

Tableau 1 Liste des cartes géologiques existantes

Titre	No.	Echelle	Année publication
1. Morondava, Ambohibe, Manja	503, 522, 523	1/200.000	1952
2. Morombe-Befandriana	542, 543	1/200.000	1952
3. Ankazoabo-Beroroha	544, 545	1/200.000	1956
4. Manombo-Manera	562, 563	1/200.000	1956
5. Sakaraha-Ranohira	564, 565	1/200.000	1956
6. Toliara-Benenitra	582, 583	1/200.000	1956
7. Sakao-Benenitra	584, 585	1/200.000	1956
8. Madagascar	Feuille Sud	1/1.000.000	1965
9. Morondava	6	1/500.000	1969
10. Ampanihy	8	1/500.000	1970

φ

Tableau 2 Liste des ouvrages existants

1. Henri BASSAIRE, "Géologie de Madagascar", 1972
2. L. LESSARD, "Etude des Ressources en Eaux souterraines à Madagascar", 1968
3. Ch.A. DOMERGUE, "Les Grands Traits de l'Hydraulique à Madagascar", 1971

Tableau 3 Liste des images par satellite et des photos aériennes utilisées dans l'Etude

Sources	Echelle	Date
Images panchromatiques LANDSAT-1 MSS	1:500.000	1973
LANDSAT-4 TM (données numériques)		17/01/1985
Images panchromes SPOT-1	1:100.000	1986,88
Aérophotos panchromes	1:40.000~45.000	1949

2. CONDITIONS NATURELLES DE LA REGION SUD-OUEST

2.1 Relief

Les figures 2 et 3 représentent respectivement la distribution isohypse (approx.) et les nuances du relief de la Zone de l'Etude. Il est clair sur les figures que l'ossature de la Zone est principalement constituée d'une série des massifs étendus selon les directions NNE-SSO.

Les chaînes montagneuses d'Isalo (longue de 60km environ) et de Tangorombohitra (110km), situées à l'extrême Est de la Zone, bien qu'elles soient actuellement interrompues par une large vallée de l'Ilakata, l'affluent de l'Imaloto, montrent les mêmes caractéristiques dans l'organisation du relief. Leurs bordures Est sont une succession des falaises rudes à l'intérieur desquelles sont développées les vallées profondes et complexes. Dans la partie centrale du massif de Tangorombohitra, 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 versant pour les rivières d'Isahena et de Malio, du fait que les crêtes de partage (altitude: 1.200 à 1.300m) sont situées dans la partie orientale du versant. Par contre, le massif de Tangorombohitra ne peut alimenter que partiellement les cours de la Taheza et du Fiherenana, les crêtes de partage (altitude: 1.000 à 1.100m) étant dans la partie orientale.

La chaîne de Lambosy est d'une longueur approximative de 100km et son relief est modéré. A l'Ouest des crêtes de partage (altitude: 700 à 800m), s'étale une falaise rude dont le versant Est est longuement étendue et atténué. L'affluent à la rive droite de la Sakanavaka est alimenté principalement par cette longue pente de Lambosy. Le terrain montagneux, développé à l'Est et à l'Ouest de la Sakondry, faisait probablement partie de la chaîne de Lambosy, mais ensuite érodé et divisé par le Fiherenana et la Sakondry.

La chaîne montagneuse d'Analavelona, large de 35km et longue de 100km environ, est caractérisée par son large versant Est, en raison de ses crêtes (altitude: 1.000 à 1.300m) inclinées vers l'Ouest. Elle est la principale zone d'alimentation pour les affluents de la rive droite du Fiherenana. La partie Nord de la chaîne qui englobe le plateau de Herea alimente la 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 coule vers la côte. Entre les chaînes de Mikoboka et d'Analavelona, il n'existe pas de plaine basse ayant une largeur importante. Elles sont simplement séparées l'une de l'autre par une vallée profonde et rectiligne qui s'étend entre les cours supérieurs de la Manombo et de la Sikily.

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'étend en pente douce vers l'Ouest et le Sud ("*Plateau Belomotra-Vineta*"). Ce plateau peut atteindre, au Sud de la chaîne d'Analavelona, une largeur de 60km. Elle franchit ensuite l'Onilahy pour se développer encore vers le Sud. C'est un plateau généralement plain, mais accidenté par une vallée profonde d'une complexe structure.

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 rétrécit progressivement en s'approchant du Sud, et donne, lorsqu'il aboutit à l'estuaire de l'Onilahy, directement sur la mer. A l'Est de la ligne imaginaire reliant la bordure Ouest du Lac Ihotry et l'embouchure de la Manombo, on trouve, du Nord au Sud, une succession de six éventails alluviaux dont le sommet touche 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 plaines basses. Les bassins formés aux cours moyens de l'Isahena, de la Sakanavaka et du Fiherenana (leur altitude se situe aux environs de 300 à 500m) constituent les cuvettes intra-montagneuses, 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 bassins qui se développent en aval de la Taheza et de la Sakondry sont rectilignes avec une largeur plutôt étroite et peuvent être donc considérés comme des vallées-plaines (appelés "*Bassin de la Taheza*" et "*Bassin de la Sakondry*").

2.2 Végétation

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 boeufs et les moutons paissent partout et la déforestation s'accélère depuis ces dernières décennies afin de maintenir davantage des superficies de pâture pour le 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, c'est-à-dire il n'y a aucun espoir pour renouveler ces foêts.

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

La figure 4 montre la répartition forestière. Une carte pour classer la couverture du sol a été établie en utilisant les données obtenues à partir de la carte thématique de *Landsat*.

Comme l'on peut le vérifier sur cette figure, 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 et le plateau de Herea et entre les cours supérieurs du Fiherenana et de la Taheza. Les deux premières zones forestières sont pourtant des buissons dont la capacité d'emmagasinage en eau s'avère limitée.

2.3 Climat

La pluviométrie qui affecte principalement la recharge des eaux souterraines est la plus faible dans la partie Sud de la plaine côtière (Toliara et ses environs) avec 380mm par an. En revanche, elle est élevée à Ranohira (à l'Est du massif d'Isalo) et à Manja (au Nord du Magoky) et varie de 900 à 1.000mm/an. De ce fait, dans la Zone de l'Etude, les précipitations montrent une tendance générale à la montée en se déplaçant du Sud-Ouest vers l'Est et le Nord.

Dans la Zone de l'Etude, l'année peut se distinguer nettement en saison sèche et saison humide selon la pluviométrie. La saison humide débute en décembre et prend fin en février, soit pour une durée de 3 mois dans la plaine côtière où les précipitations sont bien faibles avec la moyenne mensuelle de moins de 100mm pour la période. Par contre, elle dure plus longtemps, pendant 5 mois de novembre à mars dans les régions Est et Nord avec plus de 200mm.

En saison sèche, les pluies sont rares avec beaux temps continus. A la période de transition saisonnière, il pleut, souvent accompagné d'orage et d'éclair, principalement dans l'après-midi ou au soir. La pluviométrie varie considérablement d'une zone à l'autre, les nuages pluvieux se déplaçant à grande vitesse. Mais ces nuages de pluie, en saison humide, couvrent un vaste champ et peuvent produire des pluies pendant quelques jours de suite. Le cyclone qui ravageait la partie Nord-Est de l'Ile se produisait en coïncidence avec ce moment de transition saisonnière. Les précipitations étaient fortes, concentrées sur une courte durée.

En saison humide, la température est relativement élevée: la moyenne mensuelle est de 25 à 28°C dans les zones basses et de 23 à 25°C dans les zones à l'altitude élevée telles Sakaraha (475mm) et Ranohira (830mm). Elle devient généralement basse en saison sèche: 20 à 23°C ou 17 à 20°C respectivement.

La Zone de l'Etude correspond en grande partie, du point de vue relation pluviométrie/température, au climat de type steppe, spécifique à la bordure extérieure de la zone aride, défini par W. *Koppen*. La faiblesse générale de précipitations peut s'expliquer par le fait que la région est située en aval de l'alizé qui souffle de l'Est en saison humide. En revanche, les précipitations importantes entre les parties Nord des massifs d'Analavelona et de Mikoboka et les environs du Mangoky sont dues à la venue du cyclone du Nord.

2.4 Eaux de surface

Le Mangoky, s'écoulant sur la bordure Nord de la Zone de l'Etude, est un grand fleuve dont la superficie du bassin versant (54.000km² à Vandrove) correspond à 1/10 du territoire de l'Ile de Madagascar. L'Onilahy, à la limite Sud de la Zone, est aussi important et se situe au deuxième rang après le Mangoky (29.000km² à Tongobory). Ces deux principaux fleuves prennent leur source dans la partie Est de l'Ile où les précipitations sont abondantes. De ce fait, et grâce à leurs superficies du bassin, ils peuvent garder un certain débit même au cours de la saison sèche, mais susceptibles de pollution bactérienne.

Au contraire à ces fleuves, le Fiherenana, la Sakondry et les autres cours d'eau de moindre importance sont les rivières à régime périodique qui n'ont plus d'eau, en saison sèche, dans leurs cours inférieurs.

Dans l'ensemble, le débit atteint le niveau le plus élevé en janvier ou février et le plus faible en septembre ou octobre, sans doute en fonction de la variation saisonnière des précipitations. Le débit reste moins de 1/10 en saison sèche par rapport à celui de la saison humide.

Les secteurs où la teneur en eau est élevée sont indiqués sur la figure 5. Pour établir cette figure, nous avons utilisé la carte de divisions de teneur en eau, élaborée à partir de la carte thématique de *Landsat*. Elle met en évidence que le taux est fort dans les dunes développées à l'Ouest de la plaine côtière. Les cours d'eau saisonniers qui se jettent dans le Lac Ihotry et la Manombo peuvent y se percevoir nettement, les données *Landsat* ayant été acquises au cours de la saison humide.

La zone comprise entre les dunes susmentionnées et les épandages de l'Est est fortement desséchée. Cette zone aride franchit la Manombo pour s'étendre jusqu'au plateau de Belomotra-Vineta, mais les bordures Ouest et Sud du plateau témoignent d'une teneur en eau plutôt élevée et offrent en effet de nombreuses sources d'eaux souterraines, exploitées par des villages riverains de l'Onilahy pour les besoins domestiques et agricoles.

La teneur en eau est élevée également dans les massifs d'Analavelona et de Mikoboka (versant Est), le bassin du Fiherenana et le terrain montagneux à l'Ouest de la Sakondry. Cependant la vaste zone située à l'Est de la ligne imaginaire reliant l'Ilovo à la Sakondry reste peu humide.

2.5 Géologie

2.5.1 Série stratigraphique et faciès

La classification des éléments essentiels de la stratigraphie 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 4 tente une mise en parallèle des différences d'interprétations et indique la série stratigraphique que nous avons retenue pour la présente Etude.

La constitution du système Précambrien est caractérisée 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 contact faillé sur le système Précambrien. La Sakoa est essentiellement continentale avec des roches à blocs de base, alors que la Sakamena comprend les dépôts non seulement continentaux, mais aussi des sédiments langunaires et des dépôts marins, ce qui indique un accident bien complexe et répété pendant son recouvrement.

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 faciès mixtes d'origine marine. Le système

Jurassique marin, faciès hétérogène contemporain de l'Isalo supérieur, comprend essentiellement des calcaires et grès karstiques, mais également une proportion considérable de grès continentaux.

Le système du Crétacé est divisé en deux parties: le Crétacé supérieur et le Crétacé inférieur. L'écart de période n'est pas sensible entre le Jurassique et le Crétacé. Le Crétacé inférieur commence par les calcaires, l'épaisseur est peu puissante dans l'ensemble. L'essentiel du Crétacé se trouve en sa partie supérieure, intercalée de plusieurs couches basaltiques, dans laquelle les calcaires reposent sur les grès continentaux épais. La couche de basaltes la plus puissante (plus de 100m) s'allonge sur 100km du Sud au Nord et sur plus de 100km de l'Est à l'Ouest. C'est probablement l'intrusion des bancs basaltiques avec thermo-métamorphisme dans le Crétacé supérieur.

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 marneux, marnes, grès marneux et grès. Les formations marines sont marquées au Sud de la Zone, alors que ce sont surtout les formations continentales qui sont distinctes au Nord. Dans la plaine côtière, on trouve souvent des basaltes du volcan démantelé, intrus dans la série Eocène.

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.

Le Quaternaire comprend des dépôts d'épandage, des couches sableuses formant des dunes récentes et anciennes, et des dépôts dans les lits fluviaux. Pour ce qui est des dépôts d'épandage, il a été attendu qu'ils se dispersaient sur les 6 éventails, distingués sur la carte topographique et sur les images satellite, mais on n'a pu y trouver qu'une très petite partie de ceux typiques au terme de la présente Etude.

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 la surface de la terre.

2.5.2 Tectonique

Dans la Zone de l'Etude et ses environs, une dizaine de forages à profondeur de 1.000 à 4.000m furent exécutés pour les recherches pétrolières. On procéda également aux sondages gravimétriques et de magnétisme au sol. La figure 6 reproduit une carte (retouchée) de coupes structurales à la grande échelle, établie sur la base des informations obtenues à l'époque. La tectonique de la Zone de l'Etude est ici décrite en s'appuyant sur cette carte.

La partie supérieure du fond rocheux du Précambrien montre largement des affleurements dans l'Est du massif d'Isalo et des flancs escarpés vers l'Ouest. Sur elle reposent les couches poste-Paléozoïque avec une épaisseur de 5.000 à 8.000m. Ces couches étant généralement inclinées vers l'Ouest avec des angles doux, on trouve des couloirs de plus en plus récentes en se déplaçant vers l'Ouest, mais les couches sont interrompues par des failles qui appartiennent à plusieurs groupes différents:

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 firent 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 dans la direction NNE-SSO. Non seulement elles délimitent la marge Ouest du Paléozoïque et du Jurassique inférieur, mais déplacent aussi les Jurassique inférieur et supérieur de dépôts marins supérieurs. De là, il semble raisonnable de considérer que ces failles apparurent à la période du Paléozoïque et continuèrent leurs activités jusqu'après le Jurassique.

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 former 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 situaient 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 des horsts sur lesquels repose le Néogène continental. Leurs activités tectoniques eurent lieu donc après la période du Néogène.

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

2.5.3 Evolution de la Paléogéographie et développement du relief et de la tectonique

Pour définir théoriquement, à l'aide des dossiers existants, les sites dont le potentiel pourrait être fort quant au développement d'eaux souterraines, on devra partir, entre autres, de l'éclaircissement tant sur l'évolution paléogéographique que sur l'historique relatif au développement du topographique et tectonique, afin de permettre un diagnostic fiable sur l'état de distribution de faciès et de puissances des formations dans le sous-sol. Il est pourtant impossible de tout aborder en ce moment, nous nous bornerons à un survol sommaire sur ces thèmes.

Dans la Zone de l'Etude il n'y a pas de témoins du Paléozoïque inférieur et moyen. Avant le commencement de la sédimentation de la Sakoa, la Zone fut une pénéplaine avec des affleurements très dispersés des roches métamorphiques et plutoniques du Précambrien.

L'apparition des failles à la marge Ouest dans le domaine actuel du Précambrien et de celles d'Ilovo débute au Carbonifère, et entre-temps se formait une cuvette lacustre du Sud au Nord permettant le recouvrement de la Sakoa, puis de la Sakamena. Le groupe de la Sakoa présente essentiellement un aspect continental, alors que celui de la Sakamena comprend les dépôts marin et langunaire en plus des dépôts continentaux. De ce fait il semble bien que, lors de la sédimentation de ce dernier, il y a eu un chagement environnemental sous les effets conjugués de la régression et de la transgression, mais de façon assez lente du fait que les dépôts de la Sakamena sont relativement fins. D'autre part, la distribution des puissances de la Sakoa et de la Sakamena indique que le mouvement des failles de direction NNE-SSO a formé un horst dans la cuvette lacustre durant la même période.

La zone comprise entre les failles à la marge Ouest du Précambrien et celles d'Ilovo a continué son affaissement même au temps du Jurassique et a déposé les couches continentales épaisses de l'Isalo inférieur et supérieur. Par les dépôts grossiers constituant ces couches continentales, on peut imaginer une importante érosion accélérée par le soulèvement du massif Est. Ce faisant, le central de la cuvette sédimentaire s'est déplacé vers l'Ouest des failles de l'Ilovo. Vient ensuite la sédimentation de l'Isalo supérieur. La transgression marine se fait de la direction Ouest de façon à former les calcaires de récif. La mer n'a pas toutefois foncé vers l'Est des failles de l'Ilovo, car l'Isalo inférieur et moyen montre peu de traces de la diagenèse.

De la dernière période du Jurassique au Crétacé terminal, le soulèvement du massif Est et le déplacement vers l'Ouest du central de la cuvette sédimentaire, accompagnés de transgression et de régression marines, ont continuellement entassé les couches mixte et continentale dans la région Nord. Par contre, dans la région Sud, le massif Est n'est pas beaucoup soulevé, ce qui peut expliquer la continuité des dépôts néritiques, marquée surtout à Belomotra-Vineta. Par ailleurs, une importante intrusion des basaltes s'est produite au cours de la sédimentation du Crétacé supérieur pour permettre la formation d'un fond rocheux qui s'allonge sur 100km ou plus en direction Sud-Nord et Est-Ouest.

La partie Est du massif a pris l'aspect d'une pénéplaine avant l'Eocène, alors que la partie Ouest a fait partie d'une mer peu profonde. C'est depuis l'Eocène moyen et supérieur que la partie Nord est remblayée et la partie Sud confrontée à un rigoureux changement de l'environnement, ceci est probablement dû aux mouvements des failles de direction NNE-SSO et au soulèvement des massifs d'Analavelona et de Mikoboka qui a fait des horsts. A cette activité des failles, s'ajoutent l'intrusion et l'éruption de petite envergure des basaltes.

La répartition du Néogène étant limitée dans l'espace, il est difficile de reconstituer son évolution paléogéographique. Il semble pourtant, d'après la distribution des dépôts de caractère continental, qu'il y a eu un lac long de plus de 25km dans le massif de Tangorombohitra.

Au massif de Tangorombohitra, après la sédimentation du Néogène, les failles de direction NNE-SSO prennent de nouveau leurs mouvements pour former en horst des montagnes tabulaires sur lesquelles repose le Néogène continental, et en graben le bassin de Taheza. Le bassin de Sakondry est aussi dominé par les failles dont le mouvement a eu lieu à la même période.

La bordure Ouest du plateau de Belomotra-Vineta est découpée par la faille de Toliara dont l'activité a fait suite à celle des failles de direction NNE-SSO. En fonction du soulèvement des massifs de Mikoboka et d'Analavelona, les cours d'eau de Mangoky, Fiherenana et Onilahy recommencent leur approfondissement et font apparaître de nombreux ravins et en même temps se dressent à l'Ouest du massif de Mikoboka une série d'éventails recouverts d'éboulis.

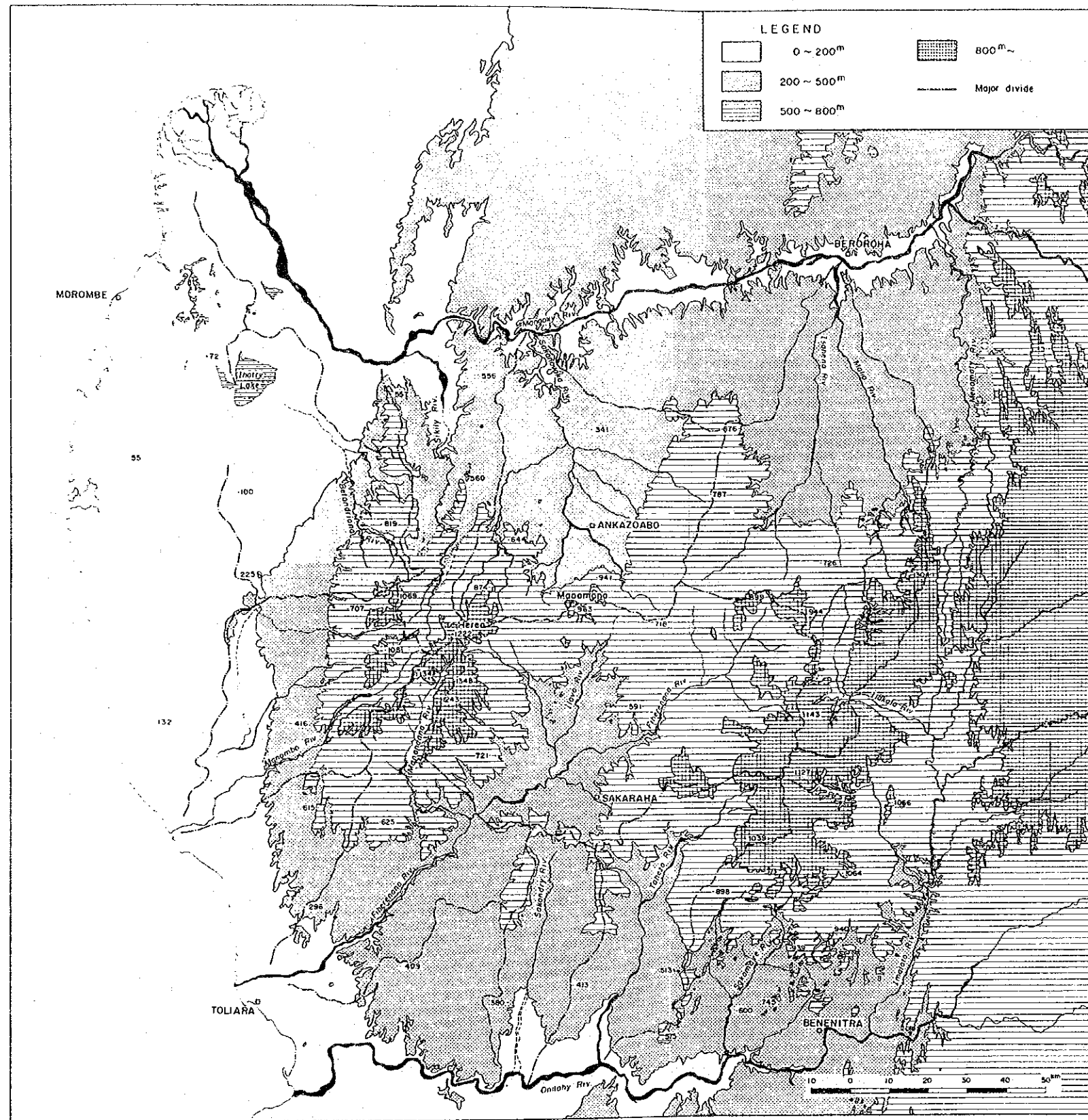


Figure 2 Carte de distribution de hauteurs

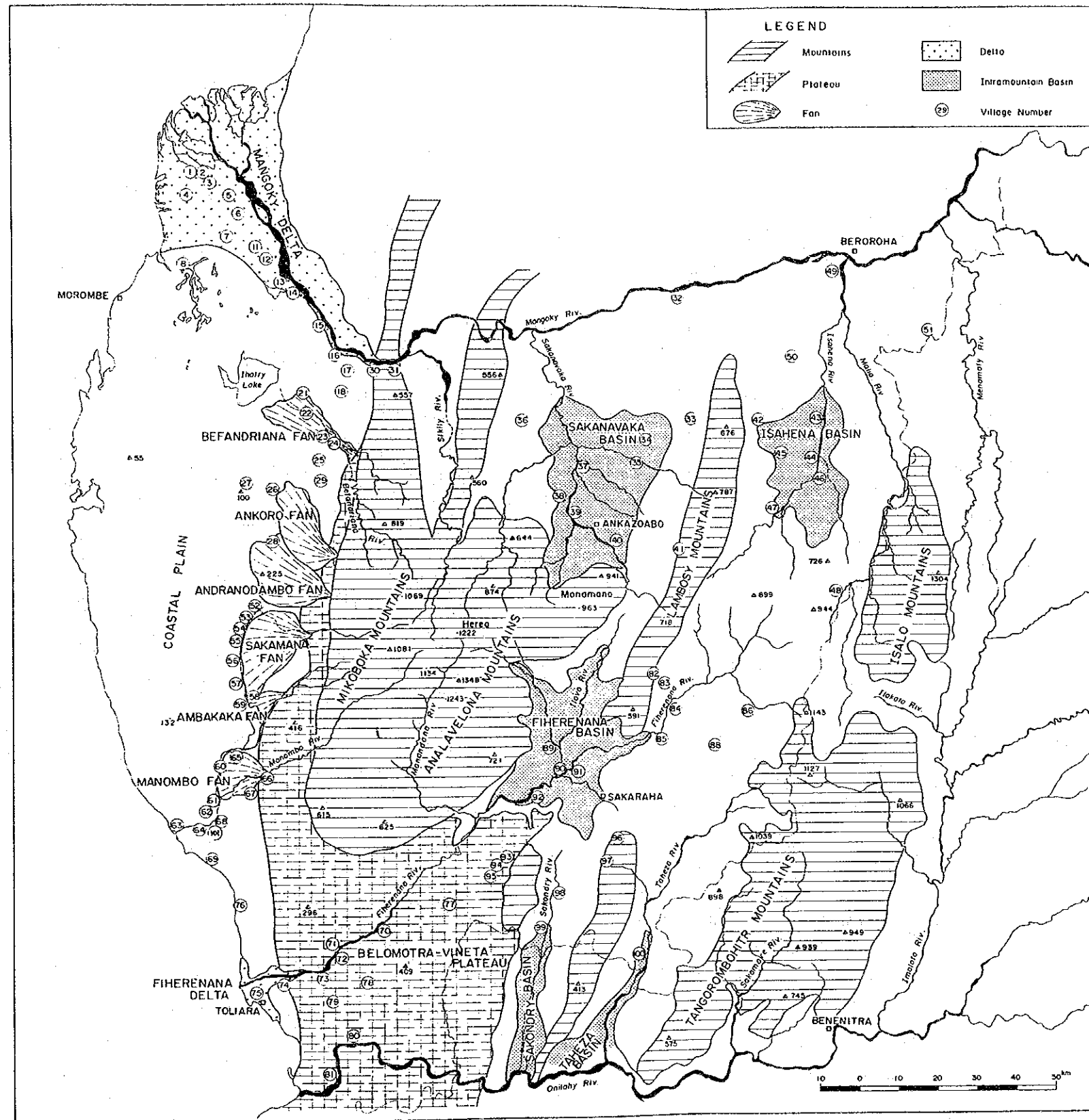


Figure 3 Carte de classification de formes du terrain

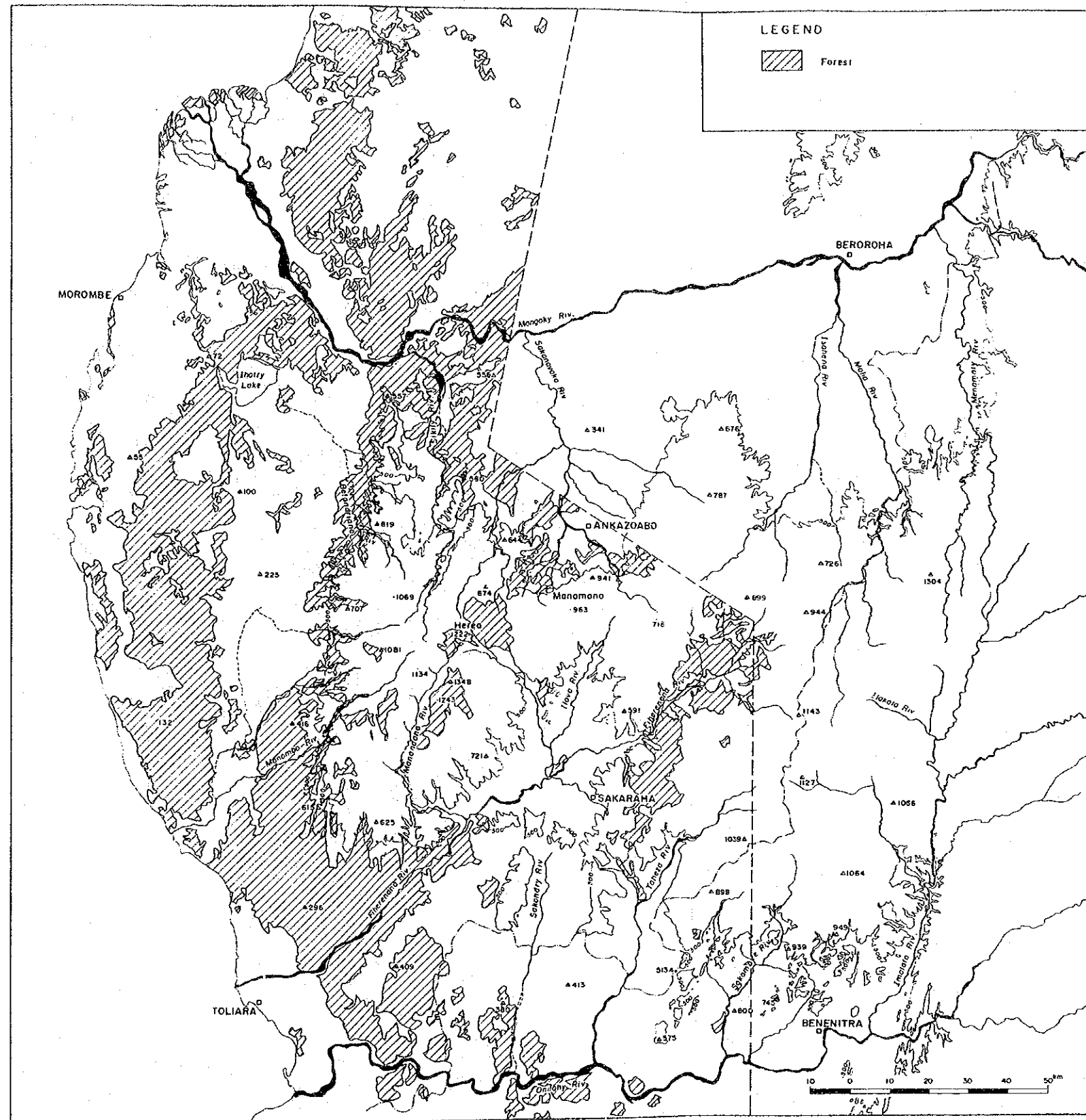


Figure 4 Distribution forestière, interprétée sur Landsat TM

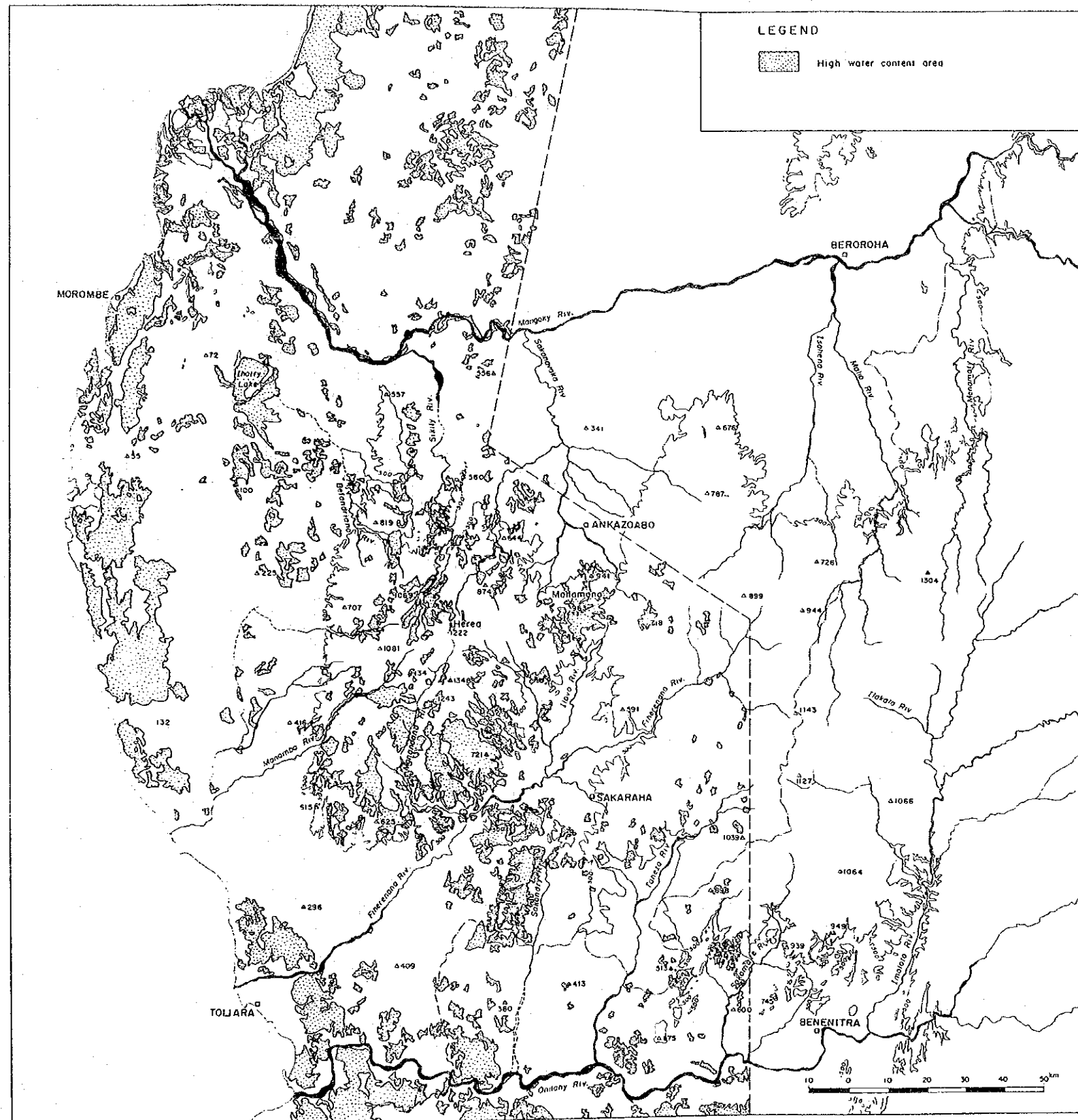


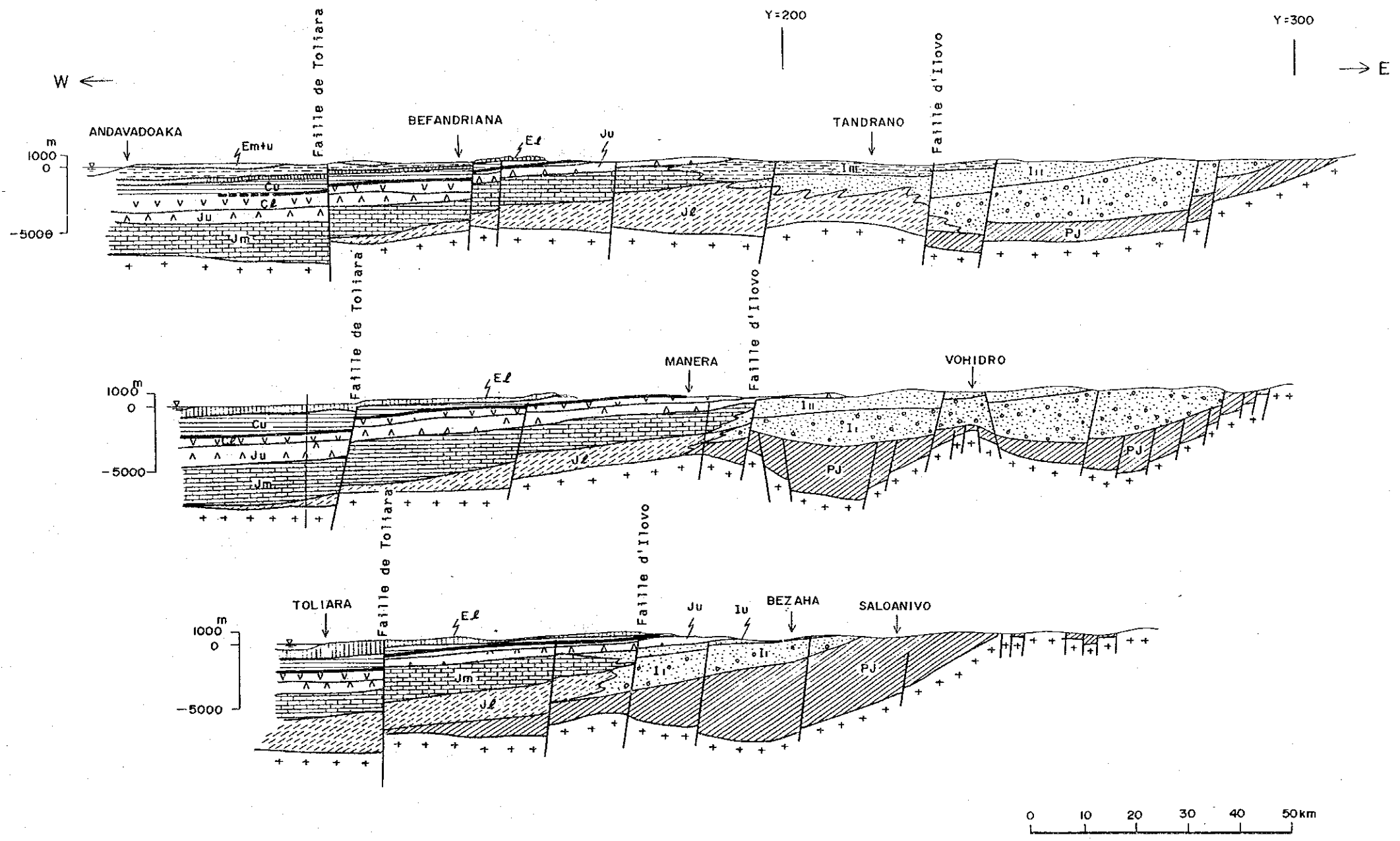
Figure 5 Divisions de teneur en eau

Tableau 4 Comparaison entre classification stratigraphique

Carte Géologique		1/1,000,000		1/500,000		1/250,000					
		Madagascar (1965)		MORONDAVA (1969)	AMPANIHY (1970)	Cellivre carte (1991)					
Période géologique											
Quaternaire	Alluvion	a, d		a, d ¹	a, d ¹	qh	q				
	Pléistocène	ac, d ¹		ac, d ^a	ac, cc, d ² , d ³	qp					
Tertiaire	Néogène	Pliocène	n*		p*	N*	n	N*			
		Miocène	m		m		m				
	Paléogène	Oligocène									
		Éocène	Ludien	e		e ²	e ³	e ₂₊₃			
			Ledien			e ¹	e ²	e ¹			
			Lutécien								
			Yprésien								
	Paléocène				e ¹						
	Mésozoïque	Crétacé	Supérieur	Maastrichtien	C ₂		C ₉₋₈	C ₉₋₈	C ₂		
				Campanien							
Santonien											
Inférieur			Coniacien	C ₁		C ₇	C ₇₋₃	C ₁₊₂			
			Turonien								
			Cenomanien								
Jurassique		Supérieur	Tithonien	J ₃		J ₈₋₅	J ₈	j ₃			
			Kimmeridgien								
			Oxfordien			I _{III} ^Δ	J ₄₋₂			J ₄	
		Moyen	Callovien	J ₂		J ₁	J ₁ ¹	j ₂			
			Bathonien			J _{I-II}	I _{III}			J _{I-IV}	I _{III} [*]
			Bajocien			J _{III-IV}					
Inférieur		Aalenien	J ₁			I _{II}	I _{II}	I _{II} [*]			
		Liasien				I _I	I _I				
					I _I [*]						
Paléozoïque		Triasique									
		Permien	K ₂		(G. Sakamena) K ₆ ~ K ₄	(G. Sakamena) K ₄ , K ₃	p + t				
		Carbonifère			(G. Sakoa) K ₁ ~ K ₃	(G. Sakoa) K ₂ , K ₁	h				
Roche magmatique (Basalte)	Après éocène	β ₂		β ₃	β ₃	β ²					
	Avant éocène	β ₁		β ₂	β ₂	β ¹					
				β ₁	β ₁						

(Groupe Isalo)

* continental
Δ mixte



- | | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|
| Eocène moy. & sup. | Crétacé sup. | Jurassique sup. | Isalo sup. | Pré-Jurassique |
| Eocène inf. | Basalte | Jurassique moy. | Isalo moy. | Pré-Cambrien |
| Crétacé inf. | Jurassique inf. | Isalo inf. | | |

Figure 6 *Profils géologiques régionaux*

D'après "Géologie de Madagascar" (partiellement modifiée)

3. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES PRINCIPALES ZONES

Le présent chapitre a pour objectif la description des caractéristiques hydrogéologiques de chacune des principales zones localisées dans la Zone de l'Etude. La division des zones est conforme au zonage montré dans la figure 3. Le tableau 5 indique l'appellation des zones et les villages compris dans chaque zone.

3.1 Delta du Mangoky

3.1.1 Relief

Le delta du Mangoky occupe une superficie d'environ 1.100km². D'une forme triangulaire ouverte Nord-Ouest dont le point culminant est aux environs de Nosy-Ambositra, il est isolé du bassin du Lac Ihotry par des collines de relief ondulé hautes de 80m environ s'allongeant vers la direction SE-NO.

A l'altitude de 53m, le point culminant du delta est à pendage moyen modéré de 1/1.000 vers le Nord-Ouest. Sur les photos aériennes et images satellite, on aperçoit, en dehors de l'itinéraire actuel, un maillage développé d'innombrables anciens tracés fluviaux. Les villages sont localisés pour la plupart au pied de la colline de la rive gauche en amont ou sur la levée naturelle en aval.

3.1.2 Géologie

Le Mangoky traverse, par son ravin profond, la marge Nord du massif de Mikoboka avant d'aboutir au delta. L'extrémité Nord du massif de Mikoboka, constituée de grès calcaire et de calcaire marneux du Crétacé en partie inférieure et de calcaire de l'Eocène inférieur en partie supérieure, est à pendage de 2° à 3° vers l'Ouest. Les grès calcaires du Crétacé supérieur sont très consolidés, mais poreux et rougeâtres dans l'ensemble. A stratification entrecroisée, ils sont intercalés de couches peu épaisses riches en fer. Les calcaires de l'Eocène sont gris foncé, massifs, très durs et fissurés de façon irrégulière.

La colline qui s'étale du Sud du delta vers la direction SE-NO comporte principalement, à stratification entrecroisée, des grès grossiers peu compacts et brunâtres. Les couches s'inclinent vers l'Ouest avec quelques degrés. Dans la partie inférieure de la colline, on trouve, en plus des grès continentaux, des couches marines comprenant l'alternance des grès jaunes à grain moyen et silts verts ou encore des silts siliceux. La base est formée de calcaires poreux. La période à laquelle ces couches appartiennent n'étant pas encore déterminée, nous considérons qu'elles font partie, dans leur ensemble, de l'Eocène moyen et supérieur.

La puissance et les faciès de l'Alluvion constituant le delta étaient inconnus, mais le sondage électrique effectué dans la présente Etude (le forage en essai n'a pas été exécuté) nous a permis de considérer que l'alluvion peut atteindre son maximum d'épaisseur avec 110 à 120m. On trouve là une importante portion, peut-être formée de couches sableuses, de haute résistivité. D'autre part, certains documents nous apprenent que les couches épaisses de basse résistivité se reposent dans la

partie inférieure de l'Alluvion. Il nous semble par conséquent raisonnable de considérer ici que les marnes ou argiles marneuses dominent toujours l'Eocène moyen et supérieur.

3.1.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Les puits utilisés pour l'eau potable qu'on a pu constater dans le delta du Mangoky sont localisés dans le tableau 6A. Ils sont pour la plupart peu profonds de moins de 10m et situés à l'altitude inférieure à 25m. Ils atteignent l'eau souterraine libre dans la nappe aquifère de l'Alluvion, mise à part quelques puits à l'altitude élevée (Ambiky et Marovato) exploitant l'eau libre dans la nappe constituée de grès continentaux de l'Eocène moyen et supérieur de la colline de la rive gauche du Mangoky.

En saison sèche, le niveau statique ne va pas au-delà de -4m du niveau du sol. Selon des villageois, le niveau peut monter de 1 à 3m pendant la saison humide. En tous cas, la mesure en saison humide du niveau de l'eau souterraine n'ayant pas été confirmée dans la présente Etude, nous ne pouvons préciser sa variation saisonnière.

Quant à l'écoulement des nappes libres, il n'est pas très clair, dû au faible nombre des puits étudiés. En général, il semble que le régime peut être distingué en deux mouvements: grand mouvement s'écoulant suivant la pente du delta du Sud-Est au Nord-Ouest dans la nappe aquifère des sables de l'Alluvion et le mouvement de moindre importance qui se déplace dans la nappe des grès continentaux de l'Eocène moyen et supérieur le long des vallées creusées dans la colline.

Un document existant relate la présence d'une importante nappe captive dans les formations calcaires de l'Eocène inférieur à Nosy-Ambositra, près de la pointe du delta du Mangoky. Ceci n'a pas été vérifié dans notre Etude, mais il est fort possible que le marais à l'Ouest de Nosy-Ambositra soit alimenté par résurgence des eaux souterraines dans la nappe de l'Eocène inférieur.

Plus à l'Est, à Tsiarimpioke, il existe au niveau du lit fluvial du Mangoky une source artésienne d'eaux chaudes d'environ 45°C, utilisée par les habitants avoisinants pour le bain. Ces eaux proviennent des couches calcaires du Crétacé supérieur.

3.1.4 Qualité de l'eau souterraine

Les différents types de la qualité des eaux souterraines, échantillonnées à partir des puits implantés dans la zone considérée, sont donnés à la figure 7A. Ce sont les eaux non captives. La majorité d'elles relèvent au type I, apparentées aux eaux du cours et du canal, à l'exception des eaux type VI des puits à proximité de la côte (puits No. 3, 4 et 9), affectées par l'eau de la mer.

Il y a 4 puits, tous situés près de la côte, dont la chlorosité est particulièrement élevée, mais sans compter d'autres où l'eau est salée selon les habitants. Localisés en aval du delta, ces puits subissent l'influence de l'eau de la mer.

3.1.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères les plus exploitées dans la zone sont les couches sableuses de l'Alluvion, à une profondeur de moins de 10m du niveau du sol. L'essai de pompage n'a pas été effectué dans l'Etude, mais d'après un document disponible, le puits de Tanandava (profond de 29m) aboutissant aux sables relativement profonds de l'Alluvion témoignait, à l'époque de sa construction en 1964, d'un débit de $12\text{m}^3/\text{h}$ avec débit spécifique de $24,46\text{l}/\text{mn.}/\text{m}$.

En général, l'eau souterraine qu'on peut capter de l'Alluvion ne pose pas de problème majeur de potabilité, mais au-dessus de -10m, le rabattement du niveau est important avec une chlorosité sensible aux environs côtiers.

Si on tient compte du fait que l'Eocène moyen et supérieur formant le socle de l'Alluvion est constitué essentiellement des marnes et argiles marneuses, la possibilité de la présence de nappes en charge exploitables est faible.

Par contre, aux environs de Nosy-Ambositra où le Mangoky traverse le massif de Mikoboka, la potentialité reste élevée pour obtenir une eau souterraine artésienne dans les nappes calcaires de l'Eocène inférieur et du Crétacé supérieur.

3.2 Bassin du Lac Ihotry

3.2.1 Relief

La zone est une plaine basse d'altitude de 50 à 300m qui s'étend, en contact avec la partie Ouest du massif de Mikoboka, vers le Sud et le Nord avec une largeur de 20km environ. Elle est caractérisée par ses 3 éventails et par son réseau hydrographique convergeant sur le Lac Ihotry.

Le point culminant du cône de déjection de Befandriana le plus au Nord se trouve à l'altitude de 200m où le cours de la Befandriana apparaît en sortant du massif de Mikoboka. Le pendage de surface est de l'ordre de 1/40 à 1/250. Les cônes d'Ankoro et d'Andranodambo du Sud atteignent leur hauteur maximale à l'altitude de 300m. Leur forme d'éventail peut être reconnue sur les images du *Landsat*, mais n'est pas aussi visible sur la carte topographique que celle du cône de Befandriana.

A l'altitude de 50m, ce grand lac salé occupe une superficie de 100km² (chlorosité: 3.000ppm). Lors des crues, il est alimenté par réseau hydrographique susmentionné et drainé vers Mangolobolo. En raison sèche, la superficie du lac diminue et le réseau hydrographique disparaît.

3.2.2 Géologie

De même que celle de Manombo, cette zone était toujours considérée comme une des plus potentielles dans la région Sud-Ouest du pays quand il s'agit de développement d'eaux souterraines. En effet, de nombreux forages étaient effectués

jusqu'à ce jour pour la recherche de nappes. En outre, nous avons réalisé, en aval de la présente Etude, 7 forages test à une profondeur approximative de 50m. C'est ainsi que nous sommes maintenant amenés à mieux connaître les conditions géologiques du sous-sol de la zone (Fig.8).

La zone est largement recouverte de formations de l'Eocène moyen et supérieur et les bancs de niveau plus bas n'affleurent presque pas à la surface. Cependant, grâce aux relevés des forages mentionnés plus haut, on sait que des nappes de l'Eocène inférieur et du Crétacé supérieur sont escamotées dans une profondeur comprise entre 100 et 150m. L'Eocène inférieur est constitué de calcaire dans le massif de Mikoboka et de marnes à Andavadoaka sur la côte. Dans un document existant, il est supposé que ces différents faciès soient délimités par un couloir qui se prolonge en direction NEE-SOO au long de la route Befandriana-Bemoka où la résistivité électrique montre un brusque changement.

Aussi à l'Ouest de la route Basibasy-Andranomena, un couloir de résistivité discontinue s'allonge en NNO-SSE. Dans notre Etude également, on a pu vérifier sur les images du *Landsat* que ce couloir correspond à une linéarité très continue et par endroits il a été découvert certaines anomalies au terme du sondage VLF magnéto-tellurique. Il est donc raisonnable de le considérer comme une faille. A l'Ouest de la faille, l'Eocène inférieur pourrait être essentiellement marneux.

L'Eocène moyen et supérieur est constitué des grès continentaux, grossiers et rougeâtres dans la partie Nord, de marne et de calcaires en alternance, de caractère marin, souvent accompagnés de grès dans la partie Sud.

Les sondages antérieurs ont permis de connaître, sur plusieurs points à l'Ouest du tronçon Befandriana-Analatelô de la RN 9, la profondeur d'interface entre l'Eocène inférieur et l'Eocène moyen et supérieur. Selon les résultats de ces sondages, la forme de l'interface est exprimée en deux fossés s'approfondissant du Sud-Ouest au Nord-Est. Ces fossés sous-jacents rencontrent le niveau de surface à Mandevy où les calcaires de l'Eocène inférieur affleurent sur le lit fluvial.

La figure 9 représente la composition de l'Eocène moyen et supérieur, dans les limites de la zone considérée, reproduite en empruntant les résultats de la présente Etude et les oeuvres de référence disponibles. L'Eocène moyen et supérieur est formé, dans le Nord, en grande partie des grès continentaux à grain gros ou moyen et de teinte brune rougeâtre, riches en grains quartzeux, sauf son niveau supérieur épais de 5m qui est marneux. Dans le Sud, à Analatelô et Basibasy, il est dominé plutôt par les marnes ou par l'alternance de marnes et de calcaire.

Dans la zone, bien que 3 cônes de déjection se fassent distinguer tant sur la carte topographique que dans les images satellite, le forage d'essai n'est pas arrivé à l'identification de sédiments propres au cône.

3.2.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

La profondeur de la plupart des puits existants dans la zone ne dépasse pas le plus souvent 10m, ce qui indique que les nappes aquifères utilisées y sont relativement profondes par rapport à celles du delta du Mangoky (Tab.6B).

Le faible nombre des puits dont le niveau de l'eau a fait l'objet de notre observation simultanée ne permet d'estimer le régime des eaux souterraines qu'aux environs de Befandriana où le niveau se situe à une profondeur comprise entre -5 et -10m du niveau du sol. Certains d'entre eux montrant une variation saisonnière du niveau de plus de 1m, les eaux souterraines de la zone ne semblent pas captives.

Le seul puits en fonctionnement qui prend sa source dans une nappe très profonde (126m) est localisée à Antanimieva. Les eaux jaillissantes proviennent des calcaires de l'Eocène inférieur. 10 sondages forés par l'ONU de 1966 à 1967, à l'altitude de 100 à 200m ont touché des nappes captives des calcaires de l'Eocène inférieur à la profondeur comprise entre 35 et 160m, dont 4 artésiens. A Mandevy, une résurgence abondante, aux affleurements des calcaires sur le lit de la rivière, est utilisée aux besoins domestiques.

Les eaux artésiennes sont une fois rechargées dans le massif de Mikoboka où la pluviométrie est forte grâce à l'altitude élevée avant de s'écouler via les couches de l'Eocène inférieur à pendage modéré de l'Est à l'Ouest. La pression augmente surtout dans une zone large de 3km étendue en NE-SO entre Befandriana et Mandevy pour permettre le jaillissement. Ce phénomène peut s'expliquer par le constat que l'Eocène inférieur fait passage aux marnes imperméables à l'Ouest et au Nord de la zone et que les failles de direction NE-SO et N-S interceptent l'écoulement des eaux souterraines orientées vers l'Ouest.

Par ailleurs, dans le bas-fond sableux qui s'allonge sur la rive Sud-Est du Lac Ihotry à l'altitude de 70m, on trouve sur la direction NE-SO de nombreux canaux d'une profondeur de 2,5 à 3m destinés à l'irrigation. L'eau souterraine suintant dans ces fossés est salée, dont le niveau est de -2,5m du niveau

du sol en saison sèche et monte de 2m environ en saison humide. Ces canaux exploitent donc l'écoulement d'eaux souterraines libres qui se dirige du Sud-Ouest vers le Lac Ihotry.

3.2.4 Qualité de l'eau souterraine

Comme le montre la figure 7B, les eaux libres et captives de la zone appartiennent au type I, caractérisées par la faiblesse de la chlorosité et de la conductibilité électrique. Par contre, les eaux de Manoy et de Basibasy montrent leurs teneurs élevées en chlore, nitrium et magnésium. A Manoy, la nappe correspond au niveau supérieur marneux de l'Eocène moyen et supérieur, et aussi à Basibasy les marnes de la même période reposent sur les calcaires de l'Eocène inférieur. Cette valeur significative de la teneur ionique est donc due aux sels contenus dans les marnes.

3.2.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères utilisées sont situées, en descendant vers le bas, dans les sables de l'Alluvion, grès de l'Eocène moyen et supérieur et calcaires de l'Eocène inférieur.

Les couches sableuses de l'Alluvion sont réparties à la surface des envrions du Lac Ihotry. L'eau libre dans ces couches est à la profondeur de -3m du niveau du sol et utilisée pour l'irrigation, mais sa salinité ne garantit pas la potabilité.

Les nappes constituées des grès de l'Eocène moyen et supérieur, les plus exploitées dans la zone, se situent à la profondeur de 15 à 50m, dont la grosseur des grains tend à augmenter en fonction de la profondeur. Les forages effectués sur 7 points ont constaté un débit de 200 à 300l/mn et un débit spécifique de 30 à 200l/mn./m. Compte tenu du débit significatif et de la qualité satisfaisante, les eaux de ces nappes sont d'une grande utilité.

Toutefois, lorsque les grès de l'Eocène moyen et supérieur comportent des marnes, le débit spécifique n'est plus autant intéressant avec le goût salé, ce qui se solde par un faible potentiel.

Les calcaires de l'Eocène inférieur constituant une nappe d'eaux souterraines captives offrent une grande valeur d'exploitation. Le puits d'Antanimieva donnait, lors de son forage, un jaillissement d'eaux captives à un débit de 110l/s. A la source naturelle de Mandevy, on assistait à une résurgence de 620l/s. Nous avons vu que les eaux artésiennes sont présentes dans une zone large de 3km étendue en NE-SO entre Befandriana et Mandevy et leur pression diminue en direction Nord-Ouest.

En ce qui concerne les eaux captives dans l'Eocène inférieur, mentionnées dans le document existant, leurs débits spécifiques qu'on a relevés au terme de l'essai de pompage ont été de 262l/mn./m et 306l/mn./m.

3.3 Bassin de la Manombo

3.3.1 Relief

La zone représente un bas-fond large de 15 à 20km s'élargissant au Sud-Nord. Entourée à l'Est par le massif de Mikoboka et une partie du plateau de Belomotra-Vineta et à l'Ouest par une colline douce d'altitude de 100 à 200m, elle comprend trois cônes de déjection.

Situé à la limite Nord de la zone, le plus grand éventail de Sakamana, dont le point culminant est situé à l'altitude de 300m environ, est à pente moyenne de 1/150. Son vaste versant descendant de l'Ouest à l'Est est appelé le "plateau de Bevary". Le cône d'Amboboka trouve son point le plus haut à l'altitude de 200m, mais n'est pas autant visible sur la carte. Plus au Sud, le cône de Manombo a son point culminant à 125m d'altitude avec une pente moyenne de surface d'environ 1/150. La Manombo érode cet éventail jusqu'à une profondeur de 10 à 20m pour s'écouler vers l'aval, de direction NE-SO. L'Androka confluent en aval avec la Manombo passe du Nord au Sud, en contact avec les lisières des trois cônes de déjection.

Aux environs de la ligne de partage des eaux séparant la zone considérée et le bassin du Lac d'Ihotry, plusieurs collines coniques sont indépendamment dispersées par endroits à une hauteur relative de 10m. Par ailleurs, on trouve près de Betsioky quatre collines alignées le long de l'axe NNE-SSO. Des dunes côtières sont également développées, par-dessous desquelles les calcaires du socle affleurent.

3.3.2 Géologie

Le massif de Mikoboka à l'Est de la zone ainsi que le plateau de Belomotra-Vineta qui l'embrasse sont constitués des calcaires de l'Eocène inférieur, escamotés près du cône de Manombo et à l'altitude de 100 à 125m par les dépôts de cône d'éboulis (Fig.10).

Il y a des affleurements des calcaires sur la colline à l'Ouest de la RN 9. Ces calcaires, en comparaison avec ceux de l'Eocène inférieur, sont plus poreux et d'un moindre poids spécifique. Les forages d'essai qu'on a entrepris dans la zone pour la présente Etude démontent que cette colline est formée non seulement des calcaires perméables, mais également des marnes sableuses et grès grossiers et présente une sensible variation de faciès (Fig.11). La série de ces formations est impartie, dans le document existant, à l'Eocène moyen et supérieur. Les calcaires similaires affleurant sur la colline sur la rive gauche de l'estuaire de la Manombo, il semble que les couches du Quaternaire recouvrant, à la côte, l'Eocène moyen et supérieur sont peu épaisses.

Aux endroits où la Manombo approfondit le cône d'éboulis, on trouve la coupe des dépôts de cône: les dépôts sont constitués dans la partie inférieure d'un lit de graviers (ϕ max: 50cm) épais de plus de 3m, dans la partie intermédiaire des sables fins d'une épaisseur de 3m et dans la partie supérieure de l'alternance de silts et sables d'environ 2m d'épaisseur.

En ce qui concerne de nombreuses collines, isolées les unes des autres, dans les environs de la ligne de partage séparant la zone du bassin du Lac d'Ihotry, leurs surfaces sont recouvertes par des brèches de différentes dimensions des

basaltes et ne présentent pas de laves ni de roches éruptives. De là, il est possible de considérer qu'elles font partie d'un volcan demantelé par érosion.

3.3.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Les puits dont la profondeur est connue sont au nombre total de 41 (Tab.6C). Ils peuvent être répartis selon leur ordre de profondeur: 6 puits à moins de 10m, 16 entre 10 à 20m, 14 entre 20 à 30m et 5 à plus de 30m. Les niveaux des nappes utilisées sont situés, en général, plus bas que ceux du bassin du Lac d'Ihotry. Il est à remarquer en outre que les puits ayant une profondeur supérieure à 20m convergent au Nord au delà de Namaboha et au Sud au delà de Milenaka et tous les puits dont la profondeur dépasse 50m se trouvent à la limite Nord de la zone (Betsioky Nord).

Notre observation simultanée sur le niveau statique de l'eau souterraine n'a intéressé que les puits à une profondeur de moins de 20m. L'isobathe, tracée à partir des résultats de cette observation, semble exprimer la forme des niveaux d'eaux souterraines libres, caractérisée par la pente du Nord au Sud suivant la vallée d'Androka.

Nous avons suivi pour une longue période le niveau de l'eau d'un puits d'Ambatolily, profond de 12m et situé à la lisière du cône de Manombo. Le niveau varie en fonction des précipitations et monte de 1m en saison humide. De ce fait, l'eau souterraine captée par ce puits n'est pas en charge.

Quant aux puits profonds de plus de 20m qui sont localisés au Nord au delà de Namaboha et au Sud au delà de Milenaka, ils atteignent les eaux enfermées dans les grès de l'Eocène supérieur. Les marnes reposant sur et sous ces grès donnent ainsi la pression aux eaux souterraines.

Les nappes plus profondes ont été également confirmées par deux forages exécutés entre 1967 et 1967 par l'ONU dans le cône de Sakamana. Par là, on rencontre le niveau supérieur de l'Eocène inférieur à la profondeur de -106m et -30m du niveau du sol. Le niveau statique des eaux captives est respectivement de -18m et -37m du niveau du sol. Partant de ce constat, il semble que les eaux souterraines en charge de l'Eocène inférieur, localisées juste sous le cône de Sakamana, s'écoulent en descendant du Nord-Est au Sud-Est.

Les résurgences sont nombreuses dans la zone. La source d'Anboboka, avec son débit abondant, est utilisée en permanence aux besoins domestiques et pour l'irrigation. Ses eaux ressortent des formations calcaires de l'Eocène inférieur. Les autres résurgences à l'Ouest de l'Androka proviennent probablement des mêmes formations, si on tient compte de la tectonique de l'ensemble.

De plus, il existe encore un certain nombre de résurgences au long de la zone côtière au Sud de l'embouchure de la Manombo, où les nappes aquifères sont formées par les dépôts sableux du Quaternaire reposant sur les marnes imperméables de l'Eocène moyen. La résurgence résulte donc de la réapparition d'eaux captives à la surface à travers les calcaires clastiques. On peut ainsi apercevoir sur les images du *Landsat* des écoulements d'eau douce ressortant de ces nappes pour déboucher dans la mer.

Les puits forés à Andrevo et Botsibotsy, localisés tout près du rivage de la mer, prennent leur source dans les nappes suspendues lenticulaires en eau douce, et coulent vers la mer s'imprégnant en dessous des couches sableuses.

3.3.4 Qualité de l'eau souterraine

La qualité des eaux de la zone est du type I ou IV, mais la proportion du type IV est plus importante dans cette zone qu'au bassin du Lac d'Ihotry (Fig.7C).

L'eau dont la qualité est classée comme le type IV peut se caractériser par sa teneur élevée en chlore, natrium et magnésium avec son goût plutôt salé. Elle a son origine dans les nappes de l'Eocène moyen et supérieur, mise à part l'eau des puits des points numérotés (69) et (76) qui sont influencées par l'eau de la mer.

A Soahazo, on compte 3 puits existants, auxquels s'ajoutent 2 puits qui ont été forés dans le cadre de la présente Etude. La teneur en chlore est particulièrement élevée dans l'eau des puits peu profonds (28m et 34m). La comparaison sur la qualité de l'eau pour quelques puits de différentes profondeurs en section entre Benetsy (à proximité de l'embouchure de la Manombo) et Ankilimalinika (plus au Sud) relève que l'eau des puits aboutissant aux couches peu puissantes de grès intercalés des marnes épaisses au niveau supérieur témoigne d'une valeur sensible tant pour la teneur en chlore que pour la conductibilité électrique, alors que ces valeurs sont contrairement faibles quand il s'agit de celle des puits dont l'origine est dans les grès du niveau inférieur épais de 3m et plus (Fig.12).

Des observations ci-dessus, il ressort que la salinité qui, absorbée une fois par les marnes dominantes dans la partie supérieure des formations, se dissout ensuite dans les eaux souterraines est la cause de l'altération de la qualité d'eaux venant des nappes de l'Eocène moyen et supérieur.

Par opposition, la qualité de l'eau de la source ressortant des couches de l'Eocène inférieur s'approche de celle de la résurgence de Mandevy ou du puits artésien d'Antanimieva dans le bassin du Lac d'Ihotry, avec teneur en chlore et conductibilité très faibles.

3.3.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères utilisables dans cette zone sont situées dans les formations de sables de dune côtière et des grès ou calcaires de l'Eocène moyen et supérieur.

Etant donné que les eaux s'écoulant dans les sables de dune côtière proviennent des nappes suspendues lenticulaires formées au-dessus de l'eau de la mer, leur exploitation stable s'avère difficile avec un débit bien limité.

Les nappes aquifères, situées dans l'Eocène moyen et supérieur, peuvent se distinguer selon leur faciès en deux groupes: le premier groupe comprend les nappes épaisses de plus de 3m, constituées de calcaires, de calcaires marneux et de grès à grains moyen et grossier avec un débit spécifique supérieur à 40l/mn./m. Le deuxième embrasse les nappes formées principalement par des grès peu puissants, intercalés de marnes sableuses, de grès marneux et de marnes épaisses, offrant un débit spécifique inférieur à 40l/mn./m avec une qualité peu satisfaisante de l'eau. Les nappes aquifères appartenant au

premier étant généralement localisées à une profondeur de plus de -30m du niveau du sol, il faut forer des puits dont la profondeur dépasse 30m pour atteindre l'Eocène moyen et supérieur de la zone.

La source naturelle d'Amboboka est liée à une nappe aquifère constituée de calcaires de l'Eocène inférieur. Selon notre observation, elle offre un débit spécifique remarquable, soit 3.100l/s. De même, le document existant relate qu'un essai de pompage, effectué dans le cône de déjection de Sakamana et visant les eaux captives de cette nappe calcaire a relevé un débit spécifique de 32,4 à 139,2l/mn./m. En conséquence, la nappe en question peut garantir une très grande productivité et ne pose aucun problème du point de vue qualité de l'eau, mais son exploitation sera assez difficile, étant précisé qu'elle est fortement profonde à l'Ouest de la faille de Tollara.

3.4 Delta du Fiherenana

3.4.1 Relief

Le delta est formé à l'endroit où le cours du Fiherenana termine son passage dans le plateau de Belomotra-Vineta. Sa superficie n'est pas importante, à peu près 150km², y compris les plaines côtières en contact au Sud et au Nord avec le delta. Il se prolonge, entre la bordure Ouest du plateau (20m d'altitude) et l'estuaire du Fiherenana, sur une longueur de 20km. Le plateau de Belomotra-Vineta et le delta du Fiherenana qui comprend les plaines côtières sont nettement démarqués par une falaise rectiligne à une hauteur relative de 50m environ.

Une série des plaines côtières étendues au Sud et au Nord du delta sont largement occupées par des dunes anciennes et récentes. Dans l'agglomération de Toliara, les dunes sont terrassées.

3.4.2 Géologie

La ville de Toliara était alimentée par des forages (dont la profondeur était de moins de 15m) dans le lit du fleuve. Selon le document disponible, les alluvions occupent jusqu'à 10 ou 11m de profondeur, au-dessous desquelles reposent des formations argileuses. Près de là, il y a un puits profond de 34,8m qui assure aujourd'hui l'alimentation en eau pour la ville. Les calcaires poreux de l'Eocène moyen se présentent à - 6m du niveau du sol.

A Befanamy, à 3km du lit en descendant vers l'aval, le sondage électrique effectué dans la présente Etude permet de supposer la répartition des calcaires de l'Eocène moyen au-dessous de 10 à 15m de profondeur.

Par contre, à Tsonoabary, près de l'estuaire du fleuve, le niveau supérieur des calcaires se situe beaucoup plus profond (50 à 80m) avec d'importantes intercalations argileuses ou marneuses entre les alluvions et les calcaires.

D'autre part, le forage de recherche de pétrole, exécuté à une profondeur de 2.195m dans le delta (altitude: 10m) au Nord-Est de Toliara, avait rencontré à 159m de profondeur les marnes de l'Eocène moyen et à 300m de profondeur celles de l'Eocène inférieur ou de la Série paléocène, accompagnées de bancs peu épais de calcaires.

Ainsi, au delta du Fiherenana, à la frontière de Befanamy séparant l'Est et l'Ouest de la zone, la profondeur du niveau supérieur de l'Eocène moyen et le faciès des dépôts qui le couvrent diffèrent sensiblement. Ce fait peut suggérer la présence d'une faille escamotée de direction Sud-Nord dans les environs. Une anomalie a été d'ailleurs constatée lors de notre étude VLF magnéto-tellurique, mais aucune linéarité correspondante n'est visible dans les images satellite.

Dans le document existant, la faille de Toliara, la plus importante de la région, est mise en concordance avec la falaise dominant à une hauteur relative de 50m de la marge Est du delta du Fiherenana. Les données VLF relèvent également, dans les environs de la falaise, une zone anormale mais plus étroite par rapport à celle de l'Ouest de Befanamy.

3.4.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Il existe dans la zone des puits peu profonds de moins de 10m et des puits profonds de plus de 40m (Tab.6D). Les premiers captent les eaux libres dans les formations sableuses de l'Alluvion dont le niveau statique reste inférieur à -6m du niveau du sol, même en saison sèche.

Il semble que le niveau de cette nappe de l'Alluvion qui se trouve à l'altitude de 20m aux environs de Miary penche de façon modérée vers la côte, mais nous ne pouvons malheureusement pas entrer en détail sur ce point, à défaut de données chiffrées.

Quant aux puits profonds, ils utilisent les eaux présentes dans les nappes de calcaires ou de grès calcaires de l'Eocène moyen. Ces eaux peuvent être captives, étant donné peu de variation saisonnière du niveau de l'eau.

3.4.4 Qualité de l'eau souterraine

La qualité des eaux de la zone n'a pas fait l'objet de notre analyse. Nous disposons toutefois d'un document de référence pour savoir que la différence qualitative n'est pas sensible entre les eaux peu profondes du delta du Fiherenana et celles captées dans les calcaires de l'Eocène moyen et que les eaux sont très légèrement chlorurées, sauf aux environs de la côte.

3.4.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères exploitables dans la zone se trouvent dans les formations sableuses de l'Alluvion et les calcaires de l'Eocène moyen situés à l'Est au delà de Befanamy.

Selon l'essai de pompage, effectué sur 3 forages de Miary destinés à alimenter la ville (profonds de 41 à 42m), le débit spécifique est estimé respectivement à 217,5l/mn./m, 874,0l/mn./m et 4.083l/mn./m, ce qui permet de justifier une haute productivité des formations calcaires de l'Eocène moyen. Le débit y est abondant, du fait que les nappes s'alimentent dans l'ensemble du bassin du Fiherenana.

Par contre, il sera difficile de trouver des nappes positives dans les formations de l'Eocène inférieur, elles étant essentiellement constituées de marnes.

3.5 Plateau de Belomotra-Vineta

3.5.1 Relief

Le plateau de Belomotra-Vineta s'élargit sur une largeur de 60km environ au Sud du massif d'Analavelona. Le paysage topographique change à la frontière d'une colline à l'Ouest d'Andranovory, localisé à la plus haute altitude sur le tronçon Toliara-Sakaraha de la RN 7.

La partie Ouest du plateau est à pendage moyen de 1/100 en descendant vers l'Ouest, où l'altitude diminue de 400m à 200m environ. Examinée de plus près, elle est constituée par un ensemble de plaines plates de niveau délicatement différencié. Sur les photos aériennes on trouve par endroits des dolines et des ouvalas. A la bordure Ouest du plateau, un certain nombre de collines isolées apparaissent à une hauteur relative de 50 à 100m par rapport à la surface plate. Leur versant est assez escarpé et le sommet plat. Le système hydrographique y montre une forme typique pouvant caractériser le plateau calcaire, si complexe qu'on peut mal discerner les limites du bassin du Fiherenana et de l'Onilahy.

Par contre, à l'Est du plateau, la plaine à l'altitude de 400 à 450m s'élargit jusqu'au pied du massif de Belomotra-Vineta avec une densité hydrographique bien faible. La seule vallée développée en direction Sud-Nord coule vers l'Ouest en ramassant des eaux du massif et va rejoindre le Fiherenana. L'eau y maintient un certain débit même en temps sec et appelle ainsi des vendeurs d'eau.

3.5.2 Géologie

On peut assister à la strate constituant le plateau là où la RN 7 commence à descendre de la marge Nord du plateau vers la vallée du Fiherenana. Elle comprend de grès continentaux et de calcaires poreux du Crétacé supérieur, intrus par des bancs de coulée basaltique.

Un forage test a été effectué cette fois-ci à Tranokaky, situé à l'altitude de 430m au coeur du plateau. Le banc de basaltes, au nombre de 2, est épais de 115m en niveau supérieur (entre -15 et -130m du niveau du sol) et de 9m en niveau inférieur (entre -141 et -150m). Les basaltes, compacts et durs en principe, y sont le plus souvent fissurés en brèches, donc très perméables dans l'ensemble (Fig.13).

Comme l'on n'arrive pas à voir, depuis le côté de la bordure Nord du plateau, les marnes recouvrant le niveau supérieur des basaltes, il semble qu'elles ne sont réparties qu'à l'intérieur du plateau et servent à niveler la surface du terrain. Dans le niveau inférieur des basaltes, on trouve des roches de boue noires sur une épaisseur de 30m.

A Andranovory (altitude: 483m) situé à la marge Ouest du plateau, la strate est composée, jusqu'à 137m de profondeur, de grès, calcaires, calcaires sableux ou argileux et les basaltes sont absents. Si on considère les résultats du sondage électrique, les bancs de basaltes pourraient exister au-dessous de -180m du niveau du sol.

Le forage d'essai à Befoly (altitude: 225m), localisé au centre du plateau, constate une succession des calcaires de teinte grise un peu foncée qui se poursuit jusqu'à 226m de profondeur, sauf à la couche superficielle épaisse de 4 à 5m. Ces calcaires, identifiés à l'Eocène inférieur, sont massifs et cohérents au niveau supérieur d'une épaisseur de 50m, mais au plus bas, poreux et fort fissurés. La présence des calcaires est d'ailleurs affirmée, dans une documentation existante, jusqu'à - 218m du niveau du sol à Andranohinaly (altitude: 250m) situé à 5,5km au Nord-Est de Befoly.

A la partie Ouest du plateau de Belomotra-Vineta, on voit sur la carte géologique existante que l'Eocène moyen recouvre en discordance l'Eocène inférieur. Une série des couches correspondante de l'Eocène moyen apparaissent à la surface de façon continue à la falaise près de l'estuaire de l'Onilahy. Elles sont constituées des calcaires (faciès est compact ou poreux) et de diverses roches détritiques calcaires et caractérisées par un changement considérable de faciès. En particulier, la prédominance des conglomérats calcaires comportant des coquilles d'huître est marquée. La série de calcaires et de roches détritiques que notre forage d'essai a découverte à Manoroka jusqu'à 60m de profondeur devrait correspondre à la partie plus basse de l'Eocène moyen.

On distingue ainsi, en se déplaçant de l'Est à l'Ouest, le Crétacé supérieur, l'Eocène inférieur et l'Eocène moyen. Ces trois différentes séries se superposent en discordance et s'inclinent dans leur ensemble vers l'Ouest. En tous cas, le fait que les séries ne sont qu'à pendage bien modéré et déplacées par de nombreuses failles rend pratiquement difficile de connaître la structure géologique de la zone.

3.5.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Dans le plateau de la zone, obtenir de l'eau souterraine par puits peu profond étant infaisable, les villages dispersés le long de la RN 7 possèdent très rarement leurs puits et dépendent de l'eau de pluie et des vendeurs d'eau pour satisfaire les besoins domestiques.

Par exception, à 6km environ à l'Ouest d'Andranovory, aux abords de la RN 7, de nombreux "vovo", simples puits creusés à la main, permettent le captage d'eaux souterraines libres. La profondeur des "vovo" se situent à quelques mètres à partir du fond d'une petite vallée à la source d'un des affluents du Fiherenana. Mais, ici, le rabattement progressif du niveau de l'eau est remarqué tous les ans.

On totalise 3 puits ayant une profondeur approximative de 10m à Tranokaky et à Befoly. Ils se tarissent en saison sèche. Ils font captages dans les nappes constituées de sable intercalé de marnes reposant sur le banc de basaltes ou de dépôts sableux reposant sur des calcaires. La présence de ces nappes ne pourrait être que bien locale, si on tient compte du fait qu'on ne trouve pas de pareils puits dans d'autres villages.

Par le forage test exécuté cette fois-ci à Tranokaky du plateau de Vineta, on a pu obtenir de l'eau souterraine de nappe captive à partir d'un banc basaltique. Le niveau statique est de -16,2m du niveau du sol. Ici, se développent les couches imperméables de roches de boue au-dessous de -135m, sur lesquelles reposent les bancs de basaltes, puissants, fort fissurés et aquifères. Le puits d'Andranovory (profond de 136m, plus en fonctionnement à l'heure actuelle) avait puisé probablement l'eau captive dans les grès appuyés sur le banc

basaltique. Le niveau statique était relevé à -117m à l'époque de son forage.

D'autre part, à Befoly sur le plateau de Belomotra, notre forage d'essai a enfin atteint une nappe aquifère à 225m de profondeur avec le niveau statique de -179m (altitude: 46m). De même, au puits existant d'Andranohinaly (aujourd'hui hors de service), la profondeur de la nappe se situe à -220m (niveau statique à l'époque: -207m, altitude + 63m). De là, les eaux souterraines très profondes dans les formations calcaires de l'Eocène inférieur du plateau de Belomotra ne semblent presque pas captives et vont du Nord-Est au Sud-Ouest avec un gradient hydraulique d'environ 1/300.

A la rive droite de l'Onilahy à la limite Sud du plateau de Belomotra-Vineta, il existe de nombreuses résurgences. Le volume d'eau est abondant surtout aux environs d'Ambohimahavelona où la résurgence vient des calcaires de l'Eocène inférieur. Les eaux sont utilisées pour les besoins domestiques, mais également pour l'irrigation des rizières. Compte tenu du niveau et de la direction d'écoulement des eaux profondes dans les formations de l'Eocène inférieur que nous venons de décrire ci-haut, la résurgence à la rive droite de l'Onilahy résulte de l'apparition à la surface de ces eaux profondes. A la côte, au Nord de l'embouchure de l'Onilahy, les eaux résurgentes se jettent dans la mer.

Par opposition, les résurgences sont très rares au long du Fiherenana. Comparé à l'Onilahy, le Fiherenana est de pendage plus important et ses eaux se perdent dans le voisinage de Behompy pour devenir un parfait oued en aval. De ce fait et des observations plus haut, il est fort possible que les eaux souterraines profondes soient alimentées par le fleuve Fiherenana.

3.5.4 Qualité de l'eau souterraine

Les eaux souterraines de la zone, peu profondes ou profondes, sont affectées au type I (Fig.7E). La teneur en chlore et la conductibilité électrique sont faibles. Du point de vue qualité, l'eau profonde de Bofoly venant des calcaires de l'Eocène inférieur est à peu près de même nature que celle du Fiherenana, ce qui permet de défendre l'hypothèse que la première est rechargée par la dernière.

L'eau de Tranokaky, captée à travers les bancs de basaltes, appartient, elle aussi, au type I, mais la différence réside dans sa teneur plus élevée en ions tels chlorure, sodium et magnésium, ceci étant imputable aux sels contenus dans les marnes recouvrant les bancs basaltiques.

3.5.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères exploitables dans le plateau de Vineta sont productives dans les bancs de basaltes, épais et fissurés. A Tranokaky, les assises basaltiques se trouvent, sur une épaisseur de 115m, au-dessous de -15m à partir de la surface du sol (Tab.7E). Leur débit pompé et débit spécifique sont, d'après notre forage d'essai, de 110l/mn. et 11,65l/mn./m respectivement. Dans le plateau de Vineta, les bancs de basaltes se développent à l'horizontale et sont avérés très intéressants du point de vue profondeur et débit, mais sans oublier que leur fissuration irrégulière peut agir de façon considérable sur la capacité aquifère selon les endroits et que la qualité de l'eau serait détériorée en cas de présence des marnes au niveau supérieur.

Aux lisières du plateau de Vineta, les formations gréseuses du Crétacé supérieur peuvent constituer des nappes aquifères, mais avec restriction de leur répartition. A Andranovory, les eaux montant de ces nappes offrent un débit de 150ℓ/mn./m, selon notre essai de pompage.

Les couches calcaires de l'Eocène inférieur peuvent constituer des nappes aquifères très potentielles au plateau de Belomotra, mais la profondeur à forer devra atteindre plus de 200m pour permettre des captages. Le débit est de 110ℓ/mn. à Befoly (selon les résultats d'un forage d'essai) et de 100ℓ/mn. à Andranohinaly (selon les données disponibles). Toutefois, l'exploitation de ces eaux non captives suppose la mise en place d'une pompe submersible motorisée.

Comme nous l'avons mentionné, il semble que ces eaux libres partent du Fiherenana pour rejoindre l'Onilahy, via les formations calcaires avec un gradient extrêmement modéré, mais cela ne doit pas vouloir dire que les captages sont toujours faisables à une profondeur donnée. D'habitude, l'itinéraire d'eaux souterraines est bien limité surtout lorsqu'il s'agit d'un plateau calcaire. Il faut donc, avant d'entreprendre des forages profonds de 200 à 300m, procéder à l'identification de points à travailler à l'issue du sondage électrique et d'une étude sur la linéarité géologique.

Près de la marge Ouest du plateau de Belomotra, les nappes aquifères peuvent être découvertes dans les calcaires de l'Eocène moyen. Le débit des eaux souterraines, relevé à Manoroka, a été de 158ℓ/mn. sans rabattement du niveau.

3.6 Bassin du Fiherenana

3.6.1 Relief

La zone présente une cuvette montagneuse d'une altitude de 300 à 500m, formée au long du cours intermédiaire du Fiherenana où se concentrent ses nombreux affluents. La ville de Sakaraha est située sur la bordure Sud-Est de ce point de jonction fluviale. La cuvette est envahie au Nord-Est par le cours principal du Fiherenana et au Nord-Nord-Est par le principal affluent de celui-ci, l'Ilovo. En outre, à partir du versant Sud-Est du massif d'Analavelona, situé à l'Est de la cuvette, de nombreux affluents tels l'Ikona aboutissent au Fiherenana tout en s'écoulant presque à l'horizontale.

Le relief de la cuvette peut être caractérisé par des collines indépendantes au sommet plain qui se développent à une hauteur relative de 30 à 50m aux environs de Sakaraha. Elles sont nombreuses sur une zone large de 5 à 10km à l'extension Sud-Est du massif de Lambosy. L'apparence singulière des courbes de niveau permet de les distinguer facilement sur la carte topographique.

3.6.2 Géologie

Le massif ainsi que les collines dans la cuvette, séparés en deux parties par la faille d'Ilovo qui se dresse selon la direction NNE-SSO parallèlement à l'Ilovo, sont constitués du système Jurassique à la partie Est et du système du Crétacé inférieur à la partie Ouest. Le Jurassique montre un pendage général de 3° à 8° vers NNO-NO, alors que le Crétacé inférieur, à pendage modéré vers SE, est d'une structure

synclinale, dont l'axe est localisé près du cours principal du Fihorenana.

A la surface, le Jurassique à l'Est de la faille comprend de l'Ouest à l'Est, des grès continentaux grossiers ou à grains moyens, de teinte grise foncée et riches en mica (groupe de l'Isalo supérieur), des calcaires ou grès calcaires alternant avec des silts (Jurassique moyen marin) et des grès continentaux grossiers, rougeâtres et riches en grains quartzeux (groupe de l'Isalo moyen).

La zone caractérisée par la présence des collines isolées correspond aux dépôts marins du Jurassique moyen. La forme plate de leur sommet se traduit par le fait que les dépôts calcaires durs et compacts dans l'alternance résistent bien à l'effet de l'érosion. Une documentation existante décrit qu'à 6km au Sud de Sakaraha un bel atoll fossile de 300m de diamètre est très bien conservé. Les collines isolées feraient donc partie de ces atolls.

Les formations de Maninday (altitude: 625m) où un forage d'essai a été exécuté pour la présente Etude, appartiennent au groupe de l'Isalo moyen. Elles ont, jusqu'à 72m de profondeur, une abondance de grains quartzeux avec des grès grossiers ou conglomératiques rougeâtres, silts et grès.

A l'Ouest de la faille d'Ilovo, on trouve, en contact avec celle-ci, des grès calcaires avec intercalations marneuses ou argileuses (Jurassique supérieur marin), mais plus à l'Ouest, les formations du Crétacé inférieur constituées essentiellement de grès continentaux sont dominantes.

Les dépôts marins du Quaternaire reposant à l'intérieur de la cuvette et aux lits des cours d'eau sont d'une épaisseur de quelques mètres, selon notre sondage électrique. Un document disponible décrit qu'une grande quantité de sables et de graviers font invasion dans le réseau du Fiherenana en saison humide, par suite au dévastement importante depuis ces dernières années de la forêt d'Analavelona. Les grès continentaux, peu cohérents puisqu'ils n'ont pas subi de diagenèse, sont facilement érodés, ce qui nous permet d'assister par endroits dans la cuvette aux affleurements d'éboulis. Pourtant, on ne sait exactement la raison pour laquelle, en dépit de ce phénomène, les dépôts fluviaux sont peu épais dans la cuvette.

3.6.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

A Maninday, situé en dehors de la cuvette, le forage test qu'on a effectué pour la présente Etude a mis en évidence que les silts ou grès, répartis dans une profondeur inférieure à 44m, jouent le rôle de couches imperméables de façon à maintenir aquifères les formations gréseuses grossières reposant sur ces premiers. Le niveau statique se situe aux environs de -16m du niveau du sol. Les eaux ne seront presque pas captives, car leur niveau réagit même à une faible quantité de précipitations.

A Sakaraha, au coeur de la cuvette, il existe 4 puits à une profondeur de 8 à 32m qui touchent les grès du groupe de l'Isalo moyen (Tab.6F). Le niveau statique est de -7,5 à -11m du niveau du sol avec une légère variation saisonnière. L'observation étalée sur une longue période concernant un puits profond de 32m montre qu'à la différence de ceux de Maninday le niveau d'eaux souterraines ne sont pas tellement sensibles aux précipitations.

Au Nord de Sakaraha, on trouve un endroit où le plan de stratification du Jurassique moyen marin constitué des calcaires ou grès calcaires alternant avec des silts permet la résurgence d'eaux souterraines. Ces eaux ainsi ressorties alimentent des cours d'eau.

3.6.4 Qualité de l'eau souterraine

En outre du faible nombre des puits, les valeurs qu'on a pu obtenir au terme de l'analyse tombant sur les proximités du centre du diagramme, il est pratiquement impossible de classer la qualité des eaux de la zone considérée (Fig.7F). Leur potabilité est avérée toutefois bonne avec leur teneur en chlorure et conductibilité électrique bien faibles.

3.6.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

A l'Est au delà de la faille d'Ilovo, les formations des grès grossiers continentaux de l'Isalo moyen offrent la plus grande potentialité de développement. Au forage de Maninday, le débit a été de 360 à 480l/mn. avec débit spécifique de 43,95l/mn./m. La qualité de l'eau est excellente (Tab.7F). De même, l'essai de pompage sur un puits de Sakaraha (profondeur: 32m) nous a permis d'obtenir 400l/mn. pour le débit pompé et 150l/mn./m pour le débit spécifique. De ce fait, les formations des grès grossiers continentaux de l'Isalo moyen semblent pouvoir constituer des nappes aquifères de haute productivité.

Quant à la partie Ouest au delà de la faille, les grès continentaux du Crétacé inférieur qui affleurent largement sur le versant Est du massif d'Analavelona peuvent être aquifères, mais l'exploitation des nappes est gênée par la

présence du système Jurassique marin recouvrant celles-ci à la partie inférieure du versant. Par ailleurs, les marnes accompagnant le Jurassique moyen marin peuvent dégrader la qualité de l'eau s'il s'agit des nappes situées au niveau plus bas.

3.7 Bassin de la Sakondry

3.7.1 Relief

La zone représente une plaine longue et étroite, large de 7 à 8km au long du cours de la Sakondry s'écoulant tout droit du Nord au Sud. La plaine et le plateau de Belomotra-Vineta de l'Ouest sont jalonnés par une falaise à hauteur relative de 100m et par une série de glacis de talus. Le tracé cartographique de la limite entre le massif et le versant Est ne peut pas être facilement distingué.

Pendant la saison sèche, la rivière de Sakondry perd ses eaux en aval. A la rive gauche de l'embouchure, une arête se dresse de direction NE-SO de façon à former une zone marécageuse, en limitant la largeur de l'Onilahy.

3.7.2 Géologie

Compte tenu de son itinéraire presque rectiligne, la Sakondry semble dominée par la faille. La succession stratigraphique ne présente pas d'écart important entre les deux côtés de la faille.

La falaise à l'Ouest de la Sakondry présente des affleurements, à pendage modéré vers l'Ouest, du système du Crétacé inférieur fossilifère, constitué de grès, de grès calcaires, de calcaires et de grès marins, sur lesquels reposent des bancs basaltiques. Par contre, entre les environs du lit fluvial et le massif Est, on trouve largement et toujours à pendage Ouest, des grès calcaires jaunâtres ou calcaires du

système Jurassique moyen ainsi que, en dessous, des grès blancs à grain moyen (groupe de l'Isalo moyen) ou grès bruns rougeâtres grossiers (groupe de l'Isalo supérieur). Les grès calcaires ou calcaires du Jurassique moyen sont solides, alors que les groupes de l'Isalo moyen et supérieur sont peu cohérents.

Dans le fond de la gorge, les dépôts fluviatiles sont généralement peu épais et le Jurassique affleure le plus souvent directement sur le lit fluvial.

3.7.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Dans la zone, les puits sont rares, du fait que les besoins domestiques en eau sont satisfaits par l'eau de la rivière. A Bereketeta (altitude: 362m), en amont de la Sakondry, il existe un puits profond de 8,4m (Tab.6G). Ce puits, équipé d'une pompe électrique, ne fonctionne plus actuellement. Il atteint probablement l'eau libre dans les dépôts fluviatiles du Quaternaire recouvrant le Jurassique moyen. Le niveau d'eau ne varie pas sensiblement entre les saisons sèche et humide.

Le marais sur la rive gauche de l'embouchure semble alimenté d'eaux souterraines ressortant des calcaires du système Jurassique moyen qui constituent l'arête dressée du Nord-Est au Sud-Ouest.

3.7.4 Qualité de l'eau souterraine

Un seul échantillon a été prélevé à partir d'un puits peu profond, situé près de la ligne délimitant la Sakondry et la Taheza (Fig.7G). Cette eau, non captive et provenant du groupe de l'Isalo moyen, ne présente que des faibles valeurs de teneur en chlorure et de conductibilité électrique.

3.7.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

A l'Ouest de la Sakondry, on ne peut attendre de nappes aquifères potentielles des couches de pendage Ouest peu alimentées. Quant aux dépôts de talus s'étalant au pied de la falaise sur la bordure Ouest de la plaine, ils pourront permettre des captages d'eaux libres mais avec un débit modeste.

D'autre part, dans le massif à l'Est de la Sakondry, sont largement répandus les grès à grains moyens ou grossiers de l'Isalo moyen ou supérieur, très intéressants pour le développement, mais ils sont légèrement recouverts, en partie inférieure du flanc, par des formations marines du Jurassique. De ce fait, il faut forer et pénétrer ces formations marines, assez dures d'ailleurs, pour aboutir à des nappes exploitables.

3.8 Bassin de la Taheza

3.8.1 Relief

C'est une plaine étendue dans un couloir de la vallée de la Taheza coulant selon les directions NNE-SSO. Les pentes douces des massifs montagneux qui l'entourent ne permettent pas de distinguer la limite séparant la plaine et les massifs. Le massif, au sommet plat et au versant escarpé, s'élargissant du Nord-Est au Sud-Ouest limite la largeur de l'Onilahy.

La Taheza maintient même pendant la saison sèche une abondance d'eau et permet l'irrigation d'une grande superficie de rizières aux alentours de sa bouche.

3.8.2 Géologie

Les massifs entre lesquels la Taheza s'écoule sont constitués des terrains des groupes de l'Isalo moyen et inférieur dont la répartition est déterminée par un grand nombre de failles s'étalant vers l'Est de la zone. On assiste aux affleurements de l'Isalo moyen en graben et de l'Isalo inférieur en horst.

L'arête se dressant sur la rive gauche du delta de la Taheza est un horst du groupe de l'Isalo inférieur, constitué à stratification entrecroisée des grès grossiers un peu conglomératiques. Ces grès continentaux sont silicifiés, donc plus cohérents par rapport à ceux appartenant à l'Isalo moyen et supérieur, ce qui peut expliquer l'étroitesse locale de la largeur de l'Onilahy et la pente escarpée du versant

montagneux. Les formations sont de teinte brune rougeâtre ou blanche jaunâtre et caractérisées par les intercalations des couches peu épaisses mais fort consolidées par concentration ferrugineuse.

Le village d'Analamary (altitude: 544m) où un forage test a été exécuté pour la présente Etude est situé au bout de l'amont de la Taheza. On trouve dans ses environs des grès grossiers de teinte rouge brunâtre de l'Isalo moyen. Le niveau supérieur d'une épaisseur de 63m est formé de grès grossiers brunâtres, alors que le niveau moyen comprend essentiellement des grès à grains moyens gris violâtres ou tout simplement gris. Les grès à grains moyens du niveau inférieur peuvent être donc rapportés à l'Isalo inférieur. Les dépôts fluviatiles se répartissent dans le lit de la Taheza, mais leur épaisseur reste inconnue.

3.8.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

De nombreux villages de la zone utilisant principalement l'eau de la rivière, on ne peut se procurer des renseignements sur le niveau et sur le régime des eaux souterraines (Tab.6H).

Le forage test et l'essai de pompage effectués à Analamary ont mis en évidence qu'il existe, dans les formations de l'Isalo moyen et inférieur, des nappes captives très potentielles constituées de grès grossiers à une profondeur comprise entre 160 et 190m. Le niveau statique de l'eau est de -35m à partir du niveau du sol. Ce point se trouvant près de la crête de partage séparant la Taheza et le Fiherenana, il est raisonnable de considérer que les eaux en question viennent du Nord-Est.

A Bezaha (altitude: 130m) qui n'entre pourtant pas dans le cadre de notre étude, il existe 2 puits d'une profondeur respective de 48m et 168m, forés pour la recherche de pétrole, avec résurgence d'eau venant des grès grossiers de l'Isalo inférieur. La température élevée, 40 à 45°C, permet de l'exploiter comme une source thermique d'intérêt public. La documentation existante rapporte simplement la résurgence d'eaux thermales au long de la faille de direction NE-SO sans mention de l'origine thermique.

3.8.4 Qualité de l'eau souterraine

Nous n'avons procédé qu'à l'analyse de deux échantillons d'eaux libres. Ils sont rapportés au type IV avec faibles valeurs de teneur en chlore et de conductibilité électrique (Fig.7H). Il en est de même pour l'eau qu'on a eue dans le forage test à Analamary.

3.8.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Dans le bassin de la Taheza, s'étalent largement des formations gréseuses grossières ou conglomératiques de l'Isalo moyen et inférieur. On suppose toutefois que le groupe de l'Isalo inférieur n'est pas nécessairement perméable de façon satisfaisante, car l'espace entre les grains est encombré de matières silicifiées. Par contre, les grès de l'Isalo moyen peuvent constituer des nappes aquifères très positives, selon les résultats d'un essai de pompage mené au sondage expérimental à Analamary. Les débits pompé et spécifique ont été respectivement de 360 à 600l/mn. et de 41,76l/mn./m. Une étude tectonique devra pourtant précéder l'action de développement, étant donnée la complexité de grabens et de horsts et la pauvreté de succession des formations (Tab.7H).

3.9 Bassin de la Sakanavaka

3.9.1 Relief

La zone se présente comme une cuvette montagneuse située à l'altitude de 300 à 400m où s'écoule le cours intermédiaire de la Sakanavaka. Sa bordure Ouest peut être facilement distinguée par une falaise escarpée à une hauteur de commandement d'environ 50m de direction NNE-SSO, alors que la bordure Est reste imprécise, elle faisant passage tout doucement au massif de Lambosy. Au Sud de la zone, se dresse le massif de Manamana dont le front Nord, toujours affecté par des phénomènes morphologiques, est confronté aux glissements. Par endroits de la vallée, on observe ainsi de nombreux blocs de roches déplacés.

La Sakanavaka s'alimente grâce à ses nombreux cours tributaires pérennes qui descendent en direction Sud-Ouest sur le front Ouest bien long du massif de Lambosy. La Mamakiala est le seul affluent qui va rejoindre la zone depuis le massif Ouest.

3.9.2 Géologie

La falaise d'une hauteur de commandement d'environ 50m est entaillée par une série de failles. Ces failles découpent d'ailleurs l'aspect géologique de la zone en parties Est et Ouest.

A savoir, on peut observer le système du Jurassique moyen de faciès continental et mixte à l'Est des failles et celui du Jurassique supérieur marin à l'Ouest. Ils sont à

pendage général de 5 à 10° vers l'Ouest.

A Tandrano (altitude: 400m) où un forage test a été tenté, on rencontre au niveau supérieur épais de 50m des grès brunâtres à grains fins avec d'importantes intercalations de roches de boue et en dessous des grès bleu grisâtres à grains fins et moyens avec peu d'intercalations. S'agissant du système Jurassique moyen (Isalo supérieur), la prédominance des dépôts marins est marquée au niveau supérieur.

A l'Est au delà de la ligne reliant Tandrano à Ankazoabo, les grès bleu grisâtres ou blanchâtres, répartis dans une profondeur supérieure à 50m, affleurent largement à la surface du sol avec stratification entrecroisée. Les affleurements sont souvent intercalés de calcaires et de grès calcaires de faciès marin. Les grès sont peu cohérents, alors que les calcaires et grès calcaires sont généralement compacts et extrêmement durs.

3.9.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Les puits construits dans la zone sont d'une profondeur comprise entre 5 et 15m et captent l'eau libre dans des nappes gréseuses de l'Isalo moyen. Le niveau statique varie de -4 à -13m (Tab.6I).

A Tandrano, d'importantes intercalations de roches de boue constituent des couches imperméables, de façon à permettre aux formations gréseuses de différents horizons de maintenir de l'eau captive, mais on n'y trouve pas de nappes aquifères très positives.

3.9.4 Qualité de l'eau souterraine

Comme le montre la figure 7I, toutes les eaux souterraines de la zone, captives ou non, sont classées au type I ou type II; la teneur en chlore et la conductibilité électrique sont en conséquence faibles.

3.9.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Les nappes aquifères qu'on utilise dans la zone considérée correspondent aux grès continentaux rapportés à l'Isalo supérieur et donnent un débit de 300 à 600l/mn. avec débit spécifique de 41,67l/mn./m. Ces grès continentaux de l'Isalo supérieur sont prédominants dans une profondeur au delà de 50m, dont la mise en valeur semble très intéressante.

Dans la zone, le pendage modéré vers l'Ouest du terrain rend exploitable l'eau souterraine dans les nappes aquifères sur le versant Ouest du massif de Lambosy. Cependant, quant aux couches reposant sur ces nappes, leur capacité aquifère ne sera pas satisfaisante avec une mauvaise qualité de l'eau. De ce fait, à l'Ouest de la ligne Tandrano-Ankazoabo on ne peut attendre la présence d'éventuelles nappes aquifères peu profondes.

3.10 Bassin de l'Isahena

3.10.1 Relief

C'est une cuvette développée autour du cours intermédiaire de l'Isahena d'une altitude de 300 à 500m, mais sans limite géologique par rapport aux massifs avoisinants. A l'Ouest de la zone, une série de falaises escarpées entaillent en côtes la partie Est du massif de Lambosy.

3.10.2 Géologie

On reconnaît un important développement du groupe de l'Isalo moyen avec pendage de 5° environ vers l'Ouest. Le faciès diffère de l'Ouest à l'Est de la rivière d'Isahena.

La partie Ouest au delà de l'Isahena est constituée principalement de grès fins, peu cohérents et blancs à stratification entrecroisée remarquable. A Berenty (altitude: 380m), le forage test a permis de constater que la partie supérieure d'une épaisseur de 60m comporte des grès calcaires, marneux ou silts et qu'en partie inférieure, des grès fins alternant avec roches de boue occupent une place dominante. Le changement du faciès de l'Isalo moyen traduit littéralement comment la cuvette sédimentaire se donne son caractère continental.

On ne dispose pas de document indiquant la puissance des dépôts fluviatiles du Quaternaire reposant sur le fond de la vallée.

3.10.3 Niveau et régime de l'eau souterraine

Dans la zone, les besoins domestiques en eau dépendant de l'eau de la rivière, des renseignements font défaut en ce qui concerne le niveau et le régime de l'eau souterraine.

Le forage test effectué à Berenty-Bitsileo n'a pas abouti à découvrir une nappe captive potentielle. Le niveau statique a été de -15,5m du niveau du sol quant à l'eau captive venant d'une nappe constituée de grès de différents horizons.

3.10.4 Qualité de l'eau souterraine

Comme on le voit dans la figure 7J, la qualité de l'eau souterraine du bassin appartient au type IV dont la teneur en chlorure et la conductibilité électrique sont basses, à l'exception faite de l'eau qu'on a obtenue du forage test à Berenty-Betsileo, type II, dont les valeurs mentionnées ci-dessus sont élevées avec un goût plutôt saumâtre. Ceci est probablement imputable aux sels contenus dans les marnes intercalant entre le groupe de l'Isalo moyen. Un document existant décrit en effet que la zone comprise entre Berenty-Betsileo et le Mangoky est le plus souvent affectée par les sels dissous.

3.10.5 Potentiel de développement de l'eau souterraine

Dans le groupe de l'Isalo moyen il existe à différents horizons des intercalations gréseuses qui peuvent être aquifères, mais les grès continentaux grossiers perméables pouvant les recharger ne se trouvent qu'à l'Ouest de l'Isahena.

Les formations de grès réparties à l'Est peuvent, elles aussi, contenir de l'eau souterraine rechargée dans le massif d'Isalo. Elles sont toutefois continentales, donc inévitablement peu perméables, accompagnées de marnes imperméables. A Berenty-Betsileo, nous avons obtenu un débit de 68 à 80 l/mn. au forage test, mais le débit spécifique n'a pas été aussi significatif, soit 1,53 l/mn./m en raison du rabattement considérable du niveau d'eau. Comme nous l'avons remarqué ci-dessus, la qualité de l'eau venant de ces nappes aquifères demeure aléatoire et ne mérite donc pas l'exploitation (Tab.7J).

En résumé, le potentiel de développement d'eaux souterraines est avéré faible dans la zone sur le plan tant quantitatif que qualitatif.

Tableau 5 Principales unités hydrogéologiques et villages

Unités hydrogéologiques	Villages appartenant à l'unité
A. Delta du Mangoky	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 30, 31
B. Bassin du Lac Ihotry	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
C. Bassin de la Manombo	52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 76, 101
D. Delta du Fiherenana	74, 75
E. Plateau de Belomotra-Vineta	70, 71, 72, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 93, 94, 95
F. Bassin du Fiherenana	82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92
G. Bassin de la Sakondry	98, 99
H. Bassin de la Taheza	95, 96, 97, 100
I. Bassin de la Sakanavaka	33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41
J. Bassin de l'Isahena	42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50
K. Autres	32, 49, 51

(Nota) Les villages dont le numéro est indiqué en *Italique* ont fait l'objet de la prospection électrique et/ou du forage test.

Tableau 6 Détails des puits existants, exploités aux besoins domestiques

Abréviations

No. village: Numéro du village candidat, utilisé pour l'Etude.

No. puits: Numéro du puits correspondant à l'inventaire.

GL(m): Niveau su sol, interprété par la carte topographique.

Prof.(m): Profondeur du puits, mesurée, de la surface du sol jusqu'au fond du trou de puits.

Lithofaciès de l'aquifère:

SWL(GL-m): Niveau statique de l'eau lors de l'observation simultanée.

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. Nov.~ Déc.1989 | Fin de la saison sèche |
| 2. Fév.~ Mars 1990 | Saison humide |
| 3. Juin~Juillet 1990 | Saison sèche |
| 4. Sept.1990 | Saison sèche |

Qualité de l'eau: Résultats obtenus au terme de l'analyse des eaux souterraines, échantillonnées dans les puits.

pH: Potentiel de l'hydrogène

Hard: Dureté

EC: Conductivité électrique

Les caractéristiques de teneur ionique sont données dans le diagramme triaxial.

A. Delta du Mangoky

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
	Ambahikily	5701	19.0	17.50		2.25	----	1.75	----				
	-----	5805*	19.0	3.29		1.25	----	1.15	----				
	-----	5806	19.0	1.45		1.59	----	1.69	----				
	-----	5807	19.0	3.94		1.66	----	1.62	----				
5	Ambalamoa	5809	14.0	6.55		4.55	----	2.63	----	7.4	240	687	I'
16	Ambiky	5815	51.0	2.50		2.10	----	1.85	----	7.5	378	1,220	I'
11	Andranomanitsy	5702*	23.0	11.60		1.75	----	2.15	----				
11	-----	5810*	23.0	4.39		-----	-----	-----	-----				
12	Berantala	5811	25.0	2.94		2.24	----	2.34	----	7.3	134	251	I'
17	Marovato	-----	74.0	1.30		-----	0.60	-----	-----				
	Morombe	5801		6.05		4.07	----	4.36	----				
7	Namatoa	5803	20.0	4.19		3.15	----	2.97	----	6.8	142	348	I
7	-----	5804	20.0	4.56		3.60	----	1.90	----				
13	Tanandava	-----	30.0	15.48		-----	-----	-----	-----				
13	-----	5812	26.0	7.74		2.16	----	2.87	----				
13	Tanandava	5813	27.0	4.84		3.74	----	2.86	----				
13	-----	5814	30.0	6.64		1.44	----	1.86	----				
	Tsianihy	5808	19.0	6.60		4.65	----	3.06	----				

B. Bassin du Lac Ihotry

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
23	Ampoza	5817	117.0	10.70		6.00	5.96	5.81					
28	Analatelo	-----	-----	2.00		2.00	1.00	-----					
	Andranoteraka												
	---- Nord.	5706*	-----	18.00		-----	-----	-----					
	---- Sud.	5707*	-----	14.50		-----	-----	-----					
	---- Sud.	5821	-----	6.70		5.30		5.26					
24	Ankilifolo	5816	120.0	10.00		2.65	4.45	4.69					
	Ankilimasy	5705*	167.0	36.00		-----	-----	-----					
	Antanimieva	5713*	150.0	14.00		-----	-----	-----					
	-----	5714*	150.0	16.00		-----	-----	-----					
	-----	5824	150.0	-----		-----	-----	-----					
21	Antranosatra	5819	71.0	7.90		0.00	-----	-----					
27	Basibasy	5712*	-----	14.00		-----	-----	-----					
27	-----	5822*	-----	8.00		4.60	-----	-----		7.6	740	2,330	III'
	Befandriana												
	---- Sud.	5703	152.0	36.00		-----	-----	-----	-----				
	---- Sud.	5704*	152.0	27.00		-----	-----	-----	-----				
	Bekimpay	5710*	105.0	13.10		3.90	-----	-----	-----				
	-----	5825	105.0	5.45		3.90	-----	-----	-----				
26	Bemoka	-----	95.0	3.20		-----	2.60	-----	-----				
26	-----	5711*	95.0	12.00		-----	-----	-----	-----				
29	Mangotroka	5823	148.0	4.70		4.60	1.60	2.40	-----				
22	Manoy	5818	84.0	11.00		8.65	-----	7.86	-----	7.5	460	1.970	IV'
	Maroforoaha	5708*	-----	12.50		-----	-----	-----	-----				
	-----	-----	-----	2.00		1.10	0.90	-----	-----				
25	Sihanaka	-----	133.0	2.70		0.80	1.60	-----	5.74				
25	-----	5709*	133.0	21.80		6.07	3.18	-----	-----				

C. Bassin de la Manombo

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
54	Belitsaka Sud.	2721*	184.0	24.00		----	----	----	----				
54	---- Nord.	2722*	184.0	15.20		----	----	----	----				
54	-----	5802	184.0	4.87		1.67	----	1.67	----	7.4	452	1,110	I'
68	Benetsy	2702*	37.0	22.58		----	----	----	----	7.3	760	6,560	III'
68	-----	2802	37.0	17.78		----	----	----	----				
	Betsioky Nord.	-----	219.0	67.00		----	----	----	----				
	-----	-----	219.0	52.00		----	----	----	----				
	-----	-----	219.0	72.00		----	----	----	----				
	Betsioky Nord.	2727	219.0	90.00		----	----	----	----				
	Mandatsa	2726*	205.0	20.80		----	----	----	----				
	Milenaka	2710*	63.0	26.00		----	----	----	----				
56	Namaboha	2717*	164.0	26.88		----	----	----	----				
56	-----	2718*	164.0	26.80		----	----	----	----				
	Saririaka	2703*	40.0	26.00		----	----	----	----				
	-----	2803	40.0	13.35		13.08	11.65	11.05	----				
52	Soahazo Sud.	2724*	198.0	16.00		----	----	----	----				
52	---- Nord.	2725*	198.0	28.00		----	----	----	----				
	Tsianisiha	2704*	48.0	15.50		----	----	----	----				
	-----	2705*	48.0	25.00		----	----	----	----				
	-----	2804	48.0	16.95		16.93	10.25	----	----				
	Tsihosy	2706*	60.0	20.80		----	----	----	----				

C. Bassin de la Manombo

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
	Ambahiza	2719*	171.0	30.50									
	Ambalavenoka	2709*	58.5										
	Ambatolily	-----	69.0	12.00		3.80	3.45	-----	-----				
	-----	2707*	69.0	12.00		3.45	2.70	3.82	-----				
	-----	2708*	69.0	-----		-----	-----	-----	-----				
55	Ampasikibo	2720	175.0	25.00		-----	-----	-----	-----	6.8	652	1,560	I'
59	Ampihamy	2715*	122.0	22.00		-----	-----	-----	-----				
59	-----	2807	122.0	10.65		9.33	9.00	-----	-----				
53	Analamisampy	2723	190.0	21.70		-----	-----	-----	-----	7.4	218	696	I'
65	Ankaraobato	2712	73.0	14.60		-----	-----	-----	-----	7.3	270	842	I,~II'
65	-----	2711*	73.0	11.20		4.50	-----	4.78	-----				
	Ankililoaka	2713*	82.0	13.80		-----	-----	-----	-----				
	-----	2714*	82.0	12.80		1.70	-----	1.28	-----				
	-----	2805	82.0	6.33		6.28	5.40	6.38	-----				
	-----	-----	82.0	2.40		1.45	1.80	-----	-----				
	Ankililoaka	-----	82.0	2.40		1.45	1.80	-----	-----				
	-----	-----	82.0	7.50		6.10	-----	-----	-----				
	-----	2806	82.0	4.20		1.42	0.87	0.66	-----				
101	Ankilimalinika	2701*	30.0	25.00		-----	-----	-----	-----				
101	-----	2801	30.0	13.21		12.73	12.36	12.56	-----				
57	Antseva	2716*	139.0	19.60		-----	-----	-----	-----				
57	-----	2808	139.0	10.00		6.57	5.55	6.35	-----	7.1	540	1.470	I'

D. Delta du Fiherenana

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL(GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
	Airport	1807	4.0	8.04		6.00	5.86	5.71	----				
	Androvakely	-----	13.0	-----		4.35	4.40	-----	-----				
	Andranomena	1705	23.61	60.60		10.62	4.20	-----	-----				
	-----	1706	23.61	60.00		-----	-----	-----	-----				
	Befanamy	1804	15.0	8.56		5.90	6.05	5.50	6.01				
	Belalanda	2730	5.0	6.90		6.40	6.28	6.33	-----				
74	Miary	-----	-----	-----		2.15	0.28	3.14	2.86				
74	-----	1701	24.36	41.00	Pls(fr),ss(cal)	20.10	-----	20.67	20.17				
74	-----	1702	22.67	41.70		-----	-----	-----	-----				
74	-----	1703	23.53	65.62		-----	-----	-----	-----				
74	-----	1704	-----	-----		22.60	22.40	22.40	22.63				
74	-----	1802*	-----	-----		4.42	2.26	4.32	5.10				
74	-----	1803*	-----	-----		-----	-----	4.22	4.99				
	Motombe	1806	4.50	3.60		2.30	1.12	1.23	-----				

When pumping

E. Plateau de Belomotra-Vineta

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
	Anadabo	3805	----	11.66		11.00	11.54	11.73	----				
	Andamasiny	3701*	400.0	22.40		----	----	----	----				
	Vineta												
	Andranohinaly	2728*	270.0	219.00		----	----	----	----				
	Andranovory	2729*	483.0	136.00		----	----	----	----				
	Andravakely	1805	9.0	----		4.35	4.40	3.90	4.40				
78	Befoly	5820	225.0	9.75		5.55	----	5.35	----				
95	Tranokaky	----	430.0	11.66		----	11.00	----	----				
95	-----	3703*	430.0	24.00		----	----	----	----	7.1	220	630	I'

F. Bassin du Fiherenana

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
82	Laborano	3806	582.0	2.45		0.40	----	0.02	----				
92	Mahaboboka	3705*	300.0	14.00		----	----	----	----				
92	-----	3704*	300.0	----		----	----	----	----				
	Miary Lamatihy	3807	350.0	3.30		2.22	----	1.60	----				
	Sakaraha	3702*	460.0	32.00		10.35	10.25	10.36	----				
	-----	3801	460.0	16.80		10.60	10.00	10.20	----				
	-----	3802	460.0	2.29		----	1.63	1.21	----				
	-----	3803	460.0	8.20		----	7.87	7.76	----				
	-----	3804	460.0	10.80		----	10.58	10.35	----				

G. Bassin de la Sakondry

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau		
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC
98	Bereketa	3808*	362.0	8.40		6.90	6.90	7.07	----			

H. Bassin de la Taheza

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau		
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC

I. Bassin de la Sakanavaka

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
	Ankazoabo	4702*	410.0	31.00		----	----	----	----				
	-----	4802	410.0	5.43		4.75	----	4.30	----				
	-----	4803	410.0	12.24		11.00	----	10.70	----				
	-----	4804	410.0	14.00		13.02	----	12.79	----				
	-----	4805	410.0	5.54		4.10	----	4.18	----				
40	Tanandava	4701*	450.0	15.48		----	----	----	----				
40	-----	4801	450.0	6.14		5.85	----	5.80	----				
34	Tandrano	4806*	400.0	7.95		----	----	----	----				
34	-----	4807	400.0	11.07		10.06	----	6.80	----				
34	-----	124C	400.0	7.95		----	----	----	----				

J. Bassin de l'Isahena

No.	Nom du village	No. puits	GL (m)	Prof. (m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)				Qualité de l'eau			
						1	2	3	4	pH	Hard.	EC	Type
46	Berenty	4808	385.0	17.20		----	----	----	----				
	Betsileo												
42	Ipetsa Atm.	----	463.0	3.60		1.10	1.90	----	----				

Tableau 7 Détails des forages test, exécutés dans l'Etude

Abréviations

No. village: Numéro du village candidat, utilisé pour l'Etude.

GL(m): Niveau su sol, interprété par la carte topographique.

Prof.(m): Profondeur du puits, mesurée de la surface du sol jusqu'au fond du trou de puits.

Crépine(GL-m): Niveau de la crépine.

Niveaux le plus bas et le plus haut, lorsqu'il y a plusieurs crépines implantées.

Lithofaciès de l'aquifère:

<i>PJ</i> : Pré-Jurassique	<i>J</i> : Jurassique	<i>I</i> : Groupe Isalo
<i>C</i> : Crétacé	<i>E</i> : Eocène	<i>N</i> : Néogène
<i>Q</i> : Quaternaire		

<i>ss</i> : Grès	<i>ls</i> : Calcaire	<i>ml</i> : Marne
<i>bs</i> : Basalte		

<i>(sdy)</i> : sableux	<i>(cal)</i> : calcaire	<i>(mly)</i> : marneux
<i>(f)</i> : à grains fins	<i>(m)</i> : à grains moy.	<i>(c)</i> : à grains grossiers
<i>(g)</i> : graveleux	<i>(po)</i> : poreux	<i>(fi)</i> : fissuré
<i>(fr)</i> : fracturé		

SWL(GL-m): Niveau statique de l'eau lors de la finition du puits, selon les résultats de l'essai de pompage.

Q(l/mn.): Débit de l'eau souterraine.

S(m): Rabattement du niveau de l'eau souterraine.

SC(l/mn./m): Capacité spécifique.

T(m²/mn.): Coefficient de transmissibilité, calculé par la formule de Thiem.

Qualité de l'eau:

pH: Potentiel de l'hydrogène

Hard: Dureté

EC: Conductivité électrique

Les caractéristiques de teneur ionique sont données dans le diagramme triaxial.

B. Bassin du Lac Ihotry

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(ℓ/mn.)	S(m)	SC(ℓ/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
23	Ampoza	117.0	50.0	15.5-47.5	Qss(m-c)	5.28	283(-310)	9.92	28.53	4.69x10 ⁻²	7.3	150	368	I
28	Analatelo	-----	35.0	11.5-31.5	Eml(sdy)/ls(sdy)	3.18	301(-321)	0.06	5,016.67	-----	7.4	145	362	I
27	Basibasy	-----	83.0	51.5-79.5	Eml(sdy), Els	14.49	201(-222)	29.78	6.75	8.89x10 ⁻³	6.8	1,060	2,740	III
	Befandriana	152.0	53.0	18.0-38.0	Qss(m-c)	12.30	300	0.98 ⁵	304.57	6.28x10 ⁻¹	7.1	260	565	I
29	Mangotroka	148.0	41.0	14.5-38.5	Qss(m-c)	3.57	336	1.72	195.35	-----	7.0	40	141	I
22	Manoy	84.0	42.0	18.4-38.4	Qss(m-g)	8.37	280(-309)	12.16	23.03	4.46x10 ⁻²	7.1	530	1,520	III
25	Sihanaka	133.0	41.0	19.5-39.5	Qss(m-c)	5.74	300(-307)	1.86	161.29	3.62x10 ⁻¹	7.5	122	310	II

C. Bassin de la Manombo

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(ℓ/mn.)	S(m)	SC(ℓ/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
55	Ampasikibo	175.0	50.0	23.5-43.5	Eml(sdy)	9.16	280(-287)	6.96	40.23	1.30x10 ⁻¹	7.2	303	817	I
59	Ampihamy	122.0	53.0	23.5-51.5	Qss(m-c)	8.30	296(-315)	7.03	42.11	-----	7.2	296	996	I
53	Analamisampy	190.0	71.0	7.5-67.5	Els(sdy), ml(sdy), ss	13.11	30(-112)	8.09	3.71	3.18x10 ⁻³	7.2	464	1,350	I
65	Ankaraobato	73.0	75.5	15.2-75.2	Qml(sdy), ss(m-c)	3.40	339(-361)	2.93	115.70	1.49x10 ⁻¹	7.2	320	849	I
101	Ankilimalinika	30.0	66.0	42.0-62.0	Qss(c),ml(sdy)	14.35	152(-155)	1.67	91.02	-----	7.5	134	2,458	IV
54	Belitsaka	184.0	66.0	31.5-59.5	Ess(m-c), ml(sdy)	12.78	200(-270)	14.70	13.61	1.08x10 ⁻²	7.0	748	2,080	III
68	Benesty	39.0	72.0	39.5-67.5	Qss(c)	13.51	158(-161)	2.01 ⁵	78.41	-----	7.4	140	977	II
63	Manombo Atm.	5.0	27.0	11.5-23.5	Ess(m-g)	4.53	165(-263)	0.39	423.08	-----	7.2	406	1,000	I
56	Namaboaha	164.0	83.0	39.5-73.5	Ess(m-c), ml(sdy)	16.50	247(-268)	16.67	14.82	3.17x10 ⁻²	7.3	298	975	I
52	Soahazo	198.0	76.0	47.1-63.1	Eml(sdy)	36.17	130(-233)	1.08	120.37	-----	7.3	342	1,080	I
52	-----	198.0	34.0	7.1-27.1	Eml(sdy), ss(m-c)	4.90	167	5.72	29.20	4.12x10 ⁻²	7.4	696	3,630	IV
67	Tsefanaka	104.0	45.0	22.0-42.0	Qss(c),ls(mly)	24.30	142(-144)	3.05	46.56	1.23x10 ⁻¹	7.4	182	602	I

E. Plateau de Belomotra-Vineia

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(l/mn.)	S(m)	SC(l/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
78	Befoly	225.0	226.5	183.5-226.5	Els(po-fi)	178.56	110	---	---	---	7.8	194	403	I
81	Manoroka	15.0	58.0	30.0-50.0	Els(po-fi), ss(c)	5.23	158	0.00	---	---	7.4	246	1,210	II
95	Tranokaky	430.0	181.1	35.5-135.5	Cbs(fr)	16.57	39(-110)	3.32	11.65	8.88x10 ⁻³	7.5	358	894	I

F. Bassin du Fiherenana

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(l/mn.)	S(m)	SC(l/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
88	Maninday	625.0	73.5	15.5-55.5	Iss(c-g)	16.37	360(-480)	8.19	43.95	5.97x10 ⁻²	6.9	20	106	II

G. Bassin de la Sakondry

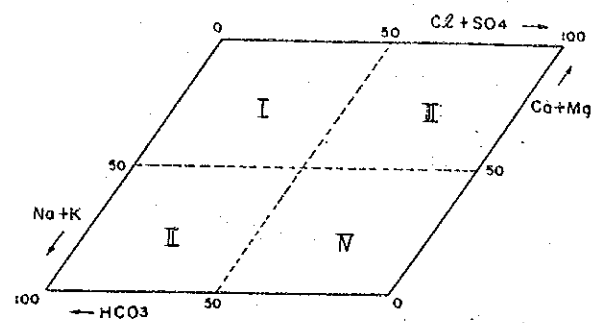
No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(l/mn.)	S(m)	SC(l/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
96	Analamary	544.0	204.0	31.5-167.5	Iss(c)	35.00	360(-720)	8.62	41.76	6.16x10 ⁻²	6.4	30	142	II

I. Bassin de la Sakanavaka

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(L/mn.)	S(m)	SC(L/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
34	Tandrano	400.0	150.1	35.5-139.5	Iss(f-m)	25.56	300(-660)	7.20	41.67	8.46x10 ⁻²	7.4	162	410	I

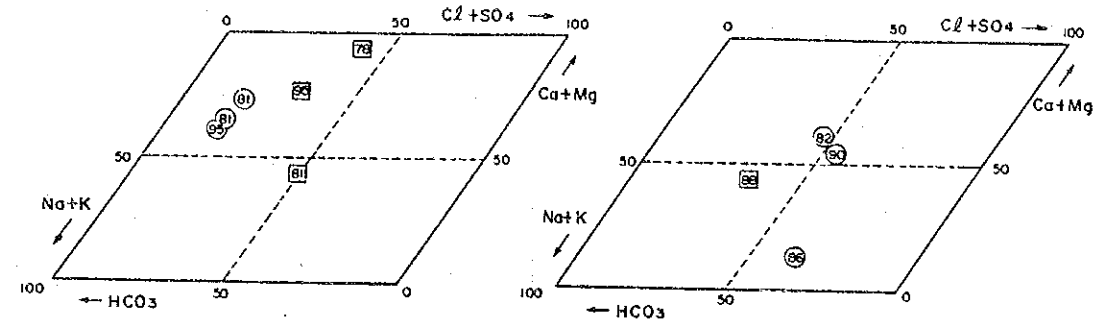
J. Bassin de l'Isahena

No.	Nom du village	GL (m)	Prof. (m)	Crépine (GL-m)	Lithofaciès de l'aquifère	SWL (GL-m)	Résultats de l'essai de pompage				Qualité de l'eau			
							Q(L/mn.)	S(m)	SC(L/mn./m)	T(m ² /mn.)	pH	Hard.	EC	Type
46	Berenty- Betsileo	380.0	140.0	39.5-131.5	Iss(mly),ml(sdy)	15.54	30(-60)	44.45	0.67	2.76x10 ⁻³	8.4	20	2,190	II



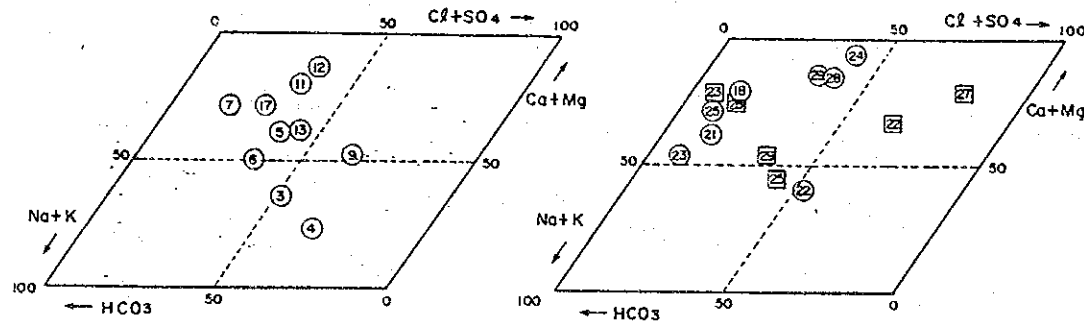
Origine de l'eau souterraine, déterminée par le domaine du diagramme triaxial

- I: Eau souterraine d'une nappe libre ou eau provenant d'une rivière
- II: Eau souterraine d'une nappe captive ou morte
- III: Qualité intermédiaire
- IV: Eau d'une source chaude ou eau contaminée par l'eau de mer



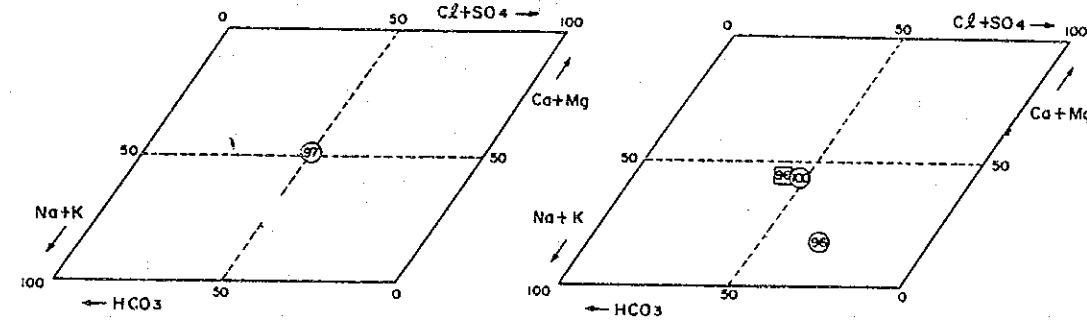
E. Plateau de Belomotra-Vineta

F. Bassin du Fiherenana



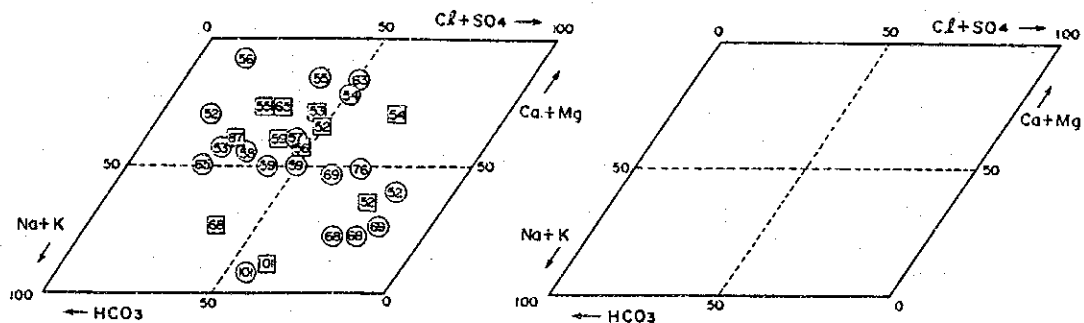
A. Delta du Mangoky

B. Bassin du Lac Ihotry



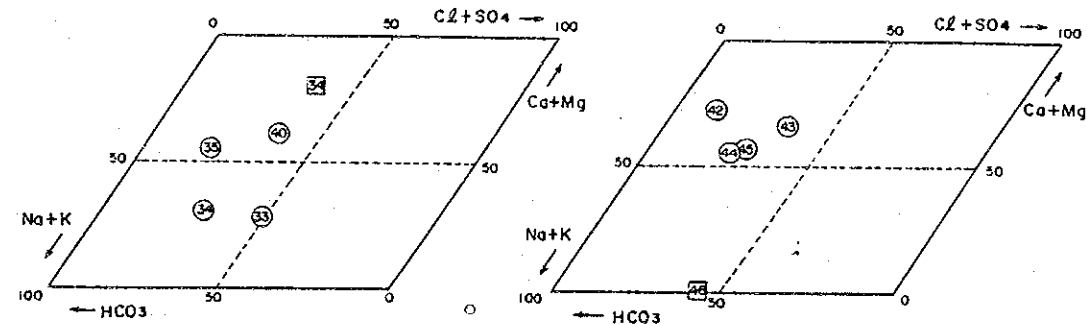
G. Bassin de la Sakondry

H. Bassin de la Taheza



C. Bassin de la Manombo

D. Delta du Fiherenana

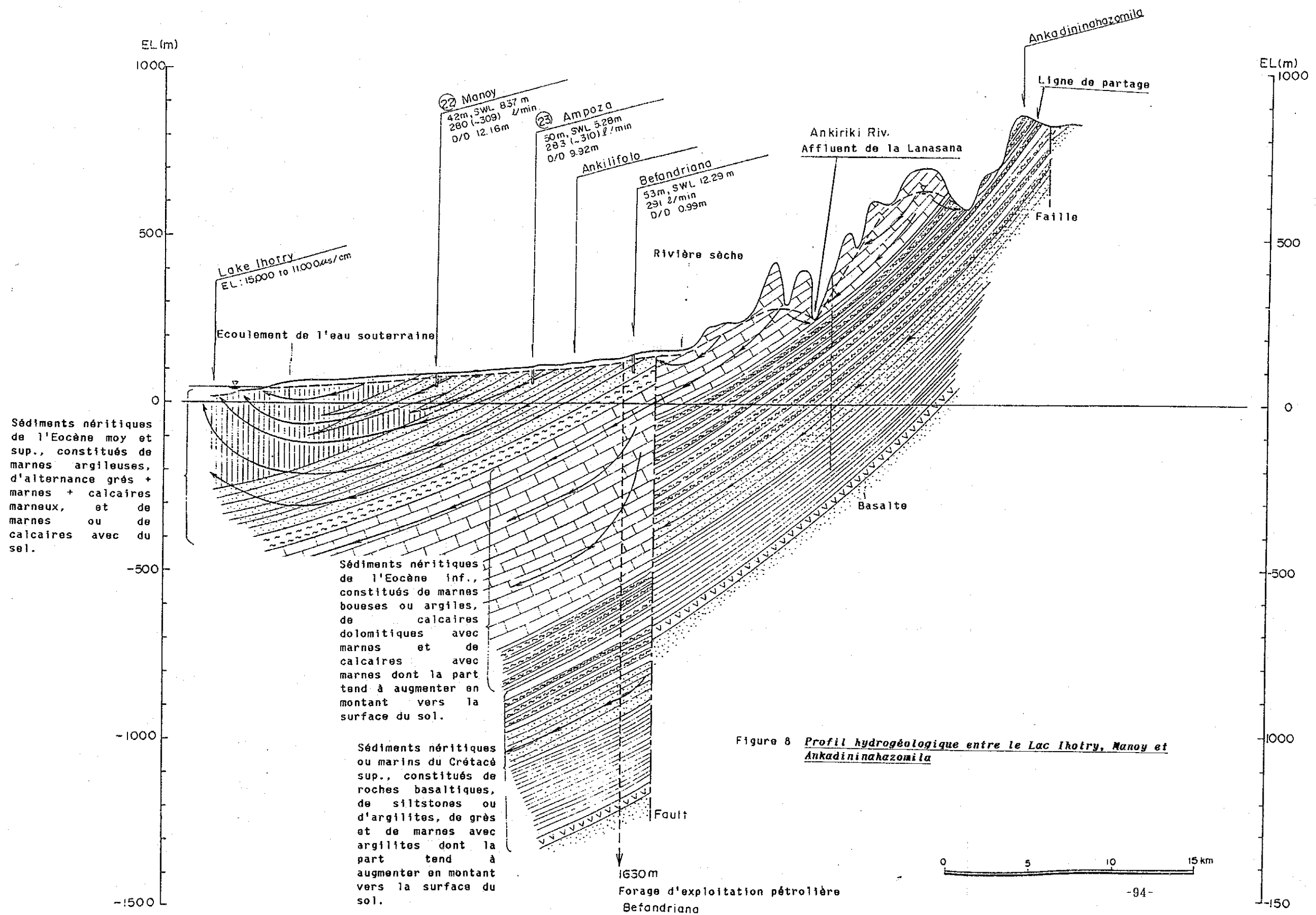


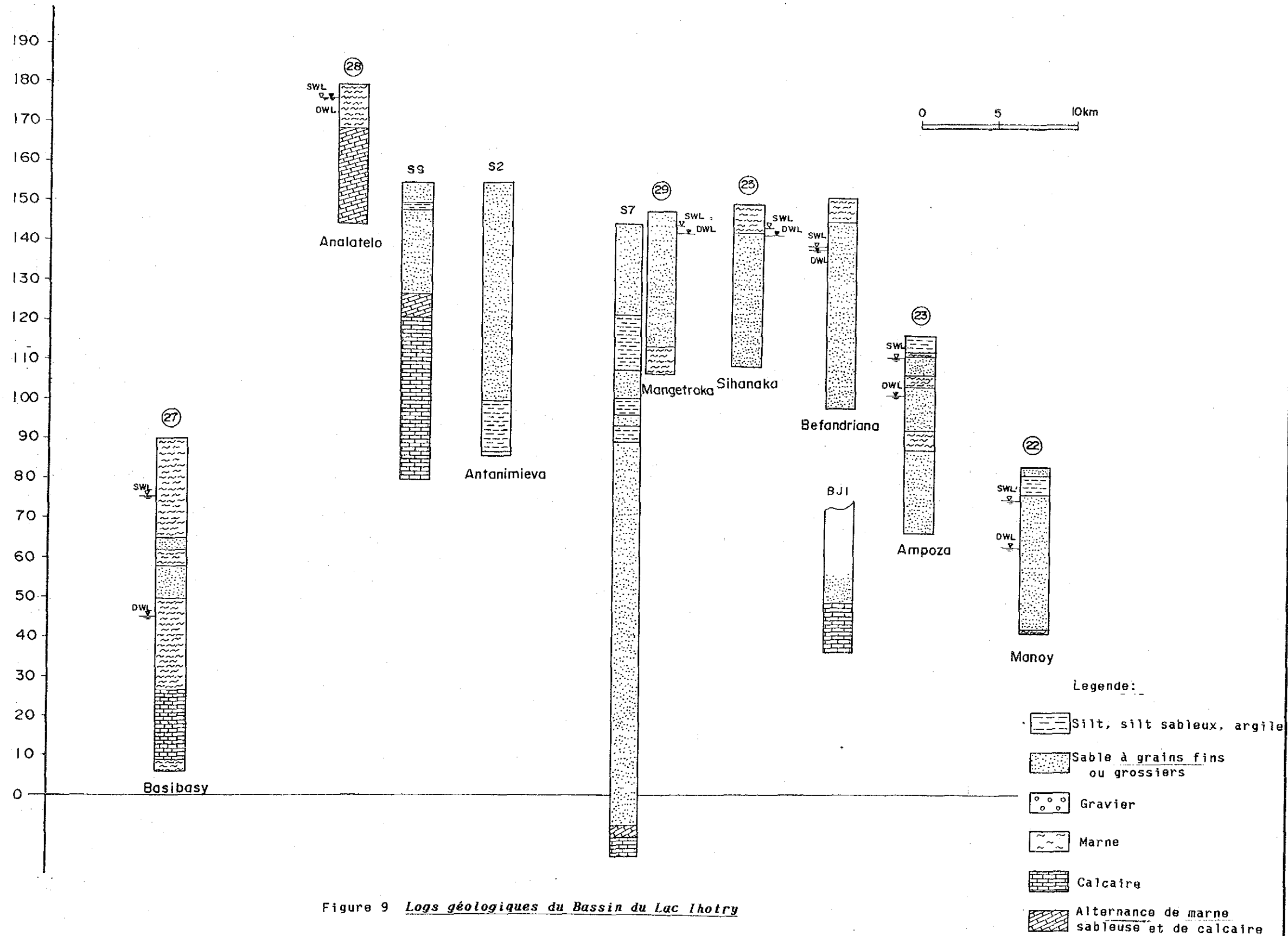
I. Bassin de la Sakanavaka

J. Bassin de l'Isakana

Figure 7 Qualité de l'eau souterraine dans le diagramme triaxial

- 1. Puits existants, exploités pour les besoins domestiques
- 2. Forages test, exécuté pour l'étude
- 3. Les numéros dans le diagramme sont ceux du village.





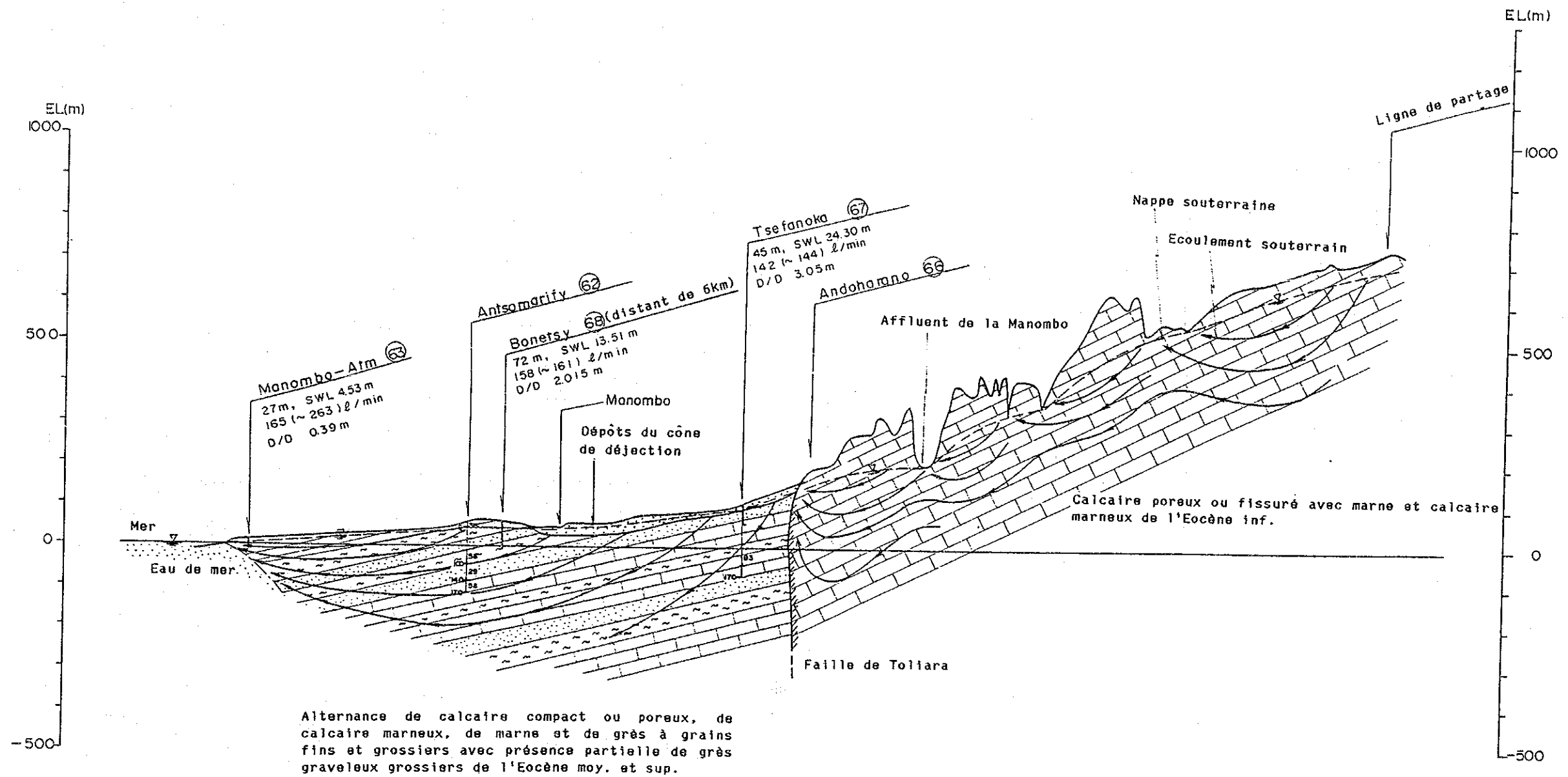


Figure 10 Profil hydrogéologique du Bassin de la Manombo

0 5 10 15 km

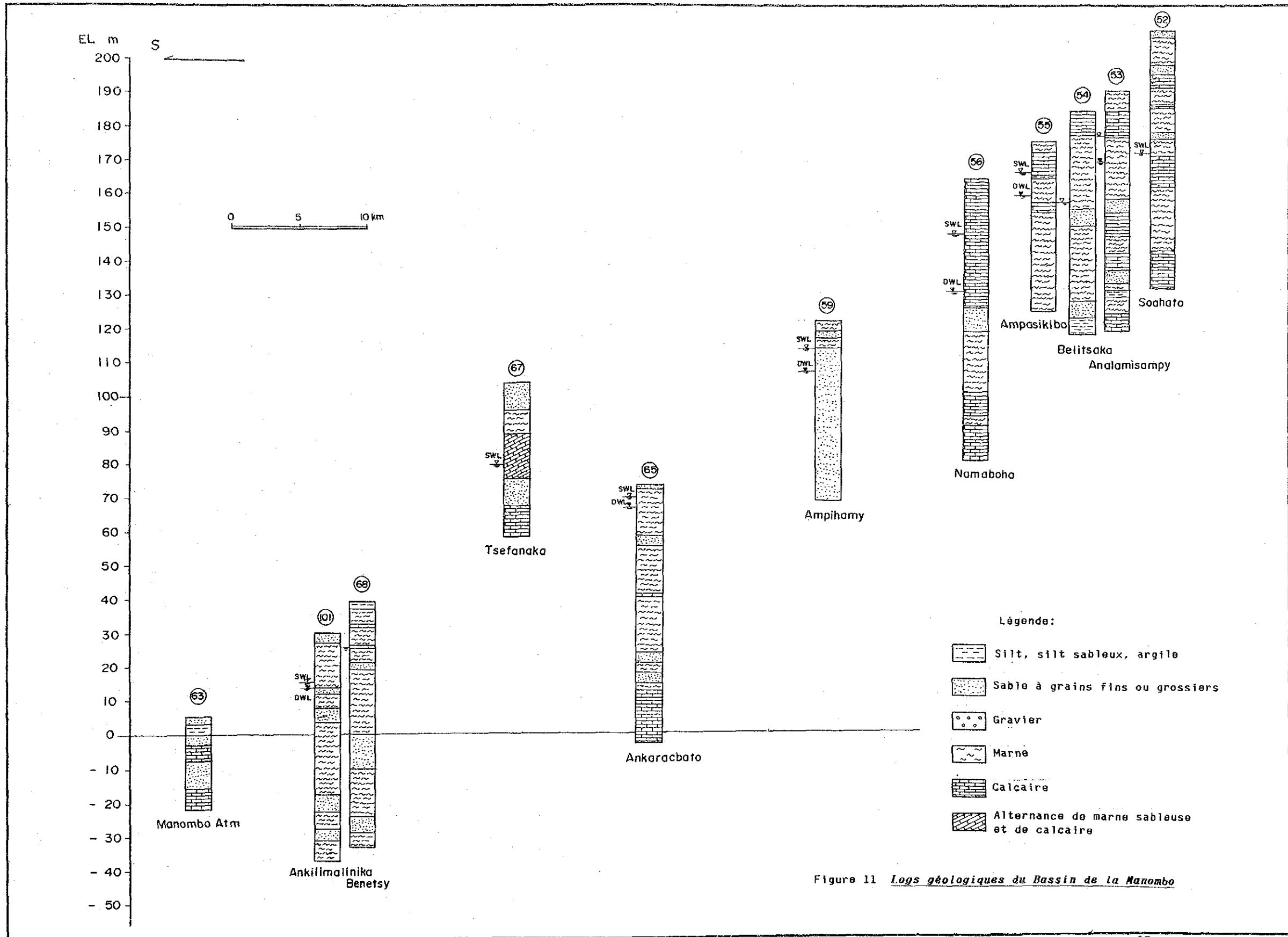


Figure 11 Logs géologiques du Bassin de la Manombo

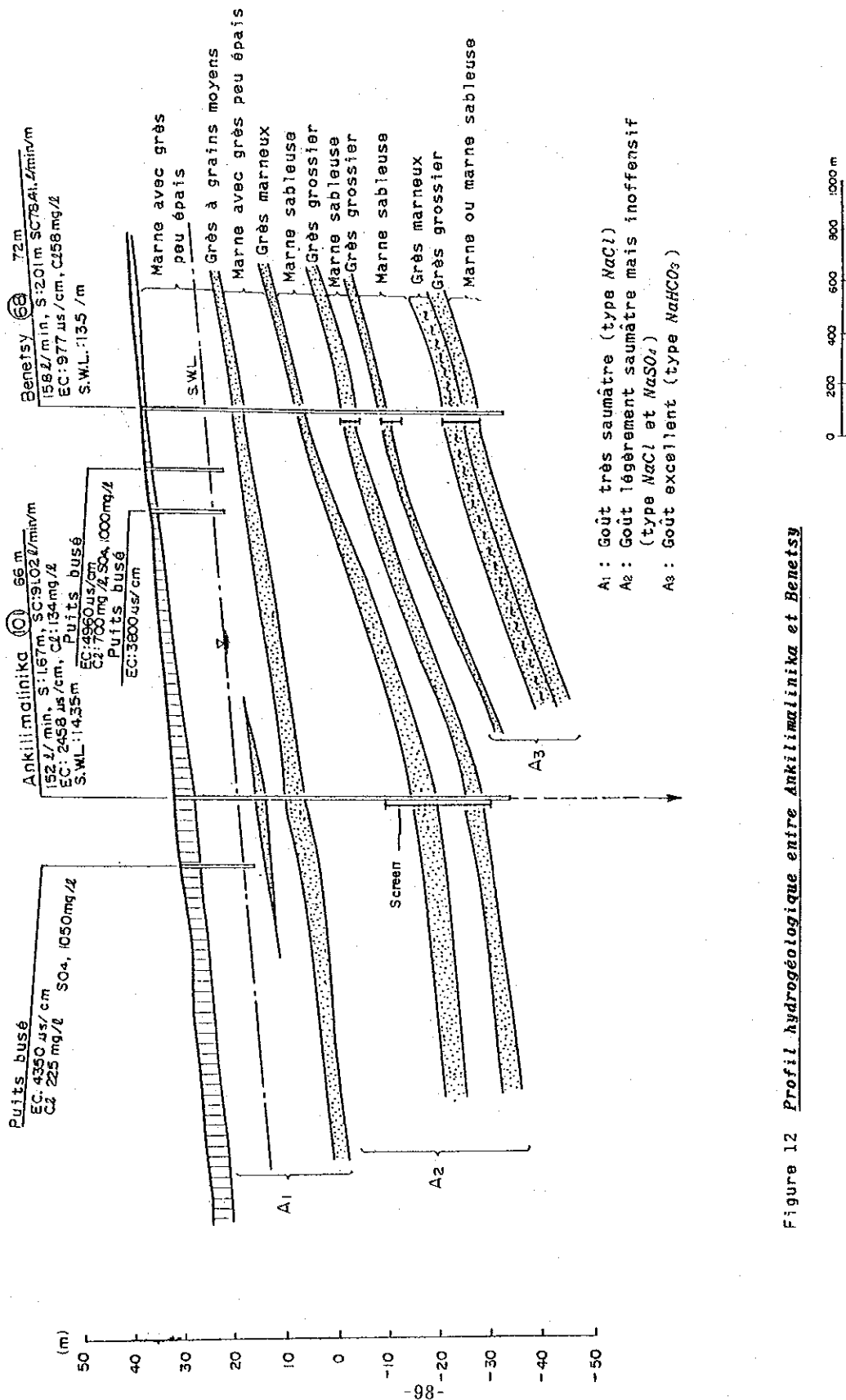


Figure 12 Profil hydrogéologique entre Ankilimalinika et Benetsy

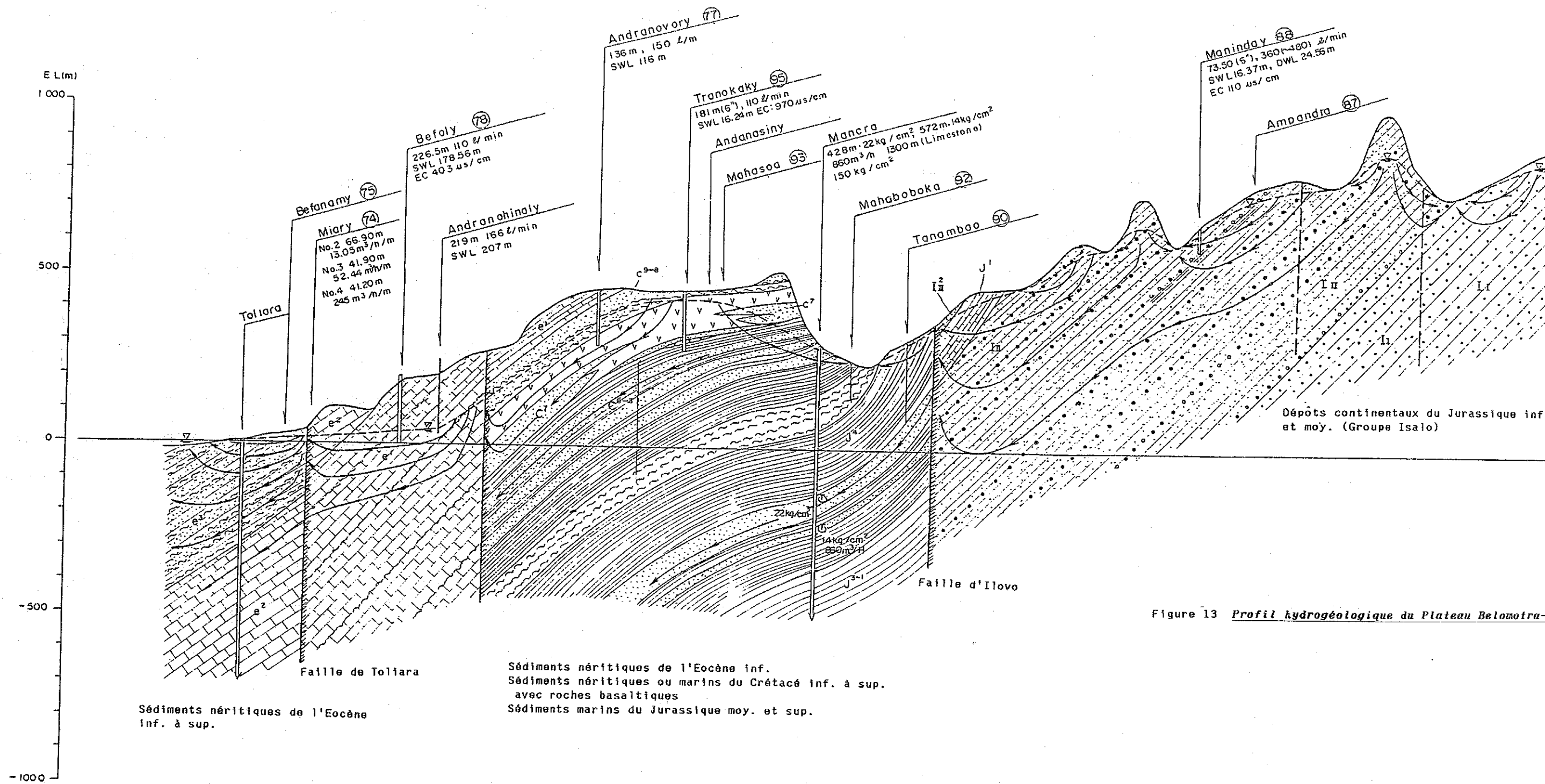


Figure 13 Profil hydrogéologique du Plateau Belomitra

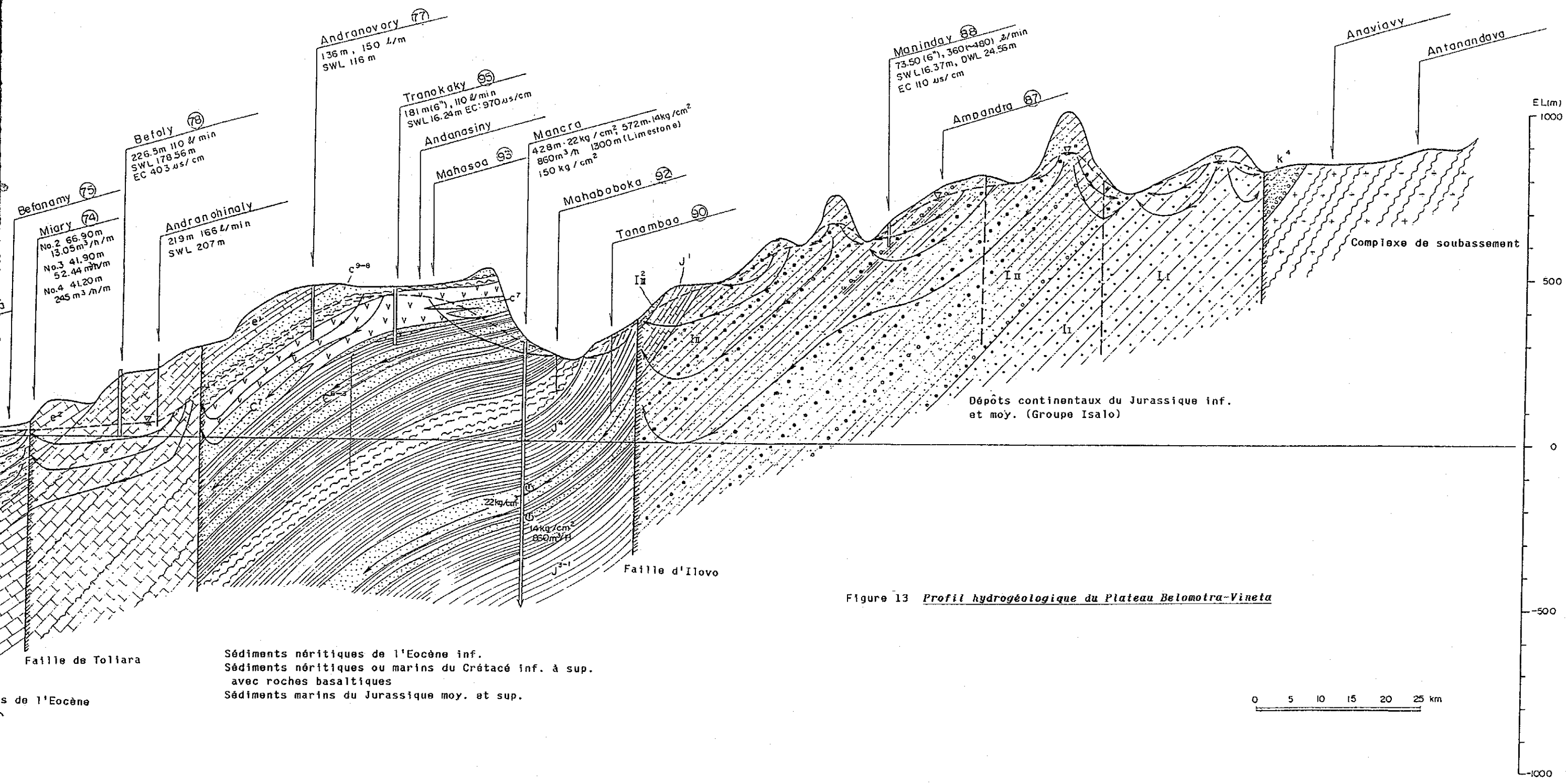


Figure 13 Profil hydrogéologique du Plateau Belomoira-Vineta

Sédiments néritiques de l'Eocène inf.
 Sédiments néritiques ou marins du Crétacé inf. à sup.
 avec roches basaltiques
 Sédiments marins du Jurassique moy. et sup.

0 5 10 15 20 25 km

4. CONCLUSIONS - ESTIMATION SUR LES PRINCIPALES NAPPES
AQUIFERES

4.1 Zone aquifère de classe A₁

La nappe aquifère est composée en général de dépôts sableux du Quaternaire, tels que le gisement de lit ordinaire et le gisement de dune de sable.

Dans cette zone aquifère de classe A₁, le pompage de 250 à 600ℓ/mn. et par puits est prévu au forage profond de 30 à 50m à 150mm (6") de diamètre.

4.2 Zone aquifère de classe A₂

La zone aquifère de classe A₂ est localisée dans la région Ouest et à la région Est de la Zone de l'Etude. Quant à la région Ouest, sa zone aquifère est composée de dépôts néritiques de l'Eocène moyen et supérieur, et divisée, selon les conditions hydrogéologiques, en trois secteurs de Befandriana, Soahazo et Benetsy.

Selon les résultats de l'analyse hydrogéologique, dont notamment les résultats des forages test et des essais de pompage, il est estimé que la dimension de développement des eaux souterraines est comme suit:

4.2.1 Secteur de Befandriana

- Profondeur et diamètre du forage: 50m, 100 à 150mm
- Débit prévu par forage: 200 à 600l/mn.
Capacité spécifique de cinq forages test dans le secteur: 23,03 à 304,57l/mn./m (moyenne 142,60)

4.2.2 Secteur de Soahazo

- Profondeur et diamètre du forage: 50 à 100m, 100 à 150mm
- Débit prévu par forage: 200 à 360l/mn.
Capacité spécifique de six forages test dans le secteur: 13,61 à 120,37l/mn./m (moyenne 43,39)

4.2.3 Secteur de Benetsy

- Profondeur et diamètre du forage: 50 à 100m, 100 à 150mm
- Débit prévu par forage: 230 à 580l/mn.
Capacité spécifique de quatre forages test dans le secteur: 46,56 à 115,70l/mn./m (moyenne 82,92)

La zone aquifère de classe A₂ localisée dans la partie Est de la Zone de l'Etude est principalement composée de dépôts continentaux du Jurassique inférieur et la dimension de développement des eaux souterraines est prévue selon les résultats de l'analyse hydrogéologique compréhensive.

- Profondeur et diamètre programmés du forage: 70 à 100m, 150mm
- Débit prévu par forage: 300 à 600ℓ/mn.
Capacité spécifique de deux forages test dans le secteur: 41,76 à 43,53 ℓ/mn./m (moyenne 42,65)

4.3 Zone aquifère de classe A₃

Comme il est montré dans l'esquisse hydrogéologique, la zone aquifère de classe A₃ est localisée dans les parties Ouest et Est de la Zone de l'Etude et son type de distribution est similaire à celui de la zone aquifère de classe A₂.

Du point de vue hydrogéologique, la zone aquifère répartie dans la partie Ouest peut être subdivisée en deux secteurs, le secteur Ouest et le secteur Est de l'axe routier RN 9.

La zone aquifère de classe A₃ dans le secteur Ouest de la RN 9 est composée de dépôts néritiques de l'Eocène inférieur à supérieur, et le pompage d'eau souterraine de 200 à 600ℓ/mn. par puits est prévu du trou de forage de 100 à 200m de profondeur à 150mm de diamètre.

Par contre, la zone aquifère de classe A₃ dans le secteur Est de la RN 9 est principalement composée de calcaires poreux et fissurés de l'Eocène inférieur et moyen, et la dimension de développement des eaux souterraines suivante est prévue selon les résultats de l'analyse hydrogéologique compréhensive.

Il est, cependant, fortement recommandé de faire un forage d'une profondeur de plus de 250m pour le développement de l'eau souterraine dans l'aire du plateau calcaire étalé au long de la RN 7.

- Profondeur et diamètre programmés du forage:

150 à 200m, 150mm

- Débit prévu par forage: 200 à 600l/mn.

Capacité spécifique de deux forages test et de trois trous de forage existant de la JIRAMA à Miary: 217,50 à 5.016,67l/mn./m (moyenne 2.122,92)

La zone aquifère de classe A₃ distribuée dans la région Est de la Zone de l'Etude est principalement composée des dépôts nétriques et continentaux du Jurassique inférieur et moyen et le débit de pompage de 300 à 600l/mn. peut être attendu par forage profond de 120 à 200m à 150mm de diamètre.

4.4 Zones aquifères de classes B₁ et B₂

La zone aquifère de classe B₁ est distribuée dans les trois bassins de la Sikily, de la Sakanavaka et de la Menamaty, tandis que la zone aquifère de classe B₂ est principalement distribuée à Ambahiliky côté le Mangoky, à la partie centrale du bassin du Fiherenana, dans les bassins de la Rezoky et de la Mangitraky ainsi qu'à Berenty-Betsleo dans le bassin de l'Isahena.

Sur la base de résultats de l'analyse compréhensive de l'hydrogéologie, dont notamment ceux de la prospection géophysique et de l'essai de pompage, la dimension de

développement des eaux souterraines suivante est prévue dans ces secteurs des zones aquifères de classes B₁ et B₂.

4.5 Zone aquifère de classe C

Dans la zone aquifère de classe C, la nappe aquifère locale et discontinue existe dans une profondeur supérieure à 20m, comprenant des nappes suspendues lenticulaires de *Hertzberg* dans l'aire côtière. Il est donc recommandé pour le développement d'eau souterraine dans la zone aquifère de classe C, le forage d'un puits peu profond de 5 à 15m.

