

3. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES

3. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES

3.1 Topographie et végétation

Nous avons introduit dans la présente étude, afin d'aboutir à une carte hydrogéologique, les images prises par satellite et photos aériennes, le plus souvent utilisées pour comprendre dans un laps de temps limité les caractéristiques topographiques et géostrucuturales d'une vaste zone.

3.1.1 Données collectées

Dans ce qui suit, sont décrites les natures des données qui ont été collectées dans le cadre de notre étude. Le tableau 3.1.1 est une liste des données utilisées.

a) Images satellite Spot

Le satellite artificiel *Spot* est porteur d'un appareil de prise d'images à haute résolution (HRV: *High Resolution Visible imaging instrument*). Sa résolution est d'environ de 10m au sol en mode panachromatique et de 20m en mode multi-spectral. La portée d'une image du Spot atteint une superficie de 60 x 60km (mode parachromatique). 14 images en parachromatique au 1/100.000 ont été acquises pour la présente étude.

b) Images satellite Landsat

Le satellite *Landsat* est doté de deux types de senseurs: analyseur multi-spectral (MSS: *Multi-Spectral Scanner*) à résolution de 80m au sol et cartographe thématique (TM: *Thematic Mapper*) à résolution de 30m. Une image couvre une zone de 180 x 180km. Le MSS est composé de 4 bandes et le TM de 7 bandes. L'option portant sur le type de donnée en image dépend du but de travail. Les images Landsat qu'on s'est procurées sont au nombre total de 12 (MSS panchromatique au 1/500.000 et TM).

c) Photos aériennes

Les photos aériennes qu'on a emprutées sont celles qui avaient été prise en 1949 par la France dans la perspective d'élaborer une carte topographique de Madagascar (échelle: 1/40.000 à 1/45.000).

La figure 3.1.1 constitue une carte de couverture des images satellite et photos aériennes.

3.1.2 Méthodologie analytique

a) Interprétation des images satellite et des photos aériennes

En utilisant les images Landsat et Spot en mode panchromatique, les cours d'eau, chaînes montagneuses, linéament et d'autres éléments cartographiques ont été interprétés.

Dans les zones dont la netteté est insuffisante dans les images satellite et celles avoisinantes des villages candidats, les photos aériennes ont fait alors l'objet de l'interprétation complémentaire à l'aide d'un stéréoscope.

La précision des travaux d'analyse sur les photos aériennes a été améliorée par mesure sur site témoin au long des axes routiers de la Zone de l'Etude.

Les éléments récapitulés dans le tableau 3.1.2 ont fait l'objet de l'interprétation photogéologique.

b) Analyse des images Landsat TM assistée par ordinateur

Les images Landsat TM sont obtenues, afin de produire des images voulues, sous forme de ruban lisible par ordinateur (CCT: *Computer Compatible Tape*) qui peut être traité par système d'analyse d'images numériques.

Le schéma de déroulement des travaux d'analyse est renvoyé dans la figure 3.1.2.

Les données originales de Landsat pouvant inévitablement comporter des déformations, nous y avons apporté certaines corrections géométriques tout en modifiant les coordonnées pour qu'elles soient conformes à celles de la carte topographique. Pour permettre des corrections géométriques, il est nécessaire de déterminer d'abord les repères de contrôle de sol (GCP: *Ground Control Point*) qui sont les marques voyantes tant sur les images satellite que sur la carte topographique, telles le bord d'eau, les rivières et les routes. La conversion des coordonnées se fait en application des formules suivantes:

$$\begin{aligned}x &= au_1 + bv_1 + c \\y &= au_2 + bv_2 + c\end{aligned}$$

où: x, y : coordonnées de la carte topographique
 u, v : coordonnées des images

Dans ces formules, les termes a , b et c sont des inconnus à calculer par méthode des moindres carrés appliquée aux coordonnées de plus de 4 repères de contrôle du sol.

En cas de notre étude, deux sortes d'images de classification, la couverture du sol et la teneur en eau, sont combinées aux images des principaux composants.

La correction géométrique est suivie de construction d'images en couleurs fausses qui peuvent être obtenues par synthèse de couleurs en 3 différentes bandes sur 7 des données TM (bandes 1, 2 et 4). Les teintes qui correspondent aux éléments dans les images en couleurs fausses sont indiquées dans le tableau 3.1.3.

L'image de couverture du sol est établie par classification d'images en couleurs fausses qui tient compte des terrains dont la couverture du sol est connue et qu'on appelle "*trainers*".

Quant à l'image de teneur en eau, elle est faite par nivelage par tranche de la bande 6 en infrarouge proche.

Enfin, l'image des principaux composants est réalisée par traçage des contours de façon à mettre en évidence les démarcations d'occupation du sol, géologique, topographique, etc.

Les exemples des 4 différents types d'image, mentionnés ci-dessus, sont donnés dans les figures 3.1.3 à 3.1.6.

3.1.3 Topographie

Les figures 3.1.7 et 3.1.8 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 en direction 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, un affluent de l'Imaloto, ne forment qu'une seule et unique chaîne dans l'organisation du relief. Leurs bordures Est sont une succession des falaises rudes à l'intérieur desquelles sont développées des 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 sa crête de partage (altitude: 1.200 à 1.300m) est située dans la partie orientale du massif. 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 occidentale.

La chaîne de Lambosy est d'une longueur approximative de 100km et son relief est modéré. A l'Ouest de la crête 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 de partage (altitude: 1.000 à 1.300m) inclinée 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 coulent vers la côte. Entre les chaînes de Mikoboka et d'Analavelona, il n'existe pas de plaine basse d'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 Silily.

A l'Ouest de la chaîne de Mikoboka et au Sud de la chaîne d'Analavelona, un plateau d'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 et se rétrécit progressivement en s'approchant du Sud, 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 d'Ihotry et l'embouchure de la Manombo, on trouve, en direction du Nord au Sud, une succession de 6 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 d'Ihotry et ceux qui rejoignent la Manombo. Nous pourrions appeler le bassin dominé par le premier système "*Bassin du Lac d'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 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*").

3.1.4 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 activités de pâturage des boeufs et des moutons sont partout développées et la déforestation s'est accélérée depuis ces dernières décennies afin d'avoir 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 reviendront plus tels qu'ils étaient auparavant.

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

La figure 3.1.9 montre la répartition forestière. Une carte pour classier 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 2 premières zones forestières sont pourtant les brousses dont la capacité d'emmagasinement en eau s'avère faible.

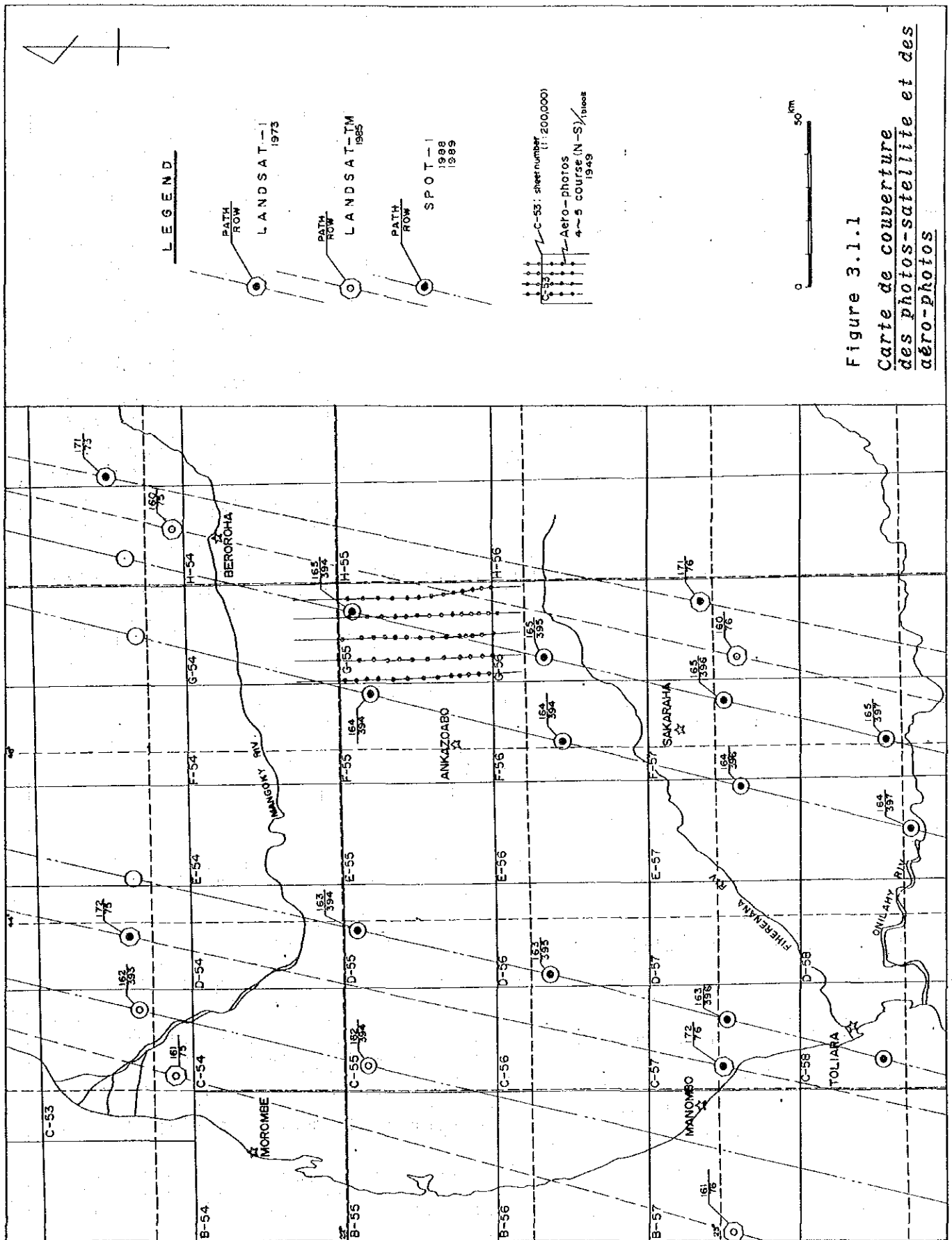


Figure 3.1.1
 Carte de couverture
 des photos-satellite et des
 aéro-photos

Tableau 3.1.1 Liste des images satellite et photos aériennes

Types images et photos	Situations				
	Mode	Echelle	Path	Row	Date
Landsat-1 MSS	panchromatique	1/500.000	172	74	73/08/08
				75	73/08/08
				76	73/08/08
			171	77	73/06/15
				74	73/05/09
				75	73/05/09
			170	76	73/02/26
				77	73/02/26
				74	72/12/15
				75	73/09/11
				76	72/10/04
				77	73/01/02
Landsat-4 TM	données numériques		160	75	85/02/27
			160	76	85/02/27
			161	75	85/01/17
			161	76	85/01/17
Spot-1	panchromatique	1/100.000	163	394	86/03/06
				395	86/03/06
				396	88/04/24
			164	397	88/01/27
				394	88/04/30
				395	88/04/30
			166	396	89/08/21
				397	89/08/21
				393	89/04/02
			167	394	89/04/02
				395	89/08/21
				396	89/08/21
Photos aériennes	panchromatique	1/40.000 à 1/45.000	B: 54-57		1949
			C: 53-58		
			D: 54-58		
			E: 54, 56, 57		
			F: 54-57		
			G: 54-55		
H: 54					
			TOTAL: 1.000 photos		

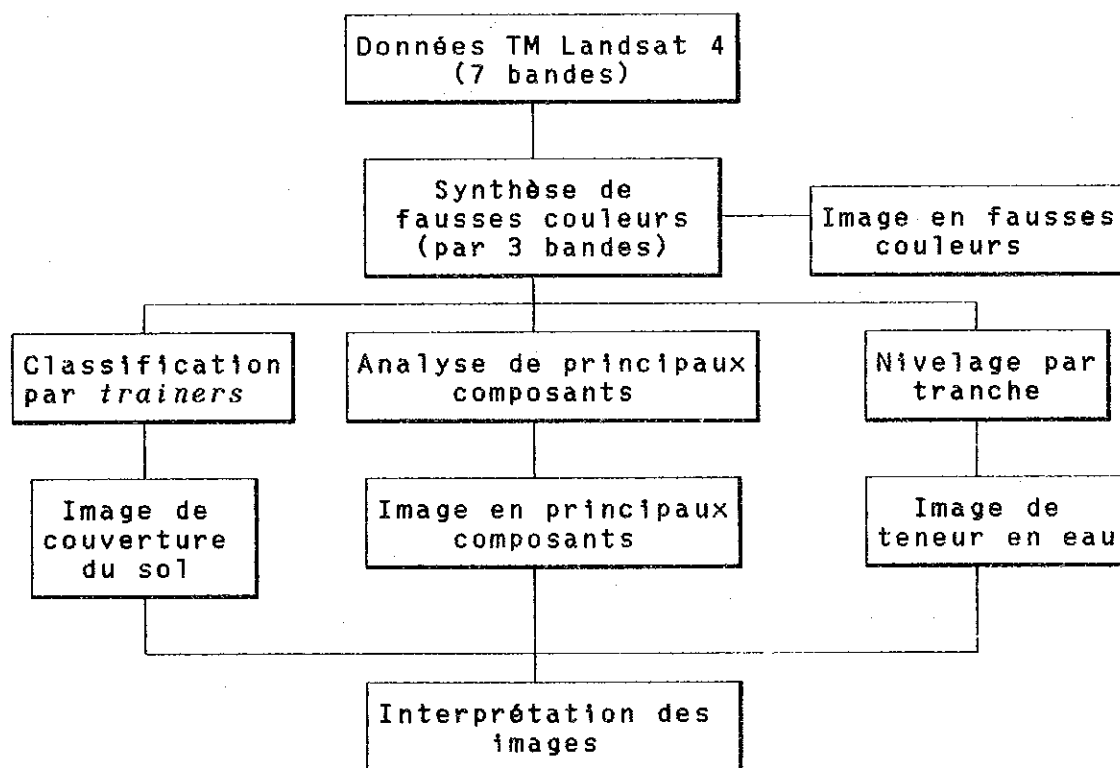
Tableau 3.1.2 Méthode et rubriques de photo-interprétation

Types	Méthode	Rubriques
Landsat	monoscopique	photo-linéament, cours d'eau, chaînes montagneuses, bassins, etc.
Spot	monoscopique	photo-linéament, tracé de fracture, formes d'origine du cours d'eau, caractéristiques d'écoulement d'eau
Photos aériennes	stéréoscopique	caractéristiques de paysage de karst, instabilité de pente, caractéristiques éoliennes, structure géologique, structure de substratum

Tableau 3.1.3 *Teintes d'images en couleurs fausses*

Eléments	Teintes correspondantes
Nuage	Blanc pur
Nuage épais	Blanc pur ombré
Nuage peu épais	Blanc
Brume	Blanchâtre
Forêt	Rouge
Terrain agricole, prairie	Rose (brunâtre à jaune)
Terrain vide	Blanc
Terrain humide	Bleu léger
Routes	Bleu léger
Eau (contaminée)	Bleu léger
Eau (normale)	Bleu foncé
Obscurité	Noir

Figure 3.1.2 *Processus de traitement de données Landsat*



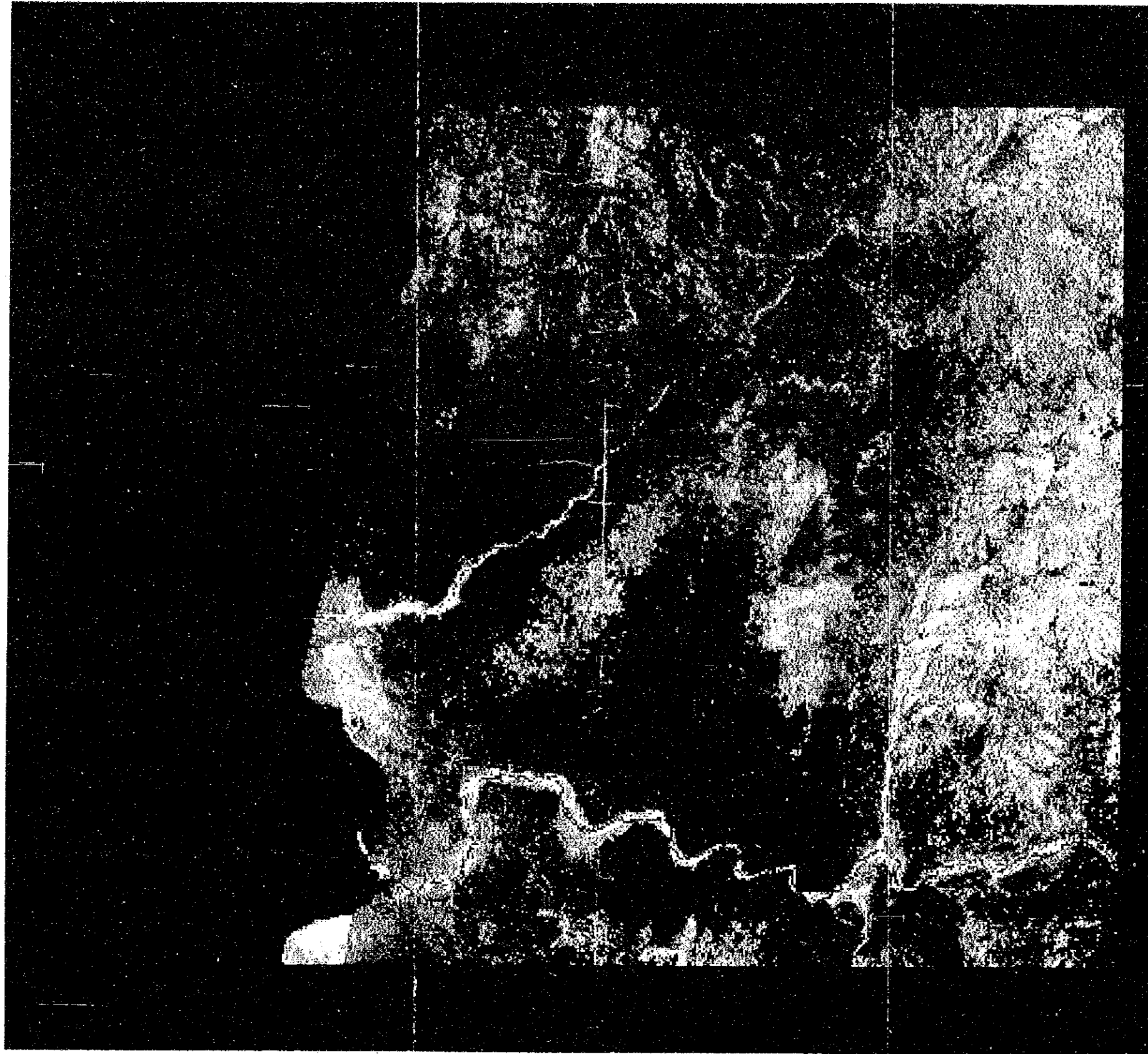


Figure 3.1.3 Image en couleurs fausses de la partie centrale de la préfecture de Toliara

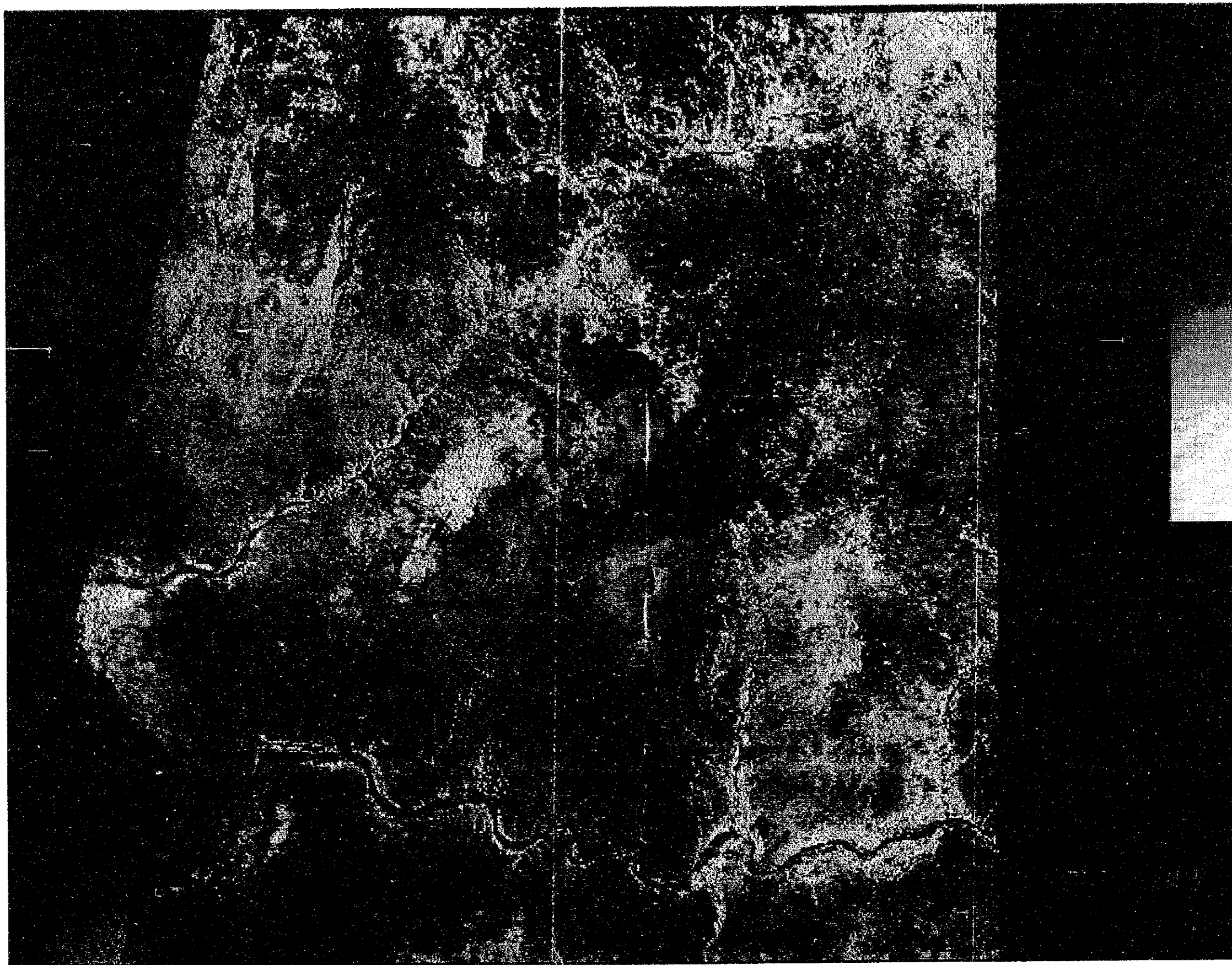


Figure 3.1.4 Image de principaux composants de la partie centrale de la préfecture de Toliara

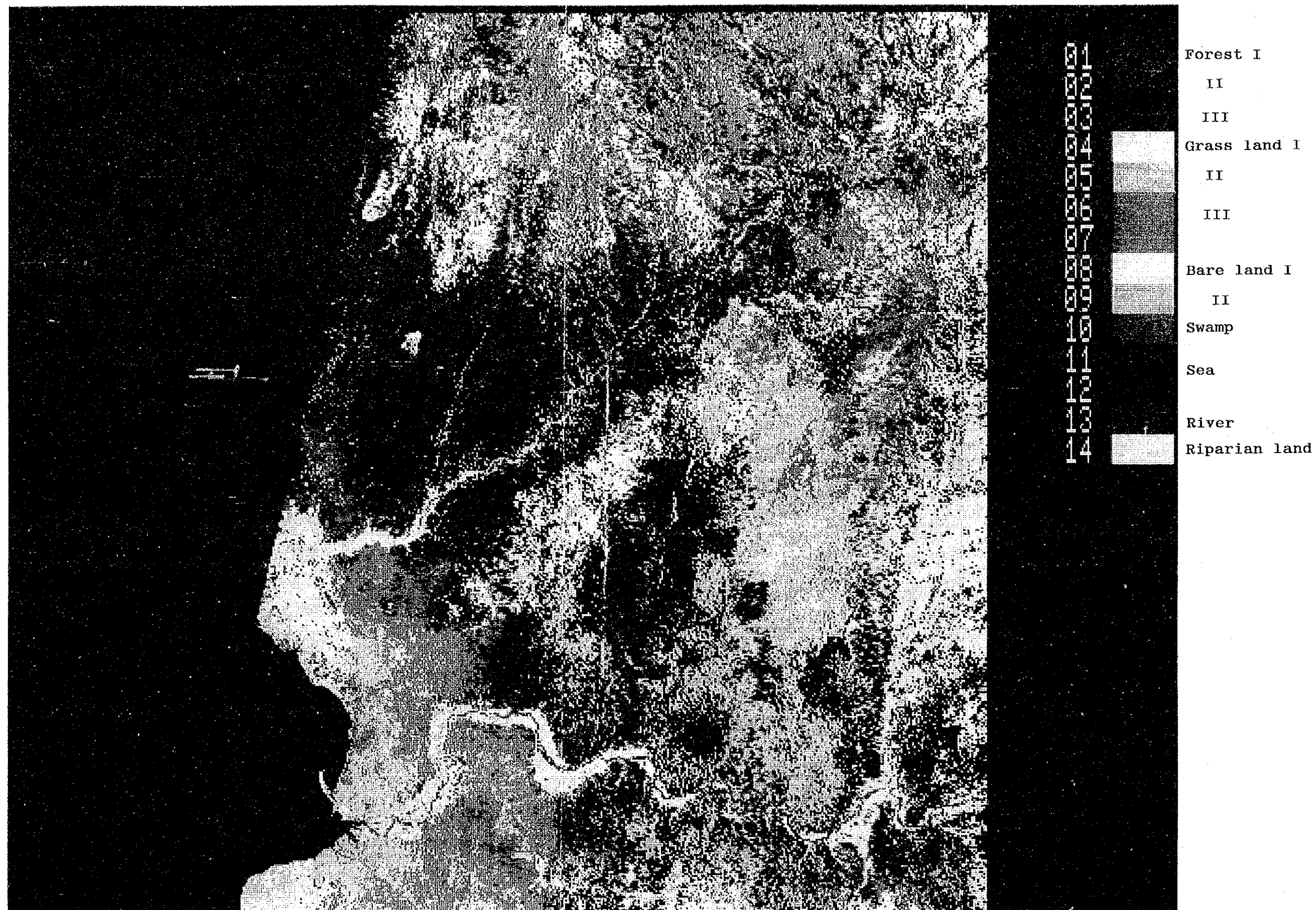


Figure 3.1.5 Image de classification de recouvrement de la terre de la partie centrale de la préfecture de Toliara

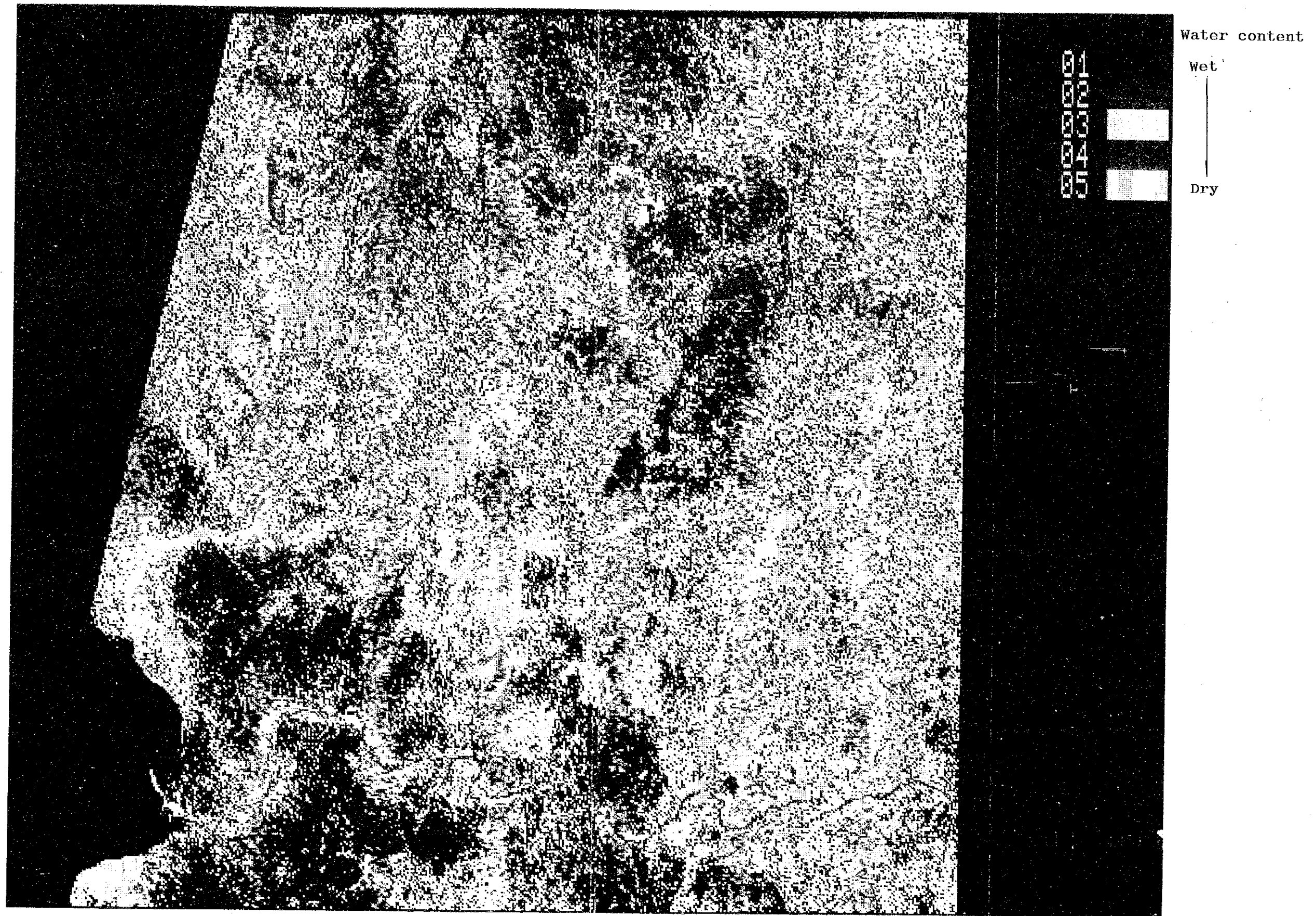


Figure 3.1.6 Image de classification de teneur en eau de la partie centrale de la préfecture de Toliara

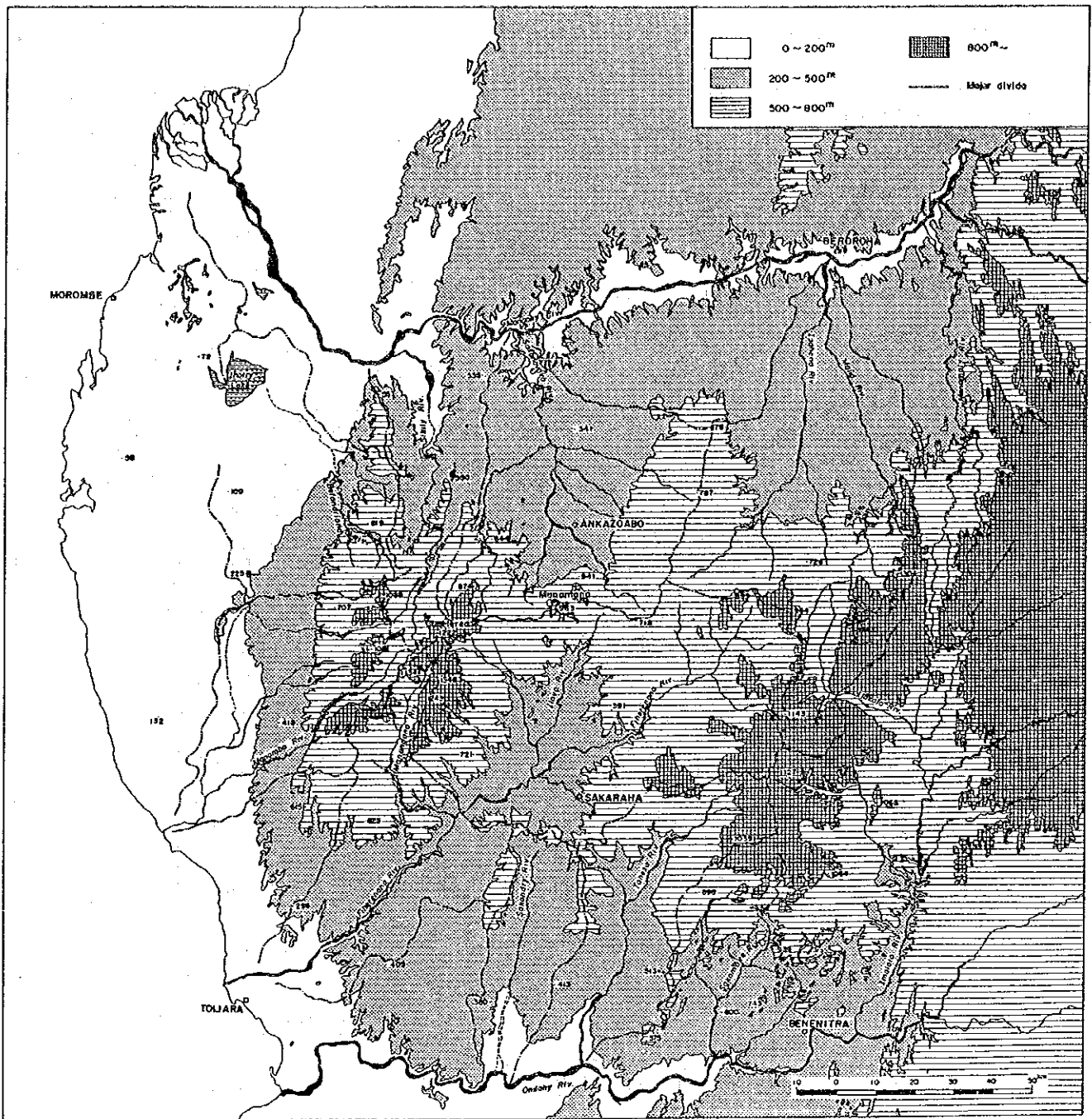


Figure 3.1.7 Carte de distribution des altitudes

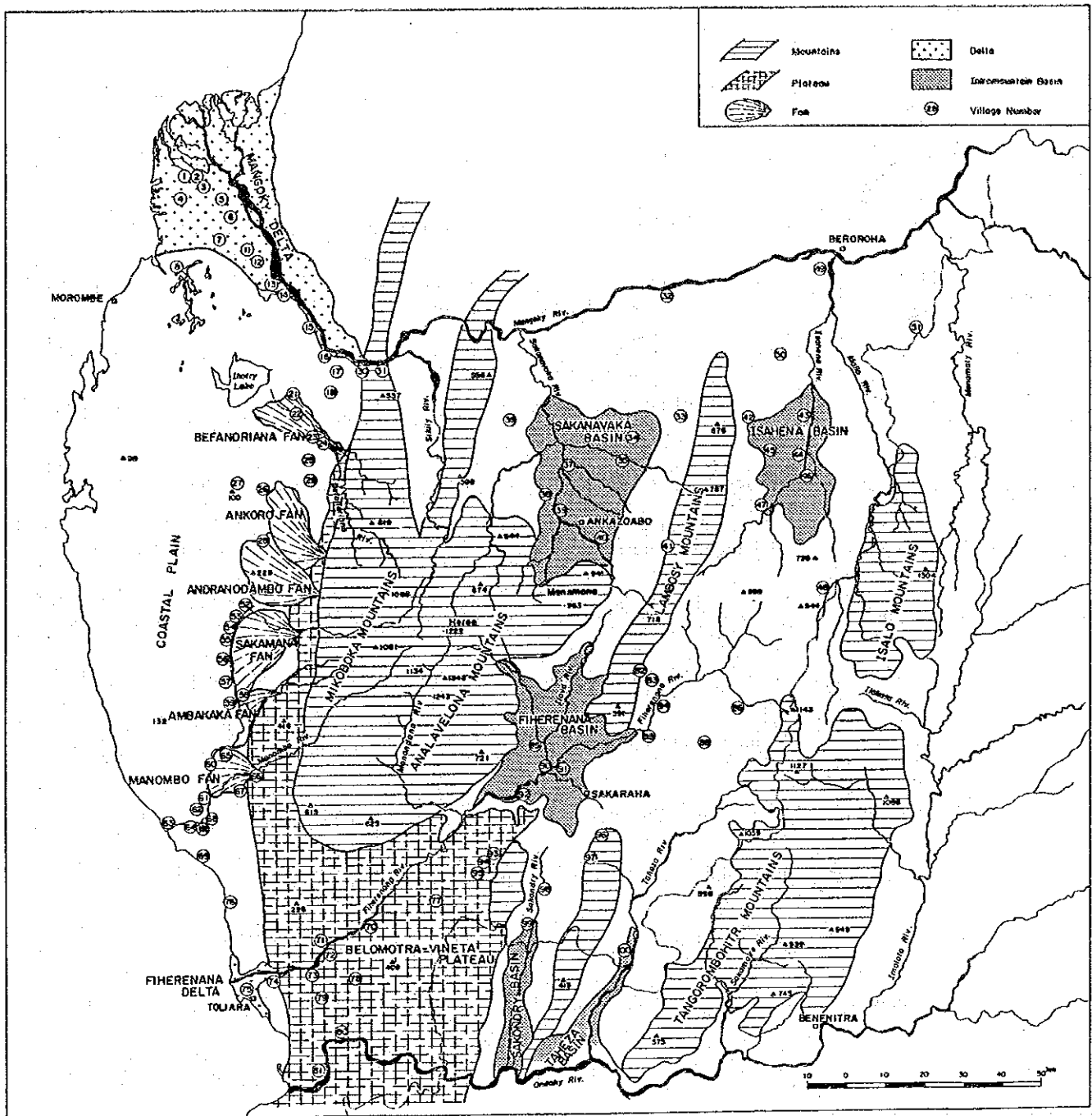


Figure 3.1.8 *Carte de classification géomorphologique*

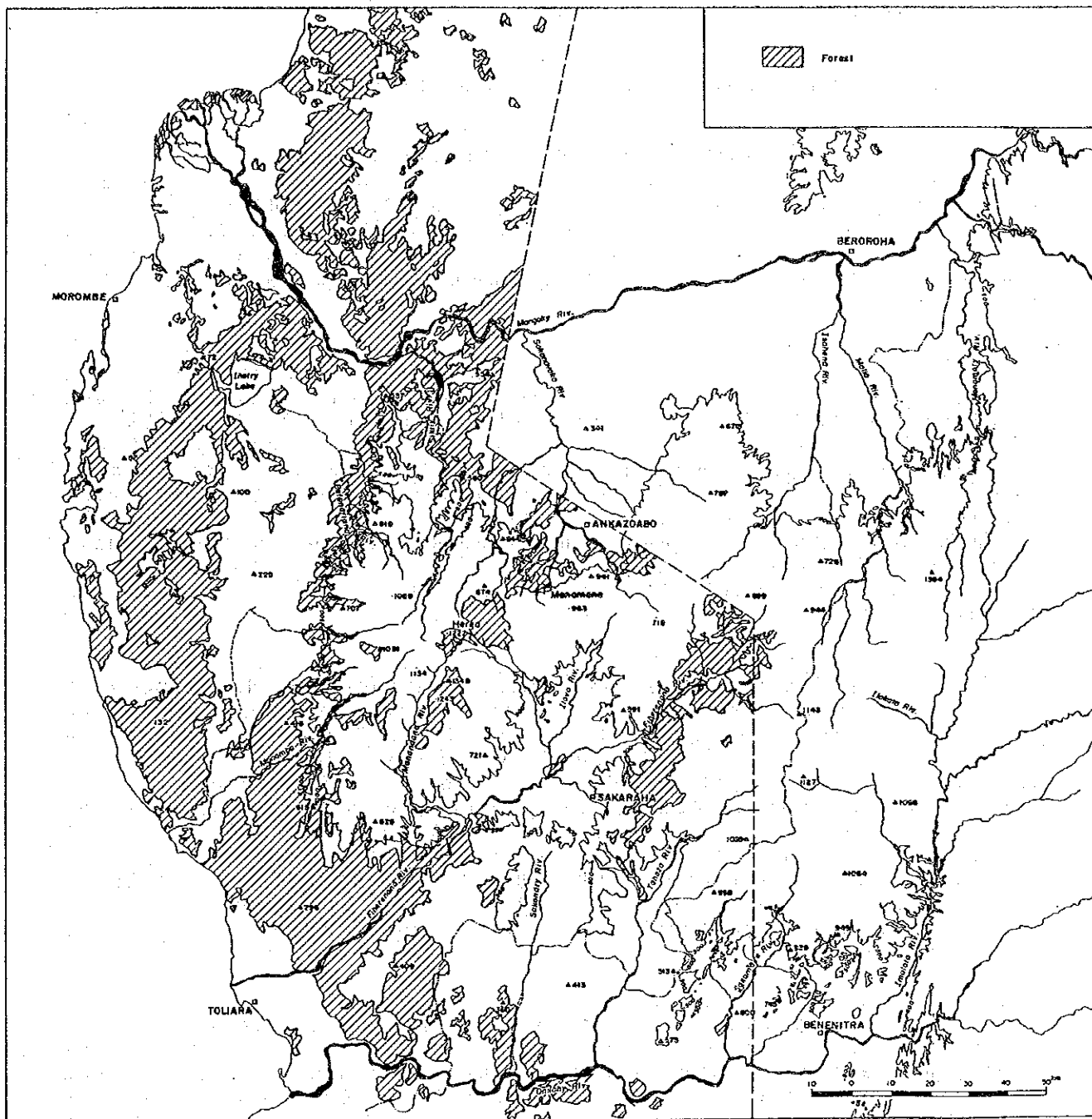


Figure 3.1.9 Distribution forestière, obtenue par photo-satellite Landsat TM

3.2 Géologie

3.2.1 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 3.2.1 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 lagunaires 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.

3.2.2 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 3.2.1 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 Jurassiques 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.

3.2.3 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.

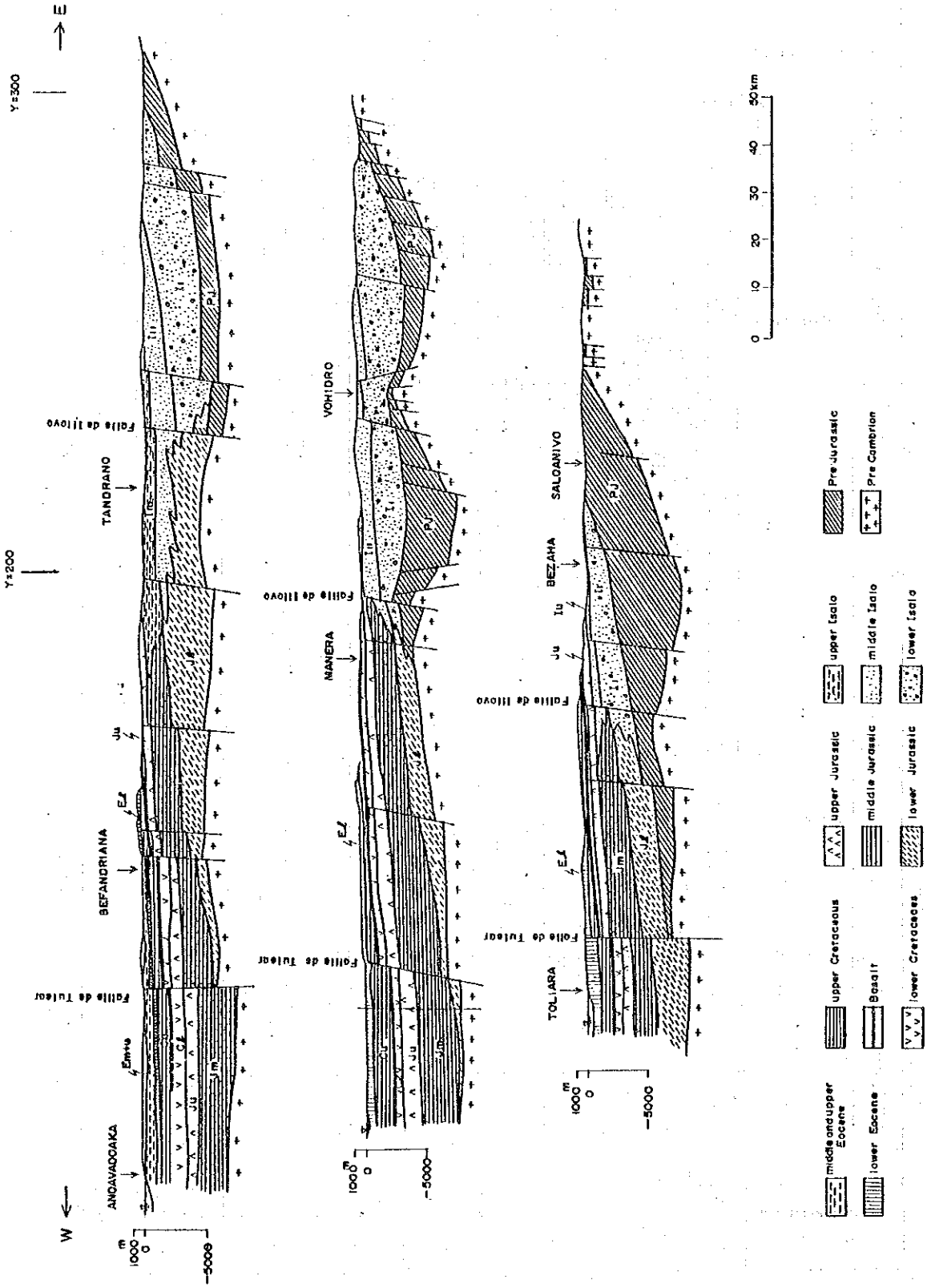
Au massif de Tangorombohitra, après la sédimentation du Néogène, les failles de direction NNE-SSO prennent de nouveau leurs mouvements pour former en horst des montagnes tabulaires sur lesquelles repose le Néogène continental, et en graben le bassin de Taheza. Le bassin de Sakondry est aussi dominé par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

Tableau 3.2.1 *Mise en parallèle de la classification stratigraphique*

Carte Géologique		1/1,000,000	1/500,000		1/250,000				
		Madagascar (1966)	MORONDAVA (1969)	AMPANHIY (1970)	Celtre 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	n	N*		
	Paléogène	Oligocène							
		Éocène	Ludien	e	e ²	e ³	e ₂₊₃		
			Ledien		e ¹	e ²	e ₁		
			Lutécien			e ¹			
			Yprésien						
	Paléocène		e ¹						
	Mésozoïque	Crétacé	Supérieur	Maastrichtien	C ²	C ⁹⁻⁸	C ⁹⁻⁸	C ₂	
				Campanien		C ⁷	C ⁷⁻³		C ₂
Santonien				C ⁶⁻³					
Coniacien									
Inférieur			Turonien	C ¹	C ⁶⁻³	C ⁷⁻³	C ₁₊₂		
			Cenomanien						
			Albien		C ¹	C ³⁻¹	C ₁₊₂		
			Aptien						
Neocomien			C ^v						
Jurassique		Supérieur	Tithonien	J ³	J ⁸⁻⁵	J ⁸	j ₃		
			(Kimmeridgien)		J ⁴⁻²	J ⁴	j ₃		
			Oxfordien					J ¹	j ₂
			Callovien						
		Moyen	Bathonien	J ²	J ^{1-II}	I ^{III}	J ¹	j ₂	
			Bajocien		J ^{III-IV}	I ^{III}	J ^{1-IV}		I ^{III}
			Anisien		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		K ^{1*}	(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					

* continental
Δ mixte



after "Geologie de Madagascar" (partly modified)

Figure 3.2.1 Coupes en travers géologiques à l'échelle régionale

3.3 Caractéristiques du climat

3.3.1 Stations d'observation existantes

Les données météorologiques dont nous avons eu besoin en ce qui concerne la Zone de l'Etude ont été obtenues auprès de la Direction de la Météorologie à Antananarivo. Les stations d'observation gérées par ce service sont localisées dans la figure 3.3.1. Le tableau 3.3.1 donne les détails pour chacune des stations.

Les stations peuvent se distinguer en trois classes selon l'ampleur des éléments météorologiques qu'elles sont en mesure de nous fournir:

Classes	Eléments météorologiques
A	Température, humidité relative, évaporation, vitesse du vent, durée d'ensoleillement, précipitations
B	Température, humidité relative, précipitations
C	Précipitations

Les stations d'Androka, Toliara et Morombe sont situées sur la plaine côtière dans la Zone de l'Etude. Leur altitude est inférieure à 10m au-dessus du niveau de la mer. Les autres sont localisées sur la colline ou dans les zones plutôt montagneuses, avec leur élévation comprise entre 100m et 800m. L'emplacement de la station de Ranohira est le plus haut. La plupart de ces stations se trouvent dans les grands villages ou dans les centres urbains.

L'insuffisance de leur nombre, bien qu'elles soient réparties sur l'ensemble de la Zone de l'Etude, pourrait impliquer certaines contraintes pour caractériser les conditions locales du climat.

3.3.2 Généralités

Le tableau 3.3.2 ainsi que la figure 3.3.2 montrent les valeurs moyennes mensuelles des éléments climatiques tels que la température, l'humidité relative, la durée d'ensoleillement, la vitesse du vent et l'évaporation.

a) Température

D'une manière générale, la température moyenne annuelle est d'environ 24°C à la côte et 22°C dans les régions montagneuses. A la station de Ranohira, la moyenne la plus élevée de la température maximale diurne se situe de 29 à 30°C entre octobre et février, alors que la plus basse d'environ 10°C en juin et en juillet. Quant à la station de Toliara, elle relève la plus élevée de 31 à 32°C entre décembre et février et la plus basse à 14°C de juin à août.

L'amplitude entre le maximum et le minimum de la température diurne est plus importante dans les zones montagneuses que dans la plaine littorale. Ainsi, la Zone de l'Etude caractérise la température pour l'hivernage (juin à août) d'une part et celle pour la saison sèche (octobre à février) d'autre part.

b) Humidité relative

A l'inverse de la température, l'humidité moyenne mensuelle est élevée aux basses altitudes côtières: les moyennes minimale et maximale sont enregistrées respectivement en août (68%) et en janvier (75%) à la station de Toliara et en mai (71%) et en février (79%) à Morombe.

Les stations situées dans les zones montagneuses relèvent que l'humidité relative la plus basse est en général concentrée au mois de septembre et la plus élevée pendant les mois des pluies.

c) Evaporation

Il existe 4 stations qui effectuent le relevé d'évaporation à l'aide d'un évaporomètre "Piche" (Toliara, Ranohira, Morombe et Sakaraha). La variation (écart entre les évaporations minimale et maximale) est plus importante dans les zones montagneuses que dans la plaine côtière.

d) Vitesse du vent

Elle est mesurée par les stations de Toliara, Ranohira et Morombe. La vitesse du vent moyenne mensuelle atteint la plus grande valeur en octobre et est la moindre en mai. Elle est généralement plus importante à la côte que dans la région montagneuse.

e) Insolation

La durée moyenne d'insolation varie de 8 à 10 heures à Toliara, Ranohira et Morombe. Morombe est moins ensoleillé, par rapport aux deux premières villes, de 2 heures de novembre à mars et de 1 heure d'avril à octobre.

3.3.3 Précipitations

La Zone de l'Etude se trouve dans la région la plus sèche du pays. La figure 3.3.3 montre la pluviométrie moyenne mensuelle et la répartition des pluies, observées au niveau des 3 stations dont le relevé couvre une période de 20 ans. La pluviométrie de la côte se caractérise par la brièveté de sa saison humide, alors qu'aux zones montagneuses, la saison humide dure aussi longtemps que la saison sèche. La saison des pluies dans les zones côtières ne dure que pendant 3 mois entre décembre et février avec des précipitations modestes qui ne dépassent pas 75mm. Les zones montagneuses, dont la saison pluviale commence à partir de novembre et finit en mars, soit 5 mois, sont sans doute plus arrosées avec une pluviosité mensuelle de 100mm.

Il est montré dans la figure 3.3.3 que les précipitations ne varient qu'entre 383mm (Toliara) et 418mm (Morombe) à la côte, tandis qu'elles atteignent 633mm (Bezaha) et même 973mm (Ranohira) dans le bourrelet montagneux. Les isohyètes tendent donc à diminuer d'Est en Ouest (Fig.3.3.1).

Pendant notre étude sur le terrain, il n'y avait qu'un seul site d'une superficie de quelques km² qui était arrosé. La pluie est le plus souvent accompagnée de foudre et d'éclair et d'une durée moins de 30 minutes. Une pareille pluie peut être observée fréquemment au temps de transition, en novembre, de façon à marquer les saisons sèche et humide. Toutefois, en décembre, les nuages couvrent le ciel plus largement avec une pluviosité plus importante pour annoncer l'arrivée de la saison des pluies.

En saison pluviale, la perturbation atmosphérique arrive plus fréquemment avec des nuages denses et lourds et produit un orage combiné à une grosse averse. Il pleut le plus souvent dans l'après-midi et au début de la soirée. Les pluies nocturnes se produisent aussi souvent.

Les relevés sur les précipitations indiquent que l'intensité d'une seule précipitation peut être très forte sur la plaine côtière. Le tableau 3.3.3 donne la pluviométrie annuelle ainsi que les trois précipitations diurnes maximales les plus fortes enregistrées aux différentes stations. Il peut être constaté dans le tableau que Toliara dont la moyenne annuelle n'est que de 380mm connaissait plusieurs fois une précipitation dépassant 100mm par jour: 187,5mm au 20 décembre 1974, 143,2mm au 28 décembre 1975, 125,4mm au 28 février 1977 et 110,7mm au 28 novembre 1979. Il en est de même pour Morombe,

mais pas aux stations des zones montagneuses. Cependant, cette tendance, résultant de cyclones en saison humide, n'est pas tellement particulière lorsqu'il s'agit du climat sec.

La figure 3.3.4 retrace l'évolution de la pluviosité annuelle pour la période 1950~1988 (39 ans consécutifs), mesurée aux stations de Toliara, Sakaraha et Ranohira. Pendant cette longue période, on ne peut y affirmer ni la tendance à la montée ni celle à la baisse de la pluviosité annuelle. Selon la figure 3.3.5 qui montre la fourchette de variation des précipitations annuelles, observées aux mêmes stations, elle est plus importante (plus de 50%) à Morombe et Toliara dans la plaine côtière qu'à Ranohira.

La figure 3.3.6 représente le rapport entre la pluviométrie annuelle et l'altitude de la station. Nous pouvons y constater, *grosso modo*, que la pluviométrie annuelle augmente en fonction de l'élévation, mais sans oublier le fait que la pluviométrie est aussi dépendante des facteurs locaux tels que la topographie, le système des vents régnants, etc.

Partant de cette hypothèse, il nous est permis d'estimer à plus de 800mm la pluviométrie annuelle dans les régions montagneuses (ex. Mikoboka, Analavelona, Venomotra Vineta et Tnagorombohitr Isalo).

La figure 3.3.1 représentant les isohyètes annuelles met en évidence que les précipitations diminuent du Nord-Est au Sud-Ouest de la Zone de l'Etude. La pluviométrie est plus importante sur le versant montagneux que sur le littoral, résultant de l'écart de la durée de la saison humide. En tous cas, les vallées de Sakaraha et d'Ankazoabo, développées dans les bassins du Fiherenana, ainsi que les bassins de Sakanavaka ont effectivement des courbes pluviométriques compliquées, en raison d'influences du vent et de l'évaporation.

3.3.4 Evaporation et évapotranspiration

Le phénomène d'évaporation journalière est observée aux trois stations de Toliara, Morombe et Ranohira en utilisant un évaporomètre "Piche". Cependant, ce simple évaporomètre n'est pas conçu pour l'hydrologie des zones arides, du fait qu'il ne tient pas en compte les effets du vent. Il est plutôt recommandé d'utiliser un bac d'évaporation de classe A qui n'est pas pour le moment installé dans la Zone de l'Etude.

En ce qui concerne l'évapotranspiration, elle est évaluée le plus souvent par voies empiriques. Dans notre étude, nous avons essayé, sur la base des relevés climatiques que les stations mentionnées ci-haut ont fournis pour la période de 1969 à 1988, la méthode *Thornthwaite* et celle de *Penman* révisée afin de les mettre en parallèle et vérifier leur adaptabilité. Les résultats de ce test sont exposés ci-après.

La figure 3.3.7 montre l'évaporation mensuelle, mesurée par évaporomètre "Piche" à la station de Toliara, ainsi que le potentiel de l'évapotranspiration mensuelle, calculé à l'appui des méthodes *Penman*(modifiée) et *Thornthwaite*. Le potentiel évalué par la méthode révisée de *Penman* ressemble à celui donné par la méthode *Thornthwaite* (valeur maximale en janvier et valeur minimale en juin), mais diverge sensiblement du résultat qu'on obtient d'un évaporomètre "Piche", ce qui nous semble démontrer la limite de cet instrument de mesure. La méthode révisée de *Penman* peut s'appliquer à la plupart des cas mais réclame les données qui ne sont disponibles qu'à Toliara, Morombe et Ranohira. Par contre, la mise en application de la méthode de *Thornthwaite* est très simple et ne nécessite que des données sur la température.

Stations Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL an
Toliara (a)	171	148	147	114	83	58	59	67	81	110	132	162	1.332
(b)	158	136	139	112	97	84	90	114	123	146	150	153	1.500
Morombe (a)	165	142	145	116	85	59	61	56	69	113	138	163	1.310
(b)	145	121	122	109	98	83	93	104	119	149	141	201	1.486
Ranohira (a)	135	114	116	94	77	64	72	96	124	145	145	137	1.319
(b)	129	110	108	85	63	43	45	55	76	104	118	127	1.064

(a) Méthode de *Thornthwaite*
(b) Méthode de *Penman* révisée(OAA)

3.3.5 Domaines climatiques

Du point de vue hydrologique, la classification de *Koppen* s'accommode le mieux à la variété des régimes climatologiques dans le domaine tropical. Selon sa classification et sur la base des caractéristiques de la pluviométrie et de la température que nous avons exposées ci-haut, la Zone de l'Etude peut se diviser en deux différents types de climat:

- Climat type Savane (Aw): La température moyenne annuelle dépasse 18°C durant toute l'année. Les précipitations annuelles peuvent atteindre au moins 600mm à une température de 20°C et 700mm à 25°C. Le climat de la région montagneuse appartient à ce type.
- Climat type Steppe (Bs): Avec les températures moyennes annuelles de 25, 20 et 15°C, les précipitations peuvent atteindre respectivement 700, 600 et 500mm par an au maximum. Le climat littoral correspond à ce type.

Nous empruntons un texte de M. Balek (1983) pour mieux illustrer:

"The savanna climate is under the influence of trade winds and has its dry period sharply bounded in time. The rainfall occurs in the summer, and the temperature amplitude is higher. The duration of the dry season is at least two months. The variability of diurnal temperature is considerable. Often the hottest period precedes the time of the highest sun. Thus September, October and November are usually warmer than December and January which are the rainy months in the southern hemisphere. The annual rainfall is typically between 1,000 and 1,500mm, however, an even lower amount is common. The rain comes mainly in the form of convective showers. A return of ITCZ (intertropical convergence zone) toward the equator brings an anticyclonic drought in winter, thus the further the region is from the equator, the longer is the dry season. The summer rain peak comes after the sun has reached its zenith.

The steppe (or semi-arid) climate can not be defined in terms of temperature, unless rainfall is taken into account. The limits of annual rainfall are given as between 250~500mm others between 375~600mm. The semi-arid regions have a short period of heavy rain most frequently at the time of high sun (summer). The rainfall distribution is similar to that in the wet and dry climate except that the dry season is longer and total precipitation less."

3.3.6 Observation pluviométrique

3 unités de pluviomètre automatique ont été implantées, afin de nous procurer des données sur les précipitations dans la Zone de l'Etude, aux villages suivants:

Stations	Altitude	Remarque
Maninday	625m	Village candidat No.88
Andranolava	525m	Village candidat No.83
Tanambao	114m	Près du village candidat No.66

Les précipitations mensuelles enregistrées à ces postes sont récapitulées ci-dessous et comparées aux données ramassées aux stations de Sakaraha et d'Ankaraobato appartenant à la Direction de la Météorologie. De toute manière, ces relevés ne suffisent pas pour permettre une analyse corrélative.

Stations	Mois	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maninday		-	-	28	0	0	0	0	0	2	36	0
Tanambao		119	146	87	7	32	14	20	6	10	19	0
Andranolava		-	-	-	24	23	3	0	0	5	35	0

Tableau 3.3.1 Liste des stations météorologiques

Stations	Latitude	Longitude	Altitude	Période	Classe
1. Toliara	23 23'S	43 44'E	9m	'69~'88	A
2. Morombe	21 45'S	43 22'E	5	'69~'88	A
3. Ranohira	22 33'S	45 24'E	823	'69~'88	A
4. Sakaraha Forêt	22 55'S	44 32'E	470	'69~'87	B
5. Ankazoabo Sud	22 27'S	44 32'E	428	'69~'88	B
6. Beroroha	21 40'S	45 10'E	180	'69~'75	B
7. Betsioky Sud	23 43'S	44 23'E	263	'69~'88	B
8. Androka	25 01'S	44 05'E	4	'69~'83	B
9. Bezaha	23 30'S	44 31'E	100	'69~'84	B
10. Benenitra	23 26'S	45 05'E	220	'69~'76	C
11. Skaraha Village	22 55'S	44 32'E	460	'69~'88	C

Les items d'observation sont les suivants:

Classe A: température, humidité relative, durée d'insolation, précipitations

Classe B: température, humidité relative, précipitation

Classe C: précipitations

Tableau 3.3.2 *Conditions générales du climat*

Station de Tollara, 1969-88

ITEM	UNIT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
TEM.	MAX. C	32.52	32.47	32.23	30.75	28.92	27	26.93	27.7	28.58	29.35	30.41	31.38
	MIN.	23.03	23.21	22.12	20.07	17.16	14.95	14.52	14.8	16.31	18.63	20.39	22.26
	MEAN	27.78	27.84	27.17	25.41	23.04	20.97	20.72	21.25	22.44	23.99	25.4	26.82
HUM.	7:00 %	92.1	92.5	91.8	92.5	92.5	91.9	91.8	91	91	91	90.85	91.85
	12:00	57.1	56.4	54.6	52.1	48	46	44.8	43.2	47.1	52.1	55.7	57.05
	17:00	76.1	76.7	75.4	75.3	74.2	72.3	71.9	70.5	73.2	74.6	75.6	76.2
	MEAN	75.1	75.2	73.93	73.3	71.56	70.06	69.5	68.23	70.43	72.56	74.05	75.03
SUN	h/d	10.21	9.71	9.68	9.58	9.53	9.51	9.62	10.25	10.16	10.17	10.64	9.77
WIND	km/h	12	12	12	11	11	11	11	13	13	14	13	12
EVAP	mm/d	5.3	5	5.1	4.9	4.7	5	5	5.6	5.4	5.2	5.4	5.1

Station de Ranohira, 1969-88

ITEM	UNIT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Tem	MAX.	29.73	29.51	29.27	28.6	26.52	24.4	24.47	25.93	28.82	30.16	30.52	29.72
	MIN.	19.02	19.08	18.04	16.03	13.17	10.71	10.56	11.13	13.16	15.64	17.48	18.56
	MEAN	24.37	24.3	23.66	22.31	19.85	17.56	17.51	18.53	20.99	22.9	24	24.14
HUM.	7:00 %	94.1	94.9	94.7	95.8	95.3	95.4	94.6	93.3	90.3	90.1	91.1	92.4
	12:00	49.3	50.7	48.3	42.9	38.2	36.5	33.4	30.3	26.6	32.5	38.2	46.7
	17:00	75.1	77	75.6	73.1	70.8	70.4	68.4	64.4	58.6	61.7	66.2	73.4
	MEAN	72.83	74.2	72.86	70.6	68.1	67.43	65.46	62.66	58.5	61.43	65.16	70.83
SUN	h/d	9.54	8.85	9.57	9.56	9.73	9.63	9.61	10.25	10.16	10.14	10.75	9.56
WIND	km/h	9.5	9.7	9.1	7.9	6.9	7.1	7.5	9.3	10.4	10.8	9.9	9.4
EVAP	mm/d	3.8	3.6	3.6	3.9	3.9	3.8	4.3	5.3	6.5	6.4	5.8	4.2

Station Morombe, 1969-88

ITEM	UNIT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
	MAX.	31.67	31.45	31.6	30.66	29.29	27.52	27.39	26.24	27.15	29.7	29.83	31.26
	MIN.	23.01	23.07	22.04	20.31	17.12	14.42	14.25	13.61	15.22	18.65	21.64	22.5
	MEAN	27.34	27.26	26.84	25.52	23.2	20.97	20.82	19.93	21.19	24.17	25.74	26.88
HUM.	7:00 %	92.3	95.7	95.3	93.7	94	94.8	95.7	96.5	95.5	94	92	92.3
	12:00	60.3	60.3	59	52.3	43.6	46	44.3	43	54	51.7	59	60.3
	17:00	78	81.5	80.3	78.3	75.4	75	76.5	78.5	80.5	77	75.5	78
	MEAN	76.86	79.16	78.2	74.76	71	72.43	72.83	73.33	75.5	73.73	76.33	50.86
SUN	h/d	7.85	7.65	7.99	8.69	8.79	8.61	8.61	9.46	9.52	9.22	8.84	7.74
WIND	km/h	13.5	13.2	11.6	11	10.5	11.2	12.8	13.8	16	16.2	14.1	13.1
EVAP	mm/d	4.5	4	4.1	4.2	4.2	4.1	4.4	4.7	4.8	5.1	5.3	4.5

(' / ')

Précipitations mensuelles, 1969-88

Unit: mm

Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
(1)Morombe	98	118	54	24	11	5	1	2	1	12	12	79	418
(2)Betsioky Sud	166	122	74	27	13	7	6	3	10	32	72	152	685
(3)Toliara	81	75	38	18	13	14	5	4	8	11	26	91	383
(4)Ankazoabo	194	108	75	7	11	1	6	0	7	27	45	166	647
(5)Ranohira	208	180	130	34	15	2	4	6	13	63	106	212	973
(6)Sakaraha	205	144	99	40	14	8	7	11	8	35	65	190	822

Tableau 3.3.3 *Précipitations journalières*

1ère, 2ème et 3ème pluviométrie journalière max.

Morombe		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	516	106	69	66
70	171	47	22	19
71	-	119	112	80
72	345	45	35	29
73	-	187	117	117
74	802	95	90	90
75	334	62	67	33
76	451	77	60	58
77	526	90	80	61
78	521	83	73	49
79	158	45	26	14
80	-	40	11	25
81	-	38	24	11
82	-	59	57	45
83	-	24	19	10
84	-	54	38	30
85	-	14	9	8
86	-	137	83	73
87	-	72	55	32
88	-	47	36	33

Ankazoabo-Sud		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	-	-	-	-
70	-	-	-	-
71	-	-	-	-
72	-	-	-	-
73	-	101	69	46
74	-	83	67	46
75	-	54	49	40
76	-	17	15	9
77	-	22	22	11
78	-	30	10	7
79	-	57	36	18
80	-	64	55	44
81	-	105	92	46
82	-	67	-	-
83	-	-	-	-
84	-	-	-	-
85	-	-	-	-
86	-	-	-	-
87	-	-	-	-
88	-	-	-	-

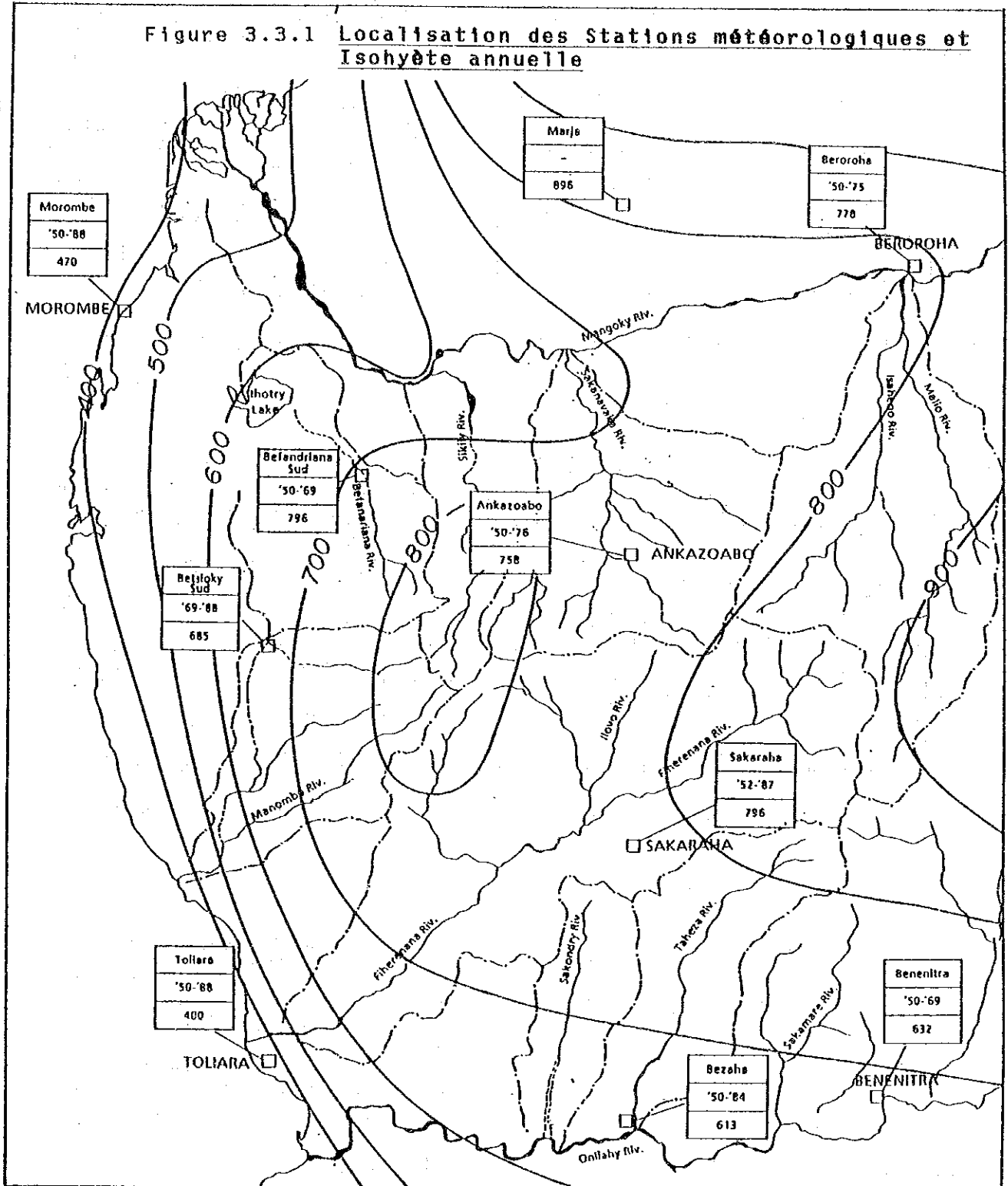
Betsioky-Sud		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	792	106	90	51
70	425	82	46	37
71	755	98	91	87
72	746	73	48	47
73	834	65	62	46
74	857	80	66	43
75	957	93	76	74
76	525	32	30	28
77	728	109	51	50
78	614	60	31	31
79	591	59	51	46
80	731	109	72	65
81	721	93	92	58
82	752	80	58	58
83	411	63	37	34
84	685	70	56	56
85	740	91	79	49
86	805	112	66	66
87	497	62	56	50
88	542	60	55	51

Ranohira		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	1111	58	53	52
70	820	80	66	42
71	1337	155	149	65
72	1167	78	70	65
73	1056	89	78	57
74	1151	78	72	61
75	1076	78	66	63
76	745	47	43	31
77	827	98	59	35
78	790	70	54	47
79	853	65	61	60
80	884	83	56	54
81	1166	90	78	53
82	1506	87	84	66
83	767	52	45	41
84	1313	95	72	52
85	591	86	47	23
86	988	59	47	39
87	772	97	66	38
88	532	50	32	27

Toliara		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	304	45	33	33
70	166	30	26	24
71	461	45	34	30
72	414	53	38	30
73	456	57	44	34
74	685	188	92	44
75	464	143	45	65
76	370	45	43	36
77	572	125	63	51
78	355	52	31	29
79	281	111	29	26
80	286	81	41	21
81	393	57	55	37
82	534	48	47	37
83	212	39	36	28
84	423	45	35	30
85	248	71	44	21
86	272	37	27	20
87	394	79	54	26
88	379	36	34	34

Sakaraha		Unit: mm		
Year	Annual	1st	2nd	3rd
1969	925	68	67	66
70	778	117	58	58
71	1371	105	105	71
72	989	98	74	50
73	973	63	59	48
74	1287	106	76	69
75	640	68	63	50
76	774	65	48	36
77	719	84	60	33
78	634	93	72	51
79	789	94	71	57
80	518	70	44	43
81	-	71	60	14
82	-	13	10	6
83	-	51	48	44
84	-	40	40	35
85	-	53	43	41
86	652	75	64	60
87	-	99	68	57
88	-	74	60	42

Figure 3.3.1 Localisation des Stations météorologiques et Isohyète annuelle



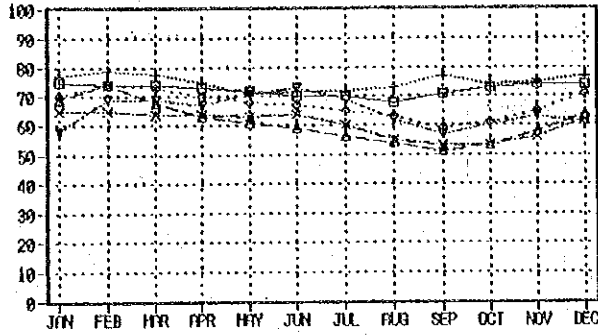
Légende:

- Station
- Relevé collecté
- Moyenne de la pluviométrie annuelle

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

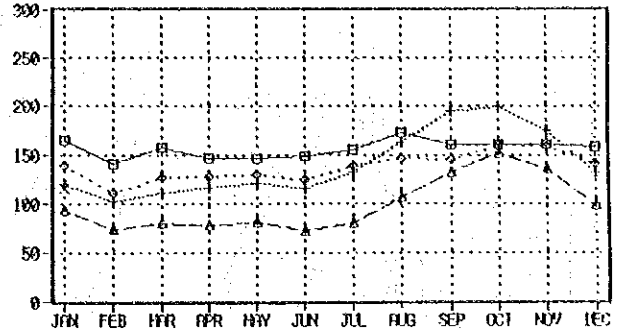
0 10 20 30 40 50km

Humidités relatives moyennes mensuelles
6 STATIONS IN 1969-1988



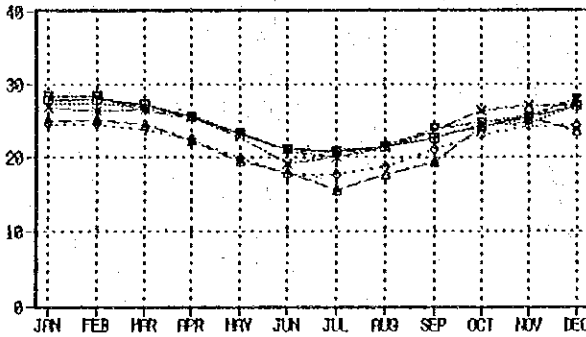
□ TOLIARA + MOROBE ◊ BANAHIRA ▲ ANKAZONBO SUD × BETICKY SUD ▼ BEZA

Evaporations moyennes mensuelles
4 STATIONS IN 1969-1988



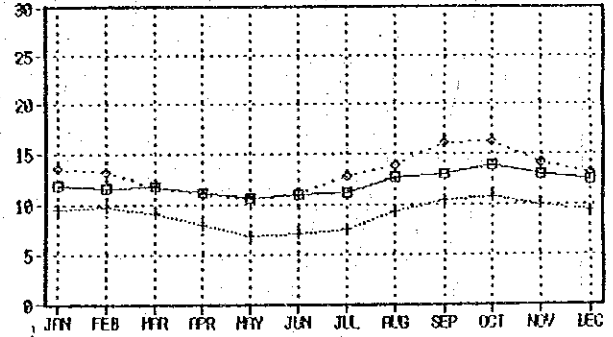
□ TULEAR + BANAHIRA ◊ MOROBE ▲ SAKAFIA

Températures moyennes mensuelles
6 STATIONS IN 1969-1988



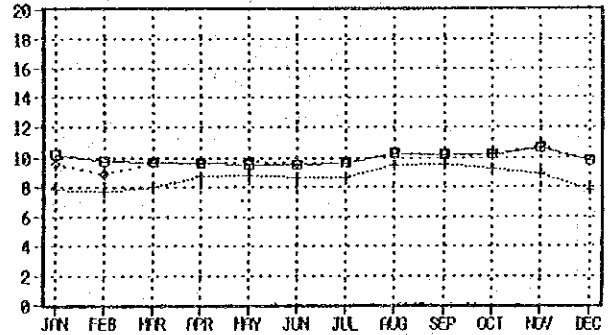
□ TOLIARA + MOROBE ◊ BANAHIRA ▲ SAKAFIA × ANKAZONBO SUD ▼ BETICKY

Vélocités du vent moyennes mensuelles
3 STATIONS IN 1969-1988



□ TULEAR + BANAHIRA ◊ MOROBE

Durées d'insolation moyennes mensuelles
3 STATIONS IN 1969-1988



□ TULEAR + BANAHIRA ◊ MOROBE

Figure 3.3.2 Caractéristiques générales du climat

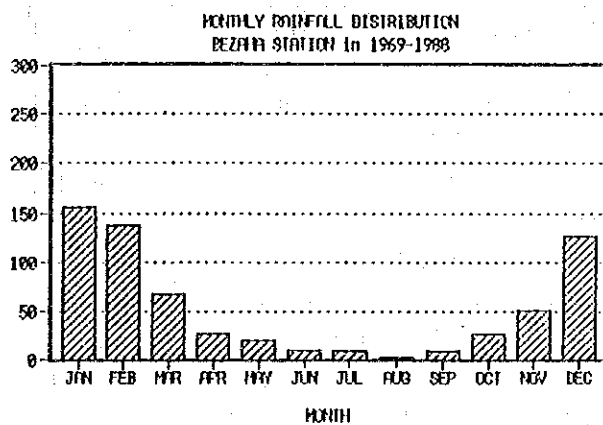
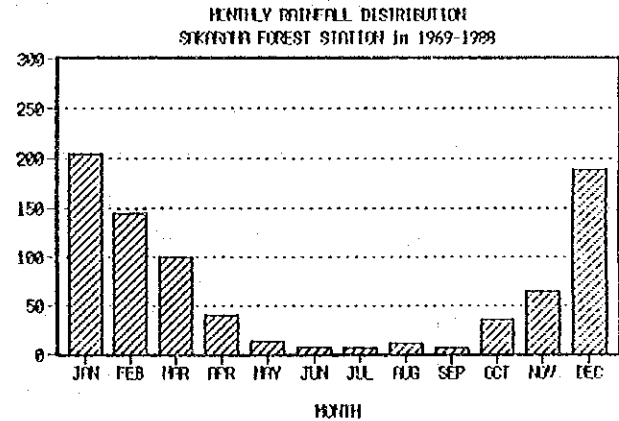
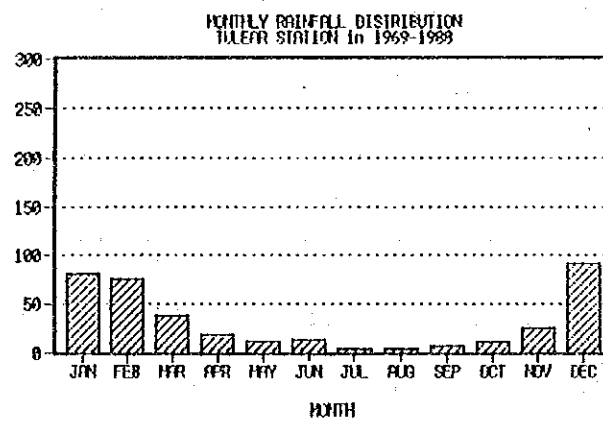
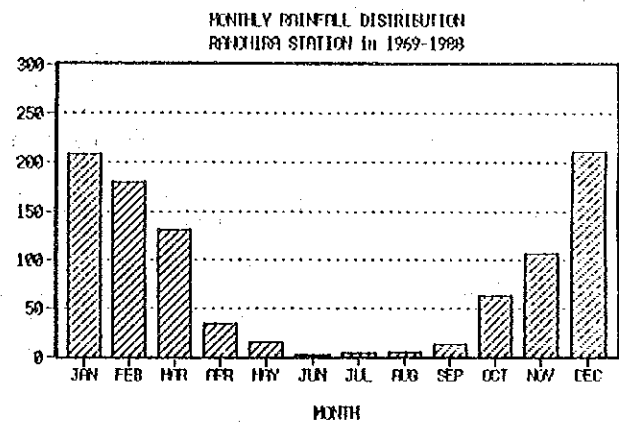
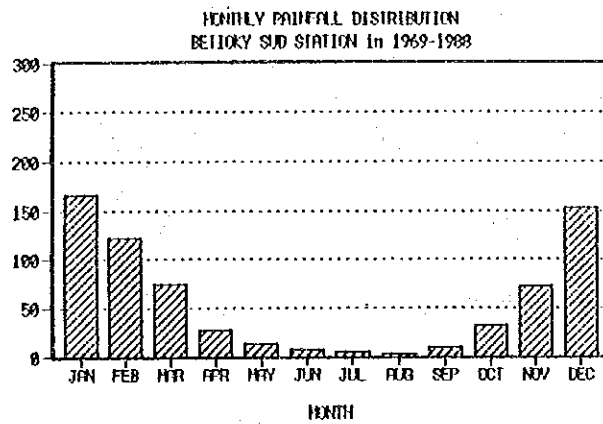
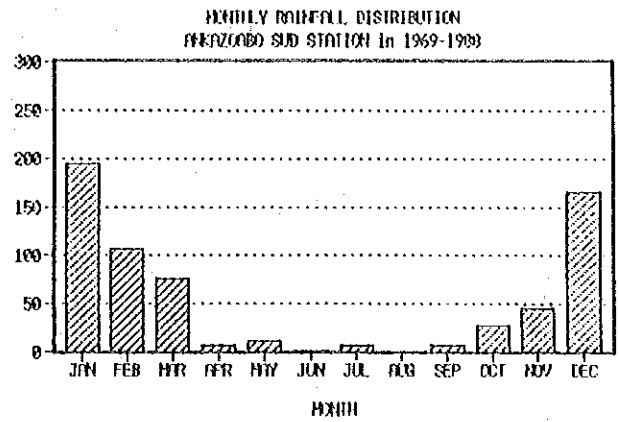
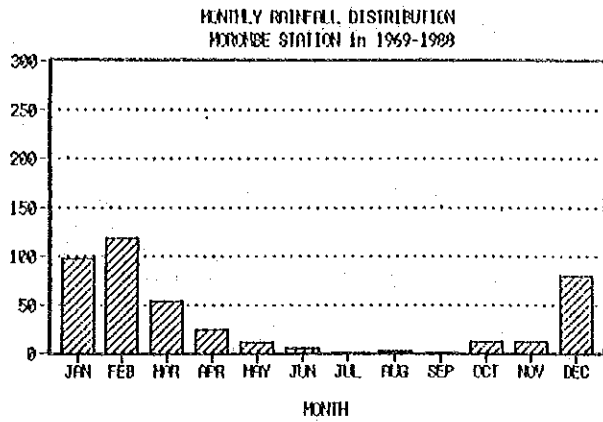


Figure 3.3.3 Répartition des précipitations moyennes mensuelles

ANNUAL RAINFALL IN 1950-1988

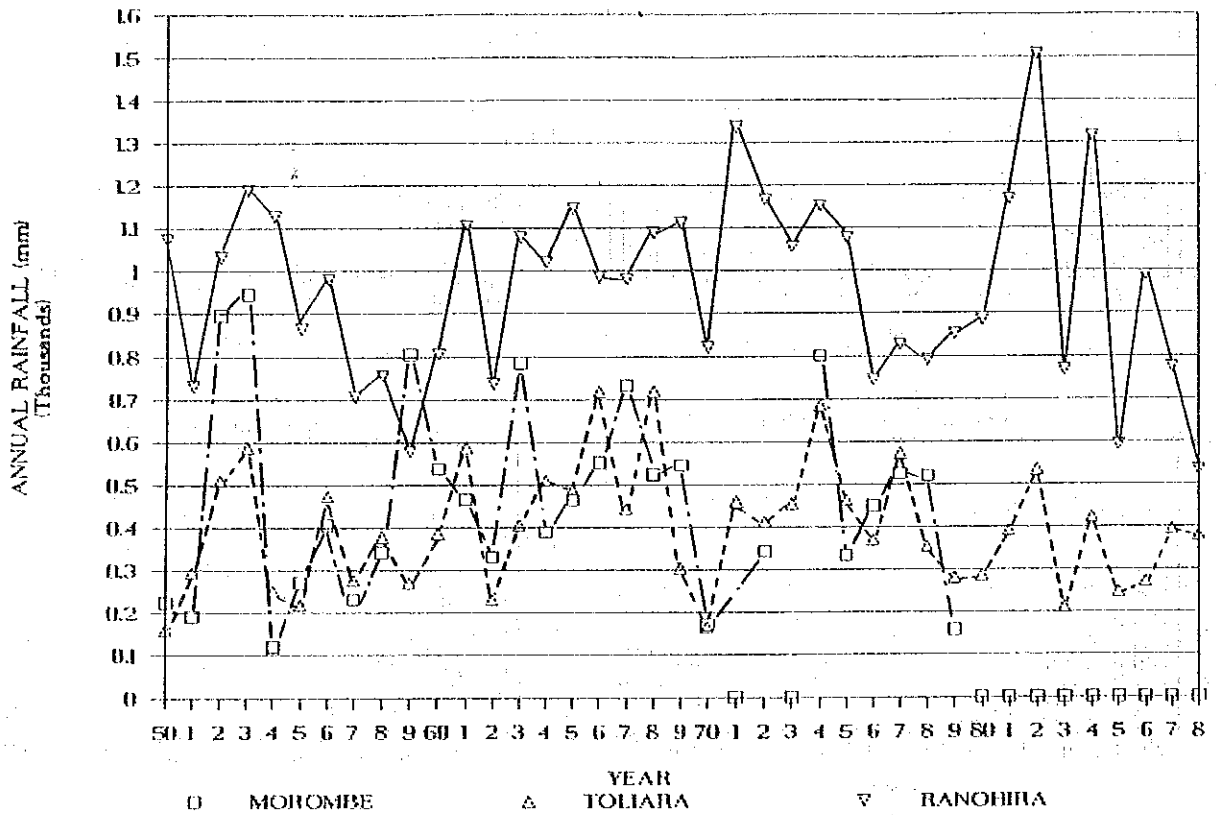


Figure 3.3.4 *Pluviométrie annuelle, 1950-88*

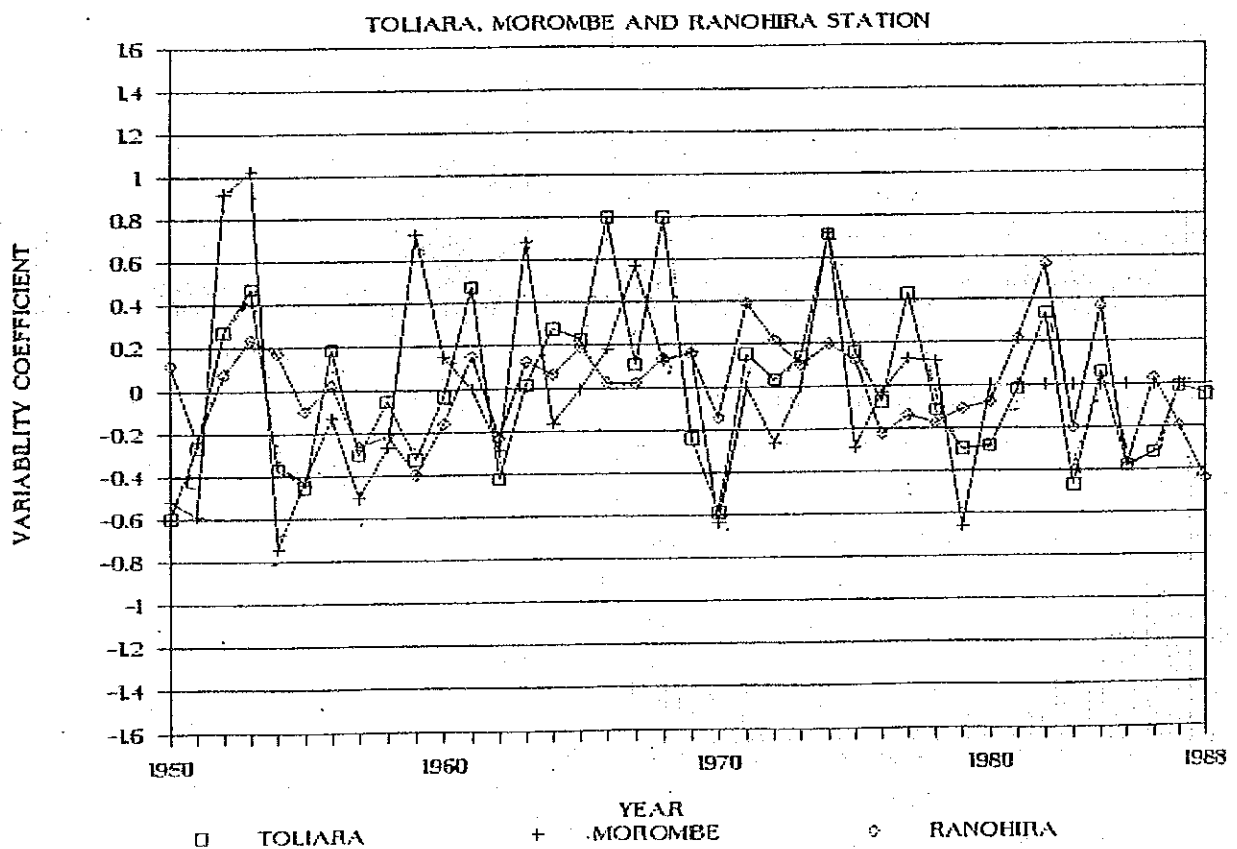


Figure 3.3.5 *Coefficient de variabilité*

Figure 3.3.6 Courbe altitude/pluviométrie annuelle

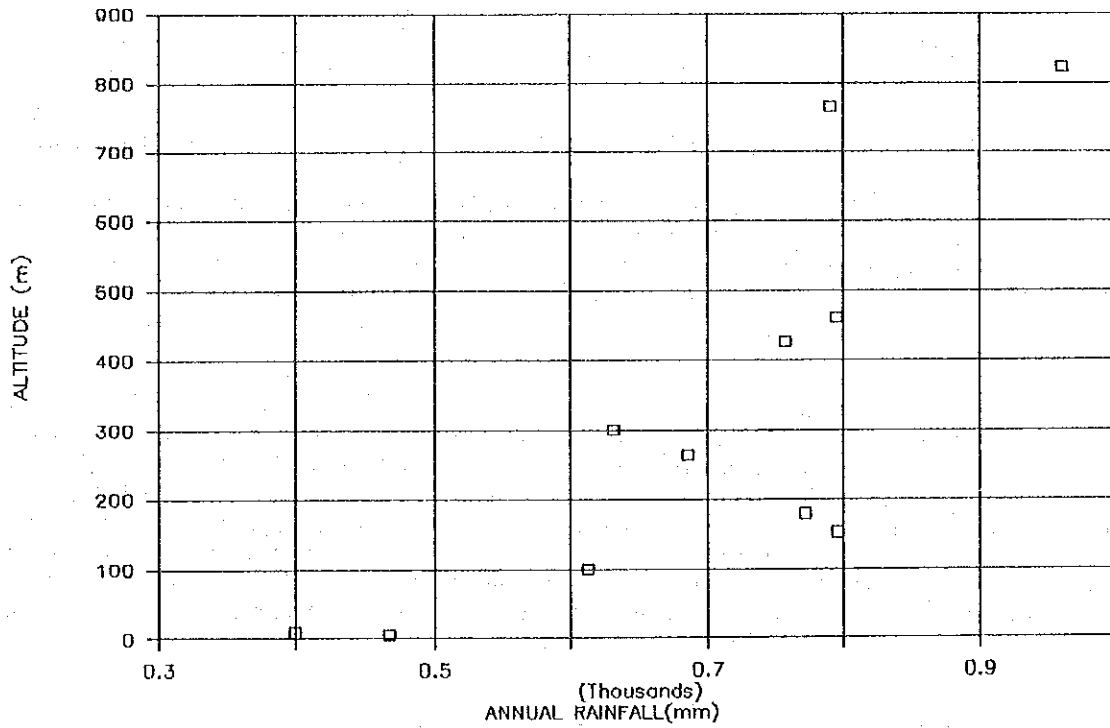
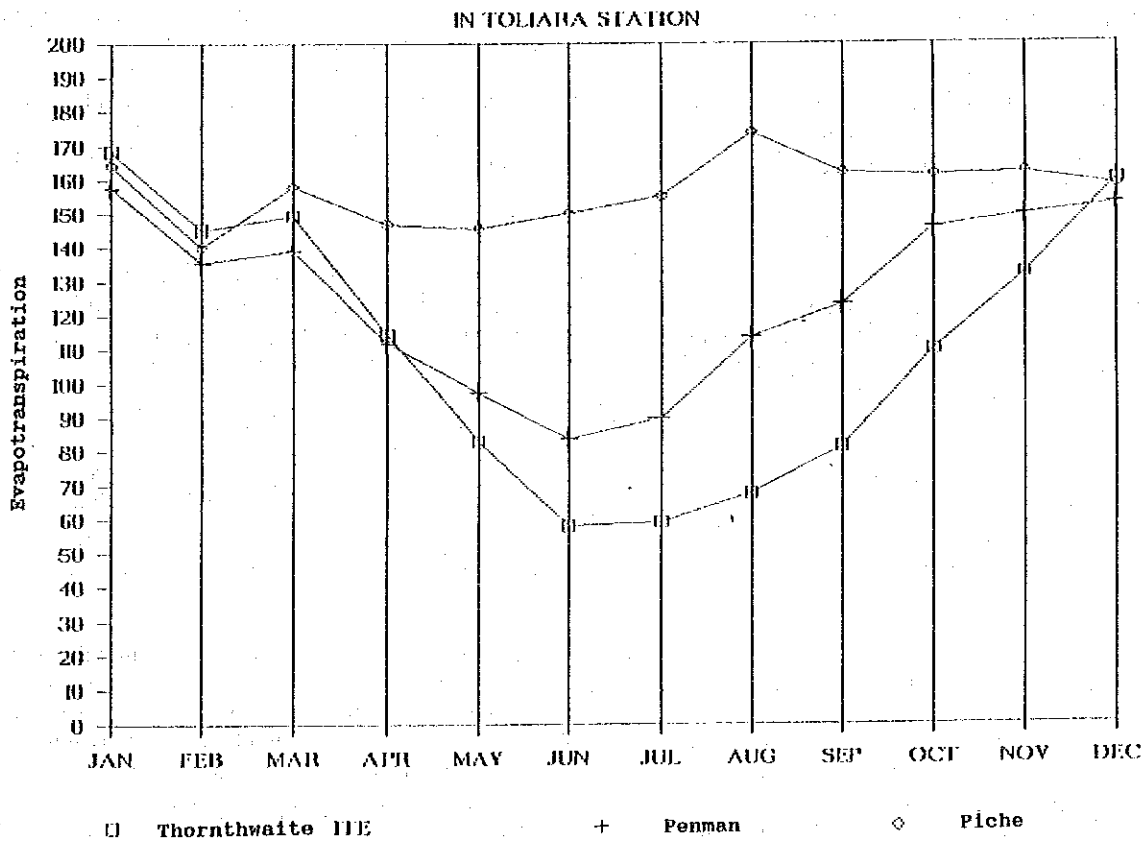


Figure 3.3.7 Comparaison d'évapotranspiration



3.4 Cours d'eau

3.4.1 Conditions générales et débits

Il existe dans la Zone de l'Etude deux principaux cours d'eau: le Mangoky et l'Onilahy. Tous les deux s'écoulent de direction Est-Ouest. Les frontières Nord et Sud de la Zone de l'Etude sont pratiquement délimitées par le Mangoky (Nord) et l'Onilahy (Sud). Le bassin versant du fleuve de Mangoky couvre une superficie d'environ 54.000 km² (station de Vandrove) et celui du fleuve d'Onilahy 29.000 km² (station de Tongobory).

Entre les deux principaux cours d'eau, il existe encore les rivières Fiherenana et Manombo et de nombreux cours d'eau saisonniers. La Manombo trouve son origine dans le massif de Mikoboka et son bassin versant s'étend sur une superficie de 380 km². Le massif de Mikoboka fait naître de nombreux petits cours d'eau saisonniers dans les zones côtières. Quant au fleuve de Fiherenana, son bassin couvre le massif d'Analavelona au Nord et le rebord Est du bassin se situe au centre d'une zone comprise entre Sakaraha et Ranohira.

Les données hydrologiques nécessaires pour la Zone de l'Etude ont été obtenues auprès de la Direction de la Météorologie, de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM) et du MIEM. Les stations hydrographiques sont localisées dans la figure 3.4.1. Les observations sur les débits étaient bien effectuées à la plupart de ces stations jusqu'à leur fermeture dans les années 60. Certaines d'entre elles ont été remises en fonctionnement, en 1983, par l'ORSTOM. Les relevés de débit ainsi procurés sont donnés en récapitulation dans la figure 3.4.2 (période 1960~1983).

Une partie de relevés sur les limnimètres ont été convertis en données de débit. Le tableau 3.4.2 donne les débits mensuels enregistrés aux 9 stations et la figure 3.4.3 représente les hydrographes aux 5 différents points, répartis au long de la rivière.

La station de Bevoay est située sur une installation de prise d'eau, construite pour le projet de développement du Bas Mangoky (SAMAMGOKY) du Ministère de l'Agriculture. Il existe encore d'autres stations en amont et le long de ses affluents.

Le débit peut varier selon les saisons humide ou sèche, surtout en aval. A titre d'exemple, la station de Banian enregistre un débit maximal d'environ 1.300m³/s en décembre et un débit minimal de 50m³/s en septembre. Cette tendance, reflétant sans doute la répartition saisonnière des précipitations, peut être observée également aux autres stations: le plus fort débit toujours de décembre en février et le plus faible en septembre.

3.4.2 Reconnaissances sur le terrain et mesure de débits

Les reconnaissances sur les cours d'eau étaient effectuées dans la Zone de l'Etude au long des RN 7, 9 et 10 ainsi qu'en suivant la route Sakaraha-Ankazoabo à deux reprises: entre les mois d'octobre et décembre 1989 (fin de la saison sèche et début de la saison humide) et entre février et mars 1990 (en saison humide).

Le phénomène d'érosion demeure préoccupant dans la Zone de l'Etude. En effet, un grand volume de sédiments forment des masses de dépôts et encombrant l'aval et l'itinéraire des rivières tout en soulevant la hauteur de leur lit. Les limons et sable entraînés par les cours sont produits par le processus d'érosion dans les bassins versants. Par ailleurs, la déforestation aggrave le problème. Au cours des reconnaissances, nous avons effectivement assisté, dans les bassins des cours supérieurs, aux abattages d'un grand nombre d'arbres et aux brûlis destinés au défrichage pour avoir un nouvel espace pour l'agriculture ou pour augmenter les sources d'énergie.

A la mi-octobre, donc à la fin de la saison sèche, dans le Mangoky et l'Onilahy, deux principaux cours d'eau de la côte, il coulait toujours de l'eau, alors qu'il n'y avait pratiquement pas d'écoulement dans le Fiherenana et la Manombo ainsi que dans les petits cours saisonniers le long de la RN 9, sauf en amont de la Manombo et du Fiherenana qui étaient faiblement alimentées. Plusieurs facteurs tels que le déficit pluviométrique, la déviation d'eau pour l'irrigation et la recharge en amont d'eaux souterraines peuvent être combinés pour provoquer l'assèchement de ces deux rivières.

Les débits étaient mesurés sur place afin de comprendre l'état général des bassins de rivière suivants:

- Bassin de la Sakanavaka (système du Mangoky)
- Bassin de la Malio (système du Mangoky)
- Bassin de l'Isahena (système du Mangoky)
- Bassin de la Sakondry (système de l'Onilahy)
- Bassin de la Taheza (système de l'Onilahy)
- Bassin du Fiherenana
- Bassin de la Manombo

Les résultats des mesures sur place sont présentés dans le Tableau 3.4.2 et sont résumés ci-dessous:

a) Systeme du Mangoky

a-1) Bassin de la Sakanavaka

Les points de mesure sont répartis au long de la route de Tandrano à Ankazoabo (Fig.3.4.4).

Tous les affluents conservent un débit peu abondant:

Cours d'eau	Débit en m ³ /s
Ifantaka	0,20
Rozaki	0,01
Mangitraki	0,20
Sans nom (1)	0,16
Sans nom (2)	0,08
Sans nom (3)	0,03
Sakanabaka (Ankazoabo)	2,00

a-2) Bassins de la Malio et de l'Isahena

Les points de mesure sont indiqués dans la figure 3.4.4. Les résultats obtenus sont comme suit:

Cours d'eau	Juillet 1990	Septembre 1990
Malio	12,26m ³ /s	
Isahena	4,57m ³ /s	

b) Systeme de l'Onilahy

Les mesures sur place de la Sakondry étaient réalisées à l'emplacement de l'ouvrage du pont, passé sur la route Andranovory-Bezaha aux mois de juin et septembre 1990.

Pour la rivière Taheza, les débits étaient mesurés en amont du barrage, près du village d'Ankiliarivo. Ce barrage était réhabilité dans le cadre d'un projet d'irrigation, financé par la Communauté Economique Européenne. La Taheza arrose avec ses eaux permanentes des vastes rizières.

Les points de mesure de la Sakondry et de la Taheza sont indiqués dans la figure 3.4.4. Les résultats obtenus sont comme suit:

Cours d'eau	Juillet 1990	Septembre 1990
Sakondry	-	0,80m ³ /s
Taheza	14,95m ³ /s	15,42m ³ /s

c) Le Fiherenana

La mesure était effectuée en choisissant deux points, dont les résultats sont décrits à l'alinéa 3.4.3.

d) Bassin de la Manombo et sources d'Amboboka

La rivière Manombo coule toute l'année en amont, mais nous n'avons pas pu trouver d'eau à l'emplacement d'un pont sur la RN 9 même en saison humide. Ceci peut s'expliquer par le fait que la majorité de ses eaux sont détournées vers une emprise construite au barrage du village d'Andoharno (voir le paragraphe suivant pour ce qui concerne les résultats de la mesure de son débit).

Le village Amboboka est situé à environ 7km à l'Est d'Ankilillaoka et à 10km au Nord de la rivière Manombo. Il existe dans le village 5 sources d'eau qui se jettent dans un marais à l'Ouest des sources. Deux petits barrages sont construits pour maîtriser l'eau. Trois canaux principaux deviennent l'eau de ces deux barrages pour permettre d'irriguer les rizières entre Ankilillaoka et Tranoratsy le long de la RN 9.

Les points de mesure sont indiqués dans la figure 3.4.4. Les résultats sont les suivants:

Points de mesure	Juin (en m ³ /s)	Sept.	Remarques
Source No.1	0,408	-	Source la plus importante
Barrage No.1	2,16	-	Un des 2 barrages
Canal No.1	1,018	0,85	Vers Ankilillaoka
Canal No.2	-	0,08	
Canal No.3	-	0,06	
Canal No.4	-	-	
Canal No.5	1,065	1,41	
			Vers Ankarabato

Le débit total écoulé des 5 sources, estimé sur la base des débits du barrage No.1 et des canaux No.1 et No.2, est de 3,1m³/s. Selon des villageois, cette valeur est maintenue même en saison sèche.

Les conductivités électriques étaient en même temps examinées (septembre 1990).

Points de mesure	CE (en S/cm ²)
Rivière de Manombo	370
Source à Amboboka	443
Canal No.1	488
Canal No.2	529
Canal No.5	485
Barrage No.2	471

Les résultats ci-dessus montrent que la Manombo est rechargée par des eaux souterraines durant cette saison. Quant à leur structure hydrogéologique, elle est décrite dans le chapitre 4. Le débit constant de ces sources peut s'expliquer par la présence d'une faille.

3.4.3 Mesures mensuelles de débit

Les débits étaient mensuellement relevés, afin de nous procurer les données pour une analyse sur le bilan hydrologique dans le Fiherenana et la Manombo.

a) Le Fiherenana

Les mesures mensuelles de débits au Fiherenana étaient effectuées aux deux points que voici:

Amont: A l'emplacement de l'ouvrage du pont passant sur la route Sakaraha-Ankazoabo (Antaralava)

Aval: A la prise d'eau de Behompy

Les résultats de nos mesures sont comme suit:

Date d'enregistrement	Débit en m ³ /s	
	Antaralava	Behompy
17/10/89	7,64	2,0
27/11/89	14,86	-
29/12/89	16,15	-
24/01/90	25,06	-
23/02/90	49,20	53,82
09/03/90	36,42	-
15/04/90	-	19,13
23/05/90	15,30	3,20
18/06/90	9,36	9,42
29/08/90	7,25	4,72
17/09/90	-	3,15

Le débit au niveau de Behompy était mesuré le 23 février 1990 afin de vérifier les comportements de l'écoulement du cours en saison humide entre Antaralava et Behompy. Le débit enregistré était de 56,36m³/s. Toutefois, le débit diminue subitement juste en aval de Behompy et le lit du canal, à quelques centaines de mètres en amont de la prise d'eau d'irrigation à Ambolonkira, est seulement humide. Cette régression rapide du débit pourrait s'expliquer par le fait que le niveau de la nappe souterraine descend en aval du canal dont le lit est très perméable, rechargeant l'eau souterraine par infiltration. L'eau réapparaît en amont de la prise d'eau et augmente petit à petit mais sans atteindre le débit en amont.

Le 17 octobre 1989, date marquant à peu près le terme de la saison sèche, le débit était enregistré à 7,64m³/s à Antaralava et à 2,0m³/s à Behompy. La rivière était sans eau en aval de Behompy.

b) La Manombo

Nous avons choisi, pour la mesure périodique des débits de la Manombo, le barrage d'Andoharano équipé d'un ouvrage de prise d'eau d'irrigation. Les résultats obtenus se présentent comme ci-dessous:

Date	Débit en m ³ /s
29/11/89	3,30
28/12/89	5,07
26/02/90	4,49
10/03/90	3,28
19/05/90	3,90
20/06/90	2,10
31/08/90	1,50
20/09/90	1,28

La mesure périodique pour le mois de janvier 1990 non effectuée en raison de l'inaccessibilité à Andoharano.

L'échelle limnimétrique, installée en décembre 1989 en amont du barrage, était malheureusement emportée par un gros débit d'environ 200 à 240m³/s. Le torrent avait également démoli une partie de l'ouvrage du barrage. La totalité du cours passe actuellement par la section ainsi brisée, laissant le canal d'irrigation sans eau.

Les résultats des mesures sur place, effectuées en juin/juillet et en septembre/octobre 1990, sont renvoyés dans le tableau 3.4.3.

3.4.4 Débits journaliers et coefficient de ruissellement

a) Débits journaliers

Les relevés concernant les débits journaliers ont été collectés, dans le but d'examiner l'écoulement de base ainsi que le coefficient de ruissellement, aux stations suivantes:

- Bevoay (1955/56~1967/68)
- Betroka (1968/69)
- Behompy (1983)

Les figures 3.4.5 (1)~(5) montrent les débits journaliers spécifiques (convertis en l/s/km² à partir de m³/s de chaque bassin versant) des stations mentionnées ci-dessus.

La figure 3.4.5 (1) est établie sur la base des relevés de la station de Bevoay couvrant la période 1964/65 à 1968/69.

Quant au coefficient de ruissellement pendant la saison des pluies et pendant la période de transition saisonnière, il est normalement affecté par les précipitations. Pour cette raison, le débit maximal varie de 30 à 350l/s/km². Par contre, la portion inférieure des débits journaliers n'étant pas sensiblement soumise à l'influence des précipitations, le débit minimal, à peu près 2 à 3l/s/km², peut être alors considéré comme l'écoulement de base rechargé par les eaux souterraines.

La figure 3.4.5 (2) donne les débits enregistrés aux deux stations de Bevoay (le Mangoky) et de Betroka (l'Onilahy). Les modèles d'écoulement y sont différents, alors que leur débit, d'avril en octobre, peut être considéré comme le même avec 1 à 4l/s/m².

Les figures 3.4.6 (1) et (2) représentent les courbes de durée au niveau des stations de Betroka et Behompy. Les résultats de mesure sont les suivants:

Stations	Nbre de jours	Débit en l/s/km ²
Behompy 1981/82	95	10,39
	185	3,72
	275	2,18
	355	1,22
Betroka 1967/68	95	4,99
	185	2,42
	275	1,54
	355	0,67
1968/69	95	9,59
	185	3,55
	275	1,58
	355	0,67

Selon les courbes de durée, les débits en 275 jours et en 355 jours sont presque stabilisés et seulement affectés par les eaux souterraines (écoulement de base).

b) Coefficient de ruissellement

Les coefficients de ruissellement (run-off) sont ici calculés en reposant sur les débits journaliers indiqués ci-haut et les précipitations par superficie estimées.

b-1) Behompy

$$\begin{aligned} \text{Ruissellement annuel} &= 17.978(\text{m}^3/\text{s}) \times 86.400 \\ &= 1,553 \times 10^9 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

Précipitations par superficie:

Stations	Précipitations annuelles(81/82)	Pourcentage dans le bassin
Toliara	573mm	25%
Sakaraha	1.118	50
Ranohira	1.799	25

$$\begin{aligned} \text{Précipitations annuelles} &= 573 \times 0,25 + 1.118 \times 0,5 + \\ &1.799 \times 0,5 = 1.152\text{mm} \end{aligned}$$

Coefficient de ruissellement annuel:

$$\frac{1,553 \times 10^9 (\text{m}^3)}{1.152(\text{mm}) \times 6.755(\text{km}^2)} = 20\%$$

Tableau 3.4.1 Débits mensuels

(1) Débit mensuel (unité: m³/s)

Station	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Malakialina	83.6	376.7	644.5	399.0	367.0	154.8	85.1	77.8	59.7	56.9	45.9	38.8	83.6	376.7
Tsitondroina	42.3	214.0	256.1	193.2	185.3	69.0	29.6	27.2	20.5	19.6	15.5	14.1	42.3	214.0
Bevoay	186	523	1430	1394	887.1	365.4	176.1	139.2	139.3	122.9	104.0	106.2	186.1	522.7
Ihosal	6.8	33.9	50.1	36.6	22.2	12.8	7.0	5.1	4.6	5.0	4.5	4.0	6.8	33.9
Ankaramena	5.5	21.6	28.4	27.0	16.0	6.3	3.6	2.7	2.8	2.9	2.2	2.4	5.5	21.6
Vandrove	91.3	467	1700	681.0	1833	618.0	215.0	155.0	135.0	111.0	119.0	145.0	91.3	467.0
Behompy	24.9	52.4	113.0	125.0	107.0	52.2	32.6	21.8	14.0	14.7	8.4	11.5	24.9	52.4
Mahamena	-	-	-	-	-	-	39.1	38.9	39.3	31.9	36.9	39.1	-	-
Betroka	10.5	17.5	45.5	49.0	29.3	15.1	9.1	7.1	5.0	3.8	2.5	2.4	10.5	17.5

(2) Débit spécifique (unité: l/s/km²)

Station	C.A. (km ²)	period	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Malakialina	11715	'53-'63	55.0	34.1	31.3	13.2	7.3	6.6	5.1	4.9	3.9	3.3	7.1	32.2
Tsitondroina	6510	'53-'68	39.3	29.7	28.5	10.6	4.6	4.2	3.1	3.0	2.4	2.2	6.5	32.9
Bevoay	53810	'60-'83	26.6	25.9	16.5	6.8	3.3	2.6	2.6	2.3	1.9	2.0	3.5	9.7
Ihosal	1500	'54-'68	33.4	24.4	14.8	8.5	4.6	3.4	3.1	3.3	3.0	2.7	4.5	22.6
Ankaramena	610	'62-'69	46.6	44.3	26.2	10.3	5.9	4.4	4.6	4.8	3.6	3.9	9.0	35.4
Vandrove	52764	'66-'67	32.2	12.9	34.7	11.7	4.1	2.9	2.6	2.1	2.3	2.7	1.7	8.9
Behompy	6755	'81-'82	16.7	18.5	15.8	7.7	4.8	3.2	2.1	2.2	1.2	1.7	3.7	7.8
Mahamena	25625	'81-'82	-	-	-	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.4	1.5	-	-
Betroka	2345	'67-'69	19.4	20.9	12.5	6.4	3.9	3.0	2.1	1.6	1.0	1.0	4.5	7.5

b-2) Betroka

$$\begin{aligned} \text{Ruissellement annuel} &= 3.935(\text{m}^3/\text{s}) \times 86.400 \\ &= 0,340 \times 10^9 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

Précipitations par superficie :

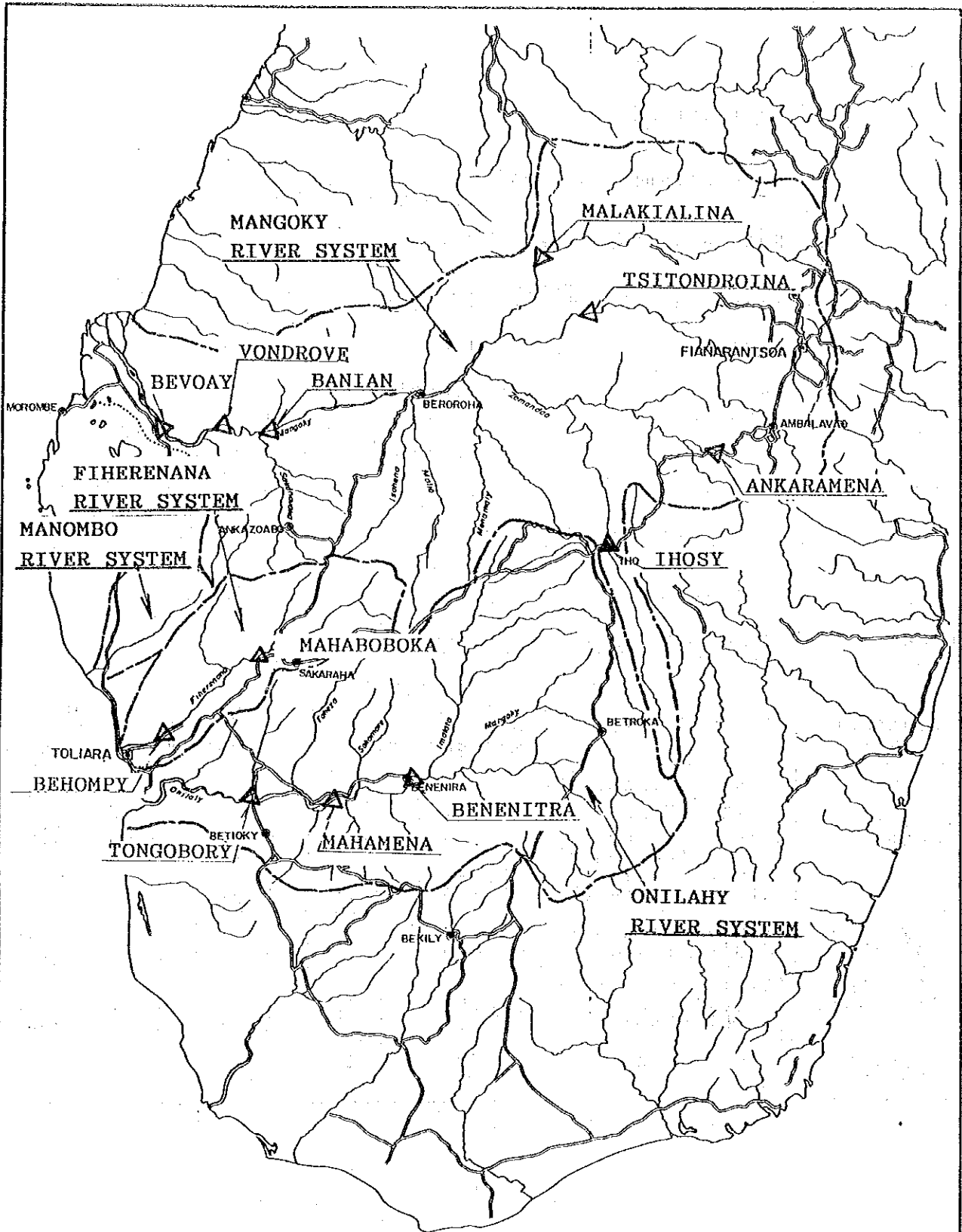
Stations	Précipitations annuelles(67/68)	Pourcentage dans le bassin
Iaokara	791mm	100%

Coefficient de ruissellement annuel:

$$\frac{0,340 \times 10^9 (\text{m}^3)}{791(\text{mm}) \times 2.345(\text{km}^2)} = 18\%$$

Tableau 3.4.2 Résultats de la mesure spot

Systèmes fluvial	Rivières	Bassin versant	Juin~Juillet		Sept.~Oct.	
			m ³ /s.	l/s/km ²	m ³ /s.	l/s/km ²
1. Système Mangoky	(1) Riv. Sakanavaka					
	(a) Mangitraki	81	-	-	0,20	2,47
	(b) Somory	137	-	-	0,16	1,17
	(c) Sakanavaka (Ankazoabo)	332	-	-	2,00	6,02
	(2) Riv. Malio	2.046	12,26	5,99	12,74	6,23
(3) Riv. Isahena	1.870	4,75	2,54	2,39	1,28	
2. Système Onilahy	(1) Riv. Sakondry	727	-	-	0,80	1,10
	(2) Riv. Taheza	1.600	14,95	9,34	15,42	9,64
3. Système Fiherenana	(3) Riv. Fiherenana					
	(a) Antaralava	2.157	9,36	4,34	6,81	3,16
	(b) Behompy	6.755	9,42	1,39	3,15	0,47
4. Système Manombo	(4) Riv. Manombo	508	2,10	4,13	1,28	2,52





 --- Système fluvial
 --- Station de mesure



Figure 3.4.1 Système fluvial et localité des stations de mesure de débit

Figure 3.4.2 Informations disponibles sur les débits

River System	Station	Catchment Area(km ²)	LONGITUDE	LATITUDE	ALTITUDE (m)	1955	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85			
Mangoky	Ihosy	1500	22 23'	46 06'	96.28	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mananan-tanan	6510	21 19'	46 00'	95.69	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bevoay	53810	21 50'	43 52'	39.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Beiroka	2345	*		*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Banian	50000	*	71 42'	71.42	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vondrove	52762	21 19'		62.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Malakialina	11715		62 78'	92.94	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Zomandao	610	21 57'	46 39'	95.65	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Onilahy	Benenitra	*	23 27'	45 06'	97.72	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tongobory	*	23 30'	44 18'	97.73	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mahamena		25625	23 36'	44 42'	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fiherenana	Fiherenana Sakaraha	*	22 54'	44 32'	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fiherenana Mahaboboka	3812	22 48'	44 27'	96.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fiherenana Behompy	6755	23 15'	43 50'	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

A... Débit journalier B... Débit mensuel
 C... Niveau d'eau journalier D... Niveau d'eau mensuel
 -... Pas d'information

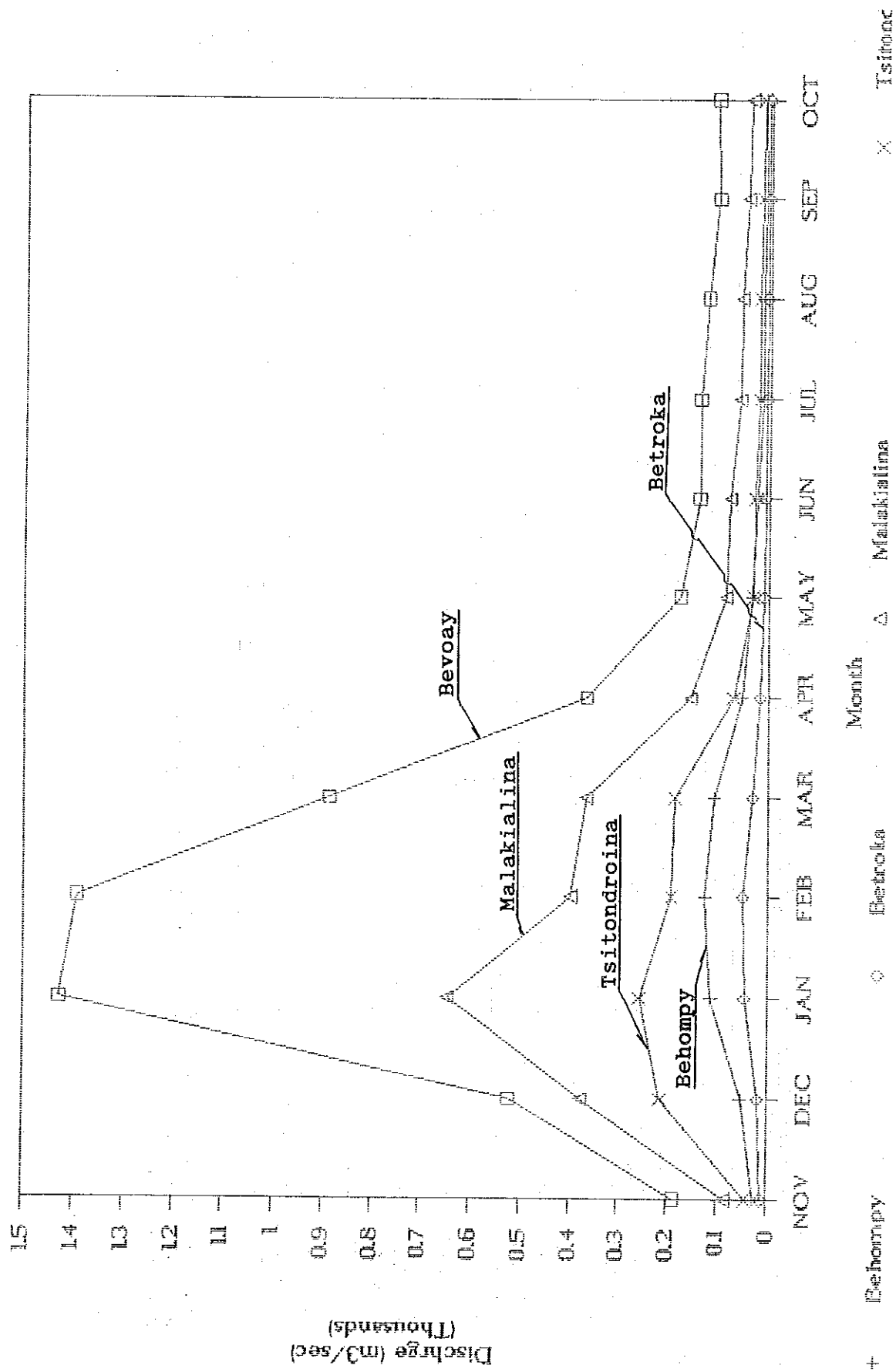
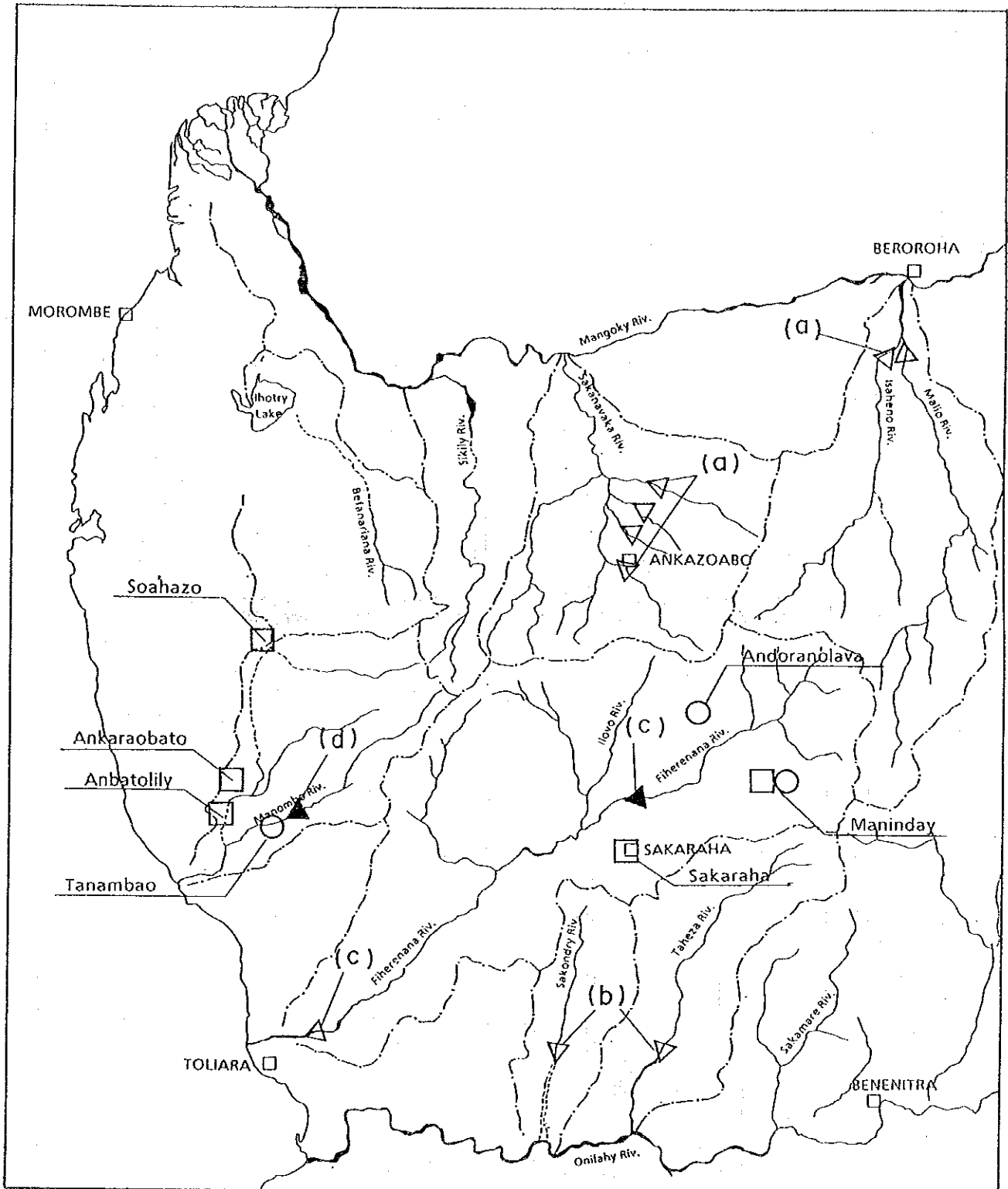


Figure 3.4.3 Relevés de débits mensuels

Figure 3.4.4 Emplacement des points d'observation



Légende:

- — Niveau d'eau souterraine (enregistreur)
- — Précipitations (enregistreur)
- ▲ — Mesure de débit mensuel
- ▼ — Mesure de débit saisonnier

10 0 10 20 30 40 50km

Figure 3.4.5 Débits journaliers

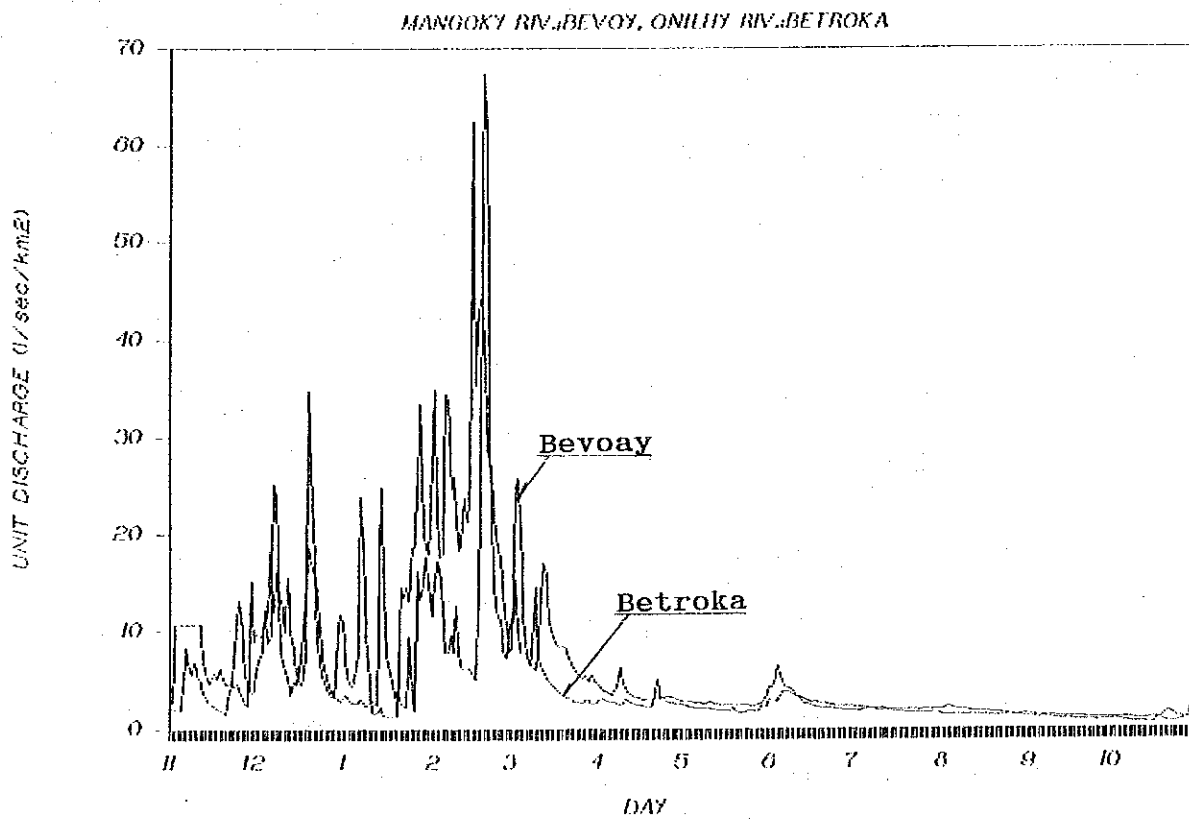
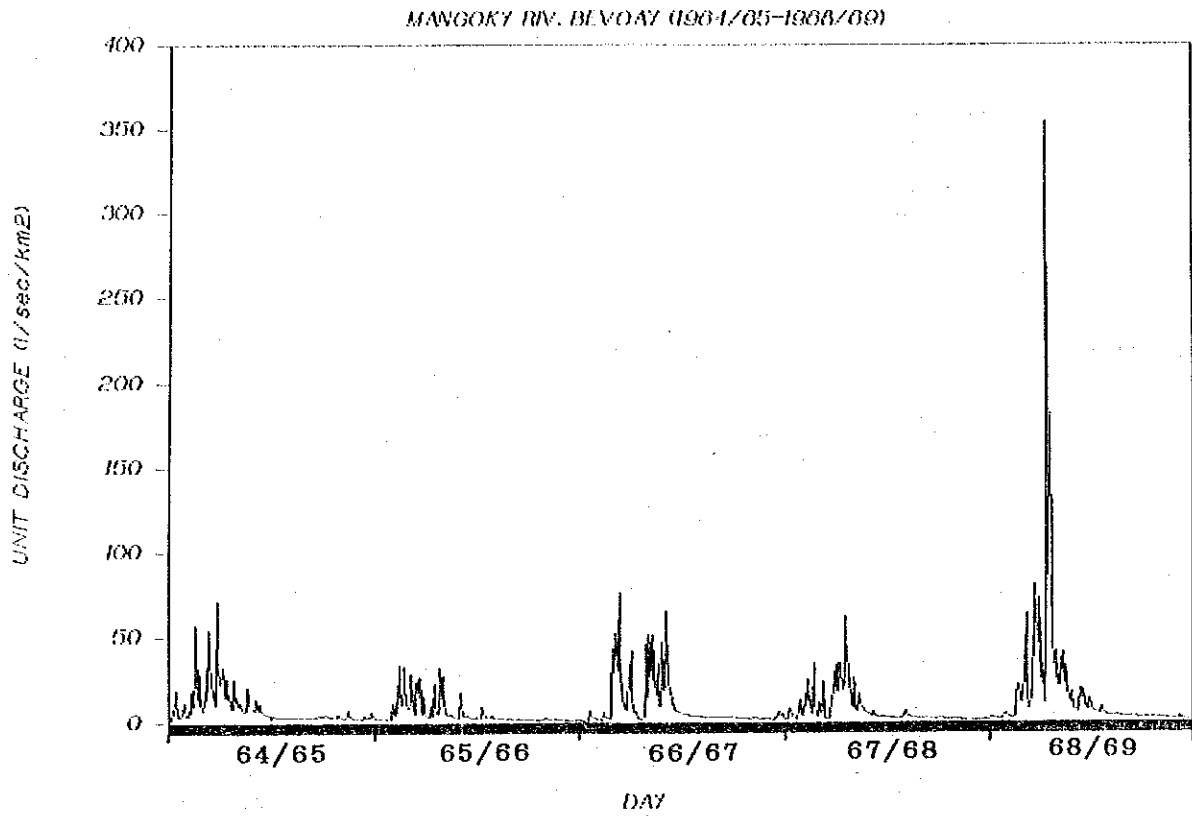
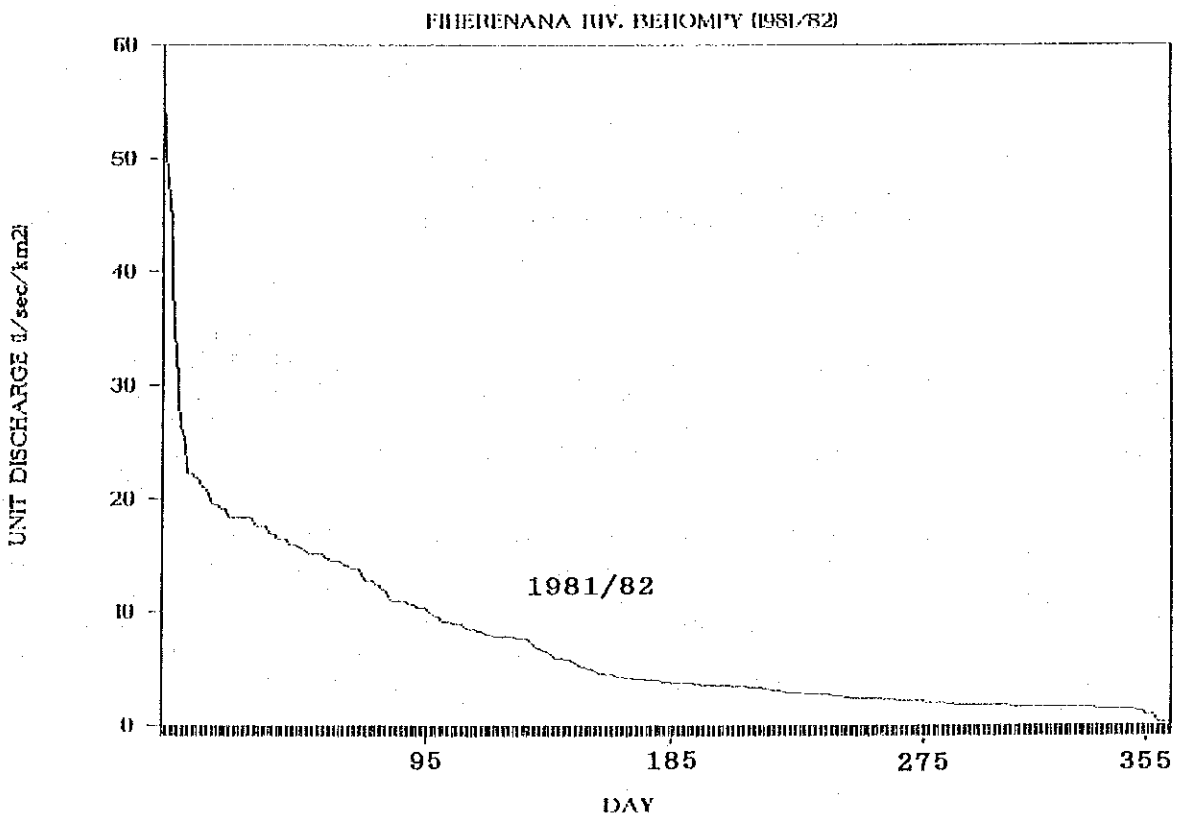
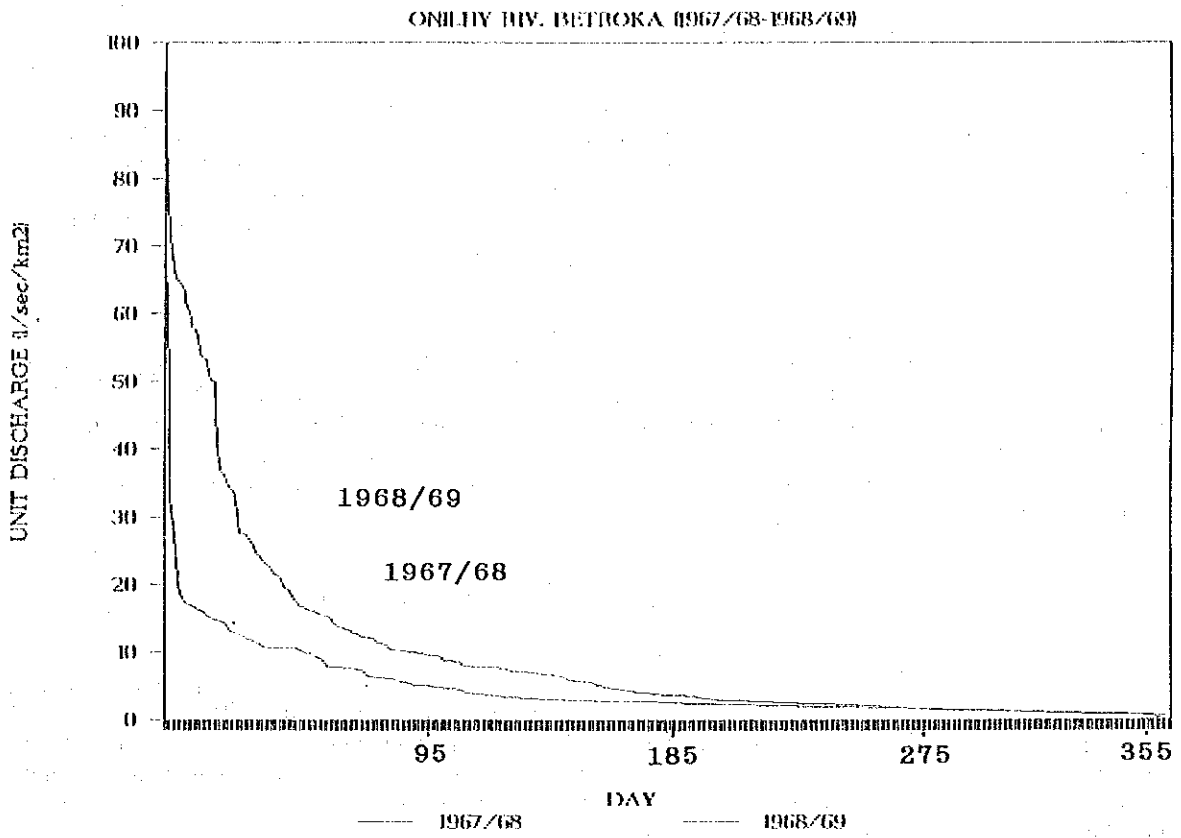


Figure 3.4.6 Courbe du régime



3.5 Puits existants et niveau d'eaux souterraines

3.5.1 Inventaire des puits

L'inventaire des puits réclame obligatoirement la collecte de toutes les données disponibles: localisation, profondeur, détails de la construction, logs lithologiques et électriques du forage, équipement de pompage, débit et production totale, niveaux statiques et dynamiques, qualité de l'eau et résultats de l'essai de pompage, etc.

Un inventaire des puits est indispensable à notre étude. Il peut constituer une source d'amples renseignements hydrologiques. Et lorsqu'il s'agit de choisir un certain nombre de puits avant de procéder à l'observation du niveau et de la qualité de l'eau ainsi qu'à l'essai de pompage, ou encore à d'autres investigations géophysiques du sous-sol, l'inventaire pourra également servir de meilleure référence.

3.5.2 Reconnaissances sur le terrain des puits existants

Des renseignements relatifs aux puits existants dans la Zone de l'Etude ont été obtenus auprès du MIEM tant à Antananarivo qu'à Toliara. En effet, le service hydrogéologique du MIEM a ramassé, en 1989, les données à partir des comptes-rendus ou rapports dont il dispose pour les mettre en ordre de la façon suivante:

- Les puits existants sont positionnés sur une carte topographique (échelle=1/100.000)
- Les renseignements de chacun des puits (profondeur, niveau d'eaux statique, diamètre du tubage, qualité de l'eau, etc.) sont remaniés dans un fichier d'index.

Malheureusement, font défaut d'autres données aussi importantes telles que le log de forage et les résultats d'essais de pompage. Les renseignements collectés ont fait ensuite l'objet de vérification et de mise à jour effectuées au cours de la première reconnaissance sur le terrain.

Tous les forages ainsi qu'un certain nombre de puits creusés, construits par US.AID, France, MIEM ou par les villageois eux-mêmes, ont été donc visités pour préciser l'emplacement de chaque ouvrage et pour compléter, autant qu'il nous soit possible, les renseignements, surtout pour ce qui concerne les paramètres-clés, à savoir; débit, production,