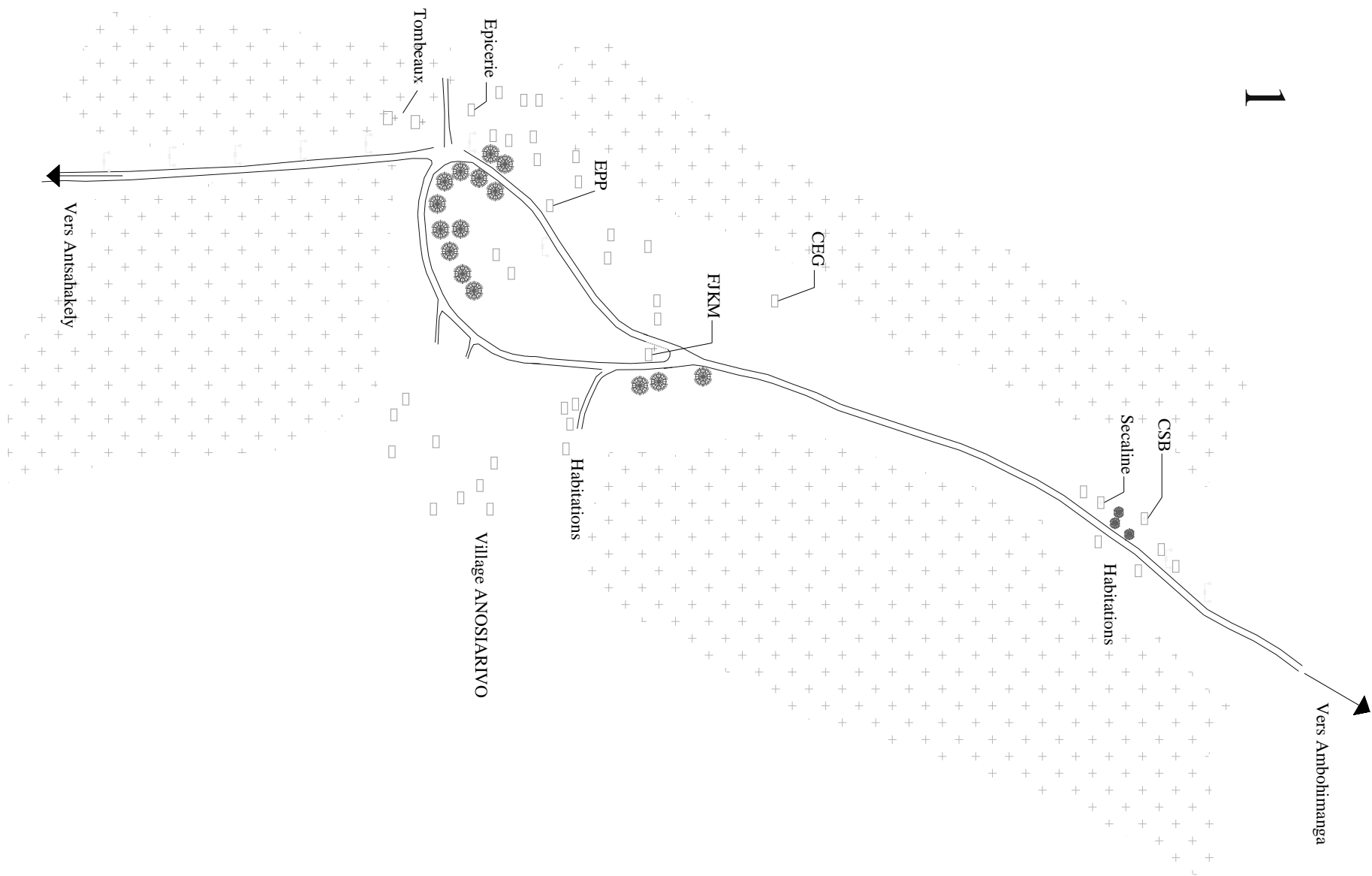
Plan 17 : Borne fontaine scolaire, coupe I-I et coupe J-J.



1- ANOSIARIVO

2- ANTSAHAKELY, AMBODISIARIVO

 Cabinet d'études MIARY	ALIMENTATION EN EAU POTABLE ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA <u>PLANS DE MASSE</u>	ECHELLE 1/4000		LEGENDE Poteau JIRAMA Habitat Arbre Terrain labouré Voie de circulation
		NUMERO	00	







1- ANOSIARIVO

2- ANTSAHAKELY, AMBODISIARIVO



Cabinet d'études MIARY









ALIMENTATION EN EAU POTABLE
ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA

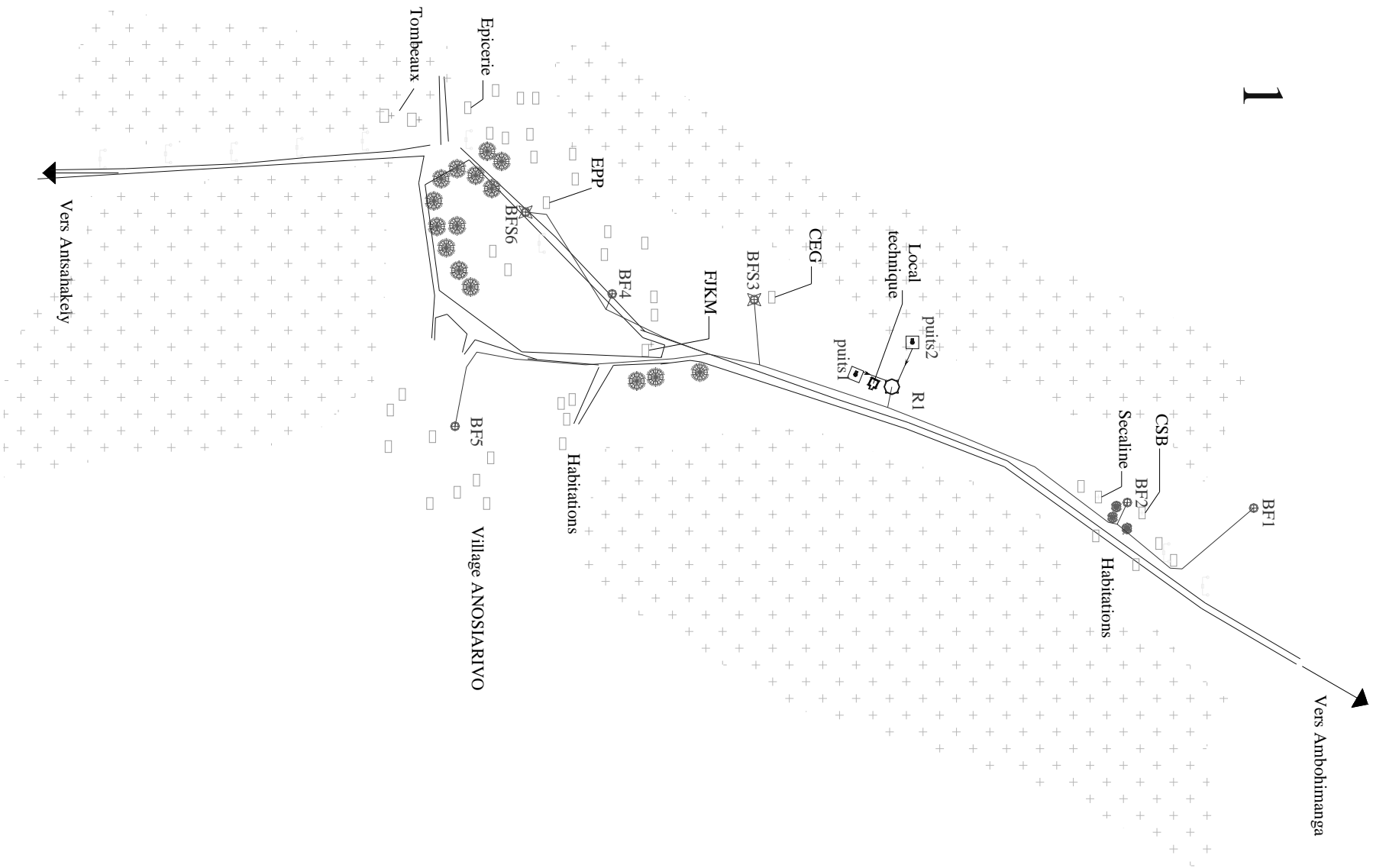
SCHEMAS SYNOPTIQUES
DES RESEAUX

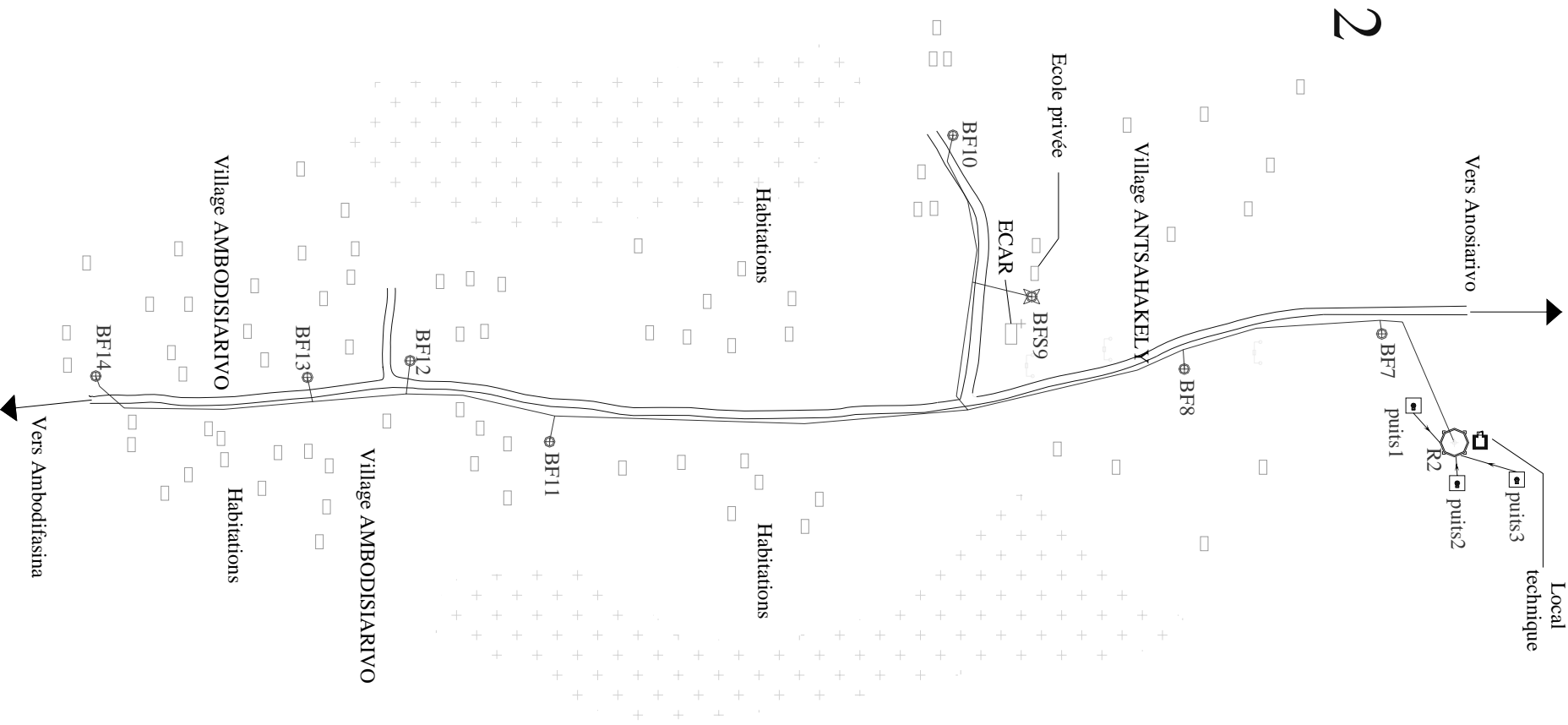
ECHELLE
1/4000

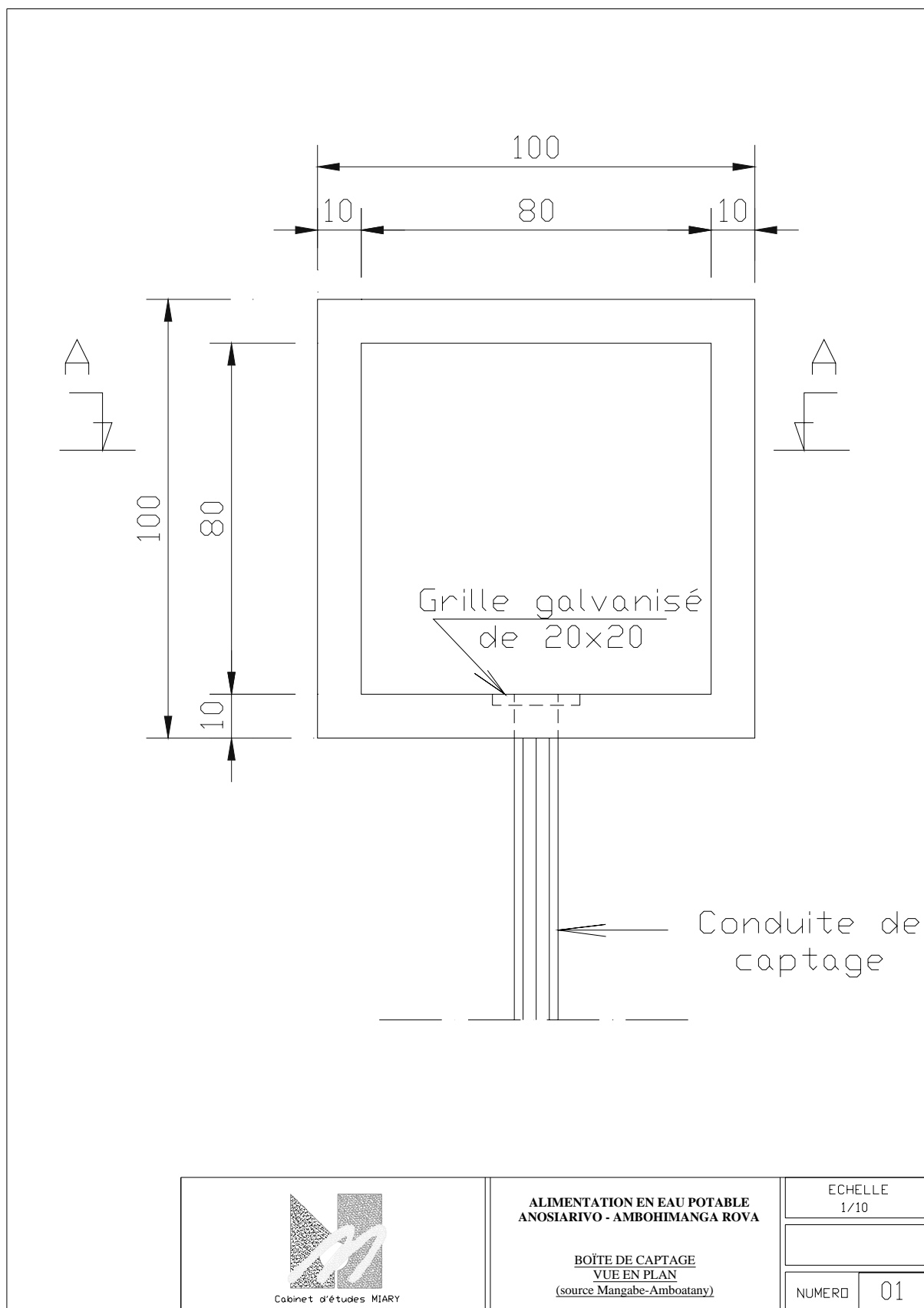
NUMERO 00

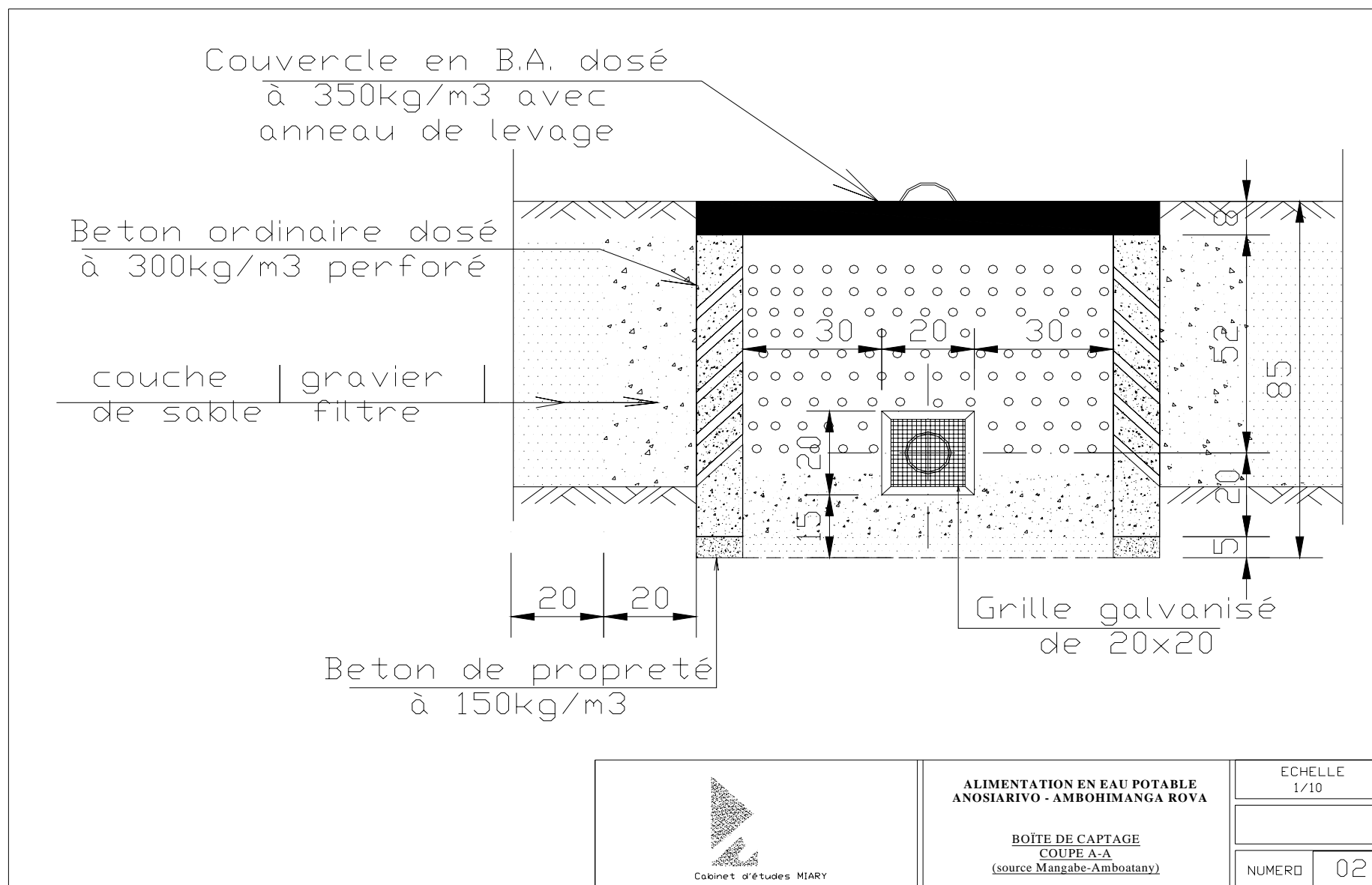
LEGENDE

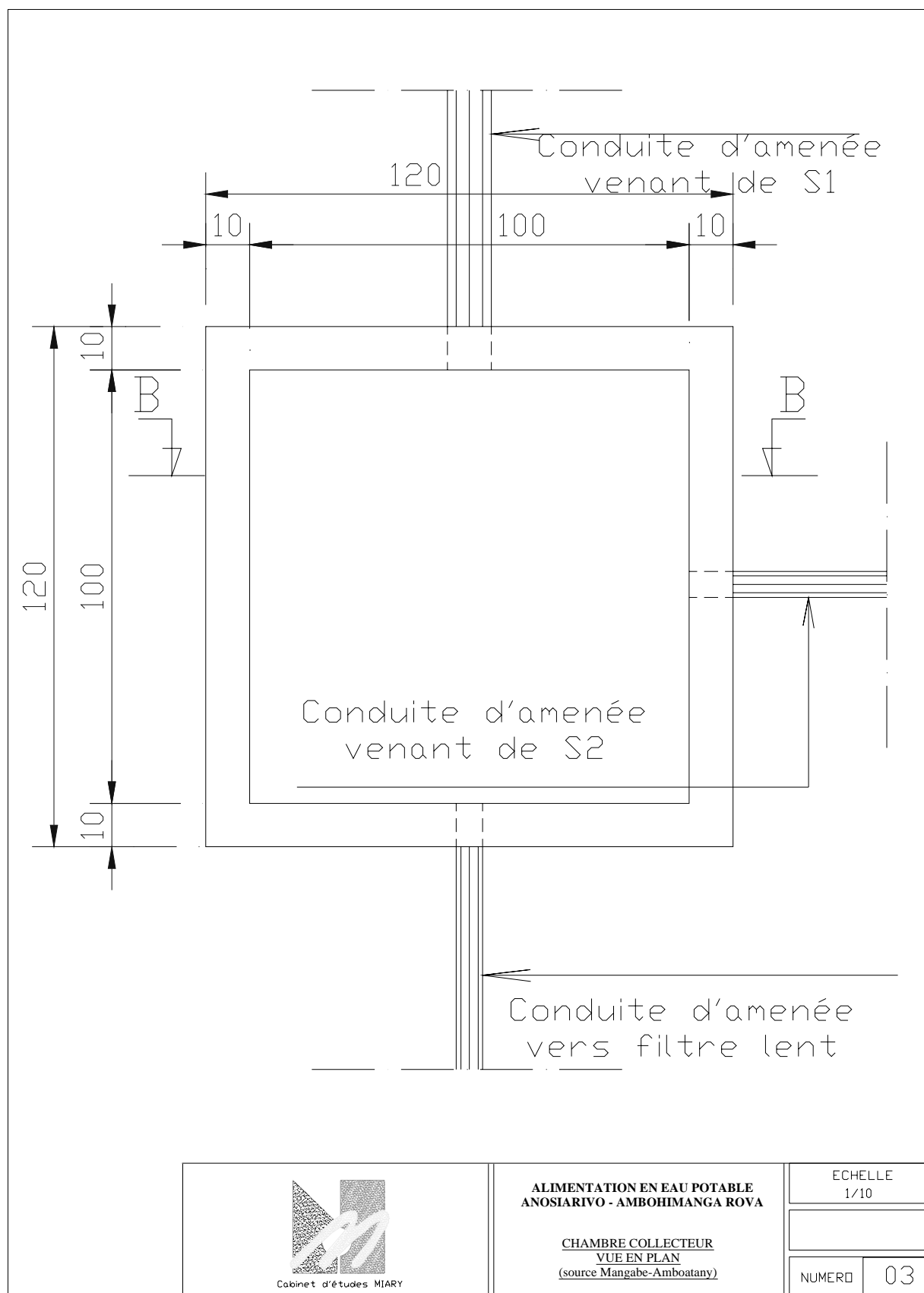
-  Poteau JIRAMA
-  Habitation
-  Arbre
-  Terrain labouré
-  Borne fontaine BF
-  Borne fontaine scolaire BFS
-  Voie de circulation
-  Réseau d'adduction

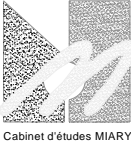
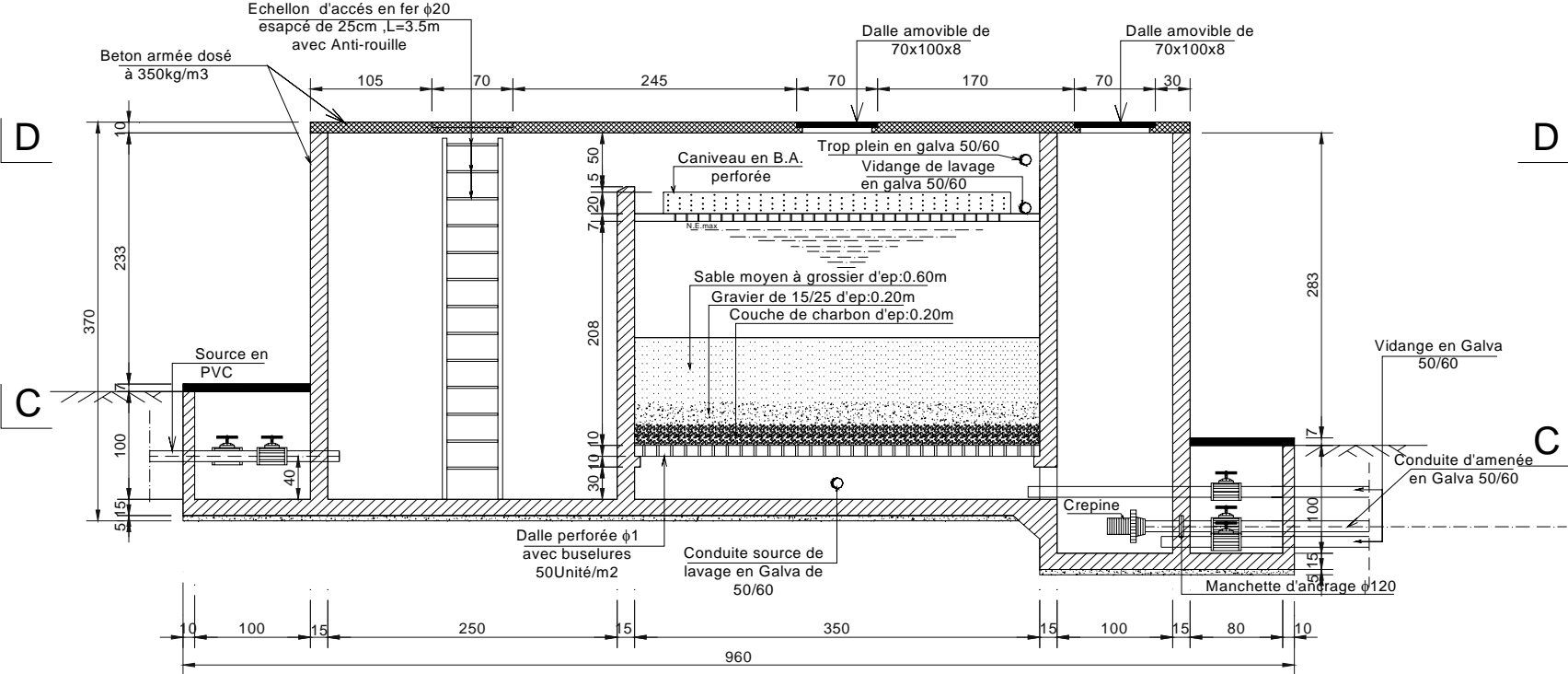










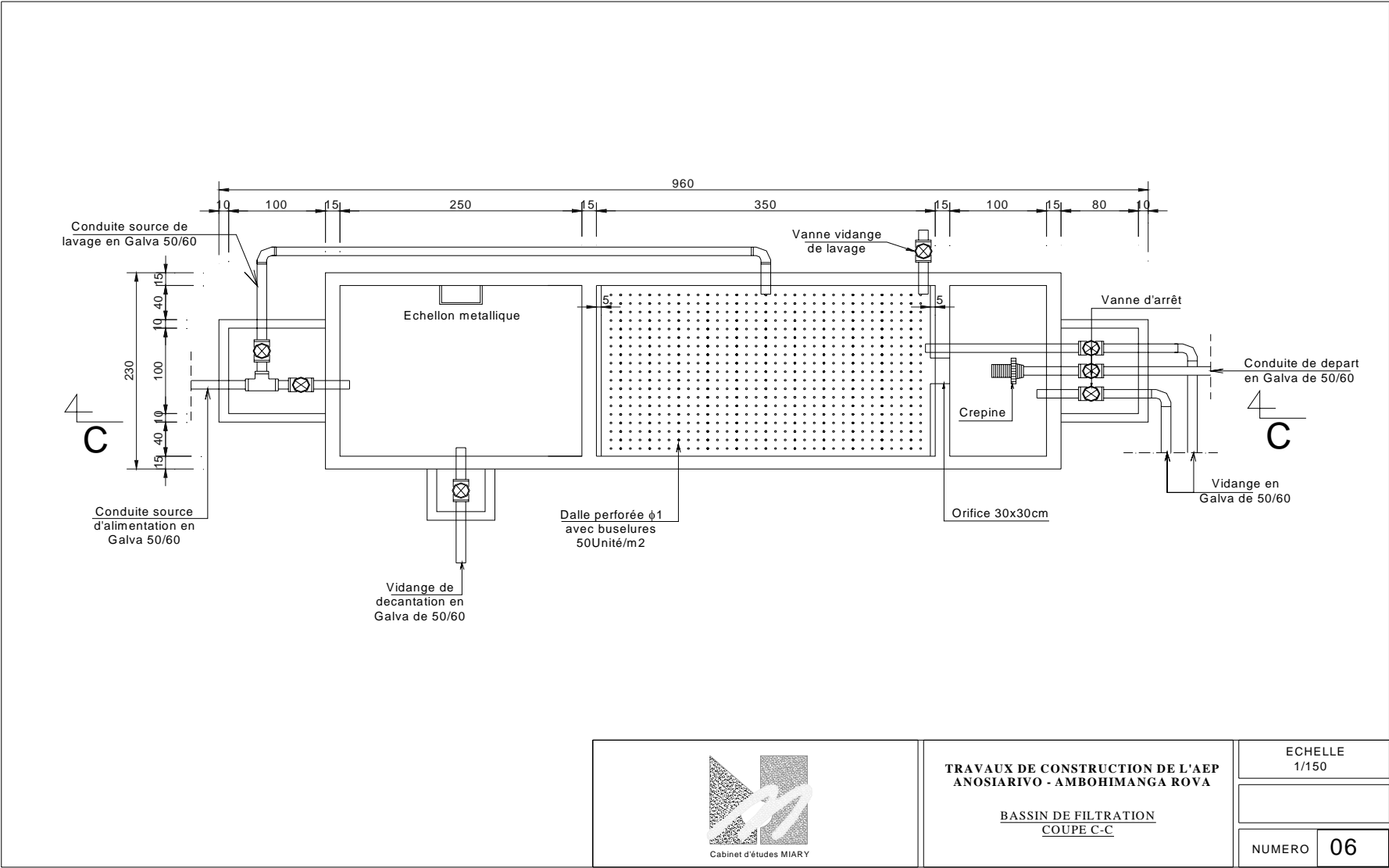


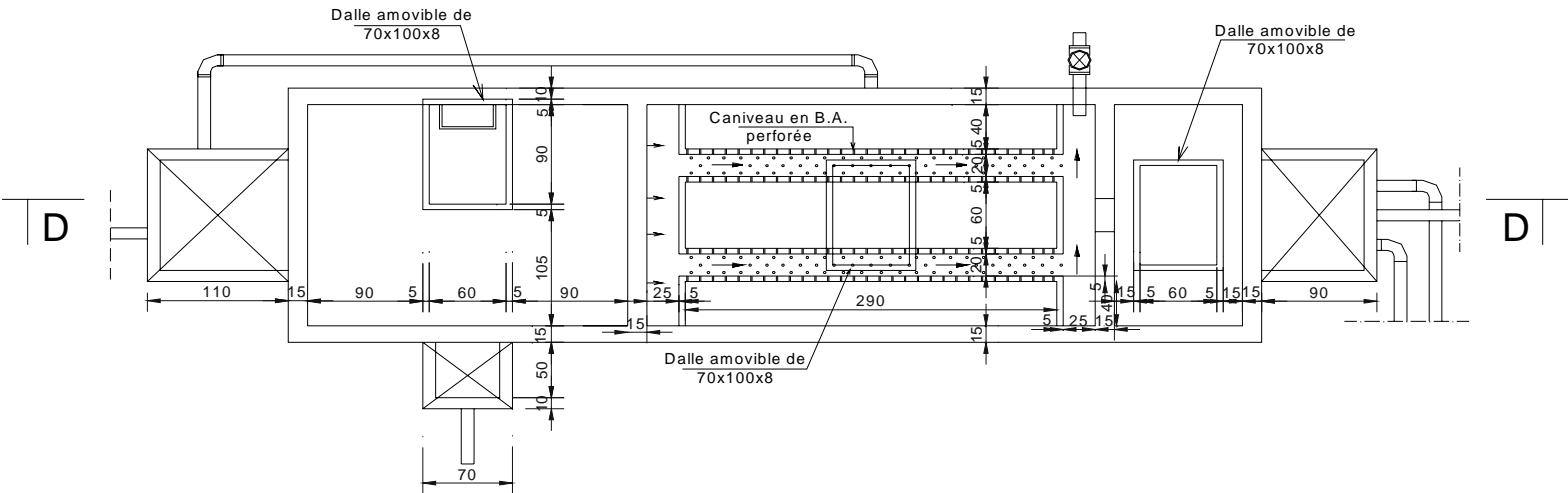
ALIMENTATION EN EAU POTABLE
ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA

BASSIN DE FILTRATION
COUPE LONGITUDINALE

ECHELLE
1/150

NUMERO 05



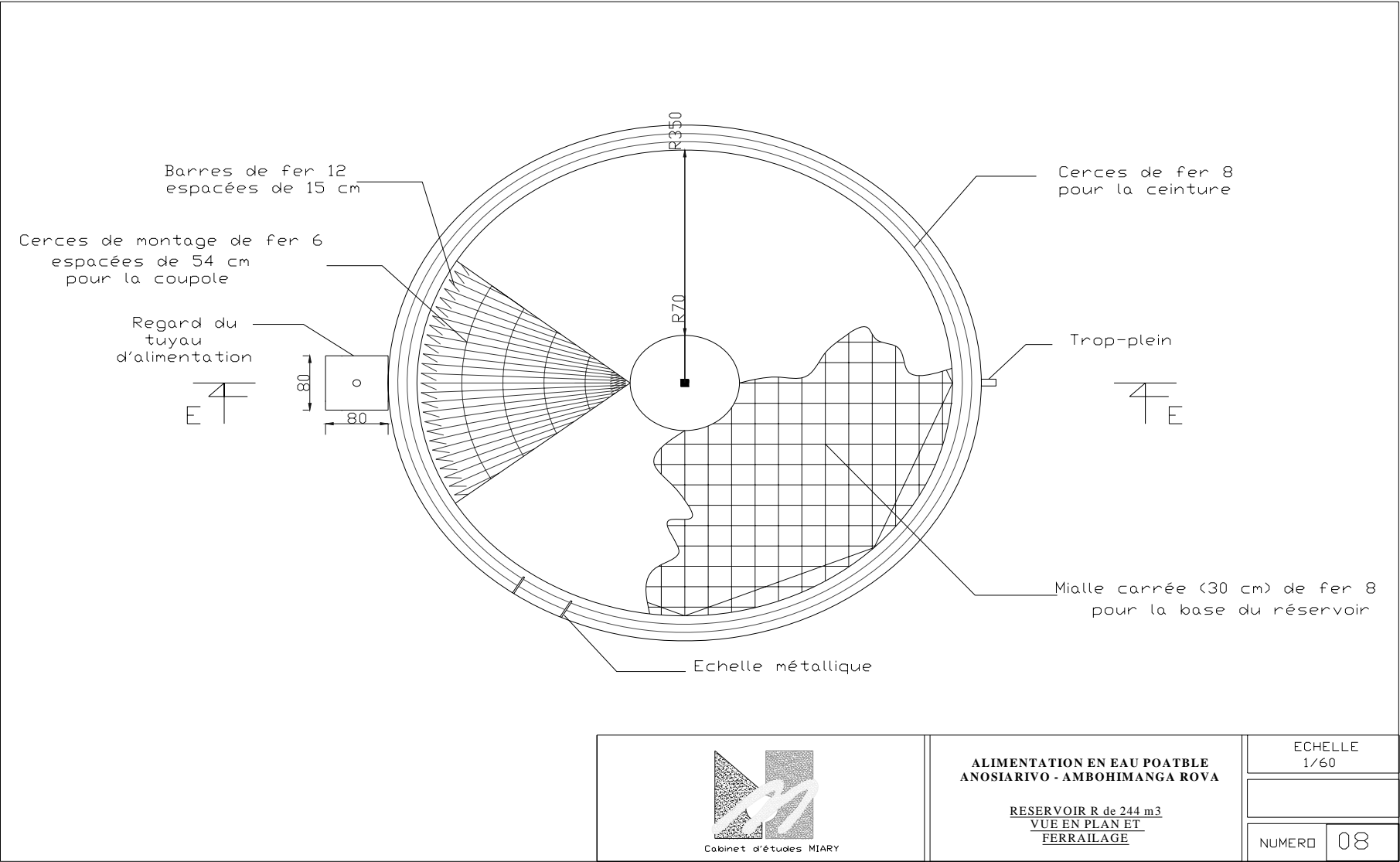


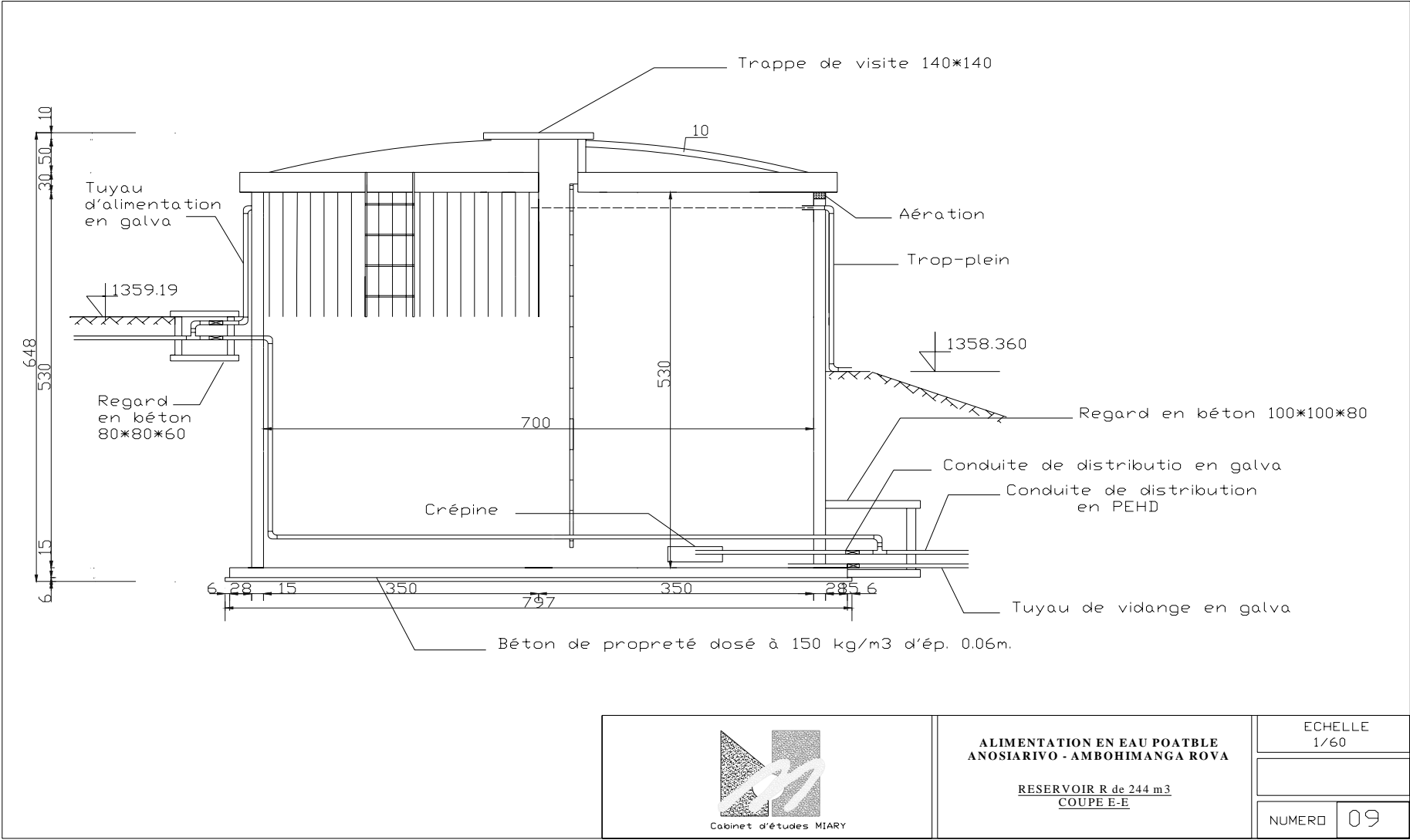
ALIMENTATION EN EAU POTABLE
ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA

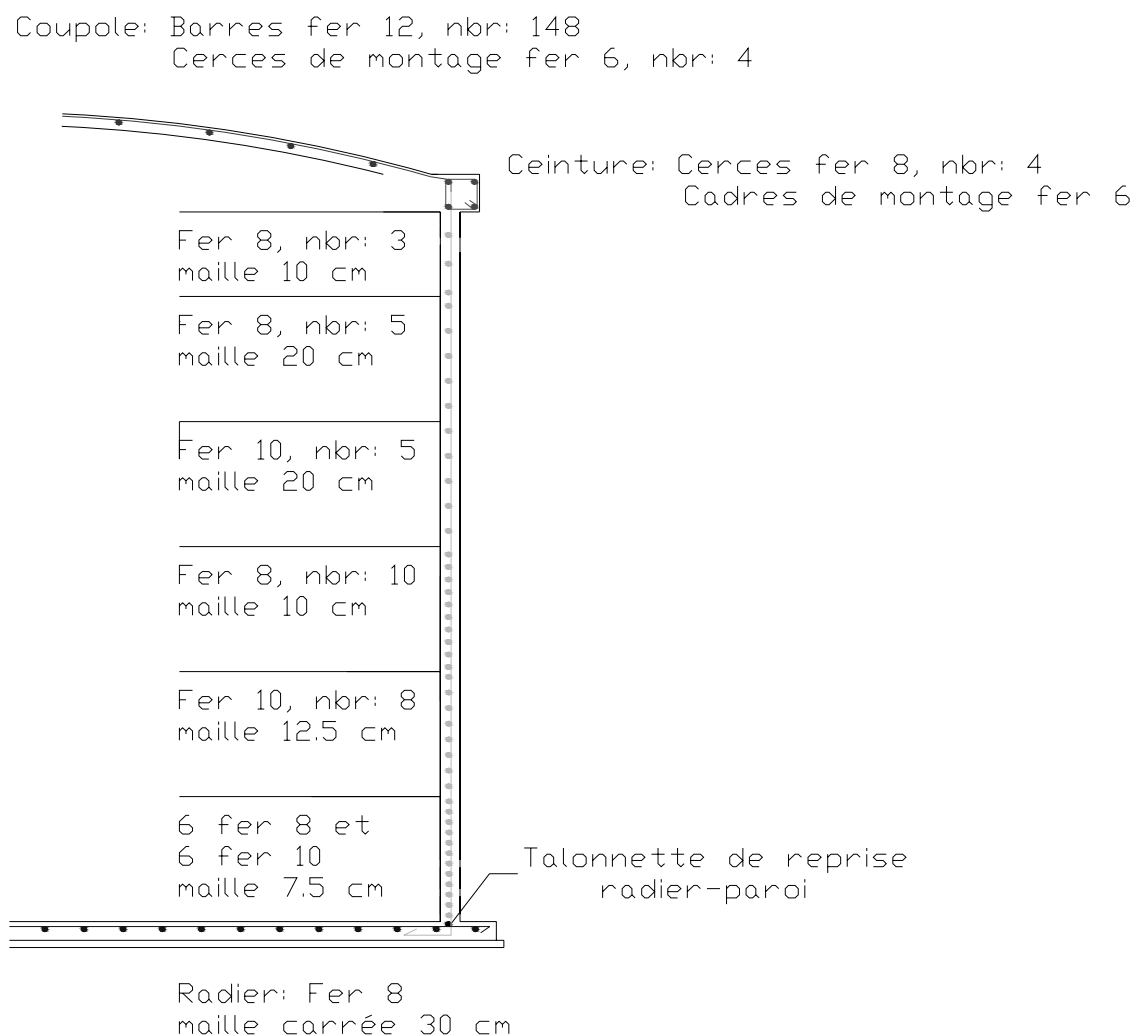
BASSIN DE FILTRATION
COUPE D-D

ECHELLE
1/150

NUMERO 07







Cabinet d'études MIARY

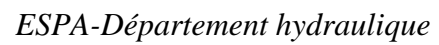
ALIMENTATION EN EAU POTABLE
ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA

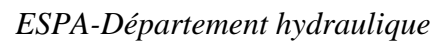
RESERVOIR R de 244 m³
PLAN DE FERRAILLAGE

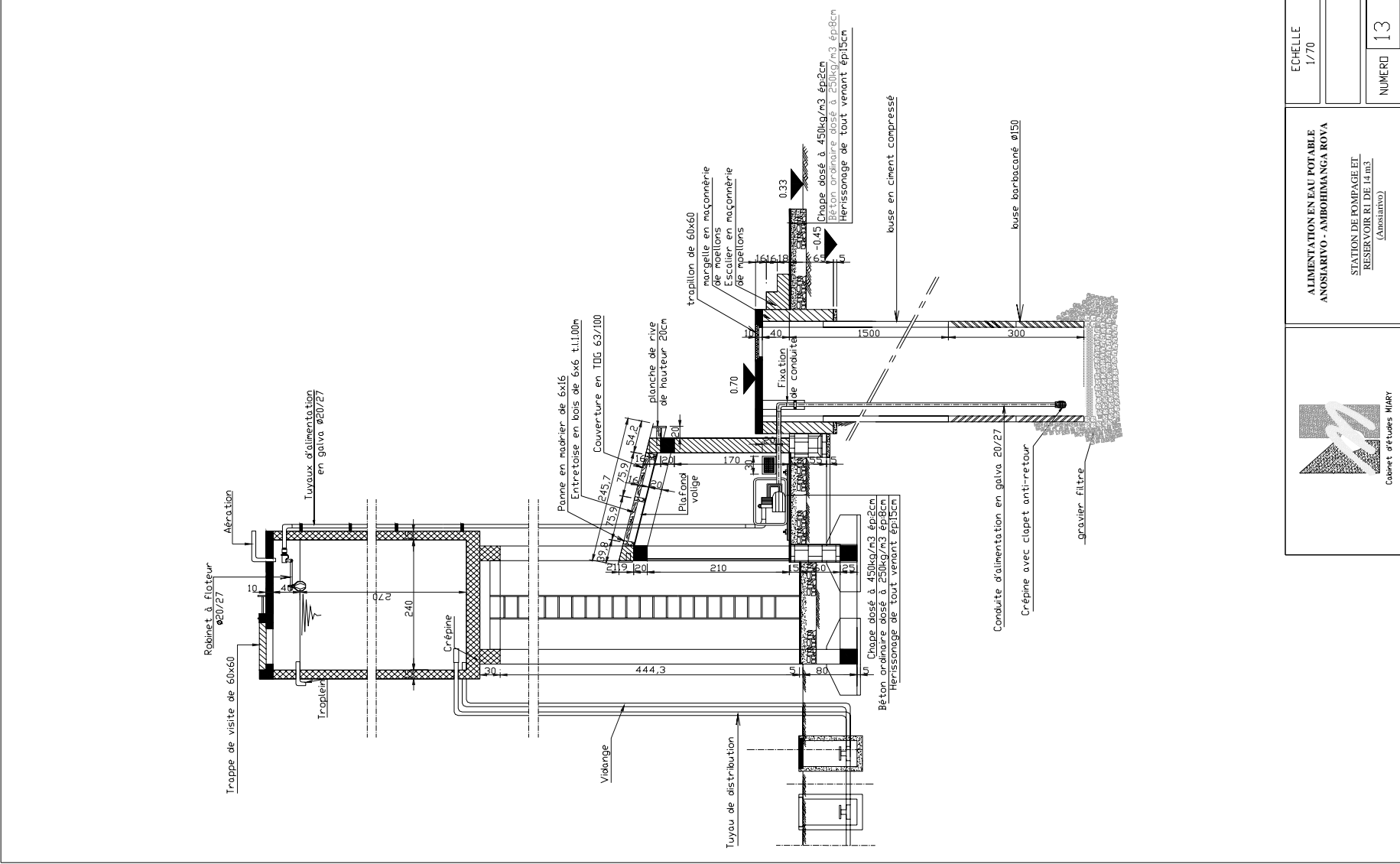
ECHELLE
1/40

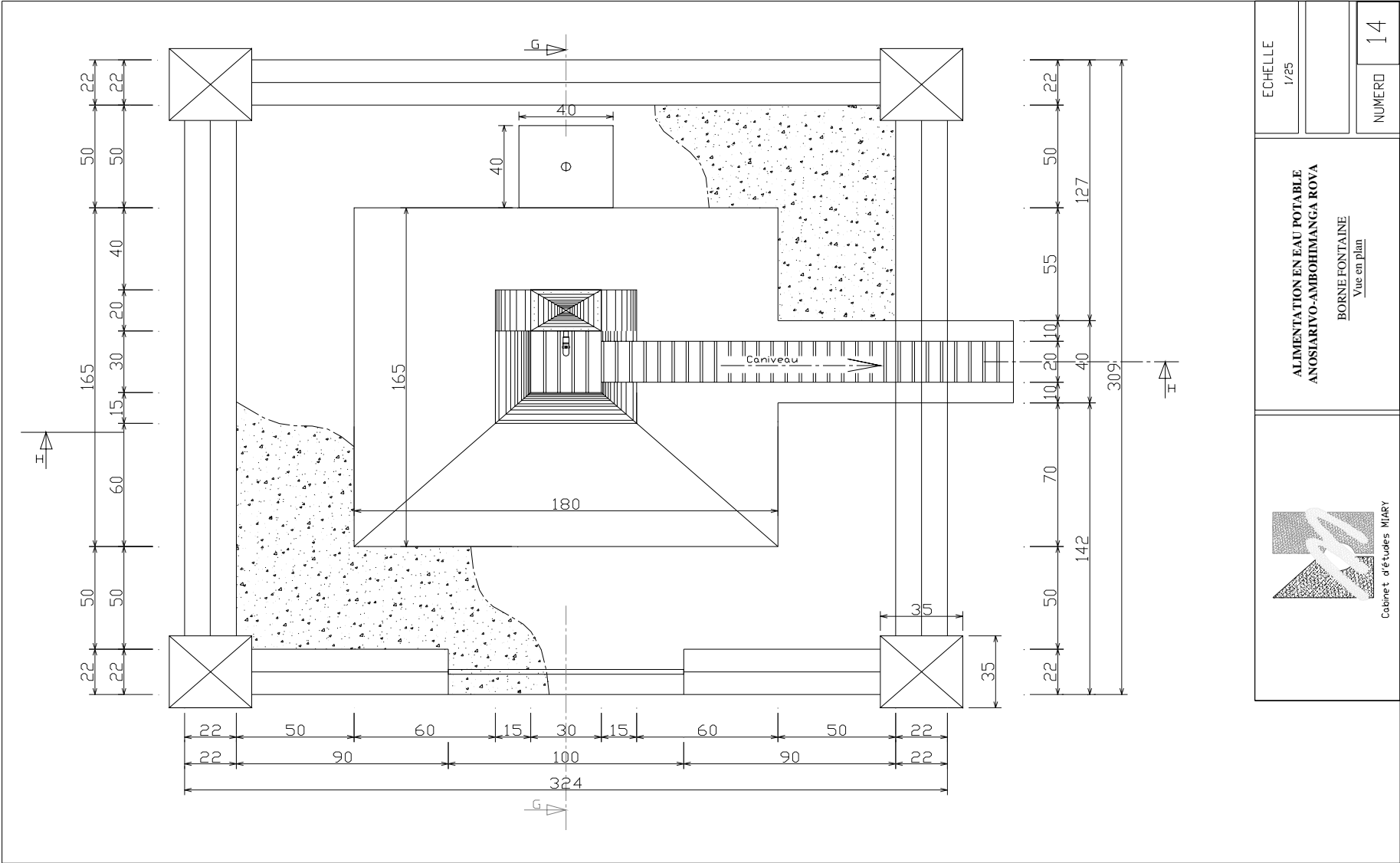
NUMERO 10

ESPA-Département hydraulique

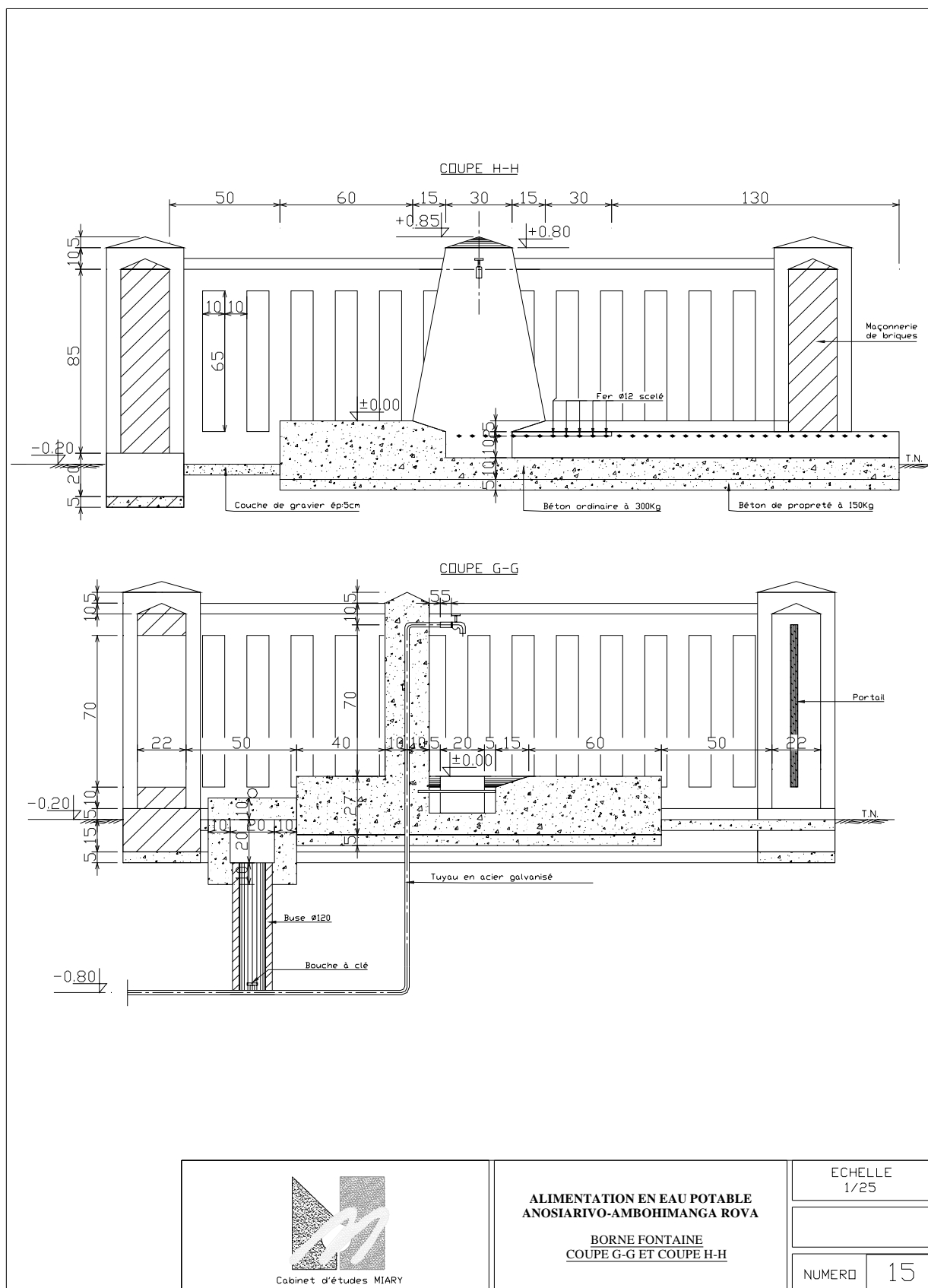


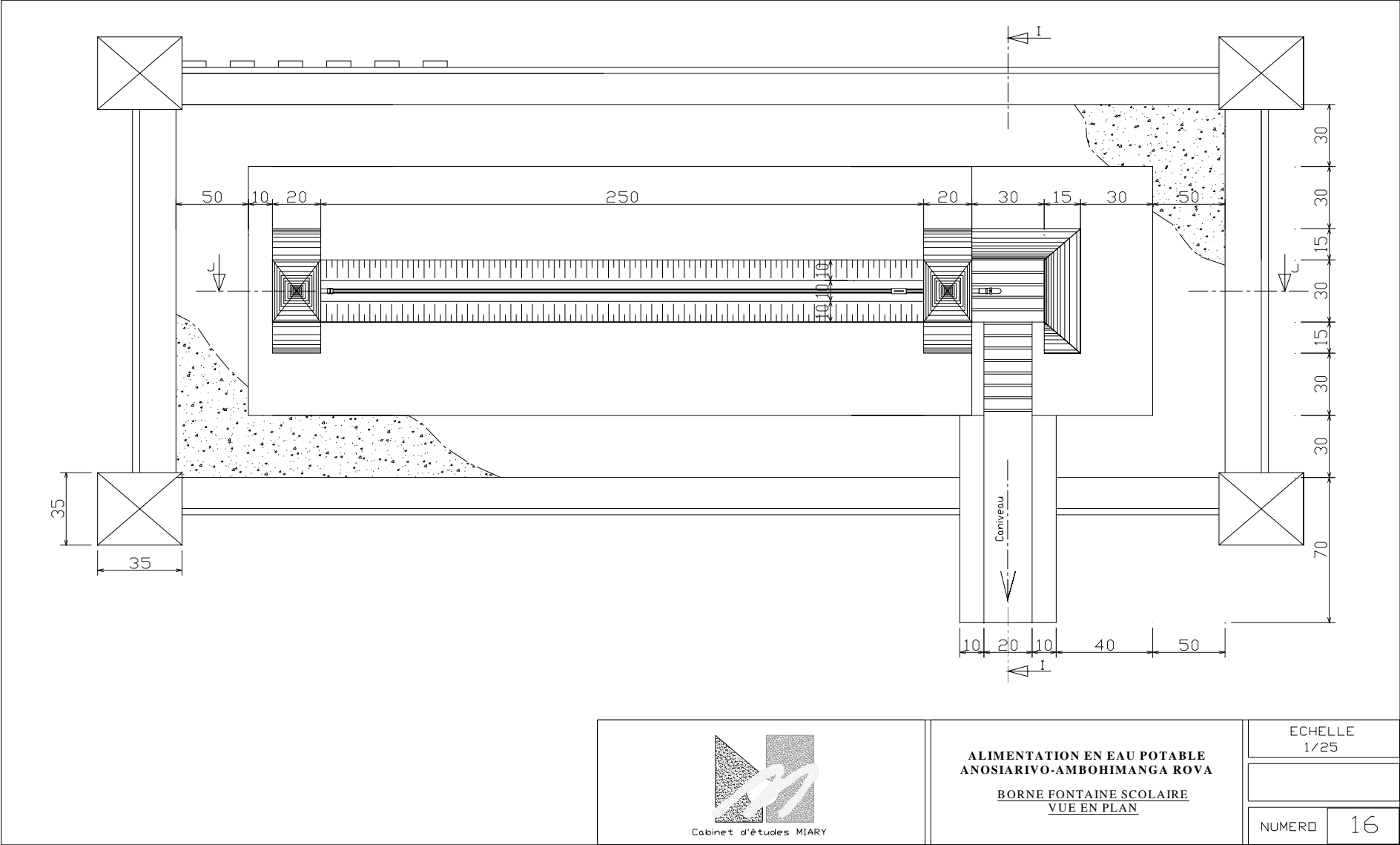


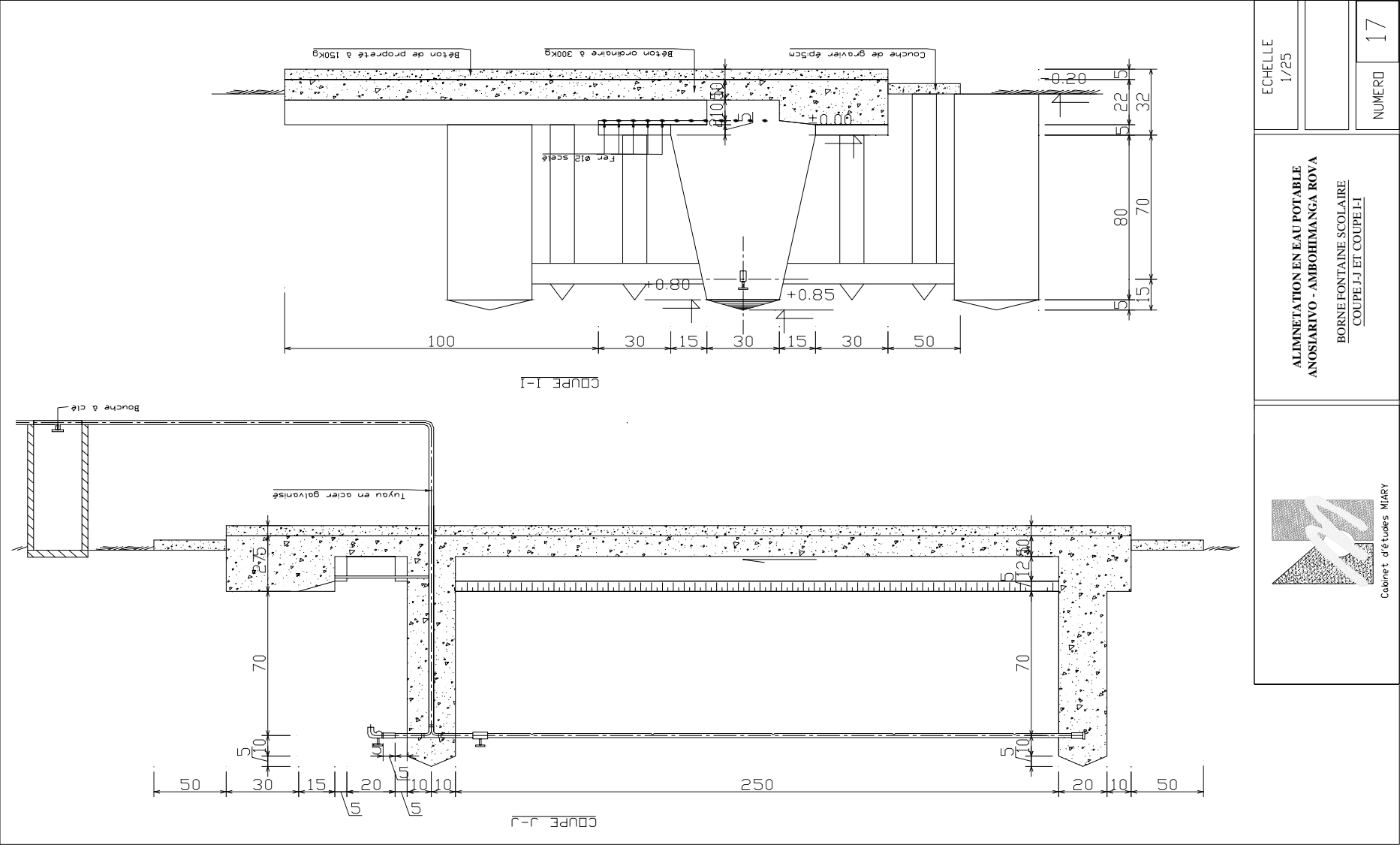




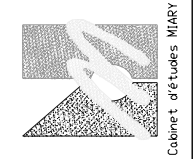
Adduction d'eau potable à Anosiarivo







ECHELLE 1/25	ALIMENTATION EN EAU POTABLE ANOSIARIVO - AMBOHIMANGA ROVA BORNE FONTAINE SCOLAIRE COUPE J-J ET COUPE I-I	NUMERO 17



ANNEXE 5 : Bordereaux de devis quantitatifs et estimatifs.**Travaux préparatoires :**

TRAVAUX PREPARATOIRES					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TRAVAUX PREPARATOIRES					
1.0	Installation de chantier				
	<u>Concerne</u> : baraquement, acheminement matériaux	FFT	1	2 957 180,00	2 957 180,00
1.1	Repli de chantier				
	<u>Concerne</u> : repli	FFT	1	1 197 580,00	1 197 580,00
TOTAL TRAVAUX PREPARATOIRES					4 154 760,00

Adduction d'eau potable gravitaire :

BOÎTE DE CAPTAGE					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0	Débroussaillage et décapage				
	<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	16	560	8 960,00
1.1	Fouille d'ouvrage				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	2,75	4 560,00	12 558,00
TOTAL TERRASSEMENT					21 518,00
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0	Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	0,2	157 000,00	31 400,00
2.1	Béton ordinaire à 300 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : béton perforé (captage)	m3	0,28	270 860,00	75 840,00
2.2	Béton dosé à 350 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : couvercle	m3	0,8	300 180,00	240 144,00
2.3	Coffrage avec chandelle en bois ordinaire,				
	<u>Concerne</u> : ouvrage en BA	m2	5,54	18 500,00	102 564,00
2.4	Acier pour armature				
	<u>Concerne</u> : ouvrage en BA	kg	80	5 280,00	422 400,00
TOTAL BETON ET MACONNERIE					872 348,00
3-TUYAUTERIE					
3.0	Grille galvanisée				
	<u>Concerne</u> : conduite d'alimentation	m2	0,04	26 640,00	1 065,60
3.1	Fourniture et pose vanne d'arrêt 26/34 en galva				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : conduite de vidange	U	1	27 380,00	27 380,00
TOTAL TUYAUTERIE				28 445,60
TOTAL BOÎTE DE CAPTAGE				922 311,60

CHAMBRE COLLECTEUR					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0	Débroussaillage et décapage				
	<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	16	560	8 960,00
1.1	Fouille d'ouvrage				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	1,17	4 560,00	5 316,00
1.2	- Remblai compacté avec produit de déblai				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	0,5	5 200,00	2 620,00
TOTAL TERRASSEMENT					14 276,00
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0	Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	0,72	157 000,00	113 040,00
2.1	Béton ordinaire à 300 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : béton perforé (captage)	m3	0,29	270 860,00	78 007,00
2.2	Béton dosé à 350 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : couvercle	m3	1,15	300 180,00	345 807,00
2.3	Coffrage avec chandelle en bois ordinaire,				
	<u>Concerne</u> : ouvrage en BA	m2	1,77	18 500,00	32 745,00
2.4	Acier pour armature				
	<u>Concerne</u> : ouvrage en BA	kg	115,2	5 280,00	608 256,00
TOTAL BETON ET MACONNERIE					1 177 855,00
TOTAL CHAMBRE COLLECTEUR					1 192 131,00

CONDUITE D'AMENEE					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0	Déblai ordinaire				
	<u>Concerne</u> : creusement de tranchée pour pose de conduite	m3	159,98	4 560,00	729 527,04
1.1	Remblai compacté par couche de 0,20m				
	<u>Concerne</u> : tranchée de conduite	m3	179,98	5 200,00	935 906,40
TOTAL TERRASSEMENT					1 665 433,44
2- TUYAUTERIE					
2.0	Fourniture et pose de tuyau PEHD et de tuyau galva, y compris tout accessoire				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

nécessaire au raccordement				
<u>Concerne</u> : conduite d'amenée de source vers bassin et bassin vers réservoir	ml			
- Diamètre 20/27 (galva)		35	12 800,00	448 000,00
- Diamètre 21/25 (PEHD)		631,6	3 980,00	2 513 768,00
TOTAL TUYAUTERIE				2 961 768,00
TOTAL CONDUITE D'AMENEE				4 627 201,44

BASSIN DE FILTRATION					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0 Débroussaillage et décapage					
<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	20,7	560		11 592,00
1.1 Fouille d'ouvrage sur terrain de toute nature					
<u>Concerne</u> : fondation	m3	23,92	4 560,00		109 084,32
1.2 Remblai compacté par couche de 0,20m					
<u>Concerne</u> : comblement de fouille	m3	8,74	3 820,00		33 390,62
TOTAL TERRASSEMENT					154 066,94
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0 Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3					
<u>Concerne</u> : semelle	m3	0,52	157 000,00		81 169,00
2.1 Béton armé dosé à 350 Kg/m3					
<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage	m3	9,56	300 180,00		2 868 219,90
2.2 Coffrage en bois ordinaire,					
<u>Concerne</u> : ouvrage en B.A	m2	114,66	18 500,00		2 121 210,00
2.3 Acier pour armature					
<u>Concerne</u> : ouvrage en B.A	kg	955,52	5 280,00		5 045 145,60
TOTAL BETON ET MACONNERIE					10 115 744,50
3- ENDUIT – CHAPE					
3.0 Enduit au mortier dosé à 400 Kg/m3					
<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage intérieur et extérieur	m2	116,25	6 760,00		785 850,00
3.1 Chape au mortier dosé à 450 Kg/m3					
<u>Concerne</u> : fond de bassin et couvercle, seuil	m2	14,22	9 060,00		128 833,20
TOTAL ENDUIT-CHAPE					914 683,20
4- TUYAUTERIE					
4.0 - Fourniture et pose de tuyau galva ϕ 26/34, y compris tout					
accessoire de raccordement					
<u>Concerne</u> : conduite d'alimentation	mL	7,8	12 700,00		99 060,00
4.1 Fourniture et pose de tuyau galva ϕ 50/60, y compris tout					
accessoire de raccordement					
<u>Concerne</u> : conduite vidange, trop plein, lavage	mL	6,6	26 140,00		172 524,00

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

4.2 Fourniture et pose vanne d'arrêt ϕ 50/60 types BS, y compris tout accessoire de raccordement					
<u>Concerne</u> : conduite de lavage, vidange	U	4	93 240,00		372 960,00
4.3 Fourniture et pose vanne d'arrêt ϕ 26/34 types BS, y compris tout accessoire de raccordement					
<u>Concerne</u> : conduite d'alimentation et lavage	U	2	22 120,00		44 240,00
TOTAL TUYAUTERIE					688 784,00
5- FERRONNERIE					
5.0 Fourniture d'échelle en aluminium de largeur 0,40m et de longueur 2,80 m					
<u>Concerne</u> : échelle d'accès	U	1	200 000,00		200000
TOTAL FERRONNERIE					200000
6- DIVERS					
6.0 - Fourniture et pose de système de fermeture pour regard de vanne en fer cornière et cadenas sûreté					
<u>Concerne</u> : fermeture de trappe de visite et regard de vanne	U	5	54 000,00		270000
6.1 - Fourniture et pose de matériaux filtrant du bassin					
<u>Concerne</u> : sable moyen à grossier, gravier filtre et charbon	m3	1,86	40 860,00		75 795,30
6.2 - Fourniture et pose de buselure pour dalle placée en quinconce					
<u>Concerne</u> : dalle du bassin de filtration (50 u/m²)	U	113	22 500,00		2 542 500,00
TOTAL DIVERS					2 888 295,30
TOTAL BASSIN DE FILTRATION					14 961 573,94

RESERVOIR SEMI-ENTERRE R (244 m3)					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX	MONTANT
				UNITAIRE	Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0 - Débroussaillage et décapage					
<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	56,25		560	31 500,00
1.1 - Fouille d'ouvrage					
<u>Concerne</u> : fondation	m3	90,77		4 560,00	413 892,96
TOTAL TERRASSEMENT					445 392,96
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0 - Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3					
<u>Concerne</u> : sous semelle	m3	2,27		157 000,00	356 233,00
2.1 - Béton armé dosé à 350 Kg/m3					
<u>Concerne</u> :semelle, corps du réservoir, dalle pour couvercle de trou d'homme piliers, poteau, poutres	m3	33,32		300 180,00	10 001 697,42
2.2 - Coffrage avec chandelle en bois ordinaire,					
<u>Concerne</u> : corps du réservoir en B.A	m2	378,49		18 500,00	7 002 139,00
2.3 - Acier pour armature					
<u>Concerne</u> : ouvrage en B.A	kg	3 331,90		5 280,00	17 592 432,00

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

TOTAL BETON ET MACONNERIE				34 952 501,42
3- ENDUIT – CHAPE				
3.0 Enduit au mortier de ciment dosé à 400 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,015m, y compris toute sujétion de mise en œuvre				
<u>Concerner</u> : Poteaux, poutres, chaînage, entretoises	m2	28,56	6 760,00	193 065,60
3.1 Enduit étanche au mortier de ciment dosé à 500 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,015m, avec adjuvant SUPER SIKALITE, y compris toute sujétion de mise en œuvre				
<u>Concerner</u> : Parois intérieur et extérieur réservoir	m2	277,48	7 920,00	2 197 665,36
3.2 Chape au mortier dosé à 500 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,02 m, avec adjuvant SUPER SIKALITE, y compris toute sujétion de mise en œuvre				
<u>Concerner</u> : Fond du réservoir et couvercle	m2	85,64	9 440,00	808 469,92
TOTAL ENDUIT ET CHAPE				3 199 200,88
4- TUYAUTERIE				
4.0 Fourniture et pose alimentation générale en eau de galva 20/27, y compris raccordement et ses accessoires de pose.				
<u>Concerner</u> : alimentation réservoir venant du bassin vers le réservoir	mL	15	12 800,00	192 000,00
4.1 Fourniture et pose de tuyau galva ϕ 50/60, y compris raccordement et crépine de tuyau de distribution				
<u>Concerner</u> : sortie du réservoir jusqu'à la vanne d'arrêt, vidange, trop plein	mL	14,6	27 560,00	402 376,00
4.2 Fourniture et pose vanne d'arrêt type BS ϕ 50/60, y compris raccordement				
<u>Concerner</u> : vanne d'arrêt en aval, conduite de vidange	U	2	82 280,00	164 560,00
TOTAL TUYAUTERIE				758 936,00
5- FERRONNERIE				
5.0 Fourniture et pose d'échelle métallique 0,40m de largeur, y compris fixation, application en anti-rouille et finition à la peinture à l'huile				
<u>Concerner</u> : réservoir	mL	5,8	74 400,00	431 520,00
TOTAL FERRONNERIE				431 520,00
6- PEINTURE				
6.0 Badigeonnage à la chaux alunée appliquée en 2 couches, y compris toute sujétion de mise en œuvre				
<u>Concerner</u> : poteaux, poutres, corps du réservoir	m2	391,69	840	329 016,24
6.1 Peinture plastique vinylique extérieure (ivoire) en 2 couches, y compris tous travaux préparatoires de la surface à peindre				
<u>Concerner</u> : poteaux, poutres, corps extérieur du réservoir	m2	235,8	4 160,00	980 928,00
6.2 Application de SIKATOP 141 en 2 couches, pour étanchéité et peinture, y compris tous travaux préparatoires de la surface à peindre				
<u>Concerner</u> : paroi intérieure et fond du réservoir	m2	155,89	9 080,00	1 415 444,88
TOTAL DIVERS				2 725 389,12
7- DIVERS				
7.0 Fourniture et pose de regard en béton ordinaire avec couvercle en BA de dimension 60 x60x80 cm				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : emplacement vanne d'arrêt des conduites entrée, sortie et vidange	U	2	90 100,00	180 200,00
7.1 Fourniture et pose de système de fermeture du couvercle pour trou d'homme				
<u>Concerne</u> : trou d'homme du bassin, les 2 regards de vannes	U	3	34 560,00	103 680,00
TOTAL DIVERS				283 880,00
TOTAL RESERVOIR SEMI-ENTERRE R				42 796 820,38

CONDUITE DE DISTRIBUTION					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX	MONTANT
				UNITAIRE	Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0 Déblai ordinaire					
	<u>Concerne</u> : creusement de tranchée pour pose de conduite	m3	1701,216	4 560,00	7 757 544,96
1.2 Remblai compacté par couche de 0,20m					
	<u>Concerne</u> : tranchée de conduite	m3	1913,868	5 200,00	9 952 113,60
TOTAL TERRASSEMENT					17 709 658,56
2- TUYAUTERIE					
2.0 - Fourniture et pose de tuyau PEHD, y compris tout accessoire nécessaire au raccordement					
	<u>Concerne</u> : conduite de distribution principale, secondaire et au droit des BF				
	- Diamètre 76,8/90	mL	5467,9	25 860,00	141 399 894,00
	- Diamètre 64/75	mL	391	18 500,00	7 233 500,00
	- Diamètre 53,6/63	mL	156	13 500,00	2 106 000,00
	- Diamètre 42,6/50	mL	180	8 940,00	1 609 200,00
	- Diamètre 34/40	mL	340,5	5 960,00	2 029 380,00
	- Diamètre 28/32	mL	346	4 740,00	1 640 040,00
TOTAL TUYAUTERIE					156 018 014,00
TOTAL CONDUITE DE DISTRIBUTION					173 727 672,56

Adduction d'eau potable par pompage solaire :

PUITS					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX	MONTANT
				UNITAIRE	Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0 Débroussaillage et décapage					
	<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	69,63	560	38 992,80
1.1 Fouille en puits y compris réglage, verticalité jusqu'à profondeur voulus					
	<u>Concerne</u> : puits de captage	m3	22,86	6 700,00	153 155,30
1.2 Fouille d'ouvrage sur terrain de toute nature					
	<u>Concerne</u> : fondation margelle et périmètre de protection, puisards, caniveau	m3	6,04	4 560,00	27 551,52

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

1.3 Remblai compacté par couche de 0,20m				
<u>Concerne</u> : comblement de fouille	m3	9,79	5 200,00	50 913,20
1.4 Evacuation de terre excédentaire				
<u>Concerne</u> : terre non utilisée	m3	19,11	8 820,00	168 550,20
TOTAL TERRASSEMENT				439 163,02
2- BETON ET MACONNERIE				
2.0 Béton pour béton de propreté dosé à 150 Kg/m3 de CPA, de 0,05 m d'épaisseur				
<u>Concerne</u> : les semelles margelle, puisards	m3	0,1	157 000,00	15 543,00
2.1 Béton ordinaire à 250 Kg/m3 de CPA				
<u>Concerne</u> : périmètre de protection, caniveau	m3	2,98	241 600,00	719 001,60
2.2 Béton armé dosé à 350 Kg/m3 de CPA				
<u>Concerne</u> : couvercle margelle, dalle pour trapillon (amovible), couvercle puisards, dalle de fond barbacané, trousse coupante	m3	1,09	300 180,00	328 396,92
2.3 Coffrage avec chandelle en bois ordinaire				
<u>Concerne</u> : ouvrage en BA, caniveau	m2	10,41	18 500,00	192 585,00
2.4 Armatures en aciers de tout diamètre				
<u>Concerne</u> : ouvrage en BA	kg	109,41	5 280,00	577 684,80
2.5 Hérissonnage de tout venant 40/70 d'épaisseur 0,15 m				
<u>Concerne</u> : périmètre de protection	m3	3,45	40 580,00	139 960,42
2.6 Maçonnerie de moellons hourdée au mortier de ciment dosé à 300 Kg/m3 de CPA,				
<u>Concerne</u> : margelle et escalier, puisards	m2	2,55	112 060,00	285 528,88
TOTAL BETON ET MACONNERIE				2 258 700,62
3- ENDUIT – CHAPE				
3.0 Enduit au mortier de ciment dosé à 350 Kg/m3 de CPA, d'ép. 0,015				
<u>Concerne</u> : margelle et escalier, faces apparentes de périmètre de protection, parois caniveau, couvercle et intérieur puisards	m2	24,79	6 320,00	156 672,80
3.1 Chape ordinaire au mortier dosé à 450 kg/m3 de CPA d'ep:0,02m				
<u>Concerne</u> : périmètre de protection, couvercle, caniveau	m2	29,16	8 900,00	259 524,00
TOTAL ENDUIT ET CHAPE				416 196,80
4- PEINTURE				
4.0 Badigeonnage à la chaux alunée appliquée en 2 couches, y compris toute sujétion de mise en œuvre	m2	8,8	840	7 392,00
<u>Concerne</u> : margelle, parois escalier				
4.1 Peinture plastique vinylique extérieure (ivoire) en 2 couches, y compris tous travaux préparatoires de la surface à peindre	m2	8,8	4 160,00	36 608,00
<u>Concerne</u> : margelle, parois escalier				
TOTAL PEINTURE				44000
5- DIVERS				
5.0 Fourniture et pose de buses en ciment comprimés armées				
<u>Concerne</u> : parois du puits (niveau supérieur)	U	12 206	320,00	2 475 840,00

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

5.1 Fourniture et pose de buses en ciment comprimés barbacanés					
<u>Concerne</u> : parois du puits (niveau inférieur)	U		3 218 020,00	654 060,00	
5.1 Fourniture et pose de système de fermeture du couvercle pour trou d'homme					
<u>Concerne</u> : fermeture de trapillon	U	1	34 560,00	34 560,00	
5.2 Fourniture et pose de gravier filtre					
<u>Concerne</u> : aspiration puits	m3	3,31	40 360,00	133 389,80	
TOTAL DIVERS				3 297 849,80	
TOTAL PUIITS				6 455 910,24	

POMPE SOLAIRE IMMERGEE					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- POMPE SOLAIRE IMMERGEE					
1.0 Fourniture et pose de pompe solaire immergée, y compris câble d'alimentation et toutes accessoires de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : aspiration puits vers réservoir	U		1 8 023 760,00	8 023 760,00	
1.1 Fourniture et pose de discontacteur y compris tout accessoire de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : pompe	U	1	184 560,00	184 560,00	
1.2 Fourniture et pose d'interrupteur flotteur y compris tout accessoire de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : coupe courant pour sécurité départ puits et arrivée au réservoir	U	2	193 280,00	386 560,00	
1.3 Fourniture et pose de panneau solaire 100W 12V					
<u>Concerne</u> : alimentation de pompe immergée	U		3 3 035 900,00	9 107 700,00	
TOTAL DIVERS				17 702 580,00	
TOTAL POMPE SOLAIRE IMMERGEE				17 702 580,00	

CONDUITE D'AMENEE - RESEAU ANOSIARIVO					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0 Déblai ordinaire					
<u>Concerne</u> : creusement de tranchée pour pose de conduite	m3	14,4	4 560,00	65 664,00	
1.1 Remblai compacté par couche de 0,20m					
<u>Concerne</u> : tranchée de conduite	m3	16,2	5 200,00	84 240,00	
TOTAL TERRASSEMENT				149 904,00	
2- TUYAUTERIE					
2.0 Fourniture et pose de tuyau PEHD, y compris tout accessoire nécessaire au raccordement					
<u>Concerne</u> : conduite d'amenée de puits vers bassin et bassin vers réservoir					
- Diamètre 34/40	mL	110	4 020,00	442 200,00	

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

TOTAL TUYAUTERIE				442 200,00
TOTAL CONDUITE D'AMENEE				592 104,00

CONDUITE D'AMENEE - RESEAU ANTSAHAKELY-AMBODISIARIVO					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0	Déblai ordinaire				
	<u>Concerne</u> : creusement de tranchée pour pose de conduite	m3	10,8	4560	49248
1.1	Remblai compacté par couche de 0,20m				
	<u>Concerne</u> : tranchée de conduite	m3	12,15	5200	63180
TOTAL TERRASSEMENT					112428
2- TUYAUTERIE					
2.0	Fourniture et pose de tuyau PEHD, y compris tout accessoire nécessaire au raccordement				
	<u>Concerne</u> : conduite d'amenée de puits vers bassin et bassin vers réservoir				
	- Diamètre 42,6/50	mL	80	6160	492800
TOTAL TUYAUTERIE					492800
TOTAL CONDUITE D'AMENEE					605228

RESERVOIR SURELEVE R3 30 m3					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT					
1.0	Débroussaillage et décapage				
	<u>Concerne</u> : emprise de l'ouvrage	m2	53,66	560	30 049,00
1.1	Fouille d'ouvrage				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	24,93	4 560,00	113 671,00
1.2	Remblai compacté avec produit de déblai				
	<u>Concerne</u> : aux abords de l'ouvrage et comblement de fouille	m3	10,56	5 200,00	54 912,00
TOTAL TERRASSEMENT					198 632,00
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0	Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : sous semelle	m3	1,94	157 000,00	303 952,00
2.1	Béton armé dosé à 350 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> :semelle, corps du réservoir, dalle pour couvercle de trou d'homme				
	piliers, entretoises, poutres, longrines, chaînage	m3	27,56	300 180,00	8 272 360,00
2.2	Coffrage avec chandelle en bois ordinaire,				
	<u>Concerne</u> : corps du réservoir en B.A	m2	265,54	18 500,00	4 912 490,00
2.3	Acier pour armature				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : ouvrage en B.A		kg	2 755,80	5 280,00	14 550 624,00
TOTAL BETON ET MACONNERIE				28 039 426,00	
3- ENDUIT - CHAPE					
3.0 Enduit au mortier de ciment dosé à 400 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,015m, y compris toute sujétion de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : Poteaux, poutres, chaînage...		m2	80,76	6 760,00	545 937,60
3.1 Enduit étanche au mortier de ciment dosé à 500 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,015m, avec adjuvant SUPER SIKALITE, y compris toute sujétion de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : Parois intérieur et extérieur réservoir		m2	115,98	7 920,00	918 561,60
3.2 Chape au mortier dosé à 500 kg/m3 de CPA 45, d'épaisseur 0,02 m, avec adjuvant SUPER SIKALITE, y compris toute sujétion de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : Fond du réservoir et couvercle		m2	20,17	9 440,00	190 404,80
TOTAL ENDUIT ET CHAPE				1 654 904,00	
4- TUYAUTERIE					
4.0 Fourniture et pose alimentation générale en eau de galva 26/34, y compris raccordement et ses accessoires de pose					
<u>Concerne</u> : alimentation monté réservoir		mL	16,2	19 440,00	314 928,00
4.1 Fourniture et pose de tuyau galva ϕ 50/60, y compris raccordement et crépine de tuyau de distribution					
<u>Concerne</u> : sortie du réservoir jusqu'à la vanne d'arrêt, vidange, trop plein		mL	25,2	27 560,00	694 512,00
4.2 Fourniture et pose vanne d'arrêt type BS ϕ 50/60, y compris raccordement					
<u>Concerne</u> : vanne d'arrêt distribution, conduite de vidange		U	2	82 280,00	164 560,00
TOTAL TUYAUTERIE				1 174 000,00	
5- FERRONNERIE					
5.0 Fourniture et pose d'échelle métallique 0,40m de largeur, y compris fixation, application en anti-rouille et finition à la peinture à l'huile					
<u>Concerne</u> : réservoir		mL	10,75	74 400,00	799 800,00
TOTAL FERRONNERIE				799 800,00	
6- PEINTURE					
6.0 Badigeonnage à la chaux alunée appliquée en 2 couches, y compris toute sujétion de mise en œuvre					
<u>Concerne</u> : poteaux, poutres, corps du réservoir		m2	209,35	840	175 854,00
6.1 Peinture plastique vinylique extérieure (ivoire) en 2 couches, y compris tous travaux préparatoires de la surface à peindre					
<u>Concerne</u> : poteaux, poutres, corps extérieur du réservoir		m2	127,95	4 160,00	532 272,00
6.2 Application de SIKATOP 141 en 2 couches, pour étanchéité et peinture, y compris tous travaux préparatoires de la surface à peindre					
<u>Concerne</u> : paroi intérieure et fond du réservoir		m2	51,04	15 200,00	775 808,00
TOTAL DIVERS				1 483 934,00	
7- DIVERS					
7.0 Fourniture et pose de regard en béton ordinaire avec couvercle en BA de					

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

dimension 60 x 60 x 80 cm				
<u>Concerne</u> : emplacement vanne d'arrêt des conduites entrée, sortie et vidange	U	2	90 100,00	180 200,00
7.1 Fourniture et pose de système de fermeture du couvercle pour trou d'homme				
<u>Concerne</u> : trou d'homme du bassin, les 2 regards de vannes	U	3	34 560,00	103 680,00
TOTAL DIVERS				283 880,00
TOTAL RESERVOIR SURELEVE R3 de 30 m3				32 150 642,00

CONDUITE DE DISTRIBUTION POUR LES 2 RESEAUX				
DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT Ariary
1- TERRASSEMENT				
1.0 Déblai ordinaire				
<u>Concerne</u> : creusement de tranchée pour pose de conduite	m3	552,6	4 560,00	2 519 856,00
1.1 Remblai compacté par couche de 0,20m				
<u>Concerne</u> : tranchée de conduite	m3	621,68	5 200,00	3 232 710,00
TOTAL TERRASSEMENT				5 752 566,00
2- TUYAUTERIE				
2.0 Fourniture et pose de tuyau PEHD, y compris tout accessoire nécessaire au raccordement				
<u>Concerne</u> : conduite de distribution principale, secondaire et au droit des BF				
- Diamètre 76,8/90	mL	340	25 860,00	8 792 400,00
- Diamètre 64/75	mL	291	18 500,00	5 383 500,00
- Diamètre 42,6/50	mL	885	8 940,00	7 911 900,00
- Diamètre 34/40	mL	664	5 960,00	3 957 440,00
- Diamètre 28/32	mL	61	4 740,00	289 140,00
- Diamètre 21/25	mL	100,5	3 980,00	399 990,00
TOTAL TUYAUTERIE				26 734 370,00
TOTAL CONDUITE DE DISTRIBUTION				32 486 936,00

Les points de distribution :

BORNE FONTAINE PUBLIQUE				
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE
1- TERRASSEMENT				
1.0 Fouille d'ouvrage sur terrain de toute nature				
<u>Concerne</u> : fondation	m3	1,58	4 560,00	7 182,00
TOTAL TERRASSEMENT				7 182,00
2- BETON ET MACONNERIE				
2.0 Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : semelle	m3	0,39	157 000,00	60 916,00
2.1 Béton ordinaire dosé à 300 Kg/m3				
<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage et caniveau d'évacuation	m3	1,02	270 860,00	274 922,90
2.2 Coffrage en bois ordinaire				
<u>Concerne</u> : ouvrage en B.O	m2	3,72	8 220,00	30 578,40
2.3 Maçonnerie de briques hourdée au mortier dosé à 300 Kg/m3, d'ép : 22cm				
<u>Concerne</u> : clôture	m2	9,61	21 340,00	205 077,40
2.4 Maçonnerie de briques hourdée au mortier dosé à 300 Kg/m3, d'ép : 35cm				
<u>Concerne</u> : piliers	m3	0,49	73 620,00	36 073,80
2.5 Maçonnerie de moellons hourdée au mortier dosé à 300 Kg/m3, d'ép : 35cm				
<u>Concerne</u> : fondation de clôture	m3	0,85	112 060,00	94 802,76
TOTAL BETON ET MACONNERIE				702 371,26
3- ENDUIT - CHAPE				
3.0 Enduit au mortier dosé à 400 Kg/m3				
<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage et caniveau d'évacuation, tête de piliers et tête murs de clôture	m2	10,56	6 760,00	71 385,6
3.1 Jointoiement au mortier dosé à 400 Kg/m3				
<u>Concerne</u> : mur de clôture, piliers	m2	24,82	3 040,00	75 452,80
TOTAL ENDUIT ET CHAPE				146 838,40
4- TUYAUTERIE				
4.0 Fourniture et pose de tuyau galva ϕ 20/27, y compris tout accessoire de raccordement				
<u>Concerne</u> : branchement en aval de la vanne d'arrêt vers borne fontaine	mL	3,5	12 800,00	44 800,00
4.1 Fourniture et pose robinet de puisage à quart de tour ϕ 20/27, y compris tout accessoire de raccordement				
<u>Concerne</u> : pour puisage	U	1	15 320,00	15 320,00
4.2 Fourniture et pose vanne d'arrêt ϕ 20/27 type BS, y compris tout accessoire de raccordement				
<u>Concerne</u> : vanne d'arrêt entre conduite principale et borne	U	1	19 580,00	19 580,00
TOTAL TUYAUTERIE				79 700
5- FERRONNERIE				
5.0 Grille en fer rond ϕ 12 scellé dans l'ouvrage, de dimension 30 x 30 cm				
<u>Concerne</u> : grille pour bassin d'évacuation	m2	0,09	69 200,00	6 228,00
5.1 Grille en fer rond ϕ 12 scellé dans l'ouvrage, de dimension 20 x 45 cm				
<u>Concerne</u> : grille pour caniveau d'évacuation	m2	0,35	69 200,00	24 220,00
5.2 Fourniture et pose d'un portail en grille métallique ϕ 12 de dimension 1,00 x 0,80m à deux vantaux, avec charnières encastrées dans le pilier en B.O				
<u>Concerne</u> : accès pour l'ouvrage	U	1	88 600,00	88 600,00
TOTAL FERRONNERIE				119 048,00
6- DIVERS				
6.0 Fourniture et pose de regard de bouche à clé en béton ordinaire avec couvercle en BA de dim. 40 x40 et tuyau PVC ϕ 125 de 0,40 m de longueur				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : pour vanne d'arrêt en amont de borne fontaine	U	1	28 580,00	28 580,00
6.1 Fourniture et pose couche de gravillons de 15/25 de largeur 0,50m et d'ep:0,05m				
<u>Concerne</u> : pourtour de l'ouvrage	m3	0,23	39 920,00	9 181,60
TOTAL DIVERS				37 761,60
TOTAL BORNE FONTAINE PUBLIQUE				1 092 901,26

BORNE FONTAINE SCOLAIRE					
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX	MONTANT
				UNITAIRE	
1- TERRASSEMENT					
1.0	Fouille d'ouvrage sur terrain de toute nature				
	<u>Concerne</u> : fondation	m3	0,735	4 560,00	3 351,60
TOTAL TERRASSEMENT					3 351,60
2- BETON ET MACONNERIE					
2.0	Béton de propreté dosé à 150 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : semelle	m3	0,245	157 000,00	38 465,00
2.1	Béton ordinaire dosé à 300 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage et caniveau d'évacuation	m3	1,432	270 860,00	387 871,52
2.2	Coffrage en bois ordinaire,				
	<u>Concerne</u> : ouvrage en B.O	m2	5,94	8 220,00	48 826,80
TOTAL BETON ET MACONNERIE					475 163,32
3- ENDUIT - CHAPE					
3.0	Enduit au mortier dosé à 400 Kg/m3				
	<u>Concerne</u> : corps de l'ouvrage et caniveau d'évacuation	m2	10,56	6 760,00	71 385,60
TOTAL ENDUIT ET CHAPE					71 385,60
4- TUYAUTERIE					
4.0	Fourniture et pose de tuyau galva φ 20/27, y compris raccordement				
	<u>Concerne</u> : branchement en aval de la vanne d'arrêt vers borne fontaine	mL	3,5	12 800,00	44 800,00
4.1	Fourniture et pose de tuyau galva φ 20/27 perforé espacé de 0,30 m, y compris raccordement				
	<u>Concerne</u> : puisage de borne scolaire	mL	2,8	20 760,00	58 128,00
4.2	Fourniture et pose robinet de puisage à quart de tour φ 20/27, y compris tout accessoire de raccordement				
	<u>Concerne</u> : pour puisage	U	1	15 320,00	15 320,00
4.3	Fourniture et pose vanne d'arrêt φ 20/27 type BS, y compris tout accessoire de raccordement				
	<u>Concerne</u> : vanne d'arrêt entre conduite principale et la borne, galva perforé	U	2	19 580,00	39 160,00
TOTAL TUYAUTERIE					157 408,00
5- FERRONNERIE					
5.0	Grille en fer rond φ 12 scellé dans l'ouvrage, de dimension 30 x 30 cm				

Adduction d'eau potable à Anosiarivo

<u>Concerne</u> : grille pour bassin d'évacuation		m2	0,09	69 200,00	6 228,00
5.1 Grille en fer rond ϕ 12 scellé dans l'ouvrage, de dimension 20 x 45 cm					
<u>Concerne</u> : grille pour caniveau d'évacuation		m2	0,29	69 200,00	20 068,00
TOTAL FERRONNERIE					26 296,00
6- DIVERS					
6.0 Fourniture et pose de regard de bouche à clé en béton ordinaire avec couvercle en BA de dim. 40 x40 et tuyau PVC ϕ 125 de 0,40 m de longueur					
<u>Concerne</u> : pour vanne d'arrêt en amont de borne fontaine		U	1	38 580,00	38 580,00
6.1 Fourniture et pose couche de gravillons de 15/25 de largeur 0,50m et D'ep:0,05m					
<u>Concerne</u> : pourtour de l'ouvrage		m3	0,278	39 920,00	11 097,76
TOTAL DIVERS					49 677,76
TOTAL BORNE FONTAINE SCOLAIRE					783 282,28

Nom et prénoms : RAMANANTSOA Tovoniaina Andriampaniry.

Titre :

Adduction d'eau potable à Anosiarivo (commune rurale Ambohimanga Rova),
études de 2 variantes :

- adduction gravitaire,
- alimentation par pompage dans un puits.

Nombre de cartes : 03

Nombre de figures : 05

Nombre de tableaux : 51

Nombre de pages : 95

Résumé :

Le présent ouvrage a été conçu pour évaluer les diverses possibilités d'alimentation en eau potable des fokontany d'Anosiarivo, d'Antsahakely et d'Ambodisiarivo (arrondissement Anosiarivo, commune rurale ambohimanga Rova, district Antananarivo Avaradrano, région Analamanga).

Trois (3) possibilités d'adduction ont alors été étudiées et évaluées :

- une adduction d'eau potable gravitaire qui ne satisfait pas les besoins de la population mais reste une solution complémentaire d'alimentation en eau. Le coût des travaux est estimé à 313 962 730.8 Ar. pour un litre d'eau vendu à 0.34 Ar.,
- une alimentation en eau potable par pompage électrique évaluée à 186 238 441.2 Ar. pour un prix de 0.42 Ar. par litre d'eau,
- une alimentation en eau potable par pompage solaire évaluée à 246 184 658.3 Ar. pour un litre d'eau vendu à 0.26 Ar..

La variante retenue pour le projet est l'alimentation par pompage électrique selon 2 réseaux de distribution : Anosiarivo et Antsahakely-Ambodisiarivo :

- le réseau d'Anosiarivo est constitué par deux (2) puits, un réservoir surélevé de 18 m³ et six (6) bornes fontaines,
- le réseau d'Antsahakely-Ambodisiarivo est constitué par trois (3) puits, un réservoir surélevé de 28 m³ et huit (8) bornes fontaines.

Ce projet est actuellement en cours de réalisation.

Directeur de mémoire : Monsieur Andriantoanina Romuald.

Adresse de l'auteur : Lot IIB 121 Ter AT Ambatomainty Manjakaray.

Mots clés : alimentation en eau potable, puits, énergie renouvelable.