

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DE MADAGASCAR  
MINISTRE DE L'ENERGIE, DE L'ELECTRICITE ET DES MINES  
ATTITUDE DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES  
DANS LA REGION DU SUD-OUEST  
DE  
LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DE MADAGASCAR

Rapport Final  
(Edition Sommaire)

Juillet 1991

AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE

S S 3  
C R 3  
91-066

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DE MADAGASCAR  
MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES MINES

ÉTUDE DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES  
DANS LA RÉGION DU SUD-OUEST  
DE  
LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DE MADAGASCAR

Rapport Final  
(Edition Sommaire)

JICA LIBRARY



1110438171

23890

Juillet 1991

AGENCE JAPONAISE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE

国際協力事業団

23890

## Préface

Le Gouvernement du Japon a pris la décision, en réponse à la requête du Gouvernement de la République Démocratique de Madagascar, de mener une "Etude de l'Exploitation des Eaux Souterraines dans la Région du Sud-Ouest de Madagascar", dont la réalisation a été confiée à l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA).

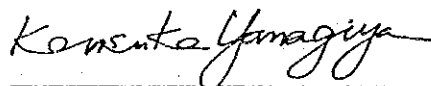
C'est ainsi que la JICA a délégué à Madagascar une mission d'étude conduite par Dr. Nakayama de Kokusai Kogyo Co.,Ltd. à quatre reprises, de septembre 1989 à mars 1991.

La mission a fait, parallèlement aux études sur place, des concertations avec des responsables du Gouvernement de la République Démocratique de Madagascar. De retour au Japon, elle a encore approfondi l'analyse et l'examen des éléments recherchés afin d'aboutir à l'élaboration du présent Rapport.

J'espère bien que le présent Rapport contribuera à l'avancement du Projet et au renforcement des liens d'amitié entre nos deux pays partenaires.

Je tiens à exprimer, pour conclure, mes sincères remerciements à tous les organismes concernés du Gouvernement de la République Démocratique de Madagascar pour leurs appuis et coopérations qu'ils ont accordés à l'exécution de l'étude.

Juillet 1991



---

Kensuke YANAGIYA  
Président  
Agence Japonaise de  
Coopération Internationale



Juillet 1991

M. Kensuke YANAGIYA  
Président  
Agence Japonaise de  
Coopération Internationale

Lettre de transmission

Voici le Rapport Final que nous vous soumettons avec un grand plaisir. Il a été élaboré au terme de l'Etude de l'Exploitation des Eaux Souterraines dans la Région du Sud-Ouest de Madagascar".

L'étude qui comprend les études sur terrain ainsi que les travaux d'analyse a été menée pour la période de septembre 1989 à mars 1991.

Quant au Rapport Final, il se présente en 5 différents volumes: volume 1° - Rapport en édition sommaire décrivant l'étude et les recommandations; volume 2° - Principal corps du Rapport abordant l'ensemble des résultats de l'étude et de l'analyse; volume 3° et 4° - Rapport de support, accompagné d'un certain nombre de feuilles de carte hydrogéologique, incluant les éléments supplémentaires tels la prospection géophysique, l'analyse de la qualité d'eau et le manuel d'instructions pour la base de données; enfin volume 5° constitué de données et d'informations portant sur la prospection géophysique, sur les forages et sur les tests de pompage.

Nous espérons vivement que la mise en oeuvre du plan proposé pour le développement des eaux souterraines concourra à l'amélioration de conditions en matière d'alimentation en eau dans la région du Sud-Ouest de Madagascar.

Nous tenons en l'occurrence à adresser nos profonds remerciements aussi bien à l'Agence Japonaise de Coopération Internationale qu'à l'Ambassade du Japon à Madagascar pour le concours éminent qu'ils nous ont prêtés durant toute la période de notre étude.

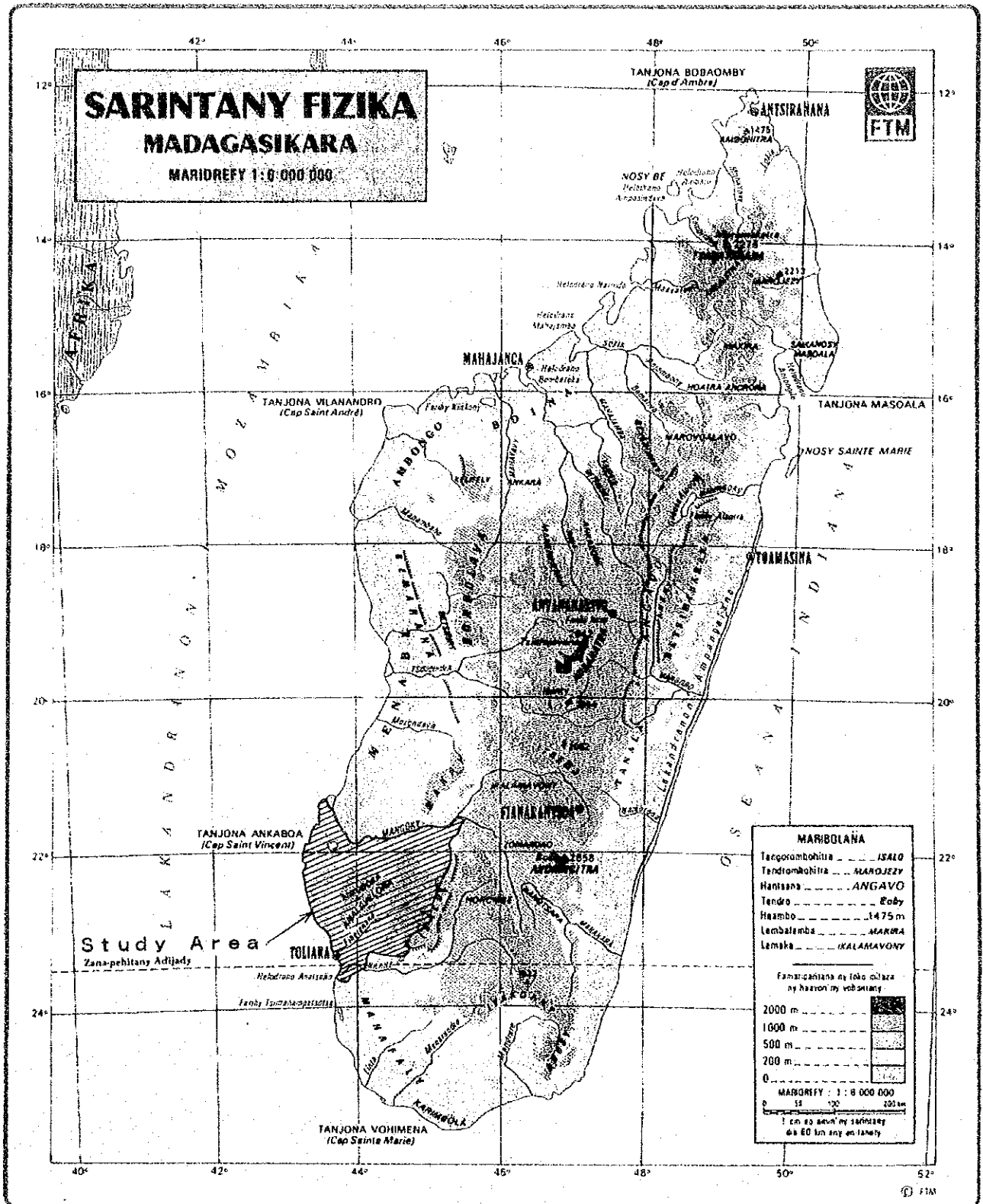
中山政一

---

Masaichi NAKAYAMA  
Chef  
Equipe d'étude



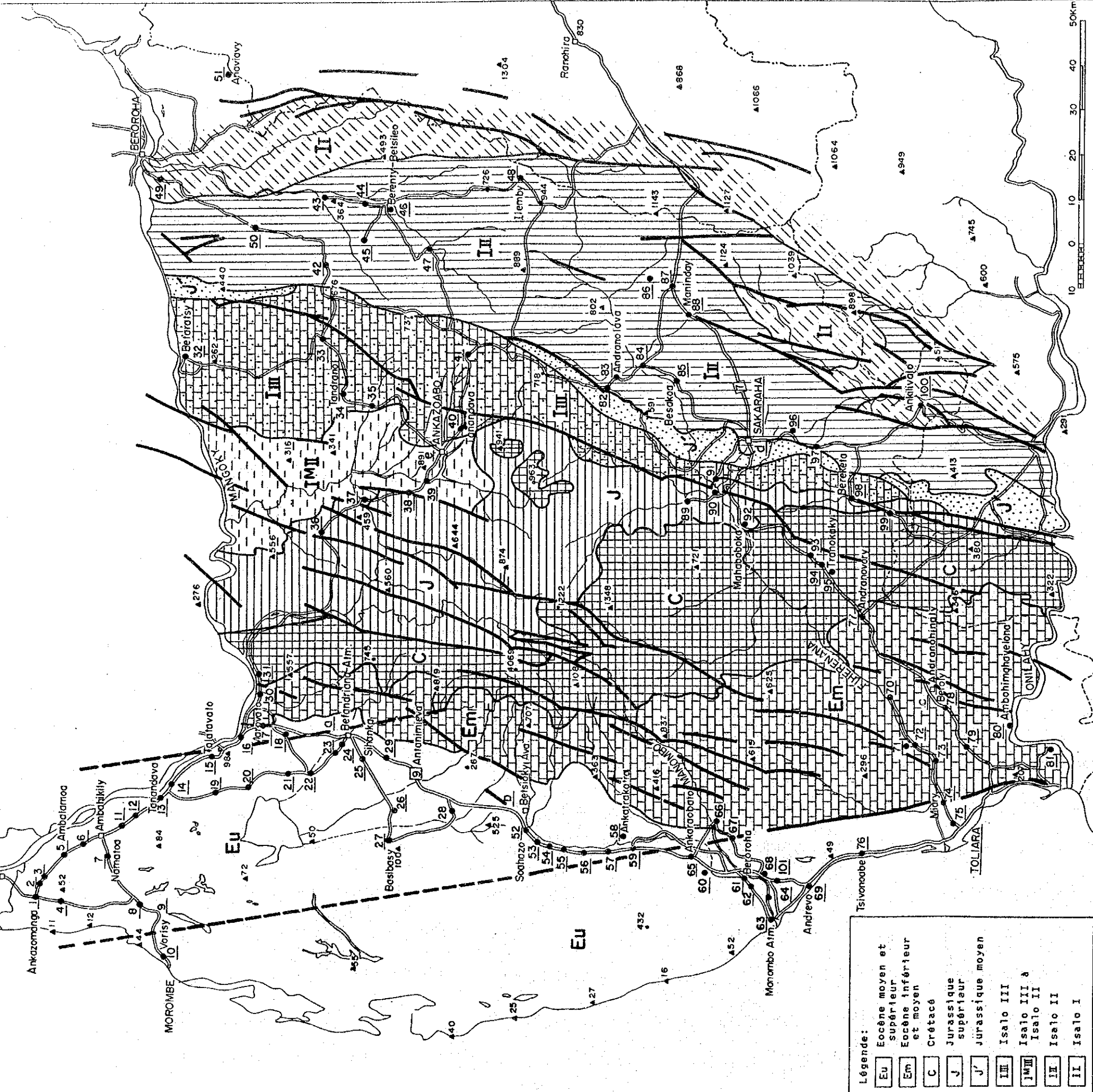
CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE DE L'ETUDE







Carte géologique de la Zone de l'Etude



Légende:	
Eu	Eocène moyen et supérieur
Em	Eocène inférieur et moyen
C	Crétacé
J	Jurassique supérieur
J'	Jurassique moyen
III	Isalo III
JMIII	Isalo III a
II	Isalo II
I	Isalo I

No Villages	
15	Talatavalo
16	Ambiky
17	Marovato
18	Andranoboka
19	Satranondro
20	Mahavozokely
21	Antranosatra
22	Manoy
23	Amoza
24	Ankilifolo(2)
25	Sihanaka
26	Bewoka
27	Mangolovoio
28	Basibasy
29	Analateio
30	Mangotroka
31	Nosy-Ambositra
32	Tsiarimpioko
33	Antsakoabe

I. Fiv. MOROMBE	
1	Ankzomanga
2	Beadabo
3	Befasy
4	Ankilifolo(1)
5	Ambalamoa
6	Tsiarahy
7	Namatoa
8	Mangolovoio
9	Ankida
10	Vorisy
11	Andranomanitsy
12	Berantala
13	Tanandava
14	Antsakoabe

II. Fiv. ANKAZOABO ATM	
32	Betaratsy
33	Andranomanintsy
34	Tandrano
35	Ampandramitsetaky
36	Andranomafana
37	Mamakiala
38	Berenty-Ankilimasy
39	Betsinefo
40	Tanandava
41	Amoza
42	Ipetsa Atm
43	Mandabe Atm
44	Soatanimbary
45	Sahanory Atn
46	Berenty-Betsileo
47	Ankilivalokely

III. Fiv. BEROROA	
49	Tanandava-Antaifasy
50	Anjanitikitra
51	Anaviavy

IV. Fiv. TOLIARA I / II	
52	Soahazo
53	Analamisampy
54	Belitsaka
55	Ampasikibo
56	Namatoha
57	Antseva
58	Ankilimiatvotoka
59	Ampihawy

V. Fiv. SAKARAHA	
82	laborana
83	Andranolava
84	Lambomakandro
85	Besako(1)
86	Besako(2)
87	Ampandra
88	Maninday
89	Bevoalavo
90	Tanambao
91	Ambahimalitsy

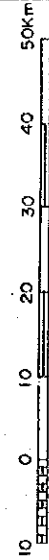
VI. Fiv. ANKOROROKA	
78	Befoly
79	Ankororoka
80	Ambohimahavelona
81	Manoroka
101	Ankilimalinika

VII. Fiv. ANKILIVAO	
92	Mahaboboka
93	Mahasoa
94	Andamasiny-Vineta
95	Tranokaky
96	Analamary
97	Antanimora
98	Bereketa
99	Ankilimitaloka
100	Ankilivalo

VIII. Fiv. ANKOROROKA	
60	Ambondro
61	Beroroa
62	Anisomarify
63	Manombo-Atm
64	Antandroka
65	Ankaraobato
66	Andoharano
67	Tsefanoka
68	Benetsy
69	Andrevo
70	Anjamala
71	Ampihalia
72	Behompy
73	Ambohonkira
74	miary
75	Befanamy
76	Tsivonoabe
77	Andranovory





## LISTE D'ABREVIATIONS

<i>AEP</i>	Alimentation en Eau Potable
<i>AEPA</i>	Alimentation en Eau Potable et Assainissement
<i>BAD</i>	Banque Africaine de Développement
<i>CNEA</i>	Comité National de l'Eau et de l'Assainissement
<i>DGBDE</i>	Direction Générale de la Banque de Données de l'Etat
<i>FED</i>	Fonds Européen de Développement
<i>FISE</i>	Fonds International de Secours à l'Enfance
<i>FNDE</i>	Fonds National de Développement Economique
<i>FJKM</i>	Fiangonan'i Jesosy Kristy eto Madagasikara
<i>FLM</i>	Fiangonana Loterana eto Madagasikara
<i>GREA-AE</i>	Groupe Régional de l'Eau et l'Assainissement - Afrique de l'Est et Australe
<i>JIRAMA</i>	Jiro sy Rano Malagasy
<i>MEP</i>	Ministère de l'Economie et du Plan
<i>MI</i>	Ministère de l'Intérieur
<i>MIEM</i>	Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines
<i>MPARA</i>	Ministère de la Production Agricole et de la Réforme Agricole
<i>MPCSJS</i>	Ministère de la Population, de la Condition Sociale, de la Jeunesse et des Sports
<i>MRSTD</i>	Ministère de la Recherche Scientifique et Technologique pour le Développement
<i>MSP</i>	Ministère de la Santé Publique
<i>MTMT</i>	Ministère des Transports, de la Météorologie Nationale et du Tourisme
<i>OAA</i>	Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture
<i>OAES</i>	Opération de l'Alimentation en Eau dans le Sud
<i>OMS</i>	Organisation Mondiale de la Santé
<i>ORSTOM</i>	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
<i>PNUD</i>	Programme des Nations Unies pour le Développement

## LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

### Tableaux du Texte:

1. Classification stratigraphique 20
2. Résultats des forages test et des essais de pompage 37
3. Caractéristiques des principales nappes 39
4. Taux de tritium 47
5. Résultats de l'étude de réhabilitation 51
6. Travaux de construction d'équipements-pilotes 53
7. Potentiel de développement d'eaux souterraines région 60
8. Equipements AEP adaptables 74
9. Ordre de priorité des villages candidats 83
10. Dimension appropriée de développement pour les nappes aquifères  $B_1$  et  $B_2$  93
11. Classification pour le projet AEP 97
12. Description des sous-projets par village 102
13. Equipement AEP par village 105
14. Description du Projet 110
15. Récapitulation fonctionnelle du système de fonctionnement et d'entretien 111
16. Devis estimatif sur les coûts de fonctionnement et d'entretien 112
17. Coût d'investissement du Projet 114

### Figure du Texte:

1. Schéma de déroulement de l'Etude 4
2. Carte de classification géomorphologique 15
3. Distribution forestière obtenue par photo-satellite Landsat TM 16
4. Localisation des stations météorologiques et isohyète annuelle 24
5. Débit mensuel 29
6. Débit journalier 29
7. Profil hydrogéologique de la Plaine de Toliara 34
8. Carte de localisation: Forages test et essais de pompage 40
9. Qualité chimique de l'eau pour usage domestique 42
10. Profil hydrogéologique entre Ankilimalinika et Benetsy 43
11. Structure hydrogéologique de la zone côtière 43
12. Qualité de l'eau 44
13. Courbe de décroissance de tritium 47
14. Description de la base de données 48
15. Bilan hydrologique 56
16. Résultats de la simulation 58
17. Programme de transfert des fonctions pour le système d'opération et d'entretien 77
18. Procédure et critères d'identification des zones prioritaires pour le développement des eaux souterraines 79
19. Conception standard d'un puits avec pompe manuelle 99
20. Conception standard d'un puits avec pompe motorisée 100
21. Dessin schématique de l'équipement AEP 101

**TABLE DES MATIERES**

Carte de localisation de la Zone de l'Etude

Carte géologique de la Zone de l'Etude

Liste d'abréviations

Liste des tableaux et des figures

**1. INTRODUCTION 1**

1.1	Cadres généraux et objectifs de l'Etude.....	1
1.2	Zone de l'Etude.....	2
1.3	Description de l'Etude.....	3
1.4	Organes d'exécution.....	5
1.5	Présentation du Rapport.....	7

**2. CONJONCTURES SOCIO-ECONOMIQUES ET SECTORIELLES 8**

2.1	Madagascar et la Province de Toliara.....	8
	2.1.1 Généralités.....	8
	2.1.2 Situation économique.....	8
	2.1.3 Secteur AEP.....	9
2.2	Zone de l'Etude.....	11
	2.2.1 Situation socio-économique.....	11
	2.2.2 Secteur AEP.....	12

**3. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES 14**

3.1	Topographie et végétation.....	14
3.2	Géologie.....	19
	3.2.1 Série stratigraphique et faciès.....	19
	3.2.2 Tectonique.....	21
3.3	Climat.....	23
	3.3.1 Saisons et température.....	23
	3.3.2 Précipitations.....	25
	3.3.3 Evaporation et évapotranspiration.....	25
	3.3.4 Domaines climatiques.....	25
3.4	Cours d'eau.....	26
	3.4.1 Conditions générales et débits.....	26
	3.4.2 Mesure du débit.....	26
	3.4.3 Informations sur le débit.....	28
3.5	Puits existants et niveau d'eaux souterraines.....	30
	3.5.1 Inventaire des puits.....	30
	3.5.2 Observation de niveaux d'eaux souterraines.....	30
3.6	Prospections géophysiques.....	32
	3.6.1 Sondage électrique de résistivité (VES).....	32
	3.6.2 Sondage magnéto-tellurique VLF (WADI).....	33
3.7	Forage test et essai de pompage.....	35
	3.7.1 Forage d'essai.....	35
	3.7.2 Essai de pompage.....	36

3.8	Analyse de la qualité de l'eau.....	41
3.8.1	Qualité chimique de l'eau souterraine.....	41
3.8.2	Densité de tritium.....	45
4.	<u><b>BASE DE DONNEES</b></u> 48	
5.	<u><b>ETUDE DE REHABILITATION</b></u> 49	
5.1	Puits de forage.....	49
5.2	Equipements de pompage.....	49
5.3	Réservoirs.....	49
5.4	Système de distribution.....	50
6.	<u><b>EQUIPEMENTS-PILOTES ET LEUR CONTROLE</b></u> 53	
7.	<u><b>EVALUATION SUR LES POTENTIELS DES EAUX SOUTERRAINES</b></u> 55	
7.1	Analyse du bilan hydrologique.....	55
7.2	Simulation par modèles d'eaux souterraines.....	57
7.3	Potentieux de développement d'eaux souterraines.....	59
8.	<u><b>VILLAGES CANDIDATS ET MISE EN PRIORITE</b></u> 64	
8.1	Situation actuelle des villages candidats, besoins en eau et potentiel de la communauté.....	64
8.1.1	Besoins réels en eau de la communauté.....	64
8.1.2	Engagement communautaire.....	65
8.1.3	Capacité et potentiel de la communauté.....	65
8.2	Etude détaillée pour la planification AEP.....	70
8.2.1	Critères de planification.....	70
8.2.2	Description succincte du système AEP projeté...	72
8.2.3	Approche au système d'opération et d'entretien.	75
8.3	Mise en priorité des villages étudiés.....	78
9.	<u><b>PROJET</b></u> 90	
9.1	Principe d'exploitation d'eaux souterraines.....	90
9.1.1	Dimension de développement.....	91
9.1.2	Méthode de forage et type de puits standard....	93
9.1.3	Type de puits tubé standard.....	94
9.2	Plan AEP.....	96
9.2.1	Objectif du Projet.....	96
9.2.2	Approche au plannig.....	96
9.2.3	Projet proposé.....	97
9.3	Mise en oeuvre du Projet.....	107
9.3.1	Concept de base.....	107
9.3.2	Programme d'exécution.....	108
9.4	Coûts et financement du Projet.....	114
9.5	Evaluation du Projet.....	115
9.5.1	Villages bénéficiaires.....	115
9.5.2	Coûts du Projet.....	115
9.5.3	Atouts induits sur le plan socio-économique....	116

10. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 118

10.1	Conclusions.....	118
10.1.1	Potentiels de développement d'eaux souterraines.....	118
10.1.2	Potentiels socio-économiques.....	119
10.2	Recommandations.....	120
10.2.1	Exploitation et gestion des eaux souterraines.....	120
10.2.2	Exécution du projet AEP.....	121
10.2.3	Participation des femmes au développement.....	122
10.2.4	Santé publique.....	122





## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Cadres généraux et objectifs de l'Etude

Afin d'assurer la continuité de ses engagements pour le bien-être économique de son peuple, le Gouvernement Malgache a mis en oeuvre le Troisième Plan Quinquennal de Développement National 1986-1990. Les objectifs essentiels du Plan constituent en l'autosuffisance alimentaire, la promotion de l'exportation, et l'intensification de la productivité agricole. La réalisation de ces objectifs menera à une amélioration du niveau de vie.

Etant un pays essentiellement à vocation agricole avec 80% de population rurale, le Plan est notamment axé sur les collectivités rurales afin d'y apporter une croissance économique plus équilibrée et plus soutenue.

L'un des efforts majeurs du pays pour son développement réside donc dans l'approvisionnement en eau potable de la population jusqu'à l'an 2000. Pour ce faire, le Gouvernement a créé la JIRAMA (*Jiro sy Rano Malagasy*). Le développement, la mise en oeuvre ainsi que la gestion portant sur des systèmes AEP urbains et sur des projets d'électrification relèvent désormais à cette société.

Quoique des progrès remarquables fussent faits en ce qui concerne le secteur eau, il reste encore beaucoup à faire. En effet, à l'heure actuelle, seulement 18% de la population totale ont accès à l'AEP, dont environ 91% habitent dans les zones rurales. Par conséquent, en milieu rural, les maladies d'origine hydrique constituent non seulement des préoccupations de plus en plus sérieuses vis-à-vis de la population rurale, en particulier des jeunes, mais également des contraintes susceptibles de freiner la productivité agricole en causant des problèmes au développement de l'ensemble du secteur.

Bien qu'un bon nombre d'organismes d'aide bilatérale et multilatérale aient apporté leur assistance à Madagascar et installé en milieu rural des systèmes AEP, il reste toutefois beaucoup de collectivités qui ne sont pas encore desservies. En particulier, les besoins en eau potable sont très accentués pour les villages situés entre la rivière Onilahy et la ville de Morondava, où la priorité d'intervention est la plus élevée.

C'est dans ce contexte que le Gouvernement de Madagascar a requis, en août 1988, l'assistance du Gouvernement du Japon pour l'évaluation et le développement des eaux souterraines dans la région Sud-Ouest du pays, ceci concerne particulièrement les zones comprises entre l'Onilahy et la ville de Morondava.

Le Gouvernement Japonais a enfin envoyé, par le biais de son organe d'exécution, l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), une mission d'étude préliminaire. La mission a défini, avec les représentants du Gouvernement Malgache, les termes de référence pour la mise en oeuvre de cette Etude.

Les objectifs de l'Etude pourront se récapituler comme ci-dessous:

- l'évaluation sur les potentiels des eaux souterraines de la Zone d'Etude;
- l'établissement d'un plan d'exploitation des eaux souterraines concernant les zones prioritaires et,
- le transfert technologique aux homologues malgaches au cours de l'Etude.

### 1.2 Zone de l'Etude

La Zone de l'Etude est située dans la région Sud-Ouest de Madagascar. Elle est limitée au Nord par le fleuve Mangoky et au Sud par le fleuve Onilahy. Cette zone d'une superficie de 31.250m<sup>2</sup> est appelée "Sud Mangoky". Elle est composée de 5 *Fivondronampokontany*: Morombe, Ankazoabo, Sakaraha, Toliara (I) et Toliara (II). Du point de vue géologique, elle est située dans la partie Sud du bassin de Morondava.

### 1.3 Description de l'Etude

Les composants de l'étude sont définis dans le "scope of work" signé par les deux parties. L'étude se divise en trois (3) phases:

(1) Phase I: Analyse préliminaire et Reconnaissances sur terrain

Mise à jour et analyse des études et données existantes, analyse des images par satellite et des photos aériennes ainsi que des reconnaissances sur terrain. Les résultats obtenus à partir de ces études et analyses meneront à l'élaboration d'une carte hydrogéologique révisée et à l'identification des zones potentielles au développement des eaux souterraines.

(2) Phase II: Analyse et Evaluation sur les ressources en eaux souterraines

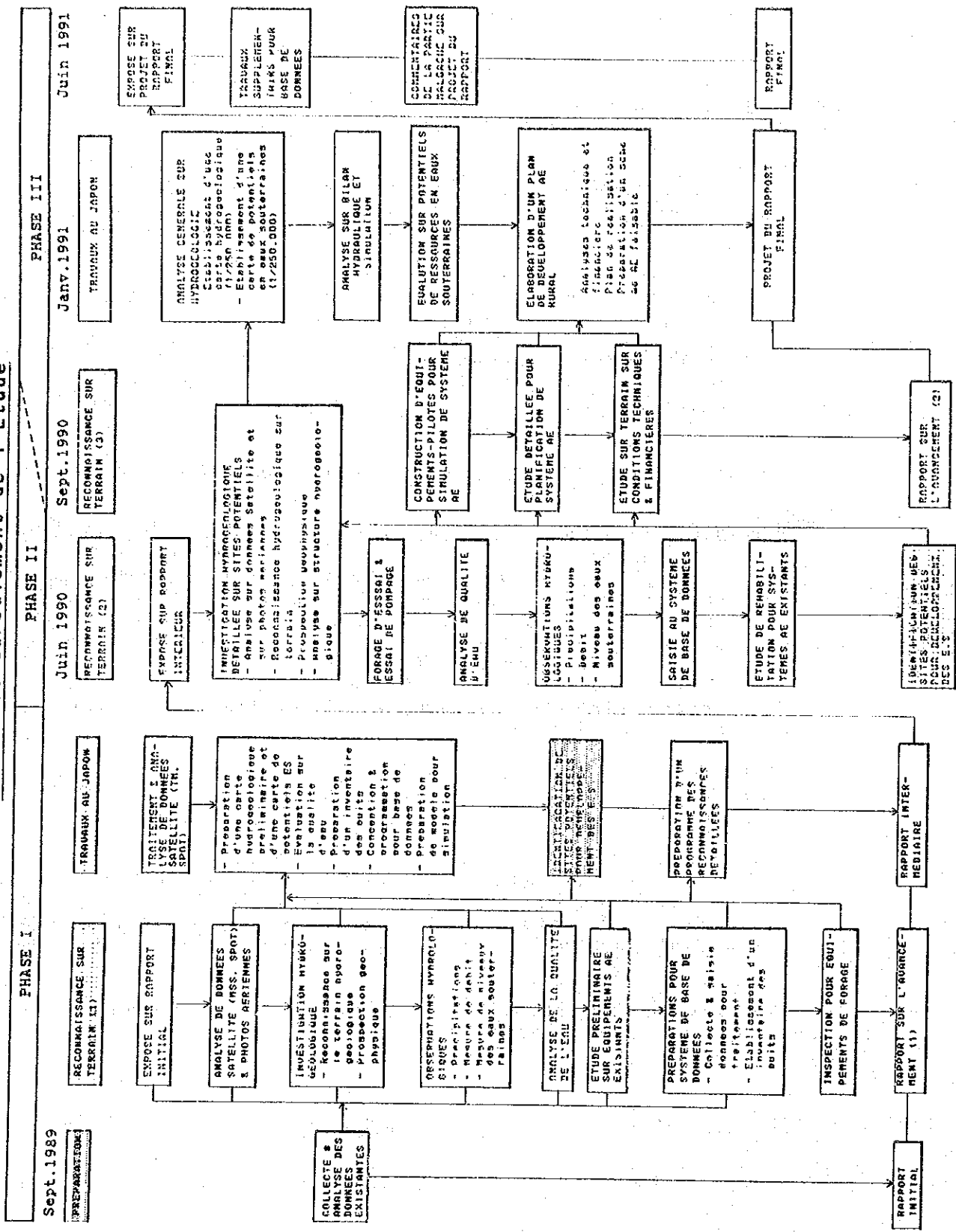
Dans la phase II, les reconnaissances détaillées sur terrain portent sur diverses activités; étude géologique, mesure du niveau d'eau souterraine, analyse sur la qualité d'eau, sondage géophysique, forage d'essai et essai de pompage. Les conséquences d'une série des reconnaissances de la phase amènent à évaluer les ressources en eaux souterraines et à retenir des sites prioritaires au développement de l'alimentation en eau du milieu rural.

(3) Phase III: Etablissement d'un Plan AEP en milieu rural

Etudes sur les aspects socio-économique, technique et institutionnelle, construction d'équipements-pilotes, etc. dans la perspective d'élaborer un plan AEP intéressant les sites prioritaires de développement.

La figure 1 constitue un schéma de déroulement de l'ensemble de la présente étude.

Figure 1 Schéma de déroulement de l'Etude



#### 1.4 Organes d'exécution

La réalisation de la présente étude est confiée à la Direction de l'Energie et de l'Eau du Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines (MIEM) pour la partie malgache et à l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) pour la partie japonaise.

L'étude a débuté en septembre 1989 et se termine en mars 1991. La liste donnée ci-après constitue la liste du personnel ayant attribué à l'étude.

##### (1) Etude d'équipe JICA

<u>NOM et prénom</u>	<u>Qualités/attributions</u>
01. NAKAYAMA Masaichi	Chef d'équipe
02. KANDA Atsuo	Sous-chef, hydrogéologie
03. SUGIYAMA Akira	Hydrogéologie
04. OMORI Shoichi	Géologie, télé-détection
05. SETOJIMA Masahiro	Télé-détection
06. YAMAGUCHI Masahiro	Hydrogéologie, informatique
07. MEDINA Reynaldo Real	Hydrogéologie
08. HIROZU Takayoshi	Analyse de la qualité de l'eau
09. TANAKA Masatoshi	Prospection géophysique
10. KAJIWARA Susumu	Prospection géophysique
11. TANABE Yoshitaka	Supervision technique de forage, géologie
12. NOMURA Shinji	Supervision technique de forage, géologie
13. FUJIWARA Kunio	Equipement-pilote, réhabilitation
14. NARITA Hiroatsu	Planification AEP
15. ARAKAWA Shuji	Equipement AEP
16. OBARA Masaru	Economie du projet
17. AOKI Hirochika	Interprétariat

##### Homologues MIEM

<u>NOM et prénom</u>	<u>Qualités/attributions</u>
01. RANDRIANARISOA Nhélison	Chef d'équipe
02. RANDRIANARISON Justin	Sous-chef
03. MELY Christine	Sous-chef
04. RAJOELISAONINA Alfred	Prospection géophysique
05. RABEMANANTSOA Boniface	Analyse de la qualité de l'eau
06. RAKOTONARIVO Solonirina	Télé-détection, géologie
07. TOGNIHAGNITSE (Hangy)	Ingénierie AEP, socio-économie
08. RAZAFINDRABETSIAVALONA Ndriana	Hydrologie
09. RABENANDRASANA Emmanuel	Hydrologie, base de données
10. RALAIARIVONY Solofo Joel	Analyse de la qualité de l'eau
11. RAKOTOMAVO Marcel	Sondeur en chef
12. RANDRIANANTOANDROHARISOANARIVO	Analyse de la qualité de l'eau
13. RASOLOMAMONJISOA Nathanael	Mécanique
14. RAKOTOVAO Bernard	Assistant au chef de forage
15. RANDRIANARISOA Solo Christophe	Hydrologie, chef de forage

16.	RANDRIAMANALINA Jacques	Chef de forage
17.	RAKOTOFIRINGA Justin	Electricité
18.	RANAIVOSON Albert	Prospection géophysique
19.	RAMANATOANINA Gilbert	Ingénierie AEP
20.	RAZAFINDRABE Pierre	Etude réhabilitation
21.	RAKOTOMALALA	Etude réhabilitation
22.	RAMILIJAONA Albert	Etude réhabilitation
23.	BOTO François	Prospection géophysique
24.	RAKOTONDRAMANGA Jean Honoré	Mécanique
25.	RANDRIANARISOA Patrice	Prospection géophysique
26.	RAKOTO ANDRIANALY Jules	Ingénierie AEP

## 1.5 Présentation du Rapport

Le présent Rapport contient 5 volumes:

- Résumé du Rapport
- Rapport principal
- Annexe 1
- Annexe 2
- Recueil des données techniques

Le résumé du Rapport décrit de façon sommaire l'ensemble des résultats de l'étude. Dans le corps du Rapport principal, les différents thèmes sont abordés en détail; cadres socio-économiques de la Zone de l'Etude, hydrologie et météorologie, hydrogéologie, détails des résultats de l'étude sur les villages candidats pour l'AEP, évaluation sur les ressources en eaux souterraines, plan de développement d'eaux souterraines. Il propose enfin, dans ses dernières pages, un schéma directeur AEP intéressant les villages candidats, un programme d'actions et un certain nombre de recommandations y afférentes.

Quant aux dossiers annexes, l'Annexe 1 comporte une carte hydrogéologique au 1/100.000, profils hydrogéologiques résultant du sondage électrique et logs des forages d'essai, alors que l'Annexe 2 constitue un manuel de référence de la base de données avec exposé sur la simulation assistée par ordinateur.

Le recueil des données techniques concerne l'analyse des résultats obtenus au terme du sondage géophysique et les données relevées au travers d'une série des essais de pompage.



## 2. CONJONCTURES SOCIO-ECONOMIQUE ET SECTORIELLE

### 2.1 Madagascar et la Province de Toliara

#### 2.1.1 Généralités

Madagascar est un pays insulaire d'une superficie de 592.000km<sup>2</sup>. Sur le plan institutionnel, le pays est constitué de haut en bas de quatre niveaux hiérarchiques des collectivités décentralisées, le *Faritany* (province), le *Fivondronam-Pokontany* (préfecture), le *Firaisana* (sous-préfecture) et le *Fokontany* (village). Il existe dans le pays 111 préfectures, 1.252 sous-préfectures et 13.476 villages. Les *Faritany* (ou provinces) sont au nombre de 6.

La province de Toliara occupe une superficie de 161.405km<sup>2</sup>, soit 27% du territoire national. Son climat est principalement semi-aride. Du point de vue administrative, elle est constituée par 21 préfectures, 210 sous-préfectures et 2.027 villages qui sont les collectivités décentralisées.

Selon le dernier recensement de 1975, la population malgache était de 7.603.000 habitants. La projection démographique, toujours basée sur ce recensement, l'estime à 9.985.000 pour l'an 1985 et à 11.443.000 en 1990 avec un taux d'accroissement de 2,76%/an. L'espérance de vie est de 49,5 ans pour les hommes et de 51,1 ans pour les femmes.

En 1985, la population de la province de Toliara était estimée à 1.440.000 habitants, soit 14% de la population nationale. Les observations que nous avons faites à travers les reconnaissances sur le terrain indiquent la prépondérance de la population rurale dans l'ensemble, ce qui fait penser que les Toliariens s'engagent pour la plupart dans l'agriculture. Par ailleurs, il est à noter que des épiciers ou simples vendeurs sur la voie publique, des transporteurs privés, etc. font autant d'activités de service marginal.

#### 2.1.2 Situation économique

La morosité de l'économie, marquée au début des années 80, a conduit le Gouvernement malgache à adopter une série de contre-mesures avec une politique particulière visant à la transformation progressive de l'économie dirigiste en l'économie basée sur les forces du marché. La politique d'économie ainsi adoptée par le Gouvernement a eu pour effet l'amélioration de l'économie nationale dont témoignent les récents indicateurs économiques. En effet, quant au produit intérieur brut (PIB), le taux augmente de manière remarquable de 1988 à 1989 avec 3,82%, appuyé par une forte progression du secteur primaire (7%). En particulier, la production rizicole passe de 2.149.000 tonnes en 1988 à 2.380.000 tonnes en 1989. La répartition en pourcentage du PIB par secteur d'activité dans l'année 1989 est la suivante: 44% pour le secteur primaire, 16%

pour le secondaire et 40% pour le tertiaire. Selon la Banque Mondiale, le produit national brut (PNB) de Madagascar est de 180 US\$/personne en 1988.

La situation économique du pays se reflète dans l'économie de Toliara qui est aussi dépendante du secteur primaire. Cependant, dans cette province, les activités économiques du secteur primaire sont susceptibles d'être freinées surtout pendant la longue saison sèche entre mai et octobre. Cette situation spécifique est plus sérieuse pour les cultivateurs artisanaux qui ne disposent pas d'infrastructures d'irrigation permettant de compenser, au moins partiellement, des effets hostiles du climat sévère. En tous cas, l'économie de la province reste la moins développée dans l'ensemble du pays, conjuguée d'ailleurs à la quasi-absence d'industrie manufacturière.

### 2.1.3 Secteur AEP

La population desservie en AEP est estimée seulement à 18%, dont 96,5% en milieu urbain. En somme, il est estimé qu'à peu près 80% des équipements AEP en milieu rural n'arrivent pas à offrir à la population une eau de qualité convenable, élevant la fréquence des maladies d'origine hydrique, surtout parmi les enfants.

Les statistiques du Ministère de la Santé publique montrent que les maladies gastro-intestinales constituent la troisième cause de morbidité et de mortalité avec un nombre de cas de 206.000 et avec 690 morts en 1987. On peut remarquer que 2,8% des malades tulariens en bilharzioses (schistosomiasés) sont hospitalisés, alors que le taux moyen d'hospitalisation du pays n'est que de 0,9%.

Les équipements urbains AEP sont exploités sous la responsabilité de la JIRAMA ou dans certains cas de la sous-préfecture. En revanche, les équipements en milieu rural sont gérés par le MIEM ou par le gouvernement local.

Dans le contexte où les besoins AEP sont considérés comme une priorité de l'heure, les différentes organisations gouvernementales ou non-gouvernementales, se sont engagées afin d'apporter des solutions aux problèmes en question. Mais, limités par les moyens disponibles, les programmes d'action restent plutôt modestes et ne sont axés que sur les interventions de réparation et de réhabilitation des équipements existants.

Le Plan quinquennal de Développement 1986~1990 s'articule autour des trois objectifs suivants:

- l'auto-suffisance alimentaire
- l'augmentation de la production des produits destinés à l'exportation
- l'amélioration du niveau de vie de la population

La stratégie visant à atteindre ces objectifs comprend ainsi une série de mesures concrètes parmi lesquelles figure l'amélioration de la structure sociale. Les domaines auxquels le Plan donne la priorité dans l'aspect social sont comme suit:

- la santé
- la qualité de l'éducation
- l'habitat
- l'AEP et l'assainissement

Pour ce qui concerne l'AEP, la politique nationale vise à alimenter en eau potable l'ensemble de la population urbaine jusqu'à l'horizon de l'an 1992 et à permettre la population rurale, avant 2000, de disposer, dans un rayon de 15 minutes ou moins, de l'eau potable. Pour ce faire, le Gouvernement prétend qu'il est nécessaire de faire participer les collectivités bénéficiaires, dans la mesure où leurs moyens disponibles le permettent, à la construction des équipements AEP, elles sont appelées alors à contribuer aux matériaux de construction et mains d'oeuvre, etc. Il reconnaît également la nécessité de laisser les usagers prendre en charge les différents coûts de l'AEP, au moins les coûts afférents au fonctionnement et à l'entretien.

Le Gouvernement Malgache est en train de mettre à jour la politique AEP. Une mission de la Banque Mondiale a visité le pays en octobre 1990 en vue de lui donner ses assistances inestimables. La politique AEP modifiée, dont la procédure et le calendrier ainsi redéterminés, sera donc concrétisée au début de l'année 1991.

## 2.2 Zone de l'Etude

### 2.2.1 Situation socio-économique

#### a) Administration locale, population, infrastructures et santé publique

Le système de l'administration locale, défini par le principe de décentralisation, est constitué de différentes collectivités: *Fivondronana* (préfecture), *Firaisampokontany* (sous-préfecture) et *Fokontany* (village). On trouve de plus petites collectivités, *Komity* et *Fokonolona*, mais elles ne peuvent pas être considérées comme unité administrative. Les villages candidats, proposés pour la présente Etude, sont le plus souvent les *Fokontany*, sauf un faible nombre de *Firaisampokontany* et *Komity*.

*Fokontany* constitue l'unité de base dont le président est élu par les villageois. A cause des problèmes rencontrés tels que le manque d'infrastructure et l'insuffisance des ressources financières, sa capacité administrative reste limitée.

En milieu rural, les habitants ont tendance de se grouper en petite colonie mais fort concentrée, du fait que la Zone de l'Etude est topographiquement plane. Les *Fokontany* ont doté, dans la plupart des cas, des caractéristiques propres à une société indépendante et autonome avec un minimum d'infrastructures à caractère social telles l'école primaire, l'église, sources d'eau, etc. De notre enquête, il est estimé que la population d'un *Fokontany* est comprise entre 500 et 2.500 habitants. Une famille moyenne est constituée de 6 à 10 personnes. En général, le taux de croissance démographique sociale est moins significatif que celui de croissance naturelle.

Le réseau routier existant de la Zone de l'Etude n'est pas satisfaisant, du point de vue densité et structure, pour contribuer aux activités sociales et économiques dans la région. Les grands axes, dont l'un va de Toliara à Ihosy en passant par Sakaraha (RN 7) et l'autre entre Toliara et Morombe (RN 9), sont à peine praticables en toutes saisons, mais délavés et cahoteux. Les routes secondaires et tertiaires (voies de raccordement) qui traversent souvent des rivières et des marais sont en mauvais état sans entretien régulier et ne permettent pas la circulation pendant la saison des pluies.

Quant au réseau électrique, l'électrification est encore faible dans la région. Son amélioration sur la capacité et sur la densité du réseau, n'est pas pour l'immédiat. Les centrales thermiques de petite échelle alimentent Toliara et Sakaraha.

En ce qui concerne les réseaux téléphoniques et de télécommunications, quelques stations de relais modernes à micro-ondes, destinées aux liaisons téléphoniques et de télévision, ont été installées dans la partie Sud permettant de relier Toliara et Antananarivo et d'autres villes. Le réseau téléphonique intra-régional permettant les communications entre Toliara et ses collectivités distantes n'existe pas.

La pénurie en eau potable constitue l'une cause des maladies d'origine hydrique, omniprésentes dans la Zone de l'Etude. On n'en dispose pourtant pas de statistiques fiables. Les activités d'un centre de soins de santé s'étalent le plus souvent sur plusieurs villages dispersés, mais la faiblesse tant du personnel que du matériel limite la fréquentation médicale des habitants ruraux.

#### b) Economie rurale, agriculture et élevage

Les habitants dans la Zone de l'Etude s'engagent, en grande partie, dans l'agriculture et l'élevage. Le coton et le riz sont les principaux produits commerciaux et sont donc une source évidente de revenus. Quant à l'élevage, les boeufs sont les plus nombreux dans le cheptel, alors que l'effectif des caprins, ovins et porcins demeure relativement faible. L'élevage des bovins est particulièrement développé dans les préfectures d'Ankazoabo, Morombe et Toliara II. Pour l'agriculture, bien que l'irrigation soit considérablement développée dans les parties Ouest et Sud, la culture demeure principalement sèche qui attend les pluies. La production alimentaire présente une amélioration progressive, mais ne suit pas l'accroissement démographique à la hauteur de l'autosuffisance, surtout pour le riz qui est une nourriture de base pour les peuples malgaches.

Nous ne disposons pas de renseignements fiables en ce qui concerne le niveau de revenu de la population rurale.

#### 2.2.2 Secteur AEP

Deux organismes publics sont responsables de l'AEP dans la Zone de l'Etude. Le Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines (MIEM) se penche vers le milieu rural, alors que la JIRAMA (*Jiro sy Rano Malagasy*), entreprise publique placée sous la tutelle administrative du MIEM, prend en charge le réseau AEP du centre urbain de Toliara. Dans le secteur privé, les vendeurs d'eau utilisant des tracteurs ou camions citernes sont plus actifs le long de la RN 7.

Dans la Zone de l'Etude, on utilise en tant que source d'eau les eaux superficielles et souterraines. Les sources les plus exploitées sont les cours d'eau et leurs sous-écoulements, l'eau d'irrigation et l'eau souterraine peu profonde (à la profondeur d'environ 1m). Depuis ces dernières années, on commence à envisager l'utilisation des eaux plus profondes de 10m environ mais sans atteindre l'étape de développement.

Actuellement, il n'y a pas assez d'installations AEP dans les régions de Toliara et Morombe. La ville de Toliara est alimentée par des captages dans les calcaires à Miary et Andranomena.

Le système de Toliara est constitué par les pompes et les réservoirs de stockage dont la capacité s'avère insuffisante pour répondre aux besoins actuels. Ce problème sera aggravé, d'autant plus que le réseau de distribution est vétuste et nécessite une remise à neuf immédiate. L'eau est distribuée soit par fontaine publique soit par branchement aux abonnés. La gestion est assurée par la JIRAMA qui est aussi responsable de l'exploitation et de l'entretien des installations. Elle fixe le système de tarification et établit l'organisation d'entretien.

En milieu rural, la plupart des villageois s'approvisionnent en eau à partir des points d'eau traditionnels comme les sous-écoulements, les rivières asséchées, les eaux de rivières, les ruisseaux, les eaux d'irrigation et les puits peu profonds. Ces points d'eau sont contaminés et leur utilisation est due à l'insuffisance d'insouciance aux problèmes de santé et d'hygiène.

Dans les années 60, s'est amorcée la construction de forages et puits équipés de pompe à main, financée par des aides extérieures mais un bon nombre de ces ouvrages ne sont plus en service après quelques années de service.

La délégation régionale du MIEM appelée à assurer les supports techniques pour la construction, l'entretien et la maintenance des installations en milieu rural souffre actuellement de l'insuffisance de moyens: budget, machines, pièces détachées et le personnel technique l'empêchant ainsi d'assurer convenablement ses attributions.

### 3. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES

#### 3.1 Topographie et végétation

L'ossature de la Zone est principalement constituée d'une série des massifs étendus suivant les directions NNE-SSO (Fig.2).

Les chaînes montagneuses d'Isalo (longue de 60km environ) et de Tangarombohitra (110km), situées à l'extrême Est de la Zone, bien qu'elles soient actuellement interrompues par une large vallée de l'Ilakata, un affluent de l'Imaloto, ont des caractéristiques communes dans l'organisation du relief. Leurs bordures Est sont une succession des falaises abruptes à l'intérieur desquelles se développent des vallées profondes et complexes. Dans la partie centrale du massif de Tangarombohitra, des montagnes tabulaires se présentent éloignées chacune des autres. Leurs sommets sont plats.

Le massif d'Isalo n'est intégré qu'en partie dans la Zone de l'Etude. Ce massif constitue toutefois un important bassin d'alimentation pour les rivières Isahena et Malio, du fait que ses crêtes (altitude: 1.200 à 1.300m) sont situées dans la partie orientale. Par contre, le massif de Tangarombohitra ne peut alimenter que partiellement les cours de la Taheza et du Fiherenana, les crêtes (altitude: 1.000 à 1.100m) étant déviées vers l'Ouest.

Le massif de Lambosy s'étend sur plus de 100km, avec une pente très douce. La partie occidentale de ce massif est une falaise escarpée alors que la partie orientale (altitude: 700 à 800m) est une très longue pente douce. Cette pente est le principal bassin de drainage pour la rive droite de la rivière Sakanavaka faisant partie du massif de Lambosy mais érodé et divisé par les rivières Fiherenana et Sakondry.

Le massif d'Analavelona est large de 35km et long de 100km. Alors que le cours d'eau se serpente vers l'Ouest, la pente orientale est longue formant le bassin principal de recharge pour la rive droite de la rivière Fiherenana. La partie Nord du massif englobe le plateau de Herea qui est le principal bassin de drainage de la rivière Sakanavaka.

La chaîne de Mikoboka, large de 25km au centre, est découpée au Nord en deux chaînons Est et Ouest, bordant la vallée du Sikily et s'étalent jusqu'au Nord du Mangoky. La crête de partage (altitude: 1.000 à 1.100m) montre une déviation vers l'Est. Son long versant Ouest alimente de nombreux cours d'eau qui se coulent vers la côte. Entre les chaînes de Mikoboka et d'Analavelona, il n'existe pas de plaine basse d'une largeur importante. Il y a une vallée profonde et rectiligne entre les cours supérieurs des deux rivières Manombo et Sikily.

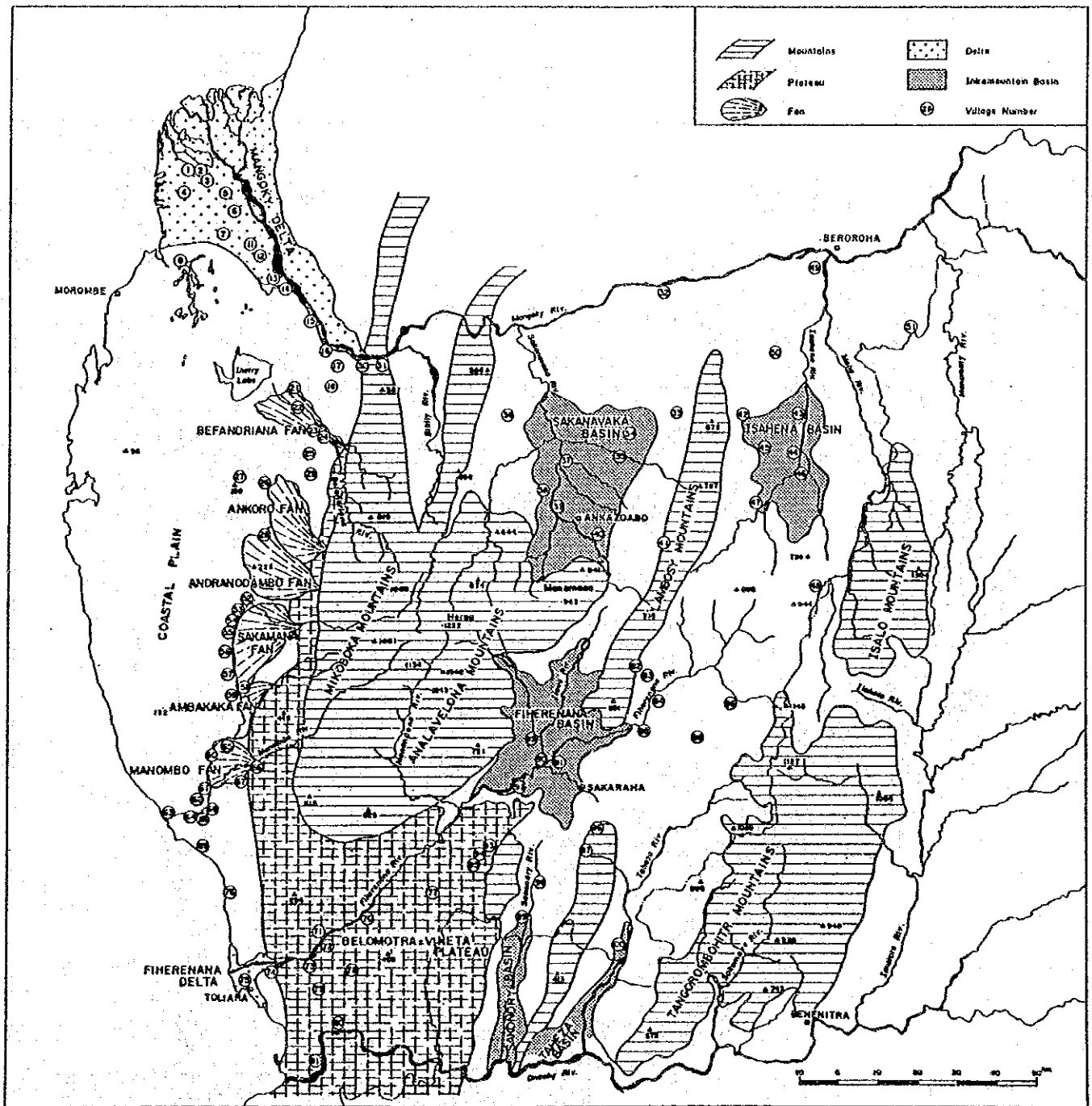


Figure 2 Carte de classification géomorphologique



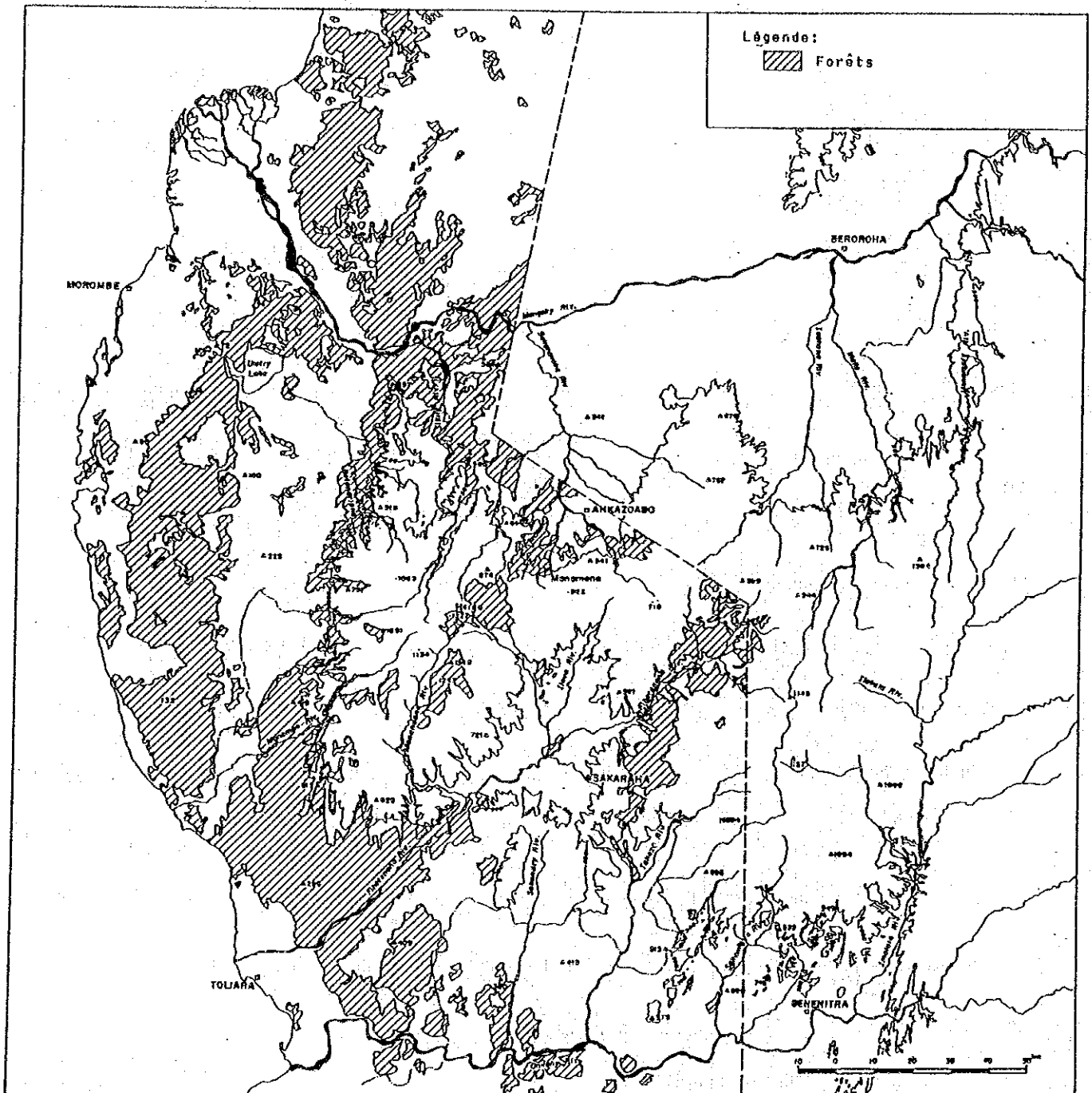


Figure 3 Distribution forestière obtenue par photo-satellite  
Landsat TM

A l'Ouest de la chaîne de Mikoboka et au Sud de la chaîne d'Analavelona, un plateau d'une altitude comprise entre 200 et 400m s'étale en pente douce vers le Sud ("*Plateau Belomotra-Vineta*"). Ce plateau s'étend jusqu'à 60km au Sud d'Analavelona, traversant le fleuve Onilahy. Il est généralement plat, mais englobant des vallées très profondes à structures complexes.

La partie Ouest du plateau Belomotra-Vineta constitue, jusqu'à la côte, une plaine dont la hauteur ne dépasse pas 200m par rapport au niveau de la mer ("*Plaine côtière*"). A la bordure Nord de la plaine, on trouve un delta très vaste du Mangoky ainsi qu'un autre mais beaucoup moins important au Sud. Le plateau Belomotra-Vineta dont la largeur est de 70km au maximum dans le Nord se rétrécissant progressivement vers le Sud donne directement sur la mer, lorsqu'il aboutit à l'estuaire de l'Onilahy. A l'Est d'une ligne imaginaire reliant le Lac Ihotry aux bouches de la Manombo, on trouve, du Nord au Sud, une succession de 6 éventails alluviaux touchant la limite Ouest de la chaîne de Mikoboka. Les cours d'eau, situés dans cette zone où plusieurs éventails se succèdent, peuvent se distinguer en deux systèmes: les cours qui se jettent dans le Lac Ihotry et ceux qui rejoignent la Manombo. Nous pourrions appeler le bassin dominé par le premier système "*Bassin du Lac Ihotry*" et celui par le second "*Bassin de la Manombo*".

Dans la Zone de l'Etude, il existe encore un certain nombre de bassins. Les terrains bas formés aux cours moyens de l'Isahena, de la Sakanavaka et du Fiherenana (leurs altitudes varient aux environs de 300 à 500m) constituent les cuvettes intra-montagnes polygonales et érodées par de nombreux affluents du cours d'eau. Leur démarcation n'est pas nécessairement nette par rapport aux chaînes montagneuses qui les entourent (ces bassins seront appelés respectivement "*Bassin de l'Isahena*", "*Bassin de la Sakanavaka*" et "*Bassin du Fiherenana*". En revanche, les terrains bas qui se développent le long de la Taheza et de la Sakondry en leur aval sont rectilignes avec une largeur plutôt réduite et peuvent être donc considérés comme les couloirs calibrés (appelés "*Bassin de la Taheza*" et "*Bassin de la Sakondry*").

La végétation d'un bassin versant est un facteur très important pouvant agir considérablement sur la recharge d'eaux souterraines. Dans la Zone de l'Etude, les activités de pâturage des boeufs et des moutons sont largement développées et la déforestation s'est accélérée depuis ces dernières décennies afin d'avoir davantage des superficies de pâturage face au cheptel de plus en plus accru. Les terrains de pâturage ainsi dévastés sont encore brûlés tous les ans pour renouveler les herbes. Ils ne seront plus tels qu'ils étaient auparavant.

Les cyclones, accompagnés toujours de pluies torrentielles, ont ravagé les ouvrages d'irrigation du Fiherenana (en décembre 1966) et du Mangoky (en janvier et février 1970), ce qui nous montre que la dévastation de forêts peut exercer une influence sérieuse sur les cours d'eau.

La figure 3 montre la répartition forestière, obtenue par l'interprétation des photos satellite *Landsat*.

Comme l'on peut le vérifier sur cette carte, les forêts sont denses dans la moitié Ouest de la plaine côtière, le plateau Belomotra-Vineta, les zones comprises entre le versant Est du massif d'Analavelona, le plateau de Herea et entre les amonts du Fiherenana et de la Taheza. Les deux premières zones forestières sont courvées de brousses dont la capacité de recharge d'eau s'avère faible.

## 3.2 Géologie

### 3.2.1 Série stratigraphique et faciès

Les éléments de classification stratigraphique et la définition de la période pour les couches sédimentaires réparties dans la Zone de l'Etude diffèrent plus ou moins selon les oeuvres de référence. Le tableau 1 indique la série stratigraphique que nous avons retenue pour la présente étude.

#### a) Système Précambrien

Le système Précambrien est caractérisé par la présence de roches compactes métamorphiques et plutoniques, visibles en très faible partie à la marge Est de la Zone de l'Etude. Le groupe de la Sakoa du Carbonifère ainsi que la Sakamena du Permien reposent en discordance ou en faille sur le système Précambrien. La Sakoa est essentiellement continentale avec des roches à blocs de base, alors que la Sakamena est composée non seulement de dépôts continentaux, mais aussi de sédiments langunaires et de dépôts marins, ce qui indique un changement bien complexe répété pendant son recouvrement.

#### b) Système Jurassique

Les dépôts essentiellement continentaux du système du Jurassique sont appelés, dans leur ensemble, le groupe de l'Isalo qui vient au-dessus du groupe de la Sakamena. Le passage de la Sakamena vers l'Isalo se fait progressivement. Les séries inférieure et moyenne de l'Isalo, incohérentes et à stratification entrecroisée, sont constituées principalement de grès arkosiques et de conglomérats. Sa série supérieure qui présente des dépôts marins est d'un faciès mixte. Le système Jurassique marin, faciès hétérogène contemporain de l'Isalo supérieur, comprend essentiellement des calcaires et grès ou avec une proportion considérable de grès continentaux.

#### c) Système Crétacé

Le système du Crétacé est divisé en deux parties: Crétacé supérieur et Crétacé inférieur. L'écart de période n'est pas sensible entre le Jurassique et le Crétacé. Le Crétacé inférieur commence par les calcaires, d'épaisseur peu importante dans l'ensemble. Le système du Crétacé supérieur occupe la partie principale du Crétacé et est intercalé de plusieurs couches basaltiques, dans laquelle les calcaires reposent sur les grès continentaux épais. La couche de basaltes la plus

Tableau 1 Classification stratigraphique

Période géologique		Classification stratigraphique	
TERTIAIRE	Quaternaire	Système Quaternaire	Dépôts fluviatiles
			Dûne de sable
			Dépôts alluvions
	Néogène	Système Néogène	
Paléogène (Eocène)	Série Eocène	Moyen & Supérieur	
		Inférieur	
SECONDAIRE	Crétacé	Système Crétacé	Supérieur
			Inférieur
	Jurassique	Groupe Isalo	Supérieur
			Moyen
Inférieur			
Trias	Groupe Sakamena		
PALEOZOÏQUE	Persan	Groupe Sakamena	
	Carbonifère	Groupe Sakoa	
	Précambrien	Système Précambrien	

puissante (plus de 100m) s'allonge sur 100km du Sud au Nord et sur plus de 100km de l'Est à l'Ouest. Alors que la stratigraphie directement au-dessus des bancs basaltiques subit un métamorphisme thermal, les couches de basaltes s'introduisent dans le système du Crétacé supérieur.

#### d) Systeme Eocène

L'Eocène inférieur est principalement constitué, sur l'ensemble de la Zone de l'Etude, de calcaires, mais l'Eocène moyen et supérieur comporte des calcaires, marnes, grès marneux, et grès. Les dépôts marins sont dominants au Sud de la Zone, alors que ce sont surtout les dépôts continentaux qui prédominent au Nord. Dans la plaine côtière, on trouve souvent des basaltes du volcan démantelé, intrus dans la série Eocène.

#### e) Systeme Néogène

Le Néogène est limité dans la distribution et sa période n'est pas connue de façon exacte. Il est constitué des formations marines et continentales: les premières s'étalent en discordance sur l'Eocène et les dernières sur le groupe de l'Isalo toujours en discordance.

#### f) Systeme Quaternaire

Le Quaternaire est composé de dépôts d'épandage, de couches sableuses formant des dunes récentes et anciennes, de dépôts alluviaux. Les dépôts d'épandage se présentent par 6 types d'éventails, distingués sur la carte géologique et sur les images satellite, au terme de la présente étude, on n'en a pu y retrouver qu'une très petite partie.

Par ailleurs, les carapaces sableuses qui étaient affectées au Quaternaire dans la carte géologique existante ne figurent plus sur notre *Carte* et sur le tableau stratigraphique, étant donné qu'elles sont considérées comme des carapaces.

### 3.2.2 Tectonique

Dans la Zone de l'Etude et ses environs, une dizaine de forages profonds de 1.000 à 4.000m furent exécutés pour les recherches pétrolières. On a procédé également aux sondages gravimétriques et de magnétisme au sol. La tectonique de la Zone de l'Etude est ici décrite en s'appuyant sur cette carte.

La partie supérieure du socle du Précambrien s'expose largement dans la partie Est du massif d'Isalo avec une pente raide de direction Ouest et sur laquelle reposent les couches poste-Paléozoïque avec une épaisseur de 5.000 à 8.000m. Ces couches étant généralement inclinées vers l'Ouest, on trouve des couches plus récentes en se déplaçant vers l'Ouest, mais elles sont interrompues par des failles qui appartiennent à plusieurs différents groupes:

Les failles du premier groupe, de direction Sud-Nord, sont développées à la bordure Ouest du fond rocheux du Précambrien. Du fait que le groupe de la Sakoa du carbonifère ainsi que celui de la Sakamena du Permien et du Trias ne se présentent qu'à l'Ouest de ces failles, il se pourrait que les failles de ce groupe furent leurs principales manifestations mécaniques au début du Paléozoïque.

Les failles du deuxième groupe sont celles de l'Ilovo qui traversent le centre de la Zone de l'Etude en direction NNE-SSO. Elles délimitent la marge Est du Paléozoïque et du Jurassique inférieur, constitués essentiellement de dépôts marins et déplacent le Jurassique supérieur. De là, il semble raisonnable de considérer que ces failles apparurent à la période du Paléozoïque et continuèrent leurs activités jusqu'au Jurassique et même après.

Les failles du troisième groupe, de direction NNE-SSO, sont réparties dans les massifs montagneux d'Analavelona et de Mikoboka. Les failles à pendage Ouest et celles à pendage Est s'étalent en alternance de façon à apparaître des fossés d'effondrement et horsts. Elles déplacent l'Eocène et dominent la rangée des basaltes du volcan demantelé. Leurs manifestations, résultant d'activités volcaniques, se situent en conséquence après l'Eocène.

Les failles du quatrième groupe se développent au massif de Tangorombohitra, de direction NNE-SSO. Ce groupe, du même que le troisième, forment des fossés d'effondrement et horsts sur lesquels repose le Néogène continental. Leurs activités tectoniques eurent lieu donc après le Néogène.

Enfin, les failles du cinquième groupe, appelées les failles de Toliara, limitent à l'Ouest le plateau de Belomotra-Vineta. On ne savait pas exactement leur prolongation au Nord de la rivière de Manombo, mais l'interprétation d'images satellite a permis de confirmer qu'elles s'allongent jusqu'à la limite Ouest du Lac Ihotry. Les failles se développant en direction parallèle du NNO-SSE tout en croisant celles du troisième groupe, leurs phénomènes tectoniques pourraient être les plus récents.

### 3.3 Climat

#### 3.3.1 Saisons et température

Les saisons sont bien marquées à l'Ile de Madagascar: saison humide (novembre~mars) et saison sèche (avril~octobre). D'une manière générale, la température moyenne annuelle est d'environ 24°C sur les côtes et 22°C dans les hauts plateaux. La moyenne la plus élevée de la température maximale se situe de 25 à 29°C entre octobre ou novembre alors que la plus basse de l'ordre de 11,8 à 20°C en juin. L'écart des températures minimale et maximale est sensible entre les côtes et les hauts plateaux: 14 et 31°C pour la première (Toliara) et 10 et 30°C pour la dernière (Ranohira).

#### 3.3.2 Précipitations

La pluviométrie des côtes se caractérise par la brièveté de sa saison humide, alors que dans les hauts plateaux, la saison humide dure aussi longtemps que la saison sèche. La saison des pluies dans les zones côtières ne dure que pendant 3 mois entre décembre et février avec des précipitations modestes qui ne dépassent pas 100mm par mois. Les zones montagneuses, dont la saison pluviale commence à partir de novembre et finit en mars, soit 5 mois, sont sans doute plus arrosées avec une pluviosité mensuelle parfois dépassant 200mm.

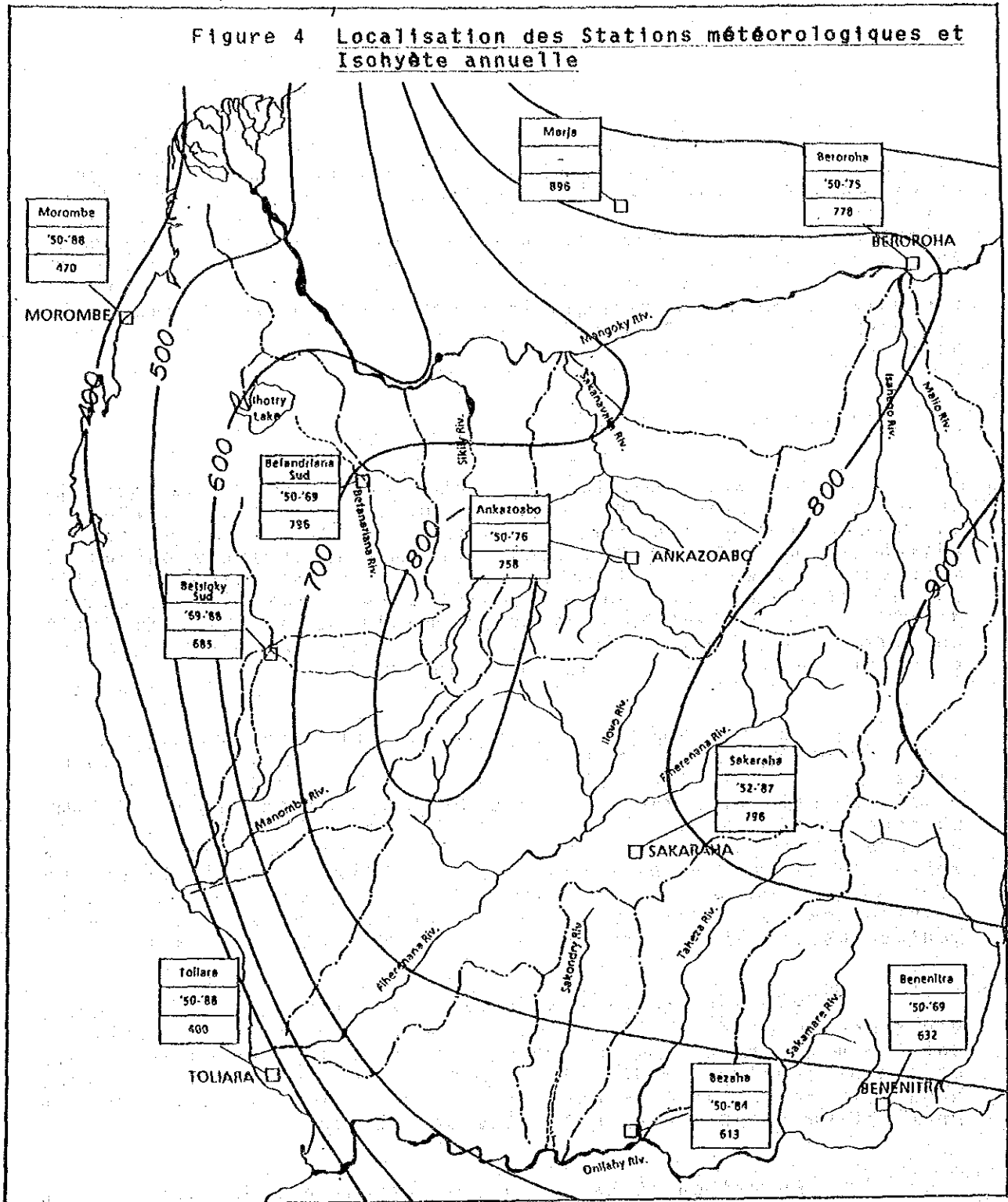
La pluviométrie annuelle est la plus faible sur la zone littorale (environs de Toliara) avec une moyenne de 380mm, alors qu'elle est la plus élevée à Ranohira situé à l'Est du massif d'Isalo et à Manja au Nord du Mangoky avec 900 à 1.000mm. Lorsque l'on examine les précipitations annuelles pour la période 1950~1988, on ne peut affirmer ni la tendance à la montée ni celle à la baisse de la pluviosité annuelle. Il est en tous cas supposé que les précipitations, qui peuvent subir l'influence de divers facteurs, en particulier dans une cuvette montagneuse, soient liées en tous cas à l'altitude du relief.

Partant de cette hypothèse, il nous est permis d'estimer à plus de 800 à 900mm la pluviométrie annuelle au domaine montagnard (ex. Mikoboka, Analavelona, Venomotra Vineta et Tangorombohitra Isalo). La figure 4 représente les isohyètes annuelles et met en évidence que les précipitations diminuent de Nord-Est en Sud-Ouest dans la Zone de l'Etude.


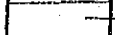
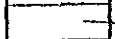
En saison sèche, il n'y a presque pas de pluies et de beaux jours se poursuivent. Au temps de passage de la saison sèche à la saison humide, la pluie est le plus souvent accompagnée de foudre et d'orage. Les nuages couvrent le ciel plus largement avec une pluviosité plus importante pour annoncer l'arrivée de la saison des pluies.






Figure 4 Localisation des Stations météorologiques et Isohyète annuelle



Légende:

-  Station
-  Relevé collecté
-  Moyenne de la pluviométrie annuelle

-  Courbe isohyète (mm/an)
-  Bassin versant
-  Rivière

0 10 20 30 40 50km

### 3.3.3 Evaporation et évapotranspiration

Le phénomène d'évaporation journalière est observé aux trois stations de Toliara, Morombe et Ranohira en utilisant un évaporomètre "Piche". Cependant, un simple évaporomètre n'est pas conçu pour l'hydrologie des zones arides, du fait qu'il ne tient pas compte des effets du vent.

En ce qui concerne l'évapotranspiration, elle peut être estimée à 1.664mm à Ranohira avec la méthode révisée de Penman. Cette valeur dépasse la pluviométrie annuelle.

### 3.3.4 Domaines climatiques

Du point de vue hydrologique, la classification de Koppen s'accommode le mieux à la variété des régimes climatologiques dans le domaine tropical. Selon sa classification, le climat de la Zone de l'Etude peut être affecté au type steppe ( $B_s$ ). Le manque de pluie peut-être expliqué par le fait que la région est hors d'atteinte du vent souffrant de l'Est. D'autre part, des cyclones augmentent la précipitation annuelle dans la région comprise entre le massif Mikoboka et le fleuve Mangoky.

### 3.4 Cours d'eau

#### 3.4.1 Conditions générales et débits

La figure 4 représente le système hydrographique de la région Sud de Madagascar.

Il existe dans la Zone de l'Etude deux principaux cours d'eau: le Mangoky et l'Onilahy. Tous les deux s'écoulent de direction Est-Ouest. Les frontières Nord et Sud de la Zone de l'Etude sont pratiquement délimitées par le Mangoky (Nord) et l'Onilahy (Sud). Le bassin versant du fleuve de Mangoky couvre une superficie d'environ 54.000km<sup>2</sup> (station de Vandrove) et celui du fleuve d'Onilahy 29.000km<sup>2</sup> (station de Tongobory). Le bassin du Mangoky occupe ainsi 1/5 de toute la superficie du territoire national.

La Manombo trouve son origine dans le massif de Mikoboka et son bassin versant s'étend sur une superficie de 500 km<sup>2</sup> environ. Le Fiherenana traverse vers l'Ouest le centre de la Zone de l'Etude, dont la superficie du bassin est de l'ordre de 6.700km<sup>2</sup>. Le Mangoky et l'Onilahy, deux principaux fleuves de la côte, conservent, en saison sèche, toujours des eaux, alors qu'il n'y a pratiquement plus d'écoulements dans les autres rivières saisonnières, notamment en aval. L'observation sur le débit fluvial se faisait jusqu'aux années 1960 à Bevoay et à Ihosy, puis était interrompue avant de reprendre sur certaines stations. De ce fait, on ne dispose presque pas de données permettant une analyse sur des débits.

#### 3.4.2 Mesure du débit

La situation dans les bassins versants des cours d'eau se présente comme suit, selon nos observations faites lors de la mesure du débit sur place.

En général, en amont du cours, l'élevage des bovins et ovins est largement développé. On assiste, aux abords des axes routiers, aux brûlis, feux de brousse et dévastation des forêts. La déforestation est liée à l'approvisionnement en bois pour les villes dont la croissance démographique est marquée, telles Toliara et Sakaraha.

La Zone de l'Etude est une zone semi-aride dont les terrains sont susceptibles aux effets de l'érosion. Le phénomène de la montée du lit est donc partout observable dans nombreux fleuves et rivières, non seulement en aval mais aussi en amont.

L'observation simultanée sur le débit fluvial a été effectuée pour deux périodes: de juin à juillet et de septembre à octobre 1990. Le tableau ci-dessous indique les débits spécifiques de chacun des cours:

(unité: e/s/km<sup>2</sup>)

Cours d'eau	Points d'observation	Superf. du bassin (km <sup>2</sup> )	Débit spécifique	
			juin ~ juillet	sept. ~ oct.
Sakanavaka	Ankazoabo	332	-	6,02
Malio	En amont du point de jonction	2.046	5,99	6,23
Isahena	Jonction avec RN 10	1.870	2,54	1,28
Sakondry	En amont du barrage Taheza	1.727	-	1,10
Taheza	En amont du barrage Taheza	1.600	9,34	9,63
Fiherenana	Antaralava	2.157	4,34	3,16
Manombo	Behompy	6.755	1,39	0,47
	Anoharano	508	4,14	2,52

En saison sèche, l'une des caractéristiques des rivières de la zone aride est que les cours d'eau tendent à recharger les eaux souterraines. En conséquence, les débits spécifiques de la rivière en saison sèche diminuent de l'amont en aval. Ce fait doit être tenu en considération pour évaluer le débit de base.

- Le débit spécifique de l'Isahena s'avère beaucoup moins que celui de la Malio. Ceci est dû à l'abondance des précipitations dans le bassin de la Malio qui embrasse le massif d'Isalo.
- La Sakanavaka montre un débit semblable à celui de la Malio. Pour ce cours d'eau, le point de mesure a été choisi vers l'amont (Ankazoabo), alors que celui de la Malio est en aval. La valeur de la moyenne sera donc plus faible pour la Sakanavaka comparée à celle de la Malio.
- Le débit spécifique de la Sakondry est extrêmement faible par rapport à celui de la Taheza pour la même saison évoquée ci-dessus. Ceci peut s'expliquer aussi par le fait qu'en amont de la Taheza, la pluviométrie est plus forte et que le bassin de la Sakondry est géologiquement constitué de couches de marne très imperméables.
- Les mesures sur le Fiherenana ont été prises au niveau d'Antalarava et de Behompy. Il est à rappeler que les terrains de Behompy sont essentiellement formés de calcaires sur lesquels reposent les sédiments sableux, ce qui facilite l'infiltration de l'eau de la rivière vers la nappe aquifère souterraine.

### 3.4.3 Informations sur le débit

La figure 5 donne la variation des moyennes mensuelles des débits pour les principaux cours. Les débits sont fonctions des précipitations de telle sorte qu'ils augmentent vers le mois de novembre pour atteindre leur pointe en janvier. Ils diminuent ensuite petit à petit et se stabilisent entre les mois de mai et d'octobre. Il semble que les débits de cette période sont ceux de base alimentés principalement par les eaux souterraines.

La figure 6 indique les débits journaliers, mesurés aux stations de Betroka (1967/68) et de Behompy (1982/83). L'augmentation des débits s'amorce à partir de la mi-novembre. Leur pointe est située à la mi-février. Les débits redescendent en avril pour être constants d'août à octobre, période pendant laquelle le débit de base dépend d'eaux souterraines.

La figure met en évidence que la pointe du débit résulte de la variation des précipitations, avec ou sans décalage de temps et qu'un certain débit de base est maintenu pendant la saison sèche.

On a également examiné le coefficient de ruissellement en utilisant les données obtenues aux stations mentionnées ci-dessus. Les précipitations par surface ont été estimées en tenant compte de la pluviométrie annuelle de Toliara, Sakaraha, Ranohira et Betroka. Le coefficient ainsi calculé est de 20% à Behompy et de 18% à Betroka.

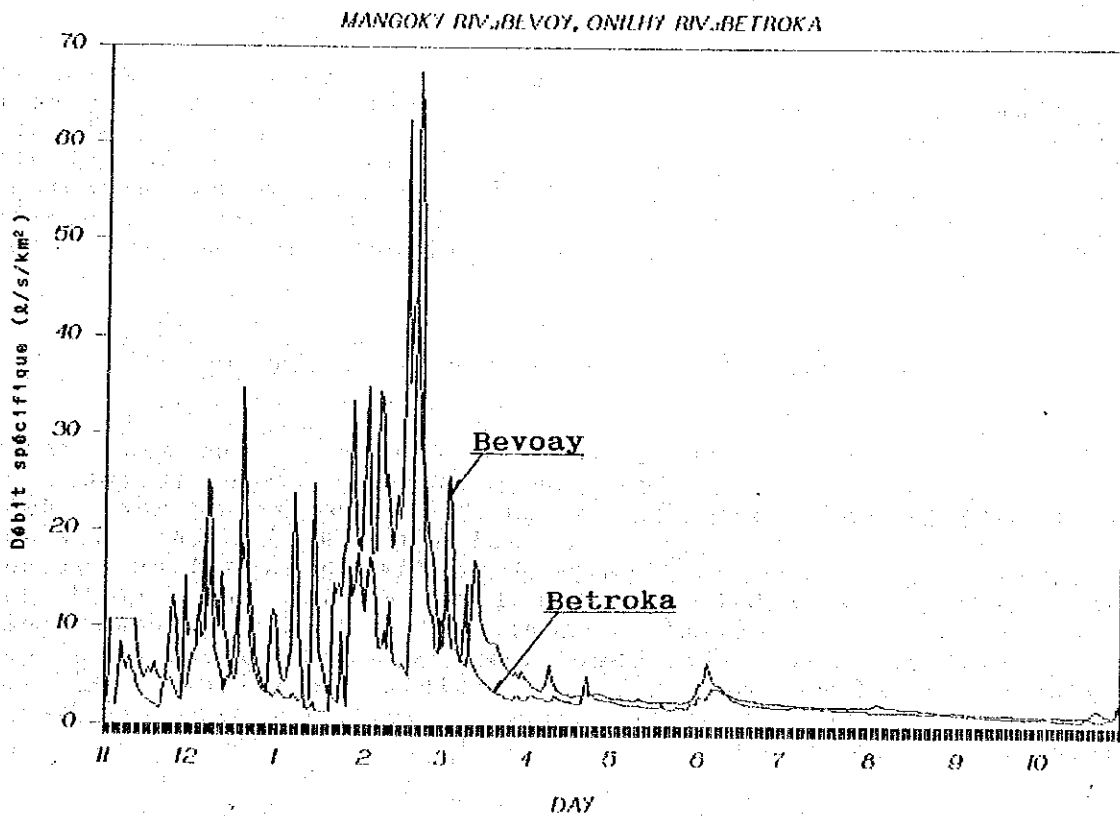
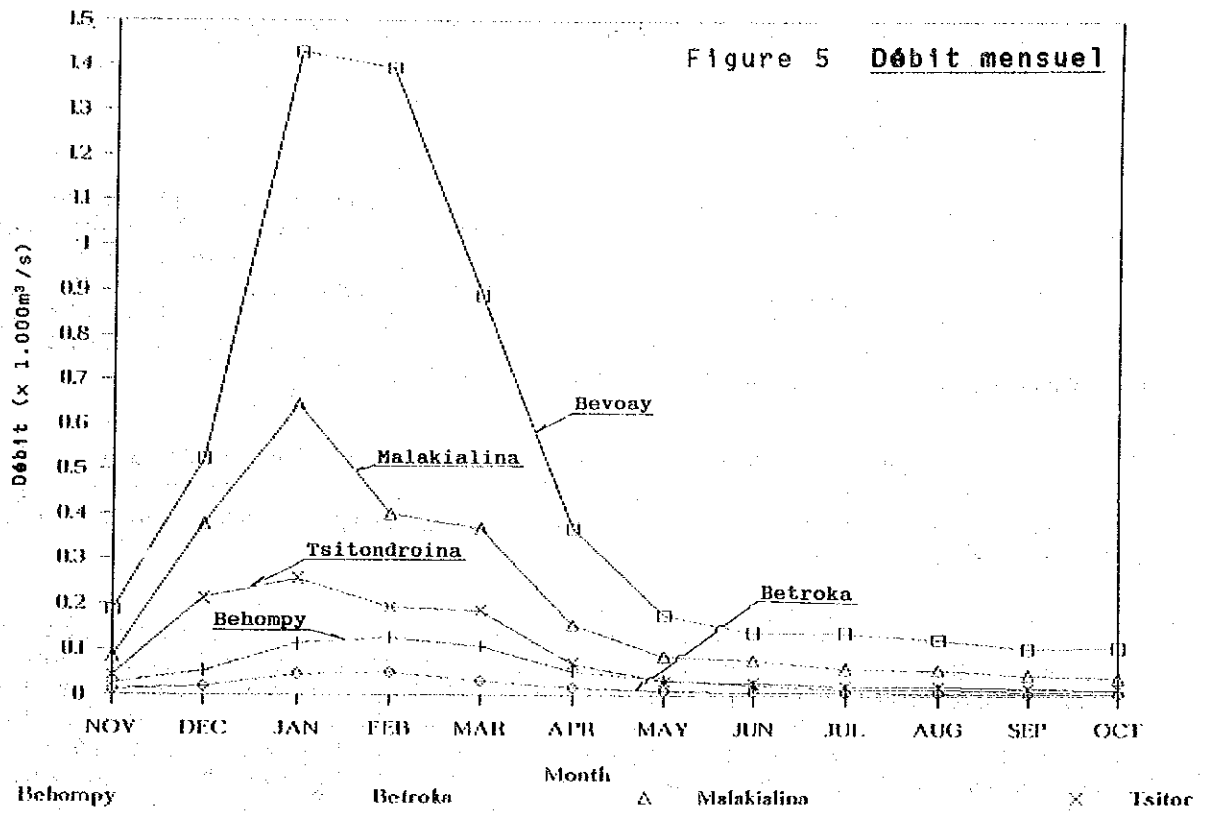


Figure 6 Débit journalier

### 3.5 Puits existants et niveau d'eaux souterraines

#### 3.5.1 Inventaire des puits

Il existe dans la zone divers types de puits: puits tubés, puits en béton et puits creusés à la main. Ce sont les ouvrages construits par US.AID, organismes de l'aide extérieure y compris des groupes non gouvernementaux, et le MIEM. Le service hydrogéologique du MIEM tente depuis 1989 d'établir un inventaire de ces puits existants dans lequel l'emplacement et la profondeur de chaque puits sont précisés.

Tous les puits tubés, profonds ou peu profonds, étaient forés vers 1970 par US.AID, mais les renseignements techniques y afférents, étant dispersés, ne sont plus disponibles.

Un grand nombre des forages étaient construits de 1965 à 1970 et seulement 10 puits sur un total de 65 sont encore en fonctionnement aujourd'hui, le reste, soit au nombre de 55, étant en arrêt (dont 26 ne seront plus opérationnels). Les causes de leur dysfonctionnement sont détérioration complète et ensablement (26 sur 55), ou simple abandon et panne de la pompe à main (29). Selon les villageois interviewés, ces puits n'étaient mis en service que pour une durée approximative de 10 ans, puis des problèmes mécaniques ou une panne du groupe électrogène empêchent leur remise en fonction.

Comme le montre le tableau ci-dessous, la majorité des forages sont d'une profondeur de 15 à 30m avec un niveau statique compris entre 5 et 25m. Le forage le plus profond existe au village d'Andranohinaly (219m), dont le niveau statique est aussi le plus bas (207m). On n'a pas pu déterminer l'emplacement des aquifères parce que les positions exactes des crépines de tous les forages sont inconnues dû au manque des données sur les puits.

#### 3.5.2 Observation de niveaux d'eaux souterraines

Les relevés étaient effectués en choisissant trois différentes périodes: au début de la saison humide (octobre et novembre 1989), en pleine saison humide (février et mars 1990) et en saison sèche (juin et juillet 1990). Les niveaux témoignent, depuis le début jusqu'à la fin de la saison humide, d'une tendance au rabattement de 1 à 2m dans la plupart des puits. Ces puits exploitent la nappe libre dont le niveau d'eau est considérablement influencé par les précipitations. Les résultats de Miary montrent une faible variation avec les précipitations, ce qui suppose que le puits exploite une nappe captive.

Plusieurs unités d'enregistreurs de niveau automatiques ont été mises en place, afin d'analyser les comportements des eaux souterraines durant toute l'année, dans 2 puits existants ainsi que dans 3 puits d'essai aux villages ci-dessous:

Villages	Profondeur du puits	Niveau d'eau	Remarques
Soahazo	34,0m	4,90m*	Puits d'essai
Ankaraobato	75,5	3,40*	Puits d'essai
Anbatolily	17,5	2,7 à 3,9	Puits existant
Maninday	73,5	16,29*	Puits d'essai
Sakaraha	32,0	10,30 à 10,40	Puits existant

\* Valeurs obtenues lors du forage.

Les niveaux mesurés à Soahazo, Ankaraobato, Anbatolily et Maninday sont bien sensibles à la variation de la pluviométrie. Le niveau d'eaux souterraines à Sakaraha augmente de 10cm par rapport au chiffre enregistré en décembre 1989 (10,35m), étant donné que le puits en question est peut-être relié à une nappe captive.



### 3.6 Prospections géophysiques

Dans la présente étude, il a été mis en application deux méthodes de prospection géophysique: sondage électrique mesurant la résistivité du sous-sol et sondage magnéto-tellurique VLF. L'option des points et sites à étudier a été examinée en fonction de divers éléments: conditions hydrogéologiques connues par analyse de données sur images par satellites Landsat et Spot et photos aériennes, par reconnaissances géologiques sur terrain et par analyse des données hydrogéologiques disponibles mises à jour.

#### 3.6.1 Sondage électrique de résistivité (VES)

Le sondage électrique a pour objectif principal d'évaluer, par zone et par unité géologique, la structure hydrogéologique, les caractéristiques des nappes aquifères et la potentialité de développement d'eaux souterraines.

Ses résultats servent à établir des profils hydrogéologiques, mais aussi pour déterminer les points et profondeurs du forage d'essai.

Les résultats du sondage électrique, comparés à ceux du forage d'essai et de l'essai de pompage, justifient le bien-fondé de cette méthode même lorsqu'il s'agit des conditions géologiques caractérisant la Zone de l'Etude, et nous amènent à établir, entre les valeurs de résistivité et le lithofaciès, les corrélations telles qu'elles sont indiquées dans le tableau de la page suivante.

En tous cas, lorsque les résultats du sondage électrique sont combinés à ceux du forage d'essai et de l'essai de pompage, ils peuvent constituer des données très intéressantes pour l'évaluation de ressources en eaux souterraines dans la "Carte hydrogéologique" au 1/25.000.

(unité:Ω-m)

Lithofaciès	Résistivité	Remarques
Marne argileuse Marne Marne sableuse Argilite	3 à 6 5 à 25 4 à 30 10 à 30	Faible capacité aquifère en général
Grès silteux ou boueux	8 à 30	Production localisée
Grès marneux Alternance de grès et de marne ou argilite Calcaire marneux	20 à 82 17 à 384 33 à 99	Grande capacité aquifère en général
Grès et grès graveleux Calcaire Basalte	80 à 2.200 95 à 6.030 28 à 1.120	Grande capacité aquifère (résistivité moins de 1.000)

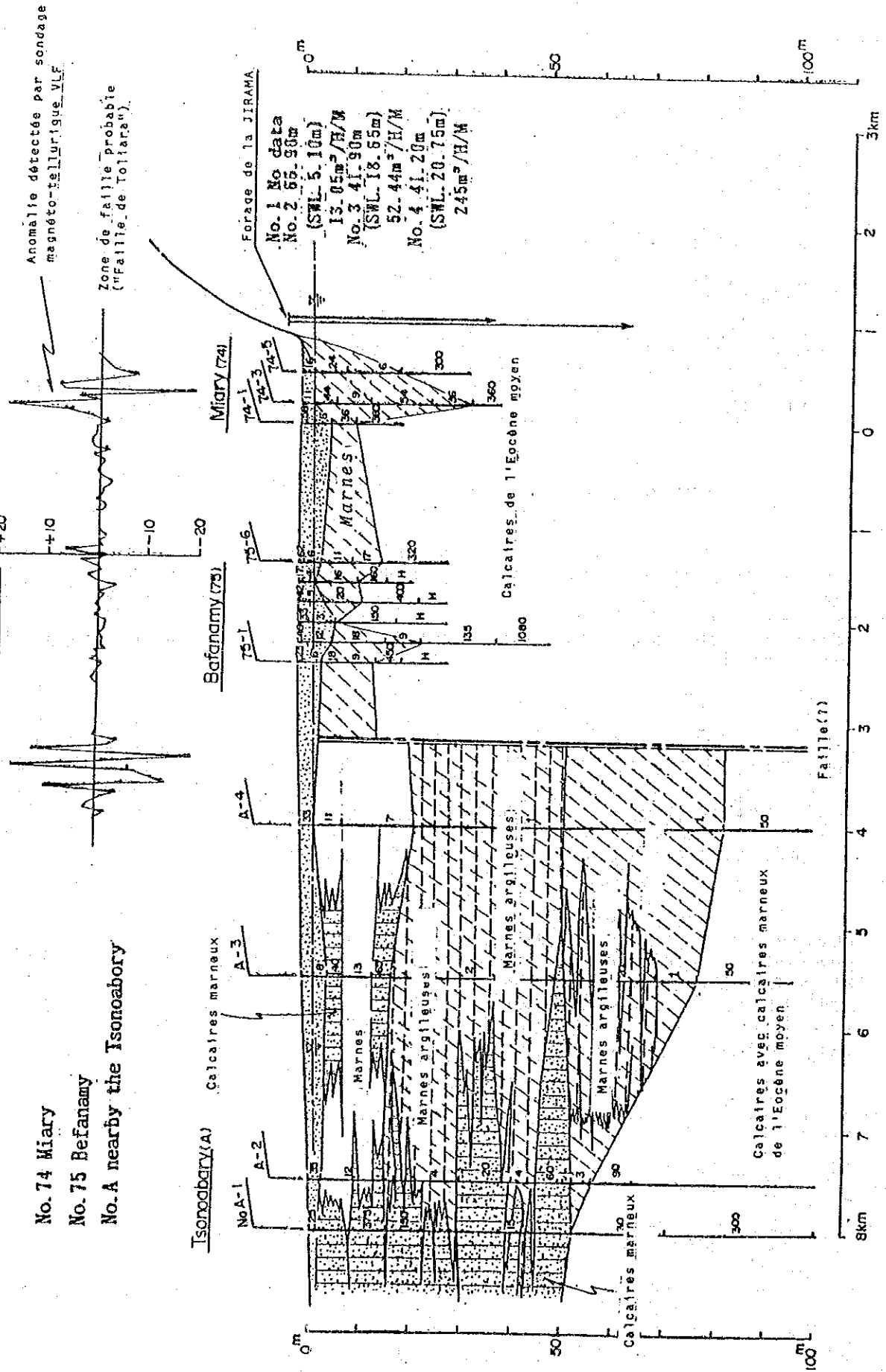
### 3.6.2 Sondage magnéto-tellurique VLF (WADI)

Le sondage magnéto-tellurique VLF ou la méthode électro-magnétique est un des moyens permettant d'étudier dans une courte durée une structure géologique dont la valeur de résistivité électrique diffère de celle des environs. Il convient donc à la recherche d'eaux souterraines dans des zones fracturées.

Dans notre étude, l'application de cette méthode a été soumise à certaines contraintes dues principalement à la répartition de failles et de fractures, à l'accessibilité aux sites et aux problèmes techniques de l'appareil utilisé (peu résistant contre le rayonnement violent du soleil), mais il n'en est pas moins que la méthode électro-magnétique est valable pour la détection de failles et de bandes fissurées.

La figure 7 montre un profil hydrogéologique de la plaine de Toliara, établie en s'appuyant sur les résultats des sondages électrique et magnéto-tellurique VLF. Elle confirme le bien-fondé de notre option méthodologique. La ville de Toliara est actuellement alimentée par captages des aquifères de la zone karstique de Miary, dominés par la "Faille de Toliara" et ses environs fracturés.

Figure 7 Profil hydrogéologique de la Plaine de Toliara



### 3.7 Forage test et essai de pompage

#### 3.7.1 Forage d'essai

A l'issue de différentes études préalablement menées, les sites objectifs ont été finalement choisis dans les perspectives suivantes (Fig.8):

- Examiner le niveau d'eau souterraine et les caractéristiques hydrogéologiques des nappes aquifères afin d'évaluer les potentiels des ressources en eaux souterraines de la Zone de l'Etude;
- Examiner la potabilité de l'eau souterraine et mettre en évidence, par comparaison des éléments chimiques de l'eau des nappes aquifères de différentes zones, le mécanisme d'écoulement de l'eau souterraine;
- Retenir les villages prioritaires et établir un plan de développement des eaux souterraines à l'adresse de ces villages ainsi retenus.

Le forage d'essai, accompagné d'essai de pompage, a débuté le 19 juin 1990 pour se terminer le 1er novembre de la même année (Tab. 3.7.1). La profondeur totalisant tous les 26 forages a été de l'ordre de 2.096m.

Les résultats du forage d'essai sont donnés en récapitulation dans le tableau 2. Appuyées sur ces résultats, les considérations portant sur les niveaux d'eau souterraine, caractéristiques hydrogéologiques des nappes aquifères, potabilité d'eau souterraine, caractéristiques qualitatives d'eau souterraine selon le type de la nappe et selon la zone sont exposées dans la section suivante. Par ailleurs, le chapitre 4 aborde le mécanisme d'écoulement d'eaux souterraines ainsi que le potentiel de développement et le chapitre 9 concerne l'élaboration d'un plan de développement d'eaux souterraines.

A travers les forages d'essai, il a été constaté que le développement d'eaux souterraines dans le plateau calcaire, étalé au long de la RN 7, suppose des puits d'une profondeur supérieure à 250m.

### 3.7.2 Essai de pompage

L'essai de pompage effectué sur les 25 forages tests comprend différentes étapes: pompage par palier, mesure du rabattement par unité de temps, pompage à débit constant et mesure de la remontée par unité de temps (par palier).

Les résultats sont interprétés suivant les méthodes de *Theis* et de *Jacob* afin d'obtenir les paramètres des aquifères (Tab. 2 et 3).

### 3.7.3 Propriétés de nappe aquifère

Le tableau 3 récapitule, selon la zone et le type de la nappe, les caractéristiques hydrogéologiques des principales nappes aquifères.

Tableau 2 Résultats des forages test et des essais de pompage

No. puits & localité	Sondeuse		Débit		Profond.		S.W.L.		Position de la		Lithofaciès de l'aquifère	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau	
	et fin	Aug	et fin	Depth	(GL-m)	(GL-m)	crépina	(GL-m)	(GL-m)	Debit (Q) /min.		Recharge (S) m	capacité /m.d.p. m	Transmissibilité	Conductivité Cl /m.d.p. m	Conductivité électrique /m.d.p. m	pH
22 Manoy	SANKYO SM-200	85.08.90 81.08.90	42.0	8.37	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	18.4-33.4 (4")	280 (-309)	12.16	23.034	4.32x10 <sup>-1</sup>	1.520	2867.1
23 Ampoza	SANKYO SM-200	83.08.90 24.08.90	50.0	5.28	15.5-23.5 (4")	15.5-23.5 (4")	15.5-23.5 (4")	15.5-23.5 (4")	15.5-23.5 (4")	15.5-23.5 (4")	283 (-310)	9.92	28.534	4.71x10 <sup>-1</sup>	368	127.3	
25 Sihanaka	SANKYO SM-200	01.09.90 06.09.90	41.0	5.74	19.5-35.5 (4")	19.5-35.5 (4")	19.5-35.5 (4")	19.5-35.5 (4")	19.5-35.5 (4")	19.5-35.5 (4")	300 (-307)	1.86	16.129	4.32x10 <sup>-1</sup>	310	117.5	
27 Basibaay	SANKYO SM-200	09.09.90 06.10.90	83.0	14.49	51.5-79.5 (4")	51.5-79.5 (4")	51.5-79.5 (4")	51.5-79.5 (4")	51.5-79.5 (4")	51.5-79.5 (4")	201 (-222)	29.78	6.758	8.76x10 <sup>-1</sup>	2.740	7206.8	
28 Anaiatelo	SANKYO SM-200	14.09.90 01.10.90	35.0	3.18	11.5-31.5 (4")	11.5-31.5 (4")	11.5-31.5 (4")	11.5-31.5 (4")	11.5-31.5 (4")	11.5-31.5 (4")	301 (-321)	0.06	5.016	-	382	127.4	
29 Mangotroka	SANKYO SM-200	07.09.90 13.09.90	41.0	3.57	14.5-38.5 (4")	14.5-38.5 (4")	14.5-38.5 (4")	14.5-38.5 (4")	14.5-38.5 (4")	14.5-38.5 (4")	338	1.72	195.85	1.31x10 <sup>-1</sup>	141	127.6	
52 Soahazo 52-1	SANKYO SM-200	03.07.90 12.07.90	78.0	36.17	47.1-63.1 (4")	47.1-63.1 (4")	47.1-63.1 (4")	47.1-63.1 (4")	47.1-63.1 (4")	47.1-63.1 (4")	130 (-233)	1.03	120.37	1.13x10 <sup>-1</sup>	1.080	767.3	
52-2	SANKYO SM-200	13.07.90 17.07.90	34.0	4.90	7.1-15.1 (4")	7.1-15.1 (4")	7.1-15.1 (4")	7.1-15.1 (4")	7.1-15.1 (4")	7.1-15.1 (4")	167	5.72	29.204	1.25x10 <sup>-1</sup>	3.830	2527.4	
53 Anaiami sampy	SANKYO SM-200	18.07.90 25.07.90	71.0	13.11	7.5-11.5 (4")	7.5-11.5 (4")	7.5-11.5 (4")	7.5-11.5 (4")	7.5-11.5 (4")	7.5-11.5 (4")	30 (-112)	8.09	3.713	1.84x10 <sup>-1</sup>	1.350	2067.2	
54 Belitsaka	SANKYO SM-200	26.07.90 01.07.90	66.0	12.78	31.9-47.5 (4")	31.9-47.5 (4")	31.9-47.5 (4")	31.9-47.5 (4")	31.9-47.5 (4")	31.9-47.5 (4")	200 (-270)	14.70	13.611	1.08x10 <sup>-1</sup>	2.030	4447.0	
55 Ampasikibo	SANKYO SM-200	01.08.90 06.08.90	50.0	9.16	23.9-43.5 (4")	23.9-43.5 (4")	23.9-43.5 (4")	23.9-43.5 (4")	23.9-43.5 (4")	23.9-43.5 (4")	280 (-287)	8.96	40.231	3.71x10 <sup>-1</sup>	817	227.2	
56 Namaboha	SANKYO SM-200	07.08.90 15.08.90	83.0	16.50	39.5-47.5 (4")	39.5-47.5 (4")	39.5-47.5 (4")	39.5-47.5 (4")	39.5-47.5 (4")	39.5-47.5 (4")	247 (-263)	16.67	14.823	1.74x10 <sup>-1</sup>	975	957.3	
59 Ampihany	SANKYO SM-200	07.10.90 14.10.90	53.0	8.30	23.9-51.5 (4")	23.9-51.5 (4")	23.9-51.5 (4")	23.9-51.5 (4")	23.9-51.5 (4")	23.9-51.5 (4")	285 (-315)	7.03	42.11	3.48x10 <sup>-1</sup>	996	867.2	
65 Ankaraobato	SANKYO SM-200	24.08.90 02.07.90	75.5	3.40	15.2-19.2 (4")	15.2-19.2 (4")	15.2-19.2 (4")	15.2-19.2 (4")	15.2-19.2 (4")	15.2-19.2 (4")	339 (-361)	2.93	115.701	1.46x10 <sup>-1</sup>	849	627.2	
66 Andriana	SANKYO SM-200	19.09.90 22.09.90	53.0	12.30	18.0-26.0 (6")	18.0-26.0 (6")	18.0-26.0 (6")	18.0-26.0 (6")	18.0-26.0 (6")	18.0-26.0 (6")	300	0.985	304.578	6.54x10 <sup>-1</sup>	565	187.1	
68 Manombo-Atm	KOKEN	26.09.90 30.09.90	27.0	4.53	11.5-23.5 (6")	11.5-23.5 (6")	11.5-23.5 (6")	11.5-23.5 (6")	11.5-23.5 (6")	11.5-23.5 (6")	185 (-263)	0.39	423.08	2.35x10 <sup>-1</sup>	1.000	627.2	
67 Tsefanoka	KOKEN	08.10.90 12.10.90	45.0	24.30	22.0-42.0 (4")	22.0-42.0 (4")	22.0-42.0 (4")	22.0-42.0 (4")	22.0-42.0 (4")	22.0-42.0 (4")	142 (-144)	3.05	46.581	1.18x10 <sup>-1</sup>	602	107.4	
68 Benetsy	KOKEN	01.10.90 06.10.90	72.0	13.51	39.5-43.5 (8")	39.5-43.5 (8")	39.5-43.5 (8")	39.5-43.5 (8")	39.5-43.5 (8")	39.5-43.5 (8")	188 (-161)	2.015	78.41	2.33x10 <sup>-1</sup>	977	587.4	
70 Ankilimalinika	KOKEN	22.10.90 28.10.90	66.0	14.35	42.0-62.0 (4")	42.0-62.0 (4")	42.0-62.0 (4")	42.0-62.0 (4")	42.0-62.0 (4")	42.0-62.0 (4")	152 (-155)	1.57	91.02	3.02x10 <sup>-1</sup>	2.458	1347.5	
81 Maneroka	KOKEN	15.10.90 20.10.90	58.0	5.23	30.0-50.0 (4")	30.0-50.0 (4")	30.0-50.0 (4")	30.0-50.0 (4")	30.0-50.0 (4")	30.0-50.0 (4")	188	0.000	-	-	1.210	957.4	

No. puits & localité	Sondeuse		Profond.		Résultats du forage d'essai		Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau		
	Début et fin	Rig	W.L. (GL-m)	Depth (GL-m)	Position de la crépine (GL-m)	Lithologie de l'aquifère	Debit (Q) /min. (air lifting)	Jeux (S) m	Capacité /min. /m. l'abs	Transmissivité m <sup>2</sup> /min.	Conductivité électrique US/cm	Cl	pH
78 Befoly	19.06.90	TOP-200	178.56	226.5	224.5-226.5	Porous & fissured limestone D 107/min. Ø100/min.	38.7 (~110) 110	3.32	11.858.88x10 <sup>-3</sup>	E. 05x10 <sup>-3</sup>	E. 04x10 <sup>-3</sup>	403	147.8
	05.09.90	TOP-200	178.56	226.5	224.5-226.5								
85 Franokaky	14.07.90	TOP-200	16.57	181.1	open hole (5' / 4")	C-3 fractured basalt fractured basalt & fine sandstone	38.7 (~110)	3.32	11.858.88x10 <sup>-3</sup>	E. 05x10 <sup>-3</sup>	E. 04x10 <sup>-3</sup>	834	827.5
	23.07.90	TOP-200	16.57	181.1	open hole (5' / 4")								
84 Mandrano	16.08.90	TOP-200	32.72	150.1	Ø 5.5-38.5 (6") Ø 9.9-103.5 (6") Ø 107.5-119.5 (6") Ø 135.5-139.5 (6")	(III) fine to medium sandstone fine sandstone fine sandstone & silty sandstone	300 (~650)	7.20	41.873.46x10 <sup>-3</sup>	E. 43x10 <sup>-3</sup>	E. 36x10 <sup>-3</sup>	410	167.4
	28.08.90	TOP-200	32.72	150.1	Ø 5.5-38.5 (6") Ø 9.9-103.5 (6") Ø 107.5-119.5 (6") Ø 135.5-139.5 (6")								
86 Berenty-Betsileo	29.08.90	TOP-200	15.54	140.0	Ø 38.5-43.5 (6") Ø 59.5-63.5 (6") Ø 71.5-75.5 (6") Ø 79.5-91.5 (6") Ø 107.5-111.5 (6") Ø 127.5-131.5 (6")	D marl to marly sandstone fine sandstone (with medium s.s.) silty sandstone & sandy marl silty sandstone marly sandstone weathered coarse sandstone & gravelly sandstone	68 (~80)	44.45	1.532.76x10 <sup>-3</sup>	E. 55x10 <sup>-3</sup>	E. 27x10 <sup>-3</sup>	2.190	2488.4
	07.09.90	TOP-200	15.54	140.0	Ø 38.5-43.5 (6") Ø 59.5-63.5 (6") Ø 71.5-75.5 (6") Ø 79.5-91.5 (6") Ø 107.5-111.5 (6") Ø 127.5-131.5 (6")								
88 Maninday	25.07.90	TOP-200	16.29	73.5	Ø 15.5-31.5 (6") Ø 35.5-43.5 (6") Ø 51.5-55.5 (6")	(II) weathered coarse sandstone & gravelly sandstone weathered coarse sandstone	380 (~480)	2.27	43.535.97x10 <sup>-3</sup>	E. 23x10 <sup>-3</sup>	E. 26x10 <sup>-3</sup>	106	106.9
	31.07.90	TOP-200	16.29	73.5	Ø 15.5-31.5 (6") Ø 35.5-43.5 (6") Ø 51.5-55.5 (6")								
89 Analamary	01.08.90	TOP-200	35.00	204.0	Ø 31.5-39.5 (6") Ø 51.5-55.5 (6") Ø 59.5-75.5 (6") Ø 135.5-139.5 (6") Ø 163.5-167.5 (6")	D weathered coarse sandstone coarse sandstone with fine sandstone beds	380 (~600)	3.62	41.765.18x10 <sup>-3</sup>	E. 08x10 <sup>-3</sup>	E. 92x10 <sup>-3</sup>	142	86.4
	10.08.90	TOP-200	35.00	204.0	Ø 31.5-39.5 (6") Ø 51.5-55.5 (6") Ø 59.5-75.5 (6") Ø 135.5-139.5 (6") Ø 163.5-167.5 (6")								

Tableau 3 Caractéristiques des principales nappes

Aquifère	Capacité spécifique (l/min. /m)	Transmissivité (m <sup>2</sup> /min.)			Remarques
		Theis	Jacob	Récupération	
Sédiments néritiques de l'Eocène moyen et supérieur	Befandriana area	8.89x10 <sup>-3</sup> - 6.28x10 <sup>-1</sup> (2.18x10 <sup>-1</sup> )	9.76x10 <sup>-3</sup> - 6.54x10 <sup>-1</sup> (3.88x10 <sup>-1</sup> )	1.47x10 <sup>-2</sup> - 5.38x10 <sup>-1</sup> (3.95x10 <sup>-1</sup> )	Except Analatelo (28)
	Soehazo area	1.08x10 <sup>-3</sup> - 1.30x10 <sup>-1</sup> (5.34x10 <sup>-2</sup> )	1.08x10 <sup>-3</sup> - 1.13x10 <sup>0</sup> (2.75x10 <sup>-1</sup> )	8.65x10 <sup>-3</sup> - 8.20x10 <sup>-1</sup> (2.75x10 <sup>-1</sup> )	Except Analamisampy (53)
	Benetsy area	46.56-115.70 ( 82.92)	1.23x10 <sup>-1</sup> - 1.49x10 <sup>-1</sup> (1.36x10 <sup>-1</sup> )	1.18x10 <sup>-1</sup> - 3.02x10 <sup>-1</sup> (2.05x10 <sup>-1</sup> )	
Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen	217.50-5016.67 (2122.92)	—	—	2.36x10 <sup>0</sup> -	X1 T (av.) : 2.59x10 <sup>0</sup> m <sup>2</sup> /min.
Roches basaltiques du Crétacé supérieur	11.65	8.88x10 <sup>-3</sup>	5.05x10 <sup>-3</sup>	8.04x10 <sup>-3</sup>	
Dépôts continentaux du Jurassique moyen	41.67	8.46x10 <sup>-3</sup>	8.45x10 <sup>-2</sup>	6.86x10 <sup>-2</sup>	Isalo III F.
Dépôts continentaux du Jurassique inférieur	41.76- 43.53 ( 42.65)	5.06x10 <sup>-2</sup> - 5.97x10 <sup>-2</sup> (5.57x10 <sup>-2</sup> )	5.16x10 <sup>-2</sup> - 8.23x10 <sup>-2</sup> (6.65x10 <sup>-2</sup> )	3.92x10 <sup>-2</sup> - 5.26x10 <sup>-2</sup> (4.59x10 <sup>-2</sup> )	Isalo II F. Except Berenty (46)

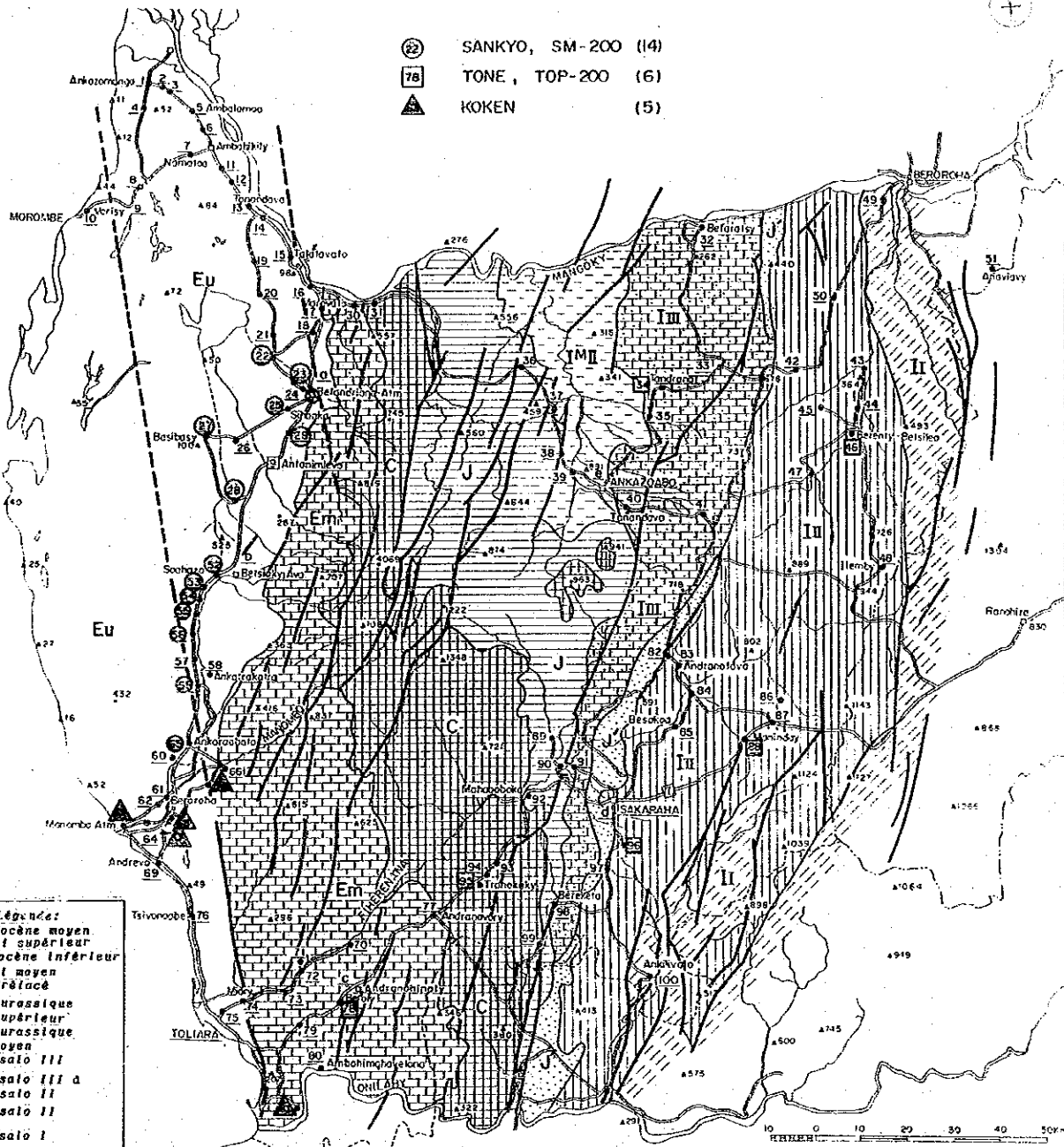
( ) : Average value

\*1: Valeur estimée selon les relevés des forages d'Analatelo (28), Manombo (63) et No.2 et No.4 de Miary de la JIRAMA.





Figure 8 Carte de localisation: Forages test et essais de pompage



**Légende:**  
 Eu Eocène moyen et supérieur  
 Em Eocène inférieur  
 C Crétacé  
 J Jurassique supérieur  
 J' Jurassique moyen  
 III Isalo III  
 IIIa Isalo III a  
 II Isalo II  
 I Isalo I

No Villages	15 Talatavalo	II. Fiv. ANKAZOABO ATM	48 Ilcaby	60 Ambondro	78 Betoky	92 Mahatoboka
I. Fiv. MOROUBE	16 Ambiky	32 Betaratey	III. Fiv. BEROROKHA	61 Beroroka	79 Ankororoka	93 Mahaso
1 Ankazowanga	17 Marovato	33 Andranosanitsy	49 Tanapdava-Antalfasy	62 Antsomarihy	80 Aebichiasavelona	94 Andamasiny-Vineta
2 Beadabo	18 Andranoboka	34 Tandrah	50 Anjanitikitra	63 Manombo-Ata	81 Manoroka	95 Iranokaky
3 Befasy	19 Sazranbondro	35 Aspandrahitestaky	51 Anavavy	64 Antandroka	101 Ankilinafinika	96 Analawary
4 Ankilifolo(1)	20 Mahavozokely	36 Andranowafana		65 Ankarobato		97 Antanimora
5 Ambalanao	21 Antranosatra	37 Manakiala	IV. Fiv. TOLIARA I/II	66 Andoharano		98 Bereketa
6 Tsiatiby	22 Manoy	38 Berenty-Anklimasy		67 Tsefanoka		99 Ankilimitraloka
7 Nawatoa	23 Ampoza	39 Betsinefo	52 Soahazo	68 Benetsy		100 Ankilivalo
8 Mangolovolo	24 Ankilifolo(2)	40 Tanandava	53 Analamisampy	69 Andreo		
9 Ankida	25 Sihanaka	41 Ampoza	54 Bolitsaka	70 Anjanala		a Bofandriana
10 Vorisy	26 Besoka	42 Ipeisa Ata	55 Apasikibo	71 Anpialia		b Betsiky Nord
11 Andranosanitsy	27 Basibasy	43 Mandabe Ata	56 Nawaboha	72 Behopy		c Andranohinaty
12 Berantala	28 Analatelo	44 Soatanibary	57 Antseva	73 Anbolonkfra		d Sakaraha
13 Tanandava	29 Mangotroka	45 Sahonory Aim	58 Ankilimlavotoka	74 Alary		e Ankazoabo
14 Antsakoabo	30 Nosy-Ambositra	46 Borenty-Betsileo	59 Anpiahay	75 Defanary		
	31 Tsiarimpoke	47 Ankilivalokely		76 Tsvonocabe		
				77 Andranovory		



### 3.8 Analyse de la qualité de l'eau

#### 3.8.1 Qualité chimique de l'eau souterraine

Comme le montre la figure 9, une partie des eaux souterraines qu'on rencontre à une profondeur inférieure à 30m dans la Zone de l'Etude ne peuvent pas être considérées comme étant potables en raison d'un goût salé. Les eaux souterraines plutôt salées sont découvertes aux environs du Lac d'Ihotry, Manoy(22), Basibasy(27), Soahazo(52), Belitsaka(54), Benety(68), Ankilimalinika(101), Andrevo(69), partie côtière de la ville de Toliara, environs de Mahaboboka(92) et de Berentsy-Betsileo(46).

Ces eaux salées, peu profondes d'ailleurs, sont rapportées aux types chloruré sodique ( $NaCl_2$ : IV), sulfate sodique ( $NaSO_4$ : III) ou chloruré calcique ( $CaCl_2$ : III), dont la qualité est semblable à celle de l'eau de la mer.

Lors du forage d'essai, un certain nombre de constats ont été apportés en ce qui concerne les caractéristiques hydrogéologiques de l'eau dite "salée" de la région Ouest longeant la RN 9:

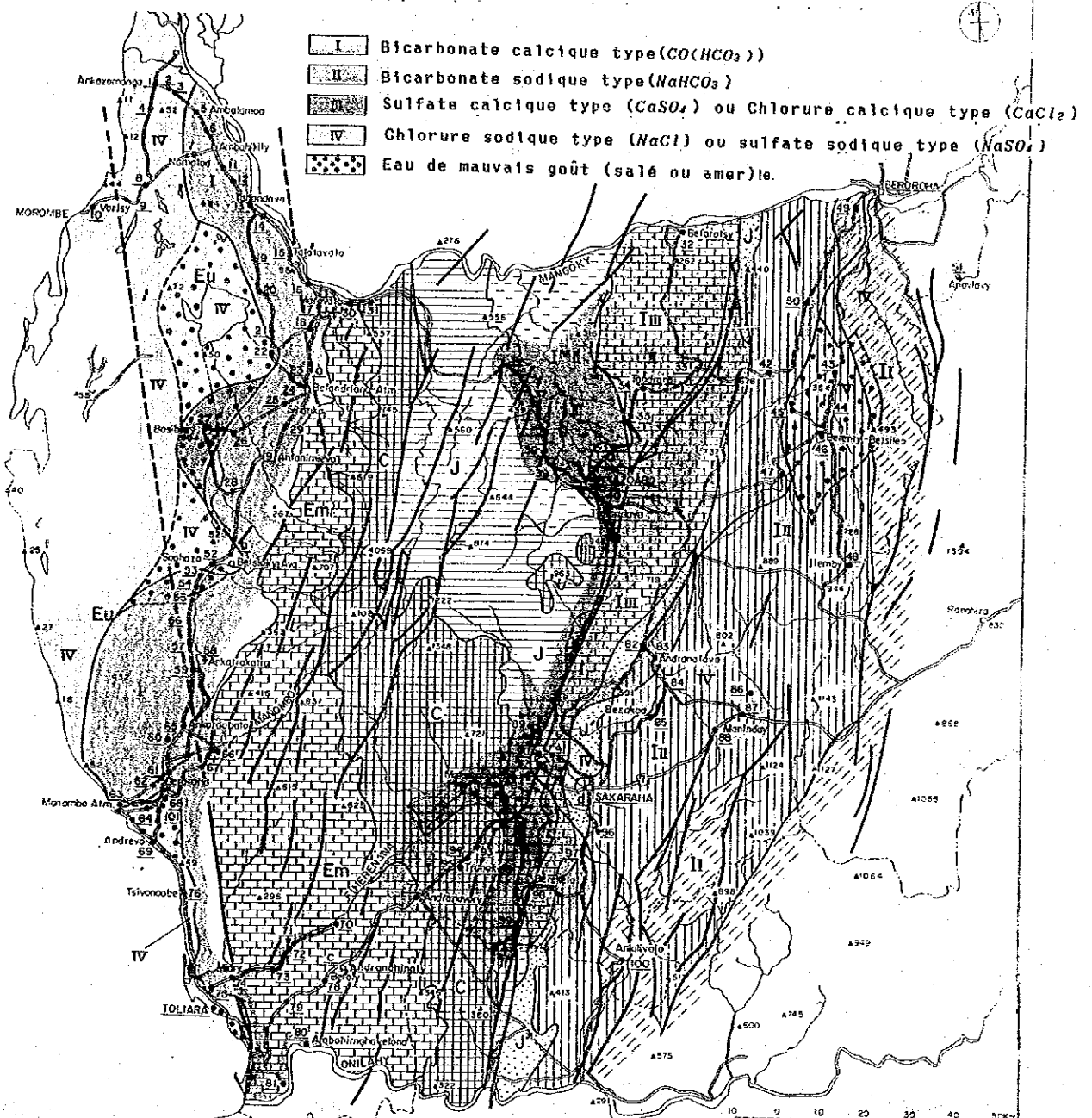
- La salinité est marquée dans les eaux venant des grès peu épais, intercalés de marnes et de grès marneux;
- Les eaux qui se situent à une profondeur inférieure à 30m sont fortement salées, mais les composants chimiques des nappes plus profondes varient du type d'eau de mer fossilifère ( $NaCl$ : IV) au type d'eau fraîche des nappes captives à la carbonate sodique ( $NaHCO_3$ : II) (Fig.10).
- Les eaux souterraines dans la région littorale sont influencées par l'eau de la mer, donc très salées (Fig.11).

Selon l'analyse des échantillons prélevés aux forages d'essai, la qualité des eaux souterraines disponibles dans la Zone de l'Etude est généralement bonne, mise à part l'eau de Basibasy(27) qui contient une proportion élevée de calcium et de chlore. L'eau de Berentsy-Betsileo(46), alors que sa qualité chimique satisfait les exigences de la norme de potabilité, est difficile à boire à cause de son goût salé.

L'analyse a, par ailleurs, permis de préciser les tendances générales de distribution de la qualité de l'eau selon la zone et le type de la nappe. Ce sera un renseignement très utile dans une étude sur le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines:



Figure 9 **Qualité chimique de l'eau pour usage domestique**  
 - Sauf les eaux fluviales et au lit fluvial -



No Villages	15 Talatavalo	II. Fiv. ANKAZOABO ATM	48 Ilesby	60 Ambondro	78 Befoly	92 Mahaboka
<b>I. Fiv. MOROMBE</b>	16 Ambiky	32 Belaratsy	<b>III. Fiv. BERORONA</b>	61 Beroroha	79 Ankoroka	93 Mahasca
1 Ankarazanga	17 Marovato	33 Andranosaninty	49 Tanandava-Antalfasy	62 Antsonarifly	80 Aebobiahavelona	94 Andarasiny-Vineta
2 Beadabo	18 Andranoboka	34 Tandrano	50 Anjanitikitra	63 Manombo-Ata	81 Manoroka	95 Tranofaky
3 Befasy	19 Satrabondro	35 Appandranitsetaky	51 Anavasy	64 Antandroka	101 Ankiliasineika	96 Analanary
4 Ankilifolo(i)	20 Mahavozokely	36 Andranosafana		65 Ankarabato		97 Antanivora
5 Ambalawa	21 Antranosatra	37 Manoklala		66 Andoharano	<b>V. Fiv. SAKARARA</b>	98 Bereketa
6 Tsiandry	22 Manoy	38 Berenty-Ankiliasy	<b>IV. Fiv. TOLIARA I/II</b>	67 Tsefanoka		99 Ankilinitaloka
7 Namtoa	23 Ampoza	39 Betsinelo		68 Benetsy		100 Ankilivalo
8 Mangolovolo	24 Ankilifolo(2)	40 Tanandava	52 Soahazo	69 Andrevo	82 Iaborana	
9 Ankida	25 Sibanka	41 Ampoza	53 Analanisampy	70 Anjanala	83 Andranolava	
10 Vorisy	26 Bewoka	42 Ipetsa Atn	54 Bolitsaka	71 Ampihalla	84 Lambonahandro	
11 Andranosaninty	27 Basibasy	43 Kandaba Atn	55 Ampasikibo	72 Echompy	85 Besakoa(i)	
12 Berantala	28 Analatelo	44 Soatanibary	56 Nasaboha	73 Ambolonkira	86 Besakoa(2)	
13 Tanandava	29 Mangotroka	45 Sabanory Atn	57 Antseva	74 Mlary	87 Apandra	a Befandriana
14 Antsakoabe	30 Nosy-Ambositra	46 Berenty-Betsileo	58 Ankilinivotoka	75 Befanasy	88 Manindary	b Betsioky Nord
	31 Tselariaploke	47 Ankilivalokely	59 Anpiny	76 Bevoalavo	89 Bevoalavo	c Andranohinaly
				90 Tananbao	91 Axbahialitsy	d Sakaraha
						e Ankarabo



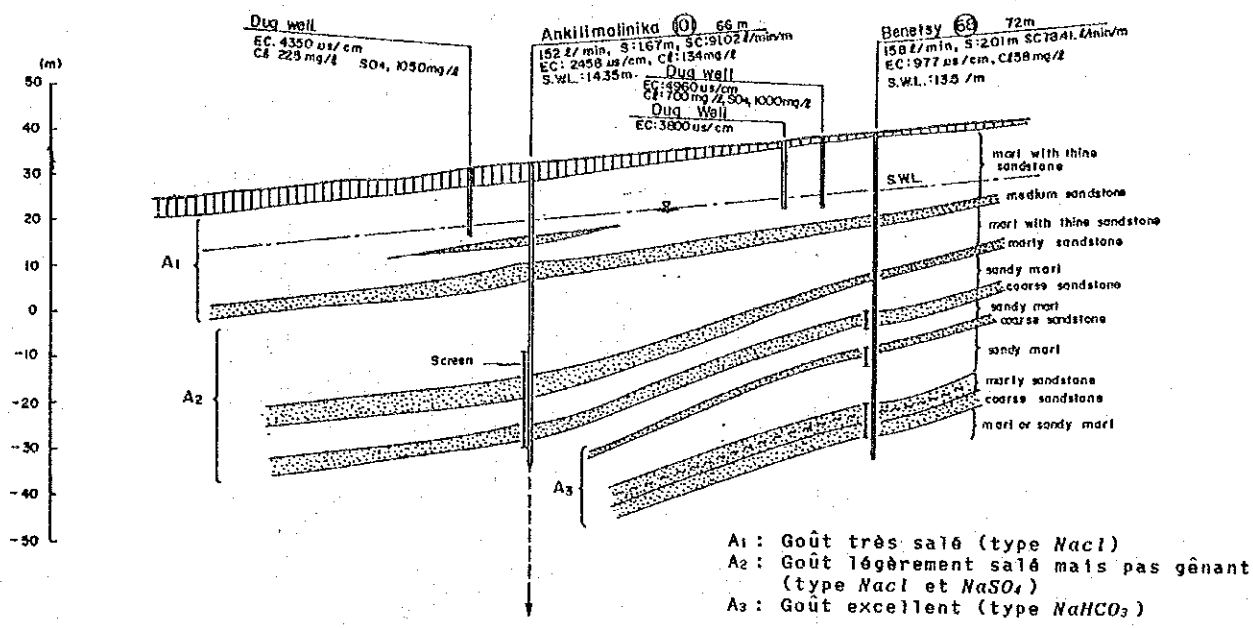


Figure 10 Profil hydrogéologique entre Ankilimalinika et Benetsy

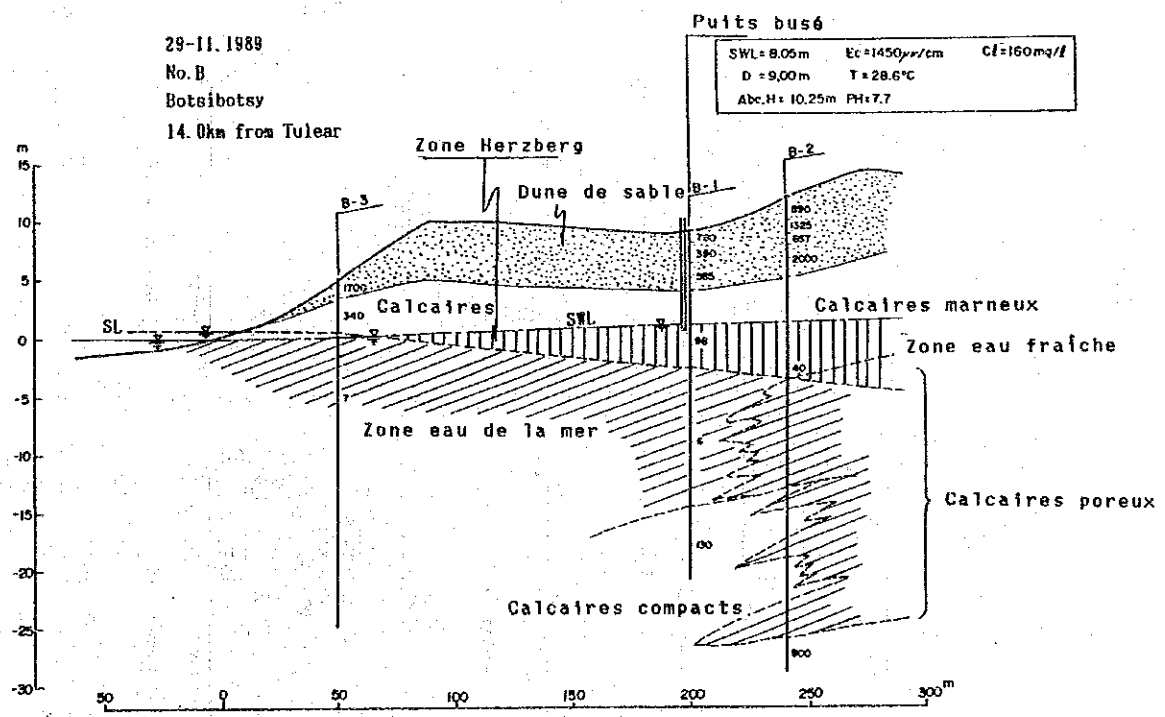
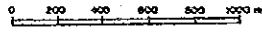


Figure 11 Structure hydrogéologique de la zone côtière



Origine de l'eau souterraine  
 suggérée par le diagramme triaxial

I :	Eau souterraine libre ou fluviatile
II :	Eau souterraine captive ou de qualité intermédiaire
III :	Souffice ou eau contaminée d'eau de la mer
IV :	

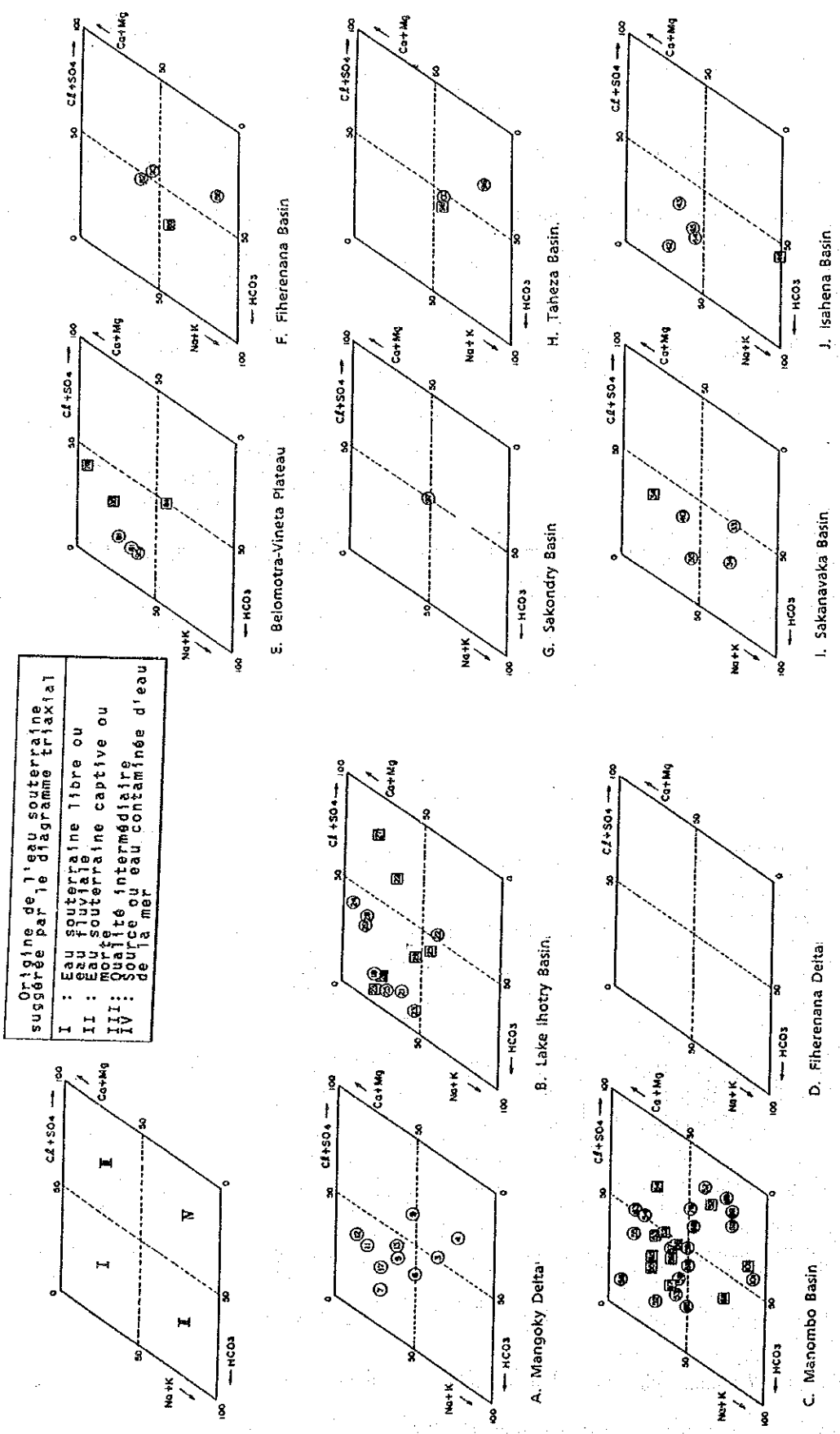


Figure 12 Qualité de l'eau

- Les eaux souterraines dans les dépôts néritiques de l'Eocène moyen ou supérieur de la région Ouest, située le long de la RN 9, appartiennent au type d'eau douce de nappe libre ( $Ca(HCO_3)$ : I), c'est-à-dire similaire à celui des cours d'eau sauf pour les zones à eaux salées mentionnées ci-dessus.
- Les eaux souterraines dans les calcaires de l'Eocène inférieur et dans les basaltes du Crétacé supérieur relèvent également au type d'eau douce de nappe libre ( $Ca(HCO_3)$ : I). Avec un faible taux d'éléments dissous (220mg/l dans les calcaires et 447mg/l dans les roches basaltiques), la qualité est bonne.
- Quant aux eaux souterraines dans les formations continentales du Jurassique inférieur (groupe de l'Isalo II), leur qualité s'approche de celle de l'eau de la mer jusqu'en profondeur inférieure à 30m, mais une fois dépassé ce seuil, elle appartient plutôt au type eau douce de nappe libre ( $NaHCO_3$ : II), sauf l'eau de Berentsy-Betsileo(46) dont le taux d'éléments dissous est de 1.100mg/l.

### 3.8.2 Densité de tritium

Dans le but d'estimer l'âge de l'eau souterraine et de connaître son mécanisme d'écoulement, 5 échantillons prélevés aux nouveaux sondages de Manoy(22), Soahazo(52), Befoly(78), Tranokaky(95) et Maninday(88) ont été envoyés au Japon afin de les soumettre à une analyse de radioisotope ( $^3H$ ). Les résultats de cette analyse sont repris dans le tableau 4 et dans la figure 13.

Selon les résultats de l'analyse, le taux de tritium est généralement faible dans les eaux souterraines disponibles dans la Zone de l'Etude. Elle est comprise entre 0,96TR à Manoy(22) et 3,66TR à Maninday(88).

a) A Manoy(22) et Soahazo(52), les nappes aquifères sont peu profondes et libres. La qualité de leur eau est du type chloruré sodique ( $NaCl$ : IV) ou sulfate sodique ( $NaSO_4$ : IV) avec un faible taux de tritium de 0,96 à 1.05TR. De là, il est fort possible que les nappes sont peu alimentées par les précipitations et par les eaux superficielles, mais rechargées plutôt par des eaux souterraines d'une circulation de longues années contenant de l'eau salée et fossilifère.

b) L'eau souterraine de Tranokaky et de ses environs témoigne d'un faible taux de tritium (1,65TR) et sa qualité appartient au type eau douce de nappe libre. C'est une eau de fracture venant des nappes constituées essentiellement de basaltes, et rechargée aux environs du pied du massif du Sud. La vitesse de circulation est estimée approximativement à 35 années. Le composant en ion est le bicarbonate calcique ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ : I).

c) L'eau de Befoly(78) est libre et profonde et trouve son origine dans les calcaires de l'Eocène inférieur. A Maniday(88), l'eau est venue des formations gréseuses et continentales du Jurassique inférieur. La première est du type  $\text{CaHCO}_3$  (I) et la dernière du type  $\text{NaHCO}_3$  (II). Le temps de circulation est probablement de 20 à 25 années. Du fait que les calcaires de l'Eocène inférieur ainsi que les grès du Jurassique inférieur (groupe de l'Isalo) forment des nappes aquifères reposant largement dans la Zone, on peut retenir leur taux de tritium, de 3,54 à 3,66TR, comme la valeur spécifique de la Zone.

Tableau 4 Taux de tritium

Sampling Place (No. of Borehole)	Aquifer		Tr Value
	Aquifer Characteristics	Screen Position (GL-m)	
Manoy (no. 22)	Medium to coarse sandstone of the Middle to Upper Eocene Unconfined aquifer	Ø18.4-38.4	0.96 (±0.07)
Soahazo (No. 52-1)	Sandy marl with medium to coarse sandstone of the Middle to Upper Eocene Weakly confined aquifer	Ø47.1-63.1	1.05 (±0.07)
Befoly (No. 78)	Weakly fissured and porous limestone of the Lower Eocene Unconfined aquifer	Ø183.5-195.5 Ø224.5-226.5 (Open hole)	3.54 (±0.11)
Tranokaky (No. 95)	Fractured basalt and fine sandstone of the Upper Cretaceous Weakly confined aquifer	Ø35.5-55.5 Ø99.5-103.5 Ø59.5-83.5 Ø115.5-135.5 Ø75.5-83.5	1.65 (±0.07)
Maninday (No. 88)	Weathered coarse sandstone of the Lower Jurassic Mainly unconfined aquifer	Ø15.5-31.5 Ø35.5-43.5 Ø51.5-55.5	3.66 (±0.12)

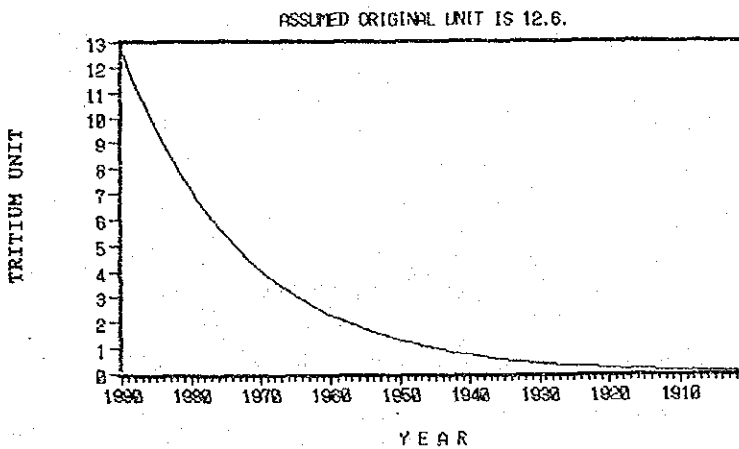
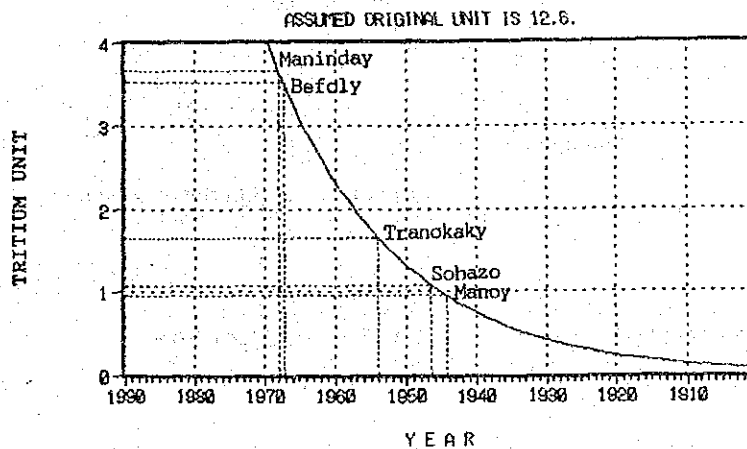


Figure 13 Courbe de décroissance de tritium



#### 4. BASE DE DONNEES

Les objectifs de la base de données consistent à sauvegarder et à gérer les données hydrologiques et hydrogéologiques relatives à la région Sud-Ouest de Madagascar pour permettre leur exploitation optimale dans le processus de planification de développement des eaux souterraines.

Le traitement porte sur les données concernant l'hydrologie, la météorologie et l'hydrogéologie.

La base de données prévoit les fonctions de saisie, de gestion de fichiers, de mise à jour de données et d'impression.

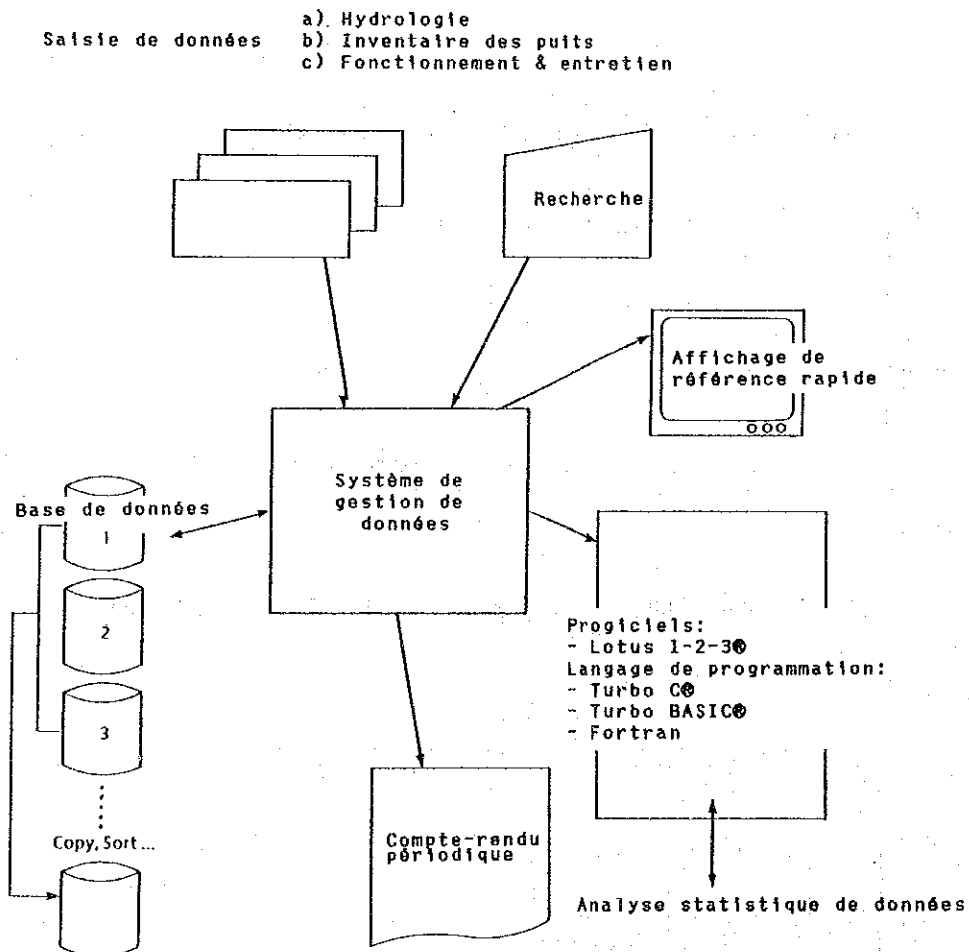


Figure 14 Description de la base de données

## 5. ETUDE DE REHABILITAION

L'étude de réhabilitation était prévue initialement pour 9 villages au total. Cependant, le système AEP existant à Tanandava étant maintenu dans un très bon état, celui-ci n'a pas fait l'objet de notre étude détaillée.

Le village Beroroha a été aussi supprimé de la liste, du fait que le seul moyen d'accès à ce site est limité à un petit bac qui ne permet pas le transport de nos équipements d'étude et de poids-lourds. Il est ainsi remplacé par Mahaboboka. La liste des villages dont l'équipement existant a été examiné dans le cadre de l'étude de réhabilitation est donnée dans la page suivante:

### 5.1 Puits de forage

Les puits existants sont difficiles à réhabiliter à cause de leur dysfonctionnement de longue durée, ceci est dû en particulier à la méthode de forage et à la finition de l'ouvrage adoptées (tubage télescopique, absence de graviers autour de la crépine, etc.). Le puits de Sakaraha en fait toutefois exception. Une fois réhabilité, celui-ci reprend son service mais son débit, amélioré de 100 à 144ℓ/m, reste encore loin de la valeur initialement obtenue à l'époque, soit 400ℓ/m. La nouvelle implantation d'un autre puits y sera enfin nécessaire.

### 5.2 Equipements de pompage (pompe, groupe électrogène, etc)

Les équipements dont disposent 7 villages ne fonctionnent plus et doivent être remplacés. Ils sont délaissés depuis de longues années sans intervention quotidienne de remise en état. Le problème majeur semble résider plutôt dans le système et le programme afférents aux entretiens et à la gestion, conçus lors de leur construction.

### 5.3 Réservoirs

Il existe, dans 6 villages sur 8 étudiés, 7 réservoirs cylindriques en tôle (dont 2 à Sakaraha) et 1 en béton. Les réservoirs d'eau, sauf celui de Sakaraha, pourront être encore utilisés, à condition que l'on les colmate pour arrêter la fuite.

#### 5.4 Réseau de distribution

4 villages sur 8 sont dotés d'un réseau de distribution de plusieurs centaines de mètres et de robinets d'intérêt public. 3 villages possèdent simplement des robinets placés à proximité du réservoir. En tous cas, ces installations feront l'objet de remise en état, voire même de remplacement.

Tableau 5 Résultats de l'étude de réhabilitation

Village	Facility	Existing Condition & Points to be rehabilitated	Remarks
Befandriana	Well:depth 64m, telescopic type, GWL=12.6m	Discharge was improved to 30 l/min by well rehabilitation, but smaller than original 233 l/min	Model Rehabilitation Work was implemented (Details in Sec 6)
	Elevated steel tank Q=21m <sup>3</sup> , H=3m	Leaking from joint, Drainage valve is broken	
	Distribution Pipe Communal base:1	"Replace"	
	Distribution Tank (1.2 x 6 x 7m)	No surface mortar No Drainage	
	Pump, Engine house	Pump:replace, Generator:Overhaul House:replace	
Betsioky	Well:depth 90m, telescopic type, GWL=59.4m	Discharge is small, Water quality is no good(EC=2800), lower part of casing is full of sand	Need to drill 150m for new installation Aquifer estimate 120m
	Elevated steel tank Q=16m <sup>3</sup> , H=2.2m	Leaking from joint	
	Distribution Pipe 2-300m of PVC	"Replace"	
	Communal base with 3 faucets	"Replace"	
Andranohinany	Well:depth 220m, 6" casing GWL=207m	No information	
	Elevated steel tank Q=11m <sup>3</sup> , H=3m	Leaking from joint, Drainage valve is broken	
	Communal base:1 with 3 faucets	"Replace"	
	Pump, Engine house	"Replace"	
Andranovory	Well:depth 136m, telescopic type, GWL=12.6m	Discharge was improved to 40 l/min by well rehabilitation, but casing is broken	
	Elevated steel tank Q=15m <sup>3</sup>	Tank has no problem, but concrete base is cracked	
	Communal base:1 with 3 faucets	Good condition	
	Pump, Engine house	"Replace"	

( / )



Village	Facility	Existing Condition & Points to be rehabilitated	Remarks
Sakaraha	Well:depth 31m, telescopic type, GWL=10.7m	Discharge was improved by 40 l/min to 140 l/min by well rehabilitation (Originally 400 l/min)	Capacity of existing well is not enough
	Elevated steel tank 2 Tank 1: Q=24.6m <sup>3</sup> H=6 m Tank 2: Q=10m <sup>3</sup> H=4 m	Leaking from joint, Drainage	
	Distribution Pipe:2km Communal base: 14	"Replace"	
Ankazoabo	Well:depth 27.3 m telescopic type, GWL=12.4m	Discharge was improved to 80 l/min by well rehabilitation; originally 120 l/min, Screen is broken	
	Elevated steel tank Q=40m <sup>3</sup> , H=3.0m	Leaking from joint	
	Distribution Pipe 1500 m	"Replace"	
	Communal base with 3 faucets	"Replace"	
	Pump, Engine house	"Replace"	
Bereketa	2 dug well Well 1: 40 l/min Well 2: 30 l/min	No capacity in dry season	
	Elevated concrete tank Distribution pipe 100m	No problem "Replace"	
	Communal base:1 with 12 faucets	"Replace"	
	Pump, Engine house	"Replace"	
Andranovory	Well with handpump	Water quality is poor	

## 6. EQUIPEMENTS-PILOTES ET LEUR CONTROLE

La construction des équipements-pilotes a été entreprise, dans la perspective d'élaboration d'un plan optimal AEP intéressant des villages de la Zone de l'Etude, pour examiner particulièrement les possibilités d'approvisionnement en matériaux locaux et les performances techniques de constructeurs locaux ainsi que l'aptitude de ceux qui les exploitent effectivement.

Les contenus des travaux effectués dans ce cadre sont inscrits en récapitulation dans le tableau ci-dessous:

Tableau 6 Travaux de construction d'équipements-pilotes

Type	Ouvrages	Spécifications	Villages intéressés
A	-Réservoir surélevé -Conduite adduct. -Robinet  -Pompe submersible -Groupe électro-gène et bâti	16m <sup>3</sup> , haut.2,6m 360m, ø48mm 3 emplacements, 12 robinets profond.106m 11KVA superficie 18m <sup>2</sup>	Tranokaky pop. 1.000 habitants, à 90km de Toliara, au long de la RN 7.
B	-Réservoir surélevé -Conduite adduct. -Robinet  -Pompe submersible -Système solaire et bâti	16m <sup>3</sup> , haut.1,2m 360m, ø48mm 3 emplacements, 4 robinets profond.106m 0,55KW, 18 modules (max.864Wp)	Soahazo pop. 500 habitants, à 130km de Toliara, au long de la RN 9.
C	-Pompe à main	(Fab.japonaise) Profond.visée de 30 à 50m (Fab.locale) Profond.visée de 30 à 50m	Namaboaha, Ampasikibo, Belitsaka, Analamisampy, Analatele Manoy, Ampoza, Sihanaka, Basibasy, Mangotroka, Ampihamy, Manombo, Benety Ankilimalinika, Monoroka, Analamary
D	REHABILITATION -Remise en état du réservoir surélevé -Remplacement de conduite -Robinet -Pompe submersible  -Groupe électro- gène et bâti	7,4m, ø48mm  1 emplacement Profond.24m, 3,7KW 12,5KVA superficie 12m <sup>2</sup>	Befandriana Pop. 3.000 habitants, à 200km au Nord de Toliara, au long de la RN 9. Les équipements objets de réhabilitation étaient construits, vers 1960, par US.AID.

Les problèmes portant sur l'organisation, la gestion et l'entretien sont abordés dans le chapitre 8, "Villages candidats". Quant à la pompe à énergie solaire, elle suppose un débit journalier de l'ordre de 9 à 10m<sup>3</sup> dans une parfaite condition météorologique (bon ensoleillement). Le temps nuageux implique donc l'arrêt complet de la pompe, la capacité des modules du système solaire étant pour le moment minime. Sa mise en place réclamera en tous cas un examen sur des données ramassées à travers une période de plusieurs années et sur des mesures particulières pour le fonctionnement en saison humide.

## 7. EVALUATION SUR LES POTENTIELS DES EAUX SOUTERRAINES

### 7.1 Analyse du bilan hydrologique

L'analyse du bilan hydrologique a été effectuée pour les eaux souterraines dans les nappes libres et ce sur la base des niveaux d'eau relevés à Anbatolily et des précipitations journalières mesurées à Ankaraobato. La formule qu'on a utilisée dans le calcul du bilan hydrologique est la suivante:

$$SdH/dt = (Q_1 - Q_2)/F + W$$

où,  $SdH$ : Variation du volume d'eaux souterraines accumulées

$S$ : Coefficient d'emmagainage (ou débit spécifique lorsqu'il s'agit d'une nappe phréatique)

$dH$ : Variation du niveau d'eau

$dt$ : Intervalle de temps

$(Q_1 - Q_2)/F$ : Ecoulement d'eaux souterraines

$W$ : Recharge d'eaux souterraines

$F$ : Surface de la zone du bilan

$$W = P (1-C) - E - Md$$

où,  $P$ : Précipitations

$E$ : Evapotranspiration

$Md$ : Humidité du sol

$C$ : Coefficient de ruissellement

La période du calcul s'étale sur une durée de 10 mois, de décembre 1989 à novembre 1990. Le bilan hydrologique est enfin établi comme suit:

- Précipitations	.....525mm	(100%)
- Ruissellement	.....105mm	( 20%)
- Evapotranspiration	.....325mm	( 62%)
- Recharge d'eaux souterraines	...94mm	( 18%)

Le bilan hydrologique est recalculé, pour chaque bassin, de façon approximative en utilisant les valeurs estimées de la recharge  $Q_{(2)}$  des observations successives en saison sèche, les précipitations spécifiques et le taux de recharge 18% qu'on vient d'obtenir.

Bassins	A(km <sup>2</sup> )	P(mm)	W(mm)	$Q_{(1)}$	$Q_{(2)}$
Manombo	508	760	137	217	151
Fiherenana	6.755	780	140	223	281
Sakanavaka	332	750	135	214	361
Isahena	1.870	810	146	231	77
Malio	2.040	870	157	248	374
Sakandory	730	750	135	214	66
Taheza	1.600	770	139	220	578

A: Superficie du bassin P: Précipitations par superficie,  
W: Recharge,  $Q_{(1)}$ : W convertie en  $\text{l/mn./km}^2$ ,  $Q_{(2)}$ : Recharge estimée au terme de l'observation simultanée en  $\text{l/mn./km}^2$

Le calcul du bilan hydrologique est basée sur les conditions moyennes du bassin de la Zone, étant donné quelques contraintes rencontrées à l'endroit où on fait les mesures dues aux conditions de certains sites. De ce bilan hydrologique, il ressort que la recharge des bassins étudiés se situe aux environs de 100 à 300  $\text{l/mn./km}^2$ , mais ceci sans compter les conditions hydrogéologiques locales.

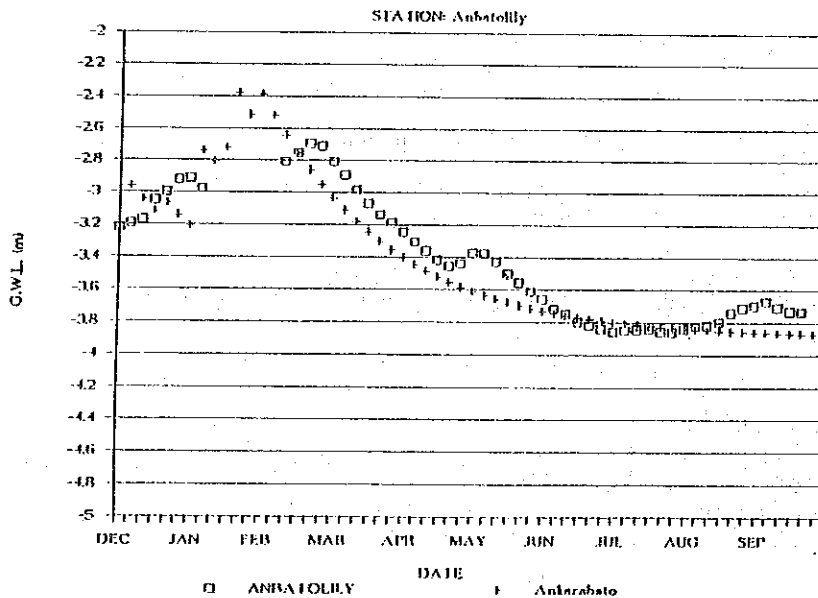


Figure 15 Bilan hydrologique