

LES PLAINES DE LA ZOMANDAO ET DE RANOTSARA

(Recherches sur l'aménagement du relief
et l'évolution des sols à Madagascar
dans le cadre d'unités géomorphologiques)

J. HERVIEU

Maître de Recherches — ORSTOM

SOMMAIRE

INTRODUCTION

GENERALITES

LA SURFACE DE LA ZOMANDAO

1. Situation
2. Végétation
3. Les éléments géomorphologiques
 - a) La surface d'aplanissement
 - Topographie
 - Drainage
 - Géologie
 - b) Les reliefs résiduels
 - Les dômes rocheux de la bordure méridionale
 - Les mornes granitiques
 - Le relief tabulaire du Ranoandao
 - c) Les reliefs montagneux de l'est et du nord-est
4. Les sols et les phénomènes de pédogenèse
 - a) Les matériaux originels, érosion et alluvionnement
 - b) Le profil-type en zone plane bien drainée
 - Morphologie
 - Caractéristiques physiques et chimiques
 - Caractéristiques de la fraction argileuse
 - c) Influence de la topographie sur les caractères du profil-type
 - d) Critères de classification et évolution pédogénétique

LA PLAINE DE RANOTSARA

1. Situation
2. Végétation
3. Les éléments géomorphologiques
 - a) Reliefs périphériques et résiduels
 - b) La surface alluviale ancienne
 - c) Le réseau hydrographique

4. Les matériaux originels
5. Les sols et l'évolution pédogénétique
 - a) Les profils-types
 - Morphologie
 - Caractéristiques physiques et chimiques
 - Cas particulier
 - b) Influence de la topographie
 - c) Critères de classification

CONCLUSION

Morphogenèse et Pédogenèse des surfaces d'aplanissement du versant occidental malgache

TABLEAUX ANALYTIQUES

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Dans cette étude, et celles qui suivront, les unités géomorphologiques ne correspondront pas obligatoirement à des catégories taxonomiques du même ordre de grandeur. En effet, le "cadre" choisi pour chacune de ces études le sera en fonction de l'influence qu'il exerce sur les phénomènes de pédogenèse.

Cette influence aura un caractère régional et les phénomènes observés seront susceptibles de se reproduire avec une grande fréquence dans l'unité choisie. En conséquence, celle-ci présentera un "faciès pédogénétique" qui lui sera propre.

Du point de vue de la pédogenèse, les "faciès" étudiés pourront la plupart du temps être facilement représentés sur des cartes pédologiques à échelle moyenne ou petite échelle (1/200 000e au 1/1 000 000e) ou bien apparaîtront sous la trame de la classification génétique utilisée pour de telles cartes.

Cette conception géomorphologique du faciès pédogénétique offre un cadre commode aux recherches pédologiques, en même temps qu'elle permet d'orienter les études régionales qui servent de documents de base pour la cartographie systématique de reconnaissance des sols à échelle moyenne.

GENERALITES

Le bassin versant moyen de la rivière Zomandao, un des principaux constituants du Mangoky, comprend en amont du confluent Zomandao-Fenoarivo, une surface d'aplanissement dans le socle avec mornes résiduels et dômes rocheux.

La plaine de Ranotsara est due au comblement, par des alluvions anciennes, d'une zone d'effondrement tectonique. Elle correspond au haut bassin versant de la rivière Menarahaka et de ses affluents Sahambano et Fandramana, et communique avec la moyenne vallée de la rivière Ihosy par le seuil d'Ambararata. Cet ensemble constitue un axe dépressionnaire dans la partie méridionale des reliefs centraux de l'Ile, orienté NO-SE. Géographiquement, cet axe sépare le pays Betsileo des plateaux Bara.

Malgré une origine foncièrement différente, les deux plaines ont été récemment rattachées par F. DIXEY (1) à une surface d'érosion fin-tertiaire selon les conceptions de la géomorphologie cyclique. D'après cet auteur, cette surface, commençant un peu au-dessus du niveau actuel de la mer, peut atteindre jusqu'à 900 m d'altitude quand le cycle a pu progresser suffisamment à l'intérieur. A cette surface se rapporteraient également certaines plaines côtières de l'Est et les plaines intérieures de l'Alaotra, du Mangoro et de Ranohira.

CLIMATOLOGIE

Les régions étudiées sont soumises à un climat tropical à saison sèche bien marquée, avec une tendance plus sèche du sud-est vers le nord-ouest.

Le déficit en eau est quasi-permanent, au moins dans la partie supérieure des profils, d'avril à octobre, et le ruissellement surtout important pendant la seconde partie de la saison des pluies.

La pluviométrie annuelle est en moyenne de 842 mm avec un maximum de novembre à février. La saison sèche est très marquée puisqu'il tombe seulement en moyenne 83 mm de pluies d'avril à octobre inclus. On observe cependant de grandes variations dans la quantité totale de pluie d'une année à l'autre, les années sèches étant plus fréquentes que les années pluvieuses.

La température moyenne annuelle varie de 24° 4 en janvier à 17° 2 en juillet, avec un maximum moyen de 29° 8 en saison des pluies, et un minimum moyen de 10° 7 en saison sèche.

Du point de vue de la pédogenèse, ces régions appartiennent à une zone de transition avec passage du climat subhumide des Hauts-Plateaux au climat subhumide à tendance sèche (pentes occidentales de l'Ouest et du Sud-Ouest).

Cette zone climatique est comprise entre les isohyètes annuelles 80 et 100 (cm), le coefficient de Meyer variant de 100 à 200 (2) et l'indice d'humidité de Thornthwaite de 0 à 20 (3).

On devrait donc y observer la prépondérance des phénomènes de ferruginisation simple sur ceux de ferrallitisation avec passage des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux tropicaux (passage du versant oriental et des Hauts-Plateaux centraux au versant occidental).

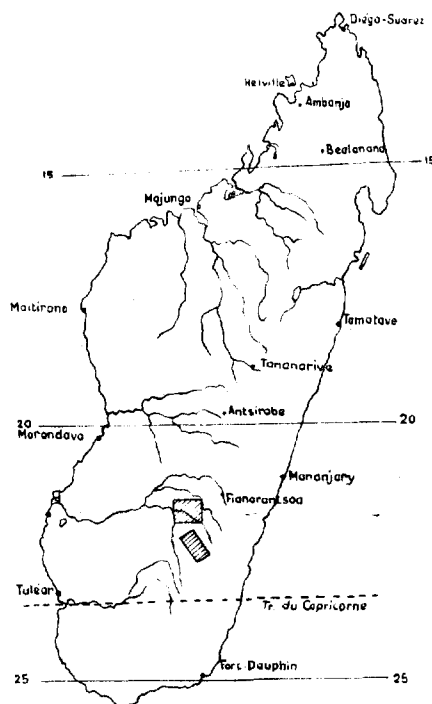


Fig. 1. — Carte de repérage des régions étudiées : au 1/9.000.000.

LA SURFACE DE LA ZOMANDAO

1. SITUATION

La plaine de la Zomandao se situe à l'Ouest d'Ankaramena, un peu au nord du 22^e parallèle (fig. N° 1). Elle est limitée par une série de reliefs assez disséqués (série de gneiss et quartzites) à direction dominante subméridienne.

La surface d'aplanissement coupe ainsi transversalement la direction générale des plissements cristallins et elle s'achève à l'ouest au contact d'alignements rocheux également nord-sud que la rivière Zomandao, en aval de son confluent avec la Fenoarivo, traverse par une série de seuils rocheux. Cette surface constitue donc un palier dans le cours moyen, la rivière ayant ensuite un profil très accidenté en escalier.

Une série de reliefs résiduels, constitués par des noyaux de roches résistantes inclus dans les strates métamorphiques de schistes cristallins, domine la surface d'aplanissement.



Photo N° 1

Panorama de la surface d'aplanissement de la ZOMANDAO

2. VEGETATION

La formation végétale dominante est une savane herbeuse moyennement dense à *Heteropogon contortus* (Danga) et *Hypparhenia rufa* (Vero) très peu arborée avec *Poupartia caffra* (Sakoa). Une végétation arborée et arbustive assez dense constitue un très mince liseré le long des cours d'eau principaux.

3. LES ELEMENTS GEOMORPHOLOGIQUES

a) La surface d'aplanissement (cf. Photo-panorama N° 1)

1. Topographie

L'altitude moyenne de cette surface varie de 800 m à l'est à 745 m vers l'ouest. La pente générale, orientée est-ouest, est de 1,6 pour 1000, pente à peu près identique à celle de la rivière principale : la Zomandao.

Le paysage est fait de collines très aplanies, à pentes légèrement convexes et grand rayon de courbure. On observe, fréquemment, au moins dans les vallées principales de la Zomandao et de la Fencarivo, une faible rupture de pente peu avant l'axe de drainage.

La mesure de la pente tous les 20 m sur un profil-type de versant a donné les résultats suivants, retrouvés approximativement sur plusieurs versants (pentes en pour 100) :

	0,8	1,2	1,6	1,8	2,1	2,5	2,5	2,5	2,6	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	
0						100 m			200 m						300 m	
	2,5	2,6	2,6	2,4	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8	3,1	3,5	3,5	3,0	5,5	4,1	
300 m						400 m			500 m						600 m	
	4,4	4,6														
600 m																

En moyenne les valeurs 2,5 et 2,6 ont les fréquences les plus grandes. Cependant, dans les thalwegs secondaires, l'axe de drainage est en général plus encaissé, et, dans les derniers 50 m du bas du versant, la pente passe rapidement à des valeurs pouvant atteindre 11 ou 12 %.

2. Drainage

La Zomandao a un tracé très sinueux mais surimposé sur le socle cristallin. En effet, son cours recoupe nettement les directions générales des strates métamorphiques, en particulier la structure elliptique du Vohimena en voie de dégagement, et au débouché occidental de la plaine les structures arquées du Vohidava prolongeant les chafnes plus méridionales du Vohimaity (cf. fig. N° 2). La rivière suit localement dans son tracé des lignes de fractures, en particulier au sud-ouest du village de Ranoandao.

Sur la rive droite de la Zomandao, et en particulier dans la région d'Ambinaniroa-Andonaka, un épais manteau d'altération conditionne la présence de vastes surfaces aplanies avec un réseau secondaire de drainage peu différencié et une prépondérance du drainage en réseau diffus : ce fait se marque par une végétation de prairie plus dense dans les zones d'écoulement. Les axes tertiaires lorsqu'ils existent sont courts.

Les affluents de la rive gauche suivent en général la direction des plissements, le manteau d'altération étant dans cette zone plus discontinu. L'aspect rectiligne de certains thalwegs secondaires est dû à la présence de lignes de fractures.

La région située à l'est du village de Fencarivo montre une série de reliefs résiduels en voie de dégagement et un réseau hydrographique secondaire en cours de surimposition. Même observation pour le bassin versant de la rivière Fany au sud-ouest de la plaine. Il faut entendre dans ce qui précède par surimposition une inadaptation, au moins partielle, du réseau hydrographique aux conditions structurales. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène.



— Fig. 2 —
— ZOMANDAO . Esquisse structurale —

- | | | | | | |
|--|---|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| | Reliefs polyédriques | | Reliefs pseudo-appalachiens | | Inselbergs granito-gneissiques |
| | Structures métamorphiques de dénudation | | Alluvions anciennes | | Limites de la surface d'aplanissement |
| | Fractures | | Lignes de crêtes | | Profil et Prélèvements |

Echelle
100 0 2 4 6 8 10 Km

3. Géologie

Le socle cristallin est en majorité constitué par des gneiss à grain assez fin, plus ou moins riches en quartz, à biotite ferrifère et amphibole, à grenat peu abondant. Ces gneiss contiennent en abondance des feldspaths potassiques, en particulier du microcline, et ont fréquemment une structure orientée (*).

L'orientation des strates métamorphiques est subméridienne et les pendages sont en général élevés. Dans ces plis gneissiques sont interstratifiés des bancs quartzitiques ou gneissiques très riches en quartz qui constituent la plupart des axes orogéniques des reliefs périphériques de la plaine.

Enfin des granites migmatitiques et certains gneiss quartzitiques en enclaves à allure stratoïde ont donné naissance à des mornes résiduels caractéristiques.

b) Les reliefs résiduels

1. Les dômes rocheux de la bordure méridionale

Sur la bordure méridionale de la surface d'aplanissement, de part et d'autre de la route nationale N° 7, on peut observer une série de dômes rocheux parfois très dégagés, à parois abruptes, tels l'Imandazaka et le Ranjo, parfois surbaissés en voie de dégagement (photo



Photo N° 2

Le RANJO, Inselberg de gneiss quartzitique

N° 2). Ces reliefs résiduels, comme ceux que nous décrirons plus loin rentrent dans la catégorie des "Inselberg", le contact du relief avec la plaine se faisant la plupart du temps par une rupture de pente nette.

Ces dômes rocheux sont constitués par des gneiss très riches en quartz ou des quartzites, à biotite et magnétite, à grain très fin. Ces reliefs résiduels, plus ou moins importants, sont fréquemment alignés selon une direction subméridienne à l'image du plissement général du socle.

Ils sont très dénudés, avec seulement quelques lichens et des xérophytes, ou des arbustes dans les anfractuosités ou cassures.

* L. DELBOS du Service géologique a bien voulu examiner avec nous quelques lames minces.

Sur les reliefs les plus élevés, les pentes varient en moyenne entre 45 et 65°; mais certains versants peuvent aller jusqu'au surplomb, l'"inselberg" tendant alors vers la forme sphérique.

L'altération de la roche se fait sous la forme d'une desquamation en petites dalles, facilitée par une érosion en rigoles. Cette érosion utilise les discontinuités dues aux couches d'altération concentriques à la paroi et au degré d'altération différent; le litage fin de la roche est le plus souvent oblique à la surface (photo N° 3).



Photo N° 3

Altération d'une surface rocheuse (gneiss quartzitique) à faible pente

Cette altération est d'ailleurs maximum sur les pentes des dômes surbaissés en voie de dégagement. Elle se limite à des rigoles d'écoulement sur les parois à fortes pentes.

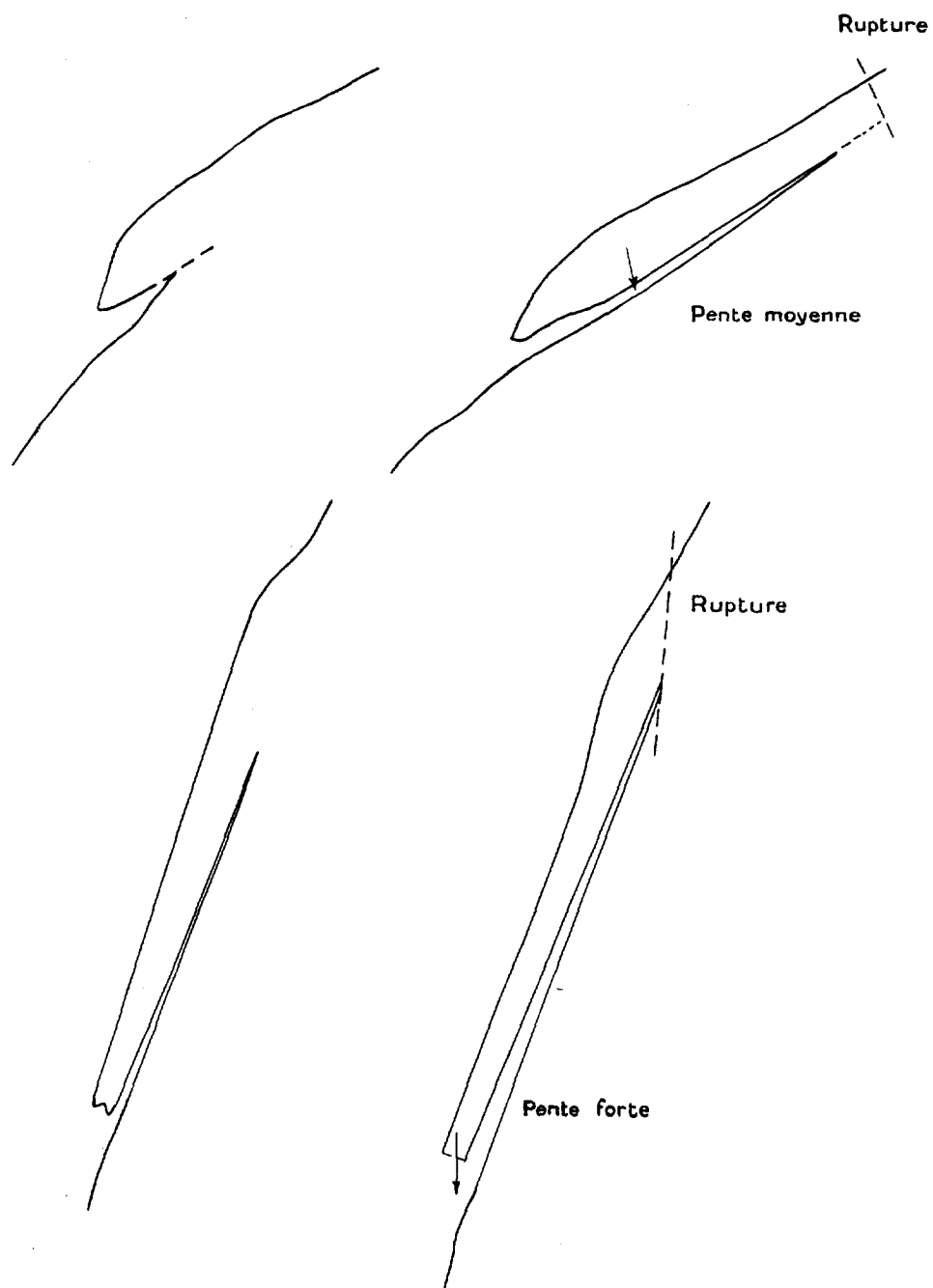
Plus la pente augmente, plus la desquamation perd son caractère de généralisation, pour s'exercer seulement en des zones déterminées et avec une beaucoup plus grande ampleur : c'est la desquamation en grandes dalles observable également sur les reliefs résiduels que nous indiquons plus loin.

Ce type de desquamation se produit le plus souvent au voisinage des ruptures de pente ou de la crête militaire des inselbergs. Le processus essentiel semble être le suintement des eaux d'imbibition au contact de la roche saine et des couches superficielles altérées, avec constitution de petits abris sous roche. Ces cavités, tout en restant très étroites, peuvent atteindre une vaste extension, phénomène facilité peut-être par les variations de température. Finalement une dalle rocheuse plus ou moins grande se trouve ainsi en surplomb, jusqu'à rupture sous l'action de la pesanteur ou altération de la charnière rocheuse (fig. N° 3) (photo N° 4).

Si la pente est suffisamment forte, la dalle se brise au pied du relief. Ainsi on peut observer fréquemment au-dessus des talus d'éboulis, qui sont en général bien limités, la cicatrice de rupture sur la paroi de l'inselberg (photo N° 5).

2. Les mornes granitiques

Dominant la surface d'aplanissement, avec laquelle ils forment un "knick" très net, ces reliefs résiduels atteignent des altitudes élevées : 170 m pour le Vohipotsy (photos N° 6 et 7), 1 017 m pour le Vohitromby et 1 425 m pour l'Ifandana (photo N° 8).



Fig_3

Représentation schématique de la desquamation en dalles
sur le flanc d'un inselberg.



Photo N° 4
Rupture de dalles de desquamation



Photo N° 5
Cicatrice de rupture et éboulis

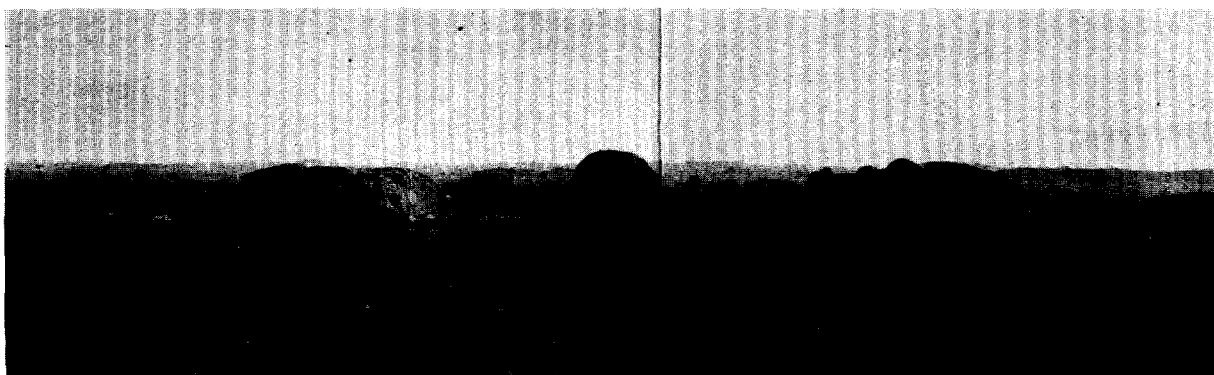


Photo N° 6
Vue d'ensemble du massif granitique du VOHIPOTSY

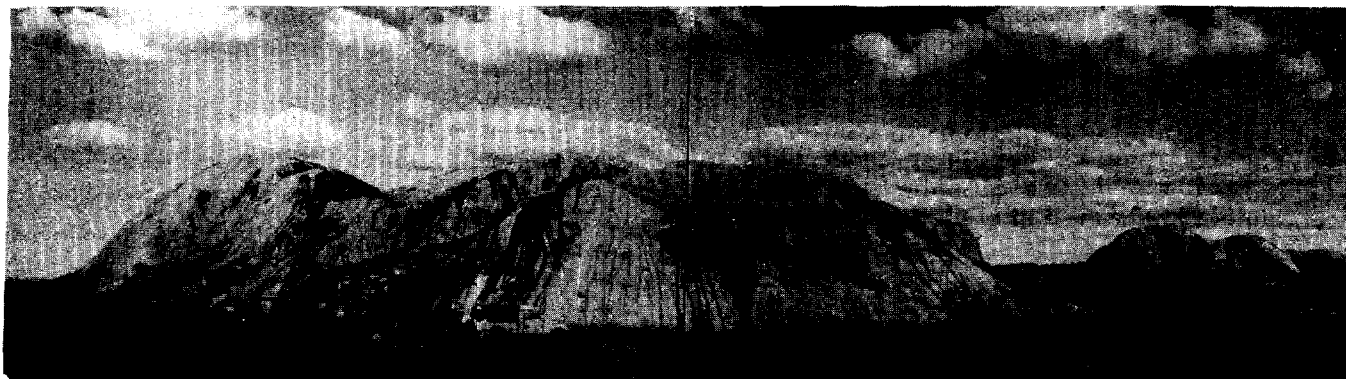


Photo N° 7
Inselberg du VOHIPOTSY, façade occidentale

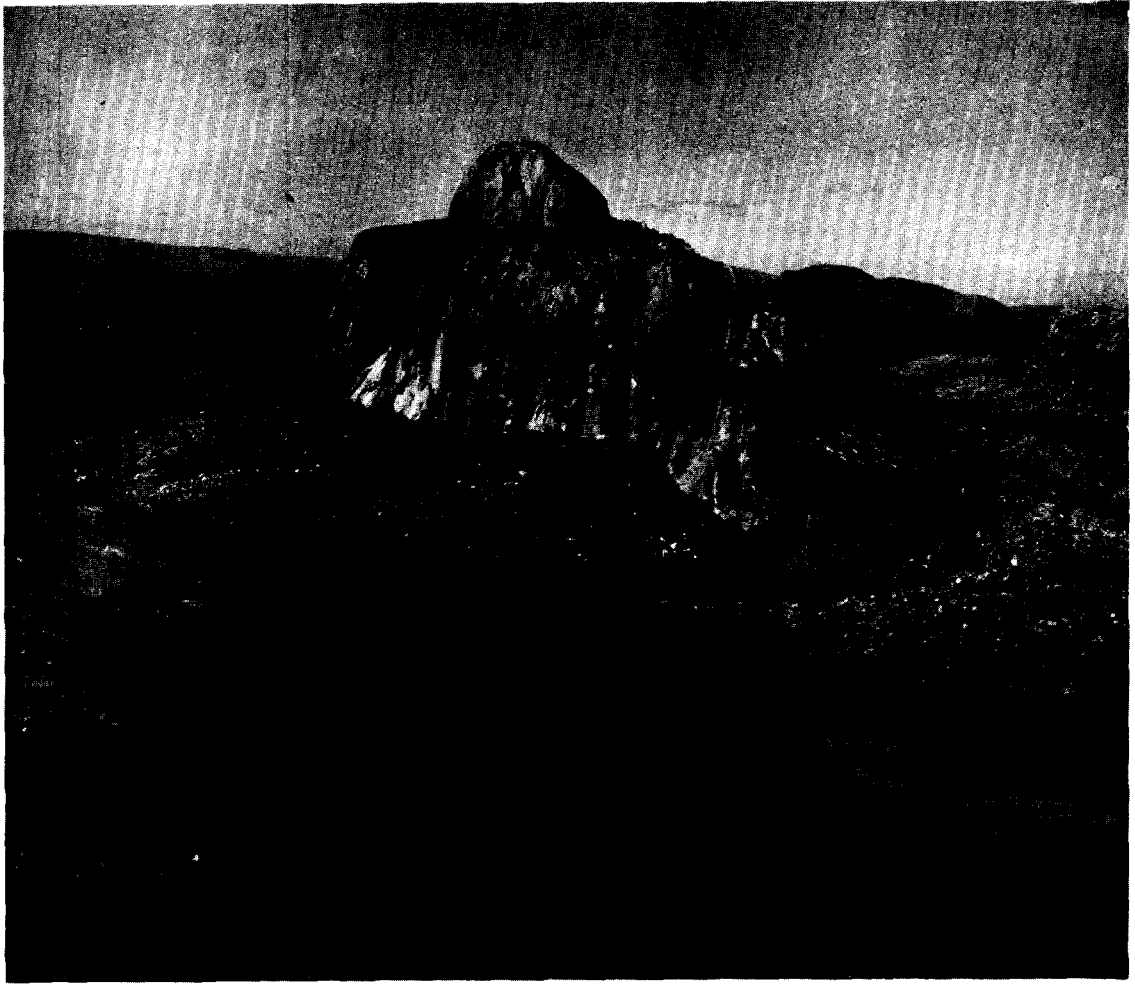


Photo N° 8
Inselberg granitique de l'IFANDANA

Les formes vives de ces reliefs semblent surtout le résultat d'accidents tectoniques : facette de faille de la face orientale de l'Ifandana, fractures courbes découpant le massif du Vohipotsy. Mais en général les pentes sont plus irrégulières et moins accentuées que dans les dômes rocheux précédents.

Ces mornes sont constitués par des granites migmatitiques calcoalcalins ou alcalins à biotite, à structure pegmatitique, à grain grossier mais homogène.

Facilités par des lignes de fractures, les phénomènes de desquamation peuvent y atteindre une ampleur exceptionnelle : on y observe des écailles intéressant toute une surface d'un dôme, prenant appui sur la base du relief (photo N° 9).

L'altération de la surface rocheuse est plus variée que précédemment au moins sur les pentes moyennes, par suite du feuilletage très net de la roche altérée (photo N° 10).

On observe sur les dômes du Vohipotsy une érosion alvéolaire assez caractéristique (photo N° 11). Il est difficile de dire si ces alvéoles sont dues à la seule action des eaux de ruissellement ou si l'exudation de solutions enrichies en sels joue un rôle dans le phénomène.

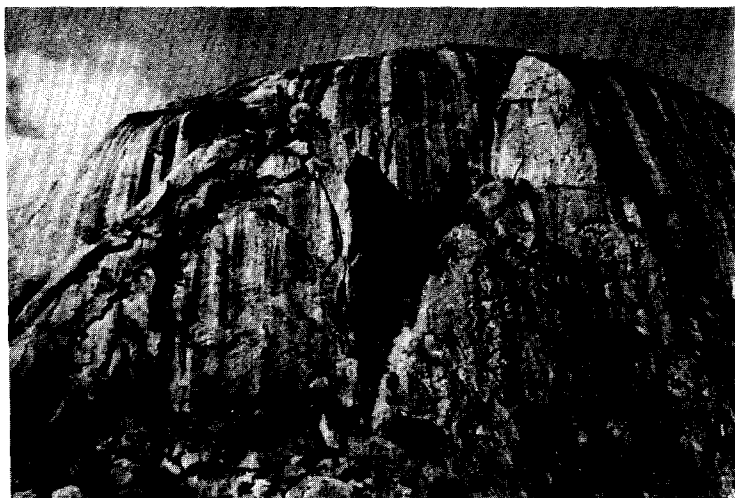


Photo N° 9
Desquamation en écailles sur le VOHIPOTSY

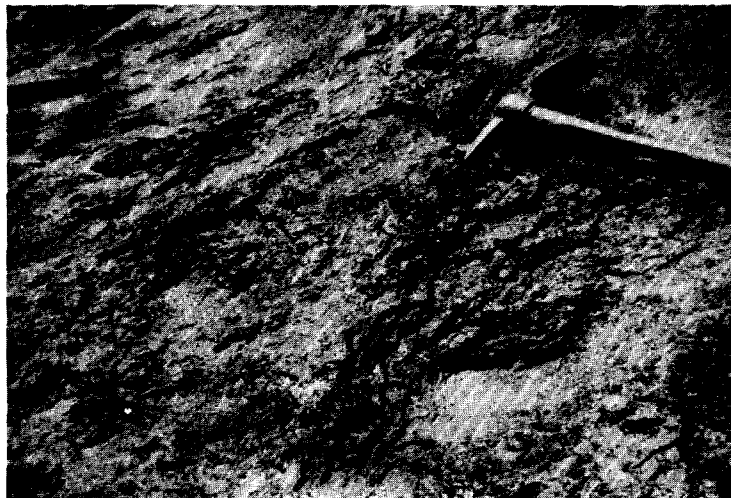


Photo N° 10
Altération en feuillets du granite du VOHIPOTSY



Photo N° 11
Erosion alvéolaire du granite du VOHIPOTSY



Photo N° 12
Butte-témoin de RANOANDAO

3. Le relief tabulaire du Ranoandao.

Ce relief résiduel, dont l'altitude maximum est de 1012 m, présente une morphologie particulière : en effet, il est constitué par des couches métamorphiques gneissiques, faiblement plissées et recoupées sous un angle faible par une haute surface.

D'où une structure rappelant curieusement une morphologie sédimentaire (synclinal perché et butte-témoin) (photo N° 12). Le sommet est protégé de l'érosion par un niveau quartzique et un dyke à faciès basique.

c) Les reliefs montagneux de l'est et du nord-est

Des reliefs montagneux limitent au nord et au sud d'Ankaramena la surface d'aplanissement à laquelle ils se raccordent par des pentes d'éboulis concaves. L'angle basal n'est jamais aussi net qu'au bas des reliefs résiduels précédents.

Il s'agit d'une série gneissique où les bancs de quartzites constituent de longues lignes de crête subméridiennes, dans une structure litée à fort pendage, d'où certaines formes rappelant les *cuestas* sédimentaires.

Ces reliefs sont en moyenne très disséqués, à tendance polyédrique, avec un réseau hydrographique secondaire très différencié. L'altération est peu profonde et irrégulière (sols subsquelettiques). Les pentes sont fortes, atteignant souvent 50 à 60 pour 100.

La désagrégation est incomplète et l'ablation importante. Localement des noyaux granitiques forment des mornes à pentes verticales (granite d'Ankaramena).

4. LES SOLS ET LES PHENOMENES DE PEDOGENESE

a) Les matériaux originels, érosion et alluvionnement

Nous n'avons pas retrouvé, sur la surface d'aplanissement, de dépôts fluviatiles ou lacustres anciens ayant subi une évolution pédologique.

Dans les *thalwegs* eux-mêmes les traces d'alluvions anciennes sont rares. Au nord d'Ambinaniroa-Andonaka, entre 15 et 20 m au-dessus du lit actuel de la Zomandao, on peut observer un élément de terrasse, à galets de quartz roulés de taille très variable et nombreuses concrétions ferrugineuses. Cette terrasse matérialise sans doute très localement la rupture de pente faible observée fréquemment dans les axes principaux de drainage en bas des versants. Elle précéderait par conséquent une récente phase de creusement.

Ce creusement récent est plus accentué dans les *thalwegs* secondaires de bordure de plaine : ainsi dans celui de la rivière Sahanala, au sud-est de Fenoarivo, on peut voir dans un ravin à fond plat des alluvions anciennes sablo-argileuses, à stratification subhorizontale, rubéfiées en surface. Leur épaisseur est d'environ 10 m mais le dépôt est très local.

Les alluvions fluviatiles actuelles sont essentiellement constituées par des sables et des graviers. Elles proviennent surtout des reliefs périphériques orientaux et forment des dépôts de crue dans les parties convexes des rives ainsi que le fond du chenal d'étiage (cf. fig. n° 4). Les dépôts limono-argileux de décrue sont rares et peu épais.

L'agent essentiel du modelé sur la surface d'aplanissement actuelle est l'érosion en nappes diffuses : lors des averses elle permet le transport en suspension des matières fines vers les cours d'eau et dépose sur les pentes entre les touffes végétales des sables grossiers à répartition granulométrique un peu différente de celle des sables fluviatiles (cf. fig. n° 4).

L'ablation en surface l'emporte sur l'érosion en profondeur, mais contrairement à ce qui se passe dans les reliefs périphériques, cette ablation est ici compensée par une altération beaucoup plus poussée.

Ces phénomènes caractérisent les aplanissements en climat tropical à saison sèche marquée, particulièrement en terrains cristallins.

Sur les bordures de la plaine l'altération est peu profonde, et on observe des épandages de cailloux quartziques sur pentes moyennes en même temps qu'une dénudation progressive de dalles rocheuses.

Dans ces zones à sols superficiels et pentes notables, l'érosion en nappe peut devenir ravinante et former des microfalaïses. Sur les bordures de la plaine est ainsi mis à nu le substratum rocheux de la surface d'aplanissement qui originellement est une surface gauche (érosion régressive mal individualisée, à laquelle correspond le creusement des *thalwegs* dans la partie aval).

Là où le manteau d'altération a une épaisseur importante, il semble bien, d'après nos observations, que l'on ait affaire à un matériau originel en place dont l'altération est assez poussée, l'approfondissement du profil tout comme son ablation étant des phénomènes assez lents.

Le développement de cette surface aplanie a exigé un niveau de base relativement stable, constitué par les séries occidentales de plis subméridiens, là où commencent les rapides de la Zomandao, en aval de son confluent avec la Fenoarivo.

Son extension à l'ouest vers la moyenne vallée du Mangoky, demeure problématique, malgré son rattachement par F. DIXEY à une surface cyclique fin-tertiaire. Cependant, des aplanissements analogues, au moins morphologiquement, dans le socle, existent dans les hautes

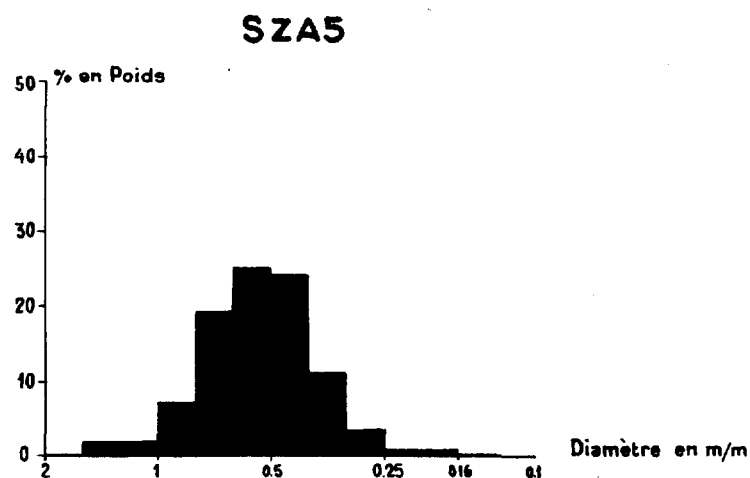
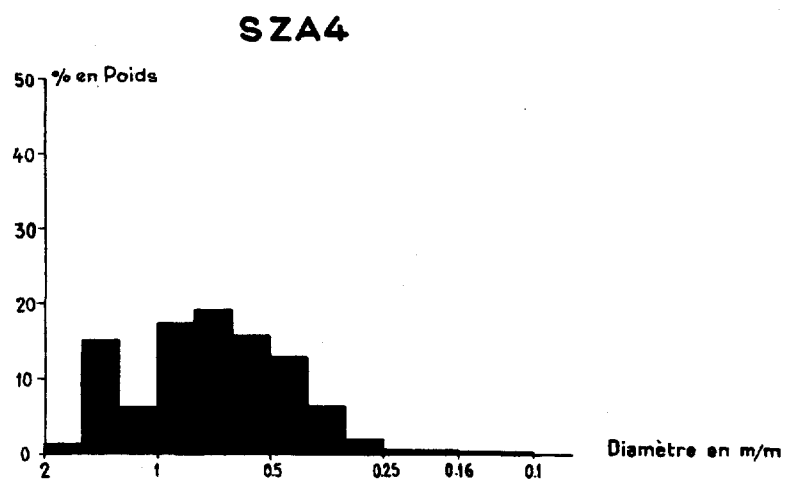
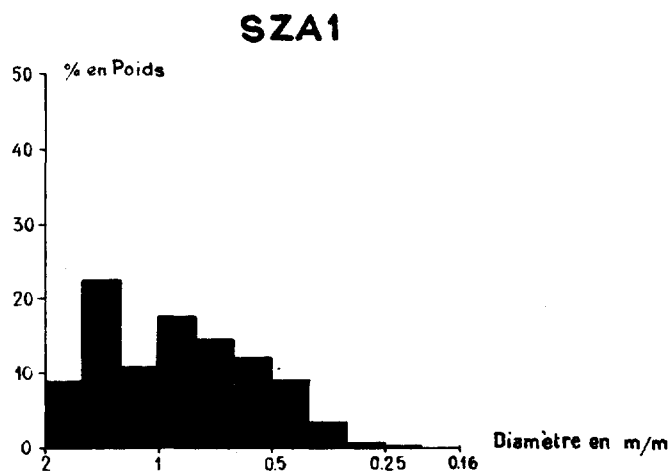


Fig.4 – Histogrammes granulométriques

SZA1et SZA4 – Sables de lit (ZOMANDAO)

SZA5-Sable de ruissellement en nappe

vallées du versant occidental des Hauts-Plateaux, en particulier dans les régions de Kiranomena, Tsiroanomandidy-Belobaka, Mandoto, Mahasolo-Kianjasoa, Ikalamavony, Tsitondroina. Leur altitude varie entre 750 et 900 m, mais ils se trouvent en général en climat tropical un peu plus humide (cf. à ce sujet la carte géomorphologique de Madagascar au 1/1 000 000e dressée par H. BESAIRIE, Service Géologique de Madagascar).

La présence d'une telle surface avec un manteau d'altération assez épais (plusieurs mètres) expliquerait l'inadaptation aux conditions structurales de la moyenne Zomandao et de sa voisine méridionale la rivière Ihosy, dont les tracés se sont surimposés à la suite du déblaiement d'une partie de la couverture d'altération peut-être à la suite d'une phase climatique plus sèche (le fin-tertiaire est habituellement considéré comme une époque humide).

On aurait ainsi à l'ouest de la surface d'aplanissement actuelle, une sorte de relief appalachien créé par l'érosion après déblaiement d'un épais manteau d'altération; cette hypothèse serait particulièrement valable pour la partie sud-ouest du socle cristallin malgache où, aux altitudes inférieures à 1 000 m, les roches résistantes à l'altération constituent des lignes de crêtes ou des "inselberg" au-dessus de surfaces plus ou moins arasées à sols peu épais.

b) Le profil-type en zone plane bien drainée

Altitude moyenne : 825 à 720 m de l'amont vers l'aval de la plaine.

Topographie : pente faible, en général inférieure à 3p. 100

Végétation : prairie moyennement dense à *Heteropogon contortus* dominant, avec taches locales d'*Hyparrhenia rufa*.

1. Morphologie (profils observés en mai)

Dans la partie orientale de la plaine, près du village d'Ambatohirika, on peut observer le profil suivant (profil ZA 6).

- | | |
|---|--|
| 0 à 5 cm
(ZA 61) | — Horizon brun rougeâtre, riche en racines, humifère, sablo-argileux, à structure faiblement grumeleuse. |
| 5 à 40 cm
(ZA 62) | — Horizon rouge foncé, très tassé, fortement durci, un peu humifère, à enracinement plutôt faible. Sablo-argileux à structure massive, secondairement polyédrique grossière. |
| 0,40 à 1,40 m
(ZA 63) | — Horizon rouge à rouge jaune, durci, devenant un peu humide et plus meuble vers 1,10 m. Sablo-argileux, à structure massive, secondairement particulaire poudreuse. |
| 1,40 à 1,85 m
(ZA 65) | — Horizon rouge vif, très riche en concrétions pisolithiques ferrugineuses de 1 à 2 cm de diamètre en moyenne, à surface assez régulière. Petites concrétions brun rouille, très durcies, incluses dans les précédentes. La terre intermédiaire est rouge, sablo-argileuse humide. |
| 1,85 à 2,55 m
(ZA 66)
(ZA 67) | — Horizon rouge violacé ou rouge rouille avec taches jaune clair ou jaune grisâtre, encore riches en concrétions ferrugineuses en général plus petites et plus arrondies. La masse terreuse est sablo-argileuse, assez compacte, avec des graviers de quartz fréquents. |
| 2,55 à 2,80 m | — Horizon identique au précédent, mais contenant des cailloux quartzitiques de 3 à 4 cm en moyenne. |
| 2,80 à 3,50 m
(ZA 68)
(ZA 68 bis) | — Horizon jaune rouge avec taches rouge violacé ou gris clair humide, sablo-argileux à graviers de quartz (arène gneissique) non durci, à feldspaths altérés en neige. |

Au-delà roche dure en voie d'altération (ZA 69) blanche et brune, finement grenue, riche en quartz avec lits fins de feldspaths kaolinisés. Se détache en écailles. Transition rapide avec l'horizon sus-jacent.

Le profil ZA 7 pour lequel sont également donnés les résultats d'analyses, est analogue au précédent à quelques caractères secondaires près : l'horizon humifère est encore moins différencié, l'horizon très riche en concrétions est à plus grande profondeur et moins épais (seulement 40 cm), la zone tachetée est plus épaisse puisqu'à 3,50 m l'arène gneissique (horizon de départ) n'était pas encore atteinte.

2. Caractéristiques physiques et chimiques (cf. tableaux analytiques I et II)

Moyennement acide en surface, la réaction du sol devient assez fortement acide en profondeur avec une décroissance plus ou moins régulière.

La fraction limoneuse est toujours la plus faible, le rapport limon/argile étant assez élevé sauf dans les horizons supérieurs. Les sables grossiers prédominent le plus souvent tandis que la fraction sableuse totale atteint au moins 50 p. 100. La texture est donc en moyenne sablo-argileuse à argilo-sableuse, la capacité de rétention pour l'eau étant en moyenne dans les horizons supérieurs.

En fait cette appréciation texturale est due à l'agrégation d'une partie de la fraction sableuse par les oxydes de fer. On constate en effet dans les différents horizons la présence plus ou moins grande de pseudo-sable due à l'agrégation des grains de quartz par des ciments ferrugineux. Le poids perdu après attaque de ces ciments, qui varie entre 2 et 7 % dans les horizons supérieurs, peut atteindre des chiffres variant entre 20 et plus de 60 % dans les horizons à concrétions. Ce pourcentage est parfois appelé indice de structure : il redevient faible dans la zone tachetée.

L'examen morphoscopique de la fraction sableuse, avant et après déferrugination, montre que dans les horizons supérieurs les oxydes de fer se trouvent surtout dans les anfractuosités des quartz grossiers et sous forme de petits globules brun rouille très vieillis et peu abondants.

À mesure que l'on se rapproche de l'horizon à concrétions, le pseudo-sable devient plus abondant : il se présente sous forme de globules rouille orangé de toutes tailles englobant des grains de quartz.

Les grains de quartz sont non usés, très irréguliers, fréquemment diaclasés. Leur surface est plus ou moins sale et parfois légèrement picotée dans les horizons de surface.

Les minéraux noirs sont abondants dans tout le profil.

Les concrétions ferrugineuses ont en moyenne 1/2 à 2 cm de diamètre. La couche externe qui se présente sous forme d'une pellicule ultrafine est rouille orangé. Puis vient une couche hydratée jaune ocre vif d'environ 1 mm d'épaisseur. Enfin le noyau central est brun rouille à rouge orangé : il se présente comme un mortier finement poreux contenant des grains de quartz non usés à surface sale. Dans de très rares cas, nous avons observé dans les concrétions des petites masses altérées en lamelles (gibbsite ?).

Les teneurs un peu plus faibles en argile dans les horizons de surface correspondraient plutôt à un enrichissement absolu en sables de ces horizons par ruissellement diffus qu'à un véritable lessivage.

Sauf dans la mince couche superficielle, le sol est plutôt pauvre en matière organique et en azote. Le complexe absorbant est assez moyennement pourvu, sauf en CaO.

Cependant la diminution du taux de matière organique avec la profondeur est très progressive et on observe des teneurs encore notables à 60 cm : ce fait doit être imputé à la végétation de pseudo-steppe actuelle.

Les réserves minérales sont faibles à très faibles, sauf en acide phosphorique.

L'attaque du sol par le réactif triacide donne un rapport silice/alumine entre 1,5 et 2, sauf dans les horizons à concrétions où il atteint la valeur 1,4.

3. Caractéristiques de la fraction argileuse :

— Composition chimique (attaque triacide) :

Les résultats partiels obtenus pour l'horizon rubéfié sans concrétions et la zone tachetée sont les suivants :

	Profond.	Perte au feu	Résidu	Si O ₂ combinée	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ti O ₂	Si O ₂ Al ₂ O ₃	még/ 100 g
ZA 64	2 m	16,7	6,1	27,0	32,7	12,0	1,5	1,4	11,4
ZA 68	3 m	16,7	10,4	26,7	31,3	10,8	1,5	1,5	26,7
ZA 76	2 m	16,5	7,2	27,7	33,2	10,8	1,5	1,4	20,5
ZA 79	3,5 m	16,6	7,7	27,2	32,5	10,4	1,5	1,4	24,5

Compte tenu des caractéristiques exposées plus loin, la capacité d'échange T est plus élevée qu'on pourrait s'y attendre. On peut expliquer ce fait par la présence d'oxyde de fer fixé sur le minéral argileux et engendrant de nouvelles surfaces adsorbantes (4).

Les valeurs du rapport silice/alumine sont un peu inférieures à celles trouvées pour l'ensemble du sol, et les différences semblent peu varier (ce fait a déjà été observé pour des sols rouges sableux de décalcification dans l'Extrême Sud). Cela laisserait supposer la présence d'une faible quantité d'alumine libre contenue surtout dans la fraction la plus fine du sol et s'insolubilisant rapidement avec cependant une accumulation préférentielle relative dans l'horizon à concrétions en liaison avec le mouvement des eaux dans le profil. Les conditions de forte dessiccation qui règnent ici pendant la longue saison sèche s'opposent d'ailleurs à des migrations importantes, la zone tachetée elle-même n'étant saturée qu'une partie de l'année.

— Analyse thermo-pondérale : (cf. fig. n° 5)

Toutes les courbes des échantillons analysés montrent que l'eau hygroscopique est faible, de l'ordre de 2 à 3 %. La perte en eau des hydroxydes vers 250° est à peine marquée et la montée régulière de la courbe entre 200 et 400° fait penser qu'ils sont mal cristallisés.

La perte en eau entre 400 et 600° est très accentuée.

— Analyse thermique différentielle (cf. fig. n° 6)

Les courbes obtenues présentent les caractéristiques suivantes :

Crochets endothermiques :

100-200° peu accusés (eau hygroscopique et eau des hydroxydes colloïdaux)

320-350° peu marqués (départ de l'eau des hydroxydes cristallisés)

550-600° très marqués (départ de l'eau de constitution d'un minéral du type kaolinite)

Crochets exothermiques :

910° très net (recombinaison de la silice et de l'alumine des silicates)

Bien que nous ne disposions pas des résultats d'autres méthodes d'analyse, il semble d'après les résultats précédents que du point de vue minéralogique la fraction argileuse de ces sols soit constituée par une fraction importante de kaolinite (*) (environ 60 à 70 %) en mélange avec de la goethite et peut-être de faibles quantités de gibbsite, mais la plus grande partie des hydroxydes restant sous forme non cristallisés (gels colloïdaux plus ou moins hydratés).

— Composition des concrétions :

Si l'on examine la composition des concrétions, et celle du sol de l'horizon qui les contient, on constate que les teneurs en oxydes de fer y sont nettement plus élevées : 25 à 30 % contre 7 à 10 % en moyenne. Si ces concrétions sont moins riches en quartz que le sol, le départ de silice n'est pas très important, mais notable. L'abaissement du rapport silice/alumine n'est cependant pas sensible car les teneurs en alumine diminuent également un peu.

Il y a donc eu durcissement d'un matériau préexistant avec apport d'oxydes de fer assez important et départ modéré de silice. Ce phénomène est analogue à celui observé dans le concrétionnement des sols ferrugineux tropicaux sur basalte du nord-ouest de l'île étudiés par P. SEGALIN (5).

c) Influence de la topographie sur les caractères du profil-type

Sur un profil de pente type, analogue à celui décrit précédemment, des profils de sols successifs, situés respectivement sur le versant à 200, 300, 400, 500 et 600 m du plateau, où les pentes sont inférieures à 1 % (profils ZA 1-2-3-4-5) ont été observés en se limitant

* Résultat confirmé depuis par examen des diagrammes de rayons X.

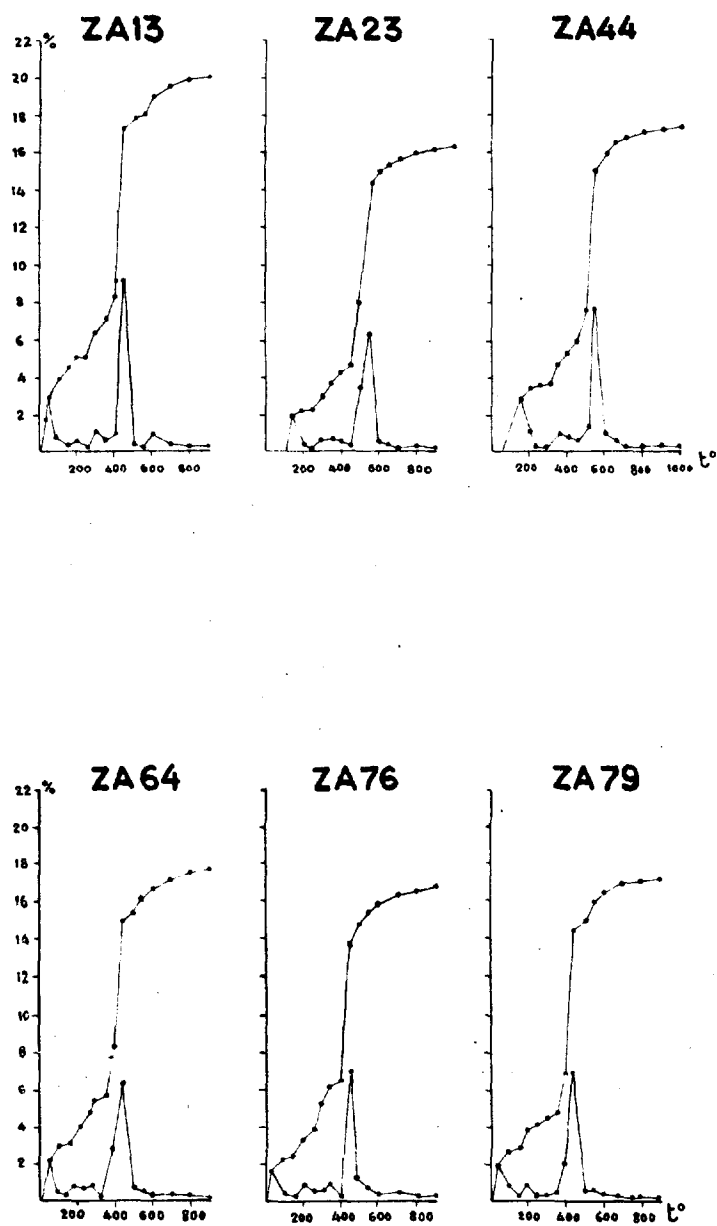


Fig-5- courbes de perte en eau . (Argiles ZOMANDAO)

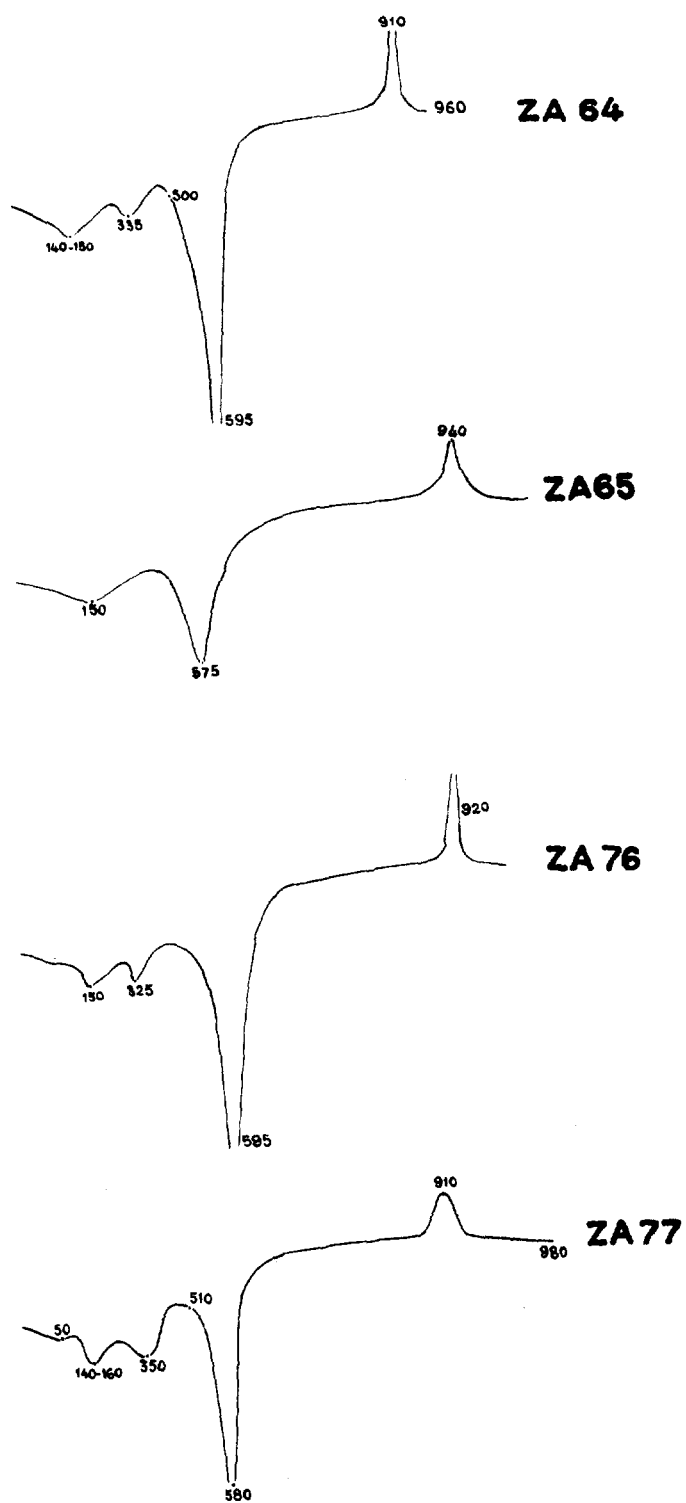


Fig. 6 - Courbes d'analyse thermique différentielle
(Argiles ZOMANDAO)

à la profondeur de 1,50 m au-dessous de l'horizon à concrétions. Ce dernier demeure à peu près constant jusqu'à la rupture de pente du bas du versant, mais diminue en épaisseur.

On constate que le sol rouge du profil 1 (sol rouge de plateau : profil type étudié ci-dessus) est très semblable au profil 2 avec la différence que ce dernier a un horizon de surface un peu plus durci. A partir du profil 3 la rubéfaction s'atténue et l'ensemble du profil devient jaune-ocre à jaune rougeâtre. Vers 1,50 m apparaissent des taches jaune pâle peu nettes. En surface, la quantité de sable coloré grossier dû au ruissellement augmente.

A partir de la cote du profil 4 on constate que *Hyparrhenia* tend à supplanter *Heteropogon* dominant jusqu'ici dans le couvert de prairie moyennement dense. Dans ce profil n° 4, de brun jaune l'horizon de surface devient gris noirâtre ; l'ensemble du profil est très durci et très compact, jaune ocre avec des taches rouilles peu nombreuses, mais bien individualisées, légèrement durcies.

La texture est localement plus grossière.

A ce niveau se trouvent localement de petits replats avec rizières de saison des pluies. Ces replats ne sont mis en culture que lorsque la pluviométrie est suffisante et les risques d'échec sont grands.

Le profil n° 5 est gris noirâtre en surface, puis jaune blanchâtre avec taches jaune rouille larges et mal délimitées. Bien qu'humide ce sol est très durci en profondeur où la texture, de sableuse grossière, devient argileuse. Dans cette zone de bas de pente, affleurent localement des dalles rocheuses. Les anciennes zones de culture sont caractérisées par une prairie à *Aristida*. Il s'agit ici d'un sol formé sur colluvions sableuses de bas de pente avec accumulation d'éléments fins en profondeur.

Localement, entre les cotes des profils n° 4 et 5, affleurent de petits blocs de cuirasse pisolitique ferrugineuse, dénudés par l'érosion en nappe, intense en certains endroits. Ces éléments ne sont que l'affleurement de l'horizon à concrétions, réduit et pris en masse, au niveau de la rupture de pente déjà signalée.

L'analyse granulométrique permet de confirmer que les sols de pente sont appauvris en éléments fins dans les horizons supérieurs, les teneurs en sables devenant très élevées dans les colluvions de bas de pente (plus de 50 %).

Les teneurs en matière organique restent faibles et le complexe absorbant est encore moins bien pourvu que dans les sols de plateau. De même le fer libre s'y trouve en quantités beaucoup plus faibles, et les quantités de pseudo-sable ne dépassent pas 6 à 7 % de la fraction sableuse.

Ces sols de pente, de par leur couleur et leurs caractères physico-chimiques, s'apparentent à des sols lessivés, mais il s'agit ici essentiellement d'un lessivage oblique.

Le rapport silice/alumine est toujours voisin de 2, ou peu inférieur. Les caractéristiques de la fraction argileuse sont tout à fait analogues à celles déjà décrites pour les sols de plateau.

La topographie intervient donc sur la morphologie et le pédo-climat du sol, mais pas suffisamment pour en changer les caractères généraux d'évolution, les sols colluviaux étant classés à part.

d) Critères de classification et évolution pédogénétique

En résumé, les principaux caractères génétiques des sols de la surface d'aplanissement, sont les suivants :

- altération assez poussée de la roche-mère acide
- horizon humifère peu différencié et absence d'humus brut
- présence d'un horizon à concrétions important et présence de pseudo-sable en grande quantité au moins dans une partie du profil
- la capacité d'échange du complexe absorbant est faible et le degré de saturation généralement supérieur à 40 %
- les teneurs en fer libre sont assez élevées, mais le lessivage du fer, ainsi que celui de l'argile semble limité aux horizons de surface
- les réserves minérales sont faibles
- le rapport limon-argile est variable mais en général élevé en profondeur
- la fraction argileuse est constituée de kaolinite et d'oxydes, en particulier de fer, avec de faibles quantités d'alumine.

Compte tenu de l'ensemble de ces caractères, il semble qu'on puisse classer ces sols dans le sous-groupe des "*Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et peu humifères, à horizon concrétionné de nappe de plateau*", et s'étant développés sur roche cristalline acide.

En effet, cette place dans la classification concorde bien avec l'importance du phénomène de ferrugination dans ces sols, les teneurs en fer libre et les migrations partielles de cet élément et de l'argile.

Mais certains caractères comme l'altération assez poussée de la roche-mère, des réserves minérales faibles et la présence d'alumine en faible quantité, des valeurs du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nettement inférieures à 2 dans certains horizons, une fraction argileuse constituée dans sa très grande partie de kaolinite et d'oxydes, ne sont pas caractéristiques du groupe des sols ferrugineux tropicaux. On peut expliquer ces différences par une évolution complexe : en effet, il se peut qu'au niveau de la zone tachetée, assez longtemps humide mais non saturée toute l'année on ait une évolution du type faiblement ferrallitique et que celle-ci soit stoppée dans la partie supérieure du profil où l'action des pluies de saison chaude est insuffisante pour la poursuivre tandis que les acides humiques doux sont produits en faible quantité.

D'autre part l'abondance du pseudo-sable et la densité des concrétions laissent supposer que la partie supérieure du profil tend à acquérir des caractères de sénilité, la nappe n'atteignant qu'exceptionnellement le niveau à concrétionnement maximum et son existence en profondeur n'étant que temporaire.

Quelle que soit la part du pédoclimat actuel dans la morphologie du profil, il est à peu près certain que nous sommes en présence d'un sol ferrugineux tropical formé sur un matériau faiblement ferrallitique.

Si le climat actuel peut encore intervenir dans le concrétionnement de ces sols, il semble que son action soit très temporaire et que les alternances d'humectation et de dessiccation interviennent davantage que l'action d'une nappe véritable.

Les caractères de sénilité du concrétionnement ne sont d'ailleurs pas en contradiction avec le caractère faiblement ferrallitique du profil : le rapport silice/alumine de la fraction argileuse, inférieur à celui du sol qui est souvent voisin de 2, indique un sol jeune ferrallitique stoppé dans son évolution. Il s'agit donc d'un type complexe d'évolution dû à la situation géographique de transition qu'occupe la zone étudiée, et peut-être, comme nous le verrons plus loin, à une variation dans le temps des actions climatiques.

LA PLAINE DE RANOTSARA

1. SITUATION

Le canton de Ranotsara se trouve à l'extrême sud de la Plaine du même nom, que traverse la rivière Menarahaka formée par le confluent des trois rivières : Sakalalina (ou haute Menarahaka), Sahambano et Fandramana.

Cette plaine se trouve à environ une cinquantaine de kilomètres au sud de la surface de la Zomandao. Elle est limitée à l'ouest et au sud par des reliefs plissés métamorphiques (gneiss à bancs de quartzites) à enclaves granitiques : ces reliefs sont le prolongement de ceux qui limitent la surface de la Zomandao à l'ouest. Au nord-est et à l'est de la plaine les directions des roches métamorphiques sont moins marquées mais les reliefs sont également vigoureux (altitude moyenne de la plaine : 600 à 670 m, altitude des reliefs périphériques : 800 à 1200 m, exceptionnellement 1400 m sur la chafne orientale) (cf. fig. n° 7).

Quelques reliefs résiduels dominent la plaine.

D'après H. BESAIRIE (6) et L. DELBOS (7), la plaine de Ranotsara correspond à une zone d'effondrement tectonique où d'anciennes fractures ont dû rejouer postérieurement à sa formation (peut-être au Néogène). (photo N° 13).

Un périmètre irrigable dans les environs d'Analaso-Bekatra a été prospecté successivement par J. RIQUIER (8) et J. VIEILLEFON (9) pour l'utilisation des sols.

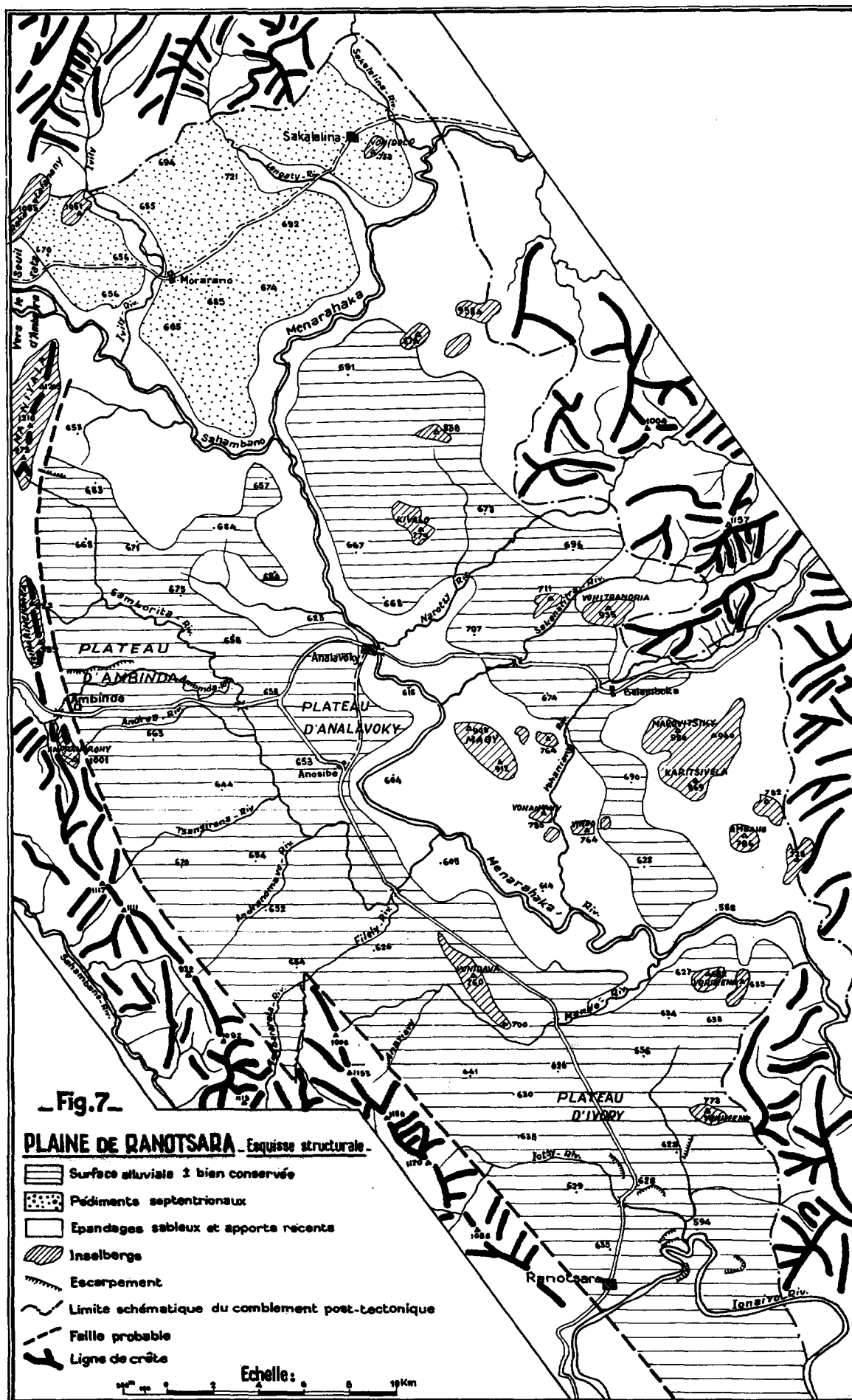




Photo N° 13

La plaine de RANOTSARA dans sa partie centrale.

2. VEGETATION

La végétation primitive, constituée par un forêt sèche à espèces xérophytiques a presque totalement disparu. La formation végétale dominante est une prairie à *Heteropogon contortus* plus ou moins arborée (*Poupartia caffra*).

Sur les pentes ou bas de pente plus humides la prairie est à dominance d'*Hyparrhenia rufa*, avec des cypéracées comme *Cyperus volodioides*. Les cypéracées dominent dans les bas-fonds ou les dépressions mal drainées, en particulier *Cyperus articulatus* (Mita).

3. LES ELEMENTS GEOMORPHOLOGIQUES

a) Reliefs périphériques et résiduels

L'accident tectonique, comme la plaine elle-même, a une direction nord-ouest/sud-est : la ligne de faille probable suit, sur la bordure méridionale de la plaine, la direction du système Androyen constitué ici par des migmatites et leptynites à fort pendage.

En climat à tendance sèche, ces plis subverticaux ont donné des reliefs rectilignes caractéristiques, avec bancs quartzitiques particulièrement résistants à l'érosion, voire des "inselberg" comme le Manivala et le Vohidava dans la partie centrale de la plaine.

D'autres "inselberg" dominent la plaine, en particulier sur sa bordure septentrionale : tels le Magy, le Vohaniany, le Vohijevo, le Raketapanany, l'Ambohibolo (photo N° 14), et plus au nord le massif de l'Ikorokoto. Ces reliefs, qui ont souvent une morphologie comparable à celle des dômes rocheux de la Zomandao, sont constitués par des granites à allure stratoïde inclus dans les séries métamorphiques (7).

A l'ouest de la plaine on observe un relief de type appalachien : les axes principaux du réseau hydrographique suivent la direction générale des plis tandis que les axes secondaires sont courts et orientés perpendiculairement. Les bassins versants élémentaires sont mal individualisés, les sols sont peu épais et très caillouteux, les abrupts rocheux fréquents.

En suivant la bordure méridionale de la plaine de Ranotsara, on observe que ces formes vives plissées s'ennobissent sous un manteau d'altération de sols rouges, sous l'influence du climat humide oriental. Les bassins versants élémentaires se multiplient et il y a passage au relief multiface ou "polyédrique" du versant oriental. Des lambeaux de forêt ombrophile subsistent dans les thalwegs.

Cette influence du climat humide oriental est moins nette sur les reliefs septentrionaux à cause des fortes altitudes qui prolongent à l'est le massif de l'Andringitra. Au nord et à

l'est du confluent Menarahaka-Sahambano, on observe au pied des versants montagneux et des dômes granitiques, des pédiments à réseau de drainage diffus, qui ne sont pas sans rappeler la surface d'aplanissement de la Zomandao à une échelle réduite (formes essentiellement climatiques).

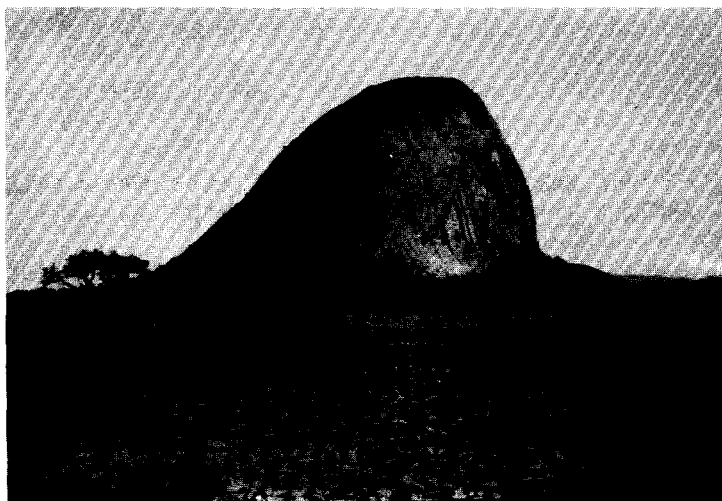


Photo N° 14

Inselberg granitique d'AMBOHIBOLO

b) La surface alluviale ancienne

L'altitude maxima atteinte par l'alluvionnement ancien dans la dépression, varie entre 680 m vers le nord et 610 m vers le sud-est. Le remplissage a atteint la bordure des reliefs périphériques à fortes pentes, puisqu'on peut observer encore des témoins alluviaux ravinés par les petits réseaux hydrographiques latéraux, en particulier aux environs d'Ambinda sur la bordure occidentale, de Mahavelo et de Belembocka sur la bordure orientale (cf. fig. n° 7).

Les éléments les mieux conservés de la surface alluviale ancienne se trouvent sur la rive droite de la Menarahaka (plateau au sud d'Analavoky et plateau de l'Ivory). Ils se raccordent au-delà de Ranotsarabe vers l'est, dans la vallée de l'Ionaivo, à des collines aplanies d'alluvions anciennes, différentes du point de vue morphologie et pédogenèse, mais de même origine. Plus loin vers l'est, la dépression de Ranotsara se prolonge par la basse vallée de l'Itomampy, que nous n'étudierons pas ici : quoique appartenant au versant oriental cette vallée a la même origine tectonique.

La surface alluviale ancienne a des pentes très faibles. Ces plateaux n'ont pas de drainage organisé, excepté les ravinements en bordure et sont parsemés de petites dépressions fermées plus ou moins marécageuses (matsabory).

c) Le réseau hydrographique

L'hypothèse d'une capture au profit du versant oriental des rivières Sahambano et Ionaivo, a été avancée à plusieurs reprises, en particulier par H. BESAIRIE (6), à cause du rebroussement de ces rivières dont le haut cours est orienté selon la direction des plissements métamorphiques, c'est-à-dire nord-nord-ouest/sud-sud-est.

En ce qui concerne la Sahambano il faudrait, pour vérifier cette hypothèse, retrouver des alluvions anciennes au seuil d'Ambararata qui communique avec la vallée de l'Ihoky. Or ce seuil semble entièrement aménagé dans le cristallin, mais on retrouve dans la vallée d'Ihoky des surfaces aplanies (pédiments) qui, par leur morphologie, leur évolution pédologique, leur altitude moyenne, peuvent être rattachées à la plaine de la Menarahaka. Jusqu'à la reprise du creusement dans les alluvions anciennes, on peut même supposer que la haute vallée de l'Ihoky drainait vers la plaine de la Menarahaka. C'est seulement dans ce cas que les surfaces

aplanies au pied des reliefs cristallins peuvent être raccordées à la surface alluviale ancienne comme participant d'une même phase géomorphologique (surface cyclique).

Le tracé en baïonnette du cours moyen de la Sahambano laisse supposer que ce cours s'est surimposé à la structure à la suite du déblaiement d'une couverte d'altération peut-être tertiaire. Quoiqu'il en soit le rejeu d'un accident du socle a provoqué l'alluvionnement de la dépression : au nord grâce au bassin versant de la haute Menarahaka d'une part, au sud grâce aux apports de l'Ionaivo.

Après un épisode lacustre plus ou moins prolongé, la dépression a drainé vers l'est tandis que s'individualisait le cours moyen de la Menarahaka. Quant au coude de l'Ionaivo, on peut l'expliquer par une simple capture par déversement à la suite d'un exhaussement sur ses propres alluvions ou d'un colmatage vers le nord. Le tracé divagant de la rivière à cette période est d'ailleurs bien conservé sous forme de méandres libres encaissés dans les alluvions anciennes par érosion régressive.

L'abaissement du niveau de base aux deux exutoires ainsi créés a entraîné une certaine dissection de la surface alluviale ancienne. L'Ionaivo, en s'encaissant, a permis le développement d'un réseau hydrographique restreint alimenté par les reliefs méridionaux (vallée de l'Iotsy-Mandabe) et provoqué une inversion de relief dans les alluvions anciennes (plateau de l'Ivory).

Toutes les autres petites rivières secondaires drainent vers la Menarahaka : leur action de déblaiement a été beaucoup plus étendue, ne laissant que des témoins très localisés de la surface alluviale primitive. Ce déblaiement s'est accompagné de remaniements importants comme en témoignent les dépôts sableux de pente qui donnent un aspect confus et anastomosé à certains réseaux secondaires tel celui de la rivière Ivily. Pour cette raison les sols de pente présentent de très grandes variations : formés à partir de matériaux originels complexes, les uns sont constitués par des couches alluviales profondes en place, les autres par des recouvrements dus à l'érosion.

Enfin, un remblaiement récent est bien marqué par l'ennoisement de thalwegs secondaires et d'anciens méandres colmatés à végétation marécageuse (basses vallées des rivières Ivily, Narotsy et Vohaniany).

4. LES MATERIAUX ORIGINELS

Il semble bien que, lors de l'épisode lacustre pendant lequel s'est comblée la dépression, la sédimentation ait été dans l'ensemble assez grossière et quartzique. Elle correspondrait par conséquent à une phase d'érosion assez vive dans des matériaux assez altérés, donc à une dissection poussée des reliefs périphériques et à la dénudation de la roche dure sous forme de dômes rocheux.



Photo N° 15

Erosion dans les alluvions anciennes de la MENARAHAKA.

Au nord-ouest du village de Bekatra, une coupe de 12 m, le long du cours de la Menarahaka (photo N° 15) permet d'observer les dépôts grossiers jaunâtres ou blanchâtres, à gravillons de quartzite subanguleux, constituant la majeure partie de la coupe. Ces dépôts sont surmontés localement sur 2 à 3 m d'épaisseur par des grès quartziques fluviaux rubéfiés ou des argiles gréseuses bariolées. A la base de la coupe, on observe des dépôts à galets et graviers de quartzite peu usés et des sables quartziques grossiers à feldspaths plus ou moins altérés.

L'élément de plateau au nord d'Ambinda, sur la bordure occidentale de la plaine, est constitué par des grès quartziques gris clair, à ciment argileux, avec au sommet une carapace argilo-sableuse rubéfiée mais peu durcie, à allure de grès fluvial tendre.

Les sédiments profonds du plateau de l'Ivory au nord de Ranotsara, contiennent en moyenne 60 à 70 % de sables (dont les 2/3 en sables grossiers), 20 à 30 % d'argile et une fraction limoneuse faible.

Localement, sur les pentes ou dans les dépressions, des sédiments argileux ou argilo-calcaires, plus ou moins riches en sels affleurent, mais leur importance est mal connue. En effet, les pentes de la vallée principale et des thalwegs secondaires sont fréquemment recouvertes de sables grossiers provenant de l'érosion de la surface alluviale ancienne.

Ces sables contribuent à donner au drainage secondaire un aspect diffus, plus ou moins anastomosé et ont colmaté certaines vallées secondaires, actuellement marécageuses (cf. sols salés, sols lessivés et sols hydromorphes à engorgement permanent dans la Notice de J. VIEILLEFON (9)).

Le remblaiement récent le long des cours d'eau principaux est constitué par des sédiments limoneux ou sableux. Ces alluvions proviennent surtout des bassins versants périphériques et des pédiments septentrionaux. Ce sont ces sols et ceux des dépressions de bas de pente qui présentent un intérêt agricole certain.

Dans la vallée de la Menarahaka, en aval de Mandé, et dans celle de l'Ionaivo, au nord de Ranotsara, des coupes profondes permettent d'observer des sédiments relativement homogènes, en moyenne argilo-limoneux à argilo-sableux, de texture plus fine que les sédiments situés en amont. En effet les apports de l'Ionaivo proviennent d'un bassin versant à altération latéritique assez profonde (climat humide oriental).

La partie septentrionale de la plaine, au sud de Sakalalina et du seuil d'Ambararata, paraît surtout constituée par des matériaux d'altération du socle peu remaniés, et peu différents des alluvions grossières anciennes de la Menarahaka. De même les alluvions anciennes de la rivière Fandramana sont représentées par des grès fluviaux assez grossiers.

Dans toute cette zone du Nord de la plaine, la pédimentation a été cependant très active et les épandages caillouteux ne sont pas rares. La densité du drainage est faible et le degré d'aplanissement élevé.

5. LES SOLS ET L'EVOLUTION PEDOGENETIQUE

Nous nous limiterons volontairement ici aux sols évolués des surfaces anciennes : éléments de plateaux et pédiments, les sols de pente et de bas-fonds ayant fait l'objet d'études locales déjà citées. Ces sols sont d'ailleurs le plus souvent moins évolués et par conséquent moins représentatifs du milieu pédogénétique.

a) Les profils-types

Morphologie

1. Plateau de l'Ivory (Km 24, route de Ranotsara) sous prairie à *Heteropogon*.

0 à 15 cm — Horizon rouge brun, sablo-argileux, assez tassé, à structure fondue, secondairement grumeleuse faible. Riche en radicules.
(ZA 81)
(ZA 82)

- 0,15 à 3 m — Rouge jaune à rouge vif en profondeur, un peu humide. Sablo-argileux, massive, secondairement particulaire.
(ZA 83)
(ZA 84)
(ZA 85)
(ZA 86)
- 3 à 3,50 m — Rouge très riche en concrétions pisiformes assez friables, à cassure jaune, contenant des grains de quartz.
(ZA 87)
- 3,50 à 4,10 m — Rose violacé, sablo-argileux à argilo-sableux, avec quelques taches gris jaune à gris clair, massif.
(ZA 88)
- + 4 m — Sable grossier avec graviers de quartz subanguleux, jaune rouge à jaunâtre, de plus en plus humide.
(ZA 89)

2. Plateau d'Analavoky (Km 1, route de Ranotsara), sous prairie à *Heteropogon* et *Hyparrhenia*, à 50 m environ d'une mare temporaire.

- 0 à 10 cm — Horizon gris clair, sablo-argileux, structure massive secondairement polyédrique à nuciforme.
(ZA 91)
- 10 à 40 cm — Gris jaune, tassé et durci, sablo-argileux, structure massive, secondairement motteux polyédrique.
(ZA 92)
- 40 à 65 cm — Horizon intermédiaire jaune pâle, à taches grises (vers de terre) sablo-argileux.
(ZA 93)
- 0,65 à 1 m — Jaune ocre à jaunâtre, sableux grossier-argileux, particulaire, humide.
- 1 à 1,45 m — Id° avec quelques concrétions pisiformes rouge violacé, très durcies, disséminées çà et là dans la masse sableuse.
(ZA 94)
- 1,45 à 1,95 m — Très riche en concrétions de un demi à plusieurs cm de diamètre, de forme assez irrégulière, fortement durcies, à cassure rouge violacé.
(ZA 95 et 95 bis)

Nappe phréatique à 1,85 m

- + 1,95 m — Gris clair, sableux grossier-argileux, particulaire ou cohésion faible, à taches nettes de plusieurs cm jaune ocre ou rouge violacé en voie de durcissement.
(ZA 96)

3. Plateau d'Analalava (pédiment au sud de Sakalalina) sous prairie clairsemée à *Heteropogon* avec *Poupartia caffra*, en pente faible. Sables grossiers et graviers ruisselés en surface.

- 0 à 40 cm — Horizon brun jaune clair, très durci, sablo-argileux à graveleux, massif. Enracinement faible, peu humifère.
- 0,40 à 1 m — Jaune brunâtre à jaune ocre vif, un peu humide ; massif, secondairement particulaire, sablo-argileux, à quartz anguleux et quelques graviers.
- + 1 m — Horizon très riche en pisolithes rouge brun à rouille, arrondis, de 1 à 3 cm de diamètre, se brisant assez facilement et contenant des quartz anguleux, la masse terreuse est jaune ocre à beige jaunâtre (profil creusé jusqu'à 1,40 m).

Caractéristiques physiques et chimiques (cf. tableaux analytiques III et IV)

Ces sols sont caractérisés par une texture sablo-argileuse, des sables grossiers abondants et peu usés, un niveau à concrétions extrêmement net à profondeur variable et formé sous l'influence d'une nappe phréatique à variations saisonnières.

L'analyse morphoscopique révèle que le pseudo-sable est peu abondant, les oxydes de fer étant surtout déposés dans les anfractuosités des quartz peu usés.

Les concrétions sont riches en grains de quartz soudés par un mortier ferrugineux plus ou moins poreux. Leur structure est assez complexe, en plusieurs noyaux non concentriques, de couleur variable, allant du jaune ocre au brun rouge violacé.

La fraction sableuse, d'origine détritique, est très peu usée et la surface des grains est sale ou picotée. Les minéraux non quartziques sont peu abondants.

La réaction du sol est moyennement à fortement acide. Les teneurs en matière organique varient de 1 à 5 % selon le drainage interne du sol et la fréquence des feux.

La capacité d'échange du complexe absorbant est très faible et les teneurs en bases échangeables également faibles sauf en chaux (moyennes).

Le lessivage de l'argile et du fer est fréquent, l'indice d'entraînement variant entre 2/3 et 1/2 et pouvant descendre jusqu'à 1/4 ou 1/5 pour le fer.

Dans le sol le rapport silice/alumine est bas, voisin de 0,5 en surface et variant entre 1,3 et 1,6 en profondeur. Les concrétions sont riches en fer mais contiennent un résidu quartzique important (50 à 70 %).

La fraction argileuse présente des caractéristiques analogues à celles des argiles de la Zomandao : fraction très importante constituée par de la kaolinite, et un peu d'hydroxydes de fer et d'alumine mal cristallisés (cf. fig. n° 8 et n° 9).

Cas particulier :

4. Collines de Ranotsara ("lavaka" sur la rive droite de l'Ionaivo) sous prairie à *Heteropogon* et *Aristida sp.*, forte érosion en nappe.

0 à 1 m — Horizon jaune ocre, sablo-argileux, polyédrique à prismatique grossier, sans horizon (ZA 101) humifère différencié.

1 à 2,10 m — Horizon d'épaisseur irrégulière, rouge violacé, argileux, à structure polyédrique. (ZA 102)

2,10 à 3,50 m — Rouge clair, tacheté de jaune ou gris clair, argilo-sableux massif (ZA 103)

+ 3,50 m — Sur plusieurs mètres zone tachetée argileuse, gris blanc et rouge violacé (localement stratifications entrecroisées fines et texture plus sableuse).

Par suite d'un climat plus humide, de matériaux à texture plus fine, d'une topographie actuelle assurant un bon drainage, la morphologie du profil est ici différente et la zone tachetée témoigne d'une hydromorphie de profondeur ancienne (photo N° 16).

La texture est dans l'ensemble argilo-limoneuse mais l'horizon rubéfié est enrichi en argile. Les teneurs en fer varient peu (cf. Tableau analytique V).

Le sol est pauvre en matière organique et en éléments minéraux. Le rapport silice/alumine dans le sol est assez bas, variant de 1 à 1,6. Il varie entre 1,2 et 1,4 dans la fraction argileuse.

b) Influence de la topographie

Dans la plaine de la Menarahaka, la valeur moyenne des pentes varie entre 2,5 et 3%.

Par suite de l'origine des matériaux originels et du lessivage assez net des sols, la teinte jaune domine. Les sols rouges ne se trouvent qu'à proximité des massifs cristallins (sols colluviaux) et sur les éléments de plateaux les plus élevés.

Des niveaux pisolithiques assez denses, mais non cuirassés, affleurent aux ruptures de pente. Au bas des pentes les concrétions roulées sont fréquentes.

Dans certains thalwegs on peut observer localement des sols de pente formés sur matériaux originels plus argileux (sol gris ou noirs) ou même marneux (sols argilo-calcaires), mais leur extension est réduite, et les recouvrements sableux, dus à l'érosion des plateaux, dominant (sols gris sableux des pentes).

c) Critères de classification

Les sols évolués de la surface alluviale ancienne se sont donc formés sur des matériaux d'altération ferrallitique mais remaniés (accroissement important de la fraction sableuse).

Exception faite pour les collines de Ranotsara au sud de la plaine, leur évolution actuelle est celle de sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés, à horizon concrétionné de nappe de plateau. Il en est de même pour les sols de pédiments de la partie septentrionale de la plaine. Quant aux sols de l'Ionaivo, ils font transition avec le domaine oriental et peuvent être considérés comme ferrallitiques et à évolution complexe (Paléosols hydromorphes : analogie avec les alluvions anciennes du Lac Alaotra étudiées par J. RIQUIER (10)).

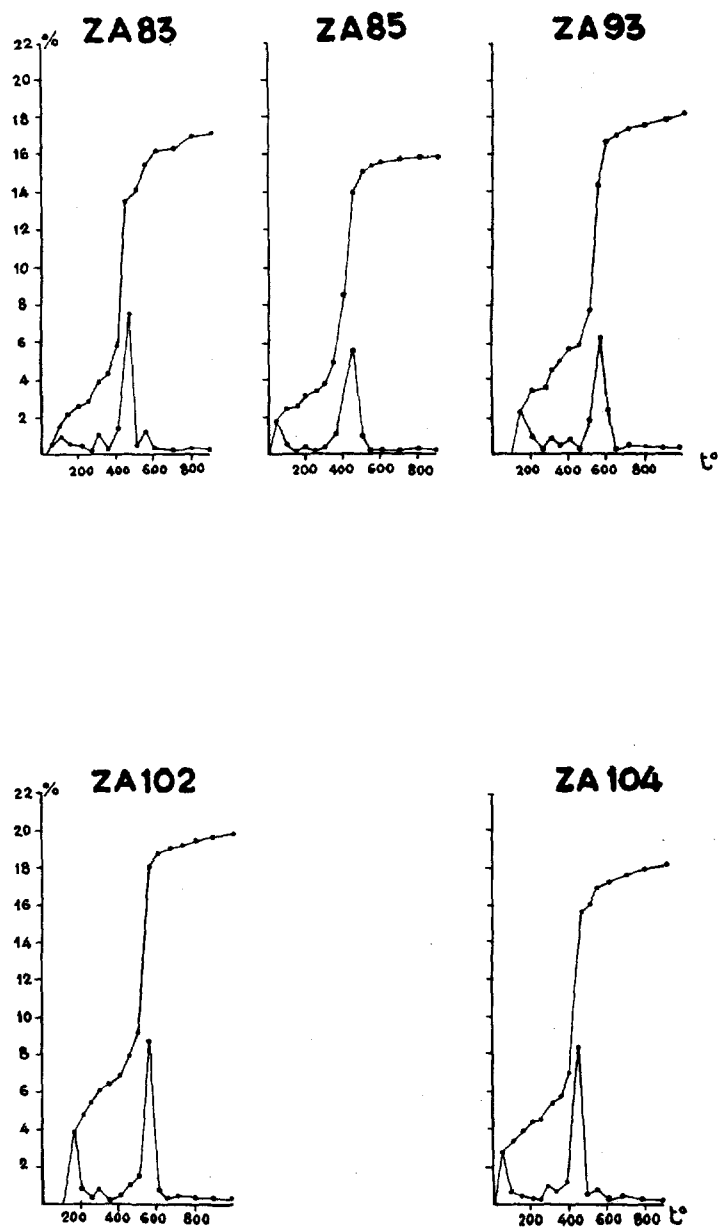
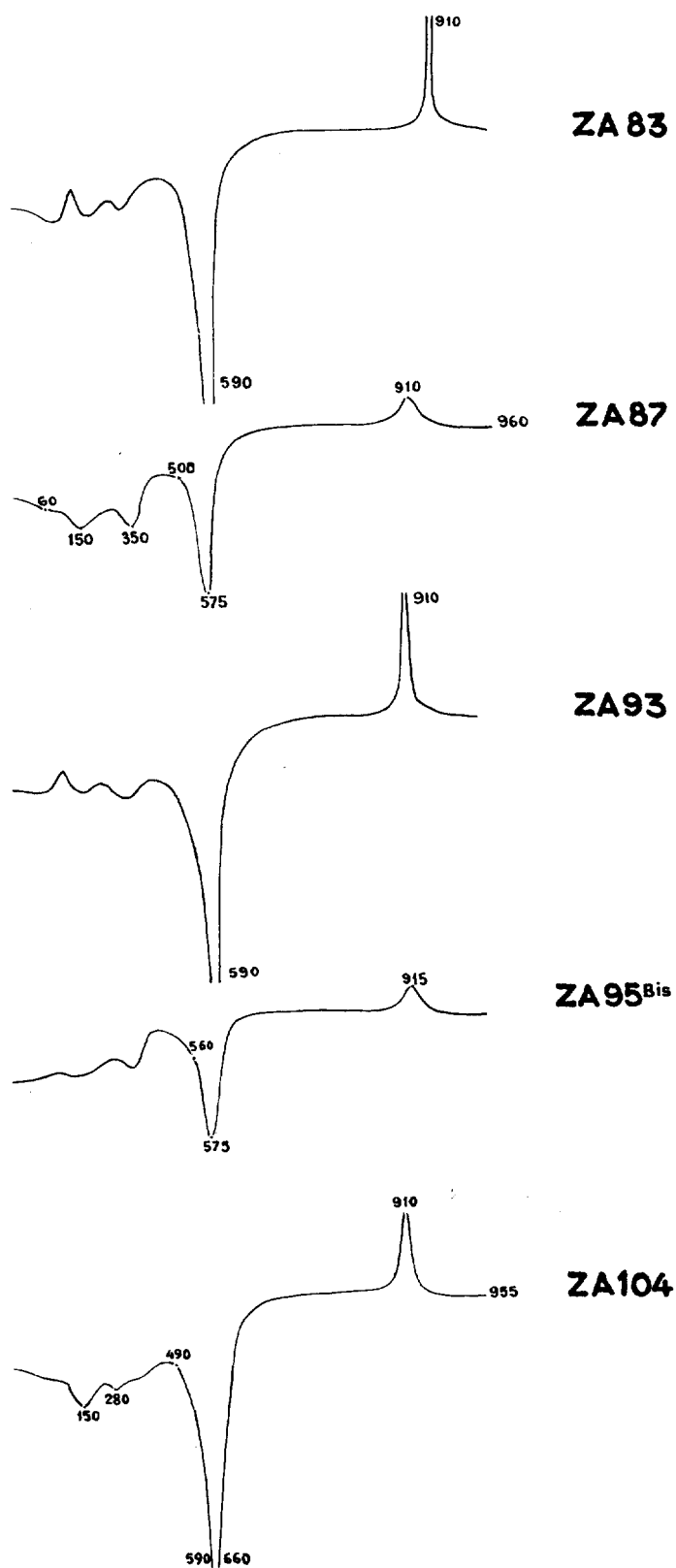


Fig-8- Courbes de perte en eau . (Argiles RANOTSARA)



Fig_9 _ Courbes d'analyse thermique différentielle.
(Argiles RANOTSARA)



Photo N° 16

Profil de sol ferrallitique et érosion en "lavaka" dans les alluvions anciennes de l'IONAIVO (noter la zone tachetée fossile)

CONCLUSION

MORPHOGENESE ET PEDOGENESE DES SURFACES D'APLANISSEMENT DU VERSANT OCCIDENTAL MALGACHE

Nous avons vu que, pour la grande majorité des profils-types décrits, le phénomène pédogénétique primordial est l'individualisation poussée des composés du fer et leur accumulation préférentielle dans un horizon, indépendamment de la nature et des remaniements antérieurs des matériaux originels.

On est donc en présence d'un phénomène de convergence, aboutissement des actions d'un milieu pédogénétique particulier. Nous n'insisterons pas sur le phénomène lui-même, très souvent décrit par ailleurs, et les influences qu'exercent sur lui les facteurs d'environnement, en particulier climatiques et topographiques, déjà notées précédemment.

Nous chercherons plutôt à dégager les interactions relief-pédogenèse et à les généraliser.

Il semble bien que, sur les surfaces considérées, les agents essentiels du modelé soient le ruissellement en nappe mince d'une part, la desquamation en dalles des massifs rocheux

d'autre part, la rupture de pente entre surfaces planes et "inselbergs" s'accroissant de plus en plus (pédimentation).

On peut cependant douter que le climat actuel, subhumide à saison sèche marquée, soit seul responsable de la morphologie observée. Sans pouvoir juger de la vitesse actuelle de l'altération, nous avons remarqué que dans les sols de la Zomandao la profondeur d'altération est relativement importante (il semble d'ailleurs qu'il en soit de même dans la moyenne vallée de l'Ihosa).

Par ailleurs, bien que le cuirassement du niveau à concrétions soit très local (ruptures de pente) il semble que le concrétionnement soit à un stade très avancé dans lequel la nappe phréatique actuelle souvent profonde et temporaire n'intervient que faiblement (exception faite pour les profils à proximité des mares). De plus, par érosion des plateaux, ce niveau à concrétions a été partiellement remanié, en particulier dans la Menarahaka. A l'ouest du seuil d'Ambararata, dans les environs de Bemandresy, affleure une véritable cuirasse pisolithique de plus d'un mètre d'épaisseur.

Comme le fait justement remarquer H. BAULIG (11) "les sols des climats humides, mal consolidés en général, sont beaucoup moins durables que les concrétions formées en climat sec, de sorte qu'une paléoclimatologie fondée uniquement sur la pédologie risquerait d'ignorer la plupart des phases humides".

Dans cet ordre d'idées, on peut alors se demander si la formation des "inselbergs" et plus particulièrement celle des dômes rocheux à pentes convexes et fortes, n'a pas été préparée par une altération latéritique profonde. De tels dômes sont fréquents en forêt ombrophile sur le versant oriental perhumide de l'île : ils se raccordent à la plaine ou à la vallée par des talus d'éboulis plus ou moins altérés à pente concave, alors que les mornes tropicaux décrits ci-dessus ont en général un "knick" bien formé.

Cependant, dans la plaine de Ranotsara en particulier, de nombreux dômes rocheux ont encore leur base ennoyée dans des cônes de débris.

On sait par ailleurs que la formation de surfaces aplanies (pénéplaines de DAVIS) par abaissement progressif des versants, est possible en climat humide ("érosion normale") et que la dénudation chimique (migrations en solutions) y joue un rôle important. A Madagascar, les surfaces d'aplanissement de Ranomafana et de Brickaville à l'Ouest de Tamatave, la pénéplaine Antaifasy-Antaisaka à l'Ouest de Farafangana et Vangaindrano, la surface de la Haute-Fanjahiro à l'Ouest de Fort-Dauphin, en constituent de bons exemples. Plus que de pénéplaines véritables, il s'agit de niveaux d'érosion où le paysage est constitué par des collines aplanies à pentes convexes et à réseau hydrographique du type dendritique, à vallées plates marécageuses (19).

De telles surfaces existent également à l'intérieur de l'île, ou sur les Hauts-Plateaux (dépressions latéritiques dans le socle de H. BESAIRIE) dont l'une des plus caractéristiques est celle de la dépression du Mangoro-Alaotra.

Si à l'exemple de F. DIXEY (1) on rattache la surface d'aplanissement de la Zomandao et ses homologues du versant occidental à une surface cyclique fin-tertiaire, on peut penser qu'une phase humide à altération profonde a contribué à cet aplanissement (pénéplanation). Corrélativement se produisait une accumulation de sédiments grossiers dans les zones déprimées (plaine de Ranotsara).

Ensuite une phase plus sèche et une dégradation de la couverture végétale auraient favorisé le dégagement des dômes rocheux, perfectionnant le niveau d'aplanissement (pédimentation) et favorisant le concrétionnement des sols.

Ce schéma simpliste mérite cependant attention : en effet, il serait intéressant d'étudier dans quelle mesure les surfaces homologues de la Zomandao sont également "concrétionnées". Il est indéniable que la présence d'un niveau à concrétions généralisé peut retarder la dissection d'une telle surface.

L'enfoncement des cours d'eau principaux (surimposition), la présence d'alluvions anciennes, de sols enterrés et de dépôts grossiers (cailloutis) dans les thalwegs secondaires, correspondent peut-être à une phase récente plus humide, alors qu'il faudrait plutôt attribuer le colmatage très récent des bas-cours secondaires à une diminution de la compétence des rivières (dessèchement climatique) liée aux phénomènes d'érosion accélérée, érosion en partie anthropique.

Les travaux des géologues et des pédologues ont montré l'importance que jouent les variations

de nappe dans le concrétionnement et le cuirassement (moins fréquent) des sols à Madagascar, en particulier des surfaces géomorphologiques anciennes (cf. en particulier P. BRENON (12) et J. RIQUIER (13)). Si une cause structurale peut être invoquée pour la concentration ferrugineuse ou ferrallitique superficielle de certaines de ces surfaces (granite stratoïde, coulée basaltique), il en est d'autres où l'aplanissement est totalement indépendant de la structure : la surface de la Zomandao en est un bon exemple.

Alors que la part du climat, sinon celle de l'hydromorphie, est difficile à déterminer dans le concrétionnement ou le cuirassement de ces vieilles surfaces structurales (type "Tampoketsa" de l'Horombe, d'Ankazobe, du Famoizankova, de la Menazomby), il est logique de penser que pour les surfaces d'aplanissement vraies, du type pédiments, un climat tropical à saison sèche marquée est indispensable à leur finition et pour qu'aient lieu les concentrations ferrugineuses ou ferrallitiques dans un horizon de profil.

Par conséquent, si nous nous plaçons sur un plan plus général, on peut, à titre d'hypothèse de travail, intégrer les conclusions précédentes dans le schéma ci-contre, schéma qui s'appuie sur nos observations personnelles, en particulier dans l'Extrême-Sud et le Versant oriental (18) (19), et les résultats des travaux géologiques (cf. en particulier les synthèses de H. BESAIRIE (14) et (15), en tenant compte du déplacement possible des zones d'influence humide entre le versant occidental et le versant oriental du massif cristallin malgache, avec en permanence à l'ouest un climat tropical à saisons alternantes, les variations intéressantes surtout la longueur de la saison chaude et la quantité de pluies pendant celle-ci.

N.B. — Des variations plus ou moins importantes du niveau marin se sont produites au quaternaire récent : on en trouve des témoins dans la région de Majunga, dans l'Ouest et l'Extrême-Sud. (cf. en particulier R. BATTISTINI (16)).

En résumé, la phase sèche, qui semble bien marquer la fin de la période Néogène dans les différentes régions sédimentaires de l'île, a certainement eu des répercussions sur le versant occidental du massif cristallin et il est logique d'y rattacher les phénomènes pédogénétiques décrits ci-dessus, et d'autant plus si l'on admet l'existence d'une surface fin-tertiaire selon les conceptions de la géomorphologie cyclique (*).

L'existence des sols ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux à niveau concrétionné de nappe de plateau (concrétionnement qui se poursuit sous le climat actuel) dans les surfaces d'aplanissement occidentales de moyenne altitude (750 à 900 m) : Andranomavokely, Kiranomena, Tsironomandidy, Belobaka, Mandoto, Mandrosonoro, Tsitondroina, confirmerait en partie notre point de vue.

De telles formations ont été signalées localement sur les surfaces de Kianjasoa-Mahasalo par J. RIQUIER (17). Plus au sud, nous en avons observé sur le plateau de Betroka (haut-bassin du Mangoky) à une altitude de 850 à 900 m.

(*) Cette étude ayant été rédigée en 1960, nous avons volontairement reproduit le tableau chronologique ci-joint sous sa forme primitive qui tient seulement compte des événements morphologiques et pédologiques majeurs. A la suite de la découverte que nous avons faite d'importantes terrasses d'alluvions anciennes dans la moyenne vallée du Mangoky et des travaux que nous avons effectués dans le delta de ce fleuve et les basses vallées de l'Ouest Malgache, nous avons été amenés à proposer, pour le Quaternaire en particulier, un schéma plus complexe qui sera publié ultérieurement.

Epoque	Tendance climatique	Zone sédimentaire de l'Ouest	Versant occidental du massif cristallin	Versant oriental du massif cristallin (phases climatiques atténuées)
Quaternaire récent	Déssèchement progressif.	- Pédimentation : Zones d'épandage de basse altitude de l'Ouest et du Sud. - Comblement des basses vallées et constitution des plaines de divagation ou des deltas.	- Reprise de la pédimentation et formation locale de cuirasses. - Colmatage des thalwegs secondaires. - Constitution des plaines d'inondation (terrasses inondables). - Phénomènes d'érosion accélérée ("lavaka").	- Colmatage des bas-fonds. - Phénomènes d'érosion accélérée et recul de la forêt.
Quaternaire moyen	Phase humide majeure	- Erosion des glacis continentaux néogènes. - Creusement des Basses vallées. - Rubéfaction généralisée : Dunes anciennes du Sud et du Sud-Ouest (Sables roux)	- Dissection variable des pédiplaines plus ou moins concrétionnées avec remaniement partiel des concrétions. - Accentuation des pentes des "inselberg". - Surimposition des rivières principales et terrasses dans les alluvions anciennes	- Epandage de sables quartzitiques (résidu d'altération). - Remaniement des pseudo-concrétions et des concrétions vraies ("Karoaka"). - Dépôts lacustres (Alaotra).
		Régression marine importante — limite plio-pleistocène		
Pliocène supérieur	Phase sèche à tendance aride	- Cuirassement des formations continentales néogènes : Niveau beauxitique de Majunga Cuirasse pisolithique de l'Ouest (Manambolo, Maintirano, Besalampy). - Cuirasse et grès ferrugineux des tables du Sud-Ouest et du Sud. - Hautes terrasses conglomératiques de l'Ouest et du nord-est (Tsiribihina, Betsiboka). - Systèmes dunaires de l'Extrême-Sud (Ambovombe) : mise en place.	- Aménagement de reliefs appalachiens en bordure du socle. - Pédimentation et concrétionnement des pénéplaines de moyenne altitude, avec dégagement de dômes et "inselberg". - Dégagement de relief granitogneissiques sur les Hauts-Plateaux - Cuirassement de coulées basaltiques (Ankaratra, Ankaizina) récentes. - Dépôt d'alluvions fluviales.	- Formation massive de pseudo-concrétions dans les profils ferrallitiques. - Cuirassement secondaire des sols basaltiques.
Néogène (Miocène ou Pliocène inf.)	Phase humide	- Nord-Ouest et Ouest : Grès et marnes à bois silicifiés. Calcaires gréseaux de Tambohorano - Sud-ouest ; série grés-argileuse d'Andranoabo. - Extrême-sud ; Grès et argiles du Néogène continental.	- Pénéplanation : Phase de maturité des surfaces de moyenne altitude, type Zomandao - Dégagement partiel des mornes tropicaux - Dissection des surfaces concrétionnées plus anciennes, type "tampoketsa" - Dépôts lacustres (bassin d'Antsirabe, Menarahaka).	- Niveaux d'aplanissement des Basses Collines et de la dépression du Mangoro (phase de maturité) - Dépôts lacustres (Alaotra).

TABLEAU I

Région : ANKAREMENA
 Lieu : E. du village d'Ambatohirika
 Prospecteur : HERVIEU
 Age du sol ou degré d'évol. : mûr
 Pente : modérée

Relief : colline
 Microrelief : termitières
 Végétation : pseudo-steppe
 Espèces : Danga et Vero
 Drainage : bon
 Erosion : en nappe légère

Numéro échantil.	Profondeur	Réaction pH	Concrétions %	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros. %	Humidité équivalente %
ZA 61	0-51 cm	6,1	-	31,6	8,4	20,40	36,7	20,1
62	5-40 cm	5,5	-	29,1	3,6	22,7	43,3	15,7
63	60 cm	5,2	-	37,1	9,7	22,3	30,2	17,9
64	1,20 m	5,3	-	29,4	13,7	29,6	24,9	-
65	1,50 m	5,7	57,4	33,3	7,5	26,6	29,1	-
66	1,90 m	5,7	52,1	24,6	16,6	29,7	28,0	-
67	2,40 m	5,6	36,3	22,7	14,9	32,8	27,7	-
68	2,75 m	5,7	-	29,1	22,1	21,3	26,1	-
68 bis	3 m	5,0	-	33,8	11,5	21,4	30,6	-
69	3,50 m	5,0	-	-	-	-	-	-

Numéro échantil.	Matière organique totale %	Humus total %	Acides humiques %	Acides fulviques %	Carbone %	Azote total %	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES							Fer libre %		
								Ca	O	Mg	O	K2	O	T		S	V
								Milliéquivalents pr 100 g								%	
ZA 61	24,1	7,8	2,0	5,8	14,0	0,72	19,4	5,6	0,85	0,30	10,55	6,75	63,9	2,85			
62	15,1	5,8	3,4	2,4	8,8	0,65	13,5	3,1	0,25	0,30	9,15	3,65	39,8	4,3			
63	7,9	2,1	0,7	1,4	4,6	0,32	14,3	3,0	0,25	0,10	8,55	3,35	39,1	1,7			
64	-	1,0	0,9	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3			
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7			
66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3			
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1			
68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7			

échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	ELEMENTS TOTAUX				
							Al2 O3	Al2 O3	Ca O %	K2 O %	P2 O5 %
Numéro échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	Ca O %	K2 O %	P2 O5 %	
ZA 63	5,56	58,93	14,07	6,8	12,35	1,5	1,9	5,10	0,60	0,50	
64	7,30	50,88	17,47	7,6	14,80	1,5	2,0	3,65	0,50	0,65	
65	7,75	46,95	13,32	10,40	16,35	1,5	1,4	4,50	0,40	0,30	
Concr. 65	9,50	31,40	15,08	26,0	15,75	1,5	1,6	-	-	-	
ZA 66	8,18	42,85	16,96	11,6	18,65	1,5	1,5	-	-	-	
67	7,85	43,95	14,83	12,0	17,10	1,5	1,5	-	-	-	
68	5,75	60,75	14,56	6,8	11,05	0,8	2,2	-	-	-	
Concr. 66	9,68	31,85	12,94	31,2	12,30	1,5	1,8	-	-	-	
" 67	9,20	33,38	9,68	30,8	12,20	1,5	1,4	-	-	-	

TABLEAU II

Région : ANKAREMENA
 Lieu : S.W. du Vohipotsy N. de Sakafia
 Age du sol ou degré d'évol. : mûr
 Pente : faible

Relief : plateau
 Microrelief : termitières
 Végétation : pseudo-steppe
 Espèces : Danga et Vero
 Drainage : bon
 Erosion : en nappe légère

Numéro échantil.	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros. %	Humidité équivalente %
ZA 71	0-10 cm	5,2	23,8	15,4	19,0	40,9	23,1
72	10-30 cm	5,0	28,5	12,3	22,2	36,4	17,4
73	0,50 m						
73	0,50 m	5,1	38,5	7,1	17,4	36,2	13,1
74	1 m	5,5	27,3	20,7	20,8	30,7	-
75	1,50 m	5,2	25,7	21,5	26,3	25,9	-
76	2 m	5,6	-	31,4	17,9	29,6	22,4
77	2,75 m	5,3	52,2	15,4	15,5	38,4	29,4
78	3 m	4,9	-	29,0	11,6	33,6	23,4
79	3,50 m	4,9	-	36,6	14,7	23,6	21,8

Numéro échantil.	Matière organique totale %	Humus total %	Acides humiques %	Acides fulviques %	Carbone %	Azote total %	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES Ca O Mg O K2 O T S V Fer Milliéquivalents pr 100 g libre %						
ZA 71	9,4	4,4	3,6	0,8	5,45	0,57	9,5	2,6	0,70	0,20	6,55	3,55	54,1	2,85
72	8,5	4,2	2,2	2,0	4,95	0,37	13,3	4,5	0,20	0,10	7,4	4,85	65,5	2,85
73	-	-	-	-	-	-	-	2,65	0,10	0,10	4,3	2,90	67,4	2,85
74	-	-	-	-	-	-	-	3,5	0,05	0,05	6,95	3,65	59,3	4,3
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7
79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7

Numéro échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX Ca O % K2 O % P2 O5 %			
ZA 71	-	-	-	-	-	-	-	5,40	0,40	0,45	
72	-	-	-	-	-	-	-	3,30	0,35	0,35	
73	6,65	57,34	14,83	6,0	13,90	1,0	1,8	4,20	0,25	0,15	
74	6,92	52,68	16,33	6,4	14,95	1,5	1,9	-	-	-	
75	8,10	43,55	20,10	7,2	18,85	1,5	1,8	-	-	-	
76	8,37	40,71	23,12	7,6	18,30	1,5	2,1	-	-	-	
77	9,28	34,80	18,60	11,20	22,55	1,5	1,4	-	-	-	
78	9,25	32,62	25,51	10,40	20,60	1,5	2,1	-	-	-	
79	7,75	42,31	21,99	8,8	17,50	1,5	2,1	-	-	-	
Concr. 77	10,80	23,25	17,72	28,0	18,45	1,0	1,6	-	-	-	

TABLEAU III

Région : RANOTSARA N.
 Lieu : S. du Village d'Amboandelaka
 Age du sol ou :
 degré d'évol. : mûr
 Pente : nulle
 Relief : plaine

Microrelief : termitières
 Végétation : pseudo-steppe
 Espèces : Vero dominant
 Drainage : gêné
 Erosion : en nappe légère

Numéro échantil.	Profondeur	Réaction pH	Concrétions %	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros. %	Humidité équivalente %
ZA 81	10 cm	5,3		22,8	14,8	18,1	42,8	12,6
82	30 cm	5,2		21,5	17,8	19,6	40,0	11,4
83	1 m	4,9		34,5	0,5	25,5	40,7	13,2
84	1,50 m	4,8		24,1	13,6	25,0	35,9	
85	2,25 m	4,9		30,9	16,1	19,2	29,4	
86	2,75 m	4,9		23,4	13,0	35,3	27,4	
87	3,25 m	4,8	15,8	23,9	13,4	28,3	32,9	
88	4 m	4,1		46,5	3,1	22,0	24,0	
89	5,15 m	4,2		26,4	6,8	12,4	53,7	

Numéro échantil.	Matière organique totale %	Humus total ‰	Acides humiques ‰	Acides fulviques ‰	Carbone ‰	Azote total ‰	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES Milliéquivalents pr 100 g						S	V	Fer libre %
ZA 81	18,9	5,0	2,0	3,0	11,0	0,77	14,2	3,8	0,70	0,30	4,7	4,8	100	2,3		
82	17,9	3,8	1,8	2,0	10,4	0,47	22,1	5,15	0,20	0,15	4,0	5,5	100	2,3		
83								2,5	0,20	0,10	5,0	2,8	56	2,3		
86																4,3
87																2,0
88																2,85

Numéro échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX				
								Ca O %	K2 O %	P2 O5 %		
ZA 81	-	-	-	-	-	-	-	4,50	0,35	0,35		
82	-	-	-	-	-	-	-	5,40	0,25	0,55		
83	4,48	68,10	7,54	5,2	11,10	1,0	1,15	3,65	0,25	0,35		
84	6,13	59,99	10,68	6,0	12,85	1,0	1,4	-	-	-		
86	7,62	51,91	14,95	6,8	15,80	1,0	1,6	-	-	-		
87	6,50	47,25	11,94	10,40	20,35	1,0	1,0	-	-	-		
88	7,20	49,30	96,33	6,4	17,0	1,0	1,6	-	-	-		
Conc. 87	7,47	44,08	8,04	30,8	8,60	1,0	1,6	-	-	-		

TABLEAU IV

Région : RANOTSARA N.
 Lieu : Route de Ranotsara entre P K 1 et 2
 Age du sol ou degré d'évol. : mûr
 Pente : plaine

Microrelief : termitières
 Végétation : pseudo-steppe
 Espèces : Danga, peu de Vero
 Drainage : bon
 Erosion : en nappe légère

Numéro échantil.	Profondeur	Réaction pH	Concrétions %	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros. %	Humidité équivalente %
ZA 91	0-10 cm	5,7	-	17,7	5,1	23,0	53,1	9,8
92	30	5,2	-	19,4	5,8	21,7	50,8	7,9
93	60	5,3	-	24,1	3,1	23,5	48,0	7,9
94	110	6,1	6,3	29,3	7,9	20,3	41,7	-
95	175	5,8	67,7	31,3	8,4	25,2	33,9	-
96	200	5,5	-	30,1	3,9	23,7	38,4	-

Numéro échantil.	Matière organique totale %	Humus total %	Acides humiques %	Acides fulviques %	Carbone %	Azote total %	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES								Fer libre %
								Ca O	Mg O	K2 O	Na2 O	T	S	V		
								Milliéquivalents pour 100 Grammes								
ZA 91	49,5	5,6	2,2	3,4	28,8	0,72	40,0	4,0	1,4	0,25	0,08	6,0	5,85	97,5	0,6	
92	30,9	3,0	2,0	1,0	18,0	0,32	56,2	2,9	0,20	0,15	0,04	5,0	3,30	66,0	0,9	
93	11,0	1,5	1,2	1,3	6,4	0,16	40,0	4,9	0,25	0,15	0,08	3,4	15,35	100	0,6	
94	-	-	-	-	-	-	-	4,0	0,30	0,20	0,13	5,85	4,65	79,4	0,6	
95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,85	
96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	

Numéro échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX			
								Ca O %	K2 O %	P2 O5 %	
ZA 92	3,32	84,70	1,88	2,0	5,9	0,4	0,5	4,5	0,35	0,50	
93	2,70	82,02	4,65	2,0	6,4	0,3	0,3	3,10	0,35	0,40	
94	4,02	74,27	7,79	2,4	10,40	0,7	1,3	3,65	0,25	0,25	
95	5,80	58,0	13,95	5,2	16,20	0,8	1,5	-	-	-	
Concr. 94	4,46	70,49	7,66	7,2	10,10	0,2	1,3	-	-	-	
Concr. 95	7,68	45,22	8,54	26,4	9,25	0,6	1,6	-	-	-	

TABLEAU V

Région : RANOTSARA
 Lieu : Rive droite de l'Ionaivo, S. de RANOTSARA
 Age du sol ou : mûr
 degré d'évol.

Roche-mère : alluvions anciennes
 Pente : modérée
 Relief : colline
 Microrelief : ondulé
 Végétation : pseudo-steppe
 Espèces : Danga et Vero
 Drainage : bon
 Erosion : "lavaka"

Numéro échantil.	Profondeur	Réaction pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gros. %	Humidité équivalente %
ZA 101	0-1	4,6	34,4	20,0	33,20	10,9	16,7
102	1-2 m	5,0	58,1	26,7	12,2	2,1	28,9
103	2-3 m 50	5,3	36,5	3,6	14,8	44,0	18,8
104	+ 3 m 50	4,4	49,7	27,9	18,7	3,0	-

Numéro échantil.	Matière organique totale %	Humus total %	Acides humiques %	Acides fulviq. %	Carbone %	Azote total %	Rapport C/N	ELEMENTS ECHANGEABLES Milliéquivalents pour 100 g						T	S	V	Fer libre %
ZA 101	11,7	2,0	1,3	0,7	6,8	0,30	22,6	2,25	0,05	0,05	0,13			17,0	2,50	14,7	2,0
102	0,2	1,3	0,9	0,4	0,7	0,12	5,8	2,80	1,25	0,05	0,13			13	4,25	32,6	2,0
103	0,35	0,9	0,7	0,2	0,2	0,08	2,5	2,30	0,8	0,07	0,13			5,40	3,5	64,8	1,7
								3,1	1,0	0,27	0,13			14,0	4,5	32,1	2,85

Numéro échantil.	Perte au feu %	Résidu %	Si O2 combinée %	Fe2 O3 %	Al2 O3 %	Ti O2 %	Si O2 Al2 O3	ELEMENTS TOTAUX			
								Ca O %	K2 O %	P2 O5 %	
ZA 101	7,98	49,46	16,08	6,4	17,1	1,5	1,6	4,50	0,35	0,45	
102	11,87	20,88	26,26	9,6	29,15	1,0	1,5	5,40	0,45	0,80	
103	5,97	57,80	14,83	6,0	13,8	1,0	1,7	5,60	0,25	0,55	
104	10,75	26,90	25,13	8,8	26,2	1,0	1,6				

BIBLIOGRAPHIE

- (1) F. DIXEY — Observations sur les surfaces d'érosion à Madagascar, Notes de géologie malgache 1958, Documentation du Bureau Géologique, n° 140, Tananarive.
- (2) Cl. MOUREAUX et G. TERCINIER — Carte des valeurs du coefficient de Meyer à Madagascar, Mémoires IRSM 1953, Série D.
- (3) J. RIQUIER — Note sur l'évapotranspiration de Thornthwaite et le bilan hydrique des sols, le Naturaliste malgache, tome X, 1958.
- (4) R. FRANKART, M.C. GASTUCHE et J.J. FRIPIAT — Etude des argiles de l'Uele, Publications de l'INEAC, Série scientifique n° 86, 1960.
- (5) P. SEGALEN — Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar, Mémoires IRSM 1957, Série D.
- (6) H. BESAIRIE — Documents sur la géographie de Madagascar, Travaux du Bureau géologique, n° 54, Tananarive 1954.
- (7) L. DELBOS — Etude géologique au 1/100 000e et prospection des feuilles Mandabe et Ivohibe, rapport annuel du Service géologique pour 1959, Tananarive.
- (8) J. RIQUIER — Les sols de la région de Soavina et de la Menarahaka Mémoires IRSM 1951, Série D.
- (9) J. VIEILLEFON — Les sols de la Menarahaka, Notices sur les cartes d'utilisation des sols, Publications IRSM 1960.
- (10) J. RIQUIER — Les sols sur alluvions anciennes et récentes du Lac Alaotra, Rapports du VIe Congrès international de la Science du sol, volume E, Paris 1956.
- (11) H. BAULIG — Surfaces d'aplanissement, Annales de géographie, juillet-août 1952, n° 326.
- (12) P. BRENON — Recherches de bauxite sur le Tampoketsa de la Menazomby et ses annexes, rapport annuel du Service géologique pour 1957, Tananarive.
- (13) J. RIQUIER — Latérites et latéritisation à Madagascar, compte-rendus du 3ème congrès de l'Association scientifique des pays de l'Océan Indien, Tananarive 1957.
- (14) H. BESAIRIE — La géologie de Madagascar en 1957, Service géologique Tananarive 1957.
- (15) H. BESAIRIE — Les gisements de fer de Madagascar, rapport annuel du Service géologique pour 1959, Tananarive.
- (16) R. BATTISTINI — Les divisions du Plio-quaternaire du Sud de Madagascar, compte-rendus des séances de L'académie des Sciences, t. 248, p. 992-993, 1959.
- (17) J. RIQUIER — Notices sur les cartes d'utilisation des sols. Feuille de l'Ankadinondry et de Babetville, publications IRSM, 1956.

(18) J. HERVIEU — Notices sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000e, Feuille N° 64 Ambovombe, Feuille N° 63 Ampaniby-Beloha, Feuille N° 65 Fort-Dauphin, publications I.R.S.M., 1958, 1959 et 1960.

(19) J. HERVIEU — Notices sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000e, Feuille N° 33 Brickaville-Moramanga, publications I.R.S.M. 1960.