

MODELES , STRUCTURE ET LITHOLOGIE EN ZONE INTERTROPICALE, L'exemple du bassin versant du Fiherenana

par
A. PALLAS (*)

Le Fiherenana, à la différence des grands fleuves voisins (Fig. 1) du Sud-Ouest malgache (Mangoky et Onilahy) a son bassin versant de 6 600 km² totalement inscrit dans les roches sédimentaires du sud du bassin de Morondava. Cela ne lui donne qu'une unité apparente car, dans le détail, la variété des affleurements et la tectonique nuancent les paysages.

Une opposition fondamentale existe entre les secteurs gréseux d'amont et le canyon du bas-Fiherenana au milieu de plateaux calcaro-basaltiques (Fig. 2). La différence de comportement des roches à l'érosion, mais aussi les facteurs structuraux, sont à l'origine des variations dans les modelés d'incision ou d'accumulation.

I. L'OPPOSITION ENTRE HAUTE ET BASSE VALLEE

Elle est complexe et résulte d'un cadre géologique tranché.

a) Le secteur du haut-Fiherenana

La haute vallée du Fiherenana, des sources à la faille de l'Ilovo (Fig. 2), s'inscrit dans les terrains de l'Isalo II et III, dans la région des « Dômes sableux ». Le groupe de l'Isalo est le troisième du

(*) *Ecole Normale Supérieure de Libreville (Gabon) ; Laboratoire de Géologie physique appliquée de Bordeaux III.*

Karoo malgache. L'Isalo II correspond au Lias-Rhétien ; l'Isalo III calcaire et gréseux du plateau de Sakaraha est le Jurassique moyen, Bajocien et Bathonien.

Les faciès de l'Isalo II sont à l'est des sources, les grès et argilites de la Malio. Ils sont recouverts à l'ouest par les grès du haut-Fiherenana qui s'envoient eux-mêmes sous une « carapace sableuse ». Les grès sont légèrement grossiers, feldspathiques, à stratifications entrecroisées avec des lits schisto-gréseux micacés, des argilites aux teintes barriolées et des bancs de grès violacés. Avec l'Isalo III débute une période de transition dans le système sédimentaire. Au nord de la ville de Sakaraha, le plateau est calcaire mais, vers l'ouest, les faciès gréseux reprennent. La faille de l'Ilovo qui est le rebord occidental du plateau, sépare le dernier terme de l'Isalo du Jurassique supérieur, moment de la première grande transgression généralisée.

L'Isalo II est tectoniquement calme. Comme pour l'Isalo I, les grès sont débités en compartiments monoclinaux à pendage Ouest-Nord-Ouest par des failles (nivelées la plupart du temps) à regard ouest. C'est dire que la tectonique influence très peu le tracé des cours d'eau. Quelques portions du cours du Fiherenana et de ses affluents suivent cependant les directions de failles. Il faut considérer que, dans l'ensemble, les matériaux gréseux et leurs altérites se comportent d'une manière homogène.

b) *Tectonique et contrastes de dureté à l'aval de la faille de l'Ilovo*

La modification des données géologiques à l'ouest de la faille de l'Ilovo est double : d'une part, la sédimentation devient lagunaire ou marine ; d'autre part, la tectonique est responsable de dénivelées importantes créant des pentes raides.

La transgression marine débuta au Bathonien mais garde dans les environs du Fiherenana un faciès de sédimentation continentale. Les faciès deviennent ensuite mixtes et marins. Au Crétacé, de la même manière, se succèdent transgressions, dépôts, régressions. Au Sénonien, de très épais épanchements de basaltes (150 m) s'interstratifient. Au Tertiaire, la sédimentation éocène, franchement marine, est contemporaine d'une importante transgression qui se répète au Miocène. Le Pliocène est régressif, les sédiments continentaux, « Carapace sableuse », sont dispersés sur toutes les autres formations. En définitive, la sédimentation dans le secteur aval du bassin versant du Fiherenana est marine mais de nombreux épisodes sont capables de fournir des sables aux agents érosifs ulté-

rieurs. La carapace sableuse, transgressive sur toutes les séries affleurant dans le bassin versant du Fiherenana, peut donc avoir une origine locale, même à l'aval de la faille de l'Ilovo dans le secteur calcaro-basaltique. Cela est d'autant plus vrai que la tectonique post-éocène de direction « Côte Est » (Nord-Nord-Est / Sud-Sud-Ouest) a porté ces terrains basaltiques, gréseux et calcaires à 1300 m environ dans l'Analavelona sur la rive nord du Fiherenana. L'importante dénivelée de 900 m avec le fleuve, favorise l'érosion torrentielle de ces roches. Au sud du fleuve, les couches gardent un pendage monoclinal vers le sud-ouest. L'érosion différentielle crée un modelé de cuestas. Ce modelé peut se compliquer de failles, parallèles à celle de l'Ilovo, qui déterminent également des reliefs.

c) Les données écologiques font des deux secteurs des domaines sensibles à l'érosion

L'originalité hydrologiques de ce petit fleuve, replacé parmi ceux de l'Ouest malgache, réside dans les potentialités érosives. J. Hervieu (1968) s'est servi des critères de Fournier (1960) pour classer les cours d'eau. Le Fiherenana apparaît comme ayant le bassin versant au relief le plus accentué (Coefficient de massivité) (1). De la même manière, le coefficient orographique (2) le place en tête pour les possibilités d'érosion avec 47,08 alors que le Mangoky atteint 9,22 et l'Onilahy 16,23; ce qui explique la compétence considérable des torrents sur les pentes raides de l'Analavelona. Ces pluies sont également actives sur les grès et altérites du secteur des « Dômes sableux ». Le couvert végétal ne protégeant presque pas la roche, la savane herbeuse (*Heteropogon*, *Loudetia*, *Aristida*) ne retient pas les sables que les pluies les plus intenses enlèvent aux croupes.

Les facteurs lithologiques, tectoniques et érosifs concourent à opposer très nettement le modelé de la vallée en secteur gréseux et celui du canyon qui tranche les plateaux calcaro-basaltiques.

II. MODELES DANS LE SECTEUR GRESEUX

a) Le colluvionnement sous herbes dans les têtes de vallées

La fragilité des sols face aux averses violentes à cause d'une végé-

(1) Coef. de massivité = hauteur moyenne du bassin versant divisée par la surface mprojetée (H/S).

(2) Coef. orographique = produit du coef. de massivité divisée par la hauteur moyenne (H²/S).

tation peu protectrice permet de définir un processus d'abrasion original. Comme on le voit sur la photographie n° 1, les pieds d'*Aristida* sont déchaussés lors des averses. L'ablation dans les altérites des grès et la carapace sableuse est relativement intense surtout sur les culminations. Dans les vallons, les colluvions se concentrent et s'épaississent (photo n° 2) en couloirs qui forment le réseau hydrographique supérieur du bassin versant.

Les couloirs où s'accumulent les colluvions sont des formes héritées. Ce secteur est en effet appelé « Dômes sableux » par référence à l'allure générale du modelé. Les Dômes sont le résultat du démantèlement en glacis de la cuirasse néogène dont les témoins sont les « Tables » en amont des sources du Fiherenana. Ce sont des ensellements entre les Dômes qui recueillent les colluvions. Les sources qui alimentent le lit mineur sont les points de restitution de l'eau stockée dans les grès poreux de l'Isalo II. Ces hautes vallées qui ont une forme en berceau très évasé, sont des modelés stables depuis le début de l'Aepyomien (nom donné au Quaternaire malgache par R. Battistini). Les colluvions issues des versants alimentent continuellement la basse terrasse inondable. La végétation de roseaux les retient et le niveau du lit reste stable. L'incision et le départ de matériaux sont à peu près équivalents ou inférieurs aux apports latéraux. Ce secteur est donc en équilibre morphologique dynamique.

Cet équilibre est rompu à l'aval des confluences avec l'Andranolava, la Ranomena et la Maniday. Désormais, l'incision prime les apports latéraux.

b) *Les modelés d'incision en secteur gréseux*

Dans ce secteur l'incision se produit soit lors d'une très légère accentuation de la pente, soit lorsque la cohésion des sols s'affaiblit.

L'incision a une ampleur variable. Les formes mineures prennent l'allure de celles de la photographie n° 3. La rigole s'est installée sur des sols de 4 à 5° de pente. La morphogenèse est pluri-annuelle. Lors des pluies, l'eau s'engouffre en tourbillonnant. Le sable transporté sert d'abrasif sur l'altérite environnant les lèvres de l'incision. Les grains de quartz décrochés fournissent un abrasif supplémentaire. L'érosion s'auto-entretient ainsi. Dans le cas contraire, elle se prolonge en *sakasaka*.

Le *sakasaka* est un ravin dont les parois sont perpendiculaires au fond très plat. Ce fond est généralement un niveau de forte imbibition : c'est, soit le niveau de la nappe phréatique, soit (comme c'est

le cas sur la photographie n° 4) le contact de la carapace sableuse et du soubassement rocheux. Le *sakasaka* existe sur des terrains à pente infime lorsque les roches sont très peu solides. Il s'agrandit alors par affouillement des parois. Il peut cependant exister sur des pentes plus nettes, sans avoir l'aspect digité des *lavaka*. Il se raccorde au réseau de drainage principal par un cône de déjection sableux. Lors de la saison de crue, ces sables sont épandus sur la basse terrasse inondable, comme les colluvions dans les têtes de vallée.

Si le secteur le plus amont semble immunisé contre le creusement longitudinal, à l'aval de la confluence avec l'Andranolava, la vallée est nettement encaissée. C'est le signe de la prépondérance de l'incision sur les apports latéraux car, désormais, le fleuve a une capacité permanente de prise en charge des alluvions les plus fines.

Cet encaissement entretenu de nos jours, correspond à l'incision qui s'est établie lors du rattachement du réseau supérieur du Fiherenana avec le réseau hydrographique beaucoup plus actif constitué par les torrents descendant de l'Analavelona et le canyon actuel du bas-Fiherenana. Ce rattachement a eu lieu au Quaternaire ancien lors d'une oscillation paléoclimatique.

III. LE CANYON DU BAS-FIHERENANA ET SES TERRASSES

Le Fiherenana s'engage dans le plateau calcaro-basaltique par un entonnoir de percée cataclinale si l'on fait des côtes de la Sacondry et de l'Analavelona une cuesta. La coupe (Fig. 2) nous montre que l'on peut interpréter ce modelé comme un abrupt de ligne de faille inversé. La sédimentation alluviale n'a pas, ici, les mêmes caractéristiques que dans le secteur gréseux : au-dessus de la basse terrasse inondable se trouvent, à six mètres environ une moyenne terrasse et, à une vingtaine de mètres, une vieille terrasse rubéfiée. Ce système de terrasses étagées n'existe pas dans la vallée en secteur gréseux.

a) *La haute terrasse rubéfiée* (Ph. 5 et Fig. 3)

Des témoins de ce niveau se trouvent dans le delta à Miary, Morafatika et, dans le canyon, à Mahabo, Ampihalia, Behompy, Fotivolo. Ce dernier est le plus vaste. Il se situe à l'amont des premiers rapides rencontrés depuis l'embouchure.

Comme nous le constatons sur le croquis de localisation, cette terrasse est située au pied de la paroi, sur la rive droite. La pente

transversale notable témoigne d'une construction partiellement polygénique. Le haut de la terrasse au pied de la paroi de basalte et de calcaire, est alimenté par des éboulis. A la base de la coupe, les plus gros blocs de basalte (50 cm environ de grande longueur) ont été déposés par les torrents descendant de l'Analavelona (Ph. 5). En effet, seuls les torrents affluents de la rive droite, comme la Fangoa ou la Manandana, montrent des blocs de cette taille. Le Fiherenana ne transporte rien de plus gros que des sables. Le niveau à gros blocs semble être la relique d'énormes cônes de déjection des torrents qui ont empli la vallée, préalablement creusée en corrélation avec la grande régression (—100 m sous le delta) de la fin du Pliocène. Le basalte de ces blocs et galets a subi une pédogenèse longue qui entraîne la perte de cohésion de la roche une fois celle-ci retirée de la gangue sablo-argileuse.

Sur la coupe, les sables qui se situent au niveau du marteau, sont identiques à ceux du secteur gréseux (Fig. 4). Les grains de quartz sont fissurés avec remplissage des « caries » par le fer. Les états de surface sont à 64 % luisants, 20 % mats, 16 % anguleux brillants. La courbe granulométrique montre cependant un triage supérieur à celui des sables de la carapace sableuse.

Au-dessus de ces sables, nous constatons la présence d'éboulis et de colluvions récents.

La mise en place de cette terrasse s'est donc faite sous l'action concourante de deux types d'agents de dépôt. Les blocs de gros calibre et l'essentiel du matériau furent apportés par les torrents de l'Analavelona. Les sables sont en partie issus du secteur gréseux du haut-Fiherenana. La prépondérance des apports torrentiels est précisée par l'analyse des argiles des sols de cette terrasse. Malgré l'ancienneté de la pédogenèse, elles contiennent 50 % de montmorillonite alors que les sols de la carapace sableuse dans le haut-Fiherenana en contiennent 80 %. Il est donc légitime de penser que, à l'Aepyornien ancien, le Fiherenana est un réseau hydrographique dont le secteur aval est le canyon du bas-Fiherenana et le secteur amont les torrents de l'Analavelona à partir de l'Ilovo-Ilono. On peut penser qu'un épisode de variation paléoclimatique displuvial/isopluvial est responsable du dépôt et de l'incision de la haute terrasse. Elle serait le reste d'un énorme ensemble de cônes torrentiels débordant du canyon dans la plaine deltaïque de Tuléar. A cette époque, le réseau hydrographique de la région des « Dômes sableux » qui avait un niveau de base local, fut rattaché au bas-Fiherenana défini ci-dessus.

Si, actuellement, la hiérarchie de l'alimentation en eau a changé (le Fiherenana a de l'eau en permanence car il restitue celle emmagasinée dans les grès), la hiérarchie ancienne des capacités de transport semble maintenue.

b) *La signification morphologique de la moyenne terrasse*

Elle est située en contrebas de la haute terrasse. Elle est plus limoneuse et non rubéfiée et elle porte une forêt galerie assez dense. Sa signification pose problème. Des auteurs tels que Bourgeat et, plus récemment, Rossi, pensent qu'elle est un palier dans l'enfoncement des réseaux hydrographiques qu'ils étudient, corrélatif d'une variation paléoclimatique. J. Hervieu (1968) n'y voit le plus souvent qu'une construction polygénique.

Dans le bas-Fiherenana, comme pour la terrasse ancienne mais à une autre échelle, l'alimentation de cette terrasse en matériaux est indubitablement colluviale (Ph. 6). La coupe naturelle réalisée par un torrent affluent montre qu'en ce point l'essentiel du matériau est composé de colluvions calcaires (et en d'autres points, de colluvions basaltiques). Ils sont masqués sur la berge et au sommet de la terrasse par les apports sableux et limoneux épais d'environ 60 cm qui viennent de l'amont par le Fiherenana. Ils donnent à cette terrasse son aspect plan scmmital. Si l'on compare le triage des sables (Fig. 4) à ceux du lit mineur en divers points du cours, on constate une parenté très nette. Les courbes de triage des sables du lit mineur sont bimodales ou unimodales comme celles de la moyenne terrasse. Les sables de la moyenne terrasse sont mieux triés et plus fins que ceux du lit mineur, la médiane étant généralement très inférieure.

La structure des formations, leur litage pelliculaire, traduisent un dépôt lors de débordements périodiques du fleuve. Les cônes coalescents des sorties de ravins et des colluvions, sont masqués par les sables et limons venus du secteur gréseux d'amont. Ils sont retenus au sommet par la végétation ce qui contribue à l'exhaussement de la terrasse au niveau des hautes eaux de crue.

Il semble donc que, dans le bas-Fiherenana, la moyenne terrasse soit bien de construction polygénique, sans référence à une crise paléoclimatique. Lorsqu'elle prend une belle ampleur, c'est toujours à une confluence où le bourrelet de berge barre les apports latéraux plus volumineux.

CONCLUSION

A travers l'examen du bassin versant du Fiherenana, on comprend l'importance des facteurs lithologiques et structuraux. C'est bien l'environnement sédimentaire qui différencie les modelés d'accumulation du haut et du bas-Fiherenana. La tectonique qui a créé le volume de l'Analavelona est également nécessaire à la compréhension des terrasses fluviales du bas-Fiherenana dépendant des apports torrentiels. Dans la zone des « Dômes », l'héritage des modelés antérieurs explique la faiblesse des pentes et le profil transversal des hautes vallées.

Ces données fondamentales nuancent des phénomènes morphologiques communs à tout le bassin versant. Alors que les cônes colluviaux du secteur gréseux alimentent et exhausent la basse terrasse alluviale, dans le bas-Fiherenana, ils réalisent une moyenne terrasse de construction polygénique.

A. PALLAS

* Cet article utilise les observations réalisées dans le cadre d'un Doctorat de Troisième cycle :

PALLAS A., 1984 – Etude géomorphologique de la vallée du Fiherenana (Sud-Ouest de Madagascar) – Thèse de Doctorat en Géographie physique tropicale, Université de Bordeaux III, 284 p.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI R., 1964 – L'Extrême-Sud de Madagascar, Thèse Doct. Lettres, éd. Cujas, 2 t., 636 p., Paris.
- BESAIRE H., 1953 – Le sud du bassin de Morondava, Trav. Bur. Géol., vol. 44, Tananarive, multigraphié.
- BESAIRE H. & COLLIGNON M., 1972 – Géologie de Madagascar, t. 1 : Les terrains sédimentaires, Ann. géol. de Mad., Fasc. XXXV, Imp. Nat., Tananarive.
- BOURGEAT F., 1972 – Sols sur socle ancien à Madagascar, types de différenciation et interprétation chronologique au cours du Quaternaire, Mém. ORSTOM n° 57, 324 p., Paris.
- BOURGEAT F. & RATSIMBAZAFY C., 1975 – Retouches à la chronologie du Quaternaire continental de Madagascar, conséquence sur la pédogenèse, Bull. Soc. Géol. de Fr., t. XVII, n° 4, pp. 554-561.
- BOURGEAT F., SOURDAT M., TRICART J., 1979 – Pédogenèse et morphogenèse à Madagascar, Mad. Rev. de Géol., n° 35, pp. 9-53.
- FOURNIER F., 1960 – Climat et érosion, la relation entre l'érosion des sols par l'eau et les précipitations atmosphériques, P.U.F., 201 p., Paris.
- HERVIEU J., 1968 – Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical, Mém. ORSTOM n° 24, 465 p.
- KARCHE J.P., 1963 – Stratigraphie du plateau mahafaly à Madagascar, C.R. Sem. Géol. Mad., pp. 75-79.
- PEDRO G., 1968 – Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe, présentation d'une esquisse géographique, Rev. Géol. Phys. & Géom. Dynam., vol. X, fasc. 5, pp. 457-470.
- ROSSI G., 1981 – Caractères du Quaternaire littoral de l'Ouest de Madagascar, Mad. Rev. de Géol., n° 34.
- SOURDAT M., 1977 – Le Sud-Ouest de Madagascar : morphogenèse et pédogenèse, Th. Sc., Dijon, Public. ORSTOM, 212 p.
- TRICART J. & CAILLEUX A., 1974 – Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes, t. IV, SEDES, Paris.

RESUME

Le bassin versant du Fiherenana dans le Sud-Ouest de Madagascar a la particularité d'être à cheval sur deux zones sédimentaires : à l'amont, la sédimentation fut continentale et à l'aval marine. Les types de modelé dépendent en grande partie de cette opposition. Les dépôts de vallée sont différents dans chacun des deux secteurs. Celui de l'amont gréseux n'a qu'une basse terrasse inondable qui s'exhausse au rythme des apports colluviaux. Dans le secteur aval, il y a construction de terrasses polygéniques.

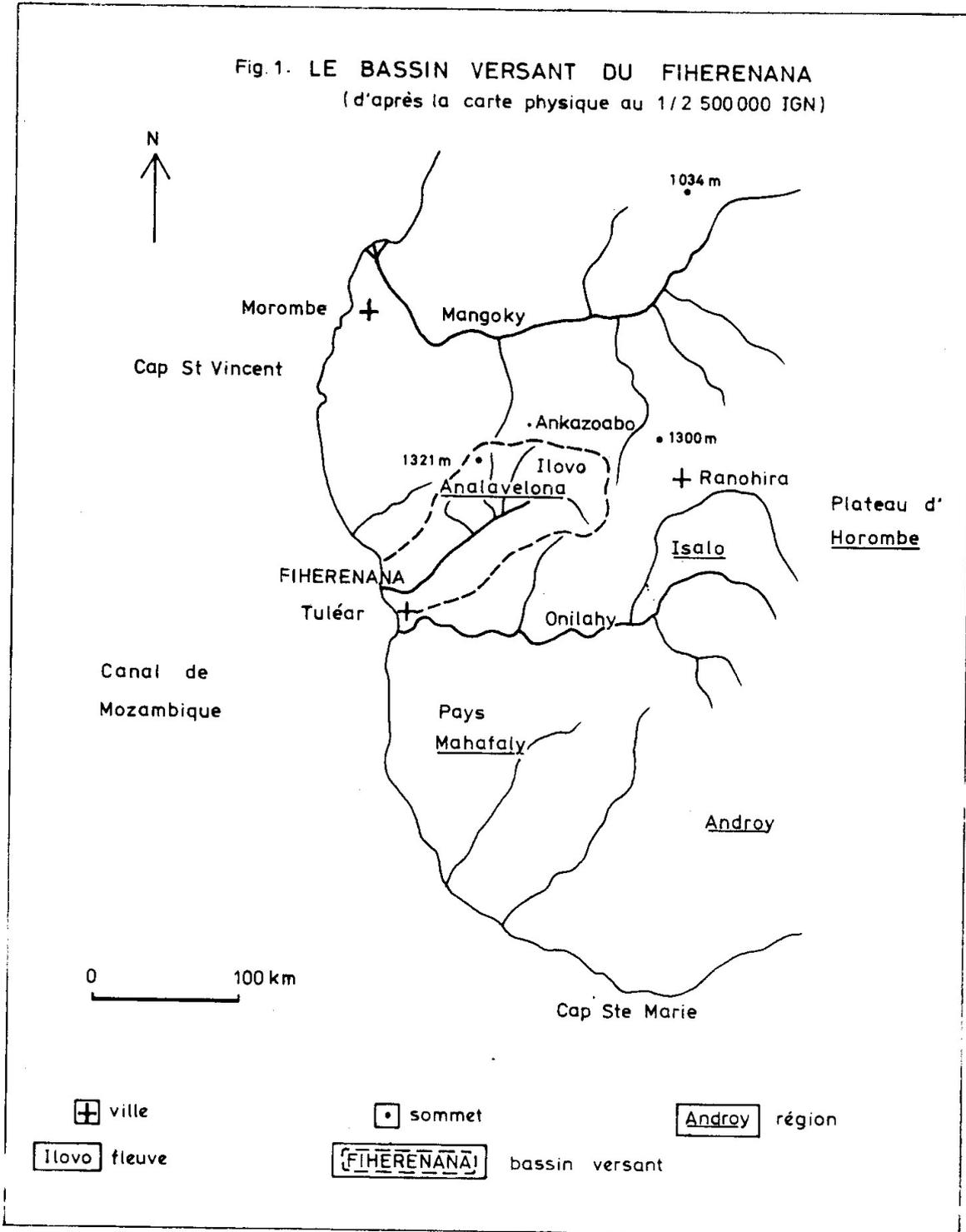
On peut penser à certains indices, que ce qui est actuellement un seul bassin versant fut, au Quaternaire ancien, deux ensembles hydrographiques distincts réunis lors d'une oscillation paléoclimatique.

SUMMARY

A particular feature of the Fiherenana drainage basin in South-western Madagascar, is that it belongs to two sedimentary belts : the sedimentation was continental upstream and marine downstream. To a great extent, the differences in landforms can be accounted for by this opposition.

The fluvial sediments are different in each of the two sectors : upstream, the lower terrace, liable to inundation, gets higher with colluvium deposits, downstream, polygenetic terraces are building up. Some evidences may suggest that, where there is now a single drainage basin, there used to be, in the lower Quaternary period, two separate hydrographic units which were later joined together during a paleoclimatic oscillation.

Fig.1. LE BASSIN VERSANT DU FIERENANA
(d'après la carte physique au 1/2 500 000 IGN)



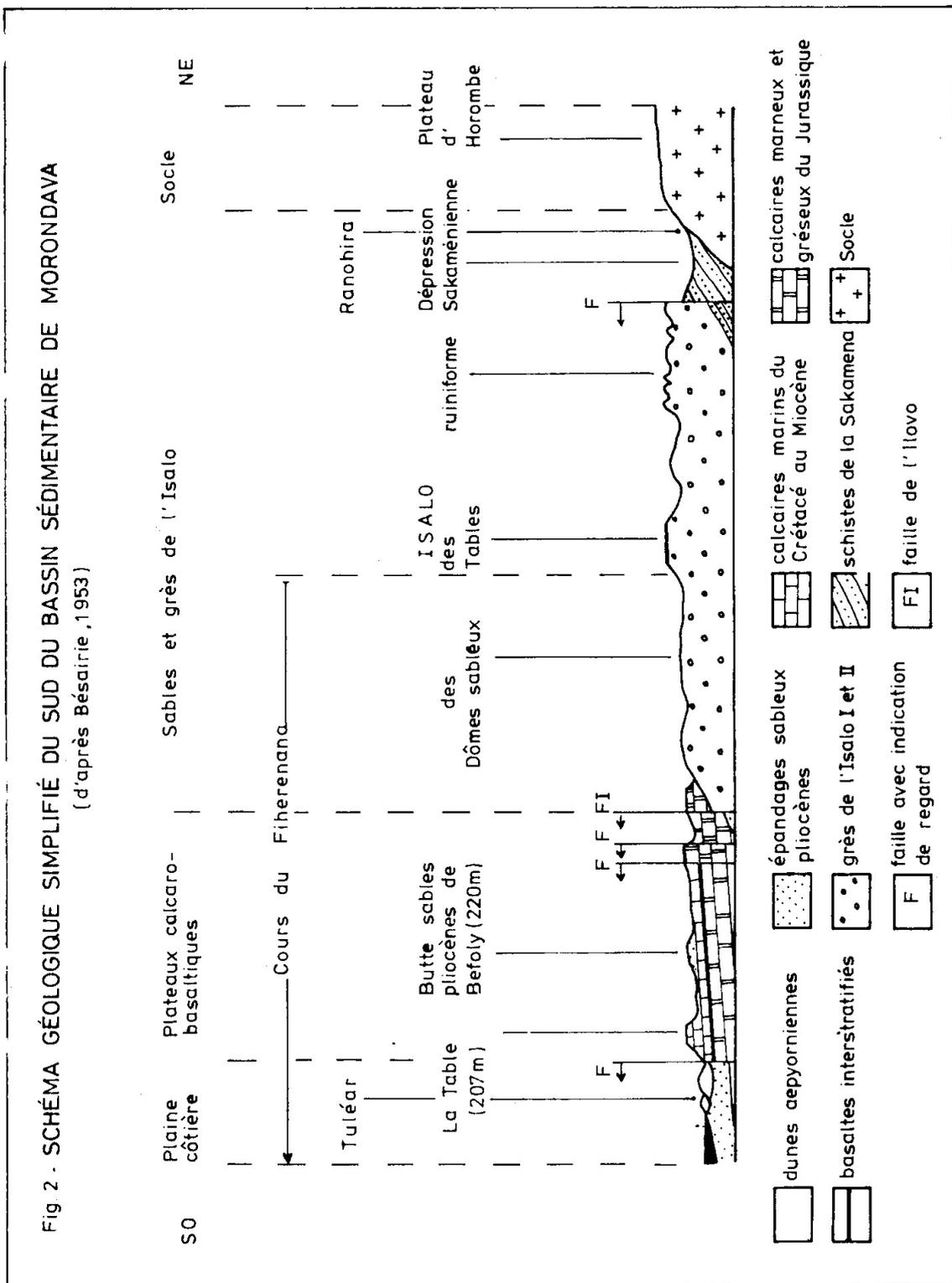
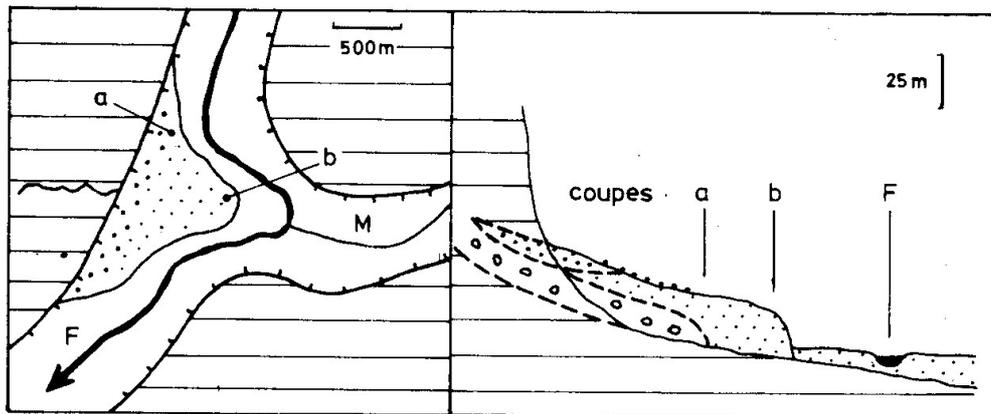
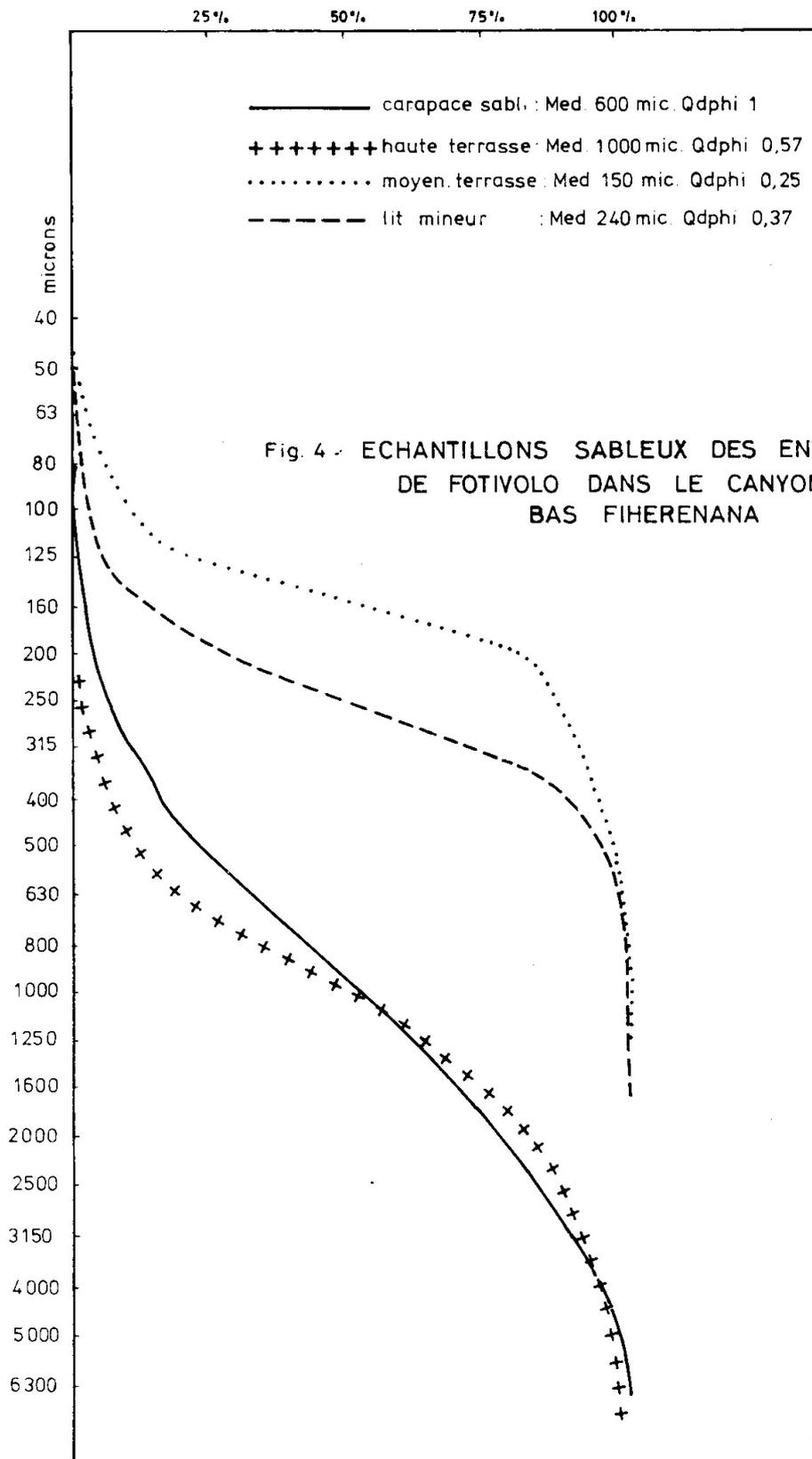


Fig. 3 SITE ET COUPE DE LA HAUTE TERRASSE DE FOTIVOLO



- | | | | |
|---|--|---|-----------------------------|
|  | environnement rocheux (basaltes et calcaires) de la vallée du Fiherenana |  | cônes à gros blocs |
|  | colluvions de surface |  | sables d'amont |
|  | fiherenana |  | Maroly rivière |
|  | torrent affluent |  | profil des cône torrentiels |



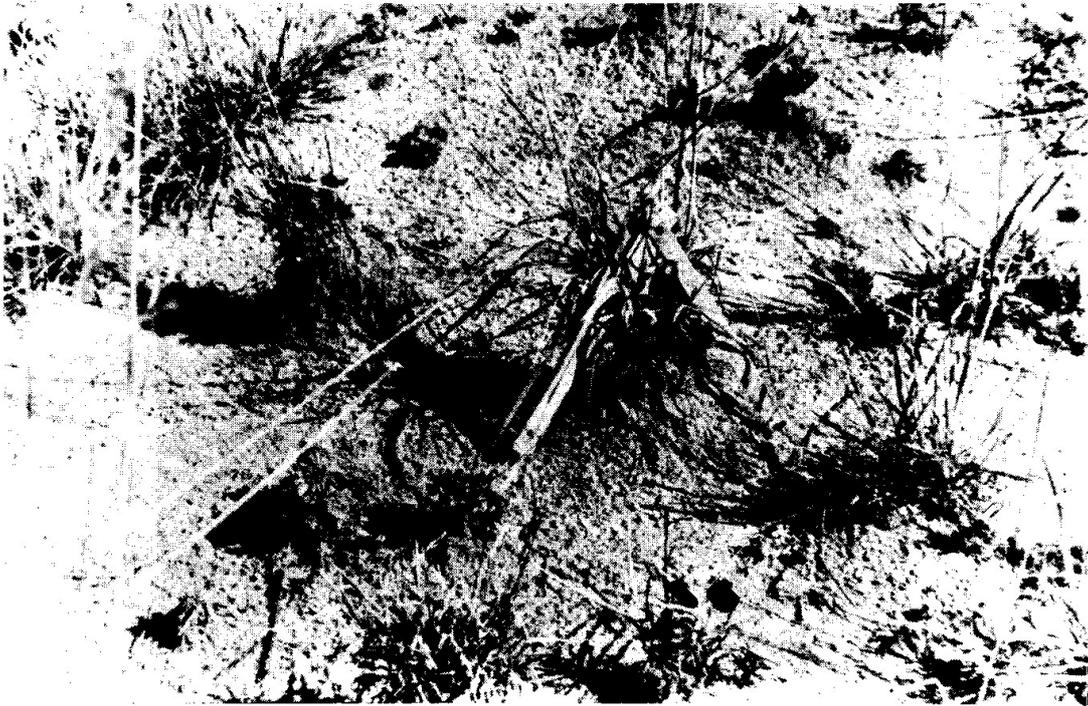


Photo 1 — Déchaussement des pieds d'Aristida par le ruissellement permettant à l'aval le colluvionnement sous herbes.

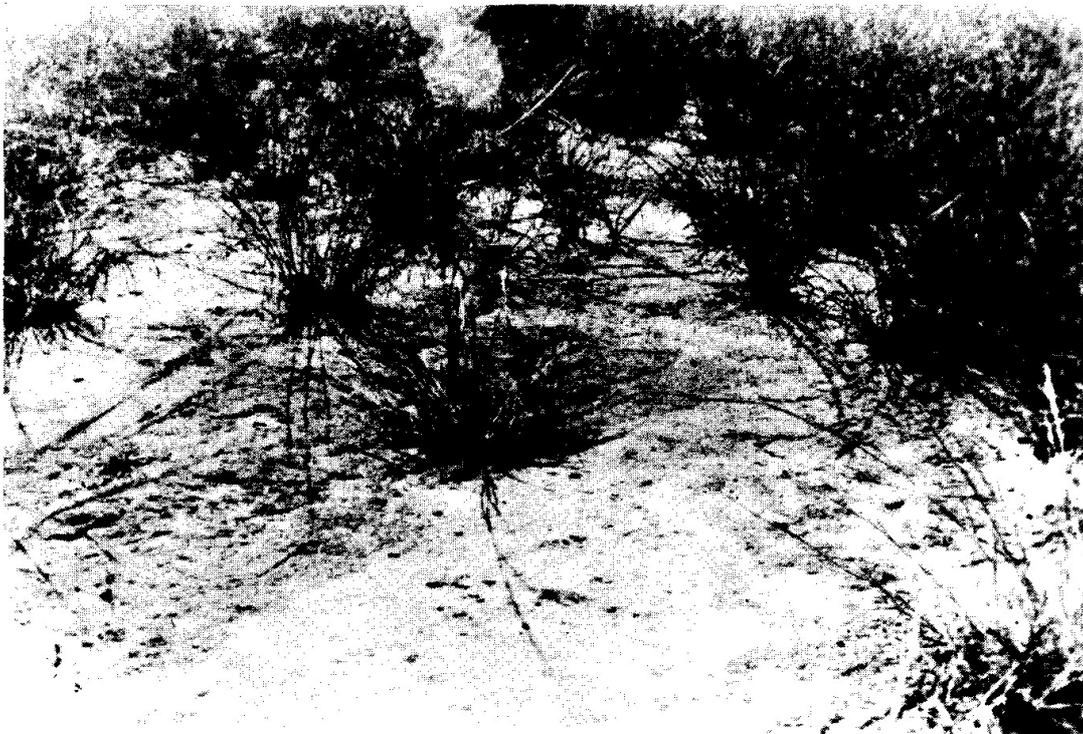


Photo 2 — Transport sous herbes. Opposition des zones d'ablation (grises) et des zones d'accumulation (pâles).



Photo 3 — Ravinement dans les altérites des grès du haut-Fiherenana (zone des « dômes sableux »).



Photo 4 — *Sakasaka* : le « plancher » est réalisé par les strates gréseuses de l'Argovien alors que le ravin se développe dans la « carapace sableuse ».

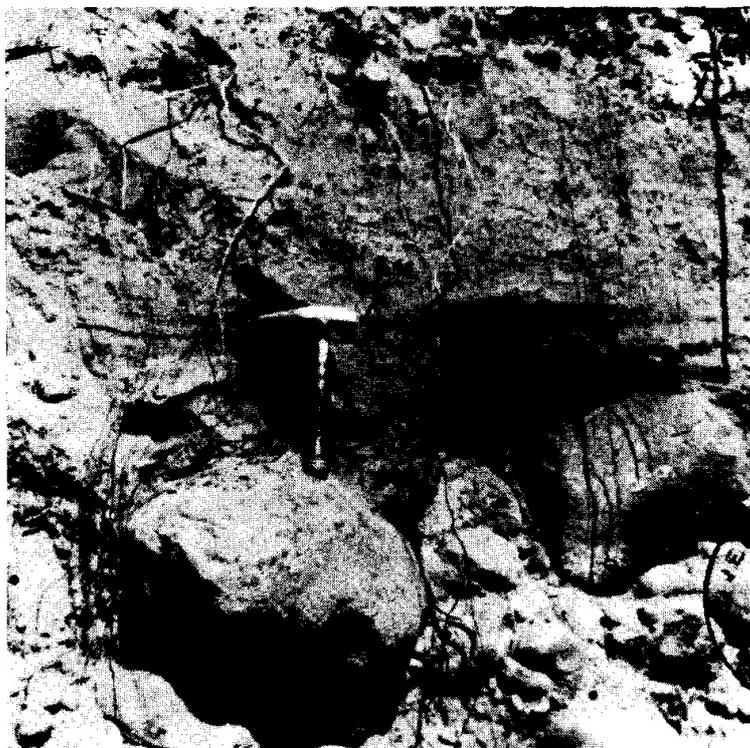


Photo 5 – Coupe dans la haute terrasse de Fotivolo. Les éléments les plus volumineux sont extraits à faible distance d'une altérite et apportés par les torrents de l'Analavelona. Les sables proviennent de la haute vallée du Fiherenana par le fleuve. Au sommet des colluvions sont issus des parois de canyons.



Photo 6 – Moyenne terrasse, colluvions et galets calcaires coiffés par les «laisses» sablo-limoneuses de crue ; environs de Fotivolo.