

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

Société d'Énergie de MADAGASCAR

INSTITUT DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES
à MADAGASCAR

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE
de l'IKOPA et de la BETSIBOKA

A - Facteurs Conditionnels du Régime

I - Facteurs Géographiques

par

Marius ALDEGHERI

Maitre de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

AVRIL 1964

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SOCIETE D'ENERGIE DE MADAGASCAR

Institut de Recherches Scientifiques
à Madagascar

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE
de l'IKOPA et de la BETSIBOKA

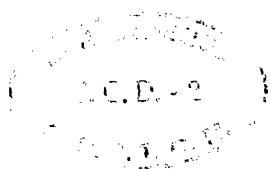
A - Facteurs Conditionnels du Régime

I - Facteurs géographiques

par

M. ALDEGHERI

Maître de Recherches de l'ORSTOM



12.2.1964

Avril 1964

D8
IKO

8970:

Plan général de la Monographie

- Introduction

A. - Facteurs conditionnels du régime

B. - Données hydrologiques

C. - Régimes hydrologiques

Le voyageur qui, par la route, va de TANANARIVE à MAJUNGA, découvre, au km 300, à la sortie d'un virage, une belle rivière s'étalant dans un lit large parsemé d'îles et de rochers : cette rivière, c'est l'IKOPA.

Les eaux, vues de la hauteur sur laquelle est tracée la route, semblent calmes et leur surface, au soleil couchant, scintille comme un miroir : l'IKOPA se repose avant le franchissement des dernières chutes qui l'amèneront dans la plaine de MAEVATANANA, à quelques dizaines de mètres à peine au-dessus du niveau de la mer.

Poursuivant sa route, peu après avoir quitté MAEVATANANA, notre voyageur se trouvera devant un beau spectacle. Des eaux tourbillonnantes, épaisses comme du chocolat dont elles ont presque la couleur, dévalent à grand bruit les rochers, s'engouffrent sous le pont en se brisant en une multitude de gouttes et se précipitent enfin dans les chutes en projetant des embruns qui donnent à l'air une odeur de terre mouillée et laissent sur le tablier et les fils téléphoniques une mince pellicule de latérite.

La BETSIBOKA épuise ici ses forces avant de couler dans un lit large, bien calibré, aux berges abruptes et parsemé, en étiage, de bancs de sable sur lesquels dorment, au soleil, les crocodiles luisants.

A une vingtaine de kilomètres de là, elle reçoit sur sa rive gauche, l'IKOPA.

Après leur jonction, ces deux rivières constituent, par le volume d'eau roulé annuellement, le plus puissant fleuve malgache, puisqu'en aval du confluent, le module annuel doit être voisin de $900 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un module spécifique de 20 l/s km^2 , deux fois environ celui de MANGOKY.

A la sortie du socle cristallin, les modules moyens sont de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la BETSIBOKA.

Ces forts débits, joints à un profil en long très accidenté, présentant une succession de rapides et de chutes importantes, donnent à l'IKOPA et à la BETSIBOKA un potentiel énergétique considérable.

La détermination précise de ces possibilités ne pouvait être faite qu'après une série d'observations et mesures sur le terrain. C'est l'objet essentiel de la Convention 1613 plan/57, signée le 23 Octobre 1957 entre la Société d'Energie de Madagascar et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer.

L'article II, précise que :

" Les études à entreprendre portent sur la détermination, pour l'IKOPA, en aval de la plaine de BETSIMITATRA, et pour la BETSIBOKA, de tous les éléments du régime hydrologique et notamment, les modules, les débits de crue et la turbidité.

A cet effet, il y aura lieu :

- 1°/ - d'aménager, dans les sections particulièrement difficiles d'ANSATRANA sur l'IKOPA et de la basse BETSIBOKA, deux stations de jaugeage principales avec va-et-vient, limnigraphes et dispositifs de mesure de pente.
- 2°/ - d'installer sur l'IKOPA dans la région de KIANGARA une station secondaire de type classique.
- 3°/ - d'effectuer des études de climatologie et de ruissellement en vue d'obtenir tous recoupements utiles pour compléter les mesures de débit et de turbidité auxquelles il aura été procédé

aux deux stations principales et à la station secondaire.
4°/ - de procéder à l'interprétation des observations et mesures par la mise au point d'une monographie hydrologique.

Cette monographie rassemblera toutes les caractéristiques hydrologiques du régime des deux rivières établies à partir des renseignements recueillis au cours des campagnes d'études commencées en 1958, et, également, d'après les résultats disponibles depuis 1951, ainsi que les facteurs géographiques et climatologiques qui sont à la base des variations des débits.

Les études sur le terrain ont duré de Novembre 1957 à Avril 1961 et ont été menées par M. SERRANO, Technicien Hydrologue de l'O.R.S.T.O.M. Le camp de base était situé à AMADIROKA, à proximité des chutes de la BETSIBOKA au km 369 de la route TANANARIVE - MAJUNGA.

A.- FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

CHAPITRE I :

Facteurs géographiques

- I. 1 - Situation générale
- I. 2 - Relief
- I. 3 - Aperçu géologique
- I. 4 - Le sol, aperçu pédologique
- I. 5 - La végétation
- I. 6 - Le réseau hydrologique

MONOGRAPHIE IKOPA--BETSIBOKA

Liste des Cartes, Plans et Graphiques

- Ac.1 - Carte générale de situation
- Ac.2 - Carte du relief
- Ag.1 - Courbes hypsométriques de l'IKOPA et de la BETSIBOKA
- Ac.3 - Carte géologique au 1/500 000
- Ap.1 - Coupes géologiques, classification du socle cristallin et stratigraphie des formations récentes
- Ac.4 - Carte pédologique des bassins
- Ac.5 - Carte de la végétation
- Ac.6 - Carte du réseau hydrographique
- Ag.2 - Profil en long de la BETSIBOKA
- Ag.3 - Profil en long de l'IKOPA
- Ac.7 - Situation isobarique le 4 Août 1963
- Ac.8 - Situation isobarique le 20 Août 1963
- Ac.9 - Situation isobarique le 4 Janvier 1963
- Ac.10 - Situation isobarique le 25 Mars 1959
- Ac.11 - Trajectoires des cyclones en 1958-59
- Ac.12 - Trajectoires des cyclones en 1961-62
- Ag.4 - Fréquence des directions des vents ARIVONIMAMO
- Ag.5 - Fréquence des directions des vents IVATO
- Ag.6 - Fréquence des directions des vents MANTASOA
- Ag.7 - Fréquence des directions des vents TSARATANANA
- Ag.8 - Fréquence des directions des vents TSIROANOMANDIDY
- Ag.9 - Fréquence des directions des vents KANDREHO
- Ag.10 - Fréquence des directions des vents MAEVATANANA
- Ag.11 - Fréquence des directions des vents MAJUNGA
- Ag.12 - Fréquence des directions des vents MAHATSINJO
- Ag.13 - Variations des températures moyennes en fonction de l'altitude
- Ag.14 - Variations mensuelles des températures TANANARIVE
- Ag.15 - Variations mensuelles des températures ARIVONIMAMO
- Ag.16 - Variations mensuelles des températures IVATO
- Ag.17 - Variations mensuelles des températures MANJAKATOMPO
- Ag.18 - Variations mensuelles des températures TSIROANOMANDIDY
- Ag.19 - Variations mensuelles des températures ANKAZOBE
- Ag.20 - Variations mensuelles des températures KANDREHO

- Ag.21 - Variations mensuelles des températures MAEVATANANA
- Ag.22 - Variations mensuelles des températures MANTASOA
- Ag.23 - Variations mensuelles des températures SOAVINANDRIANA
- Ag.24 - Variations mensuelles des températures TSARATANANA
- Ag.25 - Variations mensuelles de l'humidité relative ARIVONIMAMO
- Ag.26 - Variations mensuelles de l'humidité relative IVATO
- Ag.27 - Variations mensuelles de l'humidité relative ANKAZOBE
- Ag.28 - Variations mensuelles de l'humidité relative MANJAKATOMPO
- Ag.29 - Variations mensuelles de l'humidité relative MANTASOA
- Ag.30 - Variations mensuelles de l'humidité relative TSIROANOMANDIDY
- Ag.31 - Variations mensuelles de l'humidité relative KANDREHO
- Ag.32 - Variations mensuelles de l'humidité relative MAEVATANANA
- Ag.33 - Variations mensuelles de l'humidité relative TSARATANANA
- Ag.34 - Variations mensuelles de l'insolation et du rayonnement
solaire direct
- Ag.35 - Variations mensuelles de l'évaporation à TANANARIVE
- Ag.36 - Variations mensuelles de l'évaporation à ANDROVAKELY
- Ag.37 - Variations mensuelles de l'évaporation à ANTSATRANA
- Ag.38 - Variations mensuelles de l'évaporation à AMBODIROKA
- Ag.39 - Variations mensuelles de l'évaporation PICHE à ANJOZOROBE,
Ag. - ARIVONIMAMO, KANDREHO
- Ag.40 - Variations de l'évaporation sur Bac Colorado avec l'altitude
- Ac.13 - Evapotranspiration réelle selon THORNTHWAITE
- Ac.14 - Zones d'influence des différents pluviomètres selon THIESSEN
- Ac.15 - Isohyètes interannuelles

I - FACTEURS GEOGRAPHIQUES

I. - SITUATION GENERALE (Voir carte Ac 1)

La BETSIBOKA et son affluent principal l'IKOPA prennent leur source sur la bordure Est des hauts-plateaux, dans la région de TANANARIVE. Les rivières s'écoulent suivant une direction générale Nord/Nord-Ouest. Elles se rejoignent à une vingtaine de kilomètres en aval de MAEVATANANA. Puis la BETSIBOKA se jette dans le canal de MOZAMBIQUE, au droit de MAJUNGA, après avoir parcouru 531 km.

Le bassin versant total de la BETSIBOKA à MAJUNGA, y compris le bassin supérieur de la MAHAJAMBA, en amont de la capture du KAMORO, a une superficie supérieure à 60.000 km². C'est le plus grand bassin fluvial malgache avec le bassin du MANGOKY.

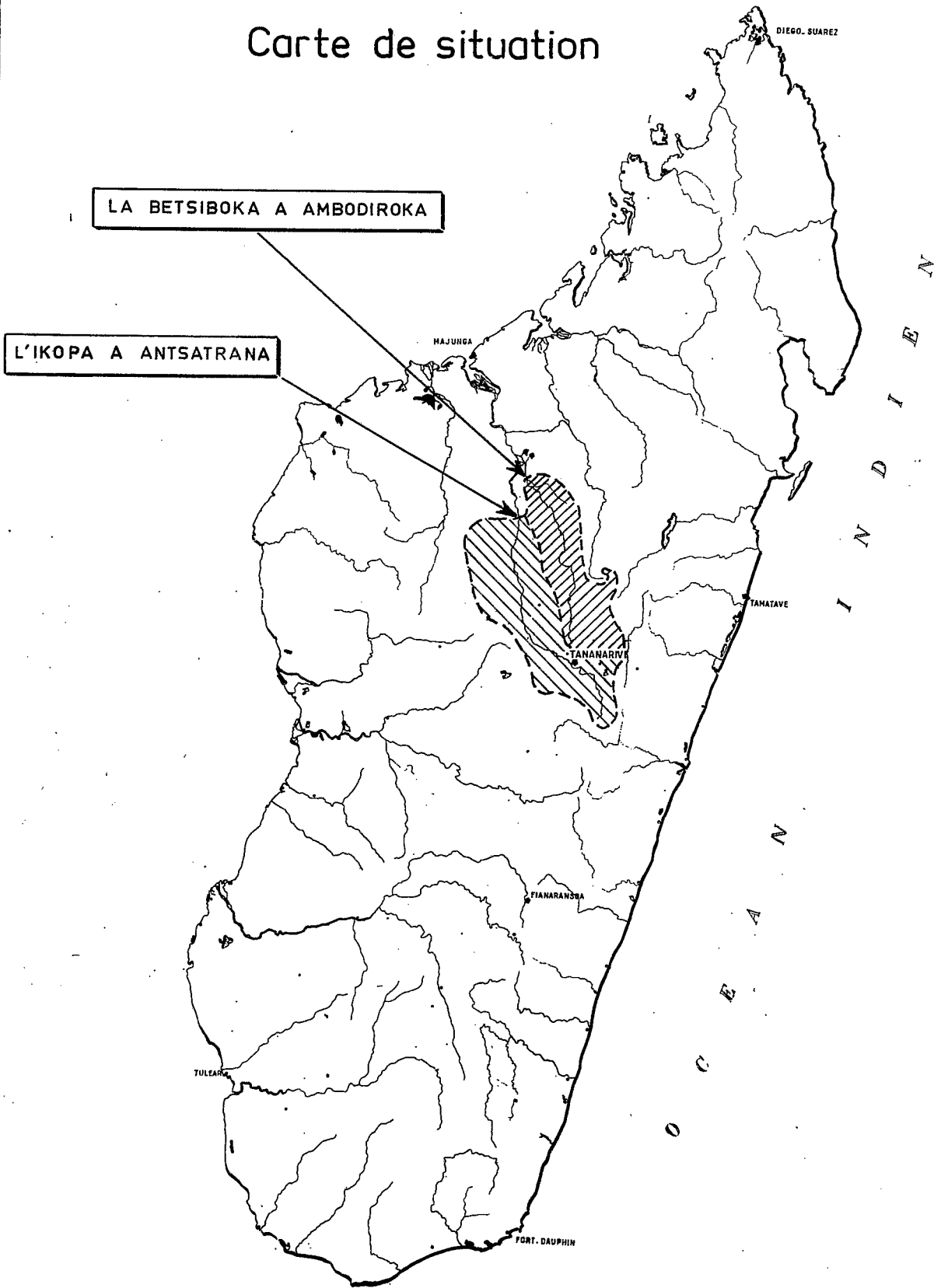
De la source du JABO, branche principale traditionnelle (mais non la plus longue) jusqu'au confluent avec l'IKOPA, la BETSIBOKA mesure 352 km. Elle est plus courte que l'IKOPA, qui, jusqu'au même point, a une longueur de 485 km. Si l'IKOPA avait été choisi comme branche mère, le fleuve aurait donc eu, environ, 130 km de plus.

Ce choix serait d'ailleurs justifié par la valeur des débits; étiage moyen absolu de l'IKOPA à ANTSA-TRANA de 85 m³/s contre 60 m³/s pour la BETSIBOKA à AMBODIROKA, modules moyens interannuels respectifs de 450 et 300 m³/s.

Seules, les crues sont plus brutales sur la BETSIBOKA et leur débit maximal instantané plus fort que sur l'IKOPA (les débits spécifiques instantanés sont fréquemment supérieurs à 300 l/s/km² sur la BETSIBOKA, alors que sur l'IKOPA, ils ne dépassent que très rarement 150 l/s/km²).

BASSINS DE L'IKOPA ET DE LA BETSIBOKA

Carte de situation



Les bassins étudiés sont limités pour la BETSIBOKA, au pont de la route nationale n° 4 (km 364 à partir de TANANARIVE), à 25 km en amont du confluent avec l'IKOPA et, pour ce dernier à ANTSATRANA, en amont des chutes d'ANTAFOTO, à 91 km du confluent avec la BETSIBOKA.

La surface des bassins versants est de 11 800 km² pour la BETSIBOKA à AMBODIROKA, et de 18 550 km² pour l'IKOPA à ANTSATRANA.

Les coordonnées géographiques des deux bassins sont les suivantes:

	IKOPA à ANTSATRANA	-	BETSIBOKA à AMBODIROKA
Lat.Sud :	17°25' à 19°31'		16°56' à 18°54'
Long.Est :	46°09' à 47°55'		46°53' à 48°02'

Le bassin de la BETSIBOKA a la forme d'un quadrilatère allongé axé sur une direction Nord/Nord-Ouest dont les dimensions moyennes sont approximativement 225 km et 50 km. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS, rapport du périmètre P du bassin à celui du cercle de même superficie, est égal à 1,48. Le bassin de l'IKOPA à ANTSATRANA a une forme analogue, sa longueur moyenne est équivalente à celle du bassin de la BETSIBOKA (250 km) et sa largeur moyenne comprise entre 70 et 80 km. Le coefficient de GRAVELIUS est égal à 1,41.

Les limites naturelles du bassin sont: au Nord-Est le TAMPOKETSIA KAMOREEN, séparant les eaux de la BETSIBOKA et de l'ISINKO, de celles du KAMORO. Les monts NAMAKIA (1084 m) et BEZANABORONA (1348 m) jalonnent du Sud au Nord cette ligne de crête. Ensuite, avec le massif d'ANDRIAMENA, nous longeons le bassin de la MAHAJAMBA; les sommets atteignent ici 400 m avec l'ANDRAVAINAFO et l'ANALAMAIZINA. La limite entre la BETSIBOKA et la haute MAHAJAMBA suit grossièrement, vers le Sud, un méridien et culmine à 1544 m dans la chaîne de l'ANKAZOMILEFITRA. Elle contourne ensuite curieusement le lac AMPARIHINANDRIAMBAY, source de la MAHAJAMBA et vraisemblablement témoin

d'un affaissement du socle cristallin. Ce lac est actuellement à la cote 1200 m. Il est probable que, comme en témoignent les zones marécageuses qui l'entourent, son niveau était à l'origine à une cote supérieure et qu'il devait se déverser dans la LAKAZANA, sous-affluent de la BETSIBOKA par la MANANTA. Un phénomène d'érosion régressive de la MAHAJANBA a dû faire baisser le plan d'eau et amener sa séparation du bassin versant de la BETSIBOKA. Ce qui expliquerait la forme bizarre de la ligne de partage des eaux, qui laisse au Sud le plateau d'ANALABE (1382 m) et passe au Nord-Est à moins de 500 m de la rive du lac.

La ligne de crête remonte vers le Nord et prend ensuite une direction Est pour se raccorder à la grande dorsale de l'Ile, la falaise orientale ou escarpement de l'ANGAVO qui sert de frontière Nord-Sud aux bassins de l'IKOPA, BETSIBOKA et du MANGORO. La ligne de partage des eaux présente dans cette zone un tracé très festonné dû à des phénomènes de capture des affluents de la MANANARA et de la VARAHINA au profit d'affluents du MANGORO. L.LAPLAINE en signale plusieurs dans son étude sur les feuilles géologiques de MIARINARIVO et TANANARIVE (T.B.G. n° 32-1952). Dans cette zone, les caractéristiques topographiques et climatiques sont favorables à ces phénomènes de capture : les pentes des rivières coulant vers l'Est sont très fortes (500 m sur 10 km) et leur alimentation assurée par des pluies qui durent pratiquement toute l'année. Il s'ensuit une érosion plus active du côté versant Est amenant le recul progressif des sources et le détournement des rivières de l'Ouest à pente plus faible et à étiages moins soutenus.

L. LAPLAINE cite, en particulier, les captures de l'ANTANOIRIKA et de la FALEFIKA par l'ANDRANOBE et le RANGO. Ces captures intéressent des bassins de l'ordre de 40 km².

Les sommets de cette crête ont des altitudes comprises entre 1300 m au Nord et 1700 m au Sud :

ANDILANDRATSY (1271 m), ANDASILOVO (1439 m), AMBARAVARAM-BATO (1445 m), AMBATOMANITRASINA (1567 m), SOMPATRA (1581 m) AMBOHIDRANANDRIANA (1604 m), AMBOHIBOATAVO (1428 m), ANTSAPIA (1662 m), ANGAVO (1616 m) AMBOHIMIRINGY (1774 m).

A partir de ce dernier sommet, la ligne de partage des eaux prend une direction Est-Ouest et rejoint, par les massifs de l'ANDRASATAKELY (1696 m) et du BEVILANY (1714 m), le point culminant de l'ANKARATRA, le TSIAFAJAVONA (2643 m), en passant un peu au nord d'AMBATO-LAMPY. Au Sud de cette ligne coule l'ONIVE, principal affluent du MANGORO.

En descendant les pentes Ouest de l'ANKARATRA, la ligne de partage des eaux prend la direction générale Nord Nord-Ouest, et sépare le haut-bassin de la TSIRIBIHINA (ITASY-KITSAMBY) de celui de l'IKOPA. Cette ligne de crête descend progressivement, à travers une zone de collines arrondies, de la cote 2640 m à la cote 1200 m, au Nord du village de SOAVINARIVO. Elle traverse à cet endroit une zone marécageuse où le sens de l'écoulement est assez mal défini. Par la chaîne de l'AMBATONANDROHO (1392 m) et l'ANKARAOKA (1275 m) la ligne de partage des eaux IKOPA-TSIRIBIHINA (SAKAY) rejoint, en suivant une direction d'abord Est-Ouest, puis Nord Nord-Ouest, le plateau du FAMOIZANKOVA (1346 m) dans lequel la MAHAVAVY prend sa source. La ligne de séparation MAHAVAVY-BETSIBOKA prend ensuite une direction Sud-Nord jalonnée par les monts BEMOSARENA (1326 m), KELIMIRANGA (958 m) jusqu'aux causses calcaires de l'ANKARA (BERONONO 558 m, ANKOPAKA (437 m).

Le bassin de l'IKOPA à ANTSATRANA est limité au Nord par une ligne de crête partant du massif de l'ANDOHANKETY (921 m) et descendant régulièrement jusqu'à la cote 450 au droit de la station.

I. 2 - LE RELIEF

Les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA présentent un relief assez accidenté. Nous y trouvons le troisième sommet de l'Ile avec 2643 m.

Les formes générales du relief sont dues à des plissements très importants survenus à l'ère primaire qui, par la suite, ont été arasés en pénéplaines, (tampoketsa).

Le socle ancien comprend par endroits des intrusions granitiques mises en évidence par l'érosion.

Aux époques tertiaires et quaternaires, des éruptions volcaniques ont modifié ce relief en surimposant les massifs de l'ANKARATRA et de l'ITASY et en créant de vastes plaines lacustres. Ces mouvements, joints à une érosion très active, ont donné naissance à un nouveau relief à croupes arrondies et à un réseau hydrographique dense, avec souvent des vallées encaissées.

Nous distinguerons :

1° - La falaise de l'Est ou escarpement de l'ANGAVO. C'est la limite orientale des hauts-plateaux. Les sommets culminent à des altitudes variant de plus de 1700 m au Sud à 1500 m au Nord. Cette falaise, constituée de chaînons orientés grossièrement Nord-Sud, présente, par endroits, une pente Ouest-Est très forte puisqu'on y rencontre fréquemment des dénivelées de 600 à 700 m en moins de 10 km.

L'origine des chaînons Nord-Sud est assez mal définie; certains auteurs y voient des failles en escaliers, d'autres, la mise à nu des éléments durs par l'érosion différentielle. Quoi qu'il en soit, l'érosion a une très grande influence sur le modelé actuel du relief de cette région.

2° - Entre la falaise orientale et l'ANKARATRA, une zone, appelée hauts-plateaux, très accidentée, comporte un grand nombre de petites chaînes et collines recouvertes soit d'une couche épaisse de latérite, soit de blocs rocheux, le plus souvent en forme de boules, restes du socle non "digérés" par la latérite et que l'érosion a mis à nu. De tels amas rocheux se trouvent un peu partout dans les environs de TANANARIVE et au Nord d'ANJOZOROBE. Ce sont les "Ambatomiranty".

L'érosion, très active, entaille de larges ravines, dites "lavaka", dans les flancs des collines qui finissent par être complètement rongées par des trous de plusieurs dizaines de mètres de profondeur aux bords abrupts. Cela donne au paysage un aspect caractéristique.

Dans cette zone les sommets supérieurs à 1600 m sont fréquents; nous citerons : l'ANGAVOKELY (1787 m) l'AMBATOMAOLA (1809 m), l'IHARANANDRIANA (1690 m) encore appelé "casque de BEHENJY", l'AMPARIVATO (1802 m), l'AMBOHIE (1539 m), le FAITRANAMBO (1759 m) au Nord-Est d'ANDRAMASINA.

La ligne de partage des eaux IKOPA-BETSIBOKA passe au Nord de TANANARIVE par les massifs de l'AMBOHITOMPOINA (1660 m), le KILONJY (1580 m), l'LANGANA (1614 m), et l'ANDRINGITRA (1704 m).

Dans toute cette région, les vallées sont très sinueuses et présentent, en général, un fond assez plat dû à l'accumulation des alluvions. Elles sont parfois coupées de chutes dues à un rajeunissement possible du relief par surélévation du socle.

3° - Le massif de l'ANKARATRA.

Ce massif volcanique repose sur le socle ancien. La chaîne s'étend du Nord-Est de BETAFO au Sud-Est d'ARIVONIMAMO. D'après J. GUIGUES, les volcans de la moitié septentrionale sont d'âge pleistocène, avec laves noires, compactes, néphéliniques, désignées par LACROIX sous le nom d'ANKARATRITES.

On y trouve quelques-uns des plus hauts sommets de l'Ile (TSIAFAJAVONA 2643 m, TSIAFAKAFO 2602 m, MAHABO 2479 m). Le massif est profondément entaillé par les rivières dont le lit atteint assez souvent le substratum gneissique.

4° - Au milieu de ce relief assez tourmenté constituant la partie haute du bassin de l'IKOPA et de la BETSIBOKA, existent de vastes dépressions marécageuses sur les

quelles le riz est la culture principale. Ce sont les plaines de TANANARIVE ou du BETSIMITATATRA, la plaine d'ANTANETIBE, au confluent du JABO et de l'AMPARIHIBE, d'AMBOHIBARY, d'ANJOZOROBE, d'ANDAKANA sur la MANANARA et, sur la MANANTA, en amont du confluent avec la LAKAZANA. Quand elles ne sont pas endiguées, les rivières y forment de nombreux méandres à tous les stades (ANDROMBA, dans la plaine de TANANARIVE par exemple). Ces plaines ont toutes une origine tectonique ayant amené la création ou la surélévation de seuils rocheux. Les cuvettes ainsi constituées ont été progressivement comblées par les alluvions (pliocènes et récentes).

5° - Le bassin moyen est occupé en majeure partie par les " Tampoketsa ", témoins de surfaces nivelées. Ces hauts-plateaux couvrent très schématiquement un triangle limité au Sud par le parallèle de FENOARIVO, à l'Est par le méridien d'ANDRIAMENA et au Nord-Ouest par une ligne reliant les sources de la MANAMIDONA au pic NAMAKIA. Cela représente une surface de 10.000 km² environ.

Dans ce vaste triangle nous distinguerons, d'Ouest en Est, le plateau de FAMOIZANKOVA, le tampoketsa de FENOARIVO situé entre les rivières ISANDRANO et IKOPA, le tampoketsa d'ANKAZOBE entre l'IKOPA et la BETSIBOKA et le tampoketsa du KAMORO. Ces plateaux présentent une orientation générale Nord-Sud. Leur altitude moyenne est de 1500 m pour les tampoketsa d'ANKAZOBE et de FENOARIVO et de 1300 m pour ceux du KAMORO et du FAMOIZANKOVA. Ces pénéplaines ont généralement une légère pente vers le Nord-Ouest de l'ordre de 3 pour 1 000. Elles sont bordées à l'est par des falaises abruptes, dominant de plus de 500 m les vallées de l'IKOPA, de la BETSIBOKA, du BEMARIVO.

Le réseau hydrographique y a tracé des vallées à berges abruptes, à fonds plats avec souvent des zones marécageuses.

Les tampoketsa sont à peu près inhabités. Ils

présentent de grandes étendues herbeuses presque toujours battues par un vent violent.

Les sommets principaux sont : l'ANDONGONA (1407 m), le TSITONDROINA (1625 m), l'AMBATOMAINTY (1589 m), le VAZOBE (1778 m), l'ANDOHARANA (1625 m), l'AMBOHITRIANGY (1646 m), le pic NAMAKIA (1084 m), le BEZANOBORONA (1348m).

Le tampoketsa d'ANKAZOBE sépare les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA. La ligne de partage des eaux passe par le VAZOBE (1778 m) limite sud du tampoketsa, suit des massifs dont l'altitude décroît en allant vers le Nord de 1500 à 1100 m. Les principaux sont les massifs de MANANTSOA, du RINDRA, et de l'ANTSOFINOMBY. Dans cette dernière chaîne, en abordant le tampoketsa d'ANTONJANA, la ligne de partage des eaux prend une direction Est-Ouest depuis le pic ANDOTANY (1208 m) jusqu'au massif de MAROKOLOY, dont le sommet est à 625 m. C'est à cet endroit-là que la ligne de crête IKOPA-BETSIBOKA se trouve le plus près de l'IKOPA (à vol d'oiseau, moins de 5 km). Ce fait est certainement dû à la présence, dans cette région, d'un accident tectonique, nommé par G. GUYONNAUD, dislocation de l'ANJAJIA de direction générale Nord-Sud avec un plongement Est. Cet accident a probablement provoqué, au moment de sa formation, la déviation de l'IKOPA et la création des chutes d'ANTAFOFO.

6° - La partie Nord des bassins étudiés, a un relief assez peu accentué, avec des collines aux formes arrondies peu ou pas latéritiques, à sol rocailleux. Le réseau hydrographique très dense dessine des vallées assez larges avec des fonds plats et marécageux par endroits.

7° - Nous citerons à part le massif tabulaire du VOHOMBCHTRA, le pic d'ANDRIBA et l'ANGODONA. Ces formes de relief sont très caractéristiques.

D'après GUYONNAUD, le pic d'ANDRIBA (1035 m),

et l'ANGODONA (971 m) "correspondent à des lames ou amandes de granite horizontales ou très faiblement inclinées, (pic d'ANDRIBA), qui ont protégé de l'érosion les roches sous-jacentes plus tendres. Elles dominent par de hautes falaises (500 m dans le cas de l'ANGODONA) les zones érodées qui les entourent. Dans le relief, ces sommets sont caractérisés par leur forme trapézoïdale, bombée en surface, chaque lame donnant une falaise. La superficie de ces tables est faible."

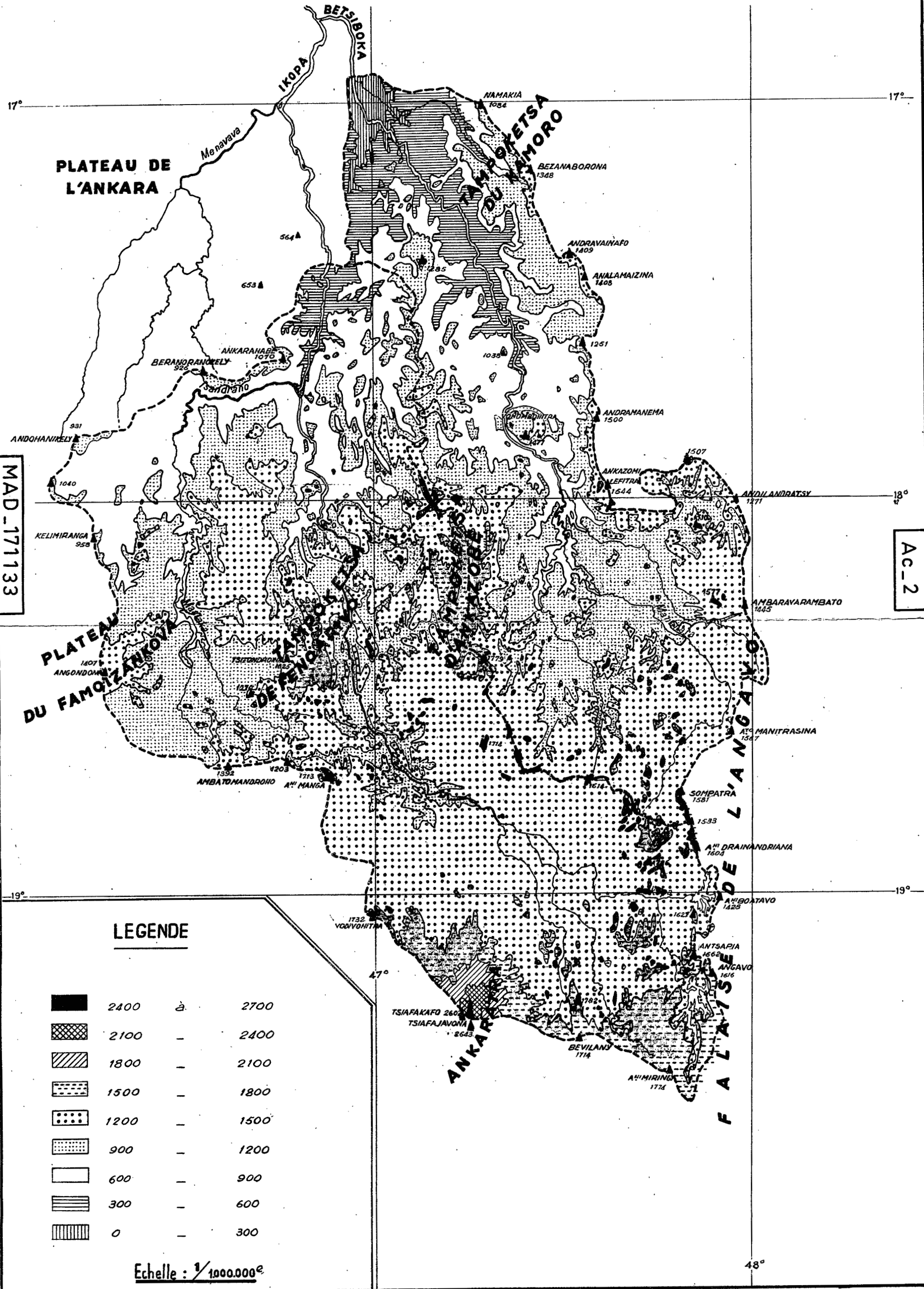
Le massif circulaire du VOHOMBOHITRA se dresse sur la rive droite de la BETSIBOKA qu'il domine à 1477 m. Il est visible à partir du point kilométrique 160 de la route nationale n° 4. Il comporte une muraille circulaire dont les sommets sont constitués par des dalles granitiques. La dépression centrale, dont le point le plus bas est à 1053 m, également granitique, est drainée par deux petites rivières qui se jettent dans la BETSIBOKA, l'une au Sud, l'autre à l'Ouest du massif. La surface du plateau central est de 75 km².

La BETSIBOKA contourne ce massif à l'Ouest, dans une vallée assez encaissée, susceptible de recevoir un aménagement hydroélectrique important.

Dans les bassins de la BETSIBOKA et de l'IKOPA, l'évolution du relief semble assez rapide si l'on en juge par la quantité et la dimension des "lavaka" ou cirques creusés dans le flanc des collines par l'érosion. Les plus beaux lavaka et les plus actifs se trouvent dans le bassin de la BETSIBOKA au Sud et à l'Est du VOHOMBOHITRA. Ces "lavaka" évoluent souvent très rapidement, rongent les pentes, se rejoignent et coupent les lignes de crête amenant le glissement de volumes de terres parfois très considérables, qui finissent par stériliser les fonds des vallées. Les causes de cette érosion active sont très nombreuses, mais la principale est le manque de couverture végétale efficace.

La carte Ac 2 donne une représentation schématique du relief des bassins.

RELIEF DES BASSINS DE L'IKOPA ET DE LA BETSIBOKA



Sur les graphiques (Ag 1) ont été tracées les courbes hypsométriques des bassins de l'IKOPA à ANTSATRANA et de la BETSIBOKA à AMBODIROKA.

Le bassin de la BETSIBOKA à AMBODIROKA, dont la superficie est de 11 800 km², présente la répartition suivante:

3 % de	40 à	300 m
10 % de	300 à	600 m
18 % de	600 à	900 m
37 % de	900 à	1200 m
30 % de	1200 à	1500 m
2 % de	1500 à	1800 m

L'altitude moyenne est égale à 1020 m.

Pour le bassin de l'IKOPA à ANTSATRANA, dont la superficie est de 18 550 km², nous avons :

1 % de	435 à	600 m
14 % de	600 à	900 m
23 % de	900 à	1200 m
49 % de	1200 à	1500 m
12 % de	1500 à	1800 m
1 % de	1800 à	2100 m

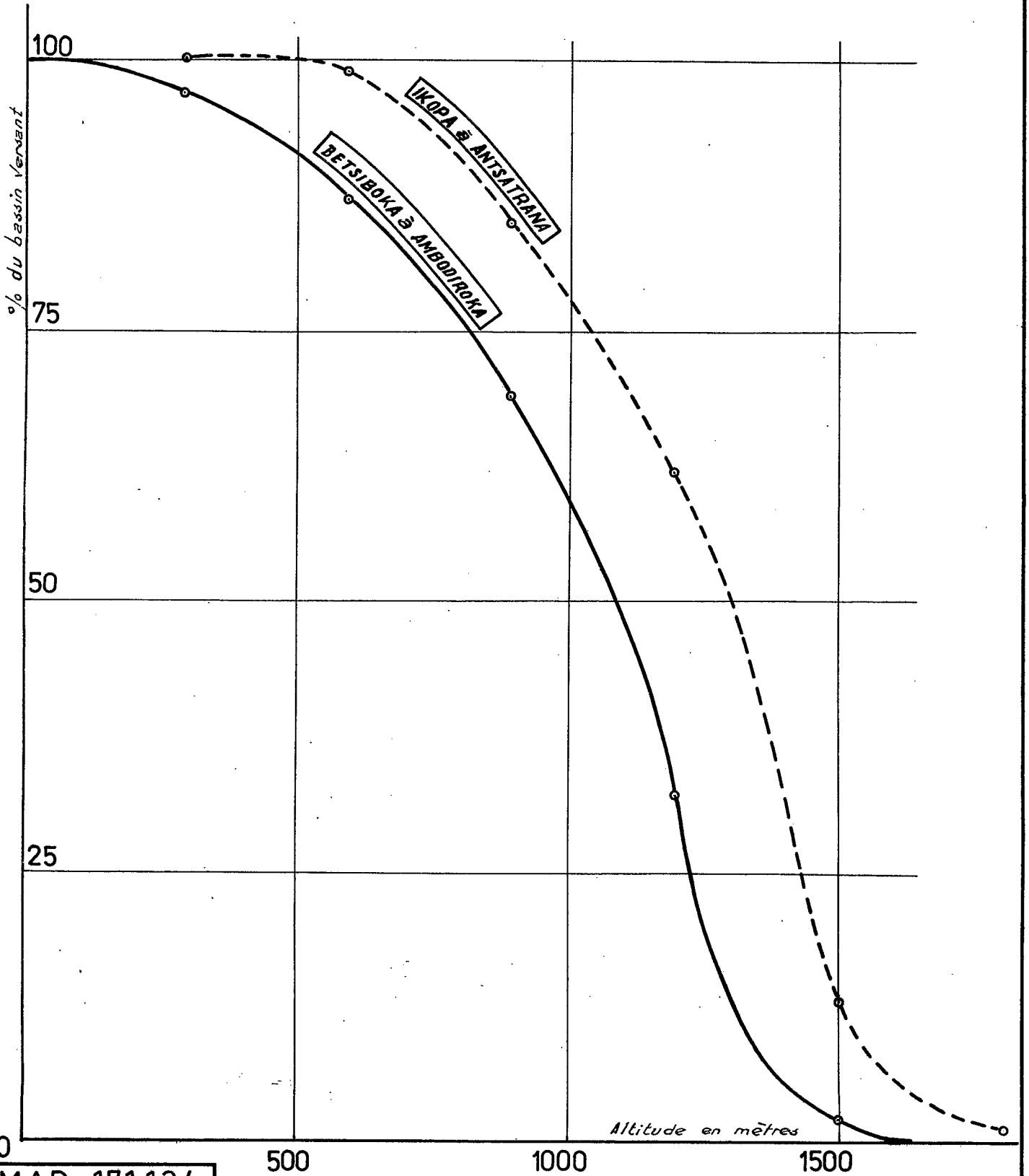
L'altitude moyenne est de 1230 m.

Les indices de pente ont été calculés par M. ROCHE et sont égaux à 0,069 pour l'IKOPA à ANTSATRANA et 0,078 pour la BETSIBOKA à AMBODIROKA.

Il résulte de cette étude que les pentes sont légèrement plus fortes sur le bassin de la BETSIBOKA, ce qui peut amener un ruissellement plus important.

Pour la BETSIBOKA, la superficie au-dessus de 1500 m est insignifiante. Elle n'est pas négligeable dans le bassin de l'IKOPA. L'altitude moyenne, légèrement supérieure

COURBES HYSOMÉTRIQUES



pour ce dernier bassin aura une influence sur la température, et l'évapotranspiration sera plus faible que sur la BETSIBOKA. Ceci donnera en définitive des modules plus élevés sur l'IKOPA.

I. 3 - APERCU GEOLOGIQUE

Les éléments de cette étude ont été tirés en majeure partie de la "Monographie géologique de MADAGASCAR (1960) par H. BESAIRIE". Cet ouvrage a été repris par H. BESAIRIE et M. COLLIGNON pour constituer le fascicule II " Madagascar " du volume IV "Afrique", du "Lexique stratigraphique international". Nous avons également utilisé les travaux de J.GUIGUES (1949-51), L.LAPLAINE (1949-51), R.LAUTEL (1950-51) et GUYONNAUD (1950).

Dans les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA, les roches-mères sont généralement recouvertes par une couverture d'altération latéritique très épaisse qui gêne les observations et la séparation des terrains cristallins.

La carte Ac 3, tirée de la carte de Madagascar en 10 feuilles, présente l'esquisse géologique des bassins.

La classification que nous adopterons est celle qui a été établie par H. BESAIRIE à partir des régions Sud de Madagascar où les recouvrements superficiels et la latérite sont inexistantes.

Nous distinguerons :

- le socle cristallin
- les roches volcaniques
- les terrains sédimentaires

- Socle cristallin :

L'ensemble des bassins est constitué, à la base,

par des roches cristallines anciennes du système du graphite, d'orogénèse précambrienne. Les mesures d'âge, par la méthode du plomb complète (A.HOLMES, H. BESAIRIE 1954), lui donnent un âge de 2420 à 2600 M.A.

H.BESAIRIE note que " la caractéristique essentielle du système est la présence généralisée de couches à graphite en plus ou moins grande abondance, sauf dans les horizons supérieurs. Suivant les régions, le système montre des intensités de métamorphisme très variées allant du faciès leptynite au faciès micaschiste avec, par endroits, un large développement de migmatites, de zones granitisées à orthite, et de charnockites ".

Ce système intéresse la totalité du bassin de l'IKOPA, le Nord-Ouest et le Sud-Est du bassin de la BETSIBOKA. On rencontre tous les niveaux du métamorphisme allant de la zone de micaschistes inférieurs (à biotite et muscovite) à la zone des gneiss inférieurs (à biotite) en passant par les gneiss supérieurs (à biotite et muscovite). Dans cette région existe, d'après R.LAUTEL, un vaste ensemble migmatique et granitique dans lequel on peut séparer et définir des types précis qui présentent toutefois de multiples variations latérales dont les limites sont indécises. Ces types peuvent s'ordonner en série continue depuis de vraies migmatites jusqu'à des roches à caractère très granitique.

Le plateau du FAMOIZANKOVA, le tampoketsa de FENOARIVO et d'ANKAZOBE, et leurs prolongements vers le Nord dans le bassin de la BETSIBOKA (ANGODONA, Massif d'ANTSOFINOMBY), la falaise de l'ANGAVO, les massifs de BEVILANY et de l'AMBOHIMIRINGY, soit à peu près la moitié de la surface des bassins étudiés, sont constitués par des migmatites granitoïdes, roche dont les caractéristiques la situent entre les migmatites et les granites. Ces roches montrent, d'après R. LAUTEL, des affleurements avec une foliation extrêmement nette. Le caractère migmatique de bandes alternées a disparu pour faire place à une homogénéité de ce que l'on est convenu d'appeler l'apport et la trame et, seule, l'orientation subsiste du caractère cristallophyllien originel. Au milieu de ces migmatites granitoïdes,

apparaissent des granites présentant une foliation beaucoup moins marquée. Ce ne sont pas des granites classiques à structure grenue, mais à structure orientée qu'on appelle granites migmatitiques.

Dans la zone étudiée, il y a toujours association en proportions diverses de migmatites granitoïdes et de granites migmatitiques. Ces roches proviennent de l'envahissement du système du graphite par une migmatisation et une granitisation récentes.

Le faciès malgachitique se rencontre fréquemment, montrant des bancs de roches rubanées à allure gneissique, avec des zones pegmatitiques non orientées et des amas parfois importants à contours diffus à caractère granitique très peu orienté.

Au Nord et au Sud d'ANJOZOROBE et dans la région de CARION, sur la route de TAMATAVE, se trouvent d'importants affleurements de granite porphyroïde à biotite et amphibole.

Des massifs batholitiques intrusifs discordants constitués par du granite homogène, de grain moyen, un peu folié, s'altérant typiquement en boules, se rencontrent en différents points des bassins. Ce sont les massifs du VOHOMBOHITRA, du TSIMBOLOVOLO et d'AMBATOMASINA au Nord des tampoketsa de FENOARIVO et du FAMOIZANKOVA, le casque de BEHENJY au Sud de TANANARIVE et le massif de l'ANTSAHABE en bordure Sud du tampoketsa KAMOREEN.

Les zones que nous venons de citer, fortement migmatisées et granitisées, présentent des enclaves de migmatites qui constituent le plus souvent la couverture des granites migmatitiques et des migmatites granitoïdes. Il s'agit en général d'embranchés à biotite et magnétite, de diadysites, de migmatites schisteuses ou rubanées. Les différents faciès forment un ensemble dans lequel il est impossible de tracer des limites, l'hétérogénéité

étant trop grande et les successions classiques ne se retrouvant pas toujours telles qu'elles ont été établies dans le massif central français.

Un ensemble de gneiss et de micaschiste portant, dans la classification zonéographique de H. BESAIRIE, le nom de groupe d'AMBATOLAMPY, se rencontre en zone d'assez faible étendue au Nord-Ouest de TANANARIVE, près de RANOMAFANA sur l'IKOPA, et dans la région KIANGARA-ANDRIBA, à la limite des bassins IKOPA-BETSIBOKA. C'est une série gneissicomicaschisteuse à graphite, avec bancs de quartzites et, surtout à la base, des gneiss à pyroxène et minéraux calciques.

Un autre groupe, de la même classification, le groupe d'ANDRIBA, se rencontre dans le Nord du bassin de l'IKOPA sur une bande de 15 km de large en moyenne, limitée au Sud à la hauteur du confluent de l'IKOPA et du MANANKAZO et traversant la BETSIBOKA et l'ISINKO au Nord. Un autre affleurement important se trouve, entre le tampoketsa de FENOARIVO et le FAMOIZANKOVA, dans la vallée de l'ISANDRANO.

Cette formation décrite par G. GUYONNAUD (1951) correspond à la partie non graphiteuse du système du graphite. Ce groupe montre une belle succession stratigraphique et zonéographique, avec un très important développement de granites stratoïdes. On trouve à la base une série inférieure comprenant des gneiss à biotite et amphibole avec, accessoirement muscovite, sillimanite, grenat et, très secondairement, graphite. La série moyenne montre des gneiss à biotite dominante et muscovite, des gneiss à pyroxène, grenat, amphibole et des quartzites à sillimanite ou épidote. Enfin, la série supérieure est constituée de gneiss à muscovite dominante avec ou sans sillimanite, de gneiss à pyroxène et épidote et, au sommet, un horizon à nodules de fibrolite.

La partie supérieure du vieux précambrien malgache, ou système du VOHIBORY, apparaît dans la presque totalité du cours moyen de la BETSIBOKA.

D'après H. BESAIRIE, le "système du VOHIBORY était initialement constitué par des roches sédimentaires mais aussi par des roches éruptives basiques, en particulier par des épanchements et des sills. Il se montre, actuellement, avec une grande abondance de faciès amphiboliques qui constituent sa caractéristique essentielle et dont certains résultent d'une orthogneissification des vieux épanchements. Mais le problème se complique, car le système a été envahi ultérieurement, avec des intensités variables, par d'autres venues de roches éruptives basiques et ultra-basiques reprises par un nouveau métamorphisme. Et ces intrusions traversent aussi le système du Graphite qui, par endroits, prend ainsi un faciès VOHIBORY".

Nous distinguerons, avec R. LAUTEL, une série à amphibole et une série de MAEVATANANA.

"La série à amphibole est très largement répartie sur les deux rives de la BETSIBOKA, formant un couloir de 30 à 40 km de large qui s'évase sur la limite Nord jusqu'à atteindre 70 km. Une montée granitique l'interrompt au Sud avec les massifs de l'AMBATOMALAZA et du VOHILANA tandis que le VOHOMBOHITRA et son cortège de migmatites forment une seconde barrière plus au Nord. On retrouve la série à amphibole sous forme de septas dans les migmatites. La BETSIBOKA a creusé son lit dans ces roches amphiboliques schisteuses et friables, plus facilement attaquées que les migmatites ou les granites".

D'après H. BESAIRIE, la série à amphibole ou groupe de BEFORONA est effondrée au milieu des migmatites du système du Graphite. Le faciès est toujours nettement amphibolique avec gneiss à amphibole et biotite, amphiboloschistes, amphibolites, migmatites à amphibole, parfois à épidote.

Dans cette région de la moyenne BETSIBOKA, le groupe de BEFORONA renferme un vaste champ pegmatitique à beryl et niobotantalates.

Au Nord du VOHOMBOHITRA, nous trouvons une série d'affleurements de gabbros orientés grossièrement Nord-Sud et qui font partie du complexe basique métamorphique d'ANDRIAMENA, entité géologique remarquable identifiée et séparée du groupe de BEFORONA par P. GIRAUD (1958).

H.BESAIRIE note qu'il s'agit là d'un ensemble de vieilles roches basiques filoniennes ou massives, diorites, gabbros, norites, pyroxénolites, reprises dans un nouveau cycle de métamorphisme dont la limite supérieure peut être fixée à 1890 millions d'années.

Le groupe de MAEVATANANA n'intéresse qu'une très faible partie des bassins. Il correspond à un ensemble de faciès dominant de schistes verts, superposés au groupe de BEFORONA. Les roches les plus caractéristiques sont des amphibolites à trémolite-actinote, intimement associés à des chloritoschistes avec talcschistes et à des quartzites à magnétite cummingtonite (H.BESAIRIE).

En résumé, le socle cristallin est composé de roches granitiques ou migmatitiques sur la totalité du bassin de l'IKOPA et micaschisteuses et amphibolitiques sur la majeure partie du bassin de la BETSIBOKA.

Toutes ces roches sont imperméables en dessous d'une zone d'albération importante. La capacité de rétention de cette couche est assez grande et, bien que le bassin soit privé de pluies pendant six mois de l'année, on n'observe jamais de rivière à sec en fin de saison sèche.

Il faut noter que les produits de décomposition des roches granitiques ou migmatitiques ont une meilleure cohésion que ceux provenant des micaschistes et des amphiboles qui sont beaucoup plus friables et érodables. Ceci explique la fréquence beaucoup plus grande des phénomènes d'érosion accélérée et leur activité sur le bassin de la BETSIBOKA.

Les recouvrements latéritiques sont le plus sou-

vent inexistants sur les sommets où la roche-mère est mise à nue et s'écaille par plaques.

- Roches volcaniques :

Le Sud du bassin de l'IKOPA est occupé par les coulées de l'ANKARATRA. La remarquable fraîcheur des cônes volcaniques, particulièrement dans la région de l'ITASY et de BETAFO, indique un âge très récent (fin pleistocène à quaternaire). D'après C. ALSAC, l'histoire de la formation de ce massif serait la suivante:

1) Emission de laves leucocrates (rhyolites, trachytes, phonolites) sur lesquelles se sont déposés les premiers sédiments d'âge pliocène.

2) Vastes épanchements de basaltes et andésites. Les sédiments lacustres continuent à se déposer dans les zones basses (Pliocène supérieur).

3) Très importantes venues d'Ankaratrites, recouvrant les basaltes dans le centre du massif de l'ANKARATRA. Ces coulées se sont écoulées vers le Nord jusque sur les gneiss.

4) Dernières éruptions localisées dans le Sud du massif (ANTSIRABE, BETAFO) : basanites et basanitoïdes.

Les éruptions intéressant le bassin de l'IKOPA sont les ankaratrites qui recouvrent la plus grande surface jusqu'à ARIVONIMAMO et IMERINTSIATOSIKA. Ce sont des roches noires où se distinguent des grains d'olivine.

Un deuxième affleurement basanitique est situé au Nord des bassins dans le Tampoketsa KAMOREEN. Il s'agit d'épanchements de basaltes et de sakalavites dont l'épaisseur atteint 200 mètres et datant du crétacé supérieur.

La décomposition des roches volcaniques donne des sols rouges ferrallitiques jusqu'à 1800 m d'altitude environ. L'infiltration est faible comme sur la latérite provenant des granites ou des micaschistes. Au-dessus de 1800 m les sols sont bruns et beaucoup plus perméables. Cette zone n'intéresse que très faiblement le Sud du bassin.

- Terrains sédimentaires :

On les trouve dans les grandes plaines du Nord des bassins : BETSIMITATATRA, ANTANETIBE, ANJOZOROBE, AMBOHIBARY, confluent MANANTA-LAKAZANA. On peut distinguer les alluvions anciennes et les alluvions récentes.

Les premières se trouvent dans toutes les plaines alluviales sous forme de petites terrasses, témoins de l'ancien niveau. Elles sont de couleur brun-gris à beige, limono-argileuses, très micacées, légèrement humifères avec souvent une couche sableuse en surface.

Les secondes sont constituées par les alluvions actuelles des différentes rivières. Ce sont des terres limoneuses à sable fin, très micacées, pauvres en matières organiques. On les désigne sous le terme de "baiboho" et elles conviennent parfaitement à la culture du riz. Leur immersion périodique par les débordements des rivières les transforme par endroits en sols noirs.

Ces alluvions récentes, dans les zones les plus basses, peuvent être recouvertes par des apports massifs d'éléments sableux provenant du lessivage des terrains s'écoulant des lavakas. Ce phénomène est particulièrement sensible dans la plaine d'ANTANETIBE.

Les coupes géologiques en travers du bassin sont données sur le croquis Ap.1. La légende donne la classification du socle cristallin d'après H. BESAIRIE et la stratigraphie des formations récentes.

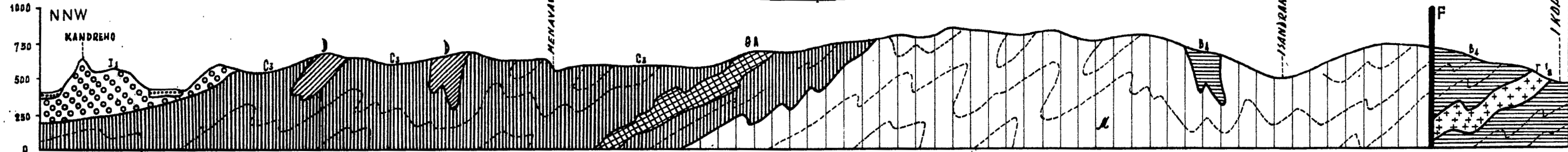
**_ COUPES GÉOLOGIQUES
_ CLASSIFICATION DU SOCLE CRISTALLIN
_ STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS RÉCENTES**

Ap-1

Coupe NNW-SSE par KANDREHO TSARAMASOANORO

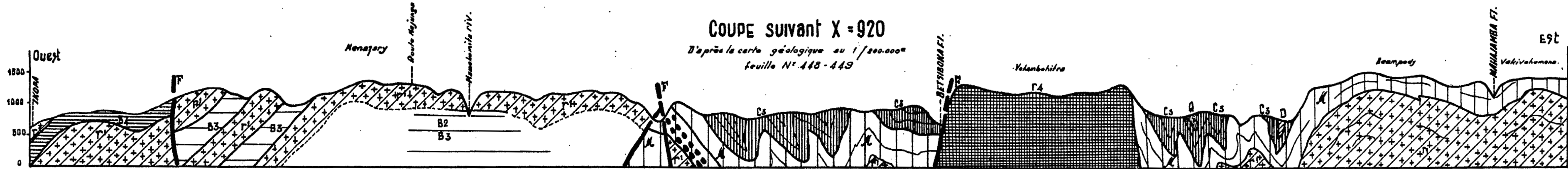
(Arrêtée à l'IKOPÀ)

(D'après la carte géologique au 1/500.000^e Feuille N°4)

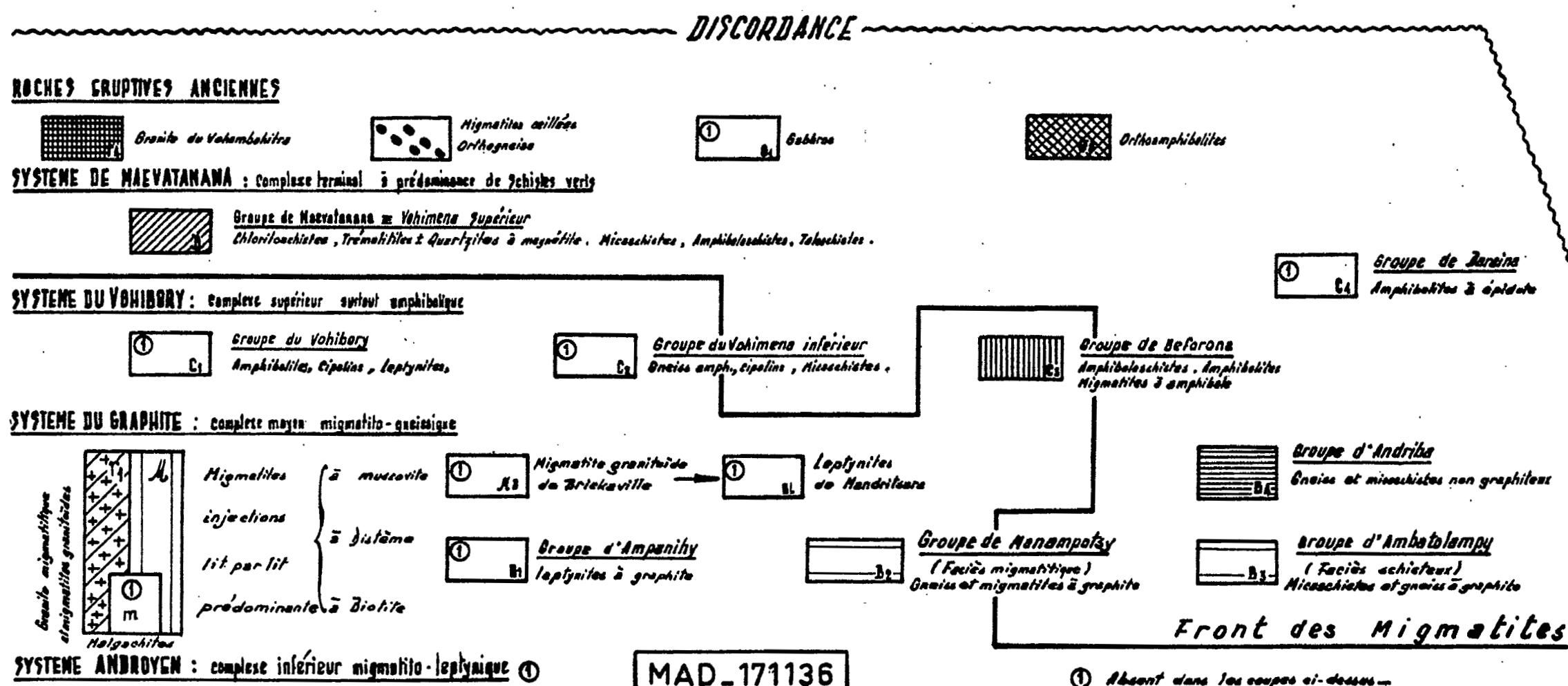


COUPE suivant X=920

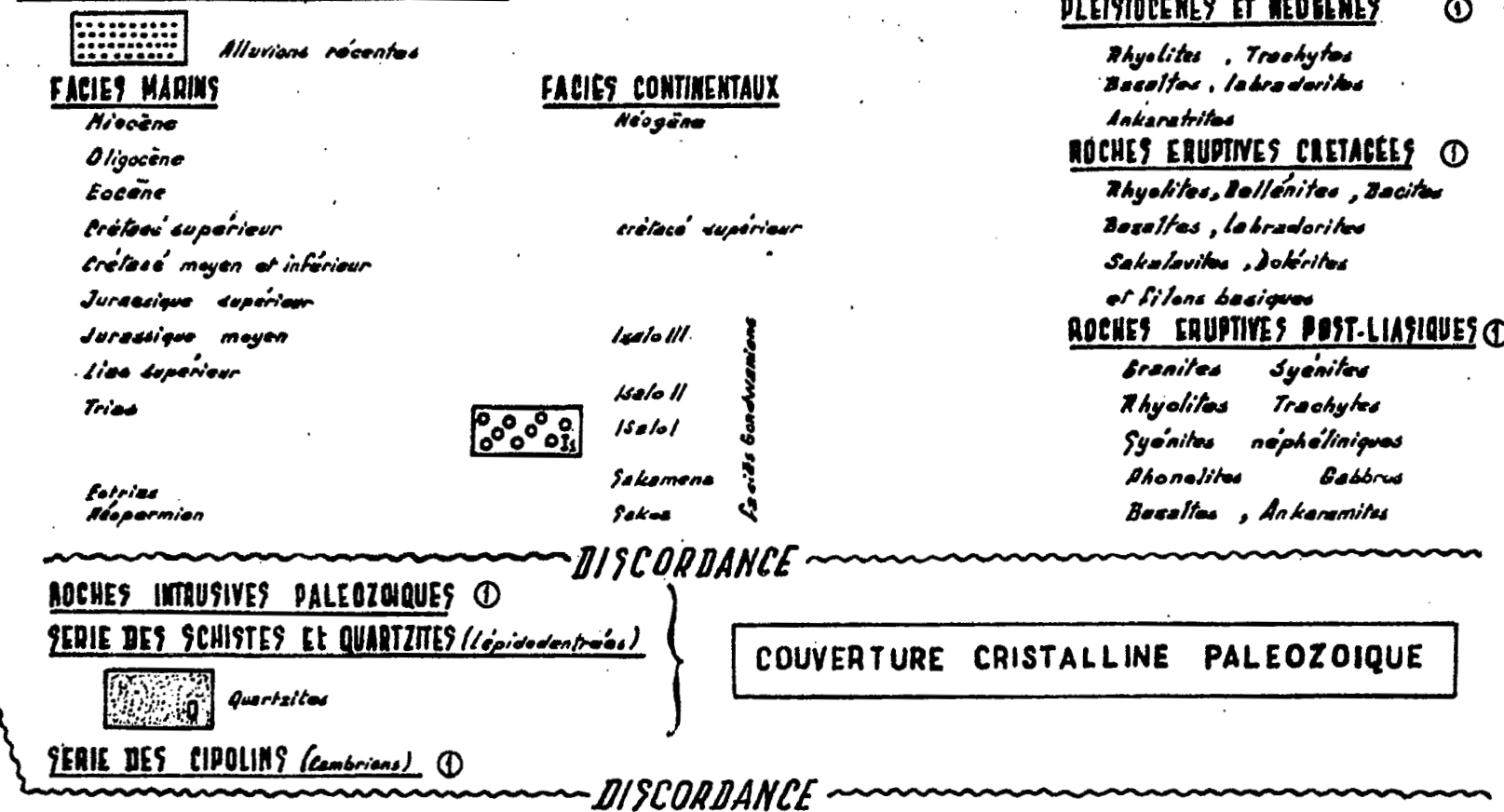
(D'après la carte géologique au 1/500.000^e Feuille N° 448-449)



SOCLE PRECAMBRIEN
Systèmes, Subdivisions, Zonéographies
et évolution du Front des Migmatites



TERRAINS SEDIMENTAIRES



① Absent dans les coupes ci-dessus

D'après la carte géologique de Madagascar au 1/1.000.000^e (1951)

MAD_171136

Cette carte est la propriété de l'Institut National de Recherche Scientifique
Pour A0 et A1 ABENPPTILXNDZVWXY
Pour A2 A3 A4 ABENPPTILXNDZVWXY



Du point de vue hydrologique, nous retiendrons de cette étude que l'ensemble du bassin est situé sur des roches imperméables en profondeur, recouvertes d'une épaisse couche d'altération qui régit les phénomènes de ruissellement.

Il y a peu de zones absolument imperméables, aucune perméable en grand. On peut donc s'attendre à des rendements hydrologiques importants.

I. 4 - LE SOL, APERCU PEDOLOGIQUE (Voir carte Ac.4)

L'étude géologique a montré qu'il existait sur le bassin de l'IKOPA et de la BETSIBOKA trois formations principales : le socle cristallin granitique et gneissique, les roches volcaniques et les terrains sédimentaires récents. Ceci entraîne, du point de vue pédologique, la distinction des trois grands types de sols suivants : sols ferrallitiques et faiblement ferrallitiques sur granites et gneiss, sols bruns, jaunes et noirs ferrallitiques sur basaltes et les sols alluviaux ou d'érosion peu évolués (d'après la classification génétique française de G.AUBERT).

A) Sols rouges ferrallitiques sur granites et gneiss-

Les sols latéritiques ou ferrallitiques sont les plus nombreux. On les trouve sur la presque totalité des bassins. Ils proviennent de la décomposition des roches du socle cristallin sous l'action des différents facteurs et plus particulièrement du climat. J. RIQUIER estime que la formation des sols latéritiques, dont l'épaisseur peut dépasser 80 m, date, approximativement, de l'époque tertiaire. G.GUYONNAUD cite des épaisseurs de 40 m dans la région d'ANDRIBA et de 50 m dans le massif de l'ANTSOFINOMBY.

La couleur des horizons des sols ferrallitiques dépend essentiellement de la nature de la roche-mère : sur les roches riches en amphiboles et pyroxène, on observe des sols de couleur brun foncé à rouge. Les sols sur granite (migmatites) ont un horizon supérieur rouge clair, la zone

de départ sous-jacente étant le plus souvent blanchâtre. En plus de leur couleur, ces sols sont caractérisés par leur teneur élevée en fer et en alumine, leur faible capacité d'échange, leur faible teneur en bases, leur pH bas.

Nous distinguons avec J. RIQUIER (1) les groupes suivants :

1) - sols ferrallitiques forestiers de l'Est situés dans la zone forestière de l'ANGAVO. La présence de la forêt et la forte pluviosité créent un horizon humifère superficiel, un horizon jaune de 10 à 20 cm sous-jacent, un horizon rouge de 1 à 2 m, une zone de départ épaisse et profondément lessivée en silice et un peu en fer. Ces sols sont plus meubles en surface (à cause de la matière organique et de la faune terrestre), mieux alimentés en eau, donc propices à la culture pendant un an ou deux après la déforestation.

2) - sols ferrallitiques de Savoka ou forêt dégradée -

Ils se trouvent dans la région de MANTASOA et en bordure de la forêt orientale.

Le sol possède en surface un humus très noir et très évolué assez épais , un horizon jaune sous-jacent. Dans ces deux horizons souvent colluvionnés, on trouve des concrétions latéritiques ou plus souvent des pseudo-concrétions : blocs de roches altérés en gibbsite, et enveloppés d'une pellicule ferrugineuse. Le sous-sol est toujours constitué d'un horizon rouge et d'une zone d'altération blanchâtre avant la roche-mère.

3) - sols ferrallitiques de prairies

C'est le groupe couvrant la presque totalité de la surface. Un horizon humifère extrêmement mince presque inexistant recouvre l'horizon rouge latéritique. L'érosion est très active.

(1) RIQUIER et MOUREAUX - Les sols Malgaches, pédologie et types principaux - C.R. du 3^e Congrès de la PIOASA.

Deux sortes de prairies peuvent être distinguées: une pseudo-steppe à *Aristida* à l'Est et une prairie d'herbes plus hautes (*Hypparhenia*) à l'Ouest correspondant à une plus longue saison sèche dans cette dernière zone. Les sols sont légèrement plus riches et plus humifères en surface.

Des familles ont été distinguées d'après la roche-mère.

a) - sols ferrallitiques brun rouges sur roches basiques: basaltes, gabbro, amphibolite.

Ces sols sont très riches en fer d'où une teinte rouge foncé, des zones d'altération peu épaisses, une structure meilleure, une déficience en potasse échangeable et, souvent, des concrétions latéritiques.

b) - sols ferrallitiques sur roches acides : granite, gneiss, migmatite.

Sur granite : sol très peu épais, 1 m environ, humifère, sous-sol de couleur claire.

Sur migmatite : sol très profond, la zone d'altération rubanée qui a conservé la structure feuilletée de la roche est très épaisse : 5 à 20 m.

4)- les sols ferrallitiques à cuirasse et concrétions que l'on trouve sur les tampoketsa d'ANKAZOBE et FENOARIVO et du KAMORO. Ces cuirasses sont actuelles ou fossiles mais toujours dues à un mauvais drainage de surface plane. Ces cuirasses et concrétions sont assez rares, les surfaces subhorizontales indispensables à leur formation étant peu développées (10 km² environ sur le tampoketsa d'ANKAZOBE, 2 km² sur celui de FENOARIVO, et environ 1 km² sur le tampoketsa KAMOREEN).

La composition de ces sols est la suivante:

environ 35 à 40 % d'alumine, 10 à 15 % de silice sous forme de grains de quartz libre en majeure partie, 20 à 30 % d'oxyde de fer et divers autres oxydes en faible quantité.

5) - Sols faiblement ferrallitiques -

On les trouve principalement au Nord des bassins, dans les collines de la région de MAEVATANANA . Ce sont des sols peu épais : 0,5 à 2 m, rouges, à minéraux peu altérés, très peu humifères et à zone d'altération réduite. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est très proche de 2.

Les morceaux de quartz de toutes tailles se trouvant en très grand nombre à la surface du sol sont une preuve de l'importance de l'érosion.

B) Sols bruns jaunes humifères (sur vieux basalte ou vieilles cendres volcaniques)

Horizon supérieur humifère très noir en général et assez épais, reposant sur un horizon brun à jaune très argileux et compact mais léger et poreux. C'est un terme de passage au sol Ando. Ils sont ferrallitiques par leur bas rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et leur teneur en gibbsite.

C) Sols bruns à noirs sur basaltes -

Ce sont les "Ando Soils". Très humifères, très noirs, ils se différencient des autres sols ferrallitiques par leur couleur et leur teneur en matière organique. Par contre, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est en général inférieur à 2 et ils contiennent du fer et de l'alumine libre.

D) Sols d'alluvions -

On distingue :

1°/ - les sols hydromorphes

Ce sont les sols qui occupent toutes les vallées et plaines des hauts-plateaux. Le drainage est toujours gêné, d'où une série de sols depuis l'alluvion non évoluée jusqu'au sol des marais tourbeux. On distingue:

Groupe à engorgement temporaire :

a) - Sols tachetés : faible horizon organique en surface et sous-sols à taches rouilles.

Groupe à engorgement total :

b) - Sols de tany manga : semblable aux précédents mais en dessous des taches rouilles horizon compact, gris bleu ou horizon de gley.

c) - Sols marécageux : hydromorphie encore plus poussée, la matière organique mal décomposée s'accumule en surface.

d) - Sols tourbeux : horizon organique épais reposant sur argile grise ou bleubée compacte (blanche lorsqu'elle est sèche car la déferrification est totale).

Tous ces sols sont utilisables en rizières lorsqu'on est maître de l'eau.

2°/ - Les sols jeunes non évolués que l'on trouve dans les vallées des hauts-plateaux.

Les alluvions qui les composent proviennent directement de l'érosion des sols latéritiques. Ils sont plutôt roses avec des minéraux peu altérés provenant des fonds de lavaka. Ils sont relativement riches si le sable n'est pas trop abondant.

E) - Sols colluviaux -

Nous citerons à part le type de sol suivant, bien qu'il fasse partie des sols ferrallitiques.

On rencontre souvent sur les collines un sol rouge reposant, par l'intermédiaire d'un lit de cailloux ou de galets, sur un sol provenant de l'altération de la roche en place. J. RIQUIER les désigne sous le terme de sols à "stone line". Il y a parfois plusieurs lits de cailloux, en général quartzeux. Ce sont des alluvions ou des colluvions qui se sont déposés à la suite d'un remaniement superficiel plus récent.

Ces sols s'étant déposés souvent dans des

dépressions préexistantes sont plus humides, et, bien qu'aussi pauvres que les sols de tanety, sont préférés pour la culture.

F) - Sols d'érosion et de colluvion, caillouteux et rocheux

Ce sont surtout des éboulis rocheux et caillouteux mélangés de sable gris ou blanc feldspathique ou d'horizon rougeâtre colluvionné. Pas de profil pédologique. En général les roches et les cailloux sont déjà plus ou moins altérés.

G) - Sols humifères peu évolués sous forêt ombrophile

Horizon supérieur et matière organique peu humifiée reposant sur un terrain humifère peu épais, horizon jaunâtre de transition avant la zone d'altération de la roche blanchâtre ou rubanée à minéraux encore visibles. Ces profils sont peu épais mais les variations d'épaisseur sont très rapides et la roche affleure très souvent en surface.

H) - Sols squelettiques et rankers sur granite --

Gros rochers apparents en boules éparses à la surface du sol. Sols humifères et tourbeux directement sur la roche ou horizon humifère reposant sur une arène blanchâtre feldspathique. Enfin parfois, mince couche de sol rouge ferrallitique colluvionné sur la roche saine.

Tous ces sols ont une tendance sableuse très marquée.

Nous donnons ci-après la description de différents types de sols avec quelques analyses tirés de "Profils types de sols Malgaches " J.HERVIEU (1961).

- Sols ferrallitiques forestiers de l'Est :

L'exemple choisi a été prélevé dans le district de MORAMANGA du Sud de PERINET par J. HERVIEU, sur un sol forestier sur migmatites. Les conditions géologiques, topographiques et climatiques sont analogues à celles existant en bordure Est des bassins versants.

Climat : Humide avec un peu ou pas de déficience en eau en hiver, à perhumide.
Unité géomorphologique : reliefs polyédriques du versant oriental.
Roche-mère : migmatite
Topographie : pentes fortes voisines de 35 à 40 °
Végétation : Forêt dense ombrophile.

PROFIL (n° 8 A)

- 0 - 20 cm : Litière de débris végétaux plus ou moins décomposés, brun noirâtre, légèrement spongieuse, à faible densité.
20 - 45 cm : Horizon jaune ocre clair, argilo-sableux, à structure faiblement nuciforme, avec migration d'humus sur le trajet des racines. Cohésion moyenne, enracinement encore important.
45 - 120 cm : Horizon rouge violacé avec débris aluminosilicatés à structure poreuse cloisonnée (structure "en pain d'épices") Argileux à structure pyrolédrique faiblement développée, moyennement plastique, enracinement faible.
+ 1 m 20 : Sur plusieurs mètres, masse rose et blanchâtre à structure rubanée avec minéraux primaires altérés ayant conservé leur forme (en particulier feldspaths altérés " en neige ") Gravillons quartziques.

Ensemble peu cohérent à toucher onctueux
(mica abondant).

COMMENTAIRE

- La réaction du sol est fortement acide dans les horizons supérieurs du profil, moyennement acide dans l'horizon de départ.

- La texture est en moyenne argilo-sableuse avec un maximum du taux d'argile dans l'horizon rubéfié (lessivage oblique des horizons supérieurs). Les teneurs en sable grossier sont fréquemment plus élevés dans les horizons de surface, mais le pourcentage d'humus est plutôt faible.

- Complexe absorbant à faible capacité d'échange et à faible pourcentage de saturation, peu de bases échangeables. Rapport silice/alumine dans le sol en général inférieur à 2.

- Fraction argileuse à forte proportion d'hydroxydes de fer et d'alumine (goethite et gibbsite en particulier) avec un peu de kaolinite.

La couleur de l'horizon jaune ne semble pas pouvoir être rapportée dans tous les cas au lessivage du fer, mais plutôt à une action de l'humus sur les composés du fer.

Sols ferrallitiques de Savoka :

Nous prendrons comme exemple un échantillon prélevé par D. RAKOTOMIRAHO à 5 km à l'Est du village de MANDANIOATRY.

Climat	: Humide avec peu de déficience en eau en hiver.
Roche-mère	: migmatite schisteuse
Topographie	: pentes fortes à moyennes
Végétation	: Savoka à phillipia, ampanga et arbustes divers.

PROFIL (n° TD 13)

- 0 - 20 cm : Brun jaune texture sablo-argileuse, structure particulaire, consistance moyenne avec enracinement important.
- 20 - 40 cm : Horizon brun jaune rougeâtre, enracinement assez important.
- 40 - 90 cm : Horizon rouge à structure particulaire argilo-sableuse avec enracinement rare.
- 90 cm : Horizon rouge jaune puis rouge, de texture argileuse avec peu de sable, structure compacte et consistance plastique enracinement nul.

- Sols ferrallitiques de prairie :

Prélèvement effectué au Nord-Ouest de SOANIVINARIVO (ANJOZOROBE) par RATASILAHY.

Roche-mère : migmatite granitoïde
Végétation : prairie à orona

PROFIL(n° 54)

- 0 - 10 cm : rouge pâle, nuciforme limono-sableux, cohésion assez forte, enracinement assez important.
- 10 - 70 cm : rouge, nuciforme limoneux sableux, cohésion assez forte.
- 70 - 120 cm : rouge foncé nettement structuré, nuciforme, très rares racines, sable micacé, cohésion assez faible.

- Sols ferrallitiques concrétionnés :

Emplacement : District d'ANKAZOBE, plateau situé au Nord d'ANKAZOBE (tampoketsa).

Prospecteurs : J. RIQUIER, J. HERVIEU, P. MAIGRE
Climat : Humide avec un peu ou pas de déficience en eau en hiver.
Unité géomorphologique : Pénéplaine ancienne.
Roche-mère : Granite stratoïde
Topographie : Niveau supérieur du plateau.
Formation végétale : Prairie à Aristida similis et Trichopteris.

PROFIL (n° 14 B)

0 - 55 cm : Horizon formé de pisolithes de quelques cm de diamètre, parfois agglomérés en cuirasse (localement couche humifère de 15 cm).
0,55 m - 3,90 m : zone bariolée, jaune rouge avec taches violacées ou rouge brique plus ou moins durcies et de plus en plus nombreuses en profondeur.
+ 3,50 m : Argile blanchâtre à taches violacées, à consistance plus molle.

Les pisolithes, à pellicules ferrugineuses jaune rouille, ont une cassure rouge violacée et contiennent des grains de quartz argileux. Les taches des horizons profonds durcissent fortement à l'air.

La nappe phréatique au centre du plateau oscille entre la cote - 4,50 m en saison sèche et - 0, 50 m en saison des pluies.

COMMENTAIRE.

- La réaction du sol est faiblement acide
- la matière organique est peu importante
- la capacité d'échange du complexe absorbant est faible et le déficit de saturation élevé.
- Le rapport silice/alumine est bas dans les horizons supérieurs mais augmente en profondeur dans la zone blanche.
- Le sol et les concrétions sont riches en oxyde d'aluminium.

Localement, il peut y avoir concentration mécanique des pisolithes ressoudés plus ou moins par des solutions ferrugineuses. Il y a plutôt un léger lessivage du fer en surface, car en saison sèche les remontées capillaires ne se produisent pas, par suite de la trop grande profondeur de la nappe phréatique.

En surface, les concrétions peuvent former 60% de la masse totale de l'horizon, la terre intermédiaire étant appauvrie en éléments fins. En profondeur, la texture est à dominance sablo-argileuse à argilo-sableuse.

- Sols faiblement ferrallitiques :

L'exemple choisi provient d'un sol rouge sur gneiss prélevé au km 292 de la route nationale n° 4 par C. MOUREAUX.

J. HERVIEU donne les précisions suivantes:

Climat : Humide à légère déficience en eau en hiver

Unité géomorphologique : Basse surface d'aplanissement érodée

Roche-mère : Roche cristalline acide à faciès gneissique ou granitoïde.

Topographie : collines chaotiques

Formation Végétale : Prairie à Aristida.

PROFIL (n° 7 - A)

Forte érosion en nappe en surface.

- | | | | |
|---|---|-----|---|
| 0 | - | 2 m | : Rouge, argilo-limoneux, compact. Rares micas très altérés. |
| 2 | - | 3 m | : Rouge pâle à jaune ocre. La texture devient progressivement plus sableuse, quartzique avec micas altérés. |
| 3 | - | 4 m | : Beige, blanchâtre, friable, à sable grossier abondant (arène) à structure lithologique encore visible. Felfspaths altérés " en neige ", micas en altération. |

4 - 5 m : Blanchâtres à veinules rouille , quartz intact. Minéraux ferromagnésiens peu altérés.
La roche-mère est une migmatite à biotite

COMMENTAIRE

- Réaction du sol faiblement acide.
Grande pauvreté en matière organique à cause de l'érosion.
- Capacité d'échange du complexe peu élevé et pourcentage de saturation plutôt faible. Les bases échangeables augmentent dans la zone de départ.
- Réserves minérales moyennes à bonnes.
- Le rapport silice/alumine ne descend pas au-dessous de 1,4 dans le sol et devient supérieur à 2 dans les horizons profonds.
- La fraction argileuse est à dominance kaolinique avec peu ou pas d'alumine.
- L'altération au niveau de la roche libre surtout des hydroxydes de fer.
- Sols rouges sur basalte :

Emplacement : District d'ARIVONIMAMO, plateau TSIMAKABEOMBY, au Sud d'IMERINTSIATO... SIKA .
Prospecteur : P. SEGALEN
Climat : Humide avec un peu de déficience en eau en hiver.
Unité géomorphologique : Massif volcanique quaternaire de l'ANKARATRA.
Roche-mère : Basalte
Topographie : Plateau.
Formation végétale : prairie à Aristida similis
PROFIL (n° 9 - C)

0 - 30 cm : Horizon rouge foncé, limoneux argileux, avec quelques racines fines donnant de la cohésion au sol, structure grumeleuse assez fine.
30 - 85 cm : Horizon rouge foncé, structure massive à polyédrique, quelques concrétions.
85 - 150 cm : Horizon identique au précédent sans concrétions.

- 1,50 m - 1,80 m : Horizon rouge devenant grisâtre (transition).
1,80 m - 2 m : Horizon gris, argileux, mais assez peu cohérent.
2,10 m - 3 m : Roche altérée grise. avec, par endroits, des boules de basalte s'altérant par écailles.

COMMENTAIRE

- Réaction du sol faiblement à moyennement acide.
- Texture à dominance argilo-limoneuse.
- Teneurs en matière organique assez élevées (4 à 7%) dans l'horizon de surface.
- Capacité d'échange du complexe absorbant faible et peu de bases échangeables.
Réserves minérales moyennes à bonnes (acide phosphorique).
- Rapport silice/alumine très bas dans tout le profil.
- La fraction argileuse contient de la kaolinite plus ou moins hydratée (métahalloysite) à la base du profil.
- Dans les horizons supérieurs, ce minéral kaolinique est peu à peu remplacé par de la gibbsite qui devient nettement prépondérante, accompagnée de goethite en profondeur, d'hématite en surface.

- Sols ferrallitiques humifères -
- Sol noir ou " ando "

Emplacement : District d' AMBATOLAMPY, route du col de MAHAFOMPONA dans l'ANKARATRA.
Prospecteur : P. SEGALLEN
Climat : Humide d'altitude.
Unité géomorphologique : Massif volcanique de l'ANKARATRA (quaternaire).
Roche-mère : Ankaratrite
Topographie : Pente faible
Formation végétale : Prairie à Pentastichys Perrieri avec quelques Phillipia et Helichrysum.

PROFIL (n° 11 - B)

0	-	25 cm	: Horizon noir, tachant les doigts, limoneux à structure grumeleuse fine.
25	-	40 cm	: Horizon brun foncé, limoneux avec quelques fentes verticales assez espacées, à structure grumeleuse à nuciforme.
40	-	50 cm	: Horizon brun clair avec encore quelques fentes verticales.
50	-	70 cm	: Gris avec des taches blanches, argileux, plastique.
	+	70 cm	: Fragments d'Ankaratrite altérée.

COMMENTAIRE

- La réaction du sol est moyennement acide à faiblement acide en profondeur.

- La texture est à dominante limono-argileuse, avec augmentation du taux d'argile (jusqu'à 30%) avec la profondeur.

- Les teneurs en matière organiques sont très élevées (plus de 25 % en surface) et gardent des valeurs notables dans tout le profil.

- L'humidification est bonne et le rapport C/N élevé en surface (18 à 23) s'abaisse jusqu'à 10 en profondeur.

- La capacité d'échange du complexe absorbant est très élevée (40 à 70 méq/100 gr) mais le degré de saturation est très bas.

- Le rapport silice/alumine est compris entre 1,0 et 1,5, mais peut atteindre des valeurs voisines de 2 en surface.

- La fraction argileuse renferme de la kaolinite , de la Gibbsite et des hydroxydes de fer.

- Sols hydromorphes :

- à tendance tourbeuse

Emplacement : District de MANJAKANDRIANA canton d'ANKAZONDANDY.

Prospecteur : R. DIDIER de SAINT AMAND
Climat : Humide avec peu ou pas de déficience en eau en hiver.
Unité géomorphologique : Hauts-Plateaux, reliefs de dénudation intermédiaire avec la zone forestière orientale, à réseau hydrographique assez encaissé.
Topographie : Vallée en submersion permanente.
Formation végétale : Cypéracées diverses.
PROFIL (n° 15 - B)
0 - 60 cm : Horizon gris très foncé, limono argileux, très riche en matière organique peu évoluée, avec débris végétaux presque intacts. Peu ou pas d'éléments sableux. Le lacis des racines forme un ensemble spongieux retenant les éléments du sol qui font pâte avec l'eau, facile à pénétrer.
60 - 120 cm : Horizon brun rouge foncé, riche en racines. Présence de nombreux troncs d'arbres témoignant du fait que la vallée était naguère occupée par une végétation arborée. Granulométrie des éléments minéraux plus grossière qu'en surface.
+ 1,20 m : Sable quartzique, particulière.

COMMENTAIRE

- La réaction du sol est assez acide.
- Les teneurs en matière organique atteignent 30 à 50 % et l'humidification est assez bonne. Le sol est très riche en azote d'où un rapport C/N pas très élevé.
- Le complexe absorbant est faiblement saturé par les calco-alcalins. Les teneurs en acide phosphorique sont faibles.

- ferrallitiques à cuirasse de pente

Emplacement : District d'ARIVONIMAMO, km 20 de la route TANANARIVE-ARIVONIMAMO
Prospecteur : J. RIQUIER
Climat : Humide à faible déficience en eau en hiver.
Unité géomorphologique : Reliefs de dénudation des hauts-plateaux.

Roche-mère : Gneiss
Topographie : Pente moyenne
Formation végétale : Prairie à Aristida.
PROFIL (n° 21 - A)
0 - 50 cm : Horizon brun jaune, humifère.
50 - 70 cm : Jaune à taches rouges.
70 - 90 cm ; Jaune à taches noires et concrétions.
90 - 110 cm : Rouge à taches jaunes et blanches
(zone de saturation constante).

COMMENTAIRE

- Une mare temporaire plus ou moins tourbeuse se trouve à environ 100 m de la cuirasse, dans une dépression du plateau. Il y a entraînement oblique du fer et du manganèse par les solutions humiques. En saison sèche, par suite des variations de la nappe, il y a oxydation et dépôt du fer et du manganèse sous forme de concrétions ou de cuirasse, tandis que les parties constamment saturées d'eau sont blanchies.

- La cuirasse est riche en fer et en manganèse, alors que l'alumine est en quantités à peu près équivalentes dans la cuirasse et le sol adjacent : elle s'est constituée par un réseau noirâtre ou rougeâtre qui enserre dans ses mailles un sol jaune plus ou moins poudreux à l'état sec.

- Les zones blanchies sont appauvries en fer et plus riches en éléments grossiers.

- Dans l'horizon de concrétionnement, les acides fulviques constituent l'essentiel de la matière organique.

- Des bactéries ferrugineuses jouent peut-être un rôle dans l'oxydation.

- Sols jeunes d'origine fluviatile

Emplacement : District d'ARIVONIMAMO, vallée de l'ANDROMBA, aux environs d'AMBOHIMIA-RIVO.
Prospecteur : R. DIDIER de SAINT AMAND

PROFIL (n° 37 - A)

Sous graminées (Pennisetum) et quelques Cypé-
racées.

- 0 - 20 cm : Horizon brun, un peu humifère, limono-
sableux fin, micacé.
20 - 150 cm : Brunâtre, peu humifère, enracinement
moyen à faible. Structure particulière,
limono-argileux, micacé, feuilleté.

COMMENTAIRE

- Texture à dominance limoneuse.
- Teneur en matière organique plutôt faible.
- Complexe absorbant partiellement désaturé,
mais teneurs en bases échangeables, encore assez
bonnes.

Les tableaux suivants donnent les analyses détaillées des principaux types de sols qui viennent d'être décrits.

PROFIL N°8-A. (FERRALLITIQUE TYPIQUE FORESTIER JAUNE/ROUGE SUR MIGMATITE)

Numéro échantillon	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros- sier %	Humidité équivalente
81 - A	0 - 20 cm	5,4	25,9	15,8	17,4	39,0	27,5
82 - A	20 - 45 cm	5,5	34,4	10,1	27,8	26,5	28,0
83 - A	0m45 - Im 20	5,0	36,9	33,3	20,1	8,2	43,0
84 - A	+ Im 30	5,9	20,4	26,7	25,0	27,0	34,5

N° échan- tillon	Matière organique totale o/oo	Humus total o/oo	Acides humiques o/oo	Carbone o/oo	Azote total o/oo	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES					
							Ca O	Mg O	K2 O	T	S	V
							Milliéquivalents pour 100 gr. %					
81 - A	44,7	9,5	2,0	26,0	2,6	9,9	1,3	1,1	0,45	10,9	2,85	26,1
82 - A	14,4	4,2	0,6	8,4	0,95	8,8	0,85	0,7	0,20	5,3	1,70	33,3
83 - A	2,0	-	-	1,2	0,2	5,7	0,45	1,15	0,2	16,0	1,8	11,2
84 - A	-	-	-	-	-	-	1,05	0,5	0,5	-	-	-

N° échan- tillon	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	ELEMENTS TOTAUX			
							Si O2 Al2 O3	Ca O o/oo	K2 O o/oo	P2 O5 o/oo
81 - A	15,3	54,3	9,0	7,2	13,8	0,2	1,1	1,7	0,4	1,75
82 - A	12,9	51,6	14,8	8,0	12,2	0,3	2,0	2,1	0,5	1,5
83 - A	13,9	0,6	24,5	28,8	29,35	1,7	1,48	1,5	0,4	2,4
84 - A	15,1	18,9	18,8	22,8	22,7	1,8	1,41	-	-	-
Pseudo- concrétions	15,9	19,2	-	29,1	35,7	0,7	-	-	-	-

PROFIL N° TD 13 (SOL FERRALLITIQUE DE SAVOKA)

Numéro échantillon	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros- sier %	Humidité équivalente
131	20	5,2	28,25	5,0	22,7	38,0	17,1
132	90	5,2	38,0	4,0	22,4	34,6	13,8
133	90	5,3	38,2	3,85	20,9	36,2	14,2

N° échan- tillon	Matière organique totale o/oo	Humus total o/oo	Car- bone o/oo	Azote total o/oo	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES					V %	P2 O5 assimi- lable o/oo
						Ca O	Mg O	K2 O	T	S		
131	34,4	15,0	20,0	2,51	8,4	1,00	0,04	0,15	7,1	1,31	18,4	0,04
132	11,7	2,2	6,8	0,47	14,4	1,00	0,03	0,15	3,6	1,28	35,5	0,076
133	6,4	1,8	3,7	0,26	14,2	0,70	0,09	0,15	2,85	1,04	36,5	0,020

N° échan- tillon	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinés	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX		
								Ca O o/oo	K2 O o/oo	P2 O5 o/oo
131								2,10	0,216	0,62
132								2,10	0,14	0,69
133								1,96	0,14	0,60

PROFIL N° 54 (SOL FERRALLITIQUE DE PRAIRIE)

Numéro échantillon	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros- sier %	Humidité équivalente
541	10	5,3	23,22	25,51	29,04	14,11	
542	70	5,3	40,10	12,83	32,11	13,22	
543	120	5,2	37,61	26,14	26,04	8,57	

N° échan- tillon	Matière organique totale o/oo	Humus total o/oo	Car- bone o/oo	Azote total o/oo	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES					V %	P2 O5 assi- mila- ble o/oo
						Ca O	Mg O	K2 O	T	S		
541		20,0										
542		4,65				0,13	0,23	0,01	4,4			
543		0,84				0,09	0,17	0,03	10,9			

PROFIL N° 14-B (FERRALLITIQUE A CUIRASSE ET CONCRETIONNEMENT DE NAPPE)

Numéro : échantillon :	Profondeur :	Réaction : pH :	Graviers : %	Argile : %	Limon : %	Sable fin : %	Sable gros : sier %	Humidité : équivalente :
141 - B	0 - 35 cm	6,5	60,0	17,6	3,7	7,8	69,3	13,0
142 - B	1,50 m	6,3	22,0	31,1	7,8	25,1	24,5	26,0
143 - B	4 m	6,0	-	23,7	11,8	23,5	30,6	20,0

N° : échantillon :	Matière : organique : totale	Humus : total	Acides : humiques	Carbone : %	Azote : total	R : G/N	ELEMENTS ECHANGEABLES					V : %	P2 O5 : assimila- ble
							Ca O	Mg O	K2 O	T	S		
141 - B	22,8	8,8	2,6	13,3	1,55	9,2	0,07	0,35	0,05	6,7	0,47	7,0	0,02
142 - B	1,7	-	-	-	-	-	0,09	0,25	0,06	3,6	0,40	11,1	0,08
143 - B	0,8	-	-	-	-	-	0,17	0,30	0,07	1,85	0,54	29,1	0,01

N° : échantillon :	Perte : au feu : %	Résidu : %	Si O2 : combinée	Fe2 O3 : %	Al2 O3 : %	Ti O2 : %	Si O2 : Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX			P2 O5 : %
								Ca O	K2 O	o/oo	
141 - B	15,35	53,35	3,3	8,4	19,25	0,01	0,29	1,35	0,5	3,7	
142 - B	14,1	14,3	24,25	13,2	35,35	0,08	1,13	0,9	0,6	1,7	
143 - B	12,6	14,75	31,55	12,0	29,65	0,09	1,85	1,0	0,55	1,0	
P I S O L I T H E S											
141 - B	19,4	24,95	3,9	26,0	25,6	0,03	-	-	-	-	
142 - B	13,05	12,6	35,95	22,0	16,1	0,1	3,4	-	-	-	

PROFIL N° 7-A (FAIBLEMENT FERRALLITIQUE)

N° échantillon	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros- sier %	Humidité équivalente
71 - A	0,50 m	6,6	20,5	28,1	20,3	27,5	34,2
72 - A	2,50 m	6,4	10,5	26,0	37,6	22,0	34,9
73 - A	3,50 m	6,6	4,5	5,0	21,9	63,3	14,5
74 - A	4,50 m	6,6	4,4	4,0	34,8	53,5	16,2

N° échantillon	Matière organique totale o/oo	Humus total o/oo	Carbone o/oo	Azote total o/oo	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES					P2 O5 % o/oo	
						Ca O	Mg O	K2 O	T	S		V
71 - A	2,7	0,2	1,5	0,3	4,6	1,05	1,25	0,06	12,4	2,36	19,0	0,12
72 - A	1,8	0,2	1,0	0,3	3,2	1,6	2,0	0,15	18,7	3,75	20,0	0,14
73 - A	-	-	-	-	-	1,3	0,85	0,20	10,3	2,35	88,8	0,04
74 - A	-	-	-	-	-	2,4	0,75	0,3	8,1	3,45	42,5	0,01

N° échantillon	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	ELEMENTS TOTAUX			
							Si O2 Al2 O3	Ca O o/oo	K2 O o/oo	P2 O5 o/oo
71 - A	12,9	30,0	22,9	6,4	27,1	0,2	1,4	1,45	0,75	2,25
72 - A	13,4	29,5	25,6	5,6	24,5	0,15	1,7	2,0	5,1	2,8
73 - A	7,6	61,1	13,4	4,8	11,6	-	1,9	2,2	10,3	1,35
74 - A	8,6	56,0	14,1	4,0	17,0	-	1,4	2,3	4,5	2,0
75 - A	2,5	85,4	4,3	3,6	2,5	-	2,9	-	-	-

PROFIL N° 12-A (FERRALLITIQUE A CUIRASSE DE PENTE)

Numéro échantillon	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros- sier %
211 - A	0 - 50 cm	6,8	22,1	18,3	29,9	26,1
212 - A	50 - 70 cm	6,5	18,1	18,7	39,5	17,7
213 - A	70 - 90 cm	6,5	18,5	12,8	47,3	14,6
214 - A	90 - 110 cm	6,5	10,1	12,6	52,4	18,7
215 - A	+110 cm	6,5	16,2	15,1	41,1	21,9

N° échantillon	Matière organique totale	ELEMENTS ECHANGEABLES					T S V					
		Acides humiques	Acides fulviques	Carbone total	Azote	Rapport C/N	Ca O	Mg O	K2 O	%		
	o/oo	o/oo	o/oo	o/oo	o/oo	C/N	Milliéquivalents pour 100 gr					
211-A	24,7	3	3	14,4	0,87	16,5	2,70	0,34	0,08	8,71	3,11	36,0
212-A	15,1	1	0,4	8,8	0,25	35,2	1,38	0,29	0,04	9,00	1,71	19,2
213-A	13,0	0,4	0,4	7,6	0,32	23,7	1,78	0,29	0,12	10,71	2,19	20,6
214-A	22,7	1	1,4	13,2	0,13	100	1,99	0,19	0,06	13,71	2,24	16,4
215-A	14,4	1	0,6	8,4	0,11	76,3	2,38	0,39	0,04	12,42	2,81	22,7

N° échantillon	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 Combinée	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Mn O %	Si O2	ELEMENTS TOTAUX		
									Al2 O3	CaO o/oo	K2 O o/oo
211 - A	98,0	61,0	11,6	5,0	9,7	8	0,15	2,0	0,11	2,84	0,58
212 - A	12,5	39,5	24,2	5,0	17,55	6,5	0,18	2,3	2,35	0,14	1,20
213 - A	12,2	42,5	23,8	7,5	13,25	10	0,22	3,0	2,13	0,14	1,48
214 - A	15,0	21,9	20,3	26,65	14,4	10	1,21	2,3	2,84	0,24	3,68
215 - A	12,0	29,3	23,7	11,6	22,65	6,5	0,17	1,7	2,49	0,21	1,95

"N° 37-A (SOL ALLUVIAL A COMPLEXE MOYENNEMENT DESATURE)"

Numéro échantillon	Profondeur	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros %
371 - A	0- 20 cm	24	59,5	12,5	0,5
372 - A	20-150 cm	25	63,0	7,5	1,5

N° échan- tillon	Matière organique totale	Humus total	Carbone total	Azote total	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES:				T	S	V	P2 O5 assi- mila- ble o/oo
						Ca O	Mg O	K2 O	Milliéquivalent pour 100 gr.				
371 - A	2,5	0,44	1,45	0,88	16,5	2,67	2,18	0,42	12,0	5,27	43	0,01	
372 - A	2,0	0,28	1,15	0,68	16,9	3,56	2,18	0,31	14,75	6,05	40	-	

I. 5 - LA VEGETATION

Les bassins étudiés sont couverts principalement par deux faciès végétaux bien distincts : la forêt et la prairie.

La forêt couvre une étroite bande à l'Est, sur la falaise de l'ANGAVO. Grâce à un climat favorable (fortes précipitations bien réparties durant toute l'année, humidité relative élevée et peu variable, nébulosité assez forte) et à un relief accidenté, elle a pu résister à la destruction.

Des lambeaux de forêt primaire se rencontrent également sur le versant oriental de l'ANKARATRA et sur les hauts-plateaux, accrochés aux flancs des collines, à la naissance des twalegs. De part et d'autre de la route de TANANARIVE à MAJUNGA, on en voit quelques beaux spécimens surtout au Nord d'ANKAZOBE. Malheureusement, ces lambeaux sont toujours très peu étendus. Seule, la forêt d'AMBOHITANTELY au Nord-Est d'ANKAZOBE couvre une surface assez importante sur le rebord oriental du Tampoketsa.

La forêt du type oriental est caractérisée par une végétation ombrophile dont les feuilles se renouvellent tout au long de l'année. Les familles les plus représentées sont les Cunoniacées, Composées, Flacourtiacées, Rubiacées, Apocynacées, Ebenacées et certains Palmiers. Dans le sous-bois, on trouve de nombreuses fougères arborescentes qui peuvent atteindre 4 à 5 m de hauteur.

Le long des rivières, principalement dans les parties Ouest et centrale des bassins, on rencontre de nombreuses galeries forestières, où Adina et Eugénia sont les espèces les plus importantes.

En bordure de la forêt orientale existent des zones déboisées, les "tavy", sur lesquels les habitants font leurs cultures. Les "tavy" sont généralement abandon-

nés au bout d'un an. Le terrain, n'étant plus protégé par la couverture forestière, est très rapidement lessivé par les pluies. Le tavy est alors recouvert par une sorte de brousse à composées arbustives (Psidia Altissima, Helichrysum au feuillage gris argent), à Ericacées (Philippia) et Fougères. Cette nouvelle végétation reçoit sur la côte Est la dénomination de "Savoka".

Dans le bassin qui nous intéresse, ces zones à formation secondaire ne couvrent qu'une partie relativement restreinte, dans la région de MANTASOA et d'ANJOZOROBE.

Des zones de reboisement ont été créées par le Service des Eaux et Forêts en différents points du bassin: région de MANJAKANDRIANA-CARION, ANKARATRA, ANKAZOBE et TAMPOKETSIA. Ces efforts sont actuellement encouragés par le Gouvernement qui organise chaque année des campagnes nationales de reboisement. Les essences utilisées sont l'eucalyptus, le mimosa et les pins.

Dans la région d'ARIVONIMAMO existent de petites étendues forestières peuplées essentiellement de Tapias (Vapaca Bojeri). Ce sont des formations de transition entre la forêt de l'Est et la forêt de l'Ouest.

Cette forêt de l'Ouest, à feuilles caduques, apparaît à l'extrême nord des bassins sous forme de lambeaux de faible surface, situés le plus souvent à proximité des rivières ou sur les pentes exposées aux pluies.

Entre cette zone et la limite Nord des Hauts-Plateaux, on trouve une savane arbustive claire. Les graminées les plus répandues sont Aristida Sp, Hyparrhenia Rufa, Heteropogon Contortus. Les arbres ou arbustes les plus communs sont les Kily, les Sakoa, les Mavoravina (Acridocarpus Excelsus), les Satra, les Jujubiers. Dans les bas-fonds et sur les bords des rivières, on rencontre des peuplements de raphia. Les Lavakas sont parfois occupés par les Ravenales ou arbres du voyageur.

Les bords des cours d'eau et les bas-fonds humides sont peuplés de Manguiers caractéristiques avec leurs énormes masses de feuillage vert sombre.

Sur les terrains ferrallitiques des Hauts-Plateaux, la formation végétale est la prairie avec très peu d'arbres. Seuls, quelques boqueteaux de mimosas et d'eucalyptus, au voisinage des villages, viennent rompre un peu la monotonie du paysage.

Les graminées les plus représentées sont *Aristida multicaulis*, (*Horona*, *Kipafa*, *Bozaka*), *Hyparrhenia Rufa*, (*Vero*), *Heteropogon contortus*, *Chrysopogon montanus*, *Sporobolus indicus*. Dans les dépressions humides, on trouve *Imperata cylindrica*.

Les feux de brousse dévastent périodiquement chaque année de très grandes surfaces, appauvrissent de plus en plus la flore et ne laissent subsister que les espèces les plus rudes (*Aristida*). Par suite de ces incendies successifs, la prairie protège de moins en moins le sol, elle forme des touffes espacées les unes des autres avec, entre elles, du sable et des débris de quartz.

Les vallées marécageuses sont occupées par les *Zororos* (*Cyperus papyrus*), le *Viha* (*Typhonodorum Lindleyanum*) les *Baratata* (*Phragmites mauritianus*) et parfois des *pandanus* en galeries ripicoles.

Les plaines alluvionnaires, aménagées pour l'irrigation sont le domaine de la riziculture. Le riz est également cultivé sur toute l'étendue des bassins dans les thalwegs présentant un écoulement permanent en saison sèche.

Les autres cultures sont le manioc occupant, en terre sèche, les gradins au-dessus des rizières sur les pentes des collines. Dans l'ANKARATRA, la culture de la pomme de terre est très développée. Aux environs de TANANARIVE, il y a quelques cultures maraîchères et fruitières (ananas, arbres fruitiers).

Dans l'ensemble, la couverture végétale offre un freinage assez peu efficace au ruissellement, surtout au début de la saison des pluies.

La carte Ac.5 donne la répartition de la végétation sur les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA.

I. 6 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

- La BETSIBOKA depuis sa source jusqu'au confluent avec l'IKOPA -

La BETSIBOKA est constituée, dans son cours supérieur, par la réunion du JABO et de l'AMPARIHIBE. Ces deux rivières prennent leur source au Nord de TANANARIVE. Le JABO, dans le massif de l'IANGANA à 1550 m d'altitude et l'AMPARIHIBE qui, à sa naissance, se nomme LELOSY, dans le massif de l'ANKIRANJAY. Le réseau hydrographique très dense rend difficile la détermination de la rivière principale.

Leur direction générale est Sud-Nord avec une pente très forte puisque de leur source jusqu'à leur confluent, elles descendent de 662 m sur 60 km soit 10 m par kilomètre environ.

Le confluent se situe à la sortie de la plaine d'ANTANETIBE, parsemée de marécages, de rizières et de lacs assez importants, tel le lac ANKARAKARAKA, à la cote 938 et à 471 km de la mer.

A partir de là, la rivière prend le nom de BETSIBOKA. La direction générale est toujours sensiblement Sud-Nord. C'est une rivière déjà importante coulant dans un lit bien calibré. Elle reçoit sur la rive gauche deux affluents : la LEHIMENA et la TSIBOINA qui descendent du tampoketsa d'ANKAZOBE. Sur la rive droite, un très gros affluent, la MANANARA qui aurait bien pu être choisie, par sa longueur et par l'altitude de sa source, comme branche-mère de la BETSIBOKA.

Le confluent se trouve, à la cote 820, à 419 km de MAJUNGA. La MANANARA vient de parcourir 186 km, la BETSIBOKA n'en a parcouru que 112. Le profil en long de la MANANARA présente une série de paliers (plaines d'ALAKAMISY, d'ANJOZOROBE et d'ANDARANA) interrompues par des chutes assez importantes.

La pente moyenne de la BETSIBOKA entre ANTANETIBE et la MANANARA est de 2,2 m/km.

Grossie de la MANANARA, la BETSIBOKA devient une belle rivière, large, aux berges escarpées, et dont le lit présente parfois des courbes très prononcées. Jusqu'au massif du VOHOMBOHITRA, la pente est très régulière et voisine de 2 m au kilomètre. Elle reçoit, sur sa rive gauche, la KITSOMPY, qui prend sa source dans la forêt d'AMBOHITANTELY, sur la falaise Est du Tampoketsa d'ANKAZOBE. Sur la rive droite, arrive, à 3 km en aval de la KITSOMPY, la MANANTA, autre affluent important qui a sa source dans la falaise de l'ANGAVO, elle-même grossie de la LAKAZANA. Un peu en amont du confluent, la MANANTA s'appelle MALOTOLAVA, sur les cartes au 1/100.000 du Service Géographique.

La direction de la BETSIBOKA est toujours Sud-Nord et le lit parfaitement bien qualibré. A la cote 742, la BETSIBOKA oblique brusquement vers l'Ouest et s'apprête à contourner le massif du VOHOMBOHITRA qu'elle longe sur sa bordure Ouest, dans des gorges assez encaissées, pendant 16 km. La pente à cet endroit est assez forte et il existe un site possible pour créer un barrage important, capable de régulariser dans une assez large mesure le cours supérieur de la BETSIBOKA.

Le Bassin Versant à l'amont du VOHOMBOHITRA a une superficie de 6 315 km².

Dans les rapides et les chutes du VOHOMBOHITRA, la BETSIBOKA reçoit sur sa rive gauche les eaux du MANAMBOLO. Après le VOHOMBOHITRA, la direction est à nouveau

Sud-Nord jusqu'au confluent avec l'ANDRANOADALA, qui se trouve à 325 km de MAJUNGA et à la cote 586 m.

A partir de ce point, la BETSIBOKA infléchit légèrement son cours, qui prend une direction Sud-Est Nord-Ouest. La pente reste forte. En amont du confluent de la TSIMALOTÈ (R.D), la BETSIBOKA traverse un ensemble de chaînes montagneuses orientées Nord-Sud dont les sommets principaux sont l'ANDRANGANALA Ouest (910m), le TANAMBAO (975 m) et l'AMBOHIMANGAINDAMBO (1069 m). Le lit se rétrécit légèrement et présente une série de rapides.

Un deuxième rétrécissement se produit au km 252 de MAJUNGA, à la traversée des contreforts de l'ANSTOFINOMBY : TSIAFAPAPANGO (952 m) et AMBATCBE (967 m). La dénivellée atteint 75 m sur 8 km, la BETSIBOKA entaille dans ces massifs une vallée assez profonde.

A partir de ce point et jusqu'à l'aval des chutes d'AMBODIROKA, le cours de la BETSIBOKA est très accidenté. Au confluent de la TSIMALOTO, nous nous trouvons à la cote 491 m, nous ne serons plus qu'à 72 m au pied des chutes d'AMBODIROKA. Les chutes les plus importantes se trouvent au droit du pont de la route nationale n° 4 et présentent une dénivellée de 78 m sur 4 km. A cet endroit, le lit est assez large et peu encaissé. Il semble difficile de pouvoir trouver un site de barrage susceptible de créer une retenue importante.

La BETSIBOKA reçoit sur sa rive droite l'ISINKO qui draine le versant Ouest du tampoketsa KAMOREEN et la RANDRIATOANA sur la rive droite.

Du massif du VOHOMBOHITRA jusqu'à la station téléphérique, le lit est bien dessiné avec des terrasses alluviales peu importantes. En étiage, des bancs de sable apparaissent par endroits. mais, généralement, l'écoulement a lieu sur toute la largeur du lit.

Après les chutes d'AMBODIROKA, la BETSIBOKA continue à couler en Direction Nord dans un lit large de 200 à 250 m jusqu'à l'emplacement de l'ancien pont de la route

de MAJUNGA. Ensuite le lit s'élargit, les bancs de sable deviennent plus nombreux et après le village d'AMPARIHIBE, la BETSIBOKA entre dans une zone marécageuse où elle change fréquemment de lit. Un ancien bras, la BETSIBOKA-MATY a été remis en eau en Mars 1959.

C'est dans cette zone que se trouve le confluent avec l'IKOPA. Il reste encore 179 km à parcourir pour atteindre le canal du MOZAMBIQUE. La pente moyenne sur les vingt derniers kilomètres en amont du confluent est de 78 cm au km.

Le graphique Ag.2 donne le profil en long de la BETSIBOKA, de sa source jusqu'à MAJUNGA.

Ce profil présente une concavité régulière assez nette de la source du JABO jusqu'au massif du VOHOMBOHITRA.

Dans cette zone, la rivière semble avoir atteint son profil d'équilibre. Elle se trouve même par endroits (confluent JABO-AMPARIHIBE) en dessous de ce profil, ce qui cause un alluvionnement important au détriment des rizières. A l'aval du VOHOMBOHITRA, le profil est coupé de chutes et de rapides et présente une très forte pente difficilement utilisable du point de vue hydroélectrique, du fait du manque de chutes verticales importantes et de la configuration du lit souvent large avec des berges assez basses.

Dans tout le cours moyen, bien que les charges solides transportées en suspension soient très importantes, il ne se produit aucun remblaiement, la pente donnant à la rivière une grande puissance de transport.

- L'IKOPA depuis sa source jusqu'à son confluent avec la BETSIBOKA

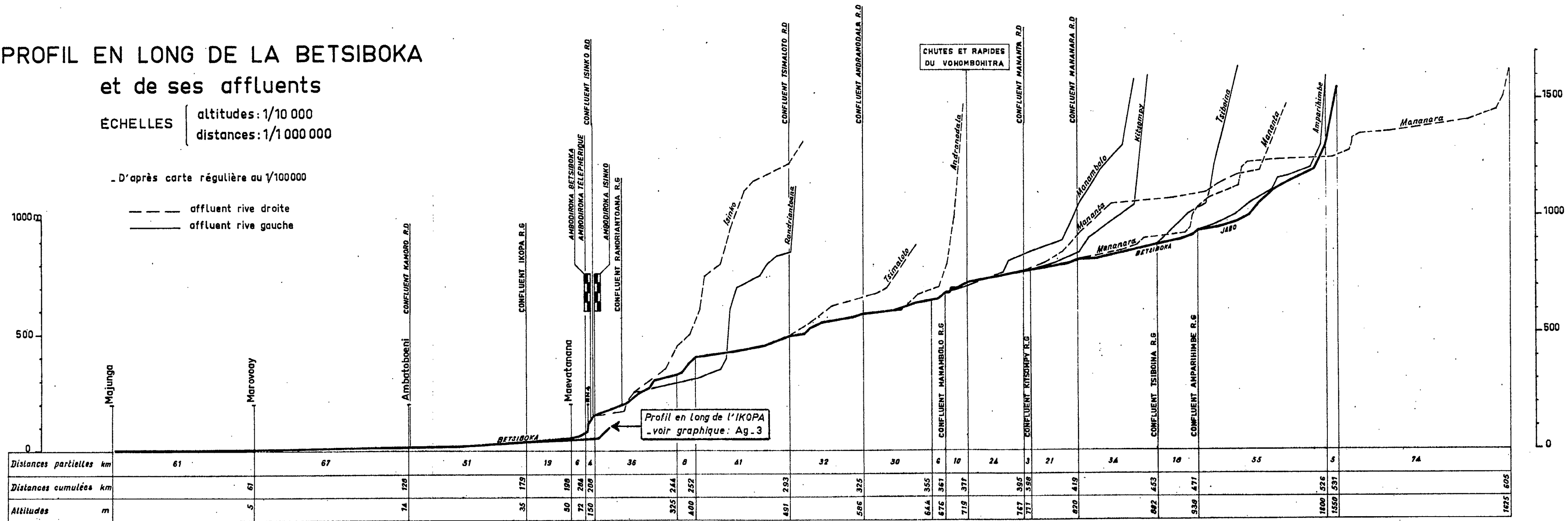
La VARAHINA-Sud, source principale de l'IKOPA, naît vers la cote 1700, dans le massif de l'AMBOHIMIRINGY en bordure de la zone forestière de l'Est.

PROFIL EN LONG DE LA BETSIBOKA et de ses affluents

ÉCHELLES | altitudes: 1/10 000
| distances: 1/1 000 000

- D'après carte régulière au 1/100 000

--- affluent rive droite
— affluent rive gauche



Distances partielles km	61	67	51	19	6	4	36	8	41	32	30	6	10	24	3	21	34	10	55	5	74	
Distances cumulées km		61	128	179	195	209	245	253	294	326	356	366	376	395	398	419	453	471	526	531	605	
Altitudes m		5	74	35	50	72	150	325	400	491	586	644	676	719	767	771	820	882	936	1600	1550	1625

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDOCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwixrfkhdpgyjt 7142385690
 Pour A2, A3 et A4: ABERPFTHLJDOCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwixrfkhdpgyjt 7142385690

La VARAHINA-Sud coule avec une très forte pente pendant une vingtaine de kilomètres, suivant une direction Sud-Nord avant de se jeter dans la retenue de TSIAZOMPANIRY à la cote 1490.

Le barrage de TSIAZOMPANIRY a été construit en amont d'un sol rocheux qui présentait une dénivellation totale d'une quarantaine de mètres. Il est constitué par deux barrages à voûtes multiples de 24 m de hauteur, sur la VARAHINA-Sud et sur la MANANDRIANA. Les longueurs en crête sont respectivement de 365 et 235 m. La capacité normale du réservoir est égale à $225.10^6 m^3$. Avec 1,30 m d'eau au-dessus des évacuateurs de crue (8 passes déversantes de 10 m de large), le volume est porté à $260.10^6 m^3$. La mise en eau a été effectuée en 1956.

Le Bassin Versant au droit du barrage a une superficie de $335 km^2$.

A partir de TSIAZOMPANIRY, la VARAHINA-Sud prend une direction Sud-Est Nord-Ouest.

Elle parcourt 58 kilomètres jusqu'au confluent de la VARAHINA-Nord, sa pente moyenne est de 3 m/km environ. La surface totale du bassin versant est de $791 km^2$.

Le cours est assez sinueux avec des terrasses alluviales importantes occupées par des rizières.

La VARAHINA-Nord, considérée comme la deuxième branche-mère de l'IKOPA, prend sa source à 1560 m d'altitude dans le massif AMBOHIBE-AMBOHITRINANDRIANA au Sud du Lac MANTASOA. Elle coule sur 6 km environ avant d'atteindre la retenue de MANTASOA à la cote 1387. La mise en eau de ce réservoir, qui a noyé la partie marécageuse du bassin de la VARAHINA-Nord, remonte à 1938.

La création de cette retenue a nécessité, outre la construction du barrage principal d'ANDRANOBIBY, la fermeture de trois cols par des digues. L'une d'entre elles, dite d'ANALAVORY, permet en cas de crue de faire

déverser les eaux sur le versant Est de l'île, dans la vallée de l'ANDRANOBE, quand le niveau du lac dépasse la cote de retenue normale de 1385 m.

Par la digue d'AMPASIMPOTSY, au Nord, les eaux sont envoyées, lorsque le besoin s'en fait sentir, dans la vallée de la MANDRAKA et sont utilisées par la Centrale Hydroélectrique construite au pied de la falaise de l'ANGAVO. Les apports moyens du lac de MANTASOA, pouvant être turbinés à cette usine, sont de l'ordre de 70.10^6m^3 , avec un débit de $5 \text{m}^3/\text{s}$. L'aménagement actuel les utilise sous 250 m de chute au lieu de 36 m aux usines d'ANTELOMITA sur l'IKOPA.

Ainsi les eaux de la VARAHINA-Nord en amont de MANTASOA ne rejoignent que très rarement leur cours naturel. C'est ce détournement artificiel qui a amené la construction du Barrage de TSIAZOMPANIRY afin de créer une réserve d'eau pour les irrigations et la production hydroélectrique d'ANTELOMITA.

Le bassin versant en amont de la retenue de MANTASOA a une surface de 96km^2 .

Du pied du barrage, au confluent avec la VARAHINA-Sud, la VARAHINA-Nord coule pendant 20 km suivant une orientation Est-Ouest, avec une pente voisine de $3 \text{m}/\text{km}$. Le bassin versant, au confluent, mesure 259km^2 .

A partir du confluent, situé à la cote 1316, la rivière prend le nom d'IKOPA. Elle coule sur 30 km en direction de l'Ouest, jusqu'à AMBOHIMANAMBOLA, à l'entrée de la plaine de TANANARIVE. Sa pente moyenne est de 2 m par km. Elle franchit à 6 km du confluent les deux chutes d'ANTELOMITA qui totalisent 36 m et dont l'équipement a été réalisé en deux étapes : usine d'ANTELOMITA I en 1909 et usine d'ANTELOMITA II en 1918.

Dans cette partie du cours, l'IKOPA traverse d'abord une zone marécageuse et une plaine rizicole au

droit du confluent de l'AMBAVARAHINA, puis à 10 km en amont d'AMBOHIMANAMBOLA la direction devient Sud-Nord à la traversée du massif de l'AMBOHIMIRAKITRA (1464 m)

A cet endroit, le lit est assez étroit et il a été envisagé d'y établir un barrage-réservoir en terre, destiné à la protection de TANANARIVE contre les crues.

Après AMBOHIMANAMBOLA, l'IKOPA entre dans la plaine de TANANARIVE, et son cours est totalement ou partiellement endigué sur une distance de 45 km, jusqu'à BEVOMANGA. La pente moyenne est très faible, de l'ordre de 25 cm/km, pouvant atteindre 13 cm/km en amont du confluent de l'ANDROMBA.

Les principaux affluents se jetant dans l'IKOPA en amont de BEVOMANGA sont la MAMBA, en rive droite, la SISAONY, et l'ANDROMBA grossie de la KATSOAKA, en rive gauche.

La surface du bassin versant à BEVOMANGA est de 4247 km², y compris le bassin en amont du Barrage de MANTA-SOA.

De BEVOMANGA à FARAHANTSANA, l'IKOPA coule dans un lit rocheux ayant fait l'objet de déroctages dans le but de faciliter l'écoulement des crues qui inondent très fréquemment les environs de TANANARIVE. Les premiers travaux ont été effectués en 1914. Ils ont révélé la présence du seuil rocheux de BEVOMANGA. Actuellement, la poursuite de ces travaux n'est plus envisagée, leur coût étant très élevé et leur efficacité incertaine.

Le seuil de FARAHANTSANA constitue la limite aval de la plaine du BETSIMITATRA. La chute totale est de 33 m; elle avait fait l'objet d'une étude par Electricité de France, en vue de son aménagement hydroélectrique, aménagement qui n'a pas été retenu à cause des dangers d'inondation de la plaine de TANANARIVE.

Le bassin total de l'IKOPA à FARAHANTSANA est de 4430 km².

Après les chutes de FARANANTSANA et jusqu'à l'aval des chutes d'ANTANANDAVA, à la sortie du socle cristallin nous avons affaire à une nouvelle rivière, avec un profil très jeune, coupé de rapides et de chutes importantes.

La direction générale est d'abord Est-Sud-Est - Ouest Nord-Ouest jusqu'aux chutes de RANOMAFANA. Elle devient progressivement Sud-Est Nord-Ouest, puis pratiquement Sud-Nord.

Entre FARAHANTSANA et RANOMAFANA, la pente est assez faible, 1 m au km environ, et la rivière coule dans une zone bordée par des marécages et des plaines d'inondation.

Dans ce tronçon l'IKOPA reçoit, sur la rive gauche, la KOTORATSY, formée par l'ONIBE et l'OMBIFOTSY drainant le plateau d'ARIVONIMAMO et les contreforts de l'ANKARATRA et sur la rive droite, l'ANJOMOKA, qui conflue au droit des chutes de RANOMAFANA (Hauteur totale 40 m environ).

Ensuite, le lit est bien calibré à berges abruptes, avec peu ou pas de zones d'inondation, la principale est la plaine d'AMPOTAKA en amont de la station d'ANTSATRANA.

L'IKOPA reçoit: en rive droite, l'ANDRANOBE, rivière d'ANKAZOBE, puis le MANANKAZO et la NAMOKOMITA, en rive gauche la MAZANA, l'ISANDRANO drainant le tampoketsa de FENOARIVO et du FAMOIZANKOVA, le plus gros affluent de l'IKOPA, et enfin au pied des chutes d'ANTANANDAVA, la MENAVAVA. Cette rivière descend du plateau du FAMOIZANKOVA et présente, à la traversée des massifs de l'AMBOLOFOTSY et du BEMAROVAVY, une chute de 200 m en moins de 8 km, avant de couler dans la dépression permotriassique correspondant aux grès de l'ISALO, bordée au Nord-Ouest par la falaise du plateau de l'ANKARA.

En aval du confluent de l'ANDRANOBE, se trouve la station hydrologique du Bac de FIADANANA. La surface du bassin versant y est égale à 9450 km².

A 14 km en aval, nous trouvons la première chute importante, celle de MAHAVOLA (160 m de dénivelée sur 6 km environ) à la traversée du massif d'AMBILLOBE. Le site très encaissé permettrait l'édification d'un barrage important.

A 32 km du pied des chutes de MAHAVOLA, l'IKOPA franchit les chutes de VOHITSARA (100 m sur 5 km) puis les chutes ISANDRANO à 9 km des précédentes (environ 50 m sur 4 km).

A 4 km en amont des chutes d'ANTAFORO (180 m de dénivelée environ sur 10 km), a été installée la station de mesure d'ANTSATRANA qui contrôle un bassin versant de 18 550 km².

Les dernières chutes, celles d'ANTANANDAVA, présentent sur 10 km une dénivelée totale de 135 m.

A ANTANANDAVA, la surface du bassin versant est égale à 19 800 km² environ. Au pied des chutes, nous sommes à 50 m d'altitude et il reste 31 km à parcourir jusqu'au confluent avec la BETSIBOKA et 210 jusqu'à MAJUNGA.

Les caractéristiques topographiques et géologiques très favorables de ces chutes jointes à des débits importants font que l'IKOPA possède un potentiel énergétique énorme, évalué à une quinzaine de milliards de kilowatts/heure par an.

Du confluent de la MENAVAVA au confluent avec la BETSIBOKA, l'IKOPA coule avec une pente très faible de l'ordre de 50 cm par km dans un lit large encombré de bancs de sable et bordé de très grandes plaines d'inondation peuplées de zozoros (papyrus) et de bararatas (bambous). Le lit mineur a souvent plus d'un kilomètre de large alors que le lit majeur dépasse par endroits trois kilomètres.

Le profil en long de l'IKOPA et de ses affluents est représenté sur le graphique Ag.3.

De sa source jusqu'à son embouchure, l'IKOPA présente trois profils distincts et très différents.

Jusqu'au seuil de FARAHANTSANA, nous avons le profil d'équilibre très régulier d'une rivière ayant atteint sa maturité, et se trouvant parfois même à la limite de la sous-adaptation (plaine de TANANARIVE).

En aval, le profil présente de très fortes variations de pente dues aux conditions géologiques locales et la pente moyenne est très forte (4,40 m/km) puisqu'on passe de la cote 1150 à la cote 50 en 296 km.

Le troisième tronçon en aval de TANANDAVA est nettement en dessous de son profil d'équilibre. Sa pente moyenne est de 50 cm par km environ. Sur les vingt derniers kilomètres, la pente est égale à 26 cm/km, elle est donc trois fois plus faible que celle de la BETSIBOKA sur la même distance en amont.

- La BETSIBOKA du confluent avec l'IKOPA jusqu'à MAJUNGA.

Le confluent est situé dans une zone marécageuse dans laquelle divaguent les lits, la cote varie de 30 à 35 m de l'amont à l'aval. La distance jusqu'à la mer est égale à 179 km. Cela donne une pente de 18 cm au km, à peine plus élevée que celle de la Seine entre ROUEN et la mer (10 cm/km). Entre le confluent et AMBATO-BOENI, la pente est de 40 cm au km; elle n'est plus que de 10 cm/km entre AMBATO-BOENI et MAJUNGA.

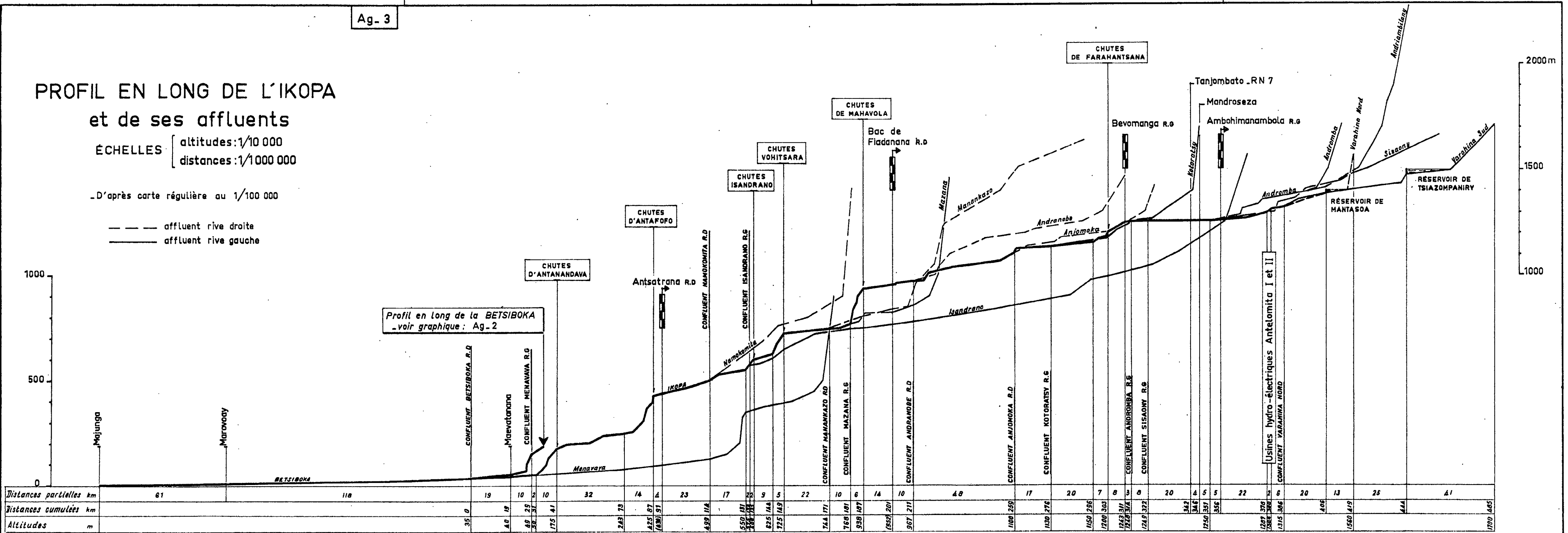
Cette pente est très faible et les grandes quantités de matériaux transportés en suspension font de la BETSIBOKA un fleuve sous-adapté, incapable d'entraîner la totalité des matières en suspension jusqu'à la mer. Elle alluvionne abondamment et cet alluvionnement est la

PROFIL EN LONG DE L'IKOPA et de ses affluents

ÉCHELLES altitudes: 1/10 000
distances: 1/1000 000

-D'après carte régulière au 1/100 000

--- affluent rive droite
— affluent rive gauche

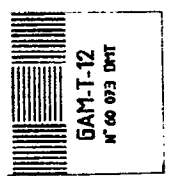
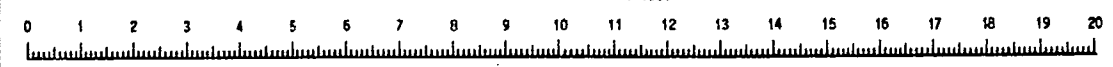


Profil en long de la BETSIBOKA
voir graphique: Ag-2

Distances partielles km	61		19	10	5	10	32	14	4	23	17	23	9	5	22	10	6	14	10		48	17	20	7	8	3	8	20	4	5	5	22	5	8	20	13	25		41
Distances cumulées km			35	40	49	59	91	105	109	132	149	172	181	186	208	218	224	238	248	258	306	323	343	351	359	362	365	385	389	394	409	414	434	447	472	497	538		
Altitudes m			35	40	49	59	91	105	109	132	149	172	181	186	208	218	224	238	248	258	306	323	343	351	359	362	365	385	389	394	409	414	434	447	472	497			

ORSTOM A0 DATE: 21.02.64 DESSINER: GROTTEAU MAD_171141

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTLJDOCGQUVWMSZXY
zsaeocmuvnxirfkhbdpqgjl 7142385690
Pour A2A3A4: ABERPFTLJDOCGQUVWMSZXY
zsaeocmuvnxirfkhbdpqgjl 7142385690



cause des changements fréquents de lit. Les dépôts ou baibohos sont des alluvions rouges micacées qui conviennent parfaitement à la culture, et les bords de la BETSIBOKA connaissent une activité agricole particulièrement importante (culture de tabac, arachides, riz, etc...)

A AMBATO-BOENI, la BETSIBOKA reçoit en rive droite le KAMORO, qui, par suite de la capture de la MAHAJAMBA, draine en crue la presque totalité de ce bassin. Mais cette capture n'est pas stable du fait des pentes faibles et de l'alluvionnement important. Lorsque le lit actuel aura été suffisamment remblayé, la MAHAJAMBA reviendra très certainement tout droit à la mer, jusqu'au prochain exhaussement du nouveau lit. Au droit de MAROVOHAY, à 61 km de MAJUNGA, la BETSIBOKA se divise en plusieurs bras et les eaux s'écoulent en crue à travers une forêt dense de palétuviers. En amont de MAJUNGA, un resserrement, à la pointe ANTANANDAVA, transforme le delta en estuaire qui prend le nom de baie de BOMBETOKA.

En crue, les eaux de la BETSIBOKA mettent un certain temps à se mélanger avec les eaux de l'Océan et leur coloration rouge est visible à plusieurs milles de la côte.

Le bassin versant de la BETSIBOKA à MAJUNGA y compris le bassin de la MAHAJAMBA, en amont de la zone de capture, draine une surface de 9 750 km².

BASSINS DE L'IKOPA ET DE LA BETSIBOKA

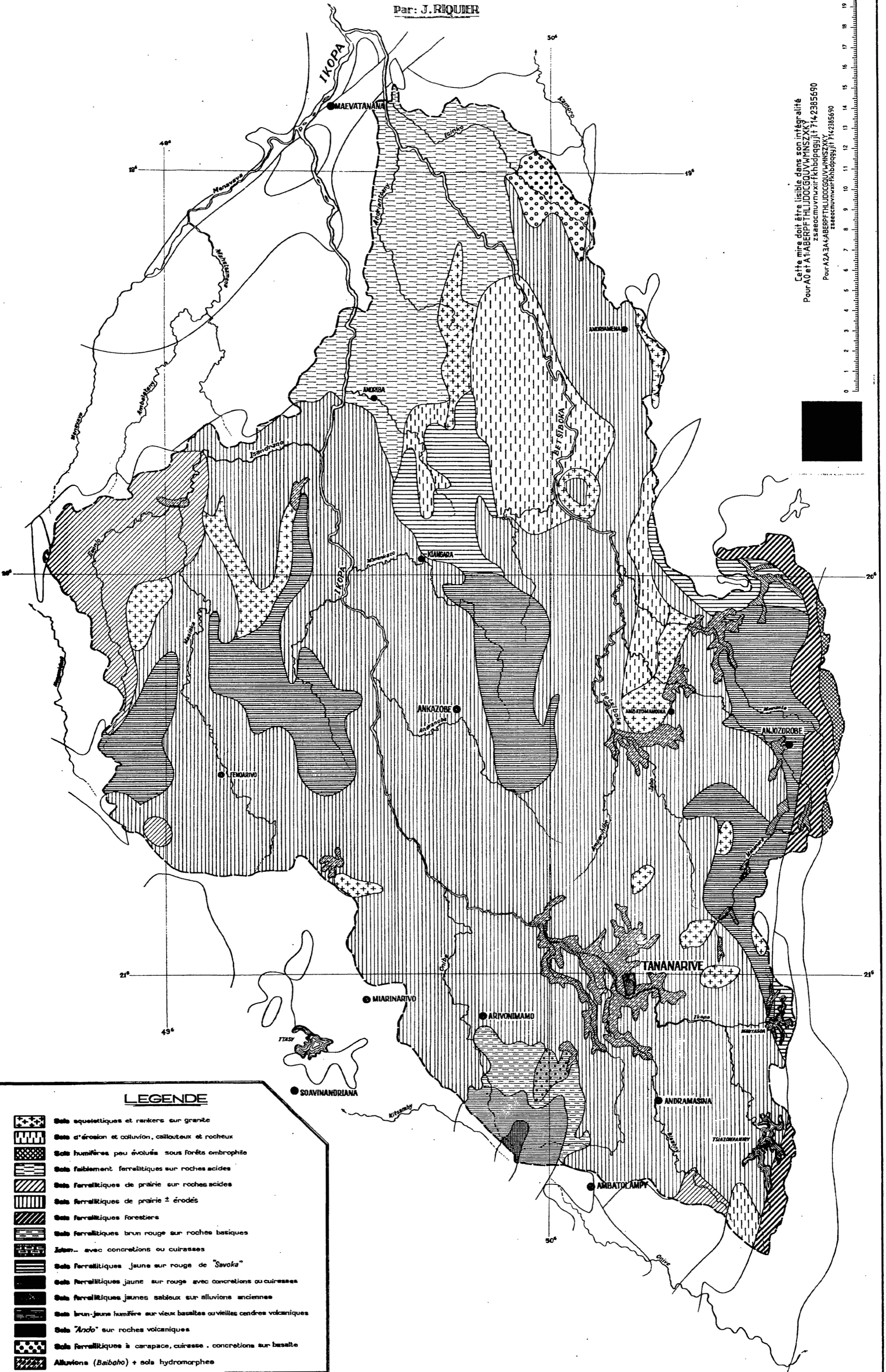
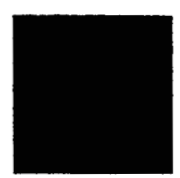
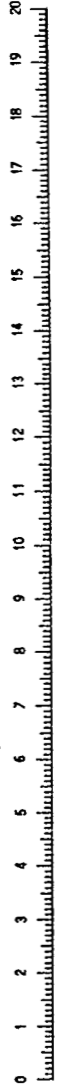
ESQUISSE PEDOLOGIQUE

Echelle 1/500.000

Par: J. RIQUIER

GAM-1-12
N. 60 00 00

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTLJDCCGVVWMSZKX
ZSABOCMUVNXXIRFKHBPQJIT 7142385690
Pour A2-A3-A4: ABERPFTLJDCCGVVWMSZKX
ZSABOCMUVNXXIRFKHBPQJIT 7142385690



LEGENDE

- Sols squelettiques et rankers sur granite
- Sols d'érosion et colluvion, caillouteux et rocheux
- Sols humifères peu évolués sous forêts ombrophile
- Sols faiblement ferrallitiques sur roches acides
- Sols ferrallitiques de prairie sur roches acides
- Sols ferrallitiques de prairie 2 érodés
- Sols ferrallitiques forestiers
- Sols ferrallitiques brun rouge sur roches basiques
- Sols... avec concrétions ou cuirasses
- Sols ferrallitiques jaunes sur rouge de "Savoka"
- Sols ferrallitiques jaunes sur rouge avec concrétions ou cuirasses
- Sols ferrallitiques jaunes sableux sur alluvions anciennes
- Sols brun-jaune humifère sur vieux basaltes ou vieilles cendres volcaniques
- Sols "Ando" sur roches volcaniques
- Sols ferrallitiques à carapace, cuirasse, concrétions sur basalte
- Alluvions (Baibaho) + sols hydromorphes

MAD_171 137

N. Nimbol

BASSINS DE L'IKOPA ET DE LA BETSIBOKA

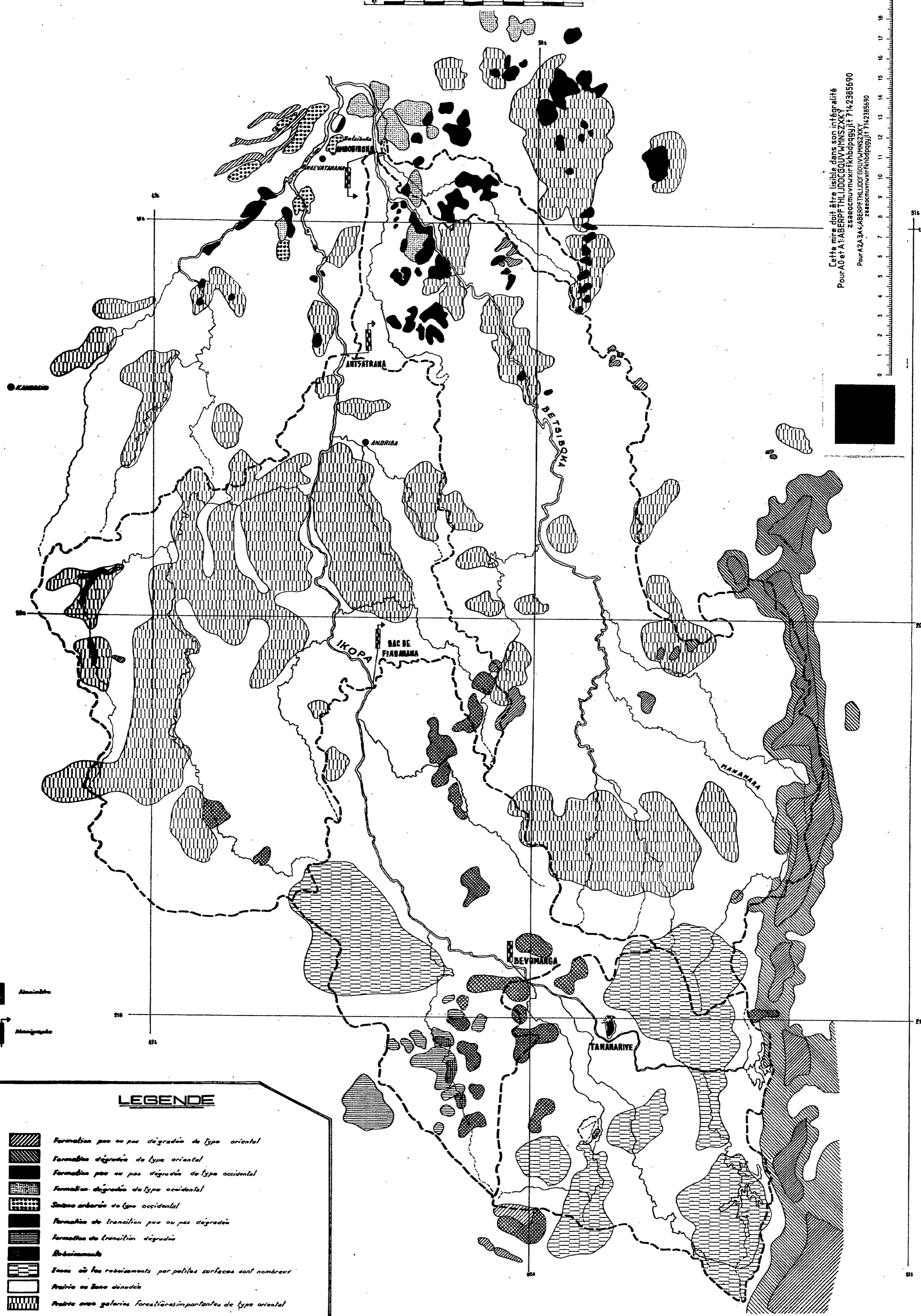
CARTE DE LA VEGETATION

(D'après la carte forestière au 1/100.000^e du Service des Eaux et Forêts)

Echelle 1/500.000^e

54M-1-12
N° 60 073 DIT

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1 TABERPF THLJDCGQV WYNSZXY
ZSBOCMUVXIRFKHBPQJY 714238590
Pour A2A3A4 ABERPF THLJDCGQV WYNSZXY
ZSBOCMUVXIRFKHBPQJY 714238590

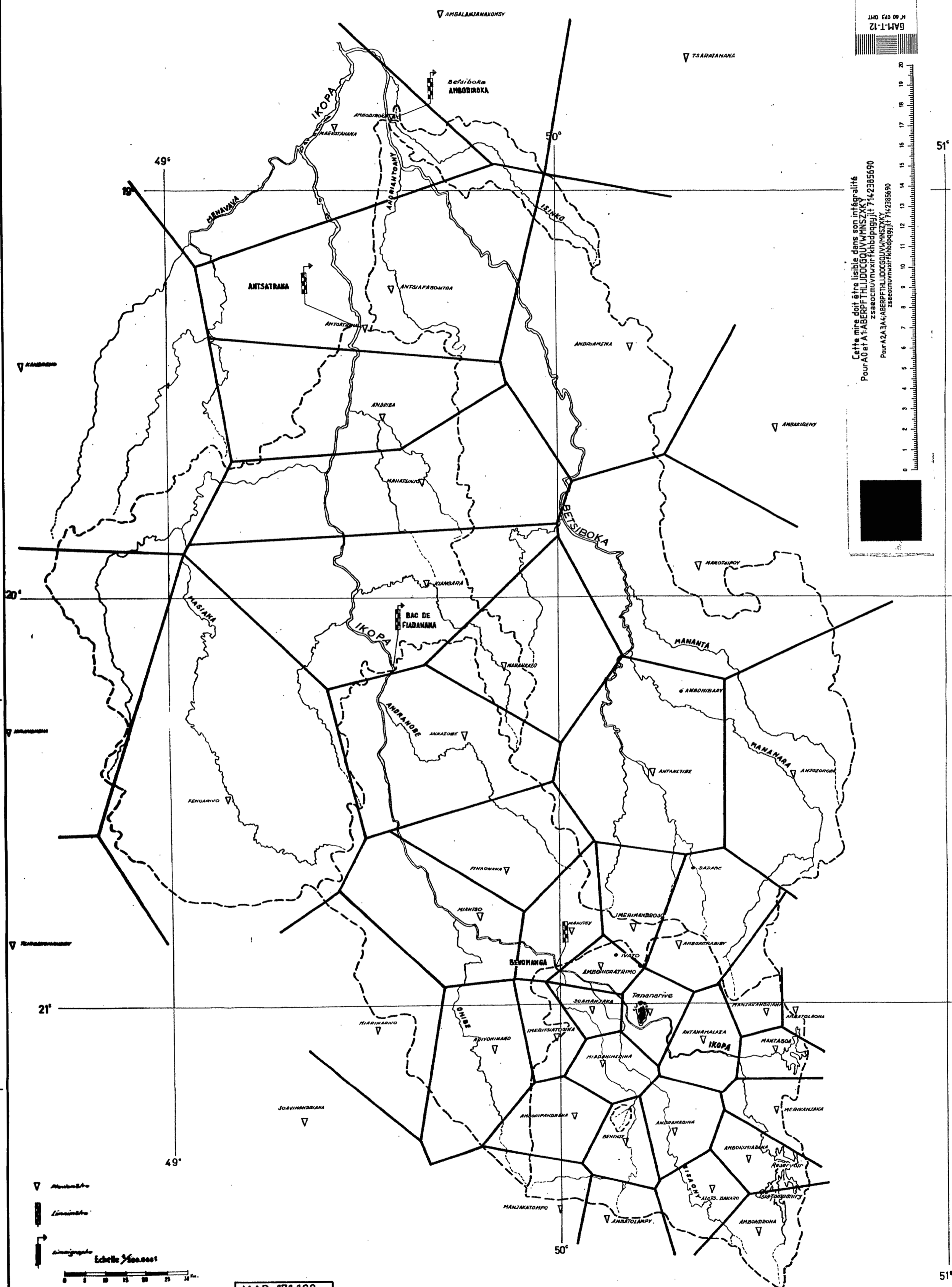


LEGENDE

- Formation peu ou pas dégradée de type oriental
- Formation dégradée de type oriental
- Formation peu ou pas dégradée de type occidental
- Formation dégradée de type occidental
- Système arboré de type occidental
- Formation de transition peu ou pas dégradée
- Formation de transition dégradée
- Arbousiers
- Zones où les roseaux par petites surfaces sont nombreux
- Prairie ou zone dénudée
- Prairie avec galeries forestières importantes de type oriental

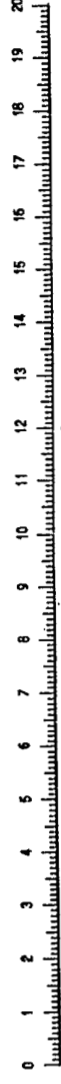
BASSINS DE L'IKOPA ET DE LA BETSIBOKA Ac.15

ZONES D'INFLUENCE DES PLUVIOMETRES SELON THIESSEN



GAM-1-12
 M 69 023 021

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTLJDDCGQVWVNSZXXY
 zsaocmuvnvrkfrkbbpqqjllt 7142385690
 Pour A2: A34: ABERPFTLJDDCGQVWVNSZXXY
 zsaocmuvnvrkfrkbbpqqjllt 7142385690



▽ Rivière
 ———— Limite
 ———— Chemin

Échelle 1/50000

MAD.171189

51°