

# LES MARAIS D'IFANJA ET LEUR ENCADREMENT MONTAGNEUX, ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

par Gérard MOTTET

Situés à une centaine de kilomètres à l'Ouest de Tananarive sur les Hautes Terres malgaches, les marais d'Ifanja constituent une unité naturelle de 3 000 hectares de superficie. Isolés au Nord du massif volcanique de l'Itasy, ils n'en font pas proprement partie, bien que le volcanisme ait joué son rôle dans leur formation. Les éruptions quaternaires ont, en effet, barré des vallées déjà mal drainées, comme celles situées plus en aval, accentuant ainsi la formation d'une vaste plaine alluviale de 1 050 mètres d'altitude, entourée de reliefs aux altitudes comprises entre 1 200 et 1 500 mètres. La région étudiée couvre donc environ 350 km<sup>2</sup>.

L'analyse morphologique va permettre de distinguer ce qui, dans la formation de la cuvette marécageuse, revient au volcanisme d'une part, et à l'évolution normale des Hautes Terres centrales et occidentales d'autre part.

## I. — *L'encadrement montagneux*

### 1). — *Les paysages.*

Lorsqu'on se rend au marais d'Ifanja par la piste de Miarinarivo à Fenoarivo par Ambatomanjaka, on circule avant et après ce village sur des surfaces herbeuses, convexes, alourdies et empâtées par un épais manteau d'altération souvent très visible dans les énormes cicatrices des lavaka ou sur les sentiers de parcours des troupeaux de bovins. Ces croupes déboisées, situées à une altitude moyenne de 1 400 mètres sont fréquemment accidentées par des lignes de crêtes rocheuses atteignant 1 500 m. On oblique vers l'Ouest pour gagner l'Ifanja par la piste de Sanganoro. On circule alors dans une zone de reliefs nettement plus accidentés, mais toujours constitués de roches du vieux socle.

Les vallées, profondément incisées, descendent très rapidement vers le marais qui s'étend en contrebas, uniformément vert à la saison des pluies. Les villages se localisent tout autour de la cuvette sur les premières pentes qui le bordent immédiatement, entourés de petits bosquets de manguiers et d'eucalyptus. L'ensemble de ce cadre ne manque pas de grandeur.

Quand on aborde le marais par Analavory, c'est-à-dire par le Nord du massif volcanique de l'Itasy, l'impression est très différente. On circule pendant une dizaine de kilomètres dans une région très variée, constituée de cônes stromboliens, de dômes trachytiques, de lacs de barrages, de cratères d'explosion, entourés de blocs projetés. Puis succède un ensemble de reliefs élaborés dans les migmatites gneissiques, recouvertes d'une épaisse couche de cendres volcaniques dont la couleur très noire tranche sur les sols ferrallitiques qu'elles fossilisent. Ce contraste pédologique est très visible dans cette région très atteinte par une violente érosion en lavaka que, d'une année à l'autre, on peut voir évoluer. Le panorama s'élargit alors, et l'on découvre d'un coup, en la dominant, la majestueuse et sombre surface du marais qui disparaît au Nord-Est dans l'encadrement des crêtes cristallines. Au Sud, le marais fait place aux volcans qui ont contribué, avec leurs très longues coulées, à bloquer le drainage. Au loin, au Nord-Ouest et à l'Ouest, des crêtes s'allongent, parallèlement les unes aux autres, en direction de la vallée de la Sakay, avant de faire place aux vastes horizons très ouverts des surfaces du Moyen Ouest dont la platitude n'est dérangée que par les silhouettes imposantes des reliefs résiduels du Bevato et de l'Ambohiby.

Que ce soit donc par le Nord ou par le Sud que l'on aborde la cuvette d'Ifanja, elle est de toutes parts cernée de hauteurs qui la dominent de 400 à 500 mètres et qui contribuent à son isolement (photographie n° 1).

## 2). — *Le matériel*

Ces hauteurs qui dessinent dans le paysage des alignements aux altitudes assez uniformément situées aux environs de 1400 mètres, sont formées de roches cristallophyliennes du socle précambrien malgache. Ces roches, déposées à l'origine dans une vaste aire géosynclinale, ont subi une et même deux orogénèses qui ont eu deux conséquences principales :

a) un intense métamorphisme général, avec un métasomatisme important, déterminant un enrichissement quartzo-feldspathique qui explique que, très souvent, les micaschistes et les gneiss évoluent en migmatites qui, elles-mêmes, passent souvent aux granites migmatitiques. Dans la région étudiée, les granites migmatitiques sont représentés, s'insérant normalement dans les migmatites, et jouant un rôle dans la morphologie.



*Le Marais d'IFANJA au Sud-Ouest. Végétation dense de cypéracées au Centre sur les sols tourbeux. Bananiers plantés par les habitants des villages du pourtour de la cuvette, sur sols argilo-sableux au premier plan. Encadrement montagneux réalisé dans les roches métamorphiques nivelées par la surface intermédiaire.*

Cliché n° 1

(Cliché Gérard MOTTET).

b) de très importants plissements, ployant en anticlinaux, synclinaux, lames, ces roches métamorphisées, plissements s'accompagnant d'une première génération, la plus ancienne, de failles, décrochements et fractures de constitution. L'orogénèse la plus sûrement reconnue se situe aux alentours de 1 150 millions d'années.

Les formations sédimentaires précambriennes qui constituent l'armature des reliefs environnants d'Ifanja ont subi ces deux actions, plissement et métamorphisme.

### 3. — L'évolution morphologique

#### A. — Le développement de la surface mi-tertiaire

Les surfaces à 1400 mètres dominées par des lignes de crêtes à 1500 mètres que l'on rencontre au Nord de Miarinarivo aux alentours d'Ambatomanjaka, constituent, comme l'ont montré Michel Petit et F. Bourgeat (1), un bon exemple de ce qu'est, à Madagascar,

(1) *Les surfaces d'aplanissement à Madagascar*, Ann. Géo., 1969, pp. 158-188.



le niveau d'aplanissement élaboré au milieu du tertiaire, que l'on appelle aussi niveau intermédiaire ou surface II. Ce niveau est nettement moins évolué que le niveau précédent beaucoup plus spectaculaire (surface des tampoketsa). Aussi ne faut-il pas s'attendre à trouver ici de vastes plateaux comme sur les tampoketsa. Quelques belles lignes droites de pistes après Ambatomanjaka ne doivent pas faire illusion. Elles se déroulent en fait sur des interfluves assez uniformes certes, mais digités, convexes, et disposés en enfilade entre des vallées nombreuses, ramifiées, et parcourues par un réseau hydrographique dense. La surface occupée par les versants est largement supérieure à celle dévolue aux interfluves. Cependant il s'agit bien d'un niveau d'aplanissement, recoupant plus ou moins bien les roches métamorphiques de résistance inégale, micachistes, gneiss, migmatites gneissiques, migmatites à biotite, granites migmatitiques.

Un type de relief très différent domine altitudinalement le précédent. Nettement moins uniforme, plus accidenté, il donne dans le paysage des lignes de crêtes dépassant souvent 1 500 mètres, lignes de crêtes elles-mêmes renforcées par des pointements rocheux qui percent le manteau d'altération partout ailleurs assez épais. Ces sommets effilés et allongés constituent en fait les points hauts de la topographie environnant la cuvette d'Ifanja. Ils sont constitués de granites migmatitiques qui ne sont pas des gisements filoniens, mais qui sont concordants dans l'ensemble des terrains métamorphiques et dans leur structure plissée. De ce fait, ces lignes de crêtes, véritables reliefs résiduels dominant la surface mi-tertiaire, s'allongent dans la même direction que les plissements, contribuant dans le relief à en conserver l'orientation. Elles sont cependant trop rares et trop espacées pour pouvoir parler ici de relief pseudo-appalachien. Comme les plis, elles sont de direction Ouest-Est à l'Est du marais : la plus belle, la crête d'Ambatomanjaka, véritable hog-back, s'allonge sur plus de 5 kilomètres, culmine à 1 502 mètres par un énorme rocher en dôme fendu en son milieu par une diaclase horizontale qui lui confère vu du Nord l'allure d'un gros champignon. De chaque côté, il est isolé du reste de la crête située 50 mètres plus bas par deux diaclases verticales. C'est en effet un réseau de diaclases orthogonales qui détermine l'évolution du relief de cette crête, et les rochers sommitaux sont plus ou moins importants selon que les diaclases verticales sont plus ou moins resserrées. Les versants de la crête, élaborés dans des migmatites gneissiques altérées sont tapissés de blocs arrondis tombés du sommet. Au Nord-Est du marais, la partie orientale de la crête de l'Ikankana culmine aussi à plus de 1 500 m ; à l'Est, elle s'oriente grossièrement Est-Ouest là où elle domine la vallée de la Fiadanamanga, puis elle s'incurve progressivement vers le Nord-Ouest et enfin franchement vers le Nord. Il s'agit sans doute d'un flanc de pli anticlinal à terminaison péri-anticlinale peu visible.

La surface d'aplanissement mi-tertiaire est assez bien conservée à l'extrême Nord du marais d'Ifanja, sans doute à la faveur d'une subhorizontalité de la structure. Cela donne un plateau, le plateau d'Ambohitrinimerina, à pente très faible, à 1380 mètres d'altitude moyenne, incliné vers le Nord, d'une surface totale d'environ 10 km<sup>2</sup>. De petits pointements résiduels en accidentent la surface à l'Est et au Nord-Est. Ce petit plateau est mal drainé : une dizaine de petites rivières paissent dans des bas-fonds assez plats, marécageux, encombrés de cypéracées. En amont, ces vallées mal drainées s'élargissent en cuvettes aux bords arrondis, plurilobés à une vingtaine de mètres en contrebas de la surface du plateau. Le terme de réseau hydrographique en « bois de renne » défini par P. GOUROU pour le paysage de la Sakay s'applique bien ici. Tout autour les rivières descendent selon deux tracés principaux;

*a)* soit un tracé curviligne, allongé, qui redégage la structure plissée qui, du Sud-Est s'incurve vers le Nord-Ouest, en amorçant des reliefs pseudo-appalachiens.

*b)* soit un tracé rectiligne, de direction Nord-Sud, qui fait aboutir un drain principal tout droit dans le marais et, qui en dirige un autre vers le Nord, presque dans le prolongement du premier, selon une direction méridienne que l'on poursuit à la faveur d'autres thalwegs jusqu'au tampoketsa de Fenoarivo, quarante kilomètres plus au Nord. Quant aux drains secondaires qui aboutissent à ces drains principaux méridiens, ils sont parfaitement adaptés à la structure plissée bien visible à la photographie aérienne (1). Ainsi par l'étude des rivières qui descendent de la surface d'aplanissement mi-tertiaire conservée au Nord du marais, nous distinguons deux directions principales des thalwegs bordant et rajeunissant cette surface, une direction incurvée Nord-Ouest — Sud-Est, adaptée à la structure plissée, révélée par l'érosion différentielle, une direction Nord-Sud rectiligne qui recoupe la précédente dans l'axe de la partie méridienne du marais, plus particulièrement.

Au Nord-Ouest et à l'Ouest du marais, le niveau intermédiaire est encore conservé, mais on ne retrouve plus d'éléments de surface aussi continus que sur le plateau précédent. Les interfluves sont moins réguliers dans leur direction que dans la région d'Ambatomanjaka, ils s'allongent un peu dans tous les sens, ainsi le plateau du Rijabe (1341 m) recoupe une structure plissée sans doute beaucoup moins régulière et beaucoup plus complexe. Une importante lame de granites migmatitiques concordants explique la conservation de la surface mi-tertiaire sur le Faravato (1454 m) et le Marovoalava (1454 m également).

---

(1) cliché 564 mission 008 I.G.N. 1949.

En descendant vers le Sud la surface d'aplanissement se maintient par quelques sommets allongés d'interfluves, Ambolandia (1366 m) Maroanana (1397 m); elle reprend une certaine ampleur en constituant le sommet massif du Kiamokara (1381 m) qui domine le Sud du marais d'Ifanja par d'impressionnantes falaises rocheuses hachées de cassures verticales. Cette falaise fera plus loin l'objet d'une étude plus détaillée.

Il se dégage ainsi de l'étude du développement de cette surface autour de la cuvette marécageuse :

1) qu'elle n'est vraiment développée qu'au Nord de Miarinarivo, et que même là une analyse plus serrée révèle en fait un aplanissement qui n'a pas eu le temps de s'accomplir jusqu'au stade ultime du nivellement. Replacé dans le contexte général de l'histoire des Hautes Terres malgaches, cet exemple d'aplanissement imparfait vérifie ce que nous pensons, à savoir qu'à Madagascar des périodes de biostasie ont alterné avec des périodes de rhexistasie, les secondes jouant un rôle dynamique dans le temps et dans l'espace plus important que les premières, d'où pour la surface mi-tertiaire l'extrême rareté des cuirassements.

2) qu'elle est conservée le mieux à l'Est du marais parce qu'elle se trouve située en position de ligne de partage des eaux entre deux bassins versants, celui de l'Ikopa-Betsiboka, fleuves principaux du bassin de Majunga, et celui de la Tsiribihina, qui, par la Sakay, la Mania et la Sekena draine celui de Morondava. Le réseau hydrographique, à sa naissance, n'a pu avoir qu'une action modérée sur cette surface dont il ne tarde pas cependant sur ses bordures à révéler la structure plissée, aidé, pour ce fait, par l'hétérogénéité pétrographique du métamorphisme général.

3) qu'elle ne domine directement la cuvette marécageuse qu'en deux endroits limités seulement, à l'extrême Nord par le plateau d'Ambohitrinimerina, et au Sud-Ouest du lac Mandetika par le massif du Kiamokara. Partout ailleurs, entre la surface et le marais s'intercalent une série de reliefs beaucoup plus évolués et topographiquement moins élevés (voir carte morphologique générale).

4) qu'elle est, comme le montre la coupe n° 1 qui passe par le sommet du Kiamokara, doucement inclinée vers l'Ouest — Nord-Ouest, selon une pente d'environ 3 ‰, ce qui renforce l'hypothèse d'un soulèvement dissymétrique du socle malgache après le cycle II, soulèvement qui, évidemment, a affecté aussi le cycle I puisque la surface des tampoketsa plonge, elle aussi, vers le Nord-Ouest. La conséquence de cette surrection ne s'est pas faite attendre, le réseau hydrographique s'est immédiatement encaissé, attaquant la surface mi-tertiaire, donnant naissance aux reliefs analysés maintenant.











B. — *La ceinture de reliefs dérivés du niveau intermédiaire*







La quasi totalité de la cuvette d'Ifanja, si l'on excepte les reliefs volcaniques, et les deux terminaisons de la surface mi-tertiaire précédemment analysés, est entourée dans ses abords immédiats par une ceinture de reliefs moins élevés que le niveau intermédiaire, mais plus différenciés, plus accidentés, rendant la circulation plus difficile. Les thalwegs sont moins longs, mais plus rapprochés les uns des autres et nettement plus incisés. De ce fait, les crêtes d'interfluves sont plus serrées et plus étroites, avec, sur toute la bordure orientale du marais une direction dominante Ouest-Est bien marquée. Ce relief très orienté est particulièrement observable à l'Est de l'îlot d'Anosibe, dans le haut bassin de la rivière Kotombolo et de ses nombreux petits affluents, à l'Est d'Ampambolotara et d'Ampokonato (croquis n° 1). Crêtes allongées, étroites, serrées, parallèles entre elles, drainées par un réseau hydrographique de même direction, sont les conséquences du rajeunissement de la surface mi-tertiaire, rajeunissement qui rend à nouveau visible les détails de la structure plissée primitive. Les plis, étant à cet endroit assez serrés, il s'amorce un début de relief pseudo-appalachien en bordure Est, Sud-Est et Sud de la cuvette alluviale. Plus de traces du niveau d'aplanissement mi-tertiaire, mais uniquement des alignements de reliefs dérivés de celui-ci.

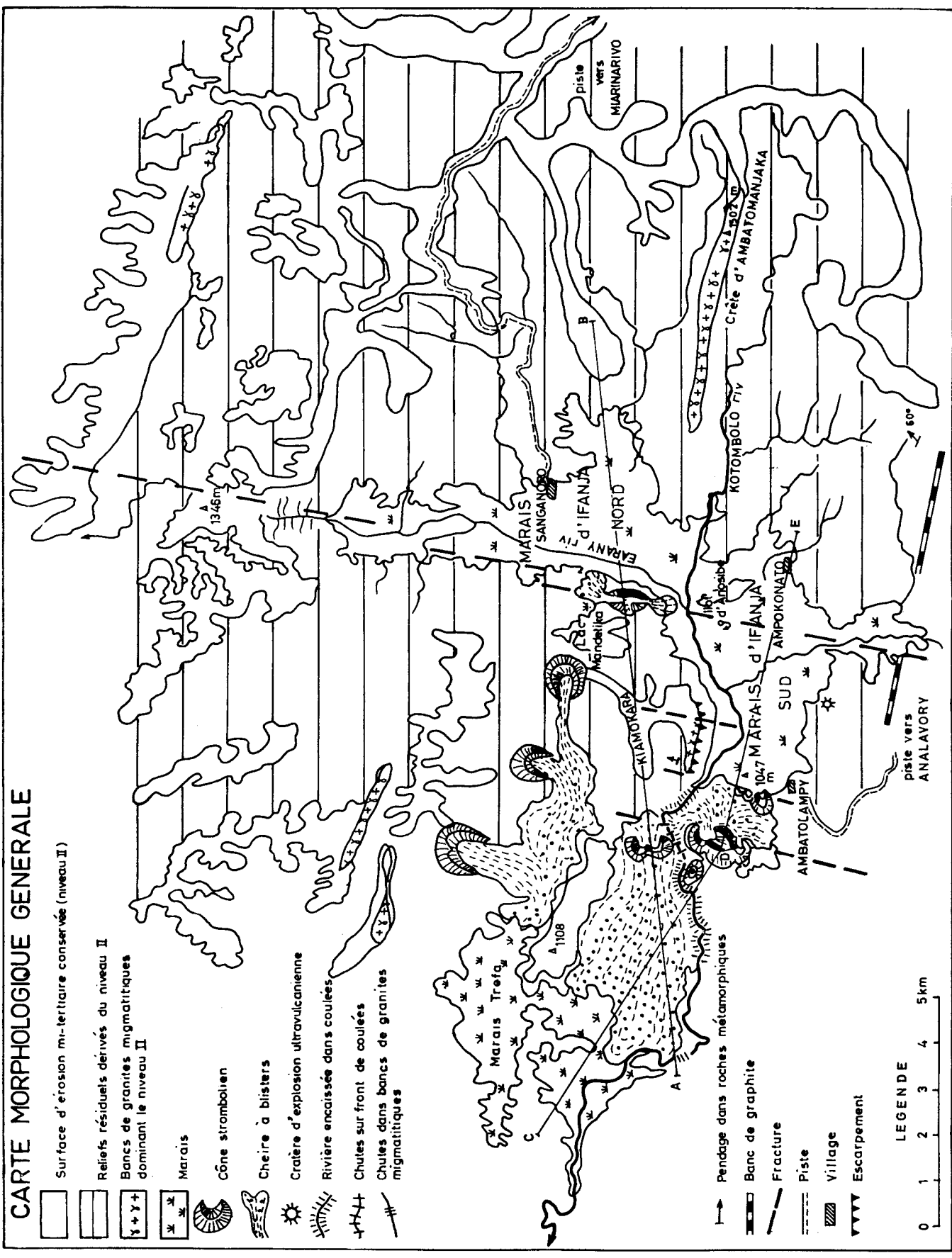
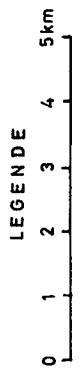
Ces alignements s'observent plus au Sud, encadrant la vallée alluviale de la rivière Bizy, à l'Est du village de Ngilomby, de même direction Ouest-Est que ceux de la haute Kotombolo. Plus à l'Ouest, de part et d'autre de la piste qui aboutit au marais à Ambatolampy, cette structure est encore visible, mais cependant plus atténuée pour deux raisons : la première, structurale, les plis étant plus lâches, la seconde, pétrographique, c'est la présence du volcanisme quaternaire qui fossilise les terrains métamorphiques par les cônes stromboliens et leurs épaisses émissions de cendres. Mais cette couche de cendres, même si elle amollit le modelé de rajeunissement de la surface mi-tertiaire, laisse deviner quand même les crêtes migmatitiques dérivées de celle-ci.

Le rajeunissement de la surface mi-tertiaire qui n'a pas permis à celle-ci de s'élaborer complètement est dû, comme nous l'avons vu, à un mouvement positif déterminant un soulèvement de la zone axiale des Hautes Terres. Ce soulèvement explique l'enfoncement du réseau hydrographique, la vigueur des pentes et en partie l'importance des formes d'érosion par arrachement et décollement dans les sols ferrallitiques d'altération. Les lavaka sont en effet nombreux dans la zone des reliefs dérivés tout autour de la surface d'aplanissement. C'est là qu'ils atteignent la plus forte densité au km<sup>2</sup>, 8 à 10. Ils ne sont pas absents des thalwegs séparant les interfluves

# CARTE MORPHOLOGIQUE GENERALE

-  Surface d'érosion mi-tertiaire conservée (niveau II)
-  Reliefs résiduels dérivés du niveau II
-  Bancs de granites migmatitiques dominant le niveau II
-  Marais
-  Cône strombolien
-  Cheire à blisters
-  Cratière d'explosion ultravulcanienne
-  Rivière encaissée dans coulées
-  Chutes sur front de coulées
-  Chutes dans bancs de granites migmatitiques

-  Pendage dans roches métamorphiques
-  Banc de graphite
-  Fracture
-  Piste
-  Village
-  Escarpement





dérer que la remise en culture est quasi impossible. Ces drainilles creusées par le ravinement, peut-être moins spectaculaires que les lavaka, sont au moins aussi néfastes dans leur rôle de destructeur du capital pédologique des Hautes Terres malgaches, et contribuent autant que les lavaka à accroître la turbidité spécifique des rivières en saison des pluies.

De loin en loin, dans le paysage, des crêtes plus hardies dominent les reliefs dérivés de la surface mi-tertiaire. Ces crêtes qui rappellent les reliefs résiduels de celle-ci, et qui en ont la même orientation, sont constituées de longs bancs de granites migmatitiques qui ont mieux résisté que les autres roches au rajeunissement de la surface (photographie n° 2).



*Relief résiduel dérivé de la surface mi-tertiaire. Crête de granites migmatitiques concordants dégagés par érosion différentielle des terrains plus tendres nivelés par la remontée de la surface fini-tertiaire. (Cliché n° 2). (Sud-Ouest des Marais d'IFANJA)*

(Cliché Gérard MOTTET).

Ainsi, autour de la cuvette d'Ifanja, les bancs de granites migmatitiques concordants constituent les points hauts du paysage, soit qu'ils forment les reliefs résiduels qui, à 1500 mètres dominant le niveau intermédiaire, soit qu'ils portent à 1350 — 1400 mètres les points les plus élevés des reliefs dérivés de cette surface, et comme tels susceptibles, sur les hauts des crêtes, d'en conserver quelques traces. En contrebas de ces reliefs, c'est le moutonnement des collines convexes élaborées dans des roches plus sensibles à l'altération, recouvertes d'un maigre tapis graminéen qui dissimule mal la morsure

du ruissellement, et qu'interrompent souvent les entailles profondes des lavaka. Les produits de cette érosion, véhiculés par les rivières qui aboutissent au marais vont jouer, évidemment, leur rôle dans la composition des sols de celui-ci.

## II. — LES MARAIS D'IFANJA

### 1) — *Les enseignements de l'étude pédologique*

Cette grande zone marécageuse de 3 000 hectares située, malgré son isolement, relativement à faible distance des foyers surpeuplés des plaines de Tananarive, a, depuis longtemps, fait l'objet d'études préparatoires aux aménagements hydrauliques. Ceux-ci ont commencé en 1956 par drainage de la partie Nord après une première étude pédologique (1). Un deuxième travail, plus complet, a été effectué en 1962, pour préparer la mise en valeur de la partie Sud (2). Ces études entreprises avant le déroctage des seuils et les drainages qui ont modifié la topographie du marais, ainsi que la mission photographique aérienne de l'I.G.N. de 1949 qui nous donne une image du marais à l'état naturel, vont nous permettre d'essayer une description et de retracer ensuite l'évolution morphologique.

Comme nous, les pédologues ont été frappés par les différences d'altitude sensibles qui nuancent la surface des marais. Ces différences sont de l'ordre de la dizaine de mètres entre le marais au Sud de l'îlot d'Anosibe (1 045 — 1 050 m) et au Nord (1 055 — 1 060 m) à la hauteur de Kotolay et plus haut également vers Sanganovo et Mahabo. Il semble donc qu'il y ait deux surfaces marécageuses qui ont évolué indépendamment l'une de l'autre, au moins pendant un certain temps, pour l'essentiel de leur formation.

Les résultats des sondages pédologiques et la carte des sols dressée par Didier de Saint-Amand tendent à confirmer cette hypothèse : en effet les marais d'Ifanja se composent à l'origine de deux zones tourbeuses indépendantes l'une de l'autre, situées à des altitudes différentes et qui semblent bien s'être formées dans deux cuvettes alluviales distinctes. Ces deux cuvettes à sols tourbeux hydromorphes sont séparées en effet par une bande ininterrompue qui coupe les marais en deux à 500 m au Nord-Est de l'îlot d'Anosibe. Cette bande continue est constituée de sols qui deviennent très sableux en dessous de 70 cm. Les sondages XVI, XXXVIII, et XXXVII ont donné les résultats suivants :

(1) Etude pédologique des marais d'Ifanja. C O T H A, 1955.

(2) Etude pédologique des marais d'Ifanja, par R. Didier de St-Amand, IRAM, 1962, 31 pages dactylographiées, carte pédologique au 1/40.000.

## A — GRANULOMETRIE

Numéro du profil	XVI	XXXVIII	XXXVII
Sable grossier en %	16	6	39
Sable fin en %	8	7	26
Limon en %	41	53	21
Argile en %	29	29	9

## B — ELEMENTS ORGANIQUES

Numéro du profil	XVI	XXXVIII	XXXVII
Matière organique totale en %	2,37	3,43	2,63
Humus en %	1,04	0,70	1,00
Carbone organique en %	1,38	1,99	1,53
Rapport Humus x 100 Mat. org. totale	4,3	2,0	3,8

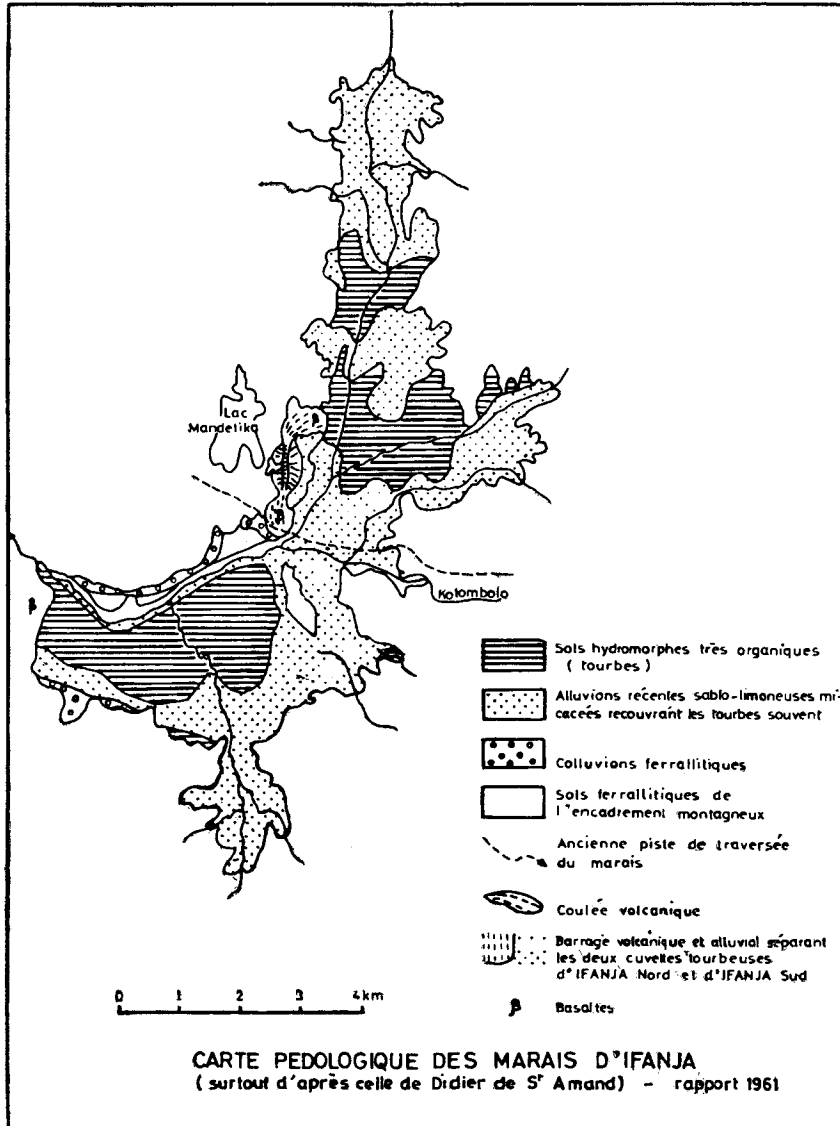
Les trois sondages ont révélé des horizons sableux jusqu'à 120 cm et au-delà en profondeur. Il s'agit ainsi d'une bande d'alluvions fluviales riches en sables quartzeux et fortement micacés par la biotite des roches métamorphiques desquelles ils proviennent. Ces sols coupent le marais en deux au débouché dans celui-ci de la rivière Kotombolo. La faiblesse de la matière organique en confirme, autant que la localisation, l'origine. Les photographies aériennes de 1949 (1), antérieures aux aménagements hydrauliques et traduisant mieux la morphologie naturelle du marais, révèlent bien cette zone claire qui, au débouché de la Kotombolo partage les deux fosses tourbeuses plus sombres (voir carte pédologique).

En fait, cette bande plus claire, à l'observer de plus près, est formée de deux parties qui se rejoignent; à l'Est ce que l'on peut appeler le cône d'épandage de la Kotombolo; à l'Ouest — Nord Ouest, plus claire (par la couverture graminéenne de saison sèche) une longue bande de terrains à la topographie assez accidentée. Il s'agit, pour ce deuxième élément, comme nous l'avions pressenti, d'une coulée volcanique issue de l'orifice Sud de l'édifice montagneux situé à l'Est du lac Mandetika.

Cet édifice montagneux, allongé et traversé par une étroite fente méridienne est indiqué formé de migmatites sur la carte géologique feuille M. 47 Soavinandriana au 1/100 000<sup>e</sup>, édition de 1961. L'examen stéréoscopique de ce relief, effectué avant notre première mission à l'Ifanja, nous a laissé pressentir qu'il s'agissait d'autre chose. L'étude sur le terrain devait confirmer notre hypothèse, en

(1) Mission I.G.N. 008, 1949, clichés 540 et 562.





nous révélant, allongé entre la bordure orientale du marais, un élégant appareil volcanique, coupé sur toute sa longueur par une fente méridienne d'un kilomètre, au Nord et au Sud de laquelle s'échappent deux coulées qui, toutes deux, aboutissent dans le marais. La coulée Nord, pénétrant dans la zone tourbeuse septentrionale à un endroit où le marais est large (2 km), n'a joué aucun rôle dans l'évolution de celui-ci.

Il n'en est pas de même de la coulée Sud qui, en se dirigeant à la rencontre de la zone d'épandage des sables fluviatiles, a renforcé le barrage. C'est donc la coalescence de ces deux phénomènes, à un endroit où le marais se rétrécit, qui explique l'interruption des terrains tourbeux et leur évolution en deux fosses distinctes de part et d'autre de ce passage naturel. Mais il faut ajouter que ces deux phénomènes n'auraient pas été efficaces s'ils ne reposaient vraisemblablement sur un rehaussement du socle à cet endroit. L'îlot d'Anosibé, un peu plus bas, entièrement constitué dans les roches métamorphiques, qui émerge au milieu du marais, en est un témoignage.

D'ailleurs avant la construction de la grande digue, à la hauteur de Sanganoro, l'homme a su utiliser ce passage naturel. C'est ici que jadis on traversait le marais, la vieille piste est nettement visible sur les anciennes photographies aériennes.

Au Nord de cette passée de terrains d'origine alluviale et volcanique le marais prend la forme d'un L. La partie Ouest de la branche horizontale de celui-ci est constituée d'une surface de 2,5 km<sup>2</sup> de sols tourbeux hydromorphes qui a fait l'objet de nombreux sondages, car elle a été bien aménagée. Le profil XX, par exemple, révèle des horizons tourbeux et très organiques sur plus de 200 cm, le profil XXIII sur plus de 150 cm. Quant au sondage XIX, c'est à partir de lui que nous avons conçu l'hypothèse de l'existence d'un édifice volcanique entre le lac Mandetika et le marais : il donne en effet :

- de 0 à 70 cm : racines mélangées à du limon
- de 70 à 150 cm : horizon organique gris très foncé
- de 150 à 200 cm : tourbé fine assez tassée
- 200 cm et plus : *basanites*.

Ces *basanites*, recouvertes de tourbe, constituent l'extrémité de la coulée Nord du volcan du lac Mandetika, et ne pouvaient provenir que de lui.

Les résultats de ces trois profils sont évidemment nettement différents des résultats précédemment analysés :

N° du profil		XIX	XX	XXIII
Granulo- métrie	Sables grossiers %	0	0	0
	Sables fins %	0	0	0
	Limons %	29	42	30
	Argile %	19	29	10
Eléments organiques	Matière organique totale %	43,46	20,67	55,13
	Humus %	38,72	9,24	26,48
	Carbone organique	25,21	11,99	31,98
	Rapport	8,9	5,8	4,8
	$\frac{\text{Humus} \times 100}{\text{Mat. org. totale}}$			

Voici donc les caractéristiques essentielles des sols de la zone tourbeuse Nord, constituée de sols hydromorphes très organiques, recouverts à l'état naturel de cypéracées, vondrona, zozoro (*papyrus madagascariensis*), et herana (*cyperus latifolius*).

A l'Est de cette zone, au Nord du village de Fialofa, entre la rivière Kelimahery et la Tsimadiho, s'étend une région d'alluvionnement fluviale à sols sableux qui ont tendance, par les épandages de saison des pluies, à gagner sur les sols tourbeux : les profils XXV, XXVI et XXVII effectués dans les sols sableux à leur limite avec les tourbes donnent effectivement de 0 à 50 cm des alluvions sablo-limoneuses plus ou moins micacées, et en dessous jusqu'à 120 cm et plus on retrouve les horizons hydromorphes à matière organique. Nous verrons que ce phénomène est général autour des cuvettes tourbeuses et les enseignements morpho-climatiques à en tirer. Au Nord de la Kelimahery, trois petites vallées, de part et d'autre du village de Tsaramasoandro, constituées de sols tourbeux, sont barrées à l'aval par l'avancée des sols sableux apportés par la Kelimahery. Il y a donc tout lieu de penser que la zone marécageuse de formation des tourbes s'étendait plus à l'Est, beaucoup plus que ne l'indiquent les sols superficiels, lorsque le seuil alluvio-volcanique précédemment défini jouait à plein son rôle en aval.

Au Nord de Sanganoro, le marais se rétrécit pour constituer la branche méridienne du L majuscule. Il s'allonge en une bande de 5 km dont la largeur diminue progressivement de 1,5 km à 500 m, à son ultime extrémité. Toute cette partie Nord allongée et étroite est constituée de sols d'alluvions récentes sablo-limoneuses qui recouvrent en totalité des sols hydromorphes sous-jacents.

La largeur du marais n'est pas suffisante pour isoler actuellement son centre des apports fluviaux latéraux, importants en saison humide.

Il n'en est pas de même dans la partie Sud du marais, en aval du barrage alluvio-volcanique, entre Ampokonato et Ambato!ampy. Là, s'étend une vaste cuvette, à 1 050 m d'altitude moyenne, de 4 km dans sa plus grande longueur, et de 3 km dans sa plus grande largeur, constituée en son centre d'une zone tourbeuse de 6 km<sup>2</sup> d'un seul tenant, s'appuyant au Nord contre la falaise cristalline du Kiamokara dont elle n'est séparée que par une bande de colluvions provenant d'un début de rictérisation de la paroi. A l'Ouest les tourbes atteignent les coulées de basanites issues des puits situés au Sud du Kotombolo et au Nord au lac Manandona, coulées qui ont rejeté cette rivière vers le Nord. Au Sud et au Sud-Est, la cuvette tourbeuse n'échappe pas au recouvrement sablo-limoneux surtout au débouché des rivières importantes, Voaramaina, et Bizy. A l'Est d'Ambato-

lampe, pendant deux kilomètres on longe le marais en le dominant de quelques mètres par l'intermédiaire de petits cônes d'alluvions, coalescents en aval, épandus par de petits ruisseaux très travailleurs, à pente très forte et qui s'alimentent souvent en amont dans des lavaka. Au Nord-Est, la zone tourbeuse s'interrompt un peu avant l'îlot d'Anosibe et s'arrête contre le barrage fluvio-alluvial dont nous avons montré le rôle.

## 2. — *Les conséquences morpho-climatiques*

On peut donc penser que, de part et d'autre de ce barrage, pendant un temps assez long, a prédominé un alluvionnement de marais typique, évoluant vers l'hydromorphie, alimenté par des rivières régulières, à faible turbidité spécifique, chargées de matière organique leur donnant une teinte foncée, analogue aux rivières de la forêt ombrophile orientale. La période actuelle au contraire, se caractérise par une tendance générale au *recouvrement des tourbes* par des épandages sablo-limoneux micacés provenant de l'attaque brutale en saison des pluies de l'encadrement montagneux à sols ferrallitiques rouges qui ne sont plus protégés par le couvert forestier; la destruction de la forêt a eu, en effet, comme conséquence l'accroissement de la turbidité spécifique des rivières par entraînement du matériel altéré plus facilement mobilisable.

Il nous semble donc que le recouvrement des tourbes par les sols sableux autour de la cuvette des Marais d'Ifanja peut constituer un argument supplémentaire à la thèse de la déforestation récente des Hautes Terres Malgaches.

## III — LE VOLCANISME ET SON RÔLE MORPHOLOGIQUE

On peut classer les manifestations volcaniques autour des marais d'Ifanja en deux catégories, soit qu'elles jouent un rôle dans l'évolution de ceux-ci, soit qu'elles n'en jouent pas.

Le second groupe se compose d'un ensemble de trois cônes stromboliens et leurs coulées coalescentes, répartis sur une ligne Nord-Ouest — Sud-Est au Nord du massif de Kiamokara. Ces édifices dominent d'une centaine de mètres les crêtes résiduelles dérivées du niveau II, sur lesquels ils sont posés. Ils sont tous trois égueulés du côté du départ de leurs coulées. Ces coulées, comme toutes celles de la région, ont naturellement emprunté les vallées dégagées dans les phases tendres du système métamorphique par l'érosion différentielle respectant les reliefs résiduels plus durs. Ces vallées, d'autre

part, étaient vraisemblablement, comme celles situées plus en aval et qui n'ont rien à voir avec le volcanisme (Sakay et ses affluents), mal drainées et marécageuses. En recouvrant ces bas-fonds humides, en effet, les longues cheires de basanitoïdes sont hérissées de pustules très nombreuses dues probablement à des poches humides élevées à une forte pression de vapeur d'eau lors du passage de la lave en dessus d'elle. Ces formes, très répandues dans notre région, rappellent, par leur genèse, les « lava blisters » du Myvatn, Islande, décrits par Thorarinsson. Ils en diffèrent cependant par le fait que les pustules n'ont jamais de cratère d'explosion et conservent en général une allure de cône légèrement arrondi, bref, de boursouflure sans creux sommital d'échappement. Cela s'explique, semble-t-il, dans notre cas, par le fait que les coulées de basanitoïdes, fluides et étalantes se dégazaient, sans à-coup, uniformément, par leur surface de refroidissement. à travers des blocs refroidis, assez compacts, de taille homométrique (10 à 50 cm de côté), qui ont eu pour rôle de fragmenter le dégazement de la coulée, empêchant ainsi la concentration ponctuelle des gaz susceptibles de s'échapper par un cratère d'explosion. A certains endroits, l'échappement de la vapeur d'eau, renforçant celui des gaz de coulée, contribuait à former une intumescence, mais dispersé à travers les blocs, se révélait incapable de se concentrer en un point explosif.

Ces milliers de blocs homométriques qui accidentent la surface des coulées, ont valu à celles-ci le terme de cheire, que nous préférons à celui de aa que nous réserverons pour les laves en gratons plus bulleuses, type Piton de la Fournaise à La Réunion. Ici, en effet les blocs de basanitoïdes sont nettement plus compacts, les parties bulleuses sont assez rares. Peut-être ont-elles existé, et ont-elles été plus rapidement altérées et pédogénisées ? L'altération, en effet, n'épargne pas les basanitoïdes, pourtant très dures, les couvrant d'une patine grise d'un millimètre (ce qui est très peu à côté de l'épaisseur centimétrique de l'altération dans les basaltes plus anciens de l'Ankaratra), atteignant plus particulièrement les phénocristaux d'olivine.

Il en est exactement de même des longues coulées issues des pays du Sud-Ouest des marais d'Ifanja. Ces cheires de 4 km de long se sont épanchées largement dans des bas-fonds marécageux, dont les marais Trefa en aval sont une survivance. Jusqu'à leur terminaison, la densité en pustules est très élevée (plus de 10 par km<sup>2</sup>). C'est qu'en effet, ici, les manifestations du volcanisme sont d'une autre ampleur. Leur étude nous fait pénétrer dans le second groupe, celui qui a joué un rôle sur la formation des marais d'Ifanja.



Au Sud-Ouest de ceux-ci se dressent en effet huit cônes stromboliens de hauteur inégale comprise entre 30 et 200 mètres, accolés les uns aux autres par groupes de deux ou trois. Le plus élevé d'entre eux, l'Ambohitritainerina (1286 m) domine de plus de 200 m le lac Manandona, manifestement de barrage volcanique. Cette multiplicité des centres éruptifs sur une surface relativement réduite est à mettre en liaison avec la nature du magma initial : les laves émises sont des basanitoïdes, c'est-à-dire parmi les moins riches en silice (40,92 % pour  $SiO_2$  dans l'analyse chimique n° 396 d'Alfred Lacroix (1). Or, R. Brousse fait remarquer que les basanites (dont les basanitoïdes qui ont même composition chimique, ne diffèrent que parce que la néphéline n'est pas exprimée) « constituent des édifices à la fois plus petits, rares et isolés les uns des autres, et ces basanites ne doivent être montés à la surface qu'en utilisant des voies de cheminement longues et étroites » (Précis de Géologie, tome I, p. 613). Il semble que ce soit parfaitement le cas ici, à une nuance près, le groupement, l'accolement et l'alignement des cônes (2). Ces trois facteurs nous laissent à penser alors que « les voies de cheminement longues et étroites » qui ont permis la venue des basanitoïdes pourraient bien être des fractures ou des failles à faible rejet dans le socle métamorphisé sous-jacent (voir coupes).

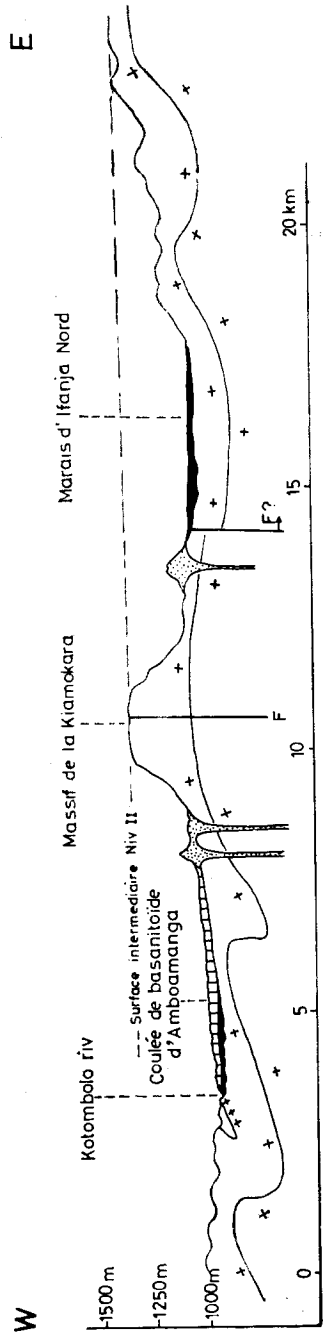
Ce socle n'est en effet pas très loin, sous le recouvrement volcanique, il affleure à 1050 m près d'un cône, et tout près du marais, dont il explique autant que le volcanisme, la formation. En outre, autour de la zone volcanique, le socle connaît en peu de temps, une forte déclivité : à l'Est des cônes, contre le marais, on le rencontre à plus de 1040 m, à l'Ouest des cônes par contre, il n'affleure sous le volcanisme, qu'à moins de 1000 m.

Il n'est donc pas interdit de penser à l'existence d'un seuil métamorphique de roches dures à travers les fractures duquel seraient montées les venues de basanitoïdes. Ce seuil prévolcanique devait être franchi suffisamment difficilement par le Kotombolo pour que cette rivière et ses affluents fussent amenés, à l'emplacement des marais actuels, en amont, à former des bas-fonds alluviaux de bief calme, comme le font d'ailleurs toutes les rivières dans cette région, chaque fois qu'elles ont à inciser en aval une barre de roches plus dures, là où le volcanisme n'intervient plus (marais Trefa, Bekopaka, Ampitanimaromavo, Andasibe, Mazy (inférieur, etc..))

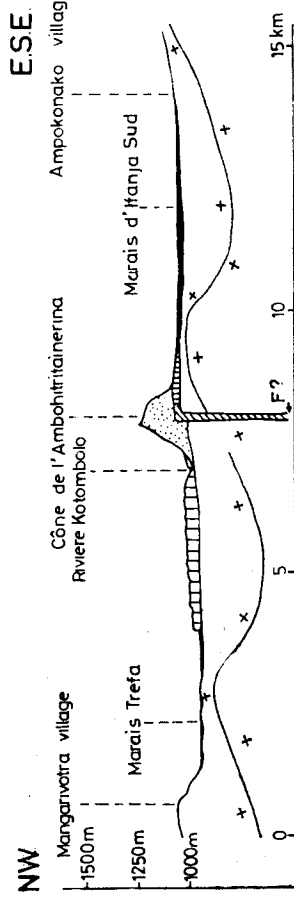
---

(1) Minéralogie de Madagascar, tome III, p. 57.

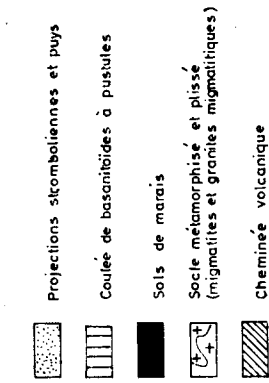
(2) Voir carte morphologique générale.



COUPE SELON A-B



COUPE SELON C,D,E



Les cônes et leurs coulées ont bien entendu, en coiffant le seuil cristallin, renforcé le barrage que la Kotombolo a mis un certain temps à franchir. L'essentiel des terrains tourbeux a dû se former avant qu'elle n'y parvienne, lorsque, vraisemblablement, le marais, immédiatement après les éruptions, prenait figure de lac fermé.

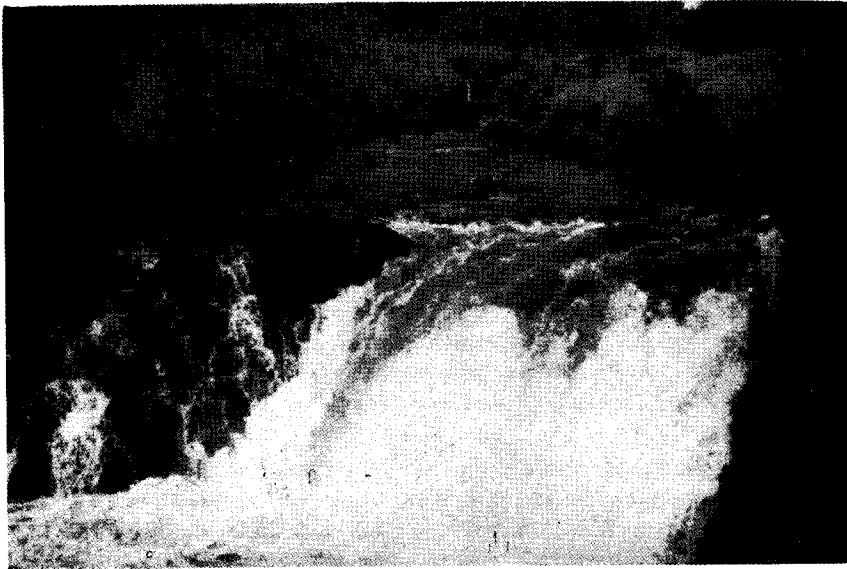
Puis, comme cela est fréquent, au contact des fronts de coulée et des terrains du socle, la rivière dut se chercher un chemin. Ce fut difficile car les coulées s'étaient déversées dans tous les sens, en direction du marais, contre la paroi du Kiamokara, et, pour s'échapper vers l'Ouest, durent passer par une sorte de col entre deux groupes de cônes. Une fois ce dernier bouchon franchi, elles purent largement s'étaler sur les bas-fonds humides et les épaulements du niveau fini-tertiaire qui terminent sans doute leur remontée ici entre les reliefs résiduels dérivés du niveau II. La Kotombolo emprunta, entre les deux groupes de cônes, le même chemin que les coulées. C'est pourquoi, dans cette section, elle les franchit par une suite admirable de cinq chutes correspondant chacune à la surface structurale d'une coulée aux basanitoïdes assez grossièrement prismés et compacts. Ces cinq chutes inconnues à notre avis aussi belles que celles plus citées de la Lily dans le centre du massif de l'Itasy, méritent d'être mentionnées. Il n'est pas inutile non plus de signaler pour renforcer notre thèse de l'existence d'un seuil cristallin prévolcanique, que la Kotombolo, avant de se reposer dans les marais Trefa, termine ce passage difficile par une dernière zone de rapides splendides sur 200 mètres, lorsqu'elle rencontre une barre de granites migmatitiques qu'elle doit franchir à contre pendage, d'où une suite de ressauts structuraux mettant en valeur un réseau orthogonal de diaclases dont les directions obliques sont égales à celles du pendage du banc, environ 30°. Ainsi, entre les marais d'Ifanja en amont à 1 050 m d'altitude où elle se ralentit, et les marais Trefa en aval à 950 m, la Kotombolo descend-elle de 100 mètres en 6 kilomètres, par une véritable trouée héroïque volcano-cristalline, à sa mesure. Il est possible que son cours antérieur, lorsqu'elle n'avait à franchir que le seuil cristallin prévolcanique se situait quelque part au Nord de la coulée principale, ou bien au Sud par le lac Mauandona qui en est peut-être plus sûrement l'ancien témoignage.

Des ruisseaux secondaires également encaissés rejoignent la Kotombolo. Les plus importants sont ceux qui, au départ ravinent profondément les flancs externes du cône strombolien (voir cliché). En effet, ces cônes ont déjà subi le cycle érosion-altération, et les pentes externes ne sont plus les pentes originelles de retombée. De 33-34° elles sont passées à 29-30°, et se raccordent au pied par une pente



*Le barrage volcanique du Sud-Ouest des marais d'Ijanja, cliché pris du sommet du Kiamokara. Cônes stromboliens égaulés et leurs cheires de basanitoïdes à lava blisters. Gorges de la Kotombolo, exutoire des Marais, soulignées par la végétation arbustive tranchant sur le tapis graminéen clair de la fin de saison sèche. Les marais d'Ijanja sont à l'extrême gauche de la photographie.*

(Cliché Gérard MOTTET).



*Une des chutes de la Kotombolo sur un des fronts de coulées coalescentes de basanitoïdes grossièrement prismées. Régime encore fort de fin de saison des pluies.*

(Cliché Gérard MOTTET).

concave et un début de glacis local d'accumulation. De profondes entailles parallèles les unes les autres près du sommet se rejoignent en aval. Ce sont des barrancos qui ont évolué en véritables lavaka d'un type particulier, allongés et rectilignes différents des lavaka digités et circulaires qui affectent les terrains métamorphiques. L'étude des processus de leur formation est en cours, mais il est d'ores et déjà sûr que la pente et la facilité d'infiltration des eaux dans les scories jouent un rôle déterminant. Mais jusqu'à quelle profondeur pour le deuxième facteur ?

Le petit massif situé à l'Est du lac Manandona et dont nous avons découvert l'existence lors de notre première tournée n'a pas du tout la même morphologie (voir croquis). Il s'agit d'un édifice allongé, partagé dans sa longueur par un cratère rectiligne, au Nord et au Sud duquel sont sorties les deux coulées dont nous avons mentionné le rôle morphologique par leur pénétration dans le marais. Ces coulées sont responsables, semble-t-il de la formation du lac Mandetika dont elles ont bouché l'ancienne sortie vers la vallée de l'Earany avant qu'elle ne devienne le marais d'Ifanja proprement dit. Elles disparaissent sous les sols tourbeux qui les recouvrent en partie et sont de même nature et de même morphologie que celles du groupe principal. Par contre, il y a eu ici une phase de projections, car les lèvres et les flancs de l'édifice sont recouverts d'ejecta, de morceaux de laves à moitié refroidies en vol et tassées par l'impact, et surtout d'une quantité importante de bombes au fuselage très pur, de 10 à 50 cm de longueur, dont quelques-unes craquelées en croûte de pain. Le tout dans un matériel assez bulleux de basalte à phénocristaux d'olivines rares plus fréquents dans les blocs plus compacts des pustules de coulées. Ces laves englobent assez souvent des éléments enallogène métamorphiques.

Cette longue fissure longitudinale Nord-Sud d'où sont sortis ejecta et coulées nous laisse supposer qu'elle témoigne de l'existence d'une fracture méridienne à l'origine de l'orientation de la vallée dont le remplissage a donné la partie Nord-Sud du marais d'Ifanja. Plus au Sud de la région étudiée ici, s'alignent dans la même direction les cônes, les dômes et les maar de l'Itasy, cependant qu'au Nord du marais, toujours dans la même direction on suit une longue fracture méridienne sur plus de 60 km (moitié Est de feuille M 46 Fenoarivo). Cette fracture affecte aussi le tampoketsa de Fenoarivo.

Nous pensons donc que la partie méridienne des marais d'Ifanja s'inscrit sur une zone de faiblesse du socle malgache occidental. Il n'est pas impossible d'ailleurs qu'il s'agisse de vieilles fractures de



de constitution précambriennes rouvertes lors des ébranlements plio-quadernaires à l'origine du volcanisme des Hautes Terres.

Quant à la partie Sud du marais, appuyée contre la falaise Ouest-Est de la Kiamokara, rien, pour l'instant, ne nous permet de dire qu'il s'agit d'un escarpement de faille. Il nous semble plutôt être en présence d'un front de banc de granites migmatitiques concordants à faible pendage vers le Nord-Est, dégagé par l'érosion différentielle, donnant de belles parois en voie de rictérisation et d'enfouissement par les éboulis provenant des bancs plus tendres intercalés entre les bancs plus durs. Par contre il est certain que des fractures visibles affectent le banc, perpendiculairement à son front. Ces fractures, parfois très rapprochées, interviennent pour alimenter un débitage orthogonal des parois en gros blocs qui pavent les talus de bas de versants longés par la Kotombolo. La faiblesse du pendage explique sans doute, autant que l'épaisseur des bancs, que la Kiamokara ait résisté à la reprise d'érosion et conservé sur son sommet uniforme et venté un beau témoin du niveau intermédiaire comme nous l'avons déjà signalé.

Enfin au Sud de cette falaise, de l'autre côté du marais, à deux kilomètres à l'Est du village d'Ambatolampy, un cratère d'explosion ultra volcanien a dispersé des blocs du socle et des morceaux de basanites enlevés à un petit édifice qu'il a contribué à démanteler. Cette manifestation explosive est alignée avec les fractures d'émission méridienne et une source thermo-minérale qui sort au milieu de la cuvette tourbeuse du Sud du marais d'Ifanja.

\*\*

L'étude des marais d'Ifanja et de leur encadrement montagneux nous semble donc avoir eu un triple intérêt :

1° préciser la carte géologique en ajoutant trois édifices volcaniques et leurs coulées dont une au moins joue un rôle morpho-pédologique non négligeable dans l'évolution des cuvettes tourbeuses.

2° mettre en valeur avec un argument supplémentaire par le processus de recouvrement des tourbes par les épandages fluvio-sableux une modification vers l'aggravation des processus d'érosion par suite de la déforestation des Hautes Terres.

3° montrer que le volcanisme n'a fait qu'accentuer, en profitant d'une réouverture de certaines cassures faitières du socle, un processus d'alluvionnement en amont de seuils rocheux, dans les vallées creusées par l'érosion différentielle à partir de la surface d'aplanissement intermédiaire.

Cette combinaison de facteurs, à l'échelle d'une petite région, nous laisse pressentir de quel intérêt sera l'étude générale des Hautes Terres volcaniques et cristallines du centre de Madagascar.

Gérard MOTTET.

## LES MARAIS D'IFANJA ET LEUR ENCADREMENT MONTAGNEUX, ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

Dans cet article, l'auteur étudie une région marécageuse et son cadre montagneux, sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar, à environ 100 km à l'Ouest de Tananarive.

Les reliefs montagneux qui, à 1800 m d'altitude moyenne, entourent la cuvette marécageuse, sont formés de roches métamorphiques (gneiss, migmatites et granites migmatitiques) précambriennes nivelées par la surface d'érosion mi-tertiaire (niveau II). Des crêtes de granites concordantes forment des reliefs résiduels qui ont résisté à l'érosion. Cette surface est attaquée par une reprise d'érosion (qui dégage la structure plissée des terrains métamorphiques autour du marais).

C'est pourquoi les sols de ce marais sont formés de deux catégories : sols tourbeux au centre, sols argilo-sableux sur les bords qui ont tendance à recouvrir les sols tourbeux. Ce processus récent, est une conséquence de la destruction des forêts des Hautes Terres de Madagascar depuis 1000 ans environ.

La cuvette marécageuse a une double origine : un seuil cristallin recouvert de plusieurs cônes stromboliens et leurs coulées de basanites recouvertes de nombreux « lava-bisters » caractéristiques.

### *IFANJA MARSH-LANDS AND THEIR MOUNTAINOUS ENVIRONMENT, A GEOMORPHOLOGICAL STUDY*

*In this paper, the author studies a marshy region and its mountainous setting, on the Central Highlands of Madagascar, about 100 km to the West of Tananarive.*

*The mountains and hills, rising to a height of about 1200 meters and surrounding the marshy basin, are made of metamorphic and Precambrian rocks (gneiss, migmatites and migmatitic granites) levelled up by the mid-tertiary erosion surface (level II). Some con-*

*cordant granitic ridges form residual hills which have held out against erosion. This surfacic being attacked by more recent erosion all round the marsh basin.*

*That this explains why the soils of this marsh consists of two parts : peaty soils in the middle, sandy and clayey soils all around which tend to cover the peaty soils. This recent process has been going on for about 1 000 years.*

*The marshy basin has a double origin : a crystalline ridge closing a valley and covered by several strombolian cones and their basanite outflows covered with many lava-blisters.*