

OPERATION ALIMENTATION  
EN EAU DANS LE SUD  
REPUBLIQUE DE MADAGASCAR

NO 1

RAPPORT DE L'ETUDE DU CONCEPT DE BASE  
POUR  
LE PROJET D'ALIMENTATION EN EAU DANS LE SUD  
EN  
REPUBLIQUE DE MADAGASCAR

FÉVRIER 1996

JICA LIBRARY



J 1131127 (1)

AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE  
JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.  
SANYU CONSULTANTS INC.

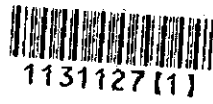
GRF

CR(2)

96.018







1131127[1]

**OPERATION ALIMENTATION  
EN EAU DANS LE SUD  
REPUBLIQUE DE MADAGASCAR**

**RAPPORT DE L'ETUDE DU CONCEPT DE BASE  
POUR  
LE PROJET D'ALIMENTATION EN EAU DANS LE SUD  
EN  
REPUBLIQUE DE MADAGASCAR**

**FEVRIER 1996**

**AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE  
JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.  
SANYU CONSULTANTS INC.**

## Avant-propos

En réponse à la requête du Gouvernement de la République de Madagascar, le Gouvernement du Japon a décidé d'exécuter par l'entremise de son Agence japonaise de coopération internationale (JICA) une étude du concept de base pour le Projet d'alimentation en eau dans le Sud de la République de Madagascar.

Du 7 juin au 21 juillet 1995, JICA a envoyé à Madagascar une mission.

Après un échange de vues avec les autorités concernées du Gouvernement de Madagascar, la mission a effectué des études sur le site du projet. Au retour de la mission au Japon, l'étude a été approfondie et un concept de base a été préparé. Afin de discuter du contenu du concept de base et d'effectuer une étude complémentaire, une autre mission a été envoyée à Madagascar. Par la suite, le rapport ci-joint a été complété.

Je suis heureux de remettre ce rapport et je souhaite qu'il contribue à la promotion du projet et au renforcement des relations amicales entre nos deux pays.

En terminant, je tiens à exprimer mes remerciements sincères aux autorités concernées du Gouvernement de la République de Madagascar pour leur coopération avec les membres de la mission.

Février 1996



Kimio Fujita

Président

Agence japonaise de coopération internationale

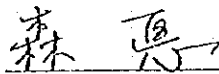
Février 1996

Objet: Lettre de présentation

Nous avons le plaisir de vous soumettre le rapport de l'étude du concept de base pour le Projet d'alimentation en eau dans le Sud de la République de Madagascar.

Cette étude a été réalisée par Japan Engineering Consultants Co., Ltd. et Sanyu Consultants Inc. du 4 juin 1995 au 26 février 1996 sur la base du contrat signé avec votre agence. Lors de cette étude, nous avons tenu pleinement compte de la situation actuelle à Madagascar, pour étudier la pertinence du projet susmentionné et établir le concept du projet le mieux adapté au cadre de la coopération financière sous forme de don du Japon.

En espérant que ce rapport vous sera utile pour la promotion de ce projet, je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments respectueux.



---

Megumi MORI

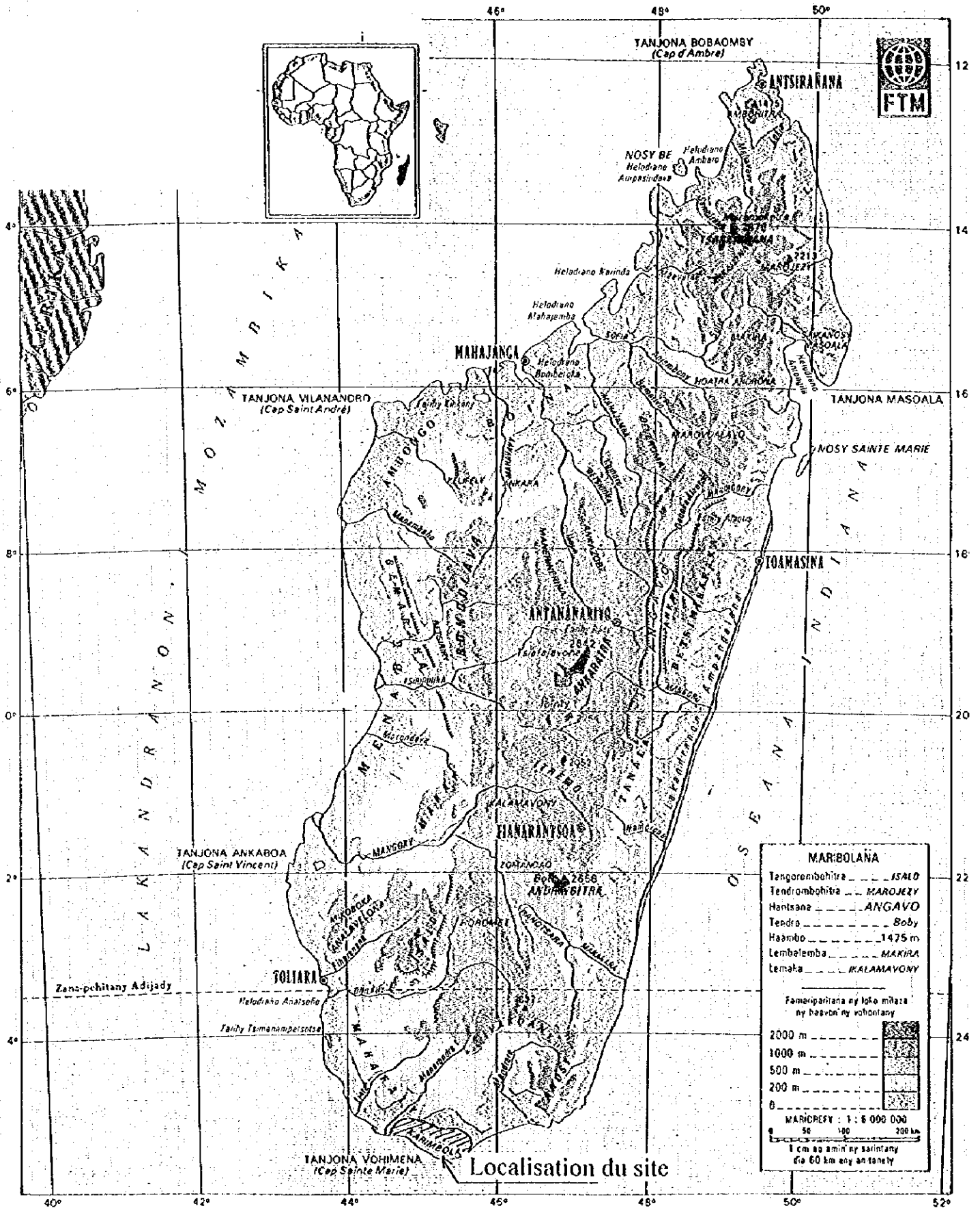
Chef des ingénieurs-conseil

Equipe de l'étude du concept de base pour le Projet  
d'alimentation en eau dans le Sud de la République de  
Madagascar

Japan Engineering Consultants Co., Ltd.

Sanyu Consultants Inc.

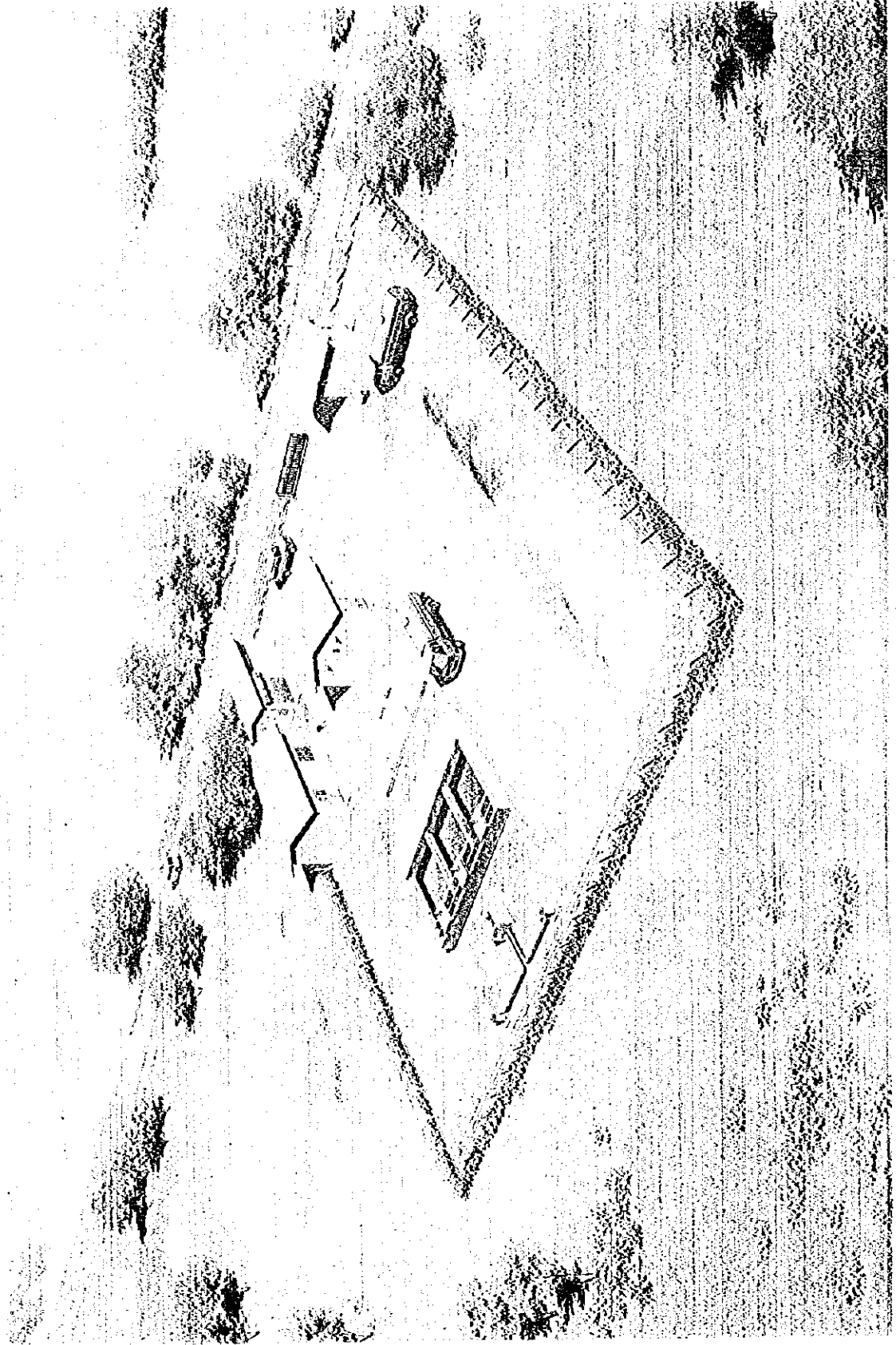
# Carte de localisation du site



Localisation du site



Plan d'achèvement du Projet



## **Abréviations**

<b>AES</b>	<b>Alimentation en Eau dans le sud</b>
<b>BAD</b>	<b>Banque Africaine de Développement</b>
<b>FAC</b>	<b>Fonds d'Aide et Cooperation</b>
<b>FAD</b>	<b>Fonds Africain de Développement</b>
<b>FED</b>	<b>Fonds Européen de Développement</b>
<b>FMG</b>	<b>FRANC MALAGASY</b>
<b>IDWSSD</b>	<b>International Drinking Water Supply and Snitation Decade</b>
<b>JICA</b>	<b>Agence Japonaise de Cooperation Internationale</b>
<b>JIRAMA</b>	<b>Jiri sy Rano Malagasy</b>
<b>MEM</b>	<b>Ministere de l'Energie et des Mines</b>
<b>OMS</b>	<b>Organisation mondiale de la santé</b>
<b>PNUD</b>	<b>Programme des Nations Unies pour le Développement</b>
<b>PIP</b>	<b>Programme d'Investissement Public</b>
<b>SSPA</b>	<b>Strategie Sectorielle et Plan d'Action</b>
<b>UNICEF</b>	<b>Fonds des Nations unies pour l'enfance</b>

## Table des Matières

Avant-propos	
Objet: Lettre de présentation	
Carte de localisation du site/Plan d'achèvement du Projet	
Abréviations	
Chapitre 1 Arrière-plan du projet.....	1
Chapitre 2 Contenu du projet.....	5
2-1 Objectifs du projet .....	5
2-2 Concept de base du projet.....	5
2-2-1 Etude des sources d'eau .....	6
2-2-2 Etude du transport de l'eau de la source jusqu'aux villages.....	24
2-2-3 Etude concrète des méthode de transport d'eau des installations du projet .....	31
2-2-4 Fixation de la dimension de l'ensemble des installations du projet.....	42
2-2-5 Conclusion .....	44
2-3 Concept de base.....	45
2-3-1 Orientation de la conception.....	45
2-3-2 Concept de base .....	47
Chapitre 3 Plan d'exécution .....	91
3-1 Plan d'exécution .....	91
3-1-1 Orientation de l'exécution .....	91
3-1-2 Points à prendre en compte pour l'exécution.....	92
3-1-3 Contributions à l'exécution.....	92
3-1-4 Projet de supervision de l'exécution .....	92
3-1-5 Projet de fourniture des équipements .....	93
3-1-6 Programme d'exécution .....	95
3-1-7 Contributions des deux parties.....	97
3-2 Coût du projet.....	98
3-2-1 Coût estimatif à la charge de Madagascar.....	98
3-2-2 Projet de maintenance.....	98
Chapitre 4 Evaluation du projet et recommandations .....	103
4-1 Evaluation du projet .....	103
4-2 Recommandations .....	103

## Documents annexes

Annexe - 1	Membres de l'équipe de la mission et appartenance .....	A-1
Annexe - 2	Programme de l'Etude .....	A-2
Annexe - 3	Liste des personnes concernées par l'étude .....	A-5
Annexe - 4	Procès-verbal .....	A-6
Annexe - 5	Coût estimatif à la charge de Madagascar .....	A-20
Annexe - 6-1	Données de débit de la rivière Manambovo .....	A-21
	Données de débit de la rivière Menarandra .....	A-22
Annexe - 6-2	Forages de reconnaissance .....	A-23
Annexe - 6-3	Essais de pompage .....	A-27
Annexe - 6-4	Distance de déplacement estimée des camions citernes dans la zone du projet .....	A-37
Annexe - 7	Liste des documents collectés .....	A-39

## Chapitre 1 Arrière-plan du projet

### (1) Conditions d'alimentation en eau dans la zone du projet

La République de Madagascar (appelée par la suite "Madagascar") est un pays insulaire situé dans l'Océan Indien à proximité de la côte Est de l'Afrique. Son territoire a une superficie de 57,7 km<sup>2</sup>, il compte 13 millions d'habitants, et le PNB par personne est de 230 \$US en 1992. La proportion des habitants approvisionnés en eau potable est de 55% en ville, de 9% dans les zones rurales, soit 23% en moyenne nationale, un niveau très bas par rapport à la moyenne de 45% dans les pays africains au Sud du Sahara entre 1985 et 1992. La partie Sud du département de Toliara où se trouvent les zones de Tsihombe et Beloha, objets de la requête, se situe dans la zone climatique aride où les précipitations annuelles sont de 400 à 500 mm. Le sol étant perméable, l'eau pluviale ne reste pas en surface, et le volume d'eau utilisé par les habitants est de 4,3 litres par personne et par jour, et ce chiffre est encore moins élevé dans les zones rurales où l'objectif du gouvernement est de 15 litres par personne et par jour.

### (2) Problèmes et solutions possibles

Pour résoudre son problème d'alimentation en eau dans le Sud, Madagascar a fondé en 1980 l'AES (Alimentation en Eau dans le Sud) directement géré par le Président dans 8 des départements de la province de Toliari dans le Sud, et a réalisé des projets de construction d'impluviums utilisés pour le stockage de l'eau pluviale, et de forages avec ses fonds propres et l'aide du FED, FAD ou de l'UNICEF. De plus, la zone principale du Sud, Ambovombe, a obtenu en 1990 et 1991 de la Coopération financière non-remboursable du Japon pour un projet prévoyant la construction d'une station d'épuration pour les eaux de la rivière Mandrare, au nord de la ville d'Ambovombe, le transport par camions-citernes de l'eau purifiée de la station d'épuration jusqu'à des villes dans un rayon de 40 km et jusqu'aux villages environnants, ainsi que la construction d'installations de distribution d'eau en ville par canalisation (appelé par la suite le système d'Ambovombe). Mais la réalisation de ce projet n'a pas permis à l'AES de résoudre les problèmes d'alimentation en eau des zones de Tsihombe et Beloha, voisines d'Ambovombe, qui font l'objet du présent projet. Les problèmes d'alimentation en eau sont particulièrement difficiles à résoudre dans cette région pour les raisons suivantes:

- 1) Les nappes aquifères sont rares, on ne peut donc pas creuser de forages. Même s'il y a une nappe aquifère, son volume d'eau réduit, et elle ne peut pas être utilisée tout au long de l'année parce qu'elle tarit pendant la saison sèche.
- 2) Il arrive souvent que les nappes aquifères, influencées par les conditions géologiques, aient une forte teneur en sel; dans ce cas, même si on creuse un forage, l'eau ne pourra pas être utilisée pour la consommation.

- 3) Les eaux de surface de la rivière Manambovo qui traverse le centre du département de Tsihombe sont tariées pendant plus de 6 mois pendant la saison sèche, et il y a un problème de volume d'eau de la source. Même pendant la saison des pluies, l'eau a une teneur en sel qui dépasse la valeur des directives de l'OMS, et la teneur en sel de l'eau qui se dissimule dans le lit de la rivière pendant la saison sèche est 4 fois plus élevée que celle autorisée, ce qui la rend inapte à la consommation.
- 4) Beaucoup d'impluviums ont été construits dans cette zone des années 1970 à 1980, avec l'aide du FED, mais leur capacité est réduite, et comme les précipitations sont faibles dans la région, la période d'utilisation n'est que de 1 à 2 mois par an. Si les utilisateurs sont peu nombreux et que l'eau reste stockée longtemps, la corrosion détériore la qualité de l'eau, ce qui provoque des maladies. La construction des impluviums a été arrêtée en 1992.
- 5) La surface totale de la zone du projet est de 4.800 km<sup>2</sup>. Pendant la saison sèche, beaucoup d'habitants parcourent environ 5 km pour obtenir de l'eau à des impluviums, puits ou marais, il faut donc parcourir de 10 à 30 km jusqu'à une rivière pour obtenir quelques litres d'eau par personne. La distance entre les 89 villages de la zone objet est importante, de 5 à plus de 10 km, aussi pour alimenter tous les villages, en plus des problèmes de sources d'eau 1) à 4) ci-dessus, il y a des problèmes pour le transport de l'eau.

Dans un projet d'alimentation en eau dans une zone connaissant de tels problèmes de volume et de qualité de source d'adduction d'eau, le système d'Ambovombe réalisé avec l'aide japonaise a permis d'atteindre l'objectif prévu de fournir de l'eau purifiée aux 67.000 habitants d'une zone. 5 années se sont écoulées depuis la réalisation de ce projet, et comme ce projet d'alimentation en eau de la zone d'Ambovombe est considéré avoir contribué à l'alimentation de nombreux habitants, une requête a été déposée pour la construction d'installations d'alimentation en eau pour les habitants des départements de Tsihombe et Beloha, voisins de celui d'Ambovombe.

### (3) Contenu de la requête

La requête comprend la construction d'installations hydrauliques et la fourniture des équipements nécessaires à l'alimentation en eau, comme indiqué ci-dessous:

#### 1) Construction d'installations hydrauliques

- Installation de prise d'eau sur le courant de fond de la rivière Manambovo ou Menarandra

    Tuyau de prise d'eau

    Réservoir de prise d'eau

    Installation de pompage y compris la conduite d'eau de la rivière)

• Installations d'épuration et de distribution d'eau

Station d'épuration

Conduites de transport d'eau épurée

Bassin d'épuration (bassin de distribution)

2) Fourniture des équipements d'alimentation en eau

Camion-citerne 25 unités

Véhicule de support 1 unité

Dépanneuse 1 unité

Camion-citerne à carburant 1 unité

Véhicules de patrouille 4x4 2 unités





## Chapitre 2 Contenu du projet

### 2-1 Objectifs du projet

Le présent projet prévoit de fournir l'eau potable minimale nécessaire à la vie quotidienne, pour éliminer l'instabilité dans la vie quotidienne des habitants due au manque chronique d'eau dans le Sud de Madagascar, et d'ainsi éliminer un élément d'instabilité de l'administration.

### 2-2 Concept de base du projet

La zone à alimenter se trouvant dans la zone semi-aride, et l'on prévoit de construire les installations nécessaires à la prise d'eau, au transport de l'eau et à l'alimentation en eau ainsi que de fournir les équipements nécessaires, afin de fournir aux habitants de Tsihombé et Beloha l'eau potable minimale nécessaire à la vie quotidienne.

Les problèmes de ces zones sont grosso modo les deux suivants:

Premièrement, il n'y a pas de sources d'eau, rivière ou eaux souterraines, permettant d'obtenir un volume stable tout au long de l'année et dont la qualité de l'eau est adaptée à la consommation dans les principales villes de cette région, et l'AES ne peut pas trouver de solution au problème de l'eau.

Deuxièmement, cette région étant pauvre, il sera impossible de demander aux bénéficiaires de prendre en charge tous les frais encourus du fait de l'épuration et de l'alimentation en eau.

Pour résoudre les problèmes de cette région, la mission d'étude y a effectué sur la population, les conditions d'alimentation en eau de l'ensemble de la région, l'état des installations existantes, les conditions hydrogéologiques, et des mesures, et une étude sur l'état de gestion-entretien du système d'alimentation en eau d'Ambovombe.

Au cours de l'analyse faite au Japon, on a jugé que le problème le plus important du point de vue de la viabilité du projet était la réduction au minimum des frais de gestion-entretien des installations du projet, et l'on a établi une proposition de remplacement pour le transport de l'eau, et fait une étude comparative des frais de gestion-entretien de ces propositions sur la base des frais de gestion-entretien du système d'Ambovombe.

Voici maintenant les résultats de l'étude qui a mené à la fixation des dimensions des installations du projet, l'historique jusqu'au choix de la rivière Ménarandra à l'extrémité ouest de la zone comme source d'eau suite à l'étude sur les sources d'eau, l'historique du choix de la méthode de transport de l'eau de la source aux villages, etc.

## 2-2-1 Etude des sources d'eau

### (1) Possibilités d'utilisation des rivières Manambovo et Menarandra comme source d'eau

Les rivières qui coulent dans la zone du projet sont la rivière Manambovo qui coule dans la zone de Tsihombe et la Menarandra qui coule à la limite Ouest de la zone du projet, à 50 km de Beloha. Leur bassin fluvial est respectivement de 2.700 km<sup>2</sup> et 5.300 km<sup>2</sup>, celui de la rivière Menarandra étant du double de celui de la Manambovo. Les Tableaux 2-1 et 2-2 indiquent le débit de ces deux rivières. (Source: Rivières de Madagascar)

**Tableau 2-1 Débit de la rivière Manambovo (1956 - 1976)**

Unité : m<sup>3</sup>/s

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annuel
Moy.	15,3	14,5	6,51	1,38	0,356	0,207	0,222	0,025	0,231	0,576	3,62	12,4	4,57
Max.	38,4	39,4	38,4	6,88	1,89	1,59	3,60	0,609	2,94	5,68	24,0	46,8	-
Min.	0,783	0,123	0,047	0	0	0	0	0	0	0	0	0,286	-

Aire : 2.712 km<sup>2</sup>

(Source: Rivières de Madagascar, ORSTOM 1993)

**Tableau 2-2 Débit de la rivière Menarandra (1951 - 1983)**

Unité : m<sup>3</sup>/s

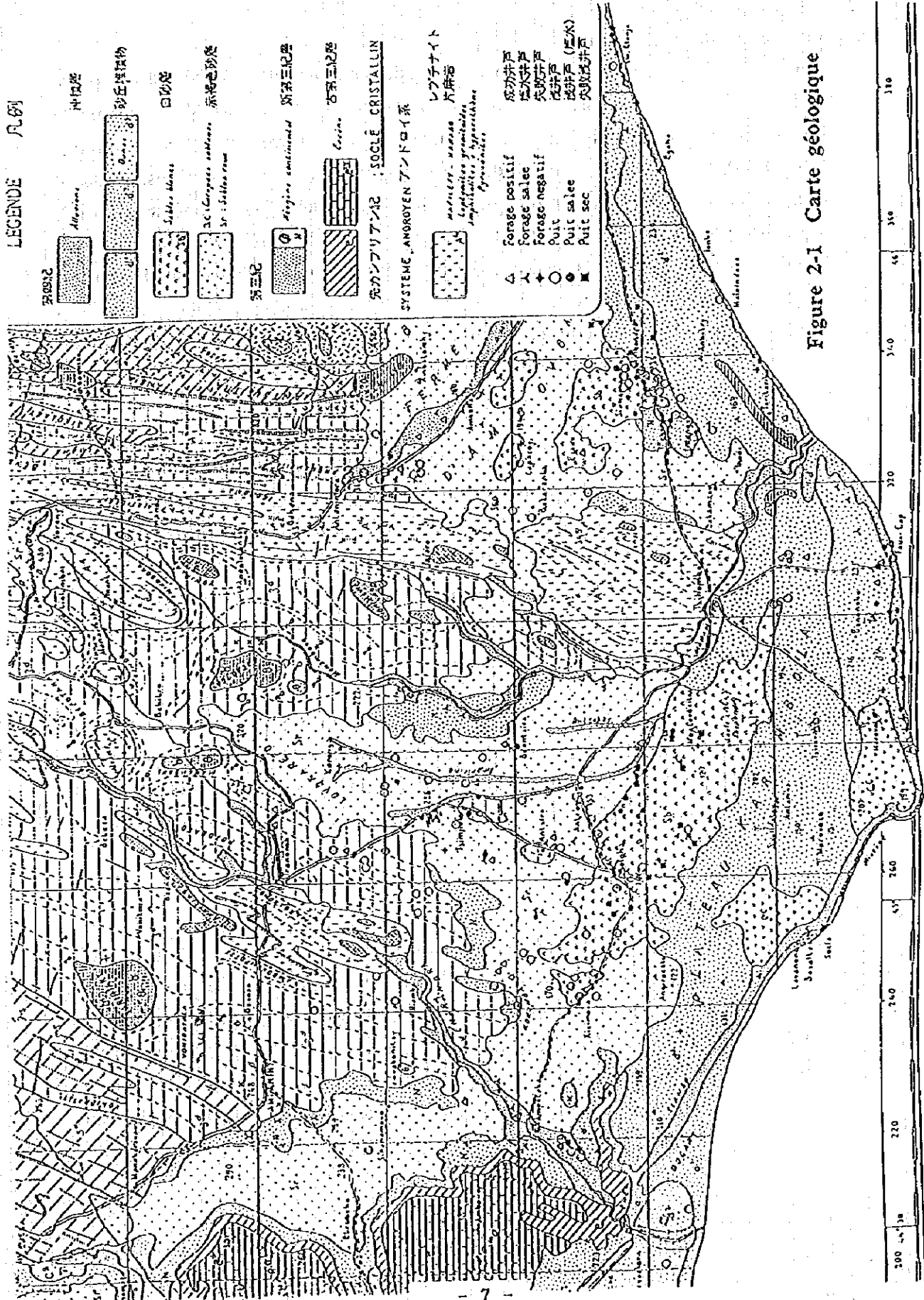
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annuel
Moy.	108	80,3	42,2	11,2	5,52	3,13	2,12	1,99	2,23	4,47	19,6	84,6	30,3
Max.	304	316	199	51,7	28,3	15,6	7,90	9,51	8,09	13,3	50,1	215	-
Min.	5,48	7,38	2,76	0,489	0,196	0,159	0,159	0,140	0,126	0,259	3,60	0,239	-

Aire : 5.330 km<sup>2</sup>

(Source: Rivières de Madagascar, ORSTOM 1993)

D'après les données des 19 dernières années (1956-1976) concernant la rivière Manambovo, son débit moyen mensuel de mai à octobre a été nul 15 ans, ce qui montre qu'elle ne convient pas pour ce projet. La rivière Menarandra n'a jamais eu de débit moyen mensuel nul au cours des 31 années d'observation (1951-1983), son débit minimum a été de 0,126 m<sup>3</sup>/s, ce qui permet de dire que son emploi est très possible comme source d'eau des installations du projet. La qualité de l'eau est indiquée en D dans le paragraphe (3) Hydrogéologie suivant.

凡例



## (2) Etude hydrogéologique

### A. Etude des documents existants

Les études hydrogéologiques dans la zone de l'étude ont principalement été réalisées par le MIEM (Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines) (devenu MEM = Ministère de l'Energie et des Mines), et indiquent en tant que couches aquifères dans la zone du projet susceptible de permettre l'exploitation des eaux souterraines, les grès néogènes, la couche de sable blanc s'étendant dans la zone de Beloha et les couches d'alluvions au bord des rivières (MIEM 1976a, 1976b, 1992). Les couches néogènes marines sont largement répandues dans la zone, et la présence d'eau salée a été confirmée partout. Le rapport indique également pour la qualité de l'eau, la possibilité à la non-adaptation comme eau potable à cause de la salinité pour l'eau dans les couches néogène, quaternaire et les dunes, mais des possibilités d'eau de bonne qualité dans une partie des couches de sable blanc et de dépôts alluvionnaires.

De plus, l'étude des eaux souterraines (LAND-SYSTEM 1999) confiée à un consultant italien par l'AES indique également la possibilité d'une couche aquifère dans la couche de sable blanc aux environs de Beloha, et estime le volume de pompage à environ 20 m<sup>3</sup>/jour maximum. Pour la qualité de l'eau, le MIEM (1976a, 1976b, 1992) souligne également le danger de l'eau salée dans les couches néogène, quaternaire et les dunes, et indique la couche de sable blanc et les couches alluvionnaires comme couche permettant d'obtenir une qualité d'eau relativement bonne.

Le Tableau 2-3 indique les forages réussis (taux de réussite) parmi les sondages et creusements de puits effectués, par couche aquifère et par type de puits. Il indique le débit avec le taux de réussite pour le débit standard ordinaire ( $Q = 15 \text{ l/min} = \text{plus de } 0,25 \text{ l/s}$ ).

Le Tableau 2-3 indique les spécificités hydrogéologiques des couches aquifères dans la zone du projet.

#### 1) Couche néogène:

Il y a en peu pour les puits, mais beaucoup pour les forages (33,3 m de moyenne). Dans les sondages, on en a trouvé dans les zones où plus près de la surface des couches de sable roux et de sable blanc, mais les forages (84,6 m en moyenne) et le niveau d'eau (environ 49,6 m) sont tous deux profonds, le taux de réussite faible (29%), et la possibilité d'eau salé élevée. Le taux de réussite des forages à volume de pompage de plus de 15 l/s. est faible: 13,6%, et les possibilités d'exploitation des eaux souterraines faibles.

2) Couche de sable blanc:

La qualité de l'eau est relativement bonne, mais les réserves potentielles d'eau souterraine sont faibles (volume de pompage moyen pour les puits = 0,02 l/s = 1,2 l/min., le volume d'eau moyen par forage est de 0,01 l/s = moins de 0,6 l/s.), le taux de réussite des forages est faible (20%). Le taux de réussite des puits à volume de pompage supérieur à 15 l/min. est de 0% pour les puits et forages, et l'exploitation comme source d'alimentation d'un village est difficile. Les camions-citernes de l'AES font le tour d'environ 10 puits dans la région de Beloha, et au bout de 2 jours, réussissent enfin à obtenir 6 m<sup>3</sup> pour l'alimentation d'un village.

3) Couche alluvionnaire

Bien qu'il y ait partiellement un risque de salinité, le taux de réussite est élevé (61% pour les puits, 90% pour les forages), la profondeur des puits et la profondeur d'eau sont relativement faibles. Le volume de pompage est aussi important (volume de 0,08 l/s en moyenne pour les puits et 9,43 l/s pour les forages), le taux de réussite des forages de plus de 15 l/s. est également élevé: 80%, et l'on peut espérer des possibilités d'exploitation des eaux souterraines.

4) Autres

Dans les autres couches, les dunes de sable, la couche quaternaire, le volume de pompage est faible; en particulier, pour la couche quaternaire, il y a des problèmes de qualité d'eau, et les possibilités d'exploitation des eaux souterraines sont faibles. Au-dessous de la couche de sable roux largement répandue dans la zone de l'étude, on trouve la couche miocène, et les possibilités d'eau saline sont élevées.

Vu ces points, parmi les couches considérées posséder de fortes possibilités répandues dans la zone de l'étude, l'exploitation des eaux souterraines est difficile dans la couche miocène et la couche de sable blanc, la couche alluvionnaire est peut-être partiellement salée, mais le volume d'eau est important et l'exploitation des eaux souterraines semble possible. (Voir la Figure 2-1 Carte géologique.)

Tableau 2-3 Divisions hydrogéologiques

Couche aquifère	Type	Nombre de puits/forages				Taux de réussite (%)	Profondeur (m)	Niveau d'eau statique (m)	Volume de pompage (l/s)	Volume de pompage des puits/forages réussis 0,25 l/s = plus de 15 l/m	
		Nombre	Puits, forages réussis	Puits, forages secs	Puits, forages négatifs						Puits, forages salés
Couche alluvionnaire	Puits	18	11	0	0	7	61,1	11,07	7,19	0,08	4 (22,2%)
	Forage	10	9	0	0	1	90,0	22,59	5,97	9,43	8 (80,0%)
Couche quaternaire	Puits	11	3	0	2	6	27,3	8,80	6,33	< 0,01	0 (0,0%)
	Forage	11	2	5	0	4	18,2	20,65	19,00	0,06	1 (9,0%)
Dunes de sable	Puits	4	2	0	1	1	50,0	6,85	4,40	< 0,01	0 (0,0%)
	Forage	4	2	1	1	0	50,0	18,25	-	< 0,01	0 (0,0%)
Couche de sable blanc	Puits	50	24	10	8	8	48,0	6,19	4,94	0,02	0 (0,0%)
	Forage	10	2	4	1	3	20,0	9,70	2,60	< 0,01	0 (0,0%)
Couche néogène	Puits	4	2	-	-	2	50,0	33,33	27,83	2,28	1 (25,0%)
	Forage	66	19	13	0	34	28,8	84,60	49,59	0,35	9 (13,6%)
Socle néogène	Puits	0	-	-	-	-	-	-	-	-	- (-)
	Forage	12	6	0	0	6	50,0	26,30	13,25	2,15	4 (33,3%)

## B. Etude sur place

Suite à l'étude des documents existants, une étude sur place et des prospections électriques ont été faites dans le bassin de la rivière Manambovo et aux environs d'Ampotaka dans le cours moyen de la rivière Menarandra.

Pendant l'étude sur place, on a également effectué une étude géologique et des essais de qualité d'eau simples (température de l'eau, pH, conductivité, ions de chlore, dureté totale, fer), afin de saisir la répartition des couches aquifères, leurs caractéristiques, et les possibilités d'utilisation comme eau potable.

La prospection électrique a été réalisée aux emplacements sélectionnés suite à l'étude sur place pour saisir la structure hydrogéologique et la répartition des eaux souterraines. Pour la prospection, on a utilisé la méthode de résistivité verticale, et l'arrangement des électrodes a été fait en combinant les méthodes de Wenner et de Eltran pour augmenter la précision. Les résultats de la prospection électrique figurent dans les documents annexes avec les cartes de positionnement.

### 1) Bassin fluvial de la rivière Manambovo (Voir la Figure 2-2 Résultats de l'étude sur place à la rivière Manambovo)

Dans le bassin de la rivière Manambovo, on trouve des roches du socle aux environs de Tsihombe et plus au nord, et des dépôts sur la rive droite de la rivière et le cours inférieur. Des alluvions sont réparties aux environs d'Ambohitsy, mais en dehors d'Ambohitsy, ils ne forment qu'une mince couche qui recouvre le socle et la couche néogène.

Dans le cours supérieur et moyen (au nord de Tsihombe), les alluvions sont minces, et d'après les résultats des prospections électriques et l'étude des sondages existants, au-dessous, on trouve une couche néogène largement répandue renfermant de l'eau salée. Du cours moyen au cours inférieur (au sud de Tsihombe), la rivière Sakamasy ( $EC = 9.630 \mu S/cm$ ,  $C1 = 19 g/l$ ) vient se jeter dans la Manambovo, et le lac salé IHODO ( $C1 = 180 g/l$ ) se trouve sur la rive gauche. Dans le cours inférieur (près de la côte), sont répandus des alluvions, une couche quaternaire et des dunes; en particulier, aux environs d'Ambohitsy, la couche d'alluvions est relativement épaisse (env. 10 m) et la qualité d'eau des puits relativement bonne. La conductivité maximale mesurée aux environs de Tsihombe est  $EC = 5.000 \mu S/cm$ , et ailleurs grosso modo de 1.000 à 2.000  $\mu S/cm$ .

Comme résultat de l'étude sur place, on peut espérer que les alluvions à Ambohitsy, dans le bassin de la rivière Manambovo renferment une couche aquifère, et on a décidé l'exécution d'une étude par sondage et d'essais de pompage.

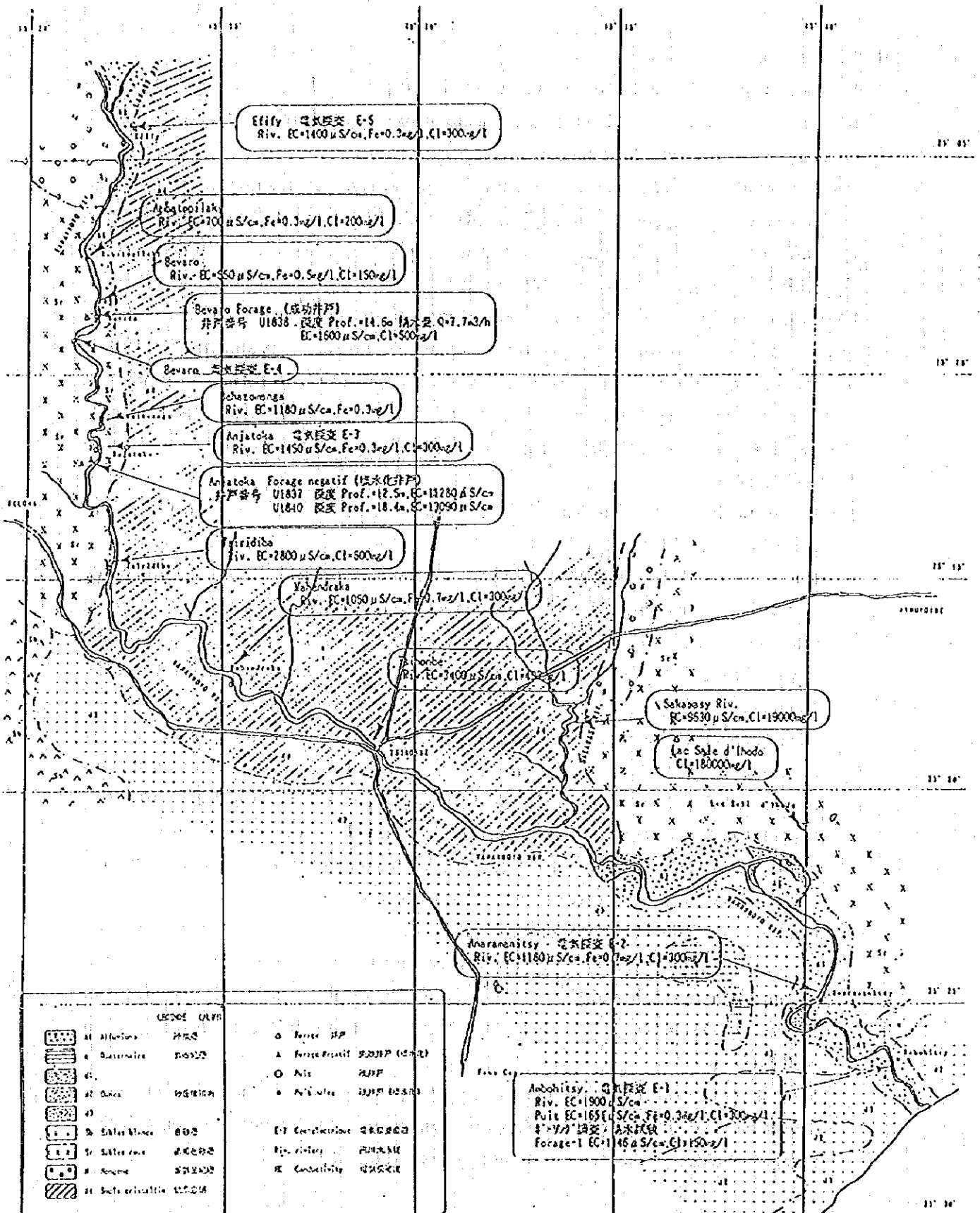


Figure 2-2 Résultats de l'étude sur place à la rivière Manambovo



2) Bassin de la rivière Menarandra (Voir la Figure 2-3 Résultats de l'étude sur place à la rivière Menarandra)

Dans le bassin de la rivière Menarandra, des roches du socle sont largement répandues dans le cours supérieur, des sables roux et alluvions aux environs d'Ampotaka dans le cours moyen, et une couche néogène et des dunes dans le cours inférieur.

Dans le cours supérieur, il y a une fine couche d'alluvions, et dans le cours inférieur, une couche quaternaire contenant de l'eau salée et des dunes. Aux environs d'Ampotaka dans le cours moyen, il y a une couche d'alluvions relativement épaisse (env. 25 m), riche en eaux souterraines (MIEM 1976). La qualité de l'eau des puits et forages des environs est relativement bonne, et nous avons décidé d'établir une carte de parcours, de confirmer par prospection géoélectrique l'épaisseur de la couche d'alluvions, et d'effectuer une étude par sondage et des essais de pompage sur la couche d'alluvions, en tant que couche aquifère.

C. Etude par sondages et essais de pompage

Nous avons effectué une étude par sondage et des essais de pompage à Ambohitsy et Ampotaka sélectionnés sur la base de l'étude des documents existants et de l'étude sur place. L'étude par sondages a eu pour objectif la saisie des conditions géologiques et des constantes de la couche aquifère, et les essais de pompage la saisie des caractéristiques hydrogéologiques telles que volume de pompage, couches aquifères, qualité de l'eau, etc.

Voici la méthode utilisée pour les essais de pompage:

- a) Essais de pompage échelonnés: On a divisé le volume de pompage en 4 niveaux, et étudié le volume de pompage à chaque niveau et les conditions de rétablissement.
- b) Essai de pompage en continu: On a pompé au volume maximum pendant 12 heures, et étudié la baisse du niveau d'eau.
- c) Essai de rétablissement: On a étudié les conditions de rétablissement du niveau d'eau après l'essai de pompage continu.

1) Ambohitsy (Forage n° F-1)

L'étude par sondage a eu lieu à environ 20 m du puits à moulin à vent d'Ambohitsy. A une profondeur de 9,43 m, la couche inférieure de grès à gros grains quaternaires était répandue, et le creusement a été arrêté à 10,11 m. Du sable à gros grains était principalement répandu à partir de 1,6 m, mélangé d'argile blanc. Le niveau des eaux souterraines est de 1,04 m (Voir carte des couches de sondage n°1, documents annexes)

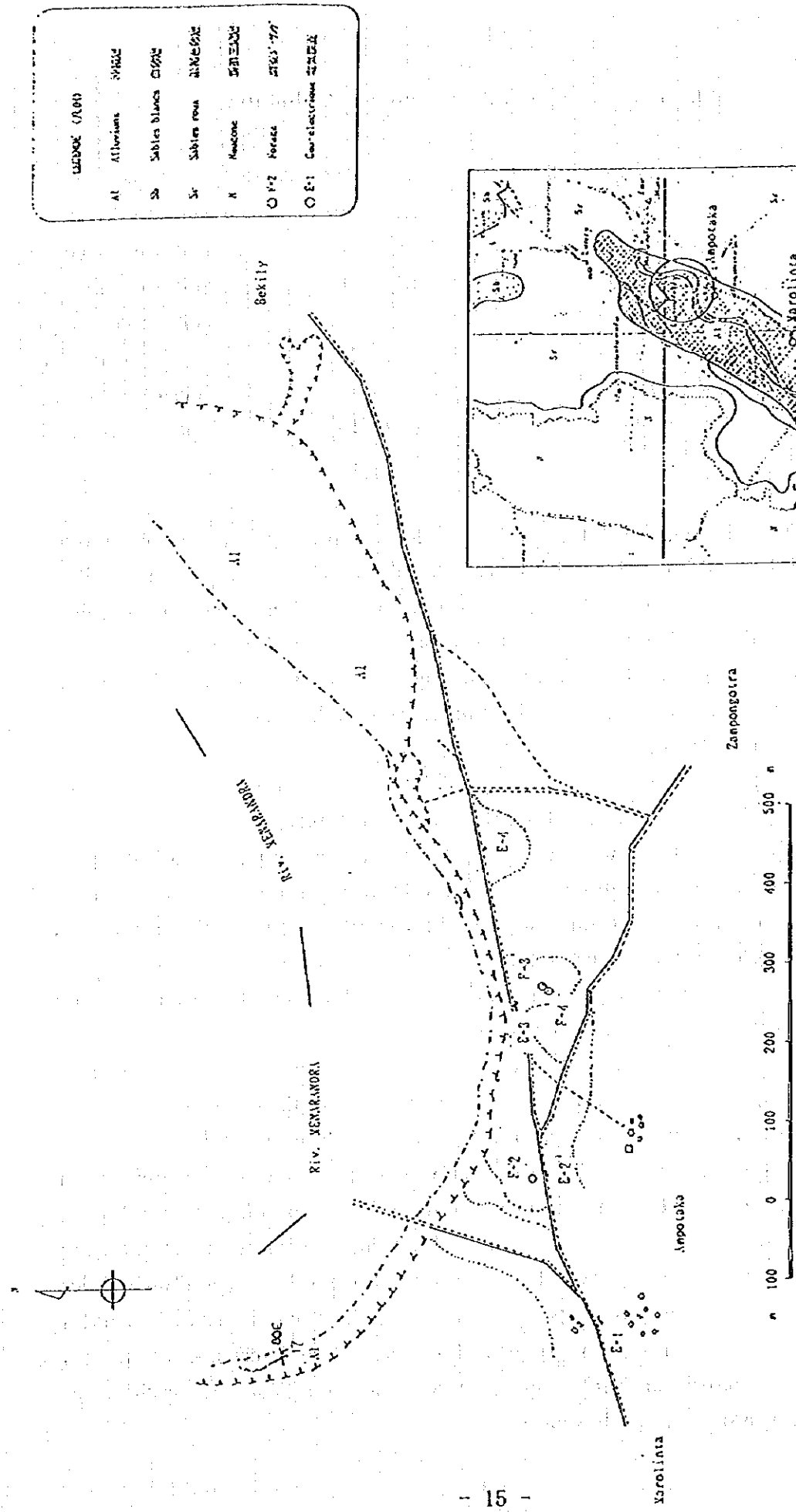
Les essais de pompage ont été faits sur le puits en tant que puits d'observation. Les résultats des essais de pompage figurent sur les listes de données des essais de pompage et sous forme de carte d'analyse en fin de volume (voir les documents

annexes).

En pompage échelonné, le niveau d'eau a baissé en pompant plus d'environ  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , et on a confirmé l'approvisionnement en eau souterrainé depuis la couche inférieure. (Voir la courbe Sw-Q de la carte d'analyse des essais de pompage échelonnés à Ambohitsy).

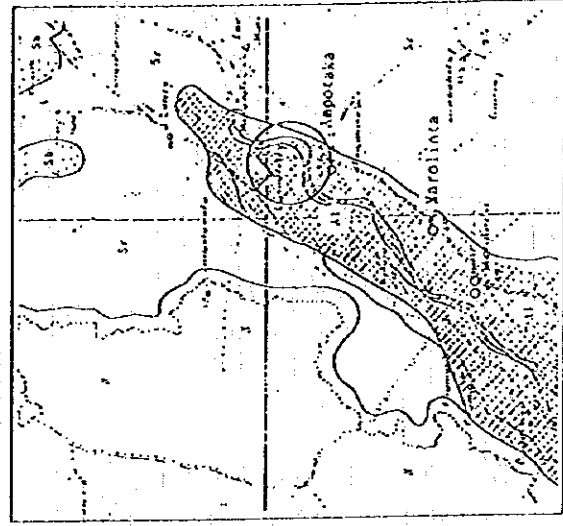
En pompage en continu, le niveau d'eau a baissé environ 10 minutes après le début des essais (voir la courbe Sw-t (Jacob) de la carte d'analyse des essais de pompage en continu à Ambohitsy); mais dans l'essai de rétablissement après la fin du pompage continu, le niveau d'eau rétabli a été environ 3 cm plus élevé que celui au début de l'essai (voir les listes de données des essais de rétablissement à Ambohitsy en annexe), ce qui a permis de confirmer l'approvisionnement depuis la couche inférieure.

Les constantes du puits obtenues par les essais de pompage continus et l'essai de rétablissement sont comme suit.



LEGENDE (A.00)

Al	Alluvions	砂礫
Sr	Sables blancs	白砂
Sr	Sables roux	赤砂
K	Massifs	岩塊
○ F-2	Fosse	窪
○ E-1	Constructions	建物



Carte Géologique ANPOTAKA (1958)  
Echelle : 1/200 000

Figure 2-3 Résultats de l'étude sur place à la rivière Menarandra

Tableau 2-4 Constantes du puits d'Ambohitsy

Formule	Indice d'infiltration (T)	Indice de réserve (S)	Remarques
Theis	0,651 m <sup>3</sup> /min./m	2,17 x 10 <sup>-1</sup>	Puits d'observation
Stallman	0,519	1,61 x 10 <sup>-1</sup>	Puits d'observation
Jacob	0,670	1,13 x 10 <sup>-1</sup>	Puits d'observation
Jacob	0,523		Puits de pompage
Méthode de recouvrement	0,490	5,51 x 10 <sup>-3</sup>	Puits d'observation
Méthode de recouvrement	0,325		Puits de pompage
Hantush-Jacob	0,489	1,59 x 10 <sup>-1</sup>	Puits d'observation
Moyenne	0,525	6,56 x 10 <sup>-1</sup>	

On a obtenu les résultats d'étude suivants: volume de pompage max. toléré 30 m<sup>3</sup>/h, indice d'infiltration 0,525 m<sup>3</sup>/min./m, indice de réserve 6,56 x 10<sup>-1</sup>. Mais aux essais de pompage échelonnés, on a confirmé l'approvisionnement en eau souterraine depuis la couche au-dessous (couche de grès à gros grains quaternaire, réserve d'eau salée) pour un pompage de plus de 8 m<sup>3</sup>/h, mais comme l'emplacement se trouve près de la mer, et il y a un risque de salinisation dans l'avenir. Le volume de pompage max. toléré a été estimé à moins de 8 m<sup>3</sup>/h.

2) Ampotaka (Forages n° F-2, F-3, F-4 des documents annexes)

Pour l'étude par sondage, on a creusé 3 puits aux environs d'Ampotaka (dont 1 puits d'observation pour les essais de pompage). La couche superficielle est essentiellement composée de grès à gros grains, dans laquelle s'insèrent 2 couches d'argiles, et vers 20 m de profondeur, on trouve la couche d'argile noir inférieure. Le niveau des eaux souterraines est de 6 à 7 m par rapport au lit de la rivière (voir les cartes des couches n°2, 3 et 4 des documents et la section géologique).

Le sondage n°3 a été utilisé comme puits de pompage, et comme puits d'observation du puits n°4 situé à 10 m. Les résultats des essais de pompage figurent dans les listes de données des documents avec la carte d'analyse. (voir les documents annexes)

Dans les essais de pompage échelonnés, on n'a pas atteint le volume d'eau limite, et on n'a pas pu voir d'approvisionnement en eaux souterraines depuis la couche inférieure. (voir la courbe Sw-Q de la carte d'analyse des essais de pompage échelonnés. Les essais de pompage continus (voir la courbe Sw-0t (Jacob) de la carte d'analyse des essais de pompage continus) et les essais de rétablissement (voir les listes de données d'essai de rétablissement) n'ont pas non plus permis de confirmer une modification indiquant l'approvisionnement depuis la couche inférieure. Voici les résultats des essais de pompage et de rétablissement.

Tableau 2-5 Constantes des puits d'Ampotaka

Formule	Indice d'infiltration (T)	Indice de réserve (S)	Remarques
Theis	1,726 m <sup>2</sup> /min./m	8,63 x 10 <sup>-3</sup>	Puits d'observation
Stallman	2,047	4,09 x 10 <sup>-3</sup>	Puits d'observation
Jacob	1,663	1,50 x 10 <sup>-3</sup>	Puits d'observation
Jacob	1,220		Puits de pompage
Méthode de recouvrement	1,397	8,03 x 10 <sup>-3</sup>	Puits d'observation et puits de pompage
Moyenne	1,558	5,56 x 10 <sup>-3</sup>	

Suite aux essais, on a obtenu un volume maximum toléré de 78 m<sup>3</sup>/heure, un indice d'infiltration de 1,558 m<sup>2</sup>/min./m et un indice de réserve de 5,56 x 10<sup>-3</sup>. MIEM (1976) a effectué des sondages et essais de pompage sur la même couche d'alluvions à environ 800 - 1.000 m en amont de la zone du projet. Dans cette étude, la couche aquifère est comme dans cette étude une couche de sable à grains moyens insérant 2 couches d'argile, et les essais de pompage échelonné, de pompage continu et de rétablissement ont respectivement donné les résultats suivants: volume de pompage max. 113 m<sup>3</sup>/h, indice d'infiltration 90 m<sup>2</sup>/min./m (= 1,5 m<sup>2</sup>/min./m) et indice de réserve de 0,05 ont été obtenus comme constantes des différents puits. Les constantes de l'étude de MIEM (1976) ressemblent à celles de cette étude, et on a jugé pertinent d'utiliser la constante de puits obtenue par cette enquête comme constante hydraulique de la couche d'alluvions de la zone d'Ampotaka.

#### D. Dimensions adaptées selon le volume de prise nécessaire

La prise d'eau d'Ampotaka ayant pour couche aquifère la couche d'alluvions, une prise d'eau de type puits est possible. Le lit de la rivière a une largeur de 500 à 600 m aux environs d'Ampotaka, la rive gauche (du côté d'Ampotaka) est en pente raide d'une altitude de 6 à 7 m, et le côté droit se compose de surfaces planes à 2 niveaux, de 3 et 6 m d'altitude. Le lit de la rivière est largement recouvert de sable délié, où affleure la couche d'argile alluvionnaire. La couche d'alluvions est largement répandue sur la rive gauche, alors que sur la rive droite, des roches quaternaires sont réparties dans les parties relativement basses et forment des surfaces planes supérieures. (Voir la Figure 2-4 Carte suivante section géologique à Ampotaka dans le cours moyen de la rivière Menarandra). L'étude par sondage a montré que sur la couche d'argile relativement dure en profondeur, il y avait sur la rive gauche une couche épaisse d'environ 20 à 25 m d'alluvions. Cette couche se compose principalement de sable, insère 1 à 2 couches d'argile et comprend des couches

de pierraille et de mélange argile-sable.

D'après les essais de pompage, les constantes des puits dans la couche d'alluvions de cette zone sont un débit maximum de  $78 \text{ m}^3/\text{h}$ , un indice d'infiltration de  $1,56 \text{ m}^2/\text{min}/\text{m}$  et un indice de réserve de  $5,56 \times 10^3$ . Si l'on suppose un taux de sécurité de 0,6 pour le volume de prise utilisable, on a estimé la prise d'eau à: volume de pompage max. toléré  $78 \text{ m}^3/\text{jour} \times 0,6$  (taux de sécurité) =  $46,8 \text{ m}^3/\text{heure} = 1.100 \text{ m}^3/\text{jour}$ .

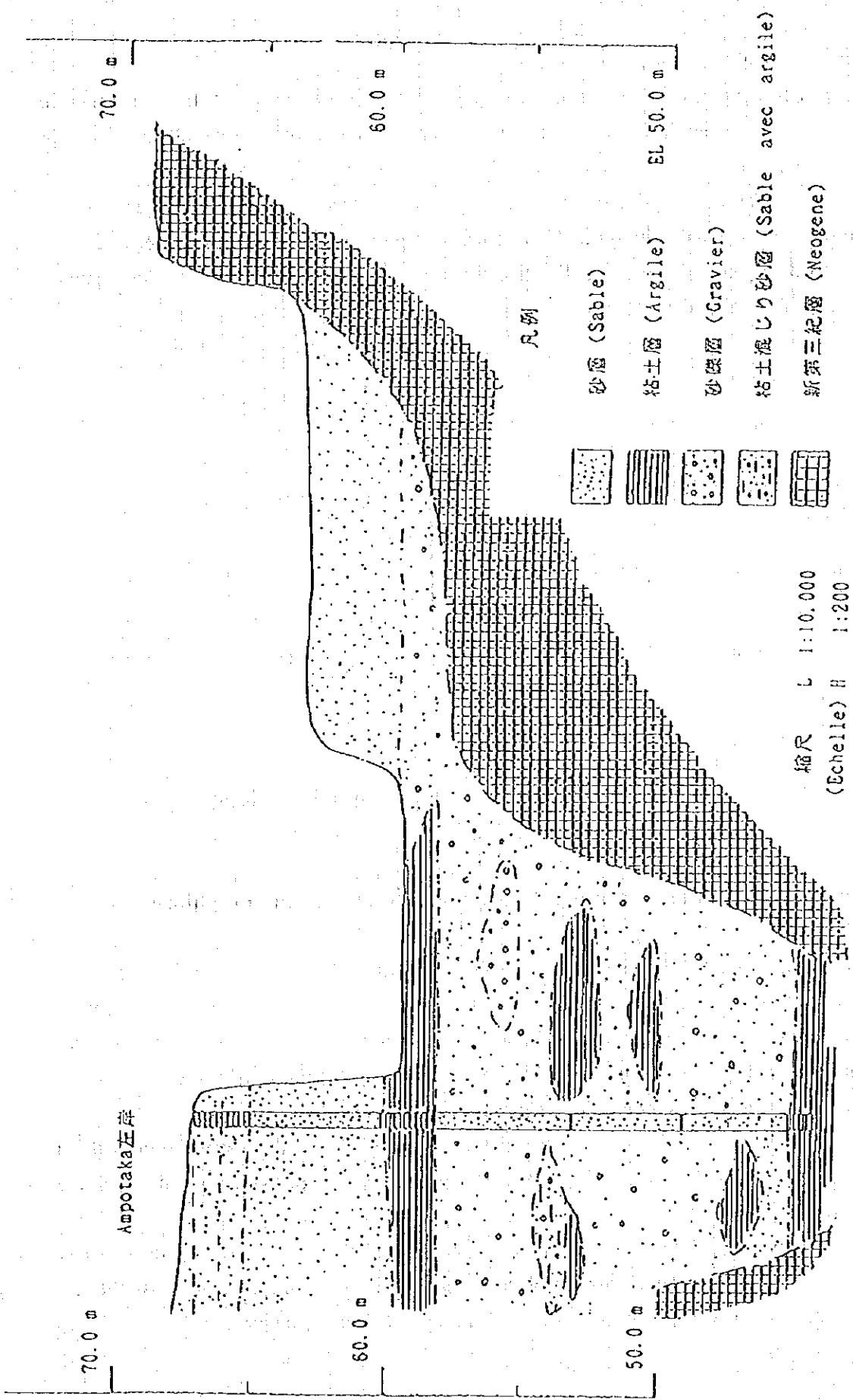


Figure 2-4 Carte suivante section géologique à Ampotaka dans le cours moyen de la rivière Menarandra

### (3) Etude de la qualité de l'eau

Comme beaucoup des eaux de la zone de l'étude sont des eaux très conductrices à teneur en sel, on a fait une étude de la qualité de l'eau en jugeant d'après sa conductivité et par analyse simple des ions de chlore, et les échantillons ont été analysés scientifiquement par la méthode standard. La relation entre la conductivité et les ions de chlore est indiquée dans la Figure 2-5. Quand la conductivité dépasse 2.000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans la zone de l'étude, la densité des ions de chlore a dépassé les directives l'OMS (indiquées dans le tableau des résultats des essais de qualité d'eau).

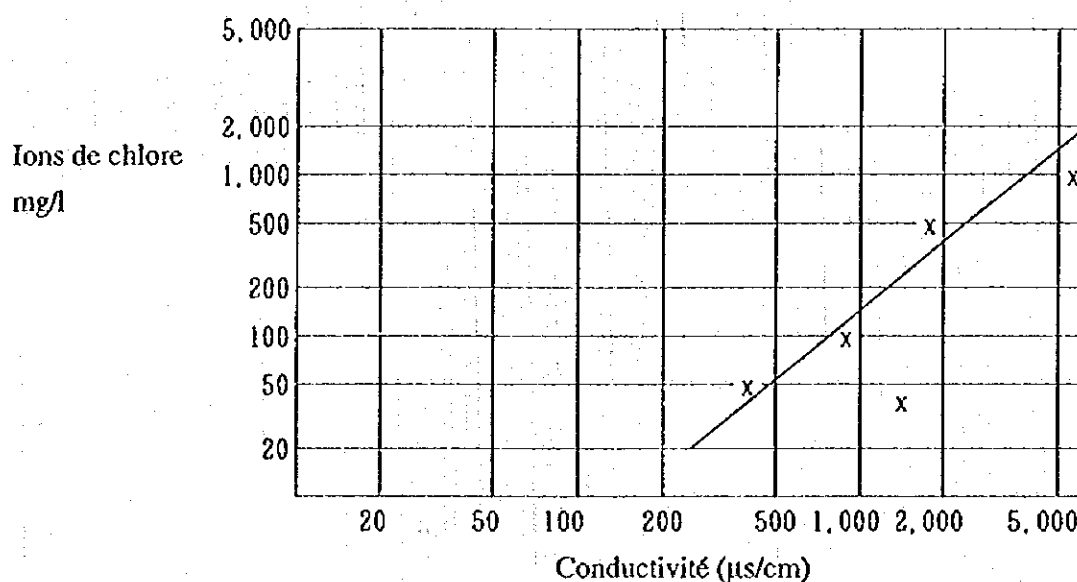


Figure 2-5 Relation entre la conductivité et les ions de chlore

Si l'on estime la qualité de l'eau en comparant les résultats des essais de qualité d'eau des échantillons (Tableau 2-6) et les directives de l'OMS, les eaux de surface de la rivière Manambovo ont été jugées inadaptées à la consommation parce que les deux études faites en juin et novembre 1995 ont révélé à chaque fois que le sodium et les ions de chlore, autrement dit la teneur en sel était trop élevée.

Quant à la teneur en sel des échantillons des eaux de surface et des eaux infiltrées de la rivière Menarandra à Ampotaka, elle était potable même pendant la saison sèche (novembre).

Pour les eaux de surface de la rivière Menarandra, on a fait des mesures de COD et d'oxygène dissous lors des essais sur place, ce qui a permis de confirmer la possibilité du traitement de l'eau. Ces résultats sont également indiqués dans le tableau.



Tableau 2-6 Analyse de la qualité de l'eau (1) Juin 1995

Echantillon Item	Manambovo (Tsihombe)	Tsihombe puits d'Ambohitsy	Menarandra (Ampotaka)	Beloha puits d' Ampotaka	Mandrare Amboasary	Grandes lignes de l'OMS
pH	7,8	8,5	7,6	7,8	8,2	-
Conductivité $\mu\text{s/cm}$	1.900	1.400	400	400	450	-
Calcium $\text{mg/l}$	141	54,4	61,2	51,2	44,0	-
Magnésium $\text{mg/l}$	6,3	2,9	2,9	2,9	4,9	-
Sodium $\text{mg/l}$	256	28,5	85,4	32,4	25,5	200 >
Ions d'acide sulfurique $\text{mg/l}$	80,0	3,0	6,0	5,0	5,0	250 >
Ions de chlore $\text{mg/l}$	497	42,6	128	49,7	63,9	250 >
Ions de carbonate d'hydrogène $\text{mg/l}$	212	198	214	183	122	-
Fer total $\text{mg/l}$	< 0,01	0,01	0,6	< 0,01	0,03	0,3 >

Tableau 2-6 Analyse de la qualité de l'eau (2) Novembre 1995

Echantillon Item	Manambovo (Tsihombe)	Tsihombe puits d'Ambohitsy	Menarandra (Ampotaka)	Beloha puits d' Ampotaka	Mandrare Amboasary	Grandes lignes de l'OMS
pH	7,7	7,4	7,2	7,5	7,5	-
Conductivité $\mu\text{s/cm}$	5.100	1.900	900	500	1.100	-
Calcium $\text{mg/l}$	98,0	89,6	48,1	35,2	59,6	-
Magnésium $\text{mg/l}$	114	51,8	21,6	11,9	24,5	-
Sodium $\text{mg/l}$	664	207	131,1	61,0	124	200 >
Ions d'acide sulfurique $\text{mg/l}$	240	50,0	40,0	15,0	40,0	250 >
Ions de chlore $\text{mg/l}$	1.140	273	106	63,9	195	250 >
Ions de carbonate d'hydrogène $\text{mg/l}$	383	529	375	200	197	-
Fer total $\text{mg/l}$	< 0,05	0,6	0,1	< 0,02	0,02	0,3 >
COD $\text{mg/l}$				< 2,0		
Oxygène dissous $\text{mg/l}$				6,5 (22 °C)		

Les résultats de l'étude des ressources en eau ont été résumés ci-dessous.

Les eaux de surface de la rivière Manambovo qui traverse le département de Tsihombe sont tarées pendant les 6 mois de la saison sèche, la qualité de l'eau fait problème même pendant la saison des pluies à cause de sa teneur en sel, ce qui l'a fait juger inadaptée comme source d'adduction d'eau.

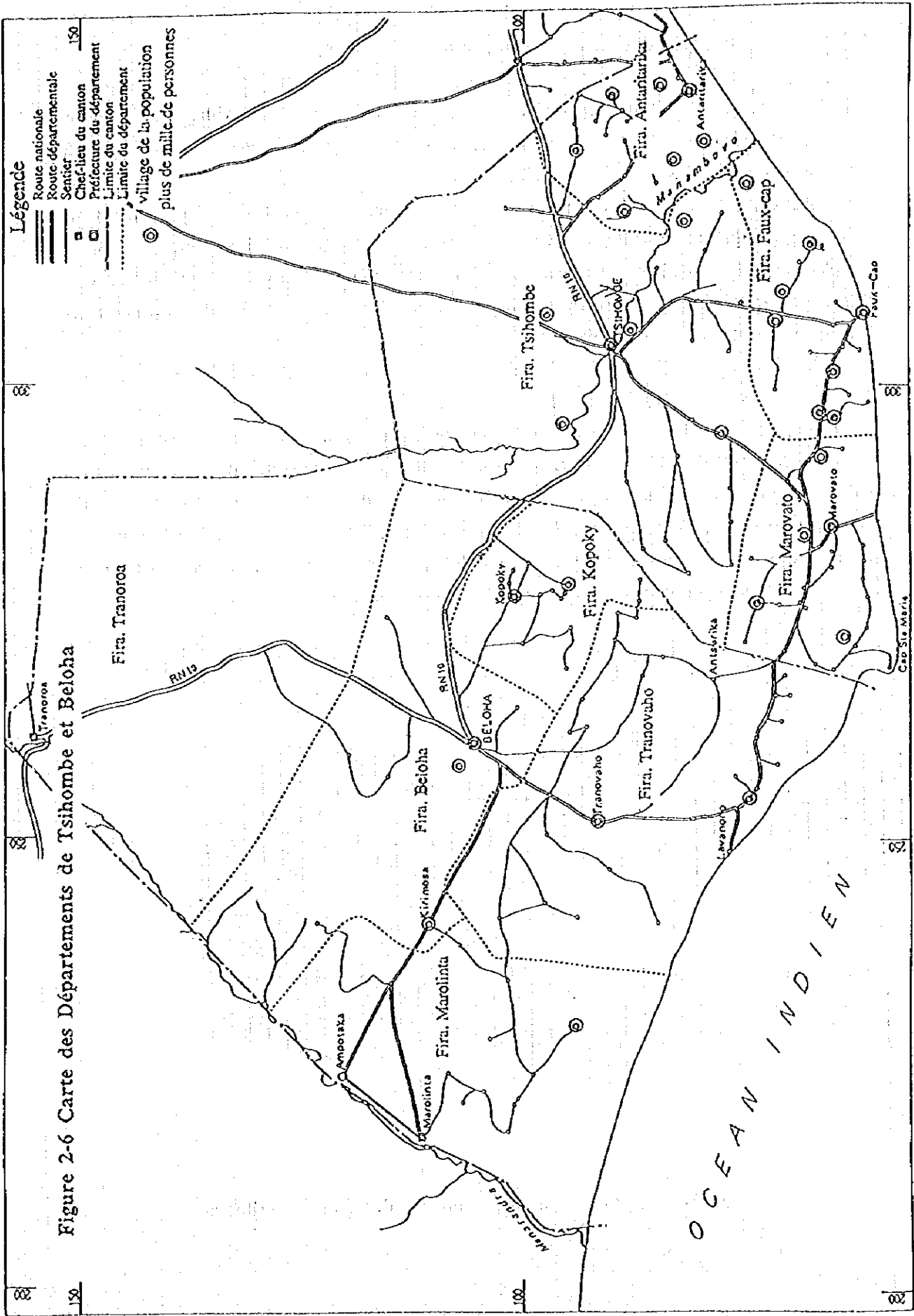
Dans la zone de Tsihombe, à Ambohitsy où il y avait une possibilité d'exploitation des eaux

souterraines, les essais de pompage ont révélé un débit inférieur à 8 m<sup>3</sup>/jour, ce qui ne permettra pas d'alimenter toute la zone.

A Ampotaka sur la rivière Menarandra, l'étude par essais de pompage des eaux infiltrées de la rivière Menarandra a montré que le débit et la qualité de l'eau étaient adaptés comme source d'eau du projet.

Cet emplacement est également proche d'une route départementale qui mène à Beloha, les conditions sont donc remplies même sur le plan géographique pour le transport de l'eau par canalisation ou camions citernes.

La conclusion est que les eaux infiltrées de la rivière Menarandra serviront de source unique pour la zone du projet.



## 2-2-2 Etude du transport de l'eau de la source jusqu'aux villages

On a limité les sources d'eau à Ampotaka, et on a donc étudié les bases et villages pour définir les méthodes de transport de l'eau vers les différentes bases de chaque zone et la méthode de distribution de l'eau des bases vers les villages.

Tsihombe et Beloha sont les centres administratifs respectivement des départements de Tsihombe, comprenant 4 cantons, et de Beloha, comprenant 5 cantons. La Figure 2-6 indique l'emplacement des villages et la limite administrative des cantons. La figure indique les villages de plus de 1.000 habitants. Dans les deux départements, il y a beaucoup de villages importants le long de la route qui longe la côte Sud.

La distance entre Ampotaka, emplacement de la source d'eau, et Beloha, qui sera une base, est de 50 km, et jusqu'à Tsihombe de 55 km.

La Figure 2-7 indique la relation entre les villes de Beloha et Tsihombe, sources d'eau et bases, et les départements de Tsihombe et Beloha. Si le transport et la distribution de l'eau se font entièrement par camions citernes, la distance moyenne par voyage des camions citernes sera de 278 km (aller et retour) jusqu'aux villages du département de Tsihombe et de 174 km (aller et retour) jusqu'aux villages du département de Beloha, et la distance parcourue par les camions citernes sera très importante en fonction du volume d'alimentation.

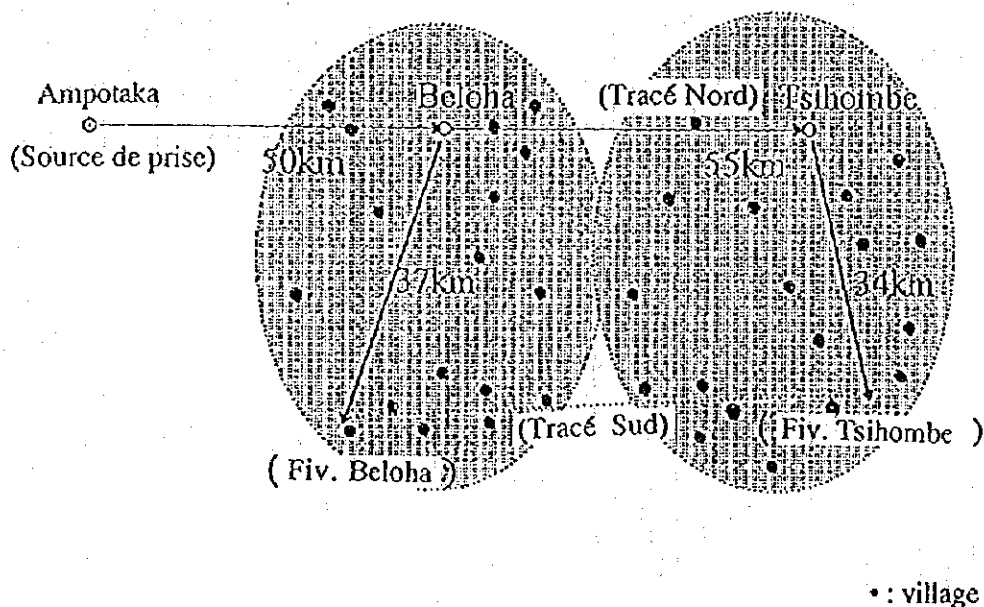


Figure 2-7 Distance entre la source d'eau et les villages

Si l'on indique la population et la distance de moyenne du chef-lieu de canton pour les villages marqués d'un point sur la Figure 2-7 par canton, on obtient ce qui suit.

**Tableau 2-7 Villages des Départements de Tsihombe et Beloha**

Zone		Population (personne)	Distance moyenne de la préfecture aux villages (km)
Département de Tsihombe	Canton de Tsihombe	15.254	21
	Canton de Faux-cap	15.637	47
	Canton de Marovato	8.619	48
	Canton de Antanitarika	11.297	38
	Total (moyenne)	50.807	(34)
Département de Beloha	Canton de Beloha	12.839	32
	Canton de Kopoky	6.975	39
	Canton de Tranovaho	9.852	39
	Total (moyenne)	29.666	(37) *
Total		80.437	-

(Source: Révision du Projet d'alimentation mondiale 1992)

[Etablissement des propositions de remplacement pour le transport des eaux]

Pour calculer la distance totale à parcourir par les camions citernes, on a établi une proposition de remplacement en supposant un volume d'alimentation (volume d'eau unitaire) de 10 litres pour les zones urbaines et 3 litres pour les zones rurales pour les 80.000 habitants de la zone du projet.

Proposition 1-1

Proposition pour l'alimentation totale par camions citernes, le transport principal de la source aux bases, et transport secondaire des bases aux villages

Proposition 1-2

Proposition de transport principal partiel par canalisation pour la distance de 45 km entre la source et Beloha, et le reste du transport principal Beloha - Tsihombe et le transport secondaire par camion citerne

Proposition 1-3

Proposition de transport principal total par canalisation de la source jusqu'à Tsihombe, pose de canalisations de transport entre Beloha et Tsihombe en utilisant la distance la plus courte de 108

km le long de la nationale au nord de la zone du projet (ci-après tracé nord), et transport secondaire par camions citernes

#### Proposition 1-3'

Transport jusqu'à Tsihombe par canalisation, mais passage de la canalisation Beloha - Tsihombe par Sampeza au sud de Beloha, soit 140 km (ci-après tracé sud) le long d'une route départementale, une zone très peuplée au sud de la zone du projet, et transport secondaire par camions citernes.

#### Proposition 2-1 de référence

La gestion du système d'Ambovombe est actuellement déficitaire. Pour relier les installations du projet au système d'Ambovombe, la proposition consiste à envoyer de l'eau par canalisation de la station d'épuration d'Amboasary à Tsihombe, et à assurer l'alimentation par camions citernes.

#### Proposition 2-2 de référence

La proposition consiste à alimenter une partie du département de Tsihombe avec les eaux souterraines à Amboshitsy en aval de la rivière Manambovo dans le département de Tsihombe, et comme la quantité d'eau n'est pas suffisante, de compléter avec la source d'Ampotaka.

[Distance à parcourir par les camions citernes dans les propositions de remplacement]

La capacité du réservoir d'un camion citerne étant de  $6 \text{ m}^3$ , on obtient le nombre de déplacement des camions en divisant par 6. On a calculé la distance à parcourir par les camions citernes dans les propositions de remplacement ci-dessus en considérant la distance jusqu'aux cantons multipliée par la distance aller-retour sur les intervalles de transport.

La distance parcourue entre la base et le village, qui est le transport secondaire, est fonction de la distance moyenne depuis la préfecture du département du Tableau 2-7. La distance calculée parcourue par jour et par camion citerne dans toute la zone du projet pour les propositions de remplacement est comme suit. La décomposition du calcul de la distance a été joint en annexe sous forme de tableau de distance parcourue estimée des camions citernes.

**Tableau 2-8 Distance parcourue par jour par les camions citernes les propositions de remplacement**

	Volume d'eau unitaire des zones rurales (l/jour)	Distance parcourue par les camions citernes (km/jour)
Proposition 1-1	5	16.500
	3	10.500
Proposition 1-2	5	9.700
	3	6.000
Proposition 1-3	5	4.500
	3	2.500
Proposition 1-3'	5	3.300
	3	1.600
Proposition 2-1	5	6.600
Proposition 2-2	5	5.400
	3	2.900
Système d'Ambovombe	3,1 (estimation)	6.600 (réalisation)

[Calcul des frais de gestion-entretien pour les propositions de remplacement]

(1) Fondements du calcul des frais de gestion-entretien

Les frais de gestion du système d'Ambovombe en 1994 ont été de 425 millions comme indiqués au Tableau 2-9. Le prix de l'eau vendue correspond à 29% du revenu, et l'on dépend d'une subvention d'Etat de 300 millions de FMG, qui représente 71%. Les frais d'achat de carburant, pneus et huiles pour les camions citernes représentent la majorité des dépenses, plus de 80%, ensuite viennent les frais de personnel des quelque 55 employés (personnel de la section alimentation en 95), 17%.

**Tableau 2-9 Bilan des activités d'alimentation**

Unité: FMG

Dépenses		Revenus	
Achat de carburant	171.533.206	Montant de la vente de l'eau	123.801.727
Achat de pièces, pneus, etc.	123.611.097	Subvention	301.260.053
Achat d'autres éléments, ciment, etc.	48.061.200		
Frais d'articles de bureau	1.898.960		
Frais de commande à l'extérieur, frais de voyage d'affaires	1.041.166		
Salaires, bien-être et santé, sécurité sociale	78.916.152		
<b>Total</b>	<b>425.061.781</b>	<b>Total</b>	<b>425.061.781</b>

(a) Frais d'alimentation

Les frais d'achat annuels pour le système d'Ambovombe ci-dessus sont de 330 millions FMG; si on les divise par la distance annuelle parcourue de 580.000 km, on obtient l'unité de transport par camion, 570 FMG/km. Par ailleurs, la distance maximale parcourue par un camion dans une journée est maximale en septembre avec 170 km/camion.

(b) Frais de gestion

Les frais de personnel sont de 4.780 FM/jour si l'on compte 300 jours ouvrables annuels, et si l'on compte 50% de frais connexes, cela fait au total 7.170 FMG.

(c) Frais d'épuration et de transport d'eau

Le coût du gazoil est de 1.300 FMG/litre (septembre 1995). On calculera le volume consommé et le prix unitaire du carburant après conception approximative des pompes, groupes électrogènes, etc. à installer.

(2) Frais de gestion-entretien des propositions de remplacement

Le Tableau 2-10 indique les frais de gestion (unité d'alimentation) pour fournir 1 m<sup>3</sup> d'eau et le nombre de camions citernes nécessaires dans les propositions de remplacement.



Tableau 2-10 Document pour l'étude du coût de l'alimentation

Source d'eau et méthode d'alimentation (voir le projet annexé)	Prémisses	Problèmes	Unité de base d'alimentation et volume alimenté		Distances parcourues par les camions clients (km)	Frais de distribution par camions clients			Frais de gestion (FMC/m <sup>3</sup> )	Prix unitaire total de l'alimentation (FMC/m <sup>3</sup> )	Nombre de camions clients nécessaires (unité)	
			Unité de base d'alimentation (l/par/j)	Volume d'alimentation (m <sup>3</sup> /j)		Unité de transport (FMC/km)	Frais de distribution (m <sup>3</sup> ) (FMC/m <sup>3</sup> )	Prix unitaire de la distribution (FMC/m <sup>3</sup> )				Frais d'opération et de transport de l'eau (FMC/m <sup>3</sup> )
			A	B	C	D	E-D+A	F	G	H=I+G	I=H/150	
<b>1. Source unique d'Ambobombo</b>												
1-1 Transport et distribution de l'eau par camion client de la station d'épuration aux villages	La population à alimenter est de 30.000 habitants. Les camions clients seront de 6 tonnes. Les conducteurs de camion sont des employés.	Les camions clients doivent être remplacés après un kilomètre de 200.000 km, ce qui fait des frais importants à long terme. La distance de transport d'eau comme parcourus secondaire est longue, il faudra beaucoup de camions et de conducteurs.	Ville 10 Rural 5	431	16.500	570	9.400	21.800	720	2.100	24.600	110
1-2 Transport de la station d'épuration à Bejaha par canalisation, puis ensuite transport et distribution par camions (longueur des canalisations: 48 km)	Temps de fonctionnement variable des installations d'épuration et de transport d'eau selon le volume saisonnier requis. Possibilité de distribution à 3 emplacements entre Ambobombo et Bejaha (3, 6, 19 et 42 km de la source).	Comme parcourus principal, il faudra faire la liaison Bejaha-Tahombe (55 km), et il faudra aussi beaucoup de camions et de conducteurs. Il faudra un gestionnaire aux 2 emplacements d'installation de pompe et aux 2 bassins de distribution.	Ville 10 Rural 5	431	9.700	570	5.530	12.300	2.020	1.330	16.200	65
1-3 Transport de l'eau par canalisation pour tout le parcourus principal, distribution par camion (longueur des canalisations: 108 km)	Temps de fonctionnement des installations identique. En plus des emplacements ci-dessus, possibilité de distribution à 2 emplacements à 15 et 45 km de Bejaha	La longueur des canalisations est importante, il faudra des gestionnaires aux 2 relais de pompe et aux 5 bassins de distribution. Peu de gens habitent le long des canalisations. Il y a des rochers sur le parcourus, et les conditions doivent particulièrement être prises en compte.	Ville 10 Rural 5	431	4.500	570	2.570	5.950	2.600	730	9.300	30
1-4 Proposition modifiée pour le même parcourus Tract 341 (longueur des canalisations 140 km)	En plus de 1-2, possibilité de distribution à 5 emplacements entre Bejaha et Tahombe (à 15, 31, 51, 59 et 82 km de la source)	La longueur des canalisations est la plus importante. Beaucoup de gens habitent sur le parcourus, mais comparé à 1-3 ci-dessus, les populations de parcourus sont importantes. Il faudra un gestionnaire et 3 bassins de stockage de rejets et 8 bassins de distribution.	Ville 10 Rural 5 Village 10 Rural 3	284	2.500	570	1.470	5.020	2.530	810	8.360	17
<b>2. Références</b>												
2-1 (supplément) Transport de l'eau par canalisation sur les 102 km d'Ambobombo (station d'épuration existante) et Ambobombo-Tahombe.	On installera des pompes de 45 kW à 2 rivières et des pompes de 30 kW et 55 kW à chaque niveau pour les 102 km de l'eau par-dessus une colline de 280 m de hauteur. Camion client pour Tahombe-Bejaha (35 km).	La longueur des canalisations est la plus importante. Beaucoup de gens habitent sur le parcourus, mais comparé à 1-3 ci-dessus, les populations de parcourus sont importantes. Il faudra un gestionnaire et 3 bassins de stockage de rejets et 8 bassins de distribution.	Ville 10 Rural 5	600 (284 pour la zone du projet)	6.600	570	3.762	6.270	5.310	710	12.490	44
2-2 (Proposition de plusieurs sources) Transport par camion pour le transport et la distribution avec comme source d'eau l'eau de surface de la rivière Ampoussa et un puits à Ambobombo	Le volume d'eau max. du puits d'Ambobombo est de 197 m <sup>3</sup> /jour, et on alimentera Tahombe par ce puits. Le volume d'eau manquant à Bejaha et Tahombe sera fourni d'Ampoussa.	Le puits d'Ambobombo se trouve dans la zone géologique à chlorure de la rivière Marabovo. Comme il y a ce sous des chlorures, on se pose la question de savoir si Tahombe peut servir de source d'eau permanente à long terme de l'opération de Tahombe.	Ville 10 Rural 5 Village 10 Rural 3	432	5.400	570	3.078	7.125	2.800	850	10.800	36
Comparaison Situation actuelle à Ambobombo (transport entretenu) (à part comme source d'eau l'eau de surface de la station d'épuration jusqu'à la ville)	Le prix unitaire est fonction des frais d'entretien sur la base du volume d'eau annuel (50.000 m <sup>3</sup> /jour). La population alimentera est estimée à 20.000 personnes en ville et 47.000 personnes dans les villages (tableau des villages alimentés de l'AES).	Le prix unitaire d'alimentation (50.280 FMC/m <sup>3</sup> ) dépasse le prix de vente (20.000 FMC). Il faut une subvention annuelle de 300 millions de FMC de l'Etat. Augmentation des frais d'eau à l'étude. L'eau est bon marché en ville, une augmentation est possible.	Ville 5,3 Rural 20.000 pers. Village 3,1 Rural 20.000 pers.	169	1.710	574 (valeur réelle)	982	5.810	2.560	8.370 (valeur réelle)	17	

Note: \* Salaire moyen des employés FMC/personne/jour

### 1) Différence des méthodes de transport secondaire de l'eau

Dans la proposition 1-1, le transport de l'eau se fait par camion sur le parcours principal et secondaire, dans la proposition 1-2, une partie du transport secondaire jusqu'à Beloha se fait par canalisation.

Le prix unitaire d'alimentation de la proposition 1-1 est de 23.800 à 24.600 FMG, et la proposition 1-2 avec canalisation partielle, il est quand même de 15.000 à 16.000 FMG, ce qui dépasse de loin les frais de gestion-entretien du système d'Ambovombe.

Si l'on prolonge les canalisations jusqu'à Tsihombe comme dans les propositions 1-3 et 1-3', le prix unitaire d'alimentation est de 7.000 à 9.000 FMG, soit environ la moitié de la proposition 1-2.

Dans ce cas, en plus de la réduction des frais de gestion-entretien, bien que les frais de pose des canalisations soient supérieurs à ceux de fourniture des camions, le nombre de camions citernes nécessaires sera réduit de 20 à 30 par rapport au nombre de la proposition 1-2. De plus, la vie de service des canalisations étant de 4 à 5 fois supérieure à celle des camions, la propositions de canalisation semble pertinente même du point de vue de l'investissement initial.

### 2) Différence de tracé des canalisations

Le prix unitaire d'alimentation avec le tracé de détour nord de la proposition 1-3 est de 8.400 à 9.400 FMG, et de 6.800 à 8.500 FMG pour le tracé sud, qui est la proposition la moins chère.

En comparaison, le prix unitaire d'alimentation est de 8.370 FMG pour le système d'Ambovombe, ce qui correspond pratiquement au prix unitaire pour 5 litres par jour dans les zones rurales de la proposition 1-3'.

### 3) Proposition de référence

Pour la proposition 2-1 qui prévoit l'envoi d'eau de la station d'épuration du système d'Ambovombe à Tsihombe, qu'on a étudiée parce que Tsihombe se trouve pratiquement au milieu de la rivière Mandrare à l'est et de la rivière Menarandra à l'ouest, les canalisations devront passer une colline avec différence de niveau de 270 m, ce qui fera augmenter les frais généraux du transport de l'eau et augmentera le prix unitaire d'alimentation de 30% par rapport à Ambovombe.

La proposition 2-2 qui prévoit le développement du forages d'Ambohitsy étudié dans l'étude des sources, comme source partielle de la zone de Tsihombe, a un prix unitaire proche de celui d'Ambovombe, mais les investissements initiaux feront doubler la station de pompage-station d'épuration d'Ambohitsy et la station d'épuration d'Ampotaka, ce qui ne semble pas pertinent.

Par ailleurs, pour l'utilisation de la rivière Menarandra comme source, on a étudié

Tranoroa à 61 km au nord de Beloha, en dehors d'Ampotaka, mais l'étude sur place a révélé que la prolongation des canalisations devrait se faire à environ 40% dans une zone à roches affleurantes, ce qui laisse prévoir des frais de construction importants, aussi l'étude détaillée a-t-elle été interrompue.

Voici maintenant le résumé de l'étude abrégée des méthodes de transport de l'eau.

On a défini une valeur unitaire d'alimentation pour la population objet du projet d'alimentation et établi des propositions de remplacement pour le transport de l'eau pour pouvoir calculer la distance totale à parcourir par les camions citernes. On a calculé le prix unitaire d'alimentation pour les différentes propositions, et la méthode de transport principal par canalisation s'est révélée efficace pour la réduction au minimum des frais de gestion-entretien des installations du projet.

Il y a deux tracés pour les canalisations de transport principal: le tracé nord qui relie de la manière la plus courte les villes et le tracé sud sur lequel se trouve des villages à population importante. Le tracé sud a été le seul assurant un prix unitaire d'alimentation inférieur à celui du système d'Ambovombe.

### 2-2-3 Etude concrète des méthode de transport d'eau des installations du projet

On a décidé d'utiliser des canalisations pour le transport de l'eau depuis la source, et le tracé sud a été considéré le mieux adapté, et l'on a étudié ici l'installation de bassins de distribution d'eau et leur nombre, l'affectation et la distance parcourue par les camions citernes par bassin d'alimentation, et la station de pompage intermédiaire pour l'envoi d'eau sur le tracé sud, pour assurer une alimentation rationnelle par camions citernes.

#### (1) Projet de bassins de distribution pour l'alimentation des villages par camions citernes

On a défini une installation des bassins d'alimentation qui assureront le complément d'eau des camions citernes et l'alimentation des habitants de manière idéale par rapport au tracé des canalisations. Il faudra affecter un gestionnaire chargé à la fois des opérations d'alimentation aux bassins de distribution et de la gestion de la collecte des frais d'eau. Comme les villages sont très éparpillés dans cette zone, les lieux d'affectation possibles sont limités.

Il y a 8 emplacements possibles sur le tracé sud entre la station d'épuration d'Ampotaka et Tsihombe, de plus, le chef-lieu Antaritarika est aussi adaptée, mais elle ne sera pas reliée à la canalisation est du département de Tsihombe.

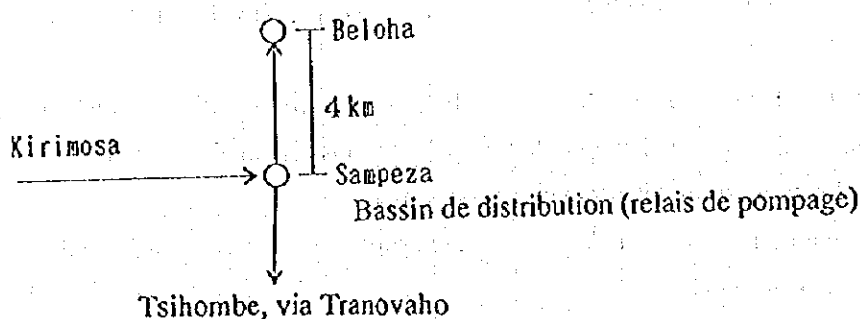
L'emplacement par rapport à Ampotaka le point de départ et les spécificités des villages sont indiquées ci-dessous.

Tableau 2-11 Bassins de distribution

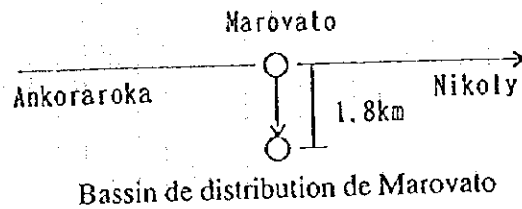
Emplacement prévu pour le bassin	Distance du point de départ Ampotaka ~ (km)	Raison d'installation du bassin de distribution et spécificités
Département de Beloha		
Kirimosa	18,5	Emplacement le plus haut jusqu'à Sampeza
Sampeza (Beloha)	41,5	Point de départ du tracé sud, relais de pompage
Tranovaho	56,0	Chef-lieu, altitude élevée
Soamanitra	65,9	Population importante au chef-lieu
Ankoraroka	90,5	Altitude élevée, descente naturelle
Département de Tsihombe		
Marovato	98,5	Altitude élevée, 1,5 km jusqu'à la canalisation
Nikoly	124,1	Altitude max. de 150 m par rapport à Tsihombe
Tsihombe	136,9	Point final des canalisations de transport, préfecture
Antaritarika	-	37 km à l'est de Tsihombe

1) Raccordement entre Sampeza et Beloha

Sampeza se trouve à 4 km du centre de Beloha, et la canalisation ira vers le sud à partir de Sampeza. Sampeza se trouve à un emplacement pratique pour le déplacement des camions citernes vers les villages des environs de Beloha, les villages de Kopoky y compris, et ces villages seront alimentés à partir du bassin de distribution de Sampeza. Pour la ville de Beloha, on installera une petite canalisation ramifiée qui sera reliée au puits de l'AES existant.



- 2) Raccordement de la banlieu de Marovato à l'intérieur de la ville de Marovato.  
Le chef-lieu Marovato se trouve à 1,8 km au sud du tracé de la canalisation de transport d'eau. L'alimentation sera assurée par canalisation ramifiée et un nouveau bassin de distribution sera installé en ville.



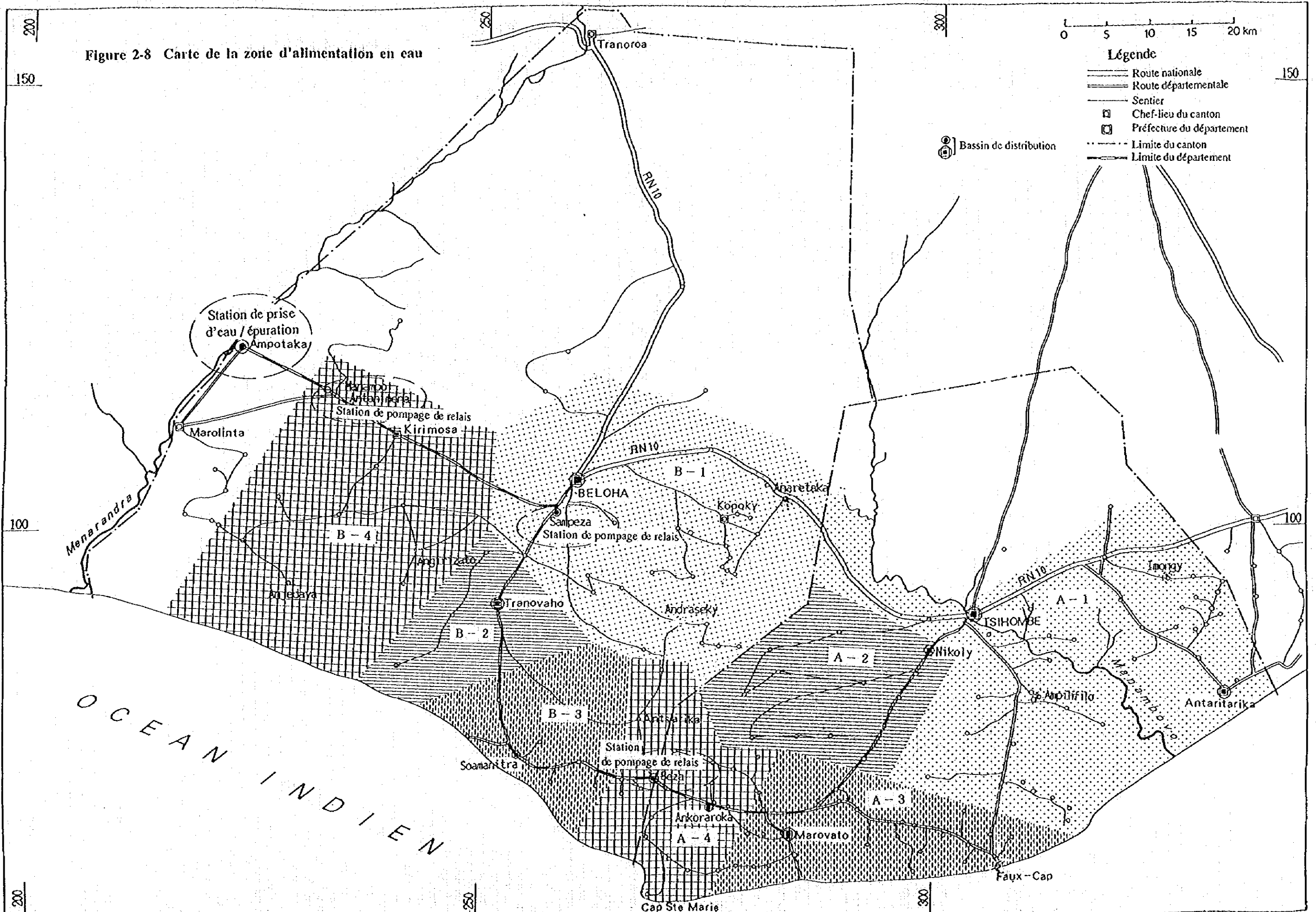
La Figure 2-8 définit les zones d'alimentation sur la base du réseau de routes de liaison rurales à partir des bassins de distribution.

Les Tableaux 2-12 (1) à 2-12 (3) indiquent la distance des bassins de distribution aux villages et le distance à parcourir par les camions citernes par zone d'alimentation.

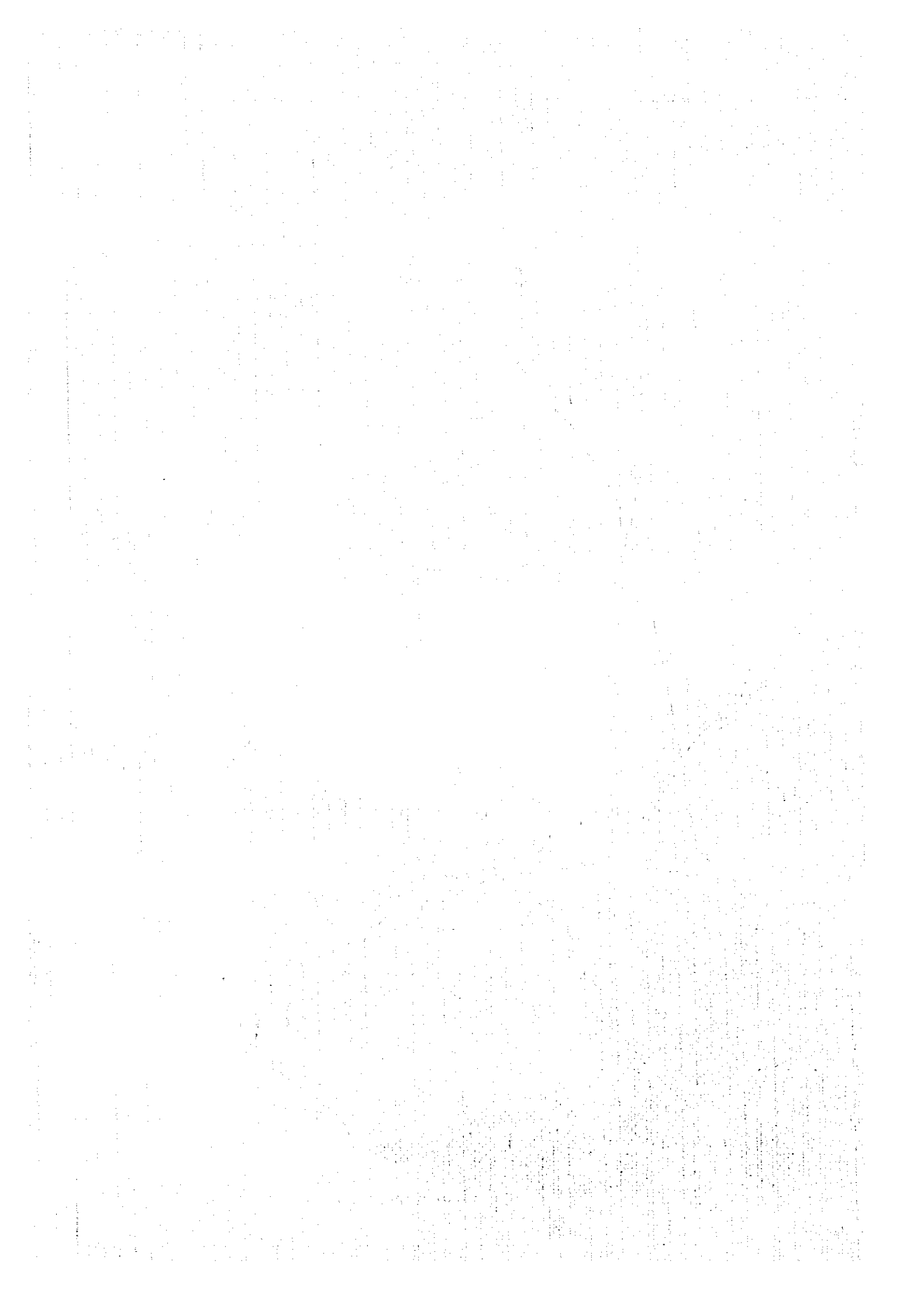




Figure 2-8 Carte de la zone d'alimentation en eau







THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PH.D. THESIS

BY

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

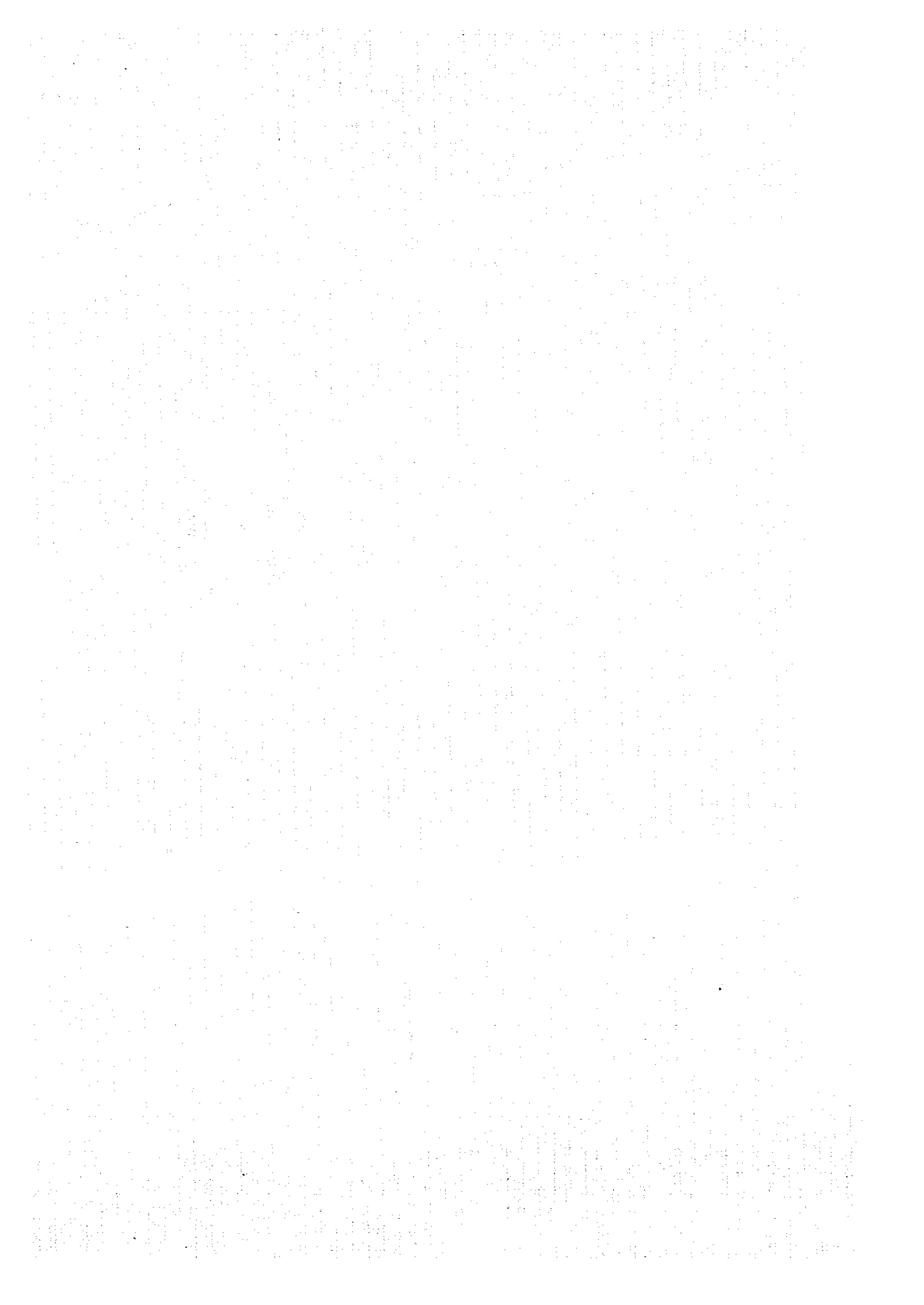


Tableau 2-12 (1) Distance des bassins de distribution aux villages

Département de Tsihombe				
No.	Canton de Tsihombe	Population (personne)	Distance des bassins de distribution aux villages (km)	Distance à parcourir par les camions citernes (km)
1	Tsihombe	3.049	0	0
2	Marohira Sud	618	20,7	13
3	Marotana	386	12,2	5
4	Tampototse	1.203	25,6	31
5	Tsidambo	630	14,6	10
6	Tamonto	992	7,3	8
7	Sakamasy	803	13,4	11
8	Sihanamena Marolava	1.110	2,4	3
9	Tesogno	926	22,0	21
10	Marakabo	1.515	0	0
11	Taivo	334	7,3	3
12	Anatsosa	653	4,9	4
13	Shanamena Marofohy	724	9,8	8
14	Anabovo Sud	156	11,0	2
15	Anabovo Nord	703	28,0	20
16	Ankililiry	605	24,4	15
17	Tesingo	207	21,0	4
18	Behasy	618	29,3	19
		15.254	15,5	173
Canton de Faux-cap				
1	Bema	1.902	34,2	65
2	Anovy Sud	864	31,7	28
3	Antavy Nord	1.737	22,0	39
4	Tsilindroka	1.755	30,5	54
5	Anjapaly	2.324	32,9	77
6	Ankara	1.695	34,2	58
7	Benonoka	2.613	32,0	58
8	Ambotry	1.182	18,3	22
9	Amanda II	1.565	23,2	37
		15.637	27,7	438
Canton de Marovato				
1	Marovato	1.543	0	0
2	Antseta	1.583	11,0	18
3	Soramena	1.366	2,4	4
4	Ambanikily	1.681	8,5	15
5	Betaimborake	2.446	4,9	12
		8.619	6,7	49

Tableau 2-12 (2) Distance des bassins de distribution aux villages

Département de Tsihombe				
No.	Canton de Antanitarika	Population (personne)	Distance des bassins de distribution aux villages (km)	Distance à parcourir par les camions citernes (km)
1	Antanitarika	1.446	45,1	67
2	Afotsifaly Est	673	46,4	32
3	Anjira	1.501	45,1	68
4	Ambatovato Imongy	1.291	39,0	51
5	Andramirava	1.173	25,6	31
6	Antsakoamanga	1.924	46,4	90
7	Talasky Bas	1.810	48,8	89
8	Fanarano	1.108	36,6	41
9	Bemozotse	371	30,5	12
		11.297	40,4	481

Département de Beloha				
No.	Canton de Beloha	Population (personne)	Distance des bassins de distribution aux villages (km)	Distance à parcourir par les camions citernes (km)
1	Atsimondrova	775	3,7	3
2	Afondralambo-Kirimoşa	2.700	0	0
3	Anbohimakdroso-Antreaky	600	23,2	14
4	Andriamanameriarivo	510	15,9	9
5	Anatrosa Beborodoky	204	31,7	7
6	Bemonto-Bevaro	729	11,0	8
7	Beloh	3.028	0	0
8	Namandriha	604	17,1	11
9	Sihanaboay-Tsitonta	507	11,0	6
10	Tetsiateika-Amboroneoky	544	22,0	12
11	Zambe-Beloha	1.036	3,7	4
12	Lampavaho-Ankirimiary	530	14,6	8
		12.839	15,4	82
Canton de Kopoky				
1	Afondravoatsy-Avaratra	748	14,6	11
2	Afondravoatsy-Atsimo	706	15,9	12
3	Bevolonbity	1.254	34,2	43
4	Tsinaha	1.250	19,5	25
5	Tedreatsy	431	17,1	8
6	Tambanivaro	648	26,8	18
7	Tamontopoty	607	31,7	20
8	Tamonto-II	647	43,9	29
9	Teza	684	36,3	25
		6.975	26,7	191

Tableau 2-12 (3) Distance des bassins de distribution aux villages

Département de Beloha				
No.	Canton de Tranovaho	Population (personne)	Distance des bassins de distribution aux villages (km)	Distance à parcourir par les canions citernes (km)
1	Hatakataka-Atsimo	701	13,4	10
2	Hatakataka-Avaratra	355	23,2	9
3	Lavaheloka-Afovomy	1.077	0	0
4	Lavaheloka-Avaratra	907	6,1	6
5	Marolava-Lapararo	417	13,4	6
6	Bemonto-Bevaro	917	30,5	18
7	Namantoa-Befamata	698	23,2	17
8	Tambalanivo-Barabay	471	6,1	3
9	Tambalabe-Ankilirisinao	430	14,6	7
10	Tambala-Andrefana	322	19,5	7
11	Tambala-Atsinanana	802	15,9	13
12	Tandranjo-Atsimo	902	17,1	16
13	Tandranjo-Avaratra	235	18,3	5
14	Tetsiatrika	478	7,3	4
15	Zandimy-Soamanitra	1.140	0	0
		9.852	16,0	131

Si l'on adopte le tracé sud, beaucoup des villages du canton de Tranovaho, département de Beloha, qui se trouvent à entre 30 et 50 km de la ville de Beloha seront placés à moins de 10 km pour l'alimentation, et la moitié du canton de Faux-cap, canton de Marovato département de Tsihombe, qui se trouve à plus de 30 km de Tsihombe, se trouvera à une distance d'alimentation de moins de 20 km de Marovato.

Ainsi, le Tableau 2-13 indique le volume d'eau qui sera directement fourni aux habitants par bassins de distribution et la distance parcourue par les camions citernes dans ces conditions. Il sera possible d'alimenter tous les villages de la zone en eau épurée en utilisant un total de 11 camions citernes.

**Tableau 2-13 Zones de distribution et projet d'alimentation en eau**

Zone	Point de la distribution d'eau (bassin de distribution)	Destinations	Population concernée (personnes)	Volume d'eau (m <sup>3</sup> /jour)	Distance parcourue par les camions citernes (km/jour)	Nombre de véhicules (unités)
A-1	Tsihombe	Ville de Tsihombe	3.049	30,5	0	0
		Canton d'Antaritarika	8.462	25,4	387	4
		Environs du village d'Imongy	2.217	6,6	63	
		Partie est du canton de Tsihombe	2.733	8,2	33	
		Partie ouest du canton de Tsihombe	1.583	4,7	45	
		Village d'Anpilofilo Partie est du canton de Faux-cap	12.702	38,1	205	
A-2	Nikoly	Partie sud-ouest du canton de Tsihombe	3.765	11,3	50	6
Sous-total			34.511	124,9	783	
A-3	Marovato	Partie est du canton de Marovato	5.674	17,0	82	2
		Partie ouest du canton de Faux-cap	6.944	20,8	200	
A-4	Ankoraroka	Partie ouest du canton de Marovato	5.619	16,9	76	2
Sous-total			18.237	54,7	358	
Sous-total			52.748	179,6	1.141	8
B-1	Beloha	Ville de Beloha	3.028	30,3	0	2
		Village d'Anaretaka	1.539	4,6	68	
		Canton de Kopoky	5.644	16,9	123	
		Partie nord du canton de Beloha	2.053	6,2	16	
	Sanipeza	Environs d'Andraseky	5.702	17,1	131	
Sous-total			17.966	75,1	338	2
B-2	Tranovaho	Environs de Tranovaho	1.077	3,2	0	1
B-3	Soanianitra	Partie sud-est de Tranovaho	1.841	5,5	21	
B-4	Kiromosa	Partie nord-ouest de	4.137	12,4	20	

	Tranovaho				
	Partie sud-ouest de Tranovaho	2.668	8,0	25	
	Sous-total	6.805	20,4	66	1
	Sous-total	27.689	104,3	404	3
	Total	80.437	283,9	1.545	11

[Impluviums et alimentation en eau des villages]

Il existe 205 impluviums dans la région, et pratiquement tous les villages à alimenter par camions citernes depuis les bassins de distribution en sont équipés. Pour la réception de l'eau, on pourra utiliser ces impluviums, ainsi que les nombreux réservoirs de stockage des particuliers et des écoles, dont la capacité est cependant inconnue.

L'AES a déclaré qu'elle construirait des réservoirs de stockage dans les villages où cela sera nécessaire, et donc la construction des réservoirs a été exclue de la portée de ce projet.

(2) Projet de stations de pompage

Les stations de pompage seront étudiées du point de vue de l'économie d'énergie, et comme les canalisations seront d'une longueur importante, 140 km, on a étudié les conditions topographiques en présupposant l'emploi de tuyaux en PVC.

La canalisation de prise d'eau partira d'Ampotaka (élévation de 66,7 m) et se prolongera sur une longueur de 140 km.

Pour faciliter la gestion des installations, il est souhaitable d'utiliser peu de stations de pompage, mais vu la topographie de la zone du projet, il faudra 3 stations de pompage pour passer Kirimosa (élévation de 165 m) à 18 km d'Ampotaka, Tranovaho (élévation de 184 m) à 56 km et Ankoraroka (élévation de 204 m) à 94 km. Elles se situeront à Manombo, à 9 km de Ampotaka, Sampeza à 41 km et Beza à 89 km. (voir la coupe longitudinale de conception)

Pour les stations de pompage, la requête faisait état d'un pompage ou transport d'eau solaire, et l'on a étudié l'adaptation de cette source d'énergie.

La zone du projet n'est pas électrifiée et est donc dépourvue de source motrice pour les pompes. Pour ce genre de région, on peut penser: (1) à un moteur diesel, (2) à l'énergie solaire, (3) à l'énergie éolienne.

Pour l'énergie solaire, d'après la comparaison économique du rapport de la Banque Mondiale (Small-Scale Solar-Powered Pumping System), le critère de sélection pour les pompes pour l'alimentation en eau des villages est que l'énergie est utilisable pour des populations de 250 à 2000 personnes.

De plus, le Solar Water Pumping Handbook (publication IT) indique une méthode de jugement simple pour l'introduction du pompage à l'énergie solaire. Selon cet ouvrage,



l'énergie solaire peut rivaliser avec le moteur diesel quand le produit du volume d'eau journalier moyen et de la hauteur de relevage est inférieur à 250 m<sup>4</sup>.

Pour ce projet, ce projet est très important 20.000 m<sup>4</sup> (284 m<sup>3</sup>/jour x 70 m), on a donc jugé que du point de vue de l'économie, l'énergie solaire n'était pas compétitive.

De plus, la puissance des pompes du projet sera de 5,5 kW, et dans ce cas il faudrait non seulement installer des piles solaires de 50 m<sup>2</sup> environ, mais aussi un système complexe de transformateurs courant continu-courant alternatif, et employer un mécanicien électricien, ce qui semble difficile dans cette zone, ce qui a fait conclure à l'impossibilité de l'utilisation de l'énergie solaire pour le projet.

Pour l'économie d'énergie, en installant des bassins de distributions aux emplacements des canalisations, on pourra installer une soupape réductrice de pression sur le bassin de distribution pour ne pas réduire la pression dans le tuyau. De plus, après la hauteur maximale à Ankoraroka, le transport de l'eau sera gravitationnel pour réduire au minimum le nombre de stations de pompage intermédiaires.

Ci-dessus, nous avons étudié concrètement les résultats de l'étude abrégée dans laquelle le prix unitaire d'alimentation en eau était inférieur à celui du système d'Ambovombe grâce à l'installation de bassins de distribution dans les villages où passe la canalisation. Autrement dit, l'étude d'affectation des camions citernes à partir de la distance à parcourir du point de distribution d'eau aux villages à alimenter a permis de confirmer la possibilité d'alimenter toute la zone en eau épurée avec 11 camions citernes. Et il sera possible d'utiliser du PVC pour toute la canalisation de 140 km en installant 3 stations de pompage de relais.

#### 2-2-4 Fixation de la dimension de l'ensemble des installations du projet

Jusqu'à présent, la dimension de l'ensemble des installations du projet a été calculée en tenant compte du taux d'utilisation actuel du système d'Ambovombe et de l'augmentation à prévoir pour l'avenir, en prévoyant une alimentation de 10 litres par personne et par jour en ville et de 5 et 3 litres par personne et par jour dans les zones rurales.

##### (1) Etude à partir du volume d'eau moyen annuel fourni à Ambovombe

###### a) Résultats de l'AES

Comme le volume de pompage vers les châteaux d'eau dans les villes est de 18,500 m<sup>3</sup> dans l'ensemble des 50.000 m<sup>3</sup> d'alimentation annuelle du système d'Ambovombe, le pourcentage d'alimentation est de 63% pour les zones rurales et de 37% pour les villes.

###### b) Population alimentée

Par ailleurs, la population de la zone urbaine est d'environ 20.000 personnes, et d'après l'enquête réalisée, 98% des habitants s'appuient sur l'alimentation par l'AES. Dans les

zones rurales, 85% des 47.000 habitants utilisent l'alimentation par l'AES.

Par conséquent, l'unité d'alimentation en eau est comme suit:

En ville:

$$\frac{18.500 \text{ m}^3/\text{an}}{365 \text{ jour/an}} + (20.000 \times 0,98) \text{ pers.} \times 1.000 \text{ litres/m}^3 = 2,6 \text{ litres/pers. et par jour}$$

Dans les villages:

$$\frac{(50.000 - 18.500 \text{ m}^3/\text{an})}{365 \text{ jour/an}} + (47.000 \times 0,85) \text{ pers.} \times 1.000 \text{ litres/m}^3 = 2,2 \text{ litres/pers. et par jour}$$

Vu la situation pour le système d'Ambovombe, le fait que le volume unitaire d'alimentation des villages est inférieur à l'objectif gouvernemental de 20 litres/personne et par jour, indique la demande dans cette zone, et permet de considérer qu'une alimentation de 3 litres par personne et par jour serait convenable pour la zone du projet.

De plus, on peut fournir les 10 litres par personne et par jour en ville sans utiliser de camions citernes. Ce volume a été considéré nécessaire pour le développement régional.

(2) Etude à partir des frais de gestion-entretien annuels

Si l'on calcule le nombre de camions citernes nécessaires et les frais de gestion-entretien en modifiant le volume unitaire d'alimentation des villages, les frais généraux augmenteront de 315 millions FMG en passant de 3 à 5 litres comme volume unitaire.

Tableau 2-14 Dimension des installations pour le tracé sud et frais de gestion-entretien

Itinéraire	Volume unitaire des villages lit./pers./jour	Installations du projet (m <sup>3</sup> /jour)	Distance à parcourir par les camions (A) km/jour	Nombre de camions * (A/150) unités	Frais de gestion-entretien millions FMG/an	Jugement
Tracé sud	5	432	3.270	22	685	△
	3	284	1.550	11	370	◎

\* Calcul pour une distance parcourue de 150 km/jour

Si l'on fixe le revenu de l'alimentation en eau à 20.000 FMG/6 m<sup>3</sup>, avec un taux d'utilisation moyen annuel de 4%, cela fait respectivement 276 millions FMG et 182 millions FMG. Pour un volume unitaire de 5 litres, il faudra une subvention de plus de 400 millions de FMG.

D'après (1) et (2) ci-dessus, on a jugé le volume unitaire de 3 litres par personne et par jour

adapté pour les zones rurales.

## 2-2-5 Conclusion

Vu les résultats de l'étude de la situation actuelle de l'alimentation en eau dans les départements de Tsihombe et Beloha ci-dessus, les grandes lignes du projet seront comme suit:

- (1) La zone objet du projet comprendra les villes et villages au sud de la route nationale 10 du canton de Tsihombe parmi les 4 cantons du département de Tsihombe et 3 des 5 cantons du département de Beloha (Beloha, Kopoky, Tranovaho).
- (2) La population alimentée sera de 6.077 habitants dans les villes de Tsihombe et Beloha et de 74.360 habitants dans les zones rurales, soit un total de 80.437 habitants.
- (3) Vu la situation du système d'Ambovombe, le volume d'eau du projet a été fixé à 10 litres par personne et par jour en ville et 3 litres par personne et par jour dans les zones rurales.
- (4) La prise d'eau se fera à l'eau infiltrée de la rivière Manambovo, avec des installations permettant la prise d'eau même pendant la saison sèche quand le débit a considérablement diminué.
- (5) Pour assurer de l'eau potable, et pour faciliter et réduire la gestion-entretien, on utilisera la méthode d'épuration par filtration lente au sable.
- (6) Le transport de l'eau épurée se fera par canalisation pour le transport principal jusqu'à Tsihombe. L'itinéraire de la tuyauterie ira de la source d'Ampotaka à Beloha, puis jusqu'à Tsihombe en passant par des bourgades très peuplées sur la côte au sud. La longueur totale de la canalisation sera de 140 km.
- (7) On installera des bassins de distribution dans les villes de Tsihombe, Beloha et dans les villages bases tels que chef-lieu de canton sièges administratifs sur le tracé de la canalisation, où les habitants pourront aller s'approvisionner directement.
- (8) L'alimentation des autres villages se fera par camions citernes. Le nombre de camions citernes sera défini de manière à permettre l'approvisionnement de toute l'eau épurée dans toute la zone en 1999, date objectif du projet.
- (9) On utilisera les impluviums existants dans les villages comme réservoirs pour la distribution de l'eau apportée par les camions citernes.

L'idée de base de ce projet est de construction des installations de prise d'eau, épuration d'eau et transport de l'eau de 284 m<sup>3</sup>/jour à partir de la source d'eau qu'est l'eau infiltrée de la rivière Meranandra et de fournir les équipements d'alimentation en eau pour réaliser l'objectif d'alimentation de 10 litres et de 3 litres par personne et par jour respectivement dans les zones urbaines et rurales dans les départements de Tsihombe et Beloha de la province de Tuliara.