

**INITIATION A LA LECTURE
DES PAYSAGES MORPHO-PEDOLOGIQUES
DE MADAGASCAR**

Formation des ingénieurs et techniciens
des opérateurs du projet BVPI / SEHP

Michel Raunet
décembre 2008

Table des matières

1 – Introduction	1
2 – Méthodologie de la formation : démystifier la pédologie	2
3 – Les sols ferrallitiques à Madagascar	3
4 – Les systèmes de vallées emboîtées dans le manteau ferrallitique	5
5 – Reliefs résiduels, tanety convexes, lavakas et restes de surface d’aplanissement	7
51 – Les reliefs convexes	7
52 – Les surfaces d’aplanissement	8
53 – Les reliefs résiduels	9
54 – Les lavakas	9
6 – Le Moyen-Ouest	11
61 – La région de Soavina	11
611 – Les reliefs de tanety des bassins versants	11
612 - Les sols des tanety	12
613 – Le système alluvial	13
62 – Les régions d’Ankazomiriotra et de Mandoto	14
621 – Les sols des surfaces d’aplanissement	15
622 – Les versants de raccordement aux bas-fonds et vallées	16
623 – Les bas-fonds et vallées	17
7 – Les Hauts-plateaux	18
71 – Le terroir d’Ivato	18
711 – Les tanety environnantes	19
712 – Le système de vallées	20
72 - Les terroirs de Fitakimerina et d’Ampandrotrarana	21
721 – Quelques indications sur la géologie de ces sites	21
722 – Les tanety : modelés et sols	22
7221 – Le plancher alluvio-lacustre	22
7222 – Les versants de raccordement plaine lacustre/plaine alluviale	23
7223 – Les collines granito-gneissiques	23
723 - Le système de vallées	24

73 - Le terroir d'Ikabona	25
731 – Quelques indications sur le volcanisme et la géologie sur et autour du périmètre	25
732 – Modelés et sols sur le volcanisme intermédiaire d'Ikabona	25
733 – Modelés et sols sur le socle granito-gneissique	27
734 – Les vallées	27
74 – Le terroir d'Iandratsay	28
741 – Tanety et sols sur volcanisme récent	28
742 – Tanety et sols sur granito-gneiss	30
743 – Le système alluvial	30
8 – Le Sud-Est	32
81 – Généralités	33
82 – La séquence morpho-géologique du sud-Est	33
83 – Morpho-pédologie des tanety	35
831 – Les tanety de hautes collines convexes sur granito-gneiss	35
832 – Les tanety sur basalte	36
8321 – Les tanety de moyennes collines convexo-concaves	37
8322 – Les tanety des plateaux cuirassés	38
8323 – Les tanety des versants et collines gravillonnaires	38
833 – Les tanety sur grès	39
8331 – Les basses et moyennes collines convexes	39
8332 – Les bas-plateaux surbaissés	39
834 – Les tanety du système dunaire ancien	40
84 – Morpho-pédologie des systèmes de vallées	41
841 – Les bas-fonds	41
842 – les petites vallées alluviales	43
843 – Les grandes vallées alluviales	44
Lexique	47

1 – INTRODUCTION

Ce document est le résultat d'une mission de terrain de 18 jours effectuée du 24 octobre au 12 novembre 2008.

La mission était demandée par le projet BVPI/SEHP (Projet de mise en valeur et de protection de bassins-versants et de périmètres aménagés ou réhabilités dans les régions du Sud-Est et des Hauts-Plateaux). Le maître d'ouvrage en est le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche. La cellule de maîtrise d'œuvre déléguée, assurée par la société BRL, est basée à Antsirabe. Les bailleurs de fonds sont l'AFD et l'Etat malgache.

L'objectif en était la formation des ingénieurs et techniciens malgaches des opérateurs du projet BVPI/SEHP à la lecture des paysages morpho-pédologiques et à l'identification des contraintes de divers ordres, sans les dissocier, qu'elles soient d'ordre géologique, géomorphologique, pédologique, hydrologique ou climatique.

Le cursus des techniciens était le plus souvent Bac + 2 (enseignement agricole). Celui des ingénieurs était l'ESSA (agro de Tananarive).

Trois grands terrains ont été parcourus : les Hauts-Plateaux (Vakinankaratra, région d'Ambositra), le Moyen-Ouest (Soavina, Ankazomiriotra, Mandoto) et le Sud-Est (de Manakara à Vangaindrano).

Nous tenons à remercier chaleureusement les personnes qui nous ont aidés dans la préparation et la conduite de la mission :

- M. Eric Denis, Responsable de la Cellule BVPI/SEHP.
- M. Tahina Raharison, Responsable du volet Agroécologie à la Cellule BVPI.
- M. Andry Rakotoharivony, Responsable BVPI sur les Hauts-Plateaux de la production agricole et des ressources naturelles.
- M. Raymond Rabeson, pédologue, responsable du département agronomie au FOFIFA, et qui a activement participé à la formation les 29 et 30 octobre.
- M. Frank Enjalric, Responsable adjoint du GSDM.

Merci à tous les techniciens et ingénieurs des opérateurs SD-MAD, AVSF, FAFIALA, RAMILAMINA, BEST, qui ont intensément participé aux journées de terrain.

2 – METHODOLOGIE DE LA FORMATION : DEMYSTIFIER LA PEDOLOGIE

Quatre grands principes :

- . Parler un langage simple,
- . Partir du concret
- . Apprendre à regarder, à reconnaître et à comparer.
- . Montrer la logique, les déterminismes et les répétitivités dans la nature : il n'y a pas de hasard, mais des **causalités**. Il faut s'habituer à voir les **relations**.

Dans le paysage proche, un contexte local donné et auto-référencé, il y a des « **pôles** » **opposés** organisateurs du genre : haut/bas (versant), amont/aval (vallée), plaines/collines, sec/engorgé, décapage/sédimentation, pentes fortes/pentes faibles, sol couvert/sol nu, sol structuré/sol compact, sol coloré/sol décoloré, sol riche/sol pauvre, ...BV/PI.

Ces distinctions simples, simplistes pour certains, permettent déjà une première structuration de l'espace et des sols à partir de laquelle on peut comprendre qu'il y ait tous les intermédiaires et transitions (ce qui rend la tâche évidemment plus ardue).

Après l'espace et sa **structure**, un deuxième élément de compréhension, peut être plus difficile pour un débutant, est la notion d'évolution et de temps avec ses **diverses échelles**, court, moyen, long terme, temps géologiques. Liée au temps, et c'est là que ça se complique un peu, est la notion de **processus** ou de mécanismes explicatifs qui permet d'entrer cette fois dans le « **système** » **paysage**, avec toutes ses interactions. On peut citer par exemple les relations simples de cause à effet entre mouvements de l'eau et couleur du sol, ou bien position topographique. Plus un sol est longtemps engorgé plus il est décoloré, ou bien plus la pente est forte et le sol est nu plus il y a de ruissellement et d'érosion. Plus on se situe en « amont » d'un système de bas-fonds, plus le sol peut être tourbeux et à nappe phréatique superficielle.

Par rapport à la « simple » pédologie, la **morpho-pédologie** est un progrès puisqu'on explicite alors clairement la nature du sol par ses facteurs déterminants : modelé, matériau originel, régime des eaux, occupation de l'espace... Ce qui est défini n'est plus le sol en soi, mais « **l'unité de paysage** » (ou « morpho-pédologique ») qu'il « habite » : mêmes composantes du paysage, mêmes causalités, mêmes sols. **Les contraintes du milieu** ne sont plus seulement celles du sol, mais celles du modelé (forme du relief), du régime des eaux, de la végétation qui l'accompagne etc...

3 – LES SOLS FERRALLITIQUES DE MADAGASCAR (fig. 1)

On ne peut aborder la morpho-pédologie à Madagascar, même en restant le plus simple possible, sans parler dès maintenant des « **sols ferrallitiques** » qui moulent la majeure partie des reliefs convexes si caractéristiques de cette île et souvent éventrés par des « lavaka ».

Le terme « ferrallitique » est maintenant incontournable car utilisé presque partout à Madagascar. Même si, en pédologie « officielle » actuelle, il n'a plus droit de citer dans les nouvelles nomenclatures et classifications des sols (dont la plus usitée, la classification FAO).

« Ferrallitique » a pour racines « fer » et « aluminium », seuls éléments **libres** (sous formes d'oxydes) résiduels (en plus du quartz) de la partie supérieure colorée (rouge, ocre, jaune) issus de la **roche-mère** (granites, gneiss, basaltes, grès...).

Référons nous à la figure 1 représentant schématiquement un sol ferrallitique complet (non tronqué) issu de roche cristalline (granite, gneiss) la plus représentée à Madagascar.

C'est toujours **un sol extrêmement ancien** (un à quelques millions d'années), très épais (10 à 30 mètres) entre la roche saine et la surface.

La partie supérieure argileuse (1 à 3 mètres d'épaisseur) est vivement colorée : rouge sombre, chocolat, rouge, ocre, jaune.

Elle est composée d'un type d'argile que l'on appelle « **kaolinite** », de grains de quartz, d'oxydes de fer (hématite ou goethite) et d'aluminium (gibbsite). Tous les éléments intéressants pour l'agriculture (calcium, magnésium, potassium, oligo-éléments...) ont disparu, **lessivés depuis très longtemps**.

Le sommet est composé d'un horizon humifère souvent peu visible (sinon un peu plus sombre).

Le phosphore total, en faible quantité dans ces sols est, de plus, fortement retenu par cette matière organique (qui se minéralise très lentement sur les hauts-plateaux) ainsi que par les oxydes de fer et d'aluminium. De sorte qu'il n'y a pratiquement **pas de phosphore assimilable par les cultures**. C'est une des grosses contraintes des sols ferrallitiques malgaches qui sont quasiment vides.

Par ailleurs ces sols sont souvent assez compacts et relativement peu structurés (excepté sur basaltes et roches « vertes » type gabbro). En effet, les roches cristallines les plus courantes (gneiss, granite), renfermant beaucoup de quartz, sont riches en grains de sable siliceux résiduel. Ces sables, associés aux oxydes de fer et d'aluminium, **prennent en masse** plus ou moins fortement le sol, empêchant ses argiles (kaolinites) de « respirer » (gonflement à l'état humide, rétraction à l'état sec) donc de se structurer normalement. Comme nous le verrons, les sols ferrallitiques issus de roches pauvres en quartz, comme les basaltes et dans une certaine mesure les gabbros, n'ont pas ces propriétés défavorables. Ils sont alors bien mieux structurés et moins massifs, donc plus favorables aux enracinements.

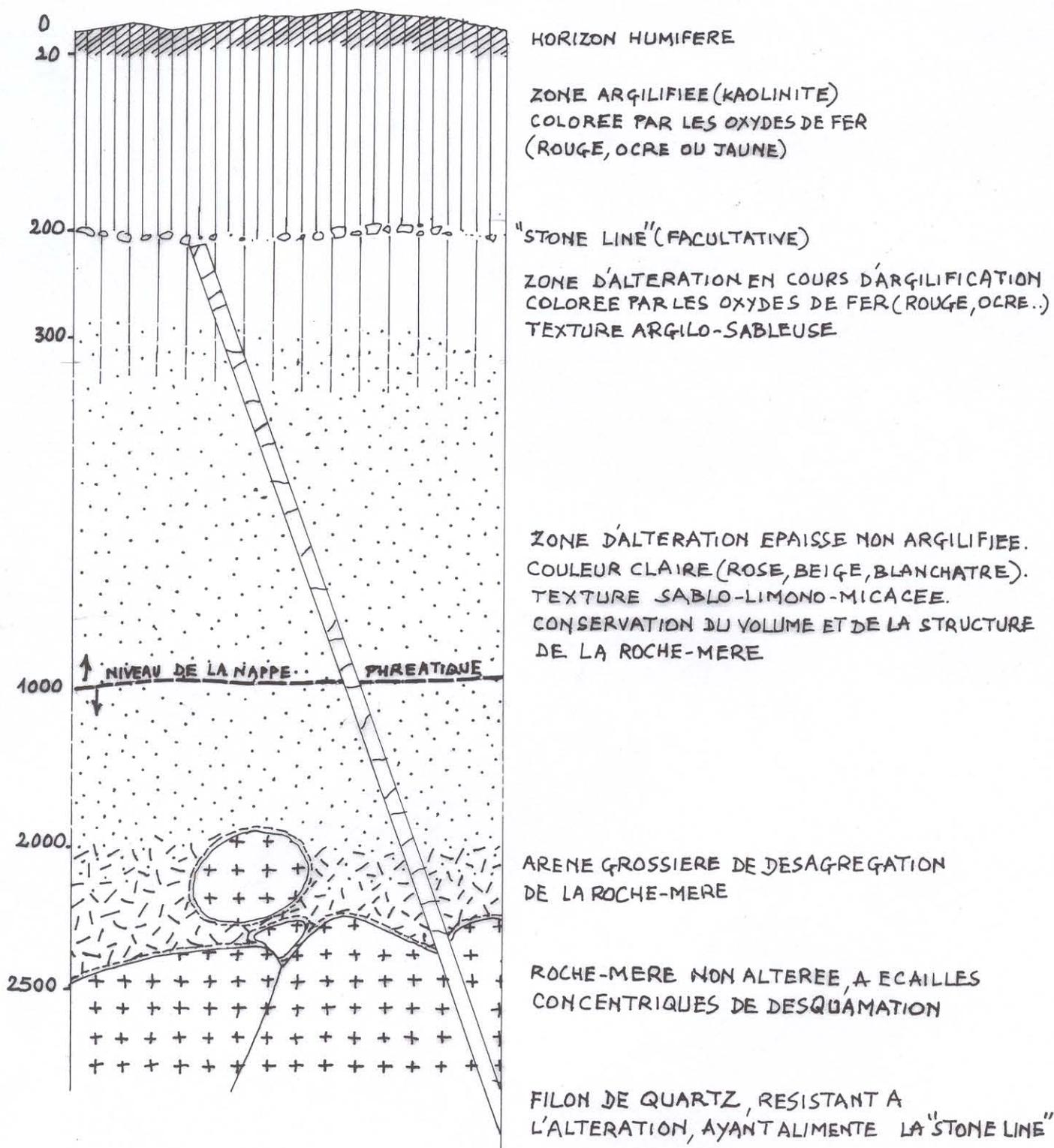


FIG. 1 SCHEMA D'UN SOL FERRALLITIQUE COMPLET (NON TRONQUE)
SUR GRANITO-GNEISS

(Echelle verticale non respectees)

Il faut expliquer maintenant les **diverses colorations** possibles de cette partie argileuse supérieure.

On constate que, pour une même roche (par exemple un gneiss), entre le Moyen-Ouest et la Côte Est, la couleur passe progressivement du rouge sombre puis au rouge puis à l'ocre et au jaune (« jaune/rose »). La raison en est **l'état d'hydratation des oxydes de fer** liés aux argiles : peu hydratés à l'Ouest (longue saison sèche, fort ensoleillement) ils sont sous forme d'**hématite** très rouge. Hydratés vers l'Est, les oxydes sont à l'état de **goethite** jaune.

Un sol sur roche sombre comme un basalte ou un gabbro peut être couleur chocolat ou rouge sombre alors que sur granite ou gneiss il est rougeâtre ou jaunâtre. Ceci est dû à la **richesse en fer** de la roche-mère, toujours plus importante dans les roches sombres (présence de minéraux ferro-calco-magnésiens).

La partie inférieure du sol ferrallitique, la plus épaisse (jusqu'à 30 mètres, tout le cœur d'une tanety !) est appelée la « **zone d'altération** » du sol ferrallitique ou « **altérite** » ou bien tout simplement « roche pourrie ». Sa couleur est plus claire, dans les pastels (blanchâtre, rosâtre, jaunâtre, bariolée). Contrairement à la zone colorée supérieure qui s'est tassée, ce matériau a gardé le volume de la roche saine dont il est issu..

On y reconnaît des minéraux de cette roche, même s'ils sont pourris (on dit « hydrolysés ») ou sous forme de « fantômes » tels feldspaths, micas, amphiboles qui, plus haut se transformeront en kaolinite. Le fer n'y est pas encore libéré à l'état d'oxydes et ne donne donc pas de coloration très vive. Les sables quartzeux y sont bien entendu en grande quantité (sauf concernant les basaltes) donnant à l'altération un aspect **d'arène**. Des boules résiduelles de roche saine, ayant résisté à l'altération physique et chimique, sont souvent noyées dans cette arène. L'érosion totale de l'arène libère les boules de tailles diverses en surface qui peuvent s'accumuler les unes sur les autres par concentration relative.

Peu à peu la roche saine fissurée apparaît en profondeur, **désagrégée** plus au moins en arène grossière.

Des propriétés de cette zone d'altération résultent au moins deux conséquences importantes pour nous :

- Sur les reliefs accidentés ou à pentes convexes fortes, c'est-à-dire dans de nombreuses situations, la zone colorée supérieure du sol ferrallitique a été **tronquée** et le nouveau « sol » est constitué sur cette altérite affleurante. Sa richesse en quartz et sa pauvreté en kaolinite bien formée la rendent particulièrement **compacte**. Le sol apparaît alors comme « bétonné » sans possibilité de progression des systèmes racinaires.

Les sols ferrallitiques sont, physiquement, d'autant plus défavorables qu'ils ont été tronqués profondément. Dans ces situations, à un moment donné, l'érosion a été plus rapide que l'altération ferrallitique. A contrario les altérations sont plus riches en éléments minéraux que le sol rouge mais ce potentiel de fertilité est peu exploitable.

- La partie inférieure profonde de la zone d'altération est le siège **d'une nappe phréatique** dite « nappe phréatique d'altérite ». C'est de l'eau libre qui imbibe ce matériau et que l'on trouve dans les puits des villages. Elle peut se situer entre 10 et 20 mètres de profondeur (si l'on est au sommet de la colline), plus proche de la surface en bas de versant.

Sa limite supérieure épouse, en l'amortissant, la topographie convexe des tanety. Cette nappe est permanente toute l'année pendant laquelle elle fluctue de quelques mètres. La nappe phréatique joue un **rôle majeur** dans le fonctionnement hydrologique naturel des bas-fonds et petites vallées. En effet **elle affleure à la jonction versant/bas-fond** et dans tout le bas-fond, du moins dans sa partie amont.

Elle affleure parfois toute l'année et **tamponne l'alimentation hydrique du bas-fond** par rapport aux arrivées aléatoires et plus ou moins rapides des ruissellements pluviaux. Les agriculteurs la court-circuitent en raclant à l'angady le bas de la tanety et transportent l'eau vers l'aval par des canaux de bordure ou qui serpentent même sur les versants pour irriguer en contre bas les rizières en terrasses. On comprend donc que cette nappe conditionne en grande partie la riziculture aquatique des vallées.

4 – LES SYSTEMES DE VALLEES EMBOITES DANS LE MANTEAU FERRALLITIQUE (fig. 2)

Comme les sols ferrallitiques décrits précédemment, les systèmes de vallées qui s'y emboitent sont spécifiques à Madagascar et permettent de mieux comprendre les relations BV/PI ou plus largement BV/Vallées.

La figure 2 montre un schéma des réseaux de vallées spécialement des Hauts-Plateaux. Les vallées sont organisées en réseaux très denses, avec, en amont, **un système de bas-fonds** plats terminés en **amphithéâtres** élargis, qu'on appelle parfois « réseau en bois de renne ». Ces bas-fonds sont le plus souvent fortement encaissés entre les tanety convexes. Ils sont coupés de constrictions (seuils rocheux) et localement élargis en biefs. Ils correspondent aux **affleurements des nappes phréatiques d'altérites** logées sous les versants.

En amont, les bas-fonds, de 20 à 200 mètres de larges, sont, à l'état naturel, **tourbeux**. La tourbe repose sur **du sable « lavé »** (totalement et latéralement lessivé de ses argiles par la nappe). Les agriculteurs des Hauts-Plateaux (et du Moyen-Ouest) ont remblayé artificiellement les tourbes par de l'argile raclée à l'angady sur les côtés, de façon à « **faire** » **des sols de rizière**. Dans le Sud-Est par contre ils ne sont pas encore remblayés de façon anthropique.

En aval, les tourbes se couvrent progressivement et naturellement de **colluvions** puis d'**alluvions** en même temps que les vallées s'élargissent et qu'un petit cours d'eau sinueux commence à s'y individualiser. On passe alors à des **vallées alluviales** de petite à moyenne taille, à **remblaiement argileux** (décantation alluviale fine), larges de 200 à 500 mètres.

Ces vallées alluviales, rizicoles par excellence, lorsqu'elles deviennent plus larges, peuvent déjà présenter des ébauches de modelé fluvial à début de dynamique sédimentologique,

EXEMPLE DE HIERARCHISATION DU SYSTEME DE VALLEES SUR LES HAUTS-PLATEAUX

FIG. 2

-  TRES PETITES VALLEES = BAS-FONDS
(Tourbe ou argile/tourbe)
-  PETITES VALLEES
(Argile plus ou moins organique)
-  MOYENNES VALLEES
(Argile)
-  GRANDES VALLEES
(Argile + quelques Lentilles de sable)
-  VALLEES-PLAINES
(Argile dominante + Limons + sable)
-  Niveau moyen (Argile dominante)
-  Bourrelet de berge (sable + mica)
-  Anciens méandres (marécage)
-  Cuvettes Latérales (argile fine)
-  TERRASSE

0 1 2 3 Km



présentant de très légers bourrelets de berge, des cuvettes de décantation latérales avec présence plus prolongée d'eau de débordement du cours d'eau, quelques anciens lits ou méandres.

L'utilisation des vallées pour des cultures de contre-saison sans irrigation d'appoint dépend de **la profondeur de la nappe phréatique en saison sèche** (elle ne doit pas descendre à plus de 80 cm), donc de l'éloignement par rapport au drain central que constitue le cours d'eau. Si ce cours d'eau est trop encaissé (plus de 2 mètres) une bonne partie des alluvions argileuses, de part et d'autre (de l'ordre de 100 à 200 mètres) n'est pas utilisable pour la contre-saison non irriguée. Par contre, les cuvettes et zones déprimées, ainsi que les moitiés latérales de la vallée sont plus favorables.

Enfin les vallées s'élargissent encore pour devenir de vraies **plaines alluviales** avec des rivières plus importantes et une dynamique de dépôt et de débordement plus brutale, aboutissant à des tris et superpositions de matériaux, fonction de leur taille (sables, micas, limons, argiles) et de l'éloignement par rapport aux crues du cours d'eau. Ces dépôts, renouvelés régulièrement et de granulométrie variable (verticalement comme horizontalement), à lentilles sablo-micacées, s'appellent **baibohos**. On peut par exemple en observer le long de la Mania.

Tout le système hydrographique des Hauts-Plateaux, du Moyen-Ouest et même du Sud-Est est bordé, souvent même en tête de bas-fond, d'au moins une **terrasse perchée** au-dessus du plancher alluvial « actuel ». Les lambeaux de la **terrasse inférieure** la plus systématique, bien que très morcelée, jalonnent et dominent ce plancher alluvial sur une hauteur variant entre 2 et 4 mètres. En régime « naturel » (sans amenée d'eau) les terrasses ne sont généralement pas rizicultivées. En ppi, ces terrasses alluviales peuvent être aménagées et rizicultivées si elles se situent en contrebas d'un canal d'amenée d'eau. De sorte, qu'habillées de casiers rizicoles, elles peuvent visuellement mal se distinguer des planchers alluviaux actuels ou des bas de versants aménagés en rizières étagées. Les sols sont **d'anciens sols hydromorphes** gris-jaunâtre, riches en argile sableuse, peu structurés, lessivés et **compactés**. Une petite couche de galets roulés quartzeux peut exister vers 1 à 2 mètres de profondeur et témoigner de l'origine alluviale.

Ces sols de terrasses sont **très médiocres** pour les cultures vivrières même peu exigeantes : taro, manioc, patate douce, pois du Cap... Parfois les arbres fruitiers (manguiers, agrumes...) peuvent plonger leurs racines dans la **frange capillaire** de la nappe (plus de un mètre de profondeur en saison sèche).

Une **deuxième terrasse**, plus ancienne et plus haut perchée sur le versant, existe souvent. Mais elle est peu visible car fortement dégradée et démantelée par l'érosion. Cette terrasse est mise en évidence par un replat peu marqué, à sols ferrallitiques (qui témoignent de son ancienneté) comme sur la tanety, et par la présence de galets alluviaux quartzeux à sa base.

La terrasse supérieure ne constitue pas, à l'inverse de la précédente, un élément marquant du paysage. Nous n'y insisterons donc pas.

5 – RELIEFS RESIDUELS, TANETY CONVEXES, LAVAKA ET RESTES DE SURFACES D'APLANISSEMENT

On ne peut aborder la géographie physique de Madagascar, aussi bien Hauts-Plateaux que Moyen-Ouest et en partie Sud-Est, sans parler de quatre de ses éléments les plus marquants sur une grande partie des BV-PI que nous avons vus, à savoir :

- Ses reliefs arrondis ou pluri-convexes.
- Ses restants de surfaces d'aplanissement (parfois appelées « pénéplaines ») en forme de glacis ou plateaux à pentes faibles.
- Ses reliefs rocheux résiduels,
- Ses lavaka.

Ces quatre éléments de paysage co-existent sur les Hauts-Plateaux. Les **pénéplaines** sont spécialement visibles dans le Moyen-Ouest. Les **convexités** sont une part essentielle des paysages du Sud-Est où ils forment des séries de « **demi-oranges** » parfois d'altitudes sub-égales. Les **reliefs résiduels rocheux** quant à eux, sont bien en évidence sur les Hauts-Plateaux, spécialement en pays Betsileo. Enfin les **lavaka**, balafures d'érosion spécifiques n'existent pas dans l'Est humide et forestier de Madagascar.

51 - Les reliefs convexes (fig. 3)

Ils forment des « trains » de tanety de différentes altitudes et dénivelées. Ils sont marqués par des **arrondis sommitaux** et des flancs dont la pente augmente fortement vers l'aval à leur arrivée sur les bas-fonds qu'ils dominent et avec lesquels ils se raccordent brusquement où par l'intermédiaire d'une terrasse (cf. précédemment) de quelques mètres de dénivellation. On parle parfois au sujet de ces **convexités** si frappantes de « demi-oranges ».

Sans entrer dans le détail disons que ce type de modelé est l'héritage, **sous conditions humides et forestières**, de la dissection géomorphologique de reliefs à gros matelas ferrallitiques.

Ce climat et cette végétation originels n'existent plus sur les Hauts-Plateaux mais encore sur la frange orientale. Sous ces conditions environnementales, les sols ferrallitiques, constamment humides (sans dessiccation sommitale), sous le poids de la forêt, glissent en surface par à-coups sur des tranches terreuses de l'ordre du mètre sous forme globale de **lente reptation**, qui s'accélère sur les flancs des versants en amplifiant encore le processus, et aboutit à la finition de la **convexisation**. Ceci se passe évidemment à l'échelle géologique (ères tertiaire et quaternaire) et n'est pas perceptible à l'échelle humaine. Du fait de leur déforestation totale, les Hauts Plateaux montrent maintenant à nu de façon spectaculaire un modelé forestier pluri-convexe dominant, et, comme nous l'avons vu précédemment, un réseau dense et encaissé de bas-fonds, petites vallées et plaines alluviales, lui-même d'origine forestière humide.

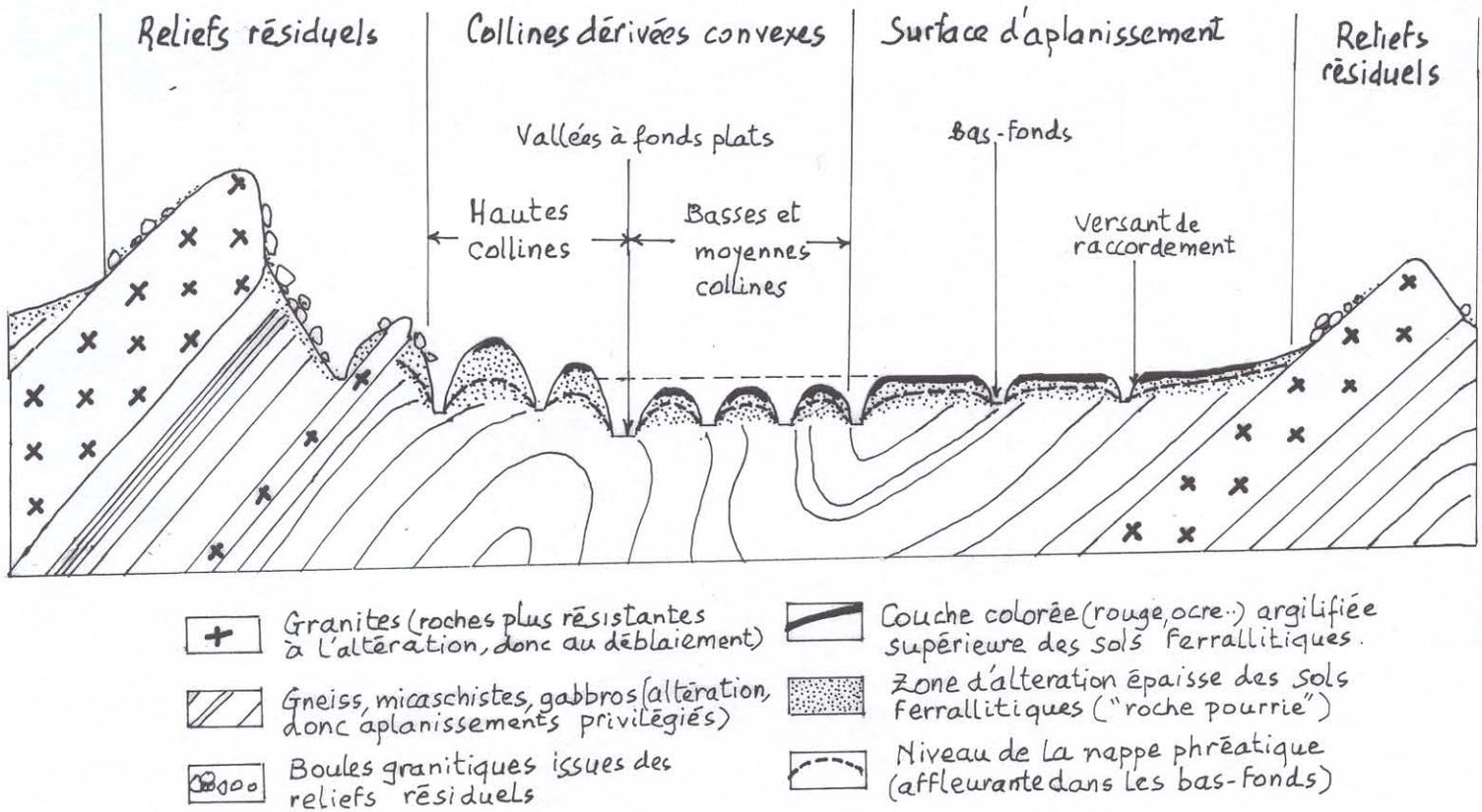


FIG.3

SCHEMA DES TYPES DE RELIEFS VISIBLES SUR LES HAUTS-PLATEAUX ET LE MOYEN-OUEST MALGACHES

Les sols ferrallitiques sur versants convexes, en tout cas sur les Hauts-Plateaux sont **généralement tronqués** soit dans la tranche colorée, soit en dessous dans l'altérite. C'est-à-dire que le décapage (reptation puis érosion en nappe) a été plus rapide que la ferrallitisation supérieure, et ceci, d'autant plus que la pente est accentuée. Les sols y sont le plus souvent **compacts et peu structurés** pour les raisons évoquées précédemment.

52 – Les « surfaces d'aplanissement » (fig. 3)

Elles constituent un autre **élément essentiel des paysages malgaches**, surtout dans le Moyen-Ouest mais aussi, de façon plus éparse, sur les Hauts-Plateaux et dans le Sud-Est. C'est dans le **Moyen-Ouest** que les surfaces d'aplanissement se déploient de la façon la plus évidente et le plus largement, à perte de vue. On parle alors de « **pénéplaines** » (la pénéplaine de Mandoto par exemple).

Sur les Hauts-Plateaux, ces surfaces sont davantage éparpillées dans ce qui apparaît de loin comme de larges alvéoles, gouttières, plaines ou plateaux, en fonction de la proximité ou de l'éloignement des reliefs résiduels (granites à dômes nus ou à boules le plus souvent) qui les encadrent et les dominent. Parmi les sites qui nous intéressent citons la gouttière de **Soavina** ou bien celle d'**Ivato**.

Sans entrer longuement dans l'histoire géomorphologique du pays et ses alternances climatiques, il est admis le plus souvent qu'il s'agit de formes d'évidement et de façonnement en « glaciaires » (pentes longitudinales faibles), sous conditions climatiques sèches, de reliefs et de roches préalablement fortement altérés en climat humide donc préparés à l'érosion. Ces aplanissements étaient orientés vers les niveaux de base hydrographiques locaux. L'érosion a été plus rapide que sur les reliefs environnants constitués de roches plus résistantes et plus lentes à s'altérer. Il en est résulté sur de longues périodes, des **évidements différentiels** plus rapides sur certaines provinces géologiques (gneiss, micaschistes, gabbros...) que sur d'autres (granites, quartzites, cipolins...). Une fois l'aplanissement réalisé sous un milieu à fortes précipitations concentrées et végétation peu fournie, la ferrallitisation s'est perpétuée sous climat redevenu humide et forestier. Signalons que d'autres hypothèses expliquant la genèse des **surfaces d'aplanissement** malgaches existent (voir le lexique).

Actuellement les dernières surfaces d'aplanissement (d'âge tertiaire ou quaternaire ancien) sont morcelées et découpées en « plateaux » allongés dirigés vers les rivières principales. Ce schéma s'observe bien dans l'alvéole de **Soavina** et, dans une moindre mesure, à **Ivato**, bien que dans ce dernier cas, les plateaux résiduels soient moins bien conservés. Le réseau hydrographique s'y est enfoncé en bas-fonds et vallées plus larges, raccordés à la « surface » par des versants convexes à fortes pentes.

Si on tient à être plus précis, on peut dire qu'il y a à Madagascar plusieurs générations de surfaces d'aplanissements (trois à quatre) de différents âges et altitudes témoignant de phases climatiques différentes corrélées avec le **soulèvement lent** (isostasie) des Hautes-Terres de Madagascar, du crétacé au quaternaire ancien. La pénéplaine de **Mandoto**, vers 850 mètres d'altitude, est la plus récente (plio-quaternaire). Celle d'**Ankazomiriotra** (1100 mètres) est plus ancienne (tertiaire). Les deux existent aussi dans l'alvéole gabbroïque de **Soavina**.

Pour revenir aux reliefs convexes évoqués précédemment, ceux-ci résultent du démantèlement (reliefs dits « dérivés »), en climats très humides et forestiers, des diverses surfaces d'aplanissement, lors de la **surrection lente du socle malgache**.

Un mot sur les sols des surfaces bien conservées : **les sols ferrallitiques y sont au complet** c'est à dire qu'ils n'ont pas (comme sur la plupart des reliefs dérivés convexes) été tronqués de leur partie argileuse (kaolinique) colorée. Ils ont de ce fait généralement de meilleures propriétés physiques, souvent aussi organiques en surface, que les sols tronqués, beaucoup plus compacts (type Ibity/Mahazina). Ainsi les sols du Moyen-Ouest (par exemple **Soavina, Ankazomiriotra, Mandoto**) sont plus intéressants (bien qu'aussi vides, chimiquement) que les sols tronqués qui dominent sur les tanety convexes des Hauts-Plateaux cristallins.

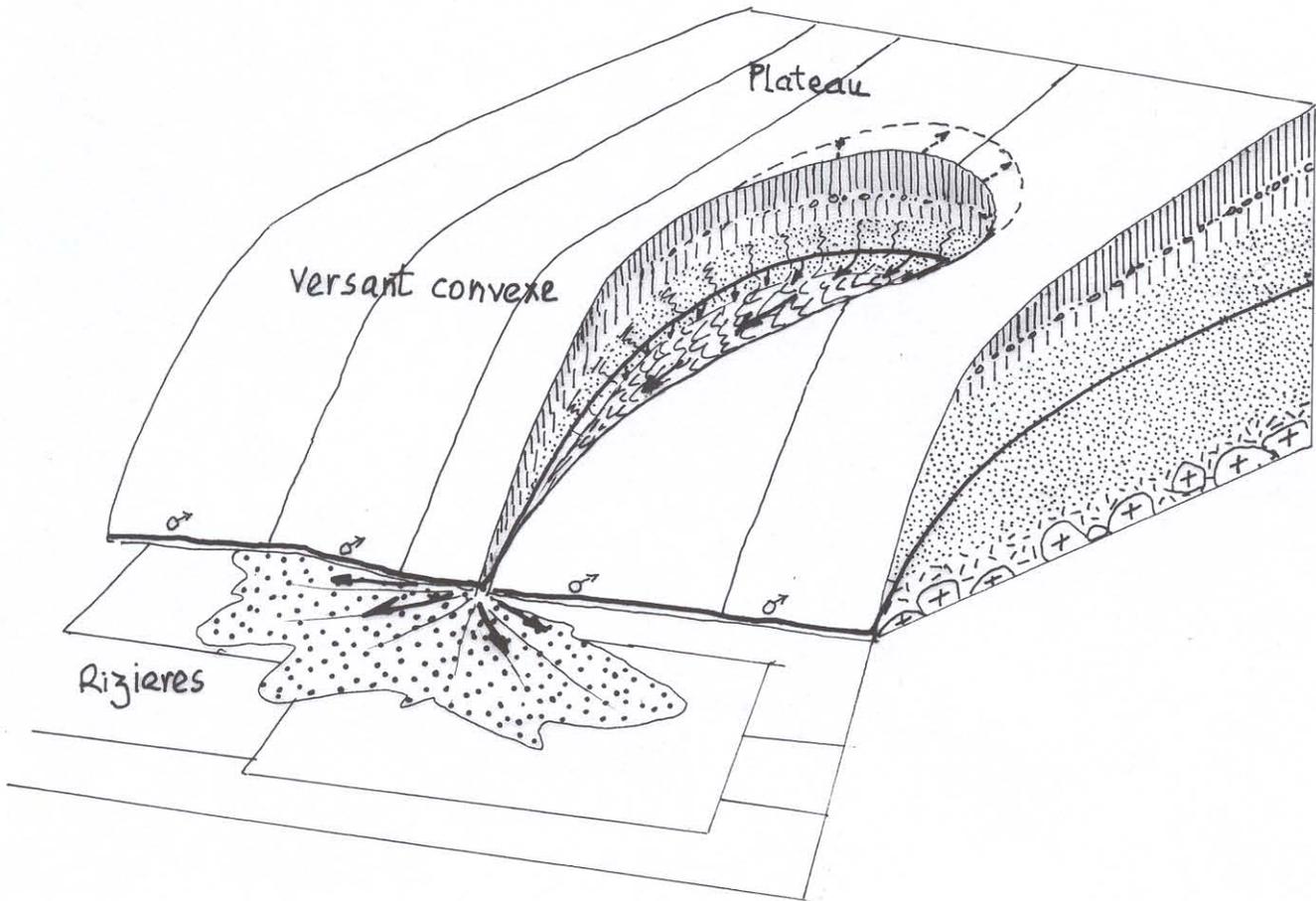
53. Les reliefs résiduels (fig. 3)

C'est le troisième élément important du paysage de Madagascar, en particulier des Hauts-Plateaux. Ces reliefs, **le plus souvent granitiques** (roche plus longue à s'altérer donc à être déblayée) dominent les convexités, surfaces d'aplanissement et réseaux hydrographiques sur quelques centaines de mètres. Ils sont caractérisés par des **affleurements et dégagements rocheux**, en dômes lisses, en chaos de grosses boules, parfois en « inselbergs ». Tout autour, des altérites ferrallitiques couvrent les versants pentus, souvent balafrés de lavaka et ravinements et parsemés de **boules granitiques** descendues. Les reliefs résiduels forment les crêtes des grands bassins versants lorsque ces derniers font plus de 50 km².

De tels encadrements rocheux dominent une partie de l'alvéole de **Ivato** (Hauts-Plateaux) et celui de **Soavina** dans le Moyen-Ouest. Dans ce dernier cas, en plus des **granites**, pointent des **quartzites** et des **cipolins**, également plus longs à s'altérer que les roches gabbroïques de l'alvéole sur lesquelles ont été façonnées ses surfaces d'aplanissement.

54 – Les lavakas (fig. 4)

Il s'agit encore d'une **figure spécifique du paysage ferrallitique malgache** essentiellement sur les Hauts-Plateaux, le Moyen-Ouest et le Moyen-Est (Lac Alaotra). Les lavakas balafrent profondément certains **versants convexes à pentes fortes**. Ils sont élargis au sommet (amphithéâtres), rétrécis en aval, et à parois verticales rouges mangeant profondément (5 à 20 mètres) l'altérite ferrallitique jusqu'à la nappe phréatique. Cette forme d'érosion caractérise un déséquilibre « morpho-climatique » du manteau d'altération qui n'est plus, à l'heure actuelle, sous ses conditions originelles de formation (humides sans saison sèche et forestières). On constate en effet qu'il n'y a pas de lavaka dans la partie orientale de Madagascar. Deux éléments, l'un en haut, l'autre en bas, expliquent leur genèse et leur forme. La base, noyée par la **nappe phréatique** et lustrée par les micas, **glisse et flue**, entraînant brutalement et par à-coups la partie supérieure rouge qui se **cisaille verticalement**.



▨ Niveau coloré argileux, cisailé verticalement

— Stone Line (facultative)

▨ Niveau coloré en cours d'argilification, argilo-sableux, cisailé verticalement

▨ zone d'altération limono-sablo-micaçée imbibée par la nappe phréatique, fluante

▨ Matériau de fluage en transit vers l'aval.

▨ Cône de déjection sablo-limono-micaçé

— Nappe phréatique

♂ Sourcins d'affleurement de la nappe

↘ Glissement-fluage-transit-évacuation de la masse d'alterites gorgée d'eau.

FIG.4

STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT SCHEMATIQUES D'UN LAVAKA EN SOL FERRALLITIQUE

Le tout est évacué en lame de boue qui peut se répandre dans les rizières. Il est probable que le lavaka est un **processus naturel** qui ne doit rien à l'intervention de l'homme. A l'arrivée de celui-ci (un millier d'années ?) les mêmes éléments du paysage devaient exister. C'est le changement naturel climatique et végétal, qui a déclenché la « lavakisation ».

Quant à la « fixation artificielle des lavaka » elle paraît complètement utopique compte tenu de l'ampleur du phénomène et des processus en jeu, particulièrement **le rôle mobilisateur de la nappe phréatique** sur l'effondrement de la masse altéritique supérieure. On constate que des lavaka se « fixent » tout seul quand l'énergie naturelle déclenchante décline. Une laborieuse et coûteuse végétalisation, qu'elle soit à l'intérieur ou autour du lavaka ne paraît pas de nature à ralentir le processus.

6 – LE MOYEN-OUEST

Rentrent dans le Moyen-Ouest, à l'Ouest des Hauts-Plateaux, les paysages **généralement aplanis** situés en dessous de 1300 mètres d'altitude. Le climat y est déjà plus chaud, l'ensoleillement plus important et la pluviométrie annuelle inférieure (moins de 1200 mm) avec un arrêt plus brutal des précipitations.

Ce qui caractérise également le Moyen-Ouest est la présence de **surfaces d'aplanissement** bien conservées, malgré qu'elles soient découpées par un réseau dense de bas-fonds, (fig. 7).

Les périmètres BV-PI du Moyen-Ouest que nous avons observés sont :

- L'alvéole aval de Soavina à l'Ouest d'Ambositra,
- Les régions (pénéplaines) d'Ankazomiriotra et de Mandoto, à l'Ouest de Betafo.

61 – La région de Soavina (fig. 5)

Nous sommes ici (fig. 5) sur la **rive gauche de la Mania** à la confluence (et en aval) avec la **rivière Tsindra** qui possède une direction sud-nord. Les périmètres rizicoles des années 60, récemment réhabilités, sont composés de 3 grandes plaines principales. Le barrage principal de dérivation est situé sur la Tsindra, un peu à l'Est du village de Soavina.

611 – Les reliefs de tanety des bassins-versants

Le bassin-versant total (dit « d'alimentation ») c'est-à-dire en majeure partie celui de la Tsindra, représente approximativement 350 km². Il contient l'alvéole de Soavina traversé par la rivière Tsindra orientée Sud-Nord qui fait environ 26 kilomètres de long jusqu'à la Mania. Au sujet de cet alvéole on parle souvent de « **plateau gabbroïque** » car il est sous-tendu de **gabbros**. Ce sont des roches grenues d'origine volcanique très ancienne, de teinte sombre car riches en minéraux noirs dits « ferro-magnésiens », qui confèrent une couleur rouge assez sombre aux sols ferrallitiques. L'alvéole (ou gouttière) est composé de **plateaux en lanières** orientées vers la Tsindra centrale. Ces plateaux sont les restes de **deux surfaces d'aplanissement**, la plus ancienne (moitié sud) d'âge tertiaire, étant située vers 1300 mètres d'altitude, la plus récente (quaternaire ancien), vers Soavina, située vers 1100 mètres. Ces « lanières-glacis-plateaux » sont séparés par des bas-fonds généralement étroits, jalonnés, comme pour la Tsindra, de petits seuils rocheux et dominés par des **versants de raccordement** convexes (très pentus pour la surface tertiaire) et particulièrement érodibles.

La « **surface de Soavina** » (quaternaire ancien), à mesure qu'on se rapproche de la Mania, est morcelée en plateaux particulièrement bien conservés à pentes longitudinales faibles et à **versants de raccordement** avec les bas-fonds plus longs et moins pentus que pour la surface tertiaire plus en amont. Les lanières les plus belles sont celle d'Ambohimahatsinjo

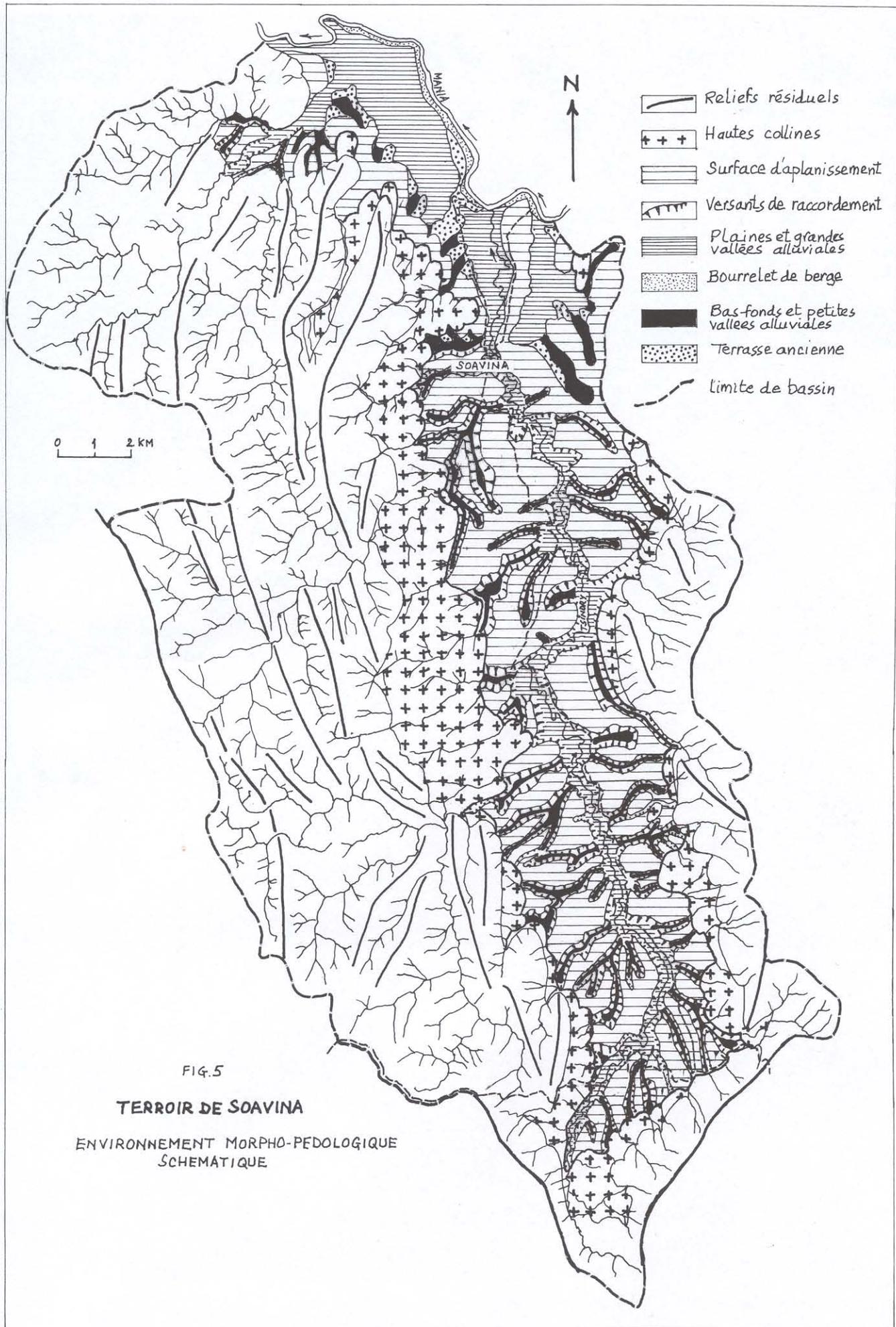


FIG.5

TERROIR DE SOAVINA

ENVIRONNEMENT MORPHO-PÉDOLOGIQUE
SCHEMATIQUE

(de Soavina à la Mania), celle proche d'Ambohibary ainsi que les glacis de piémont des hautes-collines granitiques érodées. Ces derniers se prolongent en aval par de vastes **terrasses anciennes de la Mania** situés à l'Ouest d'Ambondromisotra.

L'alvéole d'évidement est encadré par des **reliefs résiduels** à roches affleurantes dont certains, à l'ouest (quartzites, cipolins, granites), sont à près de 1900 mètres d'altitude. La moyenne est cependant de 1500 mètres surtout à l'Est (granites). Entre ces hauts reliefs périphériques et les surfaces d'aplanissement se tiennent des **hautes-collines** convexes et très pentues, entre 1300 et 1500 mètres d'altitude. Elles sont drainées par des vallées encaissées ou bas-fonds très étroits. Ces collines peuvent représenter, du moins pour une partie d'entre elles, des reliefs « dérivés » (c'est-à-dire de dissection) d'une troisième surface d'aplanissement encore plus ancienne. Il s'agit le plus souvent de tanety ferrallitiques sur **granite ou granito-gneiss**, à pentes fortes, souvent balafrees de lavakas et de ravinements linéaires, menaçant particulièrement, en aval, les aménagements.

612 – Les sols des tanety

Les tanety (restes de surface d'aplanissement) situées directement au dessus des canaux d'amenée d'eau, comme une majeure partie de celles de l'alvéole de Soavina, ont des gabbros pour soubassement.

Les sols ferrallitiques des plateaux et lanières à topographie bien conservée (surfaces d'aplanissement) présentent un profil complet, c'est-à-dire un épais horizon rouge sombre (2-3 mètres) argileux au dessus de la zone d'altération du gabbro (roche sombre à faible proportion de quartz), d'une épaisseur d'une dizaine de mètres.

Du point de vue agronomique, les sols sur gabbro, spécialement ceux de la surface plio-quadernaire, en aval de l'alvéole, les plus cultivés, présentent un certain nombre de caractéristiques favorables :

- Sols bien **structurés** : structure polyédrique fine en surface (0-20 cm), plus grossière en profondeur. Ils deviennent cependant relativement plus compacts en dessous.
- Assez bonne **activité biologique**, brassage par les vers de terre, dont les turricules s'observent jusqu'à 40 cm de profondeur.
- Teneur en **matière organique** de l'ordre de 2 à 4 %.
- **pH supérieur à 5** (5,5 à 6) et complexe adsorbant moins désaturé que sur granite.

Ces sols, moyennant du fumier, peuvent produire en maïs et soja, cultures réputées exigeantes. La contrainte majeure pour les céréales (maïs, riz pluvial) qui freine leur extension, est l'envahissement par le **striga**. Ce problème récurrent peut être résolu par l'adoption du **Stylosanthes comme plante de couverture**, ce que les agriculteurs semblent avoir bien compris.

Autre contrainte, climatique celle-là, est l'irrégularité des pluies en saison dite « des pluies » et leur arrêt brutal en fin de saison. Les **mulch, morts ou vivants**, sont donc particulièrement bénéfiques pour ralentir l'évaporation et amortir ce régime des pluies aléatoire.

Unité de paysage		Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Reliefs résiduels		Granites, quartzites, cipolins	Hauts-reliefs à pentes fortes Position dominante	Affleurements rocheux et sols ferrallitiques fortement tronqués	Fort ruissellement	Pentes très fortes Sols sableux compacts
Hautes collines		granites	Collines convexes à fortes dénivelées et à pentes fortes encore peu cultivées, lavakas	Sols ferrallitiques rouges ou ocres, faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes fortes. Très forts risques d'érosion Nombreux lavaka
Surfaces d'aplanissement	Bien conservées	Gabbro	Plateaux bien conservés ou légèrement ondulés	Sols ferrallitiques argileux rouge sombre non tronqués	Faible ruissellement et forte infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Peu de contraintes Déficiência en phosphore
	Collines dérivées		Basses et moyennes collines convexes généralement cultivées	Sols ferrallitiques argileux rouge sombre faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes à risques d'érosion
			Basses et moyennes collines convexes cultivées aménagées en « Pseudo-terrasses »	Sols ferrallitiques argileux rouge sombre faiblement tronqués, raclés et remblayés par les paysans	Id. mais infiltration favorisée et ruissellement étalé	Pentes « rectifiées » à moindre risques d'érosion Renforcer les pseudo-terrasses avec des haies
Versants de raccordement				Versants à pentes fortes	Sols ferrallitiques rouges tronqués	Très fort ruissellement
Bas-fonds		Matériau de fluage ou alluvions sableuses	Petites vallées à fonds plats	Tourbeux	Nappe phréatique en surface	Difficile à rizicultiver sans recouvrement argileux
				Non tourbeux	Nappe phréatique proche de la surface	Maîtrise de l'eau
Plaine alluviale (niveau moyen)		Alluvions argileuses	Horizontalité ou très faibles dénivellations	Sols hydromorphes rizicultivés argileux	Riziculture irriguée Inondation épisodique	Pas de contraintes pour la riziculture si arrivée d'eau
Cuvettes de décantation		Alluvions très argileuses	Légères dépressions	Sols hydromorphes inondables très argileux, non tourbeux	Inondations fréquentes et de longue durée	Lame d'eau trop importante pouvant gêner la riziculture
Bourrelets de berge		Sables et limons micacés	Légers bombements de part et d'autre de la Mania	Sols sablo-limono-micacés légèrement hydromorphes	Inondations rapides lors du débordement	Peu de contraintes - Bons sols Les cultures « pluviales » peuvent être arrachées
Terrasses		Alluvions anciennes	Petits plateaux en bordure des plaines et bas-fonds	Anciens sols hydromorphes généralement argilo-sableux compacts	Ruissellement et infiltration Nappe phréatique vers 3 mètres	Sols très compacts, très peu « fertiles »

Tableau 1 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DU TERROIR DE SOAVINA

Les sols, intéressants, doivent être **protégés** et encore **améliorés** : création d'un milieu vivant (activité biologique et racinaire) et protecteur (contre l'érosion, l'évaporation et le lessivage des éléments minéraux).

Des SCV bien conduits, avec une place importante au *Stylosanthes* et aux rotations céréales/légumineuses, en constituent une alternative très intéressante. L'économie des engrais, s'ils sont utilisés, et vu leurs coûts, demandent des enracinements profonds pour récupérer ce qui serait perdu en profondeur.

Cependant la lutte contre la **divagation des zébus** par des haies épineuses ou non apêtées par les bêtes (*Tephrosia*, crotalaires...) est une condition de réussite des SCV.

De plus, la **lutte contre l'érosion**, confortée par des couverts permanents, des haies, des bocages ou des bandes alternées, sera nécessaire pour protéger les aménagements aval proches. Tout particulièrement sur **les versants qui raccordent plateaux et rizières** et dont les pentes peuvent aller de 10 à 30 %. Les bordures amont des canaux pourraient être végétalisés (*Pennisetum*...) par des haies ou bandes denses.

Au dessus topographiquement des surfaces d'aplanissement sur gabbro, particulièrement dans le nord-ouest du bassin versant (au dessus des périmètres), les **hautes collines granito-gneissiques à fortes pentes** et dénivelées menacent les infrastructures hydro-agricoles. Elles sont fortement érodées avec décapage en nappe, **ravinements** (linéaires ou généralisés) et nombreux **lavaka**. Les sédiments évacués aux débouchés des vallées franchies par le canal d'irrigation peuvent combler ces canaux et ensabler les rizières. Le processus existe aussi à l'est, mais il est moins inquiétant.

Les sols de ces hautes collines sont des **ferrallitiques tronqués**, compacts, argilo-sableux. Les agriculteurs commencent à les attaquer ce qui amplifie la menace. SCV, « habillage » végétalisé des pseudo-terrasses, couvertures fourragères de *Brachiaria* et *Stylosanthes*, embocagement, reboisement, protection contre les feux sont à préconiser, mais certaines techniques seront longues à adopter.

613 – Le système alluvial du périmètre

La Mania est bordée d'un **bourrelet de berge** d'une centaine de mètres de large, assez peu surélevé, parfois cultivé en vergers et maraîchage.

La Mania a déposé une **vaste plaine alluviale**, atteignant 5 kilomètres de large au niveau de Mahazina, dont la moitié aval a nécessité un réseau de drainage. Au sud, cette plaine est prolongée par la **plaine de la Tsindra**, affluent de la Mania. A l'est se trouve le « cul de sac » alluvial, à l'origine mal drainé, de Fitamahatsina.

En fait, ce large alluvionnement a eu pour origine en aval, le seuil rocheux resserré de la Mania, peu après sa confluence avec la Manandona.

Ce seuil, ayant joué un rôle de barrage naturel pour l'amont, a favorisé la création d'un **large bief de sédimentation** qui a donné lieu à l'aménagement de ce ppi, en particulier la création dans les années 60 d'un réseau de drainage actuellement bien dégradé et la

construction d'une digue de protection contre les inondations sur le bourrelet de berge du fleuve.

Les casiers rizicoles, irrigués par le long canal amont, couvrent sans distinction, d'une part et surtout le système de la Mania avec des **alluvions récentes argileuses**, des **terrasses anciennes** peu surélevées (1 à 3 mètres) à sols argilo-sableux gris-jaunâtre (hydromorphie ancienne) plus compacts, le **bourrelet de berge** sablo-limono-micacé, d'autre part, des **piémonts de tanety** à sols ferrallitiques sur gabbro, d'autre part encore, au sud, cette fois, des alluvions récentes plus diverses en granulométrie issues de la Tsindra et enfin à l'est le cul de sac mal drainé et sans doute en partie tourbeux de Fitamahatsina.

A cela, s'ajoute des arrivées de bas-fonds, parfois **minéraux** parfois **tourbeux**, en « rentrants » et en aval immédiat du canal qui les a contournés en suivant la topographie. Sur la « rive » ouest du périmètre le canal passe souvent sur la **terrasse ancienne** qui n'est donc irrigué qu'en son aval.

Au nord, la plaine de la Mania drainée est en partie hors réseau (le canal n'y arrive pas) et l'alimentation des rizières y est insuffisante.

Partout, dans la mesure où il y a assez d'eau d'irrigation pour tout le périmètre, **les cultures de contre-saison** sont possibles. Certaines zones pourraient, lorsqu'elles sont plutôt éloignées des drains naturels (rivières) ou artificiels, très certainement se contenter de **la remontée capillaire d'une nappe restée peu profonde**.

62 – Les régions d'Ankazomiriotra et de Mandoto (fig. 6)

Nous sommes ici (fig. 6) sur les **pénéplaines** « classiques » du Moyen-Ouest. Ankazomiriotra appartient à la surface d'aplanissement d'âge tertiaire, située à environ 1100-1200 mètres. Mandoto est sur la surface d'âge pléistocène (quaternaire ancien) vers 800 – 900 mètres d'altitude.

Ces pénéplaines sont « défoncées » en plateaux par un réseau hydrographique dense de bas-fonds à **structure extrêmement ramifiée** dite en « bois de renne » branché sur les rivières principales comme la kitsamby près de **Mandoto**. Ces rivières ont fréquemment des lits rocheux et des berges encombrées de sable. L'enfoncement du réseau est de l'ordre de 30-40 mètres. Le raccord se fait par des versants convexes le plus souvent à **pentés fortes** (30-40 %). Formant une **proportion importante du paysage** vu la densité des bas-fonds, ces versants de raccordement constituent des sites d'érosion potentielle importante. Les bas-fonds présentent une largeur faible et assez constante d'environ 70 mètres. L'amont a une forme en **amphithéâtre** marqué. Tous ne sont pas encore totalement rizicultivés. Les plateaux découpés et festonnés ne sont pas strictement horizontaux, mais en pentes douces, ondulées (moins de 10 %).

De temps à autre émergent des **bombements** situés entre 50 et 150 mètres au dessus de l'altitude moyenne de la pénéplaine. Ces bombements non rocheux sont nappés de sols ferrallitiques comme tout autour. Ils correspondent à des noyaux granitiques plus durs que les gneiss environnants donc moins rapidement altérables et qui ont donc résisté à la finition de l'aplanissement.

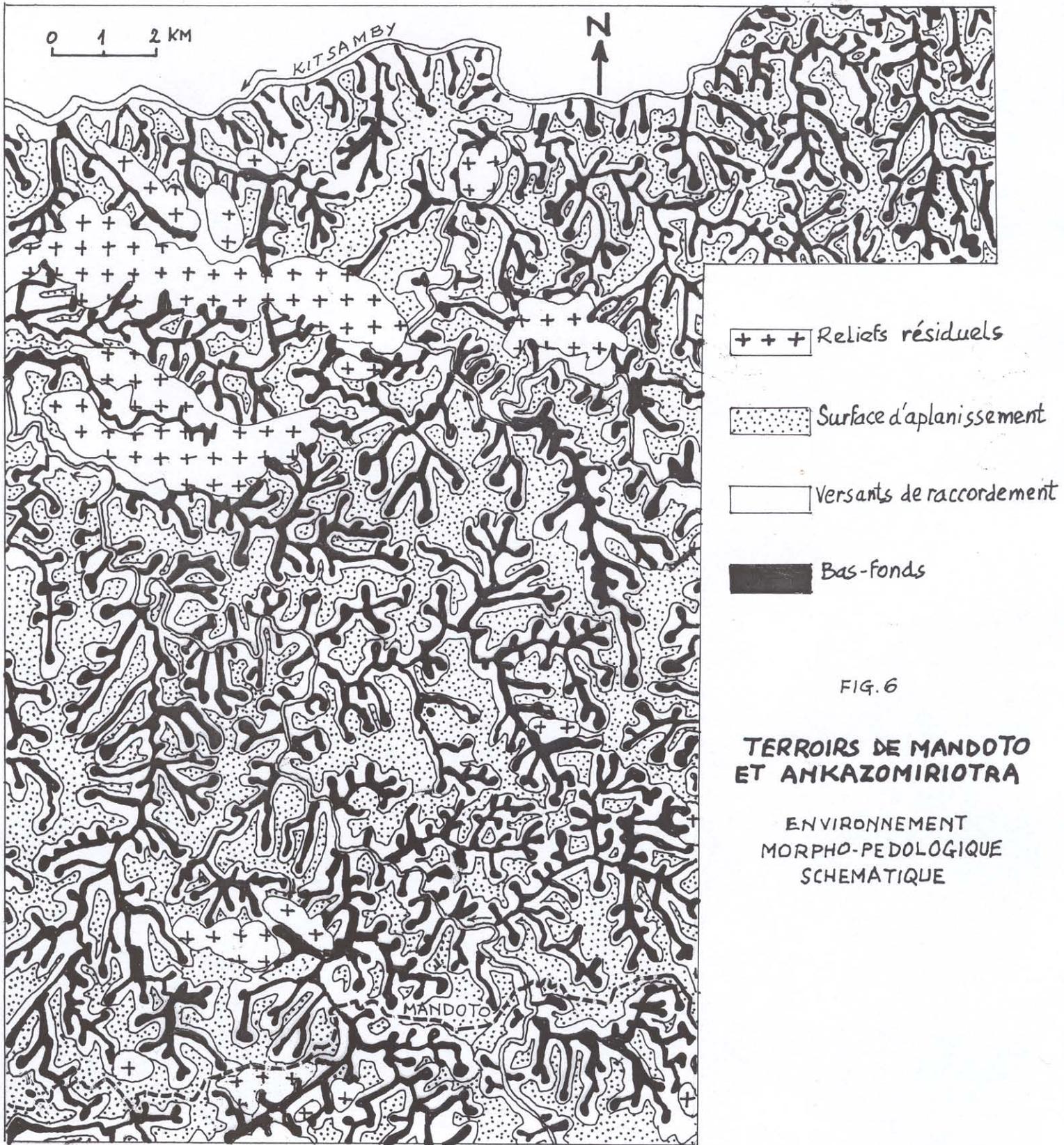


FIG. 6

**TERROIRS DE MANDOTO
ET ANKAZOMIRIOTRA**

ENVIRONNEMENT
MORPHO-PEDOLOGIQUE
SCHEMATIQUE

A côté de cela, au loin émergent de vrais **reliefs résiduels**, rocheux cette fois (granites ou quartzites), formant des crêtes allongées de plus de 150 mètres de haut.

621 - Les sols des surfaces d'aplanissement

Les sols des plateaux (non compris les versants de raccordement aux vallées) sont des sols ferrallitiques rouges à **rouge sombre**, de 2 à 4 mètres d'épaisseur au-dessus de l'épaisse (30 mètres souvent) zone d'altération généralement sur **granito-gneiss**.

Comparées aux caractéristiques moyennes des sols des Hauts-Plateaux, celles des sols du Moyen-Ouest sont avantageuses :

- **La première raison** en est que, contrairement à beaucoup de sols des Hauts-Plateaux, **ils n'ont pas subi de troncature importante** et donc que l'horizon argileux supérieur est intact. Du fait du climat plus contrasté et de l'excellente infiltration des pluies, cet horizon rouge, bien que de nature kaolinique peu gonflante par rapport à d'autres types d'argile, a pu quand même subir des phases « structurantes » de contraction-dessiccation et expansion-humectation lui conférant une structure polyédrique s'affinant en surface. Ici, nous ne sommes jamais dans un matériau argilo-sableux altéritique pris en masse par les sables quartzeux.
- **La deuxième raison**, également en partie climatique (contraste des pluies, ensoleillement), est que le **complexe adsorbant** argile-matière organique est moins désaturé qu'ailleurs du fait de fortes périodes d'évaporation, même en saison des pluies, qui s'opposent au lessivage total (contrairement à ce qui se passe dans le sud-est par exemple). Le pH est donc plus élevé, de l'ordre de 5,5 à 6.
- **La troisième raison** d'une meilleure fertilité naturelle de ces sols réside dans la présence d'une assez **bonne activité biologique** (vers de terre anéciques, larves, fourmis, termites, bactéries) du fait d'un climat plus chaud que sur les hauts-plateaux.
- Enfin **une quatrième raison** est tout simplement le fait que ces sols, lorsqu'ils sont cultivés, ne le sont que depuis seulement **quelques dizaines d'années**, alors que **d'immenses espaces vides** n'ont pas encore été colonisés. Le potentiel de fertilité est donc encore intact ou peu touché. La végétation naturelle graminéenne de bozaka (*Aristida*, *Hyparrhenia*), bien que brûlée chaque année, a contribué à la création d'une structure grenue dans l'horizon de surface, associée à une bonne activité biologique. Le taux de matière organique de ces sols est plutôt bon (2 à 3 %). Donc **attention à la non dilapidation de ce potentiel**, avec minéralisation rapide de cette matière organique.

Signalons cependant une particularité de ces sols du moyen-ouest qui, par endroit peut constituer une contrainte : la présence fréquente d'une ligne de pierres de quartz (dite « **stone line** ») entre 20 et 150 cm de profondeur. Disons seulement, sans entrer dans les détails que cette stone-line (le quartz, non roulé, provient des nombreux filons de quartz le

Unité de paysage	Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Collines résiduelles	granite	Collines émergeant de la « pénéplaine »	Sols ferrallitiques rouge ou rose, tronqués, assez sableux	Fort ruissellement et infiltration	Pentes fortes Sols compacts Risques d'érosion
Surface d'aplanissement « Pénéplaine »	Granito-gneiss	Plateaux légèrement ondulés	Sols ferrallitiques argileux rouge sans « stone-line »	Faible ruissellement et forte infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Peu de contraintes Défiance en phosphore
			Sols ferrallitiques argileux rouge à « stone-line »		Peu de contraintes Eventuellement compaction en profondeur. Défiance en phosphore
Versants de raccordement		Versants à pentes fortes	Sols ferrallitiques roses, tronqués, assez sableux	Très fort ruissellement	Pentes très fortes Forts risques d'érosion
Bas-fonds	Matériau de fluage ou alluvions sableuses	Petites vallées à fonds plats	Tourbeux	Nappe phréatique en surface en permanence	Difficile à rizicultiver sans recouvrement argileux
			Non tourbeux	Nappe phréatique proche de la surface	Riziculture si maîtrise de l'eau possible
Vallées alluviales	Alluvions	Bande alluviale horizontale de part et d'autre de la rivière	Sols hydromorphes inondables, argileux, riches en lentilles de sable	Inondations en saison des pluies	Lames d'eau brutales pouvant gêner la riziculture
Terrasses	Alluvions anciennes	Petits plateaux en bordure des vallées	Anciens sols hydromorphes argilo-sableux compacts	Ruissellement, faible infiltration	Sol très compacts, peu fertiles

Tableau 2 – CARACTÉRISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DES TERROIRS DE MANDOTO ET D'ANKAZOMIRIOTRA

traversant le granito-gneiss) a une origine paléo-climatique, morpho-climatique et probablement biologique (activité très ancienne des termites).

La couche rouge sans cailloux au-dessus de la stone line a été « remaniée » pendant l'ère quaternaire par des processus physiques et/ou biologiques, ce qui est une explication supplémentaire à ses bonnes propriétés physiques. Par contre le matériau rouge, apparemment identique, situé sous la ligne de pierre n'a pas subi de remaniement comme l'indiquent les filons de quartz intacts (quand ils existent) qui le traversent. Ce niveau rouge est alors systématiquement plus compact et moins bien structuré que le niveau situé au-dessus de la stone-line.

En conséquence, la présence d'une stone-line à moins de 60 cm de profondeur (ce n'est pas le cas général) peut constituer un obstacle aux enracinements des cultures et couvertures.

Les sols des plateaux se prêtent particulièrement bien aux SCV. Les sols ont une fertilité naturelle correcte qu'il convient de **conserver et de renforcer**. En particulier en les approfondissant par voie biologique (fort enracinement, activité biologique) pour leur conférer une meilleure réserve en eau (parallèlement à un bon mulch permanent), un bon réservoir minéral en cas d'utilisation des engrais, une bonne capacité de pompe biologique. Les contraintes autres que pédologiques sont biologiques : l'infestation par le **striga**, les **insectes** (*Heteronichus*, borers...) ou la **divagation des animaux** qui broutent cultures et couvertures. L'élevage est par ailleurs un atout pour l'instant pour le labour (plus tard peut être pour tirer des petits semoirs de semis direct) et pour le fumier disponible (tout n'est pas mis sur les rizières qui sont plutôt en faible proportion).

622 – Les versants de raccordement aux bas-fonds et vallées

Les versants pentus qui dominent le réseau hydrographique densément ramifié constituent des **superficies très importantes** (fig. 6). Ce sont les **zones sensibles du paysage** quand le sol y est cultivé et dénudé. On ne les perçoit pas toujours à leur juste proportion car les routes, ne suivant que les plateaux en lanières, on a l'impression que ces derniers sont très largement dominants. Les pentes sont variables mais fortes, entre 20 et 40 %. Les convexités les plus fortes sont des endroits privilégiés pour la formation de **lavaka** (fig. 4), qui « bavent » sur le plancher des bas-fonds et vallées. Ce matériau limono-micacé meuble peut d'ailleurs être intéressant pour les agriculteurs qui le cultivent parfois... Il peut aussi ensabler une rizière qui garde alors moins l'eau.

Pour la mise en culture de ces versants, si elle doit se faire, les techniques biologiques des systèmes SCV sont particulièrement recommandées.

Par ailleurs les sols des versants sont moins intéressants que les sols des plateaux décrits ci-dessus. Ils sont **tronqués** donc plus proches de la zone d'altération, donc **plus compacts** et **plus pauvres en matière organique**. Du fait du ruissellement, l'eau y rentre moins bien et les cultures y sont plus sensibles à la sécheresse de sorte qu'une culture de maïs ou de riz pluvial sera plus difficile à réaliser sur ces sols de versants que sur les sols de plateaux.

Haies anti-érosives et embocagement avec des espèces non apâtées par le bétail, bandes alternées entre cultures (en SCV) et cultures fourragères (*Brachiaria*, *Stylosanthes*), approfondissant et améliorant progressivement le sol, sont bien entendu à préconiser. Il ne paraît pas indispensable de s'acharner sur des lavakas existants, mais plutôt de couvrir le

sol en permanence pour ne pas en initier artificiellement d'autres par décapage en nappe et ravinements. Compte tenu de l'importance de l'élevage la place des **cultures fourragères** devrait être importante d'autant plus que la lutte contre le striga sur céréales implique l'association avec le *Stylosanthes*.

623 – Les bas-fonds et vallées

Les grandes plaines rizicoles sont pratiquement inexistantes. Seuls sites à riziculture sont les bas-fonds qui sont souvent étroits. La plupart sont tourbeux à l'origine surtout dans leur tronçon amont. Pour les cultiver les agriculteurs les remblaient pour conserver l'eau en surface. L'eau suinte en bas de versant. Il s'agit de l'affleurement de la nappe phréatique imbibant les altérites sous les plateaux et versants de raccordement. Avec la pluie, cette eau des sourcins, canalisée, constitue la ressource en eau des rizières.

Les rivières sont peu nombreuses où les barrages de dérivation sont possibles et les surfaces irrigables pas assez importantes (sauf le long du Kitsomby et de sa terrasse perchée de quelques mètres).

7 – LES HAUTS-PLATEAUX

Il vaudrait mieux parler de « Hautes-Terres », situées à **plus de 1300 mètres d'altitude**, compte tenu de la **diversité des paysages** qu'on y trouve, surtout dans le Vakinankaratra (région Antsirabe-Betafo).

En dehors des aspects morpho-pédologiques, les Hauts-Plateaux se différencient des autres régions du point de vue agricole et agronomique, par le fait que les **processus biologiques sont ralentis** compte tenu de températures plus basses qu'ailleurs. Tout va moins vite et d'autant plus qu'on monte en altitude ce qui peut constituer une contrainte « sui generis » : cycles et croissance des cultures, installation et colonisation des plantes de couverture, activité biologique : décomposition, humification, minéralisation de la matière organique, processus microbiens, libération du phosphore assimilable, nodulation des légumineuses... Par contre, avantage de la saison sèche et froide dite « contre-saison » : elle permet, si l'eau est disponible, de faire pousser des cultures tempérées (blé, orge, avoine, ray grass, vesce, trèfle, pomme de terre, radis fourrager...). Autant de possibilités à combiner de façon intelligente dans les SCV avec les cultures et couvertures de saison, de demi-saison (fin de saison des pluies – début de saison sèche) et de contre-saison, en tanety, en bas-fond ou en plaine alluviale.

Les périmètres BVPI, assimilés à des ppi, que nous avons pu visiter sur les Hauts-Plateaux sont :

- **Ivato** (Sud d'Ambositra),
- **Fitakimerina et Ampandrotrarana** (Sud d'Antsirabe).
- **Ikabona** (Nord de Betafo)
- **Iandratsay** (entre Betafo et Antsirabe).

Ils sont très différents des points de vue des matériaux, des sols et des paysages.

71 – Le terroir d'Ivato (fig. 7)

Situé à une vingtaine de kilomètres au sud d'Ambositra, vers 1500 mètres d'altitude, l'alvéole d'Ivato (fig. 8) est **représentatif d'une grande partie des Hauts-Plateaux** sur granite et granito-gneiss.

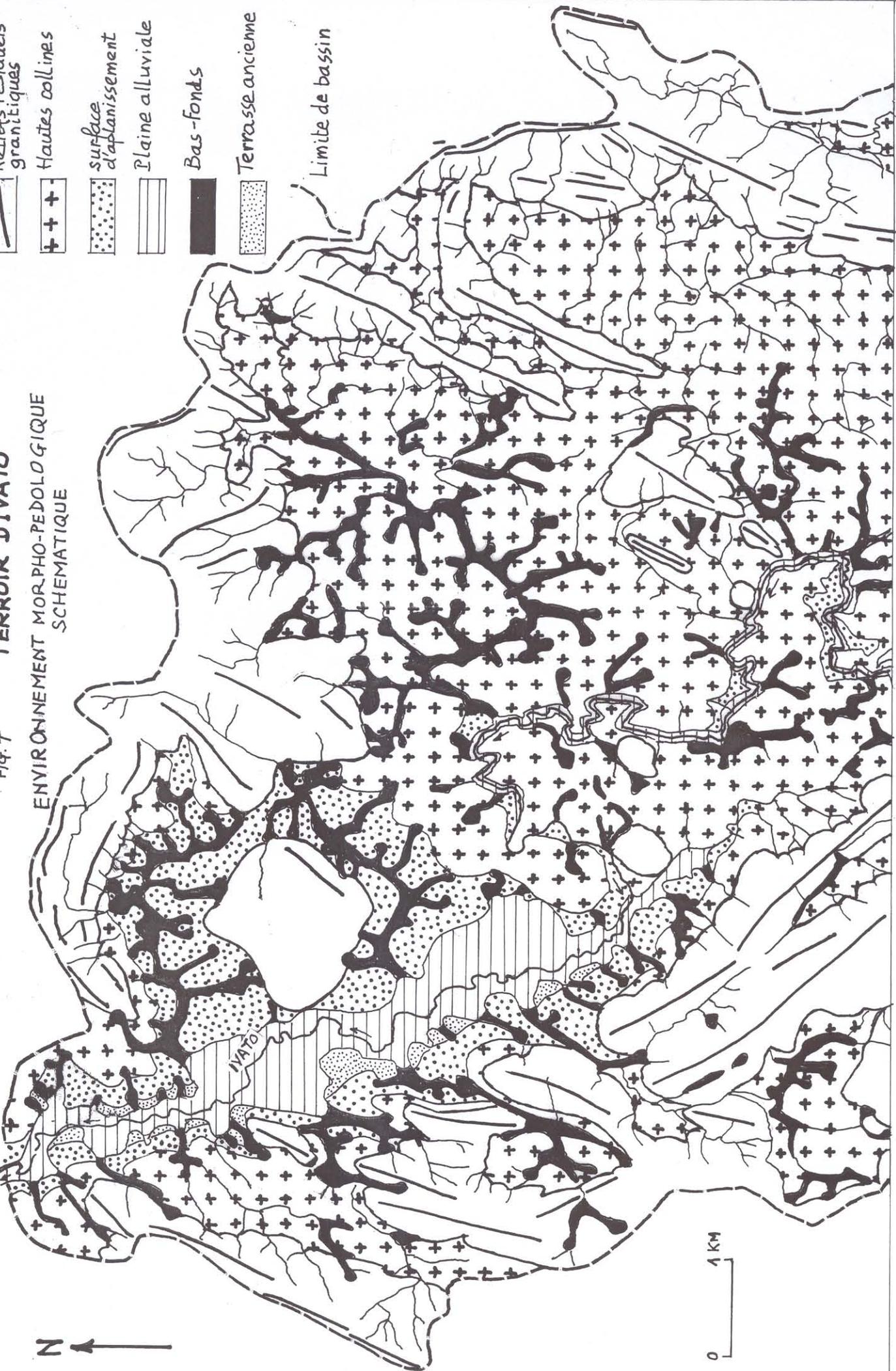
Le périmètre rizicole occupe la plaine de la **rivière Ivato** (un affluent de rive gauche de la Mania), d'environ 1 km de large. Le bassin versant total fait 190 km². La rive droite est alimentée par un canal d'amenée branché en amont sur un barrage déversoir de l'Ivato. La rive gauche est mal irriguée. Ses deux principales vallées adjacentes sont irriguées par des canaux en prise sur quatre anciens petits barrages de dérivation.

I VATO-ALAKAMISY

Fig. 7 TERROIR D'IVATO

ENVIRONNEMENT MORPHO-PEDELOGIQUE SCHEMATIQUE

- Reliefs résiduels granitiques
- Hautes collines
- surface d'aplanissement
- Plaine alluviale
- Bas-fonds
- Terrasse ancienne
- Limite de bassin



N

0 1 KM

711 – Les tanety environnantes

Le bassin versant général est délimité par des **reliefs résiduels à affleurements granitiques** et sols aréniques sur altérite décapée. Ils dominent vers 1700-1800 mètres d'altitude.

Orientés vers le système de l'Ivato, à environ 1500 mètres d'altitude, se trouvent des lambeaux de **surface d'aplanissement** (âge tertiaire) actuellement disséquée en plateaux, particulièrement bien déployés et conservés en « glaciis-plateaux » sur la rive droite de l'Ivato. Sur la rive gauche, ces restes de surface sont plus courts. C'est dans cette unité de paysage que sont emboîtés la plupart des bas-fonds rizicultivés. Les **versants de raccordement** entre les deux unités ont des pentes de l'ordre de 20-30 %.

Entre les reliefs résiduels des crêtes et les plateaux cultivés donnant sur la plaine, se trouve un fouillis de **hautes collines convexes** entre 1500 et 1650 mètres d'altitude, à pentes généralement fortes, un peu moins cultivées. A titre documentaire, signalons que ces hautes collines d'altitudes variables représentent probablement des reliefs dérivés d'une surface d'aplanissement antérieure.

Les sols de tanety sont bien entendu des **sols ferrallitiques** à divers niveaux de troncature. Les plus « intéressants », car généralement peu tronqués, sont ceux des plateaux résiduels des surfaces d'aplanissement. De teinte rouge, argileux, ils sont cependant riches en sables quartzeux, leur conférant comme toujours **une certaine compaction** (faible structuration) en dessous de la zone travaillée à l'angady.

Autour de la plaine, ces sols sont les plus cultivés des tanety. La plupart des villages y sont implantés. Les plateaux n'étant pas plats mais souvent « retouchés » et à pente variant entre 0 et 20 %, les agriculteurs y ont façonné la plupart du temps des « **pseudo-terrasses** » séparées par des talus de 1 à 3 mètres, tendant à « **rectifier** », artificiellement et progressivement la pente.

De tels travaux faits à l'angady ont autant pour objectifs de faciliter les travaux des cultures que de **freiner et répartir le ruissellement** pour ralentir l'érosion. Dans le cadre du projet BVPI ils sont bien sûr à conserver et à encourager. Ils pourraient être complétés par un habillage végétal arbustif (fourrager ou non, ou fruitier selon l'objectif) ou par de grandes herbes (*Pennisetum*, Vetiver...). Certains paysans le font déjà.

Les sols des pseudo-terrasses varient entre l'amont (raclé) et l'aval (remblayé), ce dernier paraissant plus intéressant car peut être plus riche en matière organique et plus meuble.

Y sont cultivés pois de terre, arachide, manioc, haricot, patate douce... Les cultures exigeantes comme maïs, soja ou riz pluvial demandent, pour être productives, un sol régénéré par écobuage du fumier, si possible des engrais et approfondi par quelques années de plantes de couverture associées ou seules, à rôle de pompe biologique.

Quant aux **hautes collines** des bassins versants « proches », défavorables par leurs pentes et leurs sols ferrallitiques tronqués donc **plus compacts**, leur vocation serait plutôt forestière, dans certains cas **pastorale fourragère** pour les bêtes des villages. Des fourrages améliorés et bien gérés à base de *Brachiaria* et *Stylosanthes*, pourraient couvrir une partie de ces espaces.

Unité de paysage		Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Reliefs résiduels		Granites	Hauts-reliefs à pentes fortes Position dominante	Affleurements rocheux et sols ferrallitiques fortement tronqués	Fort ruissellement	Pentes très fortes Sols sableux compacts
Hautes collines		Granites ou gneiss	Collines convexes à fortes dénivelées et à pentes fortes encore peu cultivées, lavakas	Sols ferrallitiques rouges ou ocres, faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes fortes. Très forts risques d'érosion
Surfaces d'aplanis- sment	Bien conservées	Granito-gneiss	Plateaux bien conservés ou légèrement ondulés	Sols ferrallitiques argileux rouges non tronqués	Faible ruissellement et forte infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Peu de contraintes Déficience en phosphore
	Collines dérivées		Basses et moyennes collines convexes généralement cultivées	Sols ferrallitiques argileux rouges faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes à risques d'érosion
			Basses et moyennes collines convexes cultivées aménagées en « pseudo-terrasses »	Sols ferrallitiques argileux rouges faiblement tronqués, raclés et remblayés par les paysans	Id. mais infiltration favorisée et ruissellement étalé	Pentes « rectifiées » à moindre risques d'érosion Renforcer les pseudo- terrasses avec des haies
Versants de raccordement				Versants à pentes fortes	Sols ferrallitiques rouges tronqués	Très fort ruissellement
Bas-fonds		Matériau de fluage ou alluvions sableuses	Petites vallées à fonds plats	Tourbeux	Nappe phréatique en surface	Difficile à rizicultiver sans recouvrement argileux
				Non tourbeux	Nappe phréatique proche de la surface	Maîtrise de l'eau
Plaine alluviale (niveau moyen)		Alluvions argileuses	Horizontalité ou très faibles dénivellements	Sols hydromorphes rizicultivés argileux	Riziculture irriguée Inondations épisodiques	Pas de contraintes pour la riziculture si arrivée d'eau
Cuvettes de décantation		Alluvions très argileuses	Légères dépressions	Sols hydromorphes inondables très argileux, non tourbeux	Inondations fréquentes et de longue durée	Lame d'eau trop importante pouvant gêner la riziculture
Bourrelets de berge		Sables et limons micacés	Légers bombements de part et d'autre de la rivière	Sols sablo-limono-micacés légèrement hydromorphes	Inondations rapides lors du débordement	Peu de contraintes - Bons sols Les cultures « pluviales » peuvent être arrachées
Terrasses		Alluvions anciennes	Petits plateaux en bordure des plaines et bas-fonds	Anciens sols hydromorphes, généralement argilo- sableux compacts	Ruissellement et infiltration Nappe phréatique vers 3 mètres	Sols très compacts, très peu « fertiles »

Tableau 3 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DU TERROIR DE IVATO

712 – Le système de vallées

En amont d'Ivato-Alakamisy, le bassin versant de l'Ivato possède un réseau hydrographique hiérarchisé. Les parties amont qui descendent des reliefs résiduels et hautes-collines sont pentues et drainent des sédiments sableux qui rejoignent les petites plaines des principaux affluents de l'Ivato (autres que les bas-fonds « calmes ») puis l'Ivato elle-même. Celle-ci se décharge de ses sédiments grossiers (sables quartzomiacés) en débouchant dans la plaine où on observe un **bourrelet de berge** net et souvent des rizières ensablées.

Les sédiments les plus fins (limons, argiles) décantent dans la **plaine inondable** qui peut faire plus d'un kilomètre de large. Cette plaine du périmètre BVPI est actuellement totalement rizicultivée. Malgré son apparente uniformisation par les rizières, elle ne présente pas un plancher strictement horizontal mais un **méso-modelé alluvial** avec des cuvettes plus au moins larges (y compris des anciens méandres) se drainant plus lentement et des points hauts d'anciens bourrelets où l'eau s'évacue plus vite. La dominance granulométrique est **argileuse** (sans ou avec peu de tourbe) mais où des lentilles de sable ne sont pas exclues, surtout dans la moitié amont de la plaine où les sédiments grossiers se sont déchargés les premiers.

Plaine rizicole par excellence ainsi que ses plaines adjacentes de rive gauche (peut être plus sableuses), selon les endroits elle peut être cultivée en **contre saison** (maraîchage, orge, vesce, avoine...) avec 3 sources d'eau possibles : la **réserve du sol** après la récolte du riz, la **remontée capillaire de la nappe phréatique** et l'**irrigation** par les canaux d'amenée, spécialement sur la rive droite de la grande plaine et dans les petites vallées de rive gauche.

L'alimentation par capillarité est envisageable en **certaines situations éloignées du drain naturel de la rivière**, hors rabattement de la nappe (elle doit rester à moins de 80 cm de profondeur) et à l'abri des couches sableuses.

Défonçant les surfaces d'aplanissement et non alimentés par les cours d'eau issus des reliefs résiduels, les **bas-fonds** plus ou moins encaissés, à têtes en amphithéâtre, à l'origine tourbeux, ont été remblayés anthropiquement pour la riziculture. Les bas-fonds sont particulièrement denses en périphérie du Massif de Ialamihérina (relief résiduel) sur la rive droite de la plaine. Les paysans, comme toujours, ont court-circuité les sourcins de bas de versants, (nappe phréatique affleurante) pour alimenter les rizières.

Dans les bas-fonds, les cultures de contre-saison sont souvent possibles car la nappe est toujours proche de la surface.

Les terrasses anciennes : elles frangent systématiquement, tout en étant morcelées, les bordures des plaines et bas-fonds. Situées à quelques mètres au-dessus du plancher alluvial « actuel », elles ne sont rizicultivées que si un canal d'irrigation les domine (rive droite de la plaine). Sinon **elles sont très peu cultivées** (manioc, patate douce), du fait de la faible qualité, physique et chimique, des sols. Ceux-ci, gris-jaunâtres, sont argilo-sableux et très **compacts**. La nappe y est à plus de 3 mètres en saison sèche, sauf situations exceptionnelles.

72 – Les terroirs de Fitakimerina et d’Ampandrotrarana (fig. 8)

Ces périmètres (fig. 8) sont situés à 20-25 km au sud d’Antsirabe, à l’est et au sud-est du gros village de **Vinaninkarena**, sur la rive gauche de la rivière **Manandona**.

Fitakimerina est (sera) irrigable à partir de deux barrages de dérivation dont l’un avec retenue amont sur la **Manandona** et de trois prises sur deux affluents de rive gauche de cette même Manandona.

L’escarpement du **Mandray** (faille), de 100 à 150 mètres de dénivelée, domine les périmètres entre son piémont et la Manandona.

Sont irriguées des plaines alluviales et des tanety aménagées en terrasses.

Le bassin versant d’alimentation est très grand puisqu’au niveau de Vinaninkarena le bassin de la Manandona fait environ 360 km², l’amont étant à Sambaina.

Ampandrotrarana (parfois intégré dans l’ensemble « Ibity »), situé environ 5 km plus au sud, non encore réhabilité, le sera à partir d’un vieux barrage de dérivation situé 1 km à l’est du village, sur un affluent de la Manandona. Seront irriguées (mieux qu’actuellement), toujours en contre bas de l’escarpement du Mandray, la plaine alluviale d’Anosibe ainsi que des tanety à pentes faibles (moins de 15 %) en terrasses. Le bassin d’alimentation est de faible superficie (15 km²).

721 – Quelques indications sur la géologie de ces sites

Nous sommes ici sur la partie méridionale des vieilles **alluvions volcano-lacustres** des bassins de Betampona et d’Antsirabe. Quelques mots sur la genèse de ce vaste ensemble qui s’étend d’Ambohibary-Sambaina au nord à Vinaninkarena au sud :

La fin de l’ère tertiaire (2 à 7 millions d’années) a été mouvementée, géologiquement parlant, dans cette région. Des quantités de laves basaltiques (dites de volcanisme ancien) ont formé le massif de l’Ankaratra. Une fracture (faille) majeure orientée N-S s’est produite, à l’origine du grand escarpement du Betampona, d’environ 50 km de long, entre 100 et 400 mètres de dénivelée. Il s’en est suivi un **vaste effondrement** où s’est installée une étendue lacustre (121 km²) allongée également Nord-Sud.

Une deuxième faille d’effondrement (**faille du Mandray**) a délimité un deuxième bassin allongé un peu plus à l’ouest et parallèle au précédent. Il s’agit du **bassin volcano-lacustre d’Antsirabe** proprement dit (121 km²). Pendant la fin du tertiaire (pliocène) et le début du quaternaire (pleistocène), soit pendant environ 1 à 2 millions d’années, se sont accumulés dans les bassins lacustres, des sédiments alluviaux alimentés par l’érosion des reliefs périphériques et par les **retombées de projections volcaniques**. Ces dernières étaient issues du volcanisme « intermédiaire » (voir plus loin) du pleistocène (il y a environ 1 million d’années) à l’Ouest d’Antsirabe dont les coulées, cratères et projections ont contribué à verrouiller davantage le bassin lacustre.

Sans entrer dans les détails, disons que les dépôts lacustres sont composés dans la partie supérieure qui nous intéresse, de superpositions et imbrications de **couches argileuses** de différentes couleurs (orange, blanchâtre ou jaunâtre) et de **couches de cinérites et tufs basaltiques** (cendres soudées sous l’eau) de teinte blanchâtre. Il y a peu de couches sablo-

quartzeuses, puisque les dépôts ont surtout une origine volcanique, (basaltes, sans quartz) même les sédiments issus de l'érosion des bassins.

Tous ces dépôts montrent une **stratification** sub-horizontale très nette. L'épaisseur, dans le bassin d'Antsirabe est de l'ordre de 40 à 100 mètres (dans le bassin de Betampona plus au nord, l'épaisseur peut être plus importante). Les dépôts reposent directement sur l'altérite granito-gneissique du socle, comme on l'observe bien sur les tranchées de route, aux bas des versants donnant sur les grandes vallées type Manandona.

722 – Les tanety : modelés et sols

Sur les périmètres eux-mêmes trois types de modelés peuvent exister (hors escarpement du Mandray) :

- Le plancher sub-horizontale des **alluvions lacustres**,
- Les **versants de raccordement** plaine lacustre-plaine alluviale,
- Les **collines granito-gneissiques** non recouvertes d'alluvions lacustres.

7221 - Le plancher alluvio-lacustre

Modelé dominant, il forme des **plateaux** à peu près horizontaux dominant les plaines et vallées alluviales du système de la Manandona, le plus souvent encaissées de 40 à 80 mètres. Sur le périmètre, l'altitude des plateaux est d'environ 1500 m.

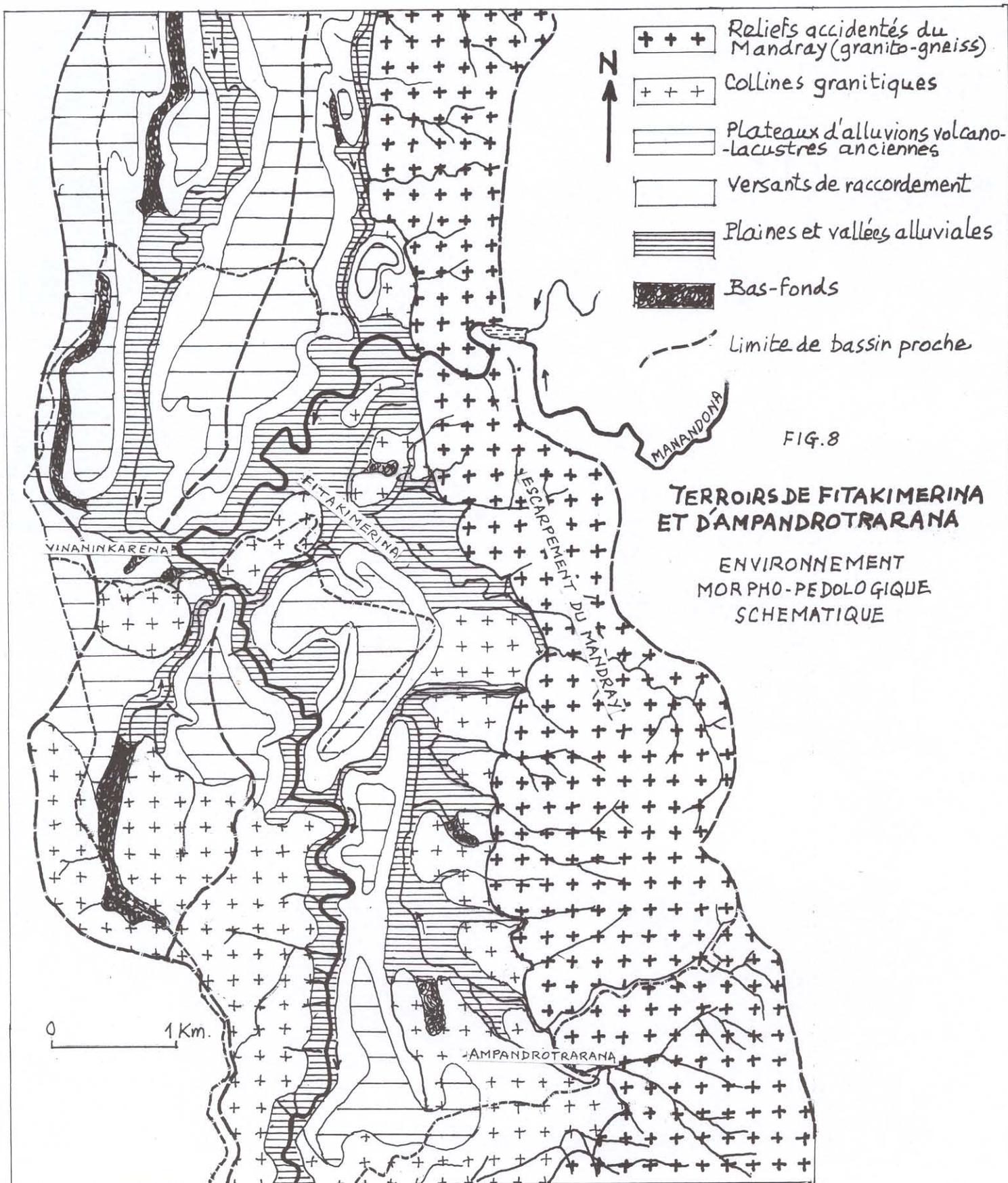
Localement, s'emboîtent dans ce plancher lacustre des bas-fonds rizicultivés peu enfoncés, de largeur constante et faible (20 à 60 mètres), à sols semi-tourbeux.

Peuvent exister aussi des zones légèrement dépressionnaires, de 100 à 200 mètres de large, à sols plus sombres (moindre minéralisation de la matière organique) et engorgement temporaire, où les agriculteurs cultivent du maïs après drainage naturel.

Les sols de cette vaste unité de paysage sont des **sols ferrallitiques** de teinte brun-ocre en surface (0-25 cm), ocre en profondeur. Ces sols, du moins dans le bassin d'Antsirabe, comparés aux sols sur granito-gneiss environnants et aux sols du bassin lacustre de Betampona, sont plutôt intéressants avec globalement, une **meilleure fertilité**. La présence de cendres volcaniques et l'absence de sables quartzeux y sont sans doute pour quelque chose.

Les sols sont **finement structurés en surface** (structure grenue à polyédrique fine) avec une bonne activité biologique dont des vers de terre. Le taux de matière organique y varie entre 4 et 6 %. En dessous, plus compact, les racines descendent jusqu'à 35 cm, la matière organique y est encore présente (turricules de vers de terre), avec 1 à 3 %. Après 35 cm la compacité est plus marquée, la structure est plus grossière (polyédrique moyenne), les racines moins nombreuses, mais ce matériau est améliorable plus aisément que sur granito-gneiss. L'absence de sables quartzeux dans les alluvions volcano-lacustres expliquent ces propriétés plus avantageuses.

Du point de vue chimique ces sols présentent une **faible fertilité**. Ils ont un pH acide (5,1 à 5,5). Néanmoins, relativement aux sols sur granito-gneiss ils sont quand même plus intéressants.



- +++ Reliefs accidentés du Mandray (granito-gneiss)
- + + + Collines granitiques
- ▬ Plateaux d'alluvions volcanolacustres anciennes
- ▭ Versants de raccordement
- ▬ Plaines et vallées alluviales
- Bas-fonds
- - - Limite de bassin proche

FIG. 8

TERROIRS DE FITAKIMERINA ET D'AMPANDROTRARANA

ENVIRONNEMENT MORPHO-PEDOLOGIQUE SCHEMATIQUE

0 1 Km.

D'ailleurs, dans la région, ils sont tous cultivés (pas de jachère), parfois en maïs ce qui montre qu'ils ont un certain potentiel. Les agriculteurs les recherchent de préférence à ceux sur granito-gneiss. La qualité est grandement améliorable en **systèmes SCV** : approfondissement biologique (*Stylosanthes*, *Brachiaria*, Crotalaire, *Cajanus*...), pompe biologique évitant le drainage et la perte d'éléments minéraux, couverture permanente pour le micro-climat et l'activité biologique. En l'absence d'irrigation ces sols ne sont pas cultivables en contre-saison excepté peut être (plutôt en demi-saison) dans les cuvettes de suffosion qui restent humides plus longtemps.

Une proportion assez importante des plateaux est actuellement aménagée en rizières, irriguées par les canaux du dispositif hydraulique. S'il y a assez d'eau en saison sèche, une certaine proportion de rizières peuvent bénéficier d'une deuxième culture (orge, ray-grass, avoine, vesce, lupin, trèfle, pomme de terre...) intégrée en système SCV.

7222 – Les versants de raccordement plaine lacustre/plaine alluviale

Unité de paysage importante en superficie, ces versants sont particulièrement **sensibles à l'érosion**, menaçant les canaux d'amenée d'eau qui les traversent et les plaines rizicoles situées en contrebas.

La pente, selon les endroits, peut varier entre 20 et 60 % à tel point que certains sites ne sont pas cultivés.

Les sols sont généralement tronqués et compacts avec une faible teneur en matière organique.

Lorsque ces versants ne sont pas aménagés en terrasses rizicoles, les agriculteurs, pour leurs cultures pluviales, les ont façonnées en **pseudo-terrasses**, rectifiant ainsi progressivement la pente. Elles sont bien sûr à conserver et si possible à renforcer et à habiller avec des haies herbacées (bana grass) ou arbustives, fruitières ou fourragères, ne faisant pas de compétition aux cultures.

Sur ces versants, la couverture permanente du sol devra être particulièrement surveillée, si nécessaire le cas échéant avec paillage manuel.

7223 – Les collines granito-gneissiques

Il ne s'agit pas ici de l'escarpement montagneux que constitue la faille du Mandray (dont la meilleure utilisation serait **le reboisement**), mais des collines non recouvertes par les alluvions lacustres qui sont situées en son **piémont**, ou qui émergent en « **ilots** » au sein de la plaine alluviale lacustre.

Ces collines présentent des pentes variables (entre 12 et 30 %), les plus élevées étant près de l'escarpement.

Les sols y sont des **ferrallitiques rouges ou roses**, le plus souvent tronqués, argilo-sableux, assez compacts (identiques à ceux du site d'Ibity/Mahazina). On y trouve quelques lavaka, surtout sur Ampandrotrana.

Unité de paysage	Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Escarpelement du Mandray	Granite et gneiss	Hauts-reliefs à pentes fortes Position dominante	Affleurements rocheux et sols ferrallitiques fortement tronqués	Fort ruissellement	Pentes très fortes Sols sableux compacts. Erosion
Collines	Granito-gneiss	Collines émergeant en « ilots » au-dessus des alluvions lacustres, lavakas	Sols ferrallitiques rouges faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes fortes. Risques d'érosion Quelques lavaka Sols compacts
Plateaux alluvio-volcano- lacustres	Alluvions volcano- lacustres	Plateaux bien conservés ou légèrement ondulés	Sols ferrallitiques argileux ocres ou jaunes, non tronqués	Faible ruissellement et forte infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Peu de contraintes Défiance en phosphore
Versants de raccordement		Versants à pentes fortes	Sols ferrallitiques rouges tronqués	Très fort ruissellement	Pentes fortes Forts risques d'érosion
Bas-fonds	Matériau de fluage	Petites vallées à fonds plats	Tourbeux	Nappe phréatique proche de la surface	Maîtrise de l'eau souvent difficile
Plaine alluviale (niveau moyen)	Alluvions argileuses à sableuses	Horizontalité ou très faibles dénivellations	Sols hydromorphes rizicultivés argileux	Riziculture irriguée Inondations épisodiques	Pas de contraintes pour la riziculture si arrivée d'eau
Cuvettes de décantation	Alluvions très argileuses	Légères dépressions	Sols hydromorphes inondables très argileux, non tourbeux	Inondations fréquentes et de longue durée	Lame d'eau trop importante pouvant gêner la riziculture
Bourrelets de berge	Sables et limons micacés	Légers bombements de part et d'autre de la Manandona	Sols sablo-limono-micacés légèrement hydromorphes	Inondations rapides lors du débordement	Peu de contraintes - Bons sols Les cultures « pluviales » peuvent être arrachées
Terrasses	Alluvions anciennes	Petits plateaux en bordure des plaines et vallées	Anciens sols hydromorphes généralement argilo- sableux compacts	Ruissellement et infiltration	Sols très compacts, très peu « fertiles »

Tableau 4 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DES TERROIRS DE FITAKIMERINA ET D'AMPANDROTRARANA

La plupart du temps ces collines ne sont pas cultivées, les agriculteurs préférant avec raison les sols ocres sur alluvions lacustres, plus faciles à travailler.

Cependant au pied du Mandray et en contrebas des canaux qui y serpentent, quelques versants sur granito-gneiss sont aménagés en terrasses rizicoles.

Pour les récupérer en cultures pluviales, il faudra plusieurs années en gestion SCV ; le « boostage » par un écobuage initial afin de libérer rapidement du phosphore assimilable y sera particulièrement recommandé. Fumier, engrais, dolomie seront nécessaires (à conditions de prévoir une pompe biologique efficace pour économiser les doses) pour les cultures exigeantes tels maïs, soja, riz pluvial.

723 – Le système de vallées

Il concerne **les plaines de la Manandona et de ses affluents** de rive gauche, toutes rizicultivées. A l'Ouest de Vinaninkarena, la plaine de la Manandona a une largeur de 800 mètres. L'autre plaine importante est celle d'**Anosibe**, au Sud, qui dépendra du périmètre de Ampandrotrarana quand il sera réhabilité.

Toutes les rivières descendent du massif du Mandray et, excepté la Manandona, possèdent des bassins versants montagneux à pentes très fortes sur roches granito-gneissiques, du massif du Mandray. La Manandona possède la plus grande partie de son bassin sur le plancher alluvio-lacustre de Betampona ainsi que son escarpement de faille lui-même.

Toutes les plaines alluviales sont incisées par leurs rivières sur 2 à 4 mètres. Pour la Manandona, un méso-relief de bras morts et de cuvettes de décantation existe. Un bourrelet de berge sablo-limono-micacé, souvent submergé par les crues, est visible dans la moitié amont de la plaine, en aval du débouché de la rivière après le Mandray. Les sédiments sont à **dominance argileuse** mais de nombreux niveaux sableux s'y trouvent, spécialement dans la plaine d'Anosibe débouché des rivières du Mandray.

Les sols des plaines ne montrent pas de tourbes. Ils sont de teinte grise, marmorisés (hydromorphie), pauvres en matière organique.

Comme toujours, **une terrasse alluviale ancienne**, discontinue, gris-jaune, à galets à la base, et à sols argilo-sableux compacts, se trouve perchée 2 à 4 mètres au-dessus du plancher « actuel ». Ces terrasses sont le plus souvent aménagées en rizières et irriguées.

Pour la contre-saison, s'il n'y a pas assez d'eau d'irrigation, des situations favorables, plutôt en bordures de vallées (loin de la rivière-drain centrale) ou dans les cuvettes, existent, là où la nappe se maintient à faible profondeur, suffisamment pour entretenir un **flux capillaire** jusqu'aux systèmes racinaires. Dans ce cas, de nombreuses cultures de contre-saison sont possibles.

73 – Le terroir de Ikabona (fig. 9)

Ce périmètre (fig. 9) est situé 8 kilomètres au nord de Betafo, à une altitude de 1600-1750 mètres. C'est le plus haut de tous les sites BVPI.

Nous sommes ici sur le **volcanisme « intermédiaire » du Vakinankaratra**. Le bassin-versant général, d'une surface approximative de 160 km² au nord, et dont l'altitude atteint 2200 mètres, est composé de différents matériaux : socle granito-gneissique (appartenant au massif des Vavavato), basaltes du volcanisme ancien et basaltes du volcanisme intermédiaire (voir plus loin). La prise d'eau principale (barrage de Ikabona) est situé sur la rivière Fitamalama, au nord du périmètre. Un canal principal suit l'altitude 1840 mètres à flanc de tanety dont le **volcan Mahatsinjo** qui domine à 1877 mètres et d'où ont été issues la majeure partie des coulées basaltiques du périmètre, façonnées en rizières en terrasses pour une grande partie. Des canaux secondaires partent de ce canal principal.

731 – Quelques indications sur le volcanisme et la géologie sur et autour du périmètre

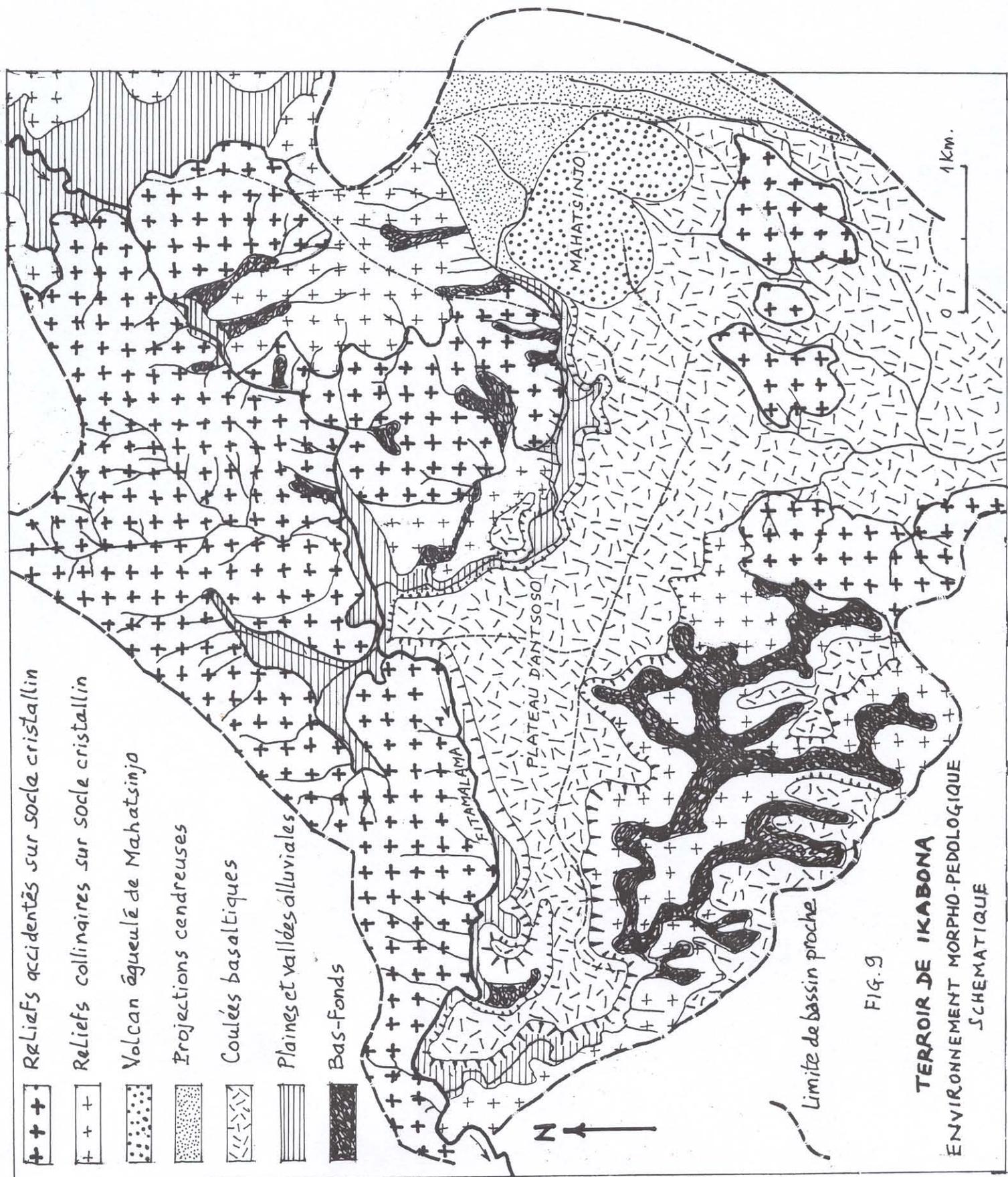
Quelques informations sur la chronologie du volcanisme dans le Vakinankaratra sont indispensables pour comprendre la répartition des matériaux.

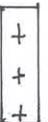
Pour simplifier, on peut dire qu'il y a eu trois phases (périodes) de volcanisme basaltique :

- **Le volcanisme « ancien »** : ces laves basaltiques dateraient d'il y a environ 7 millions d'années (âges miocène et pliocène, de l'ère tertiaire). Ces basaltes constituent l'essentiel du **massif de l'Ankaratra**. On n'y reconnaît plus la forme des édifices volcaniques et des coulées qui ont été très altérés (sols ferrallitiques) et très disséqués.
- **Le volcanisme « intermédiaire »** : toujours composé de basaltes, cette phase de l'ère quaternaire daterait d'environ 80.000 -100.000 ans (pleistocène récent). Elle est composée de nombreux cônes volcaniques et coulées de lave, **encore très visibles dans le paysage**. Les sols, brun-rouge, de 1 à 3 mètres ne sont pas encore des ferrallitiques classiques. C'est sur ces coulées que repose l'essentiel du périmètre de Ikabona.
- **Le volcanisme « récent »** : il constitue le volcanisme dont les formes sont les plus parfaitement conservées. Il daterait de 10.000 à 20.000 ans. On reconnaît ses édifices et ses projections de cendres et lapilli, en particulier à l'est de Betafo et à Tritriva. Les sols sur coulées y sont inexistantes. Les sols jeunes sur cendres et lapilli sont des sols gris-brun-jaunâtres, riches à l'origine, appelés **andosols** ou sols brunsandiques. Nous les verrons sur le périmètre de **Iandratsay**.

732 – Modelés et sols sur le volcanisme intermédiaire d'Ikabona

La plupart des coulées de lave sont sorties du **volcan de Mahatsinjo** (1877 mètres d'altitude). Ces coulées fluides ont comblé et dévalé des vallées et gouttières existantes à l'époque, entre les collines du socle granito-gneissique. Une partie est allée vers Tsaratanana et Antsoso et forme l'actuel **plateau d'Antsoso** large de près de 2 km, en



-  Reliefs accidentés sur socle cristallin
-  Reliefs collinaires sur socle cristallin
-  Volcan égueulé de Mahatsinjo
-  Projections cendreuses
-  Coulees basaltiques
-  Plaines et vallées alluviales
-  Bas-fonds

Limite de bassin proche

FIG. 9

TERRAIRE DE IKABONA
 ENVIRONNEMENT MORPHO-PÉDOLOGIQUE
 SCHEMATIQUE

position actuelle « d'inversion de relief » c'est-à-dire que l'érosion dans le socle granito-gneissique, autour, l'a amenée d'une position originelle de fond de vallée à une position actuelle de plateau.

Un autre grand ensemble, rejoignant les coulées du volcan Tramponga plus à l'est, après Mahazoarivo et Ampanda, a dévalé vers Betafo et la vallée de l'Iandratsay sur une largeur de deux kilomètres.

Toutes ces coulées ont recouvert des sols ferrallitiques sur socle granito-gneissique. On observe ces derniers en bas de certains versants sur les tranchées de route.

A l'inverse, des reliefs granito-gneissiques n'ont pas été recouverts et peuvent subsister en « **ilots** » au milieu des coulées. L'épaisseur des coulées est variable, mais peut faire une bonne vingtaine de mètres. En dévalant, la lave a formé de nombreuses irrégularités topographiques. **La pente n'est pas régulière mais rugueuse**, coupée de nombreux ressauts et bourrelets à affleurements basaltiques, séparant des replats. Mais globalement la pente générale est de l'ordre de 5-15 %.

Les sols sur ces basaltes ne sont pas assez anciens (moins de 100.000 ans), pour être de vrais ferrallitiques épais.

Ce sont des sols de 50 à 200 cm de profondeur, ne présentant **pas de zone d'altération épaisse**. On trouve vite (transition de moins de 20 cm) le basalte noir (scoriacé, bulleux) sain.

Le sol est globalement de teinte rouge sombre ou chocolat (nous les appellerons les « **sols chocolat** »).

En culture pluviale, l'horizon humifère, sombre, bien développé, est **très friable**, souvent granuleux, poussiéreux ou **cendreux**. Le taux de matière organique est **élevé** (10 à 15 %). Les racines sont toujours très nombreuses, surtout les racines fasciculées qui colonisent tout l'horizon.

Un horizon intermédiaire, de 20 à 40 cm d'épaisseur, est encore riche en matière organique (jusqu'à 10 %) et en racines. La consistance est **friable** et les mottes se délitent aisément.

L'horizon « B », de 50 à 100 cm, de teinte chocolat à rouge sombre, est homogène et présente une structure polyédrique émoussée encore friable.

Ces sols, bien qu'acides (pH 5 à 6) et à complexe adsorbant désaturé, **sont considérés comme intéressants par les agriculteurs**, en tout cas beaucoup plus que les ferrallitiques sur granito-gneiss. Leur fertilité est due essentiellement à leur absence de compaction et à leur richesse en matière organique **qui accroît la capacité d'échange du sol** dans les 30 à 60 premiers centimètres.

A titre documentaire, disons que ces sols sont presque totalement constitués **d'oxydes de fer** (hématite) et **d'aluminium** (gibbsite). Ces éléments, en l'absence d'argile de type kaolinite, associés à la matière organique, confèrent cette friabilité (aspect cendreux) aux sols. L'absence d'argile est due à l'extrême drainabilité des coulées scoriacées et des sols

Unité de paysage	Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Cône volcanique (volcanisme intermédiaire)	Pouzzolanes basaltiques	Volcan égueulé	Sols brun-rouge peu épais	Ruissellement et infiltration	Pentes trop fortes Sols peu épais
Coulée de lave (volcanisme intermédiaire)	Basalte bulleux ou scoriacé	Surface bosselée à pente générale inférieure à 12 % Nombreuses terrasses rizicoles	Sols brun-rouge à « chocolat » de 50 à 200 cm d'épaisseur, à consistance poussiéreuse, riches en matière organique	Bonne infiltration, drainage rapide (sauf si sols de rizières, modifiés)	Pas de contraintes majeures. Mais sols érodibles en cultures pluviales. Carence en phosphore
Versants à pentes fortes Sur socle	Granito-gneiss	Pentes fortes	Sols ferrallitiques brun-jaune tronqués, sableux, ravinés	Fort ruissellement érosif	Pentes trop fortes Sols compacts Forte érosion
Collines sur socle		Pentes moyennes	Sols ferrallitiques rouges, argileux, faiblement tronqués	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes érodibles. Sols assez compacts Carence en phosphore
Vallées alluviales	Alluvions riches en sable	Sub-horizontalité transversale Pente longitudinale	Sols hydromorphes à texture variée, souvent sableuse	Cours d'eau parfois torrentiels à débordement	Crues pouvant être violentes. Dégâts à la riziculture

Tableau 5 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DU TERROIR D'IKABONA

qui ont permis à la silice (déjà faiblement présente dans la roche) d'être presque totalement lessivée avant qu'elle puisse participer à la formation de kaolinite.

Beaucoup de ces sols, lorsqu'ils sont transformés en sols de rizière, changent de propriétés physiques en devenant des sols hydromorphes plus massifs et plus imperméables, permettant de maintenir une lame d'eau.

En cultures pluviales, ces sols chocolat, du fait de leur faible tenue structurale et de leur pulvérulence, sont **très sensibles à l'érosion**, et ceci davantage quand la pente augmente (elle peut atteindre 15 %) et quand les intensités de pluies sont fortes à très fortes (le plus souvent). Les SCV y sont donc particulièrement adaptés. Il y a une **contrainte climatique**. A ces altitudes les températures sont plus basses (moyenne annuelle à 1700 mètres : 16°C, moyenne des minima en juillet : 5°C ; moyenne des minima absolu en juillet : -4°C). Les cycles culturaux sont plus longs, ce qui est gênant pour l'installation des plantes de couverture. La **carence en phosphore assimilable** (générale à Madagascar) peut justifier la pratique de l'écobuage à intervalles pas trop rapprochés.

733 – Modelés et sols sur le socle granito-gneissique

Une partie du périmètre, en contrebas du canal principal (dans sa partie nord) est composée de versants sur granito-gneiss. Ces versants présentent le plus souvent de fortes pentes (12 – 40 %), orientées vers la rivière Fitamalama et ses affluents.

Leur mise en culture pluviale ne doit pas être encouragée au-delà de 20 % de pente. La vocation y est davantage au reboisement. Un certain nombre de versants sont aménagés en terrasses rizicoles car irrigables. Sur les pentes inférieures à 20 % les agriculteurs déjà installés ont aménagé leurs terres en pseudo-terrasses dont l'aval devrait être végétalisé en espèces herbacées ou arbustives, utiles.

Les sols ferrallitiques sont le plus souvent tronqués, avec la zone d'altération proche de la surface. Leurs propriétés, physiques comme chimiques, sont mauvaises. L'écobuage libérant le phosphore peut faire office de « starter », qui ensuite sera suivi d'une gestion SCV avec apport de fumier et/ou d'engrais. Les plantes de couverture seules durant au moins 2 ans pour « faire » le sol sont, si possible, à préconiser avant l'installation des cultures.

734 – Les vallées

Sur le périmètre, il y a peu de bas-fonds au sens habituel du terme, c'est-à-dire sans cours d'eau et à faible sédimentation minérale.

Ici, **la vallée principale de la Fitamalama** et ses affluents de rive gauche (la rive droite est exclue des aménagements) ont une pente longitudinale assez forte, avec de nombreux resserrements rocheux séparés par des biefs (larges replats alluviaux) rizicultivés. Les sédiments sont argilo-sableux à lentilles de sables et graviers quartzeux. Les cours d'eau sont bien enfoncés et excluent le plus souvent la culture de contre-saison sans irrigation.

74 – Le terroir de Iandratsay (fig. 10)

Ce périmètre (fig. 10) à 10 km à l'est de Betafo et à 1500 mètres d'altitude, est situé à la confluence de la rivière Sahanatsindry avec la plaine de Iandratsay. Le bassin versant général possède une superficie d'environ 75 km² et monte jusqu'à 2200 mètres d'altitude. Nous sommes ici dans un environnement de **volcanisme récent** (10.000 – 20.000 ans).

Les 3 prises principales sont branchées sur la **Sahanatsindry**. Les canaux courent en bas des tanety et se poursuivent vers Betafo et vers Antsirabe, dominant la rive droite de la plaine de Iandratsay.

741 – Tanety et sols sur volcanisme récent

Une grande partie du périmètre a été marquée par les émissions de laves basaltiques issues des gros massifs volcaniques situés à l'ouest de l'Antsifotra (1788 m), du Iavoko (1837 m) et d'autres édifices plus éloignés. Ces édifices volcaniques ont émis des **coulées de lave** rugueuse et des **projections** (pouzzolanes, lapilli, cendres).

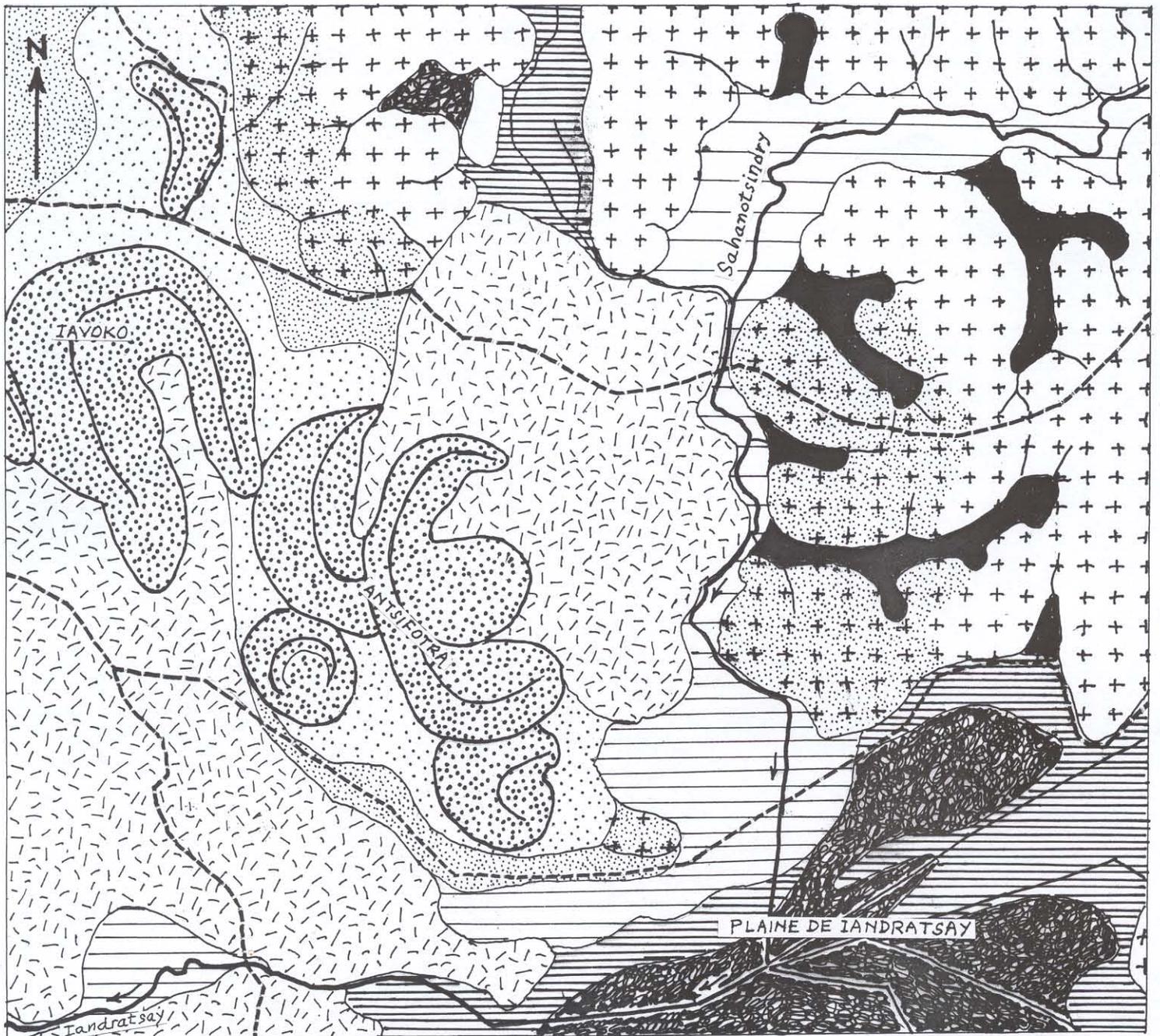
Une grosse partie des coulées forme obstacle à l'écoulement et au drainage de la **plaine de Iandratsay**. Cette plaine, en partie tourbeuse, est le résultat de ce **barrage volcanique** que franchit difficilement l'Iandratsay en un petit canyon.

Une autre partie des écoulements de lave a bloqué la rivière Sahanatsindry avec, pour conséquence, la formation en amont sur la rivière, d'un bief alluvial large de 300 à 800 mètres et, sur sa rive droite, d'une étendue marécageuse, ancien lac dont il ne reste actuellement que le lac Anosy.

Les coulées noirâtres (lave scoriacée) qui ne présentent encore **aucune altération**, sont rugueuses et chaotiques, avec alternance de grosses boursouflures (jusqu'à 10 m de haut) souvent en forme de petits cratères secondaires de dégazage, de gros blocs les uns sur les autres et de creux de moins d'un demi-hectare, remplis de lapilli et de cendres, seuls endroits parfois cultivés.

Les projections (lave basaltique fragmentée) saupoudrent les environs des cratères et au-delà. Il y a plusieurs tailles de projections qui ont été triées dans l'air et en retombant : les plus grosses retombées (**pouzzolanes**) forment les volcans proprement dits et leurs piémonts immédiats. Les moyennes (**lapilli**, 2 à 20 mm) sont allées plus loin (0.5 à 1 kilomètre). Les plus fines (**cendres plus ou moins sableuses**, moins de 2 mm) ont pu aller encore plus loin.

Par ailleurs, toujours les lois de la gravité font que sur une même verticale, se déposent d'abord les éléments les plus lourds (lapilli) puis en recouvrement, les plus fins (cendres). Un profil de sol montre en général à la base des **lapilli lités**, gris, noirs ou jaunes et, au-dessus, des **cendres** gris-jaunâtre sombres.



0 1 km.

- | | | | |
|--|--------------------------------|--|---|
| | COLLINES SUR GRANITO-GNEISS | | VALLEE ALLUVIALE ARGILEUSE |
| | VOLCANS EGUEULES A POUZZOLANES | | BAS-FONDS |
| | PROJECTIONS DE LAPILLI | | } ARGILE SUR TOURBE
A PLUS DE 50 CM. |
| | PROJECTIONS DE CENDRES | | |
| | COULEE BASALTIQUE | | } MARECAGE ARGILTO-TOURBEUX |
| | | | |

FIG. 10

TERROIR DE IANDRATSAY

ENVIRONNEMENT MORPHO-PEDOLOGIQUE SCHEMATIQUE

Concernant l'épaisseur des dépôts, ils suivent la même loi de répartition : plus on est près des lieux d'émission plus les dépôts sont épais. D'une dizaine de mètres d'épaisseur au pied du volcan, les projections s'amincissent (en taille et en épaisseur) progressivement en s'éloignant. Sur le périmètre les cendres se retrouvent jusqu'à 4 kilomètres à l'est des volcans, où elles ne forment plus que 50-100 cm. Sur le sommet de l'Androhibe (rive gauche de la Sahanatsindry, elles ont quasiment disparues.

Les sols des projections à base de **lapilli** (en profondeur) et de **cendres** (au sommet) sont de teinte brun-jaunâtre sombre, noirâtre à l'état humide. On les appelle des **andosols** ou des **sols bruns andiques**. Leurs propriétés moyennes sont les suivantes : le niveau supérieur, de 20 à 60 cm d'épaisseur, gris-jaunâtre foncé et tâchant, est de texture limoneuse, mais avec quelques sables et graviers de lapilli. **La structure est très fragile** et émoussée. La consistance est **très friable**. La « densité apparente » est de l'ordre de 0,9, donc **les agrégats sont plus légers que l'eau** et facilement évacués par le ruissellement. Le taux de matière organique est élevé (10 à 15 %).

En dessous, sur une épaisseur de 20 à 40 cm, on passe rapidement au matériau volcanique peu altéré, lité, de couleur brun-jaunâtre, de texture limono-sableuse (sables abondants, intermédiaires avec les lapilli). La consistance est toujours friable.

Vers 1 mètre de profondeur on arrive aux lapilli jaunâtres ou noirâtres **très poreuses**, finement litées, **parfois soudées** et même peu pénétrables aux racines.

Du point de vue chimique, ces sols présentent une **capacité d'échange élevée**, de l'ordre de 30 mé/100 g de terre (saturé à 20 %) dans la tranche supérieure, 15 à 20 mé/100 g en dessous. Le pH, de 5,5 à 6, est modérément acide. Ces sols ont encore de bonnes réserves minérales, **sauf en phosphore assimilable**.

La qualité des sols andiques (les meilleurs sols de Madagascar, avec ceux de l'Itasy) est due à leur **jeunesse**, à leur richesse en cendres et lapilli **faiblement altérés** ayant conservé des éléments minéraux (calcium, magnésium, potassium) disponibles pour les cultures. La **teneur élevée en matière organique** leur confère une capacité d'échange importante qui évite que les nutriments, intrinsèques ou apportés, soient trop rapidement lessivés en profondeur.

Cependant leur **sur-exploitation agricole** (2 ou 3 cultures par an sans jachère) commence à faire décliner leur productivité. Les agriculteurs en sont conscients et s'en plaignent.

Quelques mots sur les particularités minéralogiques de ces sols : les produits dits « **amorphes** » (non cristallisés) y sont importants (fer, aluminium et silice amorphes) donc non impliqués dans des argiles de néoformation qui sont ici en faible quantité. Ces produits amorphes sont souvent appelés des « **allophanes** » qui se lient fortement à la matière organique (le complexe organo-minéral tâche les doigts). Ces sols évolueront vraisemblablement peu à peu vers des « sols chocolat » (voir précédemment), à très fort lessivage en silice, empêchant la néoformation de minéraux phylliteux, et où seuls resteront en place la gibbsite (aluminium) et les oxydes de fer.

Une propriété de ces composés amorphes est qu'ils **retiennent fortement le phosphore**. Ces sols sont donc carencés en phosphore assimilable.

Unité de paysage	Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Cônes volcaniques (volcanisme récent)	Projections basaltiques (pouzzolanes)	Volcans égueulés	Affleurements de pouzzolanes et sols très peu épais	Infiltration et ruissellement	Pentes excessives, sols squelettiques
Coulées de lave (volcanisme récent)	Basalte	Coulées très chaotiques et rocheuses à poches de lapilli	Affleurements rocheux Poches de lapilli à sols andiques	Infiltration totale	Incultivable sauf les poches de lapilli
Projections à lapilli dominantes (volcanisme récent)	Basalte pulvérisé	Versants plus ou moins pentus	Sols andiques à lapilli très filtrants plus ou moins soudés	Infiltration et ruissellement	Pentes souvent fortes Sols fragiles, souvent compacts en profondeur
Projections à cendres dominantes (volcanisme récent)	Basalte pulvérisé	Pentes faibles, ondulations	Sols bruns andiques sur cendres, à lapilli en profondeur	Infiltration, flottation des sables et graviers	Sols très intéressants mais sensibles à l'érosion (dont flottation). Carence en phosphore
Collines du socle à recouvrement cendreux	Granito-gneiss recouvert par moins de 2 mètres de cendre	Versants à pentes faibles à moyennes			Sols très intéressants mais sensibles à l'érosion parfois en lavaka. Carence en phosphore
Collines du socle sans recouvrement cendreux	Granito-gneiss		Sols ferrallitiques argileux rouges, plus ou moins tronqués et compacts	Ruissellement et infiltration	Sols peu fertiles, carence en phosphore. Pentes érodibles. Parfois lavaka
Vallées ou petites plaines alluviales	Alluvions argileuses	Horizontalité Cours d'eau encaissé de 2 m	Sols hydromorphes argileux rizicultivés	Inondation (riziculture) Nappe à plus de 1,5 m en saison sèche	Peu de contraintes si eau disponible. Contre-saison possible en certaines situations
Plaine argileuse à tourbe à plus de 50 cm de profondeur	Alluvions argileuses recouvrant la tourbe	Horizontalité	Sols hydromorphes argileux recouvrant une tourbe à plus de 50 cm.	Inondation (riziculture) Nappe à 1mètre en saison sèche	Peu de contraintes si eau disponible. Contre-saison souvent possible
Plaine argileuse à tourbe à moins de 50 cm de profondeur			Sols très hydromorphes argileux recouvrant une tourbe à moins de 50 cm	Inondation (riziculture). Nappe à moins de 0,5 m en saison sèche	Peu de contraintes si drainage et irrigation. Contre-saison possible sauf pour céréales
Plaine marécageuse non ou mal drainée			Alluvions argileuses et tourbe	Sols gorgés d'eau en permanence, alternant tourbe et argile	Inondation ou engorgement permanents
Bas-fonds	Tourbe + argile	Petites vallées étroites à fond plat	Sols hydromorphes à tourbe sous 40 cm de profondeur	Nappe près de la surface en toute saison	Peu de contrainte si eau disponible
Terrasses	Alluvions anciennes	Horizontalité	Anciens sols hydromorphes argilo-sableux	Ruissellement et infiltration	Sols très compacts et peu « fertiles »

Tableau 6 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DU TERROIR DE IANDRATSAY

En dehors de cela, les sols sur cendres sont **très exposés à l'érosion** surtout sur pente. Leur **friabilité** et leur « **flottabilité** » (densité apparente inférieure à 1) les prédisposent à l'érosion en nappe quand ils sont dénudés. D'où l'intérêt et la nécessité de les gérer en SCV avec des associations cultures – plantes de couverture.

742 – Tanety et sols sur granito-gneiss

Toutes les tanety de la rive gauche de la Sahanatsindry et celles situées au nord de la large coulées de lave d'Ambohimanga sont sur granito-gneiss. Il en est de même pour l'extrémité est de l'Antsifotra. Mais dans un rayon de 3 kilomètres autour du sommet de l'Antsifotra, ces tanety montrent un **recouvrement cendreux** d'environ 1 mètre d'épaisseur **au-dessus du sol ferrallitique rouge enterré** développé sur granito-gneiss. Au-delà de 3 kilomètres (est de l'Androhibe par exemple) on peut considérer que le recouvrement a disparu.

Des **lavakas** balafrent ces reliefs. La couche sombre de cendres au-dessus du sol rouge y est parfois visible. On conçoit la **fragilité particulière de ces sites** vis-à-vis de l'érosion. D'autant plus que les tanety convexes à pentes fortes situées au Nord de la plaine d'Iandratsay et du canal d'amenée sont **très cultivées**. La région est très peuplée et beaucoup des hameaux et villages sont situés sur ces collines. Pourtant ces sols ferrallitiques présentent une **faible fertilité**. Ils sont tronqués dans l'horizon rouge et sont donc assez compacts. **L'érosion y est partout présente** : décapage en nappe, ravinement plus ou moins généralisé, lavaka.

Toutes ces tanety sont des « **points chauds** » vis-à-vis du site BVPI, car ils menacent les aménagements : prises sur la Sahanatsindry, canal qui court en bordure de la plaine d'Iandratsay, réseau Iandratsay, jusqu'au réseau Mahagaga à l'extrême est.

Il conviendrait d'habiller les pseudo-terrasses paysannes avec des haies herbacées ou arbustives, et de **couvrir ces sols de façon permanente** pour stopper le ruissellement et le décapage important qu'il entraîne. L'idéal serait de couvrir le maximum de ces sols en pratiquant assolements et rotations de 2 à 3 ans avant remise en culture par du *Brachiaria* ou du *Stylosanthes* comme protection et production fourragère. La densité d'occupation des terres ne le permet sans doute pas partout entre Sahanatsindry et plaine de l'Iandratsay.

La régénération de ces sols passe par les systèmes SCV, initiés par un **écobuage** pour libérer rapidement du phosphore assimilable. La récolte de biomasse pour cet écobuage sera peut être difficile. Au Nord de la rivière Sahanatsindry ce serait sans doute plus aisé.

743 - Le système alluvial

Le périmètre irrigué commence au sud du **barrage d'Ambohimanga**, après que la Sahanatsindry ait percé la coulée de basalte qui faisait barrage naturel (seuil d'Alakamisy), en creusant profondément les altérites au contact de la tanety à sols ferrallitiques granito-gneissiques.

La vallée, et donc le périmètre irrigué, s'élargit alors à Filahoana en arrivant dans la plaine de Iandratsay. Le périmètre atteint alors presque le drain central de cette plaine. A l'ouest, il irrigue une petite bande allongée à la base des volcans, entre ces derniers et la coulée qui a autrefois barré la plaine (réseau Marintampona). Il rejoint alors le canal Marintampona en

provenance de Betafo. Vers l'ouest (réseau Iandratsay) il occupe la bordure de la plaine. A l'extrême est se trouve le canal et le réseau Mahagaga, indépendants des précédents.

Environ 7 grands drains traversent la plaine marécageuse et tourbeuse sur la rive gauche du grand drain central (ancienne rivière Iandratsay) pour rejoindre ce dernier, avant qu'il traverse le seuil rocheux d'Alakamisy.

Sont irriguées aussi en rizières les tanety granito-gneissiques à recouvrement cendreux aménagées en terrasses dans la zone de Miarinarivo.

Le plaine de la Sahanatsindry, non tourbeuse, est composée d'alluvions « classiques » à **dominante argileuse**, mais à lentilles sablo-quartzeuses (le bassin versant est pour sa majeure partie, granito-gneissique). La rivière est encaissée de quelques mètres et sujette à débordements qui se vidangent et s'épandent dans la **plaine de Filahoana** fermée en partie par la route nationale. Cette plaine argileuse n'est pas tourbeuse en surface. On peut cependant trouver une **tourbe enterrée** vers 0,5 à 1 mètre de profondeur. On retrouve ces mêmes sols dans la grande plaine jusqu'à 300 mètres au-delà de la route. Ces argiles gris-brunâtres qui recouvrent la tourbe en cône d'épandage ont été apportées par la Sahanatsindry. Au-delà, en allant vers le centre de la plaine d'Iandratsay et à l'est sur le « réseau Iandratsay », le **matériau tourbeux épais** n'est plus recouvert que par **moins de 50 cm d'argile grise**. Le drainage y est encore plus difficile. Au-delà, toujours vers le centre de la plaine, mais aussi vers l'est le long de la route, entre Masinandraina et Ambohidrano, on trouve des marécages difficiles à drainer malgré les drains qui les traversent.

Quant au réseau Mahagaga à l'extrême est, il est pour sa majeure partie, tourbeux à moins de 50 cm. Sauf une petite partie en terrasses sur les pieds de tanety d'alluvions lacustres anciennes et sur le bourrelet de berge (peu marqué) argileux de la rivière qui débouche dans la plaine.

La majeure partie des sols des réseaux de la plaine de Iandratsay sont propices à la **contre-saison, même sans irrigation**. Les plus intéressants sont ceux où la tourbe est située entre 50 et 100 cm, qui correspond à la nappe phréatique en saison sèche.

Dans ce cas, la capillarité alimente correctement les systèmes racinaires. A l'heure actuelle on trouve beaucoup d'orge (collectée par Malto), du blé, des légumes, parfois des pommes de terre, de l'avoine...

Plus au centre, lorsque la tourbe (donc la nappe phréatique) est à moins de 50 cm de profondeur, **le ressuyage et le drainage sont lents en saison sèche**. Certaines cultures comme l'orge et le blé y souffriront d'hydromorphie, mais beaucoup d'autres cultures sont possibles (légumes). Ces zones sont en fait très exploitées (meilleure rentabilité ?) pour leur tourbe qui alimente les très nombreux fours à brique environnants.

8 – LE SUD – EST

La région visitée s'étend de Manakara à Vangaindrano. Les périmètres concernent en général des **bas-fonds, drainés ou non** et des **petites plaines (ppi)** de 10 à 200 ha entourés de bassins versants de tailles modestes (4 à 12 km²).

Le projet BVPI gère (opérateurs : SD-Mad ou AVSF) dans le sud-est une cinquantaine de sites très dispersés, éloignés les uns des autres et parfois difficiles d'accès. La mission en a visité 14 qui sont les suivants :

Autour de Manakara :

- ***Tsitodimbrito*** : bas-fond drainé tourbeux, bassin-versant basaltique. Opérateur SD-Mad.
- ***Ankepaka*** : bas-fond drainé tourbeux, bassin-versant gréseux. Opérateur : SD-Mad
- ***Amborobe*** : bas-fond drainé tourbeux, bassin-versant gréseux. Opérateur SD-Mad.
- ***Ambodimanga*** : bas-fond non drainé tourbeux, bassin-versant granito-gneissique. Opérateur AVSF.
- ***Sakoana*** : bas-fond drainé tourbeux, bassin-versant basaltique, opérateur AVSF.

Autour de Vohipeno :

- ***Anoloky*** : Bas-fond non drainé tourbeux, bassin-versant sur sable dunaire, Opérateur AVSF.
- ***Basse Matitanana*** : Plaine non tourbeuse derrière bourrelet de berge. Opérateur SD-Mad.
- ***Langoro*** : Bas-fond drainé tourbeux, bassin-versant gréseux. Opérateur SD-Mad.
- ***Ilakatra*** : Bas-fond non drainé tourbeux, bassin-versant granito-gneissique. Opérateur VSF.

Autour de Farafangana :

- ***Ambalolo*** : Plaine irriguée non tourbeuse (ppi), bassin-versant basaltique. Opérateur SD-Mad.
- ***Iandraina*** : Ni bas-fond ni plaine, bassin-versant basaltique. Opérateur SD-Mad.
- ***Tsietimody*** : Plaine irriguée non tourbeuse (ppi), bassin-versant basaltique. Opérateur SD-Mad.

- **Analafia-Ambositra** : Plaine irriguée non tourbeuse (ppi), bassin-versant granito-gneissique, opérateur SD Mad.

Autour de Vangaindrano

- **Tsianofana** : Plaine non irriguée non tourbeuse (réhabilitation en projet pour ppi), bassin-versant basaltique.

81 – Généralités

Par rapport aux régions des Hauts-Plateaux et du Moyen-Ouest, la région du Sud-Est possède un **climat chaud et humide** (23° de température moyenne annuelle, 2400 à 3000 mm de pluviométrie).

La tendance actuelle est à la **forte irrégularité**, avec parfois de grosses pluies en saison fraîche dite « sèche » et des périodes sèches en saison dite des pluies. Par ailleurs les **cyclones** sont fréquents entre décembre et février. Le début de la saison des pluies est également variable (octobre à décembre). En principe, et en moyenne sur une longue période, il n'y a pas de mois « sec » c'est-à-dire à moins de 50 mm de pluie. Le climat est donc ici, peut être davantage que sur les Hauts Plateaux, une grosse contrainte à la prévisibilité des calendriers culturels, aux investissements (engrais...) et aux prises de risques. D'autre part, les sols ferrallitiques, compte-tenu de l'abondance des pluies, sont particulièrement **drainés et lessivés**, donc tout à fait « vides ».

Les températures élevées sont favorables à la **rapidité des processus biologiques** : cycles culturels, installation des plantes de couverture, activité microbienne donc décomposition et minéralisation de la matière organique.

La matière organique dans les sols (excepté pour certains sols hydromorphes) sera en faible quantité. Compte tenu de son rôle important sur la structure et la fertilité il sera d'autant plus important **de la protéger et de la conserver**, si possible en l'augmentant par des systèmes SCV.

Les pluies, abondantes et aléatoires ; ont un très important **potentiel érosif** sur les sols dénudés, d'où la pertinence des SCV et du renforcement des cultures par des plantes de couvertures vivaces, en pur ou associées aux cultures.

Partout où nous sommes allés, la forêt naturelle originelle a disparu. La végétation actuelle, en zones non cultivées est la savane à *Aristida* piquetée de *Ravenala*. Les bas-fonds abondants et encaissés et vallées alluviales, lorsqu'ils ne sont pas rizicultivés, sont peuplés d'une végétation aquatique (à base de *Viha*, fougères, *Cyperus*, *Ravanala*, raphia, *Pandanus*, *Niaouli*...) qui s'accumule sur place pour générer de la **tourbe**.

82 – La séquence morpho-géologique du Sud-Est (fig. 11)

La première composante de la structuration régionale du SE est la composante géologique.

D'Ouest vers l'Est c'est-à-dire des escarpements limitant les Hauts-Plateaux jusqu'à la mer, la **séquence « morpho-géologique »** est grossièrement la suivante (fig. 11).

- **Le système montagneux des « falaises »**

Séries d'escarpements à reliefs vigoureux et vallées encaissées, séparées par des zones collinaires plus douces. On y observe de nombreux affleurements granitiques. Ces reliefs sont modelés sur les granito-gneiss du **socle cristallin** et couverts en partie de **forêt primaire** mitée par les « tavy »

- **Le système des hautes collines sur granito-gneiss**

Ces reliefs sont constitués de hautes collines **fortement convexisées** (dites « en demi-oranges »), ferrallitisées, le plus souvent sans plateau sommital net. Les dénivelées peuvent être accentuées (jusqu'à 50-100 mètres) entre le sommet arrondi et le bas-fond.

Il y a parfois une petite concavité de piémont qui s'appuie sur une terrasse. Beaucoup de ces reliefs constituent un « moutonnement » d'espaces vides, la forêt ayant disparu, remplacée par une savane herbeuse à *Aristida* piquetée de *Ravenala*. Les espaces cultivés sont généralement proches des fleuves. Les bas-fonds élémentaires sont encaissés et relativement étroits, à végétation aquatique sur **tourbe**.

- **Le système des moyennes collines et plateaux sur basalte**

Les basaltes, d'âge crétacé (60 millions d'années ?) forment d'ouest en est, une large bande (10 à 30 km), formée d'un moutonnement de **collines convexo-concaves**, à sols ferrallitiques, ou de **plateaux cuirassés** (voir plus loin). Les dénivellations des collines par rapport aux bas-fonds sont généralement inférieures à 50 mètres donc plus faibles que sur granito-gneiss. A la base des versants la **concavité** (colluvions s'appuyant sur une terrasse) est également plus nette.

- **Le système des grès argileux**

Ce sont des roches sédimentaires (d'origine mi-marine mi-terrestre) composées d'une alternance de grès siliceux, de marnes, parfois de calcaire, d'argiles, de conglomérats. Elles sont d'âge crétacé supérieur (40 millions d'années), postérieur à celui des basaltes précédents. Ces grès forment une bande discontinue (parfois absente) inférieure à 15 km. Leur modelé est multiforme : **bas-plateaux à sols hydromorphes (Ankepaka)**, **collines convexes** en demi-orange (**Amborobe**) à sols ferrallitiques, crêtes rocheuses gréseuses alignées N-S (entre Manakara et Farafangana).

- **Le système dunaire dit « ancien »**

Ces sables, situés 4 à 10 km du littoral, sont **d'origine marine puis éolienne**. Le modelé en dunes n'est pratiquement plus perceptible, l'ensemble ayant été aplani. La bande sableuse est discontinue, on ne la voit pas partout. Les sables sont de couleur brun à rougeâtre clair, avec une **cuirasse ferrugineuse** fréquente (voir plus loin), comme on l'observe sur le site d'**Anoloky** (AVSF). La date de formation de l'épisode, du **quaternaire moyen**, pourrait être d'environ 100.000 ans (les géomorphologues parlent du « karimbolien »).

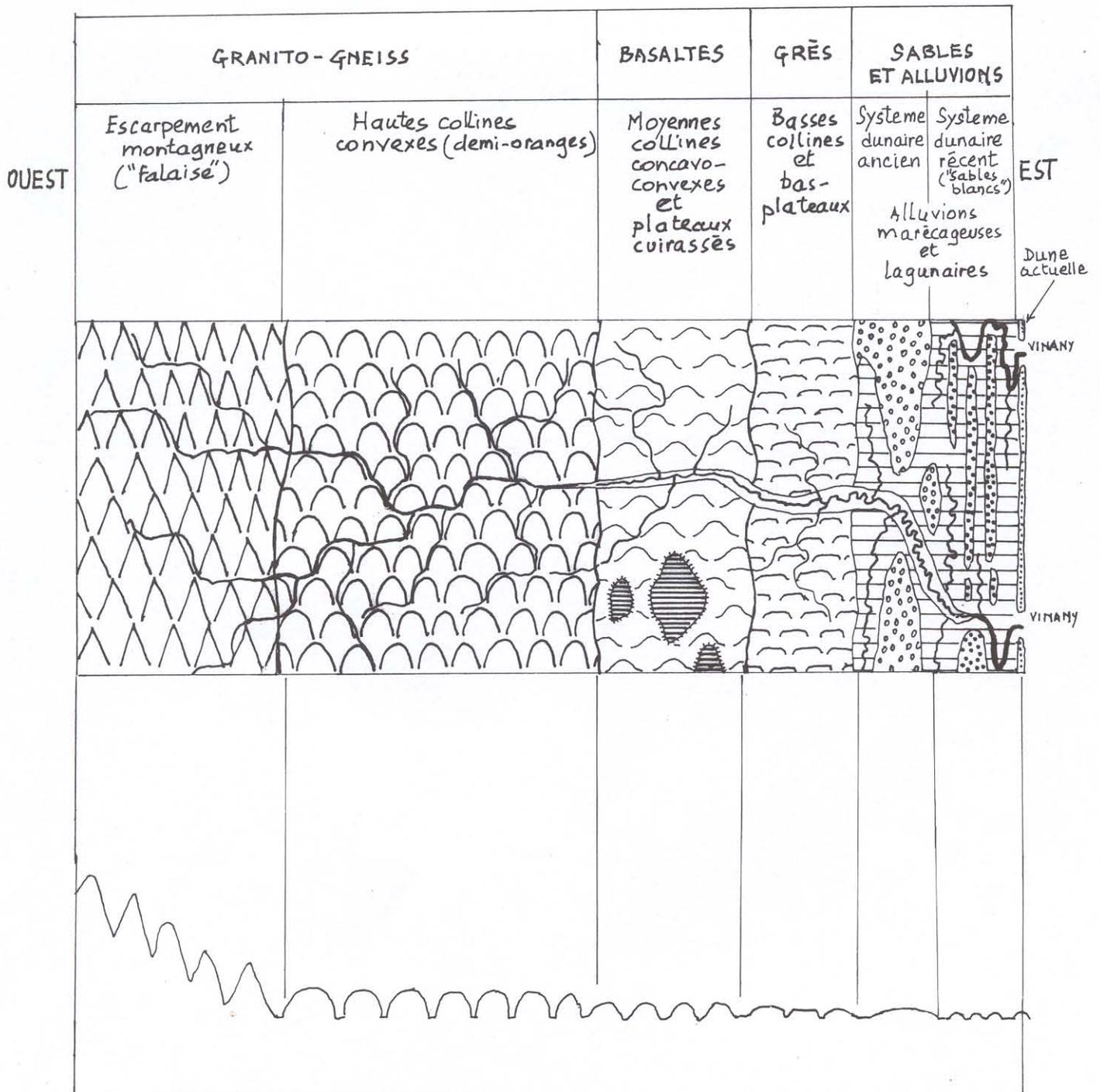


FIG. 11

SEQUENCE MORPHO-GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE
DANS LE SUD-EST

- Le système dunaire dit « récent »

Ce sont les « **sables blancs** » que l'on appelle « podzols de nappe », totalement lavés par la nappe phréatique, omniprésents (à moins de 5 km du littoral) en bordant la quasi-totalité du littoral oriental et qui « régularisent », avec la dune actuelle, le tracé de la côte. Ce système dunaire est dit « flandrien », c'est-à-dire du **quaternaire récent** (environ 10.000 ans). Il se présente, soit sous la forme de **cordons** nord-sud de largeur variable (100-200 m) séparés de **sillons** inondés ou hydromorphes, soit de nappage où on ne voit plus les alignements dunaires, épais de 0,5 à 5 mètres.

Dans les tranchées, on voit souvent le recouvrement sableux blanc au dessus du sol ferrallitique ocre, jaune ou rouge qu'il recouvre. Nous n'avons pas observé de site BVPI sur ces sables blancs.

- La dune actuelle

Elle est peu élevée mais borde le littoral sur une largeur de 100 à 300 mètres.

Avec les cordons de sables blancs, la dune actuelle isole, à l'arrière, des **lagunes allongées** alimentées par l'arrivée des fleuves dont la sortie en mer est gênée ou déplacée sur de longues distances. C'est une caractéristique des embouchures de la Côte Est (« **vinany** ») : les fleuves ne sortent pas en mer à l'endroit de leur arrivée, mais alimentent lagunes et marais littoraux plus ou moins parallèles au rivage.

- Les systèmes fluviaux

Traversant perpendiculairement les ensembles géologiques précédents, les grands fleuves, dont l'amont des bassins versants se situe sur les escarpements montagneux de la « falaise », ont déposé une bande alluviale qui s'élargit en aval, avant de s'épandre et, bloqués par les cordons littoraux à l'intérieur des terres, constituer des marais et estuaires mal drainés.

Les plaines littorales alluviales jalonnent toute la Côte Est, en particulier autour de Manakara, de Vohipeno, de Farafangana et de Vangaindrano.

83 – Morpho-pédologie des tanety

Nous allons détailler la séquence précédente : granito-gneiss, basaltes, grès, cordons dunaires.

831 – Les tanety des hautes collines convexes sur granito-gneiss

Elles constituent en particulier les bassins-versants des sites de **Ambodimanga** (nord-est de Lokomby), d'**Ilakatra** et d'**Analafia-Ambositra** (ppi). Les hautes collines convexes en **demi-oranges** possèdent des pentes fortes (20 à 60 %) s'accroissant du haut vers le bas du versant. Elles sont le résultat d'un façonnement sous climat humide forestier avec reptation étagée des altérites, s'accroissant sur le versant et le convexisant progressivement.

Dans les régions visitées, contrairement à ce qu'on peut voir sur basalte, on n'observe pas de plateau au sommet, celui-ci formant **un dôme plus ou moins large**. Les sommets sont

situés entre 80 et 120 mètres d'altitude. Le réseau de vallées est constitué de **bas-fonds tourbeux** encaissés se rassemblant en **petites plaines**, à parties marécageuses, elle mêmes branchées sur les rivières importantes (voir plus loin).

Les sols des tanety granito-gneissiques sont des **sols ferrallitiques** qualifiés de « **jaune/rose** » c'est-à-dire que la partie supérieure (environ 1 à 2 mètres, la plus argilifiée), brun-jaunâtre puis jaunâtre, repose sur la zone d'altération de teinte générale caractéristique rosâtre.

Les sols sont colorés en **jaune** à leur sommet par les **oxydes de fer hydratés** (goethite) qui, du fait de leurs conditions de formation (forêt humide), n'ont jamais pu se dessécher suffisamment pour se déshydrater et prendre la coloration rouge. Sur granito-gneiss, les sols jaune/rose sont spécifiques de la partie Est de Madagascar (plus à l'ouest, ils « rougissent »).

Par ailleurs, sous 20 cm, ces sols sont massifs et, à l'état sec, **compacts**, car ils sont riches en grains de sable quartzeux qui, avec les oxyde de fer et d'aluminium, provoquent une « **prise en masse** », s'opposant à une bonne structuration.

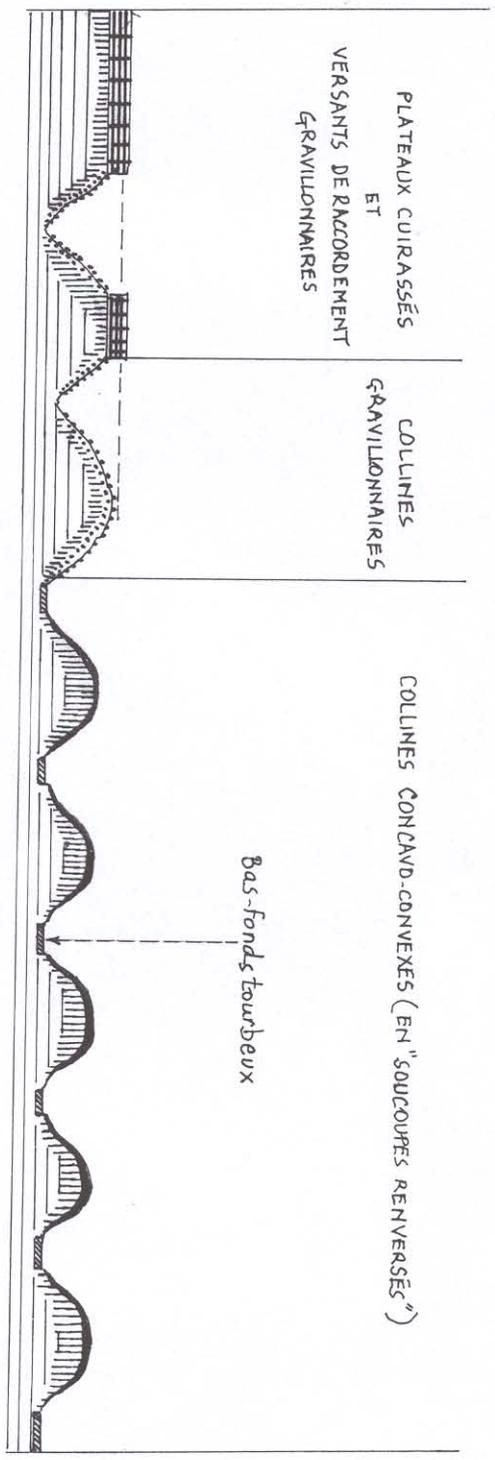
Le taux de matière organique est le plus souvent inférieur à 2 % sur les 20 centimètres supérieurs plus grisâtres, leur conférant une structure un peu plus développée. La dénudation consécutive à la mise en culture de ces versants pentus, entraînant un ruissellement accéléré, expose les sols à une **érosion**, en nappe d'abord puis rapidement ravinante. De telles situations menacent les aménagements (barrages de retenue, dérivations, canaux d'amenée, rizières elles-mêmes...) à engorgement, ensablement et dégradation. Le danger est manifeste sur le site ppi d'**Analafia-Ambositra**. Le site, réhabilité en 1998, avec sa retenue de 3 kilomètres de long qui inonde le bas-fond, est menacé par les cultures pratiquées sur les versants abrupts de bordure, appartenant aux paysans lésés par la perte de leurs rizières et qui, de ce fait, s'opposent aux propositions de gestion en SCV par SD-Mad.

Le problème se pose moins à **Ambodimanga** et à **Ilakatra** car les bas-fonds n'y recueillent pas directement les produits d'érosion du fait de la présence assez généralisée d'une terrasse (sans canal d'amenée d'eau) située 2 mètres au-dessus du bas-fond qui est ainsi protégé.

En règle générale cependant, même si ces versants sont moins fortement cultivés que sur basalte, ils sont cultivés en manioc, patate douce, pois de cap..., de part et d'autre des axes de circulation et des grands cours d'eau. Ailleurs ils constituent de **grands espaces vides**. Leur gestion en SCV, avec haies et embocagement, est fortement souhaitable, avec un soin particulier pour la couverture permanente. L'écobuage n'est pas recommandé plus d'une fois, afin de ne brûler qu'une très petite partie de la matière organique déjà en faible quantité.

832 – Les tanety sur basalte (fig. 12)

Les coulées de basaltes créacés sont une chance pour la Côte Est. C'est en effet (en dehors des bourrelets de berge) de préférence sur leurs **sols ferrallitiques profonds et structurés** que sont cultivées les cultures pérennes de rente comme le caféier, le litchi, le giroflier, les



- | | | | |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|
|  | Cuirasse ferrugineuse |  | Zone d'altération mauve-vidacée |
|  | Gravillons ferrugineux |  | Tourbe des bas-fonds |
|  | Sols ferrallitiques "chocolat" |  | Basalte sain |

FIG. 12

GRANDES UNITES MORPHO-PEDOLOGIQUES SUR BASALTE
DANS LE SUD-EST

agrumes, la vanille. Les sols sur granito-gneiss sont, comme on l'a vu, beaucoup moins favorables, même si, du point de vue chimique, ils sont à peu près équivalents.

Cependant, sur basalte, on peut observer **différents types de modelés** et de sols qui ne sont pas tous favorables :

- **Les moyennes collines convexo-concaves** à sols « chocolat » profonds, les plus intéressants.
- **Les plateaux cuirassés** absolument inaptes à toutes cultures
- **Les versants de raccordement et collines basses**, à sols gravillonnaires défavorables.

8321 – Les tanety de moyennes collines convexo-concaves

Au niveau de Manakara, Farafangana et Vohipeno, les trains de collines basaltiques ont le plus souvent entre 50 et 70 mètres d'altitude, et sont donc situées bien en dessous de celles sur granito-gneiss.

Le profil en demi-orange est moins net car ces collines sont plus « surbaissées » c'est-à-dire à dômes convexes assez larges et avec des versants à pentes généralement inférieures à 20 % mais plus longues que sur granito-gneiss. **La base des versants est concave**, plus ou moins colluviale, s'appuyant souvent sur une terrasse perchée de 1 à 3 mètres au dessus du bas-fond ou de la vallée en contrebas..

Les sols sur ces collines basaltiques sont des sols ferrallitiques profonds de couleur brun-rouge caractéristique dite « **chocolat** ». Par rapport aux autres sols ferrallitiques (granito-gneiss et grès), cette couleur chocolat les identifie particulièrement bien, par exemple sur les tranchées de route. D'autres critères étant, d'une part l'absence totale de filons ou cailloux quartzeux, d'autre part, du fait d'une bonne structure, une tendance non verticale mais en pente des parois de bord de route.

Lorsque les tranchées sont profondes (au-delà de 3 mètres) on observe que la **zone d'altération des basaltes** a une couleur composite, **violacée, lie de vin, grisâtre**. Elle est très argileuse, contrairement à la zone d'altération sur granito-gneiss ou grès qui, elle, est riche en sables quartzeux.

L'intérêt des sols chocolat est leur **excellente structuration**, polyédrique fine à grenue en surface (0-20 cm), polyédrique moyenne en dessous. Les racines exploitent bien ces sols, spécialement celles des cultures pérennes qui ne trouvent pas d'obstacle en profondeur.

Ces sols sont **bien drainants**, ils ne montrent jamais d'engorgement temporaire même après des pluies abondantes (ce qui est possible avec les sols ferrallitiques sur granito-gneiss). En cas d'apports d'engrais ceux-ci, s'ils sont amenés en une seule fois, auront tendance à migrer rapidement en profondeur et donc à être perdus.

L'intérêt des plantes de couverture à enracinements puissants, est leur rôle de « **pompe biologique** » qui ramène en surface les éléments qui ont tendance à drainer et les remet à la disposition des cultures lors de la décomposition.

Autre rôle primordial des couvertures est bien sûr leur **rôle protecteur pour la surface**, qui amortit les pluies, empêche l'érosion de l'horizon humifère, ralentit fortement le ruissellement et favorise l'infiltration comme le **stockage de l'eau**, intéressant en cas d'épisodes secs en cours de cycles culturaux.

Le taux de matière organique de ces sols peut être de 2 à 3 %, ce qui n'est pas négligeable pour des sols ferrallitiques quasiment vides. C'est là que réside le peu de fertilité, chimique et organique, de ces sols. Cette matière organique à activité biologique est donc à **protéger absolument** en évitant de trop travailler le sol, de l'exposer à l'érosion et en la renforçant par des **apports de biomasse**.

L'opportunité de la pratique trop poussée de l'écobuage est discutable. Elle conduit à brûler une partie de la matière organique du sol pour en libérer le phosphore et le rendre disponible rapidement pour les cultures. Nous conseillons de ne pratiquer l'écobuage qu'**une seule fois sur un même sol**, afin de « booster » le système SCV à son démarrage et qu'il prenne bien le relais. Un écobuage suivi de pratiques traditionnelles peut conduire à une perte à court terme. Dans ce cas l'écobuage seul n'est pas à recommander.

8322 – Les tanety des plateaux cuirassés

Les plateaux cuirassés sur basaltes sont particulièrement développés à l'ouest de Farafangana (de part et d'autre des rivières Manambato et Manampatra) et entre Farafangana et Vangaindrano. Les plateaux sont situés à environ 70-75 mètres d'altitude. Les sites BVPI (ppi) concernés, où il est possible de trouver des cuirasses sur leurs bassins versants, sont **Bekaraoko, Ambalolo, Iandraina, Tsianofany**.

Un mot sur la genèse de ces plateaux : ils jalonnent et sont les « témoins » d'une **ancienne surface d'aplanissement** qui couvrait autrefois (ère tertiaire ?) une grande partie de la région Sud-Est. Toutes les collines actuelles sur basalte sont à une altitude inférieure à 70-75 mètres. La cuirasse ferrugineuse qui **chapeaute et conserve les plateaux** est le résultat de la fluctuation de la **nappe phréatique** qui se trouvait alors dans l'altérite à une certaine profondeur de la surface. Cette nappe phréatique a **concentré le fer** en solution et ce fer s'est transformé en oxydes qui, une fois la nappe descendue définitivement, ont fini par « cuirasser » l'altérite. Celle-ci est devenue un niveau résistant à l'érosion, de **2 à 3 mètres d'épaisseur**, ce qui a permis de conserver ces plateaux.

Les cuirasses noires, vacuolaires sont très résistantes. Elles sont utilisées (sous le terme de « latérite ») pour empiercer les routes.

La cuirasse forme une **dalle affleurante**, soit lisse et fissurée, soit plus rugueuse et disloquée en gros blocs et gravillons. Elle est couverte d'un fourré arbustif épars qui plonge ses racines dans les fissures. Naturellement, **les cultures n'y sont pas possibles**.

8323. Les tanety des versants et collines gravillonnaires

Il s'agit des formes de reliefs qui dérivent du **démantèlement en gravillons des cuirasses ferrugineuses** et qui y sont situées en contrebas : versants de raccordement plateaux/vallées, collines ondulées à pentes longues, linéaires ou concaves, inférieures à 30 %. Les gravillons ferrugineux, isolés ou en blocs ressoudés, sont généralement apparents

dès la surface. Ils sont mélangés à l'argile ferrallitique brune donnant un sol meuble, ou bien ressoudés et fortement compacts, formant parfois pratiquement une **cuirasse secondaire**.

Ces deux types de sols peuvent être imbriqués sur un même versant. Lorsque les gravillons sont ressoudés, les sols sont **extrêmement défavorables**. Lorsqu'ils ne sont pas ressoudés, les sols sont **très médiocres**, à faible réserve hydrique et particulièrement sensibles aux trous pluviométriques.

833 – Les tanety sur grès

A l'est des basaltes, les grès argileux forment des reliefs divers :

- **Étroites crêtes rocheuses** orientées NNE-SSW de 60 à 150 mètres d'altitude. On les observe par exemple entre Manakara et Vohipeno, à quelques centaines de mètres à l'ouest de la route. N'étant pas présentes sur nos terroirs, nous n'en parlerons pas.
- **Basses et moyennes collines convexes** (demi-oranges) à sols ferrallitiques, situées entre 40 et 60 mètres d'altitude. C'est le cas du bassin-versant du bas-fond d'**Amborobe**.
- **Bas-plateaux surbaissés**, à 20-25 mètres d'altitude, à sols hydromorphes, parcourus d'un réseau de bas-fonds tourbeux. Cette situation s'observe sur le périmètre de **Ankepaka**.

8331 – Les basses et moyennes collines convexes

On observe ces collines de Manakara à Vangaindrano, avec certaines interruptions, sur une bande d'une largeur de 1 à 5 kilomètres. Les **sols ferrallitiques** ressemblent à ceux que l'on observe sur granito-gneiss. On revient aux teintes jaune/rose, jaune ocre ou gris/jaune ou rougeâtre, parfois avec des **signes d'hydromorphie** lorsque les collines s'aplatissent, se rapprochant ainsi des bas-plateaux mal drainés (voir plus loin). Le passage des basaltes (chocolat) aux grès (jaunâtre, ocre) se remarque bien à la couleur des tranchées de route.

Ces sols ferrallitiques ont une **très faible fertilité**, compacts, pauvres en matière organique, à pentes fortes le plus souvent. A **Amborobe**, ils dominent et entourent le bas-fond tourbeux drainé.

8332 – Les bas-plateaux surbaissés

Ce type de milieu caractérise le périmètre d'**Ankepaka**. Il s'agit d'une surface d'aplanissement de faible altitude (20-25 mètres), découpée par un réseau dense de **bas-fonds tourbeux**, étroits et peu encaissés, à nappe affleurante. Peu de cultures y sont pratiquées. En effet, l'amenée d'eau est difficile pour le riz traditionnel et les cultures « sèches » ont leurs racines soumises à **engorgement**. On y trouve une savane à *Aristida* et *Ravenala*.

Ces bas-plateaux sont dominés, à l'ouest par des tanety basaltiques ou des crêtes gréseuses, à l'est par des collines convexes sur grès, et au nord par les plaines marécageuses du

système alluvial de la rivière Manakara. En dehors de cette zone, ce type de milieu ne paraît pas extrêmement représenté.

Les sols qu'on y trouve sont des **sols hydromorphes** marqués par un engorgement temporaire en saison des pluies, presque jusqu'en surface.

La **nappe phréatique**, en effet, fluctue entre 20 cm et 80/100 cm (début novembre). Le drainage naturel de surface (ruissellement) est très lent car la pente est faible.

Le sol et son utilisation possible sont donc marqués par cette dynamique de l'eau.

La nappe circule dans une argile plastique tachetée ocre, rouge, grise (c'est ce qu'on appelle un **pseudogley**) issue de l'altération du grès argileux. En surface, un horizon gris foncé non tourbeux de 30 cm d'épaisseur montre que la matière organique, en forte quantité (5 à 8 %) a du mal à se minéraliser du fait d'un milieu **peu favorable à l'activité biologique** (drainage naturel insuffisant).

En dessous, **l'aspect tacheté du sol** est dû à l'alternance **engorgement** à fer ferreux (soluble)-**réoxydation** à fer ferrique sous forme d'oxydes (non solubles). On peut imaginer que ce matériau, à la longue, après concentration suffisante en oxydes de fer et descente de la nappe, se transforme en cuirasse du type de celle observée sur les plateaux basaltiques (voir précédemment). Localement c'est déjà le cas.

Ce type de sol est tout à fait indiqué pour le **riz pluvial**, particulièrement les riz Sebota, **polyaptitudes** à racines en partie dans l'eau. Attention cependant aux mauvaises herbes dans ce milieu « mixte ». Pour y remédier en partie on peut associer le riz à des plantes de couverture comme le *Stylosanthes* que l'on peut contrôler manuellement après la production de graines, de façon qu'il se ressème naturellement dans le riz.

L'écobuage sur ces sols paraît envisageable car ils sont riches en matière organique assez peu active biologiquement dont on peut brûler une partie et qui peut, par cette technique, être valorisée en libérant son **phosphore** et le rendre assimilable.

En dehors du riz, les cultures peuvent bénéficier en demi-saison et partie en contre-saison, de la présence de la nappe phréatique tant qu'elle descend à moins de 60 cm de profondeur.

834 – Les tanety du système dunaire ancien

Sur ce type de milieu, se trouve le terroir d'**Analoky** (du nom de la petite rivière qui se trouve au sud, à proximité), géré par AVSF depuis 2004, avec ses **bas-fonds tourbeux non drainés**. Nous sommes ici à une dizaine de kilomètres au NE de Vohipeno sur ce qui était la forêt d'Ambaro.

Les cordons dunaires d'origine (peut être 100.000 ans), avec leur direction NNE-SSW, se sont estompés et on les distingue mal au sol.

Le modelé est composé de tanety à plateaux ondulés sommitaux, à versants de raccordement aux bas-fonds pentus, à tendance convexe. On y observe souvent des affleurements, en gros blocs de **cuirasse ferrugineuse**. La surface du sol est blanchie par les sables « lavés ».

Matériau	Modelé	Sols	Régime des eaux	Contraintes
Granito-Gneiss	Hautes collines convexes	Sols ferrallitiques jaune/rose souvent tronqués, argilo-sableux, compacts	Ruissellement et infiltration alimentant une nappe phréatique profonde	Pentes fortes sensibles à l'érosion. Sols compacts, très pauvres
Basalte	Moyennes collines convexo-concaves	Sols ferrallitiques « chocolat », argileux, bien structurés	Infiltration et ruissellement	Souvent pentes assez fortes Sols de bonne qualité physique
	Plateaux cuirassés	Cuirasse ferrugineuse épaisse plus ou moins disloquée	Ruissellement dominant. Infiltration dans les fissures	Incultivable
	Versants gravillonnaires	Sols argilo-gravillonnaires à gravillons plus ou moins soudés	Ruissellement dominant	Pentes parfois fortes Sols peu profonds de mauvaise qualité, à faible réserve en eau
Grès argileux	Moyennes collines convexes	Sols ferrallitiques ocre ou jaune, argilo-sableux, compacts parfois à traces d'hydromorphie	Ruissellement et infiltration, souvent (dômes surbaissés) drainage externe lent	Pentes fortes sensibles à l'érosion. Sols compacts à drainage parfois lent
	Bas-plateaux hydromorphes	Sols hydromorphes gris-jaunâtre, tachetés	Drainage externe lent. Engorgement prolongé du profil. Nappe phréatique vers 80 cm en saison sèche	Engorgement en saison des pluies. Sols souvent compacts de mauvaise qualité
Cordon sableux ancien	Bas-plateaux sableux	Sols sableux purs brunâtre à cuirasse ferrugineuse en profondeur	Infiltration dominante sauf si cuirasse affleurante	Sols minéraux sableux vides à faible réserve en eau, parfois peu profonds (sols à manioc)
Alluvions	Petites plaines alluviales (à cours d'eau individualisé)	Sols hydromorphes argileux inondables	Passage plus ou moins prolongé (2 à 5 jours) des eaux de crue	Peu de contraintes en riziculture irriguée. Le riz peut souffrir en période de crue. Contre-saison possible si nappe à moins de 75 cm ou si irrigation
	Niveaux moyens des grandes plaines alluviales			
	Cuvettes de décantation des grandes plaines alluviales	Sols hydromorphes très argileux longtemps inondables	Inondation prolongée par les eaux de débordement de la rivière	Lame d'eau épaisse prolongée Dégâts sur le riz.
	Bourrelets de berge	Sols hydromorphes à dominance sablo-limono-micacée	Passage rapide des eaux de crue de la rivière	Bon sols pour les cultures pérennes. Dégâts possibles sur les cultures annuelles de saison des pluies
Alluvions anciennes	Terrasse ancienne	Anciens sols hydromorphes gris-jaunâtres ou ocres, argilo-sableux, compacts	Drainage externe lent des eaux de pluies. Engorgement temporaire	Sols très médiocres (compacts) à cultures peu exigeantes
Matériau de fluage	Bas-fonds (sans cours d'eau)	Sols tourbeux drainés	Nappe phréatique près de la surface en saison des pluies. nappe vers 1 m en saison sèche	Evolution incertaine de la tourbe drainée : tassement, hydrophobie, activité biologique, évolution du complexe adsorbant ?
		Sols tourbeux non drainés	Inondation (nappe phréatique) en surface en permanence	Incultivable

Tableau 7 – CARACTERISTIQUES MORPHO-PEDOLOGIQUES DES DIFFERENTS MILIEUX DE LA REGION DU SUD-EST

Les sols, **exclusivement sableux**, sont d'une **extrême pauvreté**. Ce sont parmi les pires de la région. Ils montrent à une profondeur variable (40 à 100 cm) une épaisse (1 à 3 mètres) **cuirasse ferrugineuse** noirâtre, vacuolaire riche en grains de sable. Ce matériau est appelé « bekaraoaka » par les agriculteurs. L'origine de cette cuirasse (dite « cuirasse de nappe ») est la fluctuation ancienne d'une nappe phréatique qui a fortement concentré le fer, selon les processus expliqués précédemment.

Au dessus de la cuirasse, le sol sableux montre un horizon gris-clair sur les 20 cm supérieurs. En dessous, la couleur devient brun-clair. Les sables y sont enduits d'une pellicule ferrugineuse.

Ces sols sont **très pauvres en matière organique** (moins de 2 % ?), très acides (pH de 4,5 ?), sans « complexe adsorbant » pouvant fixer et mettre en réserve des éléments minéraux, incapables de stocker de l'eau donc très sensibles aux petites périodes de sécheresse du cycle cultural.

Ces sables sont peu cultivés (manioc...) et les villages, rares et dispersés. Seuls les bas-fonds (généralement tourbe/sable) sont cultivés en riz.

La seule opportunité pour améliorer ces sols sableux consiste à créer progressivement un « vrai » sol à activité biologique (microflore et méso-macrofaune), grâce à l'apport d'un **maximum de biomasse** avec renforts de couverture en pur ou en association. Il faut peu à peu créer un complexe adsorbant sablo-humifère capable de fixer les éléments minéraux issus de la fertilisation et des amendements calco-magnésiens (dolomie). La couverture permanente est également indispensable pour **tamponner le régime hydrique** et le rendre plus favorable, avec moins d'évaporation.

84 – Morphopédologie des systèmes de vallées (fig. 13)

Après le « pôle BV », examinons maintenant le « pôle PI ».

Concernant les systèmes de vallées, ils sont organisés également entre deux pôles extrêmes : en amont, les bas-fonds élémentaires tourbeux et, en aval, les fleuves à grandes vallées alluviales qui, **gênés par les cordons littoraux sableux**, ont du mal à trouver leur voie jusqu'à la mer, formant des deltas marécageux intérieurs.

841 – Les bas-fonds

Ce sont les têtes de réseaux hydrographiques, transversalement à fonds plats, sans cours d'eau différencié, de 30 à 150 mètres de large, emboîtées et souvent encaissées, entre les collines, soit convexes (demi-orange) sur granito-gneiss ou grès, soit convexo-concaves sur basaltes, soit sur cordon dunaire.

Les bas-fonds commencent le plus souvent (en amont) par des amphithéâtres. On parle de bas-fonds **tant qu'on n'y observe pas de cours d'eau individualisés**. Au-delà, on parlera de **petite vallée alluviale**. A l'état naturel (non drainé artificiellement) le plancher du bas-fond correspond à l'**affleurement de la nappe phréatique**. Il est marécageux et envahi de plantes aquatiques (fougères, viha, cypéracées, ravenalas...) qui s'accumulent pour donner de la tourbe.

Quelques mots sur la **genèse des bas-fonds** (valable aussi pour les Hauts Plateaux). Il s'agit d'une dynamique profonde de nappe phréatique et non d'une dynamique sédimentologique et hydrologique de surface. Les bas-fonds ne sont pas comblés d'alluvions ni de colluvions aux sens classiques des termes. Leur horizontalité transversale faisant penser à un comblement épais est due au « **fluage** » longitudinal sur une longue période (à échelle non humaine), d'une nappe de sable (sur granito-gneiss et sable dunaire) ou de boue (sur basalte) gorgée et mobilisée vers l'aval par la nappe phréatique et provenant des glissements des altérites des versants. Une telle dynamique c'est produite sous climat humide et végétation forestière, bien avant l'arrivée de l'homme. Ce « **matériau de fluage** », de 1 à 2 mètres d'épaisseur a raclé « à l'horizontale » l'altérite en place, toujours noyée par la nappe phréatique et que l'on retrouve en profondeur.

La tourbe :

En période de stabilité, la **sédimentation est de nature bio-végétale**. Les plantes aquatiques accumulent leur débris mal décomposés sur place, du fait du **manque d'oxygène pour les bactéries**, sur une épaisseur pouvant atteindre 3 mètres. C'est ce qu'on appelle la **tourbe**.

Tous les bas-fonds du Sud-Est sont **tourbeux**. A partir du moment, plus en aval (quelques kilomètres), où le bas-fond est incisé par un petit cours d'eau, il commence à se produire une dynamique sédimentologique, avec débordement et dépôts argileux de décantation sur le plancher de la vallée, **recouvrant la tourbe antérieure**. En général, cette dynamique est concomitante à l'élargissement progressif du bas-fond qui passe alors à la **petite vallée alluviale**.

La tourbe, à l'état naturel **toujours noyée par la nappe phréatique** est composée de débris végétaux de toutes tailles, souvent grossiers ligneux et fibreux, de teinte brun-foncé.

La tourbe est constituée de l'**éponge** « matériau végétal + eau ». Quand on draine artificiellement cette tourbe en rabattant la nappe phréatique sur un à deux mètres, on la modifie, c'est-à-dire qu'**elle n'est plus dans ses conditions de formation**. L'eau interstitielle se vide plus ou moins complètement. La tourbe se transforme en matériau brun (beige clair à l'état sec) **très léger** (susceptible de flotter) qui ne peut se réhydrater pour revenir à l'état initial malgré qu'elle conserve une grande porosité. On dit qu'elle est devenue « **hydrophobe** ».

Quand on marche dans un bas-fond tourbeux drainé, on peut tanguer du fait de l'élasticité du matériau instable qui est, une fois drainé, susceptible de se tasser au cours du temps, avec création possible d'un « méso relief » de **tassement différentiel**.

Le drainage se fait par un drain principal central et par des canaux adjacents en « arêtes de poisson ». Généralement la partie centrale du bas-fond se draine mieux (plus fort rabattement de la nappe phréatique) que les parties latérales souvent plus éloignées des drains, et où la nappe reste plus près de la surface (20 à 50 cm).

Dans les bas-fonds tourbeux, la pureté de la tourbe peut varier transversalement ou longitudinalement suivant l'arrivée sporadique de colluvions latérales : la tourbe peut localement être **mélangée à des argiles en dépôts organo-minéraux** ; dans ce cas elle est

moins hydrophobe et plus stable à l'état drainé. Elle peut aussi être alternée ou recouverte par une couche argileuse.

Cette situation se voit bien dans le bas-fond drainé (sur basalte) de **Tsitodimbrito** au nord de Manakara. La partie gauche du bas-fond possède localement des remblaiements d'argile grise (50-75cm). On trouve aussi un tel recouvrement tout à fait en amont dû à des « **pollutions colluviales** » en périphérie de la tête.

Autres bas-fonds tourbeux visités : **Ankepaka** (sur grès), **Amborobe** (sur grès), **Ambodimanga** (sur granito-gneiss), **Sakoana** (sur basalte), **Anoloky** (sur cordon dunaire ancien), **Langoro** (sur grès), **Ilakatra** (sur granito-gneiss, non drainé).

La mise en valeur des tourbes pures drainées pose quelques interrogations :

- **Le maintien d'une nappe d'eau** stable dans les rizières non remblayées artificiellement en argile (comme sur les Hauts-plateaux) par les agriculteurs. Sans doute sont elles condamnées à une mauvaise maîtrise de l'eau (RMME).
- **La stabilité de la surface du bas-fond**, par perte de volume et tassement différentiel (bosses, cuvettes) en cas de drainage trop poussé.
- Sur un tel matériau inerte biologiquement à l'origine, la possibilité de création progressive d'un « **sol de rizière** », avec des colloïdes (surface d'adsorption des éléments minéraux) susceptibles de conserver et libérer des éléments minéraux, et avec une certaine activité biologique (vers de terre...).
- Compte tenu de leurs propriétés d'**hydrophobie**, la capacité des tourbes drainées à se réhydrater par capillarité pour permettre des cultures de contre-saison.
- La capacité de réoxydation suffisante, même après drainage, d'un matériau 100 % organique (donc avec des composés « réducteurs ») afin d'éliminer la **toxicité ferreuse** (fer ferreux soluble) pour le riz
- Le danger potentiel qu'il y aurait à pratiquer un écobuage de cette tourbe drainée, en vue d'en libérer des éléments minéraux. Dans une tourbe drainée, **le feu se propage et couve longtemps** sans que ça se voit forcément, sinon lors d'affaissements de la surface.
- Les **déséquilibres minéraux** divers et de la **nutrition azotée**.

On peut penser que les microbes, les champignons et la macrofaune coloniseront et modifieront peu à peu ces matériaux : division et transformation de la matière organique en humus colloïdal, fixation de l'azote de l'air, adsorption des engrais apportés.

842 – Les petites vallées alluviales

Après un certain parcours les bas-fonds s'organisent et s'élargissent avec **cours d'eau individualisés** et petites plaines alluviales de 200 à 800 mètres de large, à pentes

longitudinales faibles. Ces plaines, à l'état naturel, sont souvent inondées par le débordement des petites rivières qui, au fur et à mesure qu'elles descendent vers l'aval pour se brancher sur des axes plus importants, ont de **plus en plus de mal à s'écouler**.

En effet, les plus grandes vallées, avec leurs bourrelets de berge, ont un alluvionnement plus rapide et **se surélèvent donc plus vite** que les vallées adjacentes de plus petite taille qui sont alors gênées dans leur écoulement et leur vidange. Le résultat est qu'à la confluence des petites avec les grandes vallées, il y a souvent des inondations permanentes ou de longue durée. On trouve ces situations sur les rivières Manambato, Manampatra, Manambavana qui se dirigent vers la mer à proximité de Farafangana. Même scénario autour de la rivière Matitanana à Vohipeno et de la rivière Mananara à Vangaindrano.

Dans les petites vallées alluviales, les sédiments sont le plus souvent exclusivement **argileux sur une grande épaisseur**. Il y a peu de tourbe, celle-ci n'ayant pas le temps de se former par rapport à la décantation argileuse.

Les cours d'eau n'étant pas très enfoncés (2-3 mètres), les crues ne sont pas violentes, mais fréquentes. Il n'y a pas encore de bourrelet de berge sableux. La décantation argileuse est lente.

Les agriculteurs ont aménagé le maximum de surface en rizières traditionnelles. Les parties les plus marécageuses sont laissées à leur sort.

843 – Les grandes vallées alluviales (fig. 13)

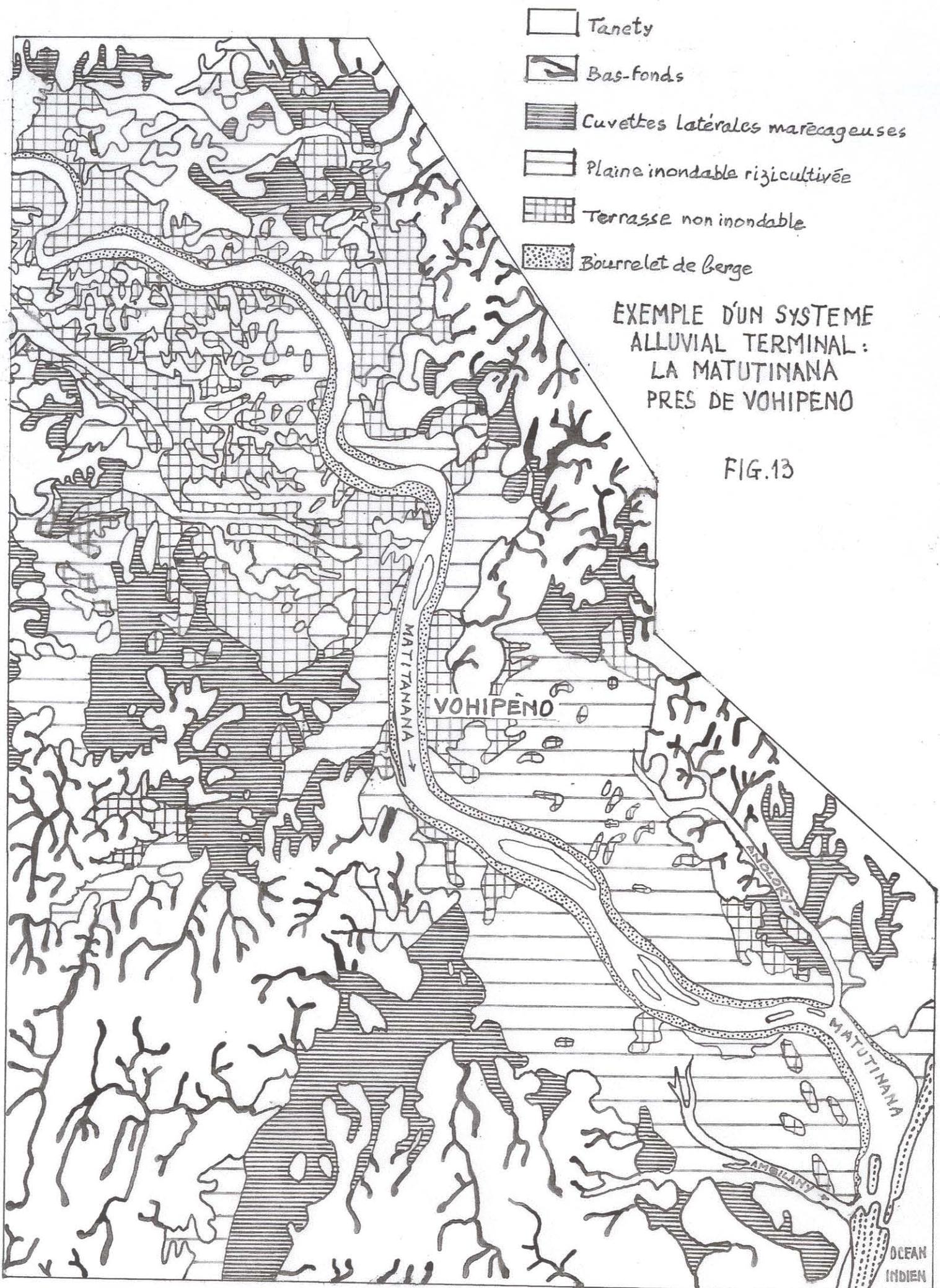
Cette fois, ce sont les fleuves qui, après de nombreuses difficultés et dispersions en multiples marécages (par exemple le marais d'Ambila en bordure de la Mananana au Nord de Manakara) finissent par se déverser en mer.

Du nord au sud, les principaux fleuves sont : la **Manambavana**, la **Manampatra**, la **Manambato**, la **Matitanana**, la **Mananara**.

Ces fleuves viennent de l'intérieur, parfois même de la falaise. Le bassin-versant le plus étendu est celui de la Mananara. Ils traversent les diverses provinces géologiques (granito-gneiss, basaltes, grès).

A l'approche du littoral leur dynamique hydrologique devient complexe, gênés dans leur écoulement par une **pente longitudinale très faible** et par les obstacles que constituent **les divers cordons sableux**. Les fleuves s'étalent en multiples défluent, leurs vallées s'élargissent sur plusieurs kilomètres et ils se répandent en vastes marécages remontants, envahissant souvent les vallées adjacentes qui s'y greffent. Le système de la Manambato et de ses marais latéraux (Ampitsaha) près de Farafangana est typique à cet égard. Même chose pour la Manambavana (marais de Fotsivony), pour la Matitanana à Vohipeno, pour la Mananara à Vangaindrano etc...

Les ppi sont la plupart du temps situés **un peu en amont de ses systèmes de deltas intérieurs** ou d'estuaires. Ils occupent souvent la bordure des plaines alluviales (1 à 3 kilomètre de large), ou l'aval de la jonction avec des bas-fonds latéraux tourbeux, endroits où sont construits les barrages de retenue et d'où partent les canaux :



-  Tanety
-  Bas-fonds
-  Cuvettes latérales marécageuses
-  Plaine inondable rizicultivée
-  Terrasse non inondable
-  Bourrelet de Berge

EXEMPLE D'UN SYSTEME ALLUVIAL TERMINAL : LA MATUTINANA PRES DE VOHIPENO

FIG.13

VOHIPENO

MATUTINANA

ANGLOKELY

MATUTINANA

AMBILANY

OCEAN INDIEN

- **Ambalolo** : rive gauche de la Manambato (bassin-versant basaltique avec gravillons et cuirasses), barrage de dérivation.
- **Tsitimody** : rive gauche de la Manampatra (bassin-versant basaltique à sols chocolat). Barrage de retenue.
- **Analafia-Ambositra** : rive gauche de la Manampatra (bassin-versant granito-gneissique). Barrage de retenue.

Tous ces sites aménagés en rizières sont **fortement argileux** et **non tourbeux**. Ils sont inondables épisodiquement, une ou deux fois par an, l'inondation restant 2 à 4 jours.

Le site en projet (réhabilitation) de **Tsinofana** (Vangaindrano) par contre, est localisé sur une petite plaine de la rivière Ivony, tributaire, plus en aval, de la Manampanihy puis de la Mananara. Il sera aménagé à partir d'un barrage de dérivation situé sur une petite rivière adjacente à l'Ivony, la Vakaly. Les sols y sont également très argileux.

La plupart des grandes vallées alluviales, larges de plusieurs kilomètres, en amont de leurs « deltas-estuariers » littoraux, montrent une multitude de **lambeaux d'une terrasse ancienne**, sous la forme de **petits « plateaux » de 1 à 3 mètres de dénivellation**. La rive droite de la Matitanana est particulièrement exemplaire. Mais on retrouve cette terrasse partout. S'y emboîte un réseau anastomosé de chenaux plats non tourbeux, rizicultivés et souvent inondables par la crue du grand fleuve. Ces chenaux ont été élargis à l'angady à partir de la terrasse dont le talus est artificiellement verticalisé. La maîtrise d'eau y est inexistante. Ils sont tributaires des pluies et des crues.

Les terrasses présentent des sols gris-jaunâtre, la plupart du temps **compacts, à faible fertilité** (« sols à manioc »). L'eau ne les atteint pas, elles ne sont donc pas rizicultivées et souvent même pas cultivées.

La terrasse témoigne d'un niveau de base ancien (quaternaire moyen) dans lequel s'est imprimé et enfoncé le niveau de base actuel qui est celui des crues.

A côté de ces lambeaux de terrasse, les plaines montrent de **larges cuvettes de décantation** très argileuses, rizicultivées ou non.

Enfin, il faut signaler, bien qu'il ne soit pas très marqué, la présence d'un « **bourrelet de berge** » de part et d'autre des fleuves. Généralement peu élevé (un à deux mètres), il est large de 50 à 200 mètres par berge. Le bourrelet est constitué **d'alluvions limono-sablonmicacées** déposées en premier lors des débordements. Les crues y passent rapidement sans violence. C'est à l'arrière que la vraie inondation, plus ou moins prolongée, commence. Les sols des bourrelets sont fertiles car riches en minéraux. Beaucoup de villages y sont situés avec leurs jardins étagés à espèces pérennes (Caféier, girofler, litchi, vanille, jacquier, arbre à pain, agrumes...).

Le périmètre SD-Mad de la **Basse Matitanana** (village de **Tsarinetso**) est typique à cet égard. A l'arrière du bourrelet, commence la plaine rizicultivée. Les sols y sont déjà beaucoup moins sableux, bien qu'encore avec des paillettes de mica et des limons. La nappe phréatique y était à 130 cm le 5 novembre 2008.

Plus loin du bourrelet se trouve la grande plaine alluviale, avec des lambeaux de terrasse ancienne, de larges zones plus dépressionnaires ou stagnent plus longtemps les crues, et parfois des « îlots » de tanety (basalte ou grès).

Dans le Sud-Est, l'alluvionnement des plaines alluviales est toujours, sauf exceptions, **argileux** sans lentilles de sable. C'est la conséquence de la dynamique hydrologique en milieu forestier (à l'origine). Les bassins-versants libèrent des argiles des sols ferrallitiques plus que des sables (altérites profondes) car la dynamique n'est pas au ruissellement brutal mais aux arrivées étalées puis aux **décantations lentes en aval**. Il n'y a pas de lavaka dans ces régions orientales. Sur les Hauts Plateaux ce sont surtout eux qui alimentent les fleuves en sables. Dans le SE les crues ne sont pas encore trop brutales, elles prennent le temps de s'étaler. La déforestation et la mise en culture traditionnelle des tanety vont sans doute progressivement changer les choses.

LEXIQUE

- Acidité (d'un sol)*** Propriété d'un sol très lessivé* qui ne possède presque plus aucun élément minéral sur son complexe adsorbant, à part des ions hydrogène. L'acidité dépend de la concentration en ions hydrogène dans la solution du sol, que l'on peut mesurer avec un appareil (pH-mètre). Plus il y en a plus le sol est dit « acide », avec des propriétés défavorables pour la nutrition minérale de la plante.
- Activité biologique (dans un sol)*** Activité des microbes, des petits champignons, des petits animaux (vers de terre, fourmis, termites, larves d'insectes...), des racines, qui ont un impact positif sur la fertilité* d'un sol, ses propriétés physiques et chimiques.
- Allophane*** Substance chimique minérale non cristallisée (on dit amorphe*) composée de silice et d'aluminium, dans un sol volcanique récent (par exemple près de Betafo) et qui lui confère certaines propriétés, comme par exemple de fixer fortement le phosphore.
- Alluvions*** Les matériaux (sédiments) que dépose un cours d'eau lorsqu'il déborde : galets, sables, limons, micas, argiles.
- Altération (zone d')*** Processus qui conduit à transformer une roche saine (par exemple un gneiss*) en sol. La zone d'altération d'un sol ferrallitique* est la « roche pourrie », c'est-à-dire l'épais niveau (jusqu'à 30 mètres d'épaisseur) situé entre la roche saine en bas et le niveau coloré argileux supérieur. Mais dans un sens général toute la zone de « transformation » de la roche jusqu'en surface est appelée « altérite ».
- Alvéole (dans le paysage)*** (Nom masculin ou féminin). En géomorphologie, très large dépression dans le paysage, entre des reliefs résiduels *, par exemple l'algéole de Soavina, de 25 km de long. Quand l'algéole est plus long que large, on peut parler de gouttière*.
- Amont*** Pour une rivière ou un bas-fond : partie supérieure de son cours (la partie inférieure s'appelle l'aval *). Pour un versant : la partie supérieure de la pente.
- Amorphe*** Terme de chimie qui signifie « substance non cristallisée », c'est-à-dire où les atomes ne sont pas disposés en réseau ordonné.

<i>Andosol</i>	Sol volcanique récent (type Betafo) composé de projections (cendres, lapilli*) et qui possède des composantes amorphes* (non cristallisées) souvent appelés allophanes*.
<i>Aval</i>	Pour une rivière ou un bas-fond : partie inférieure de son cours (la partie supérieure s'appelle l'amont*). Pour un versant : la partie inférieure de la pente.
<i>Basalte</i>	Roche volcanique sombre (noirâtre) pauvre en silice et riche en minéraux ferro-calco-magnésiens. Il est émis par un volcan, soit sous forme de coulées de lave qui s'écoulent vers les points bas, soit sous forme pulvérisée de projections : cendres, lapilli*, pouzzolanes*.
<i>Bas fond</i>	A Madagascar, petite vallée à fond plat, sans cours d'eau individualisé, commençant souvent en amont *, par un amphithéâtre. Un bas-fond, est le plus souvent tourbeux* dans sa partie amont.
<i>Bief</i>	Partie alluviale fortement élargie d'une petite vallée, située à l'arrière d'un seuil rocheux que le cours d'eau a eu du mal à franchir, favorisant l'étalement de la sédimentation.
<i>Bourrelet de berge</i>	Léger bombement de 50 à 200 cm de haut et de 20 à 150 mètres de large situé de chaque côté d'un grand cours d'eau, composé essentiellement de sables, de micas et de limons, déposés en premier (avant les argiles qui, elles, vont décanter plus loin) lors du débordement de ce cours d'eau.
<i>Capacité d'échange (d'un sol)</i>	La capacité d'un sol (grâce à ses argiles et sa matière organique) à retenir les éléments minéraux et à les libérer quand la plante en a besoin.
<i>Cipolin</i>	Roche calcaire, dure, cristallisée sous forme de petits cristaux de calcite bien soudés.
<i>Collines (ou reliefs) dérivés (ou « de dissection »)</i>	Sur les Hauts-Plateaux de Madagascar, il s'agit des collines convexes*, d'altitudes variables, résultant (« dérivant ») du démantèlement d'une ancienne surface d'aplanissement* ferrallitisée*. Lorsque, par endroits, cette dernière subsiste en témoins, autour et en contre-bas se trouvent les reliefs dérivés convexes*.

Les convexités caractéristiques de Madagascar indiquent que ces processus de démantèlement et de baisse d'altitude se sont produits sous forêt humide.

- Colluvions*** Matériaux issus de l'érosion*, accumulés au piémont* d'un versant*.
- Compaction (d'un sol)*** Diminution ou disparition des fissures et pores (minuscules trous) d'un sol, le rendant difficilement pénétrable à l'air, à l'eau et aux racines.
- Complexe adsorbant (d'un sol)*** Ce qui permet à un sol de retenir les éléments minéraux, que l'on dit alors « adsorbés ». Le complexe adsorbant est constitué des argiles (particules les plus fines) et de la matière organique, cette dernière, jouant un rôle important dans la fertilité* du sol. La propriété du complexe adsorbant d'un sol est sa capacité d'échange*.
- Concave (versant ou relief)*** Forme d'un versant* dont la pente (l'inclinaison) diminue vers l'aval*. Inverse de convexe*.
- Convexe (versant ou relief)*** Forme d'un versant* ou d'un relief arrondi dont la pente augmente vers l'aval*. En langage imagé on parle de « demi-orange » pour une colline convexe à forme de bol renversé. Fréquent dans le SE sur granito-gneiss*. Inverse de concave*.
- Cuvette de décantation*** Zone déprimée d'une plaine alluviale* où l'eau de débordement d'une rivière stagne et laisse déposer calmement ses alluvions* argileuses.
- Drainage*** Processus d'évacuation de l'eau en surface (par exemple dans un marécage, ou sur un bas-plateau) ou dans le sol momentanément engorgé. Le drainage peut être naturel (vitesse d'évacuation de l'eau d'inondation par exemple) ou bien artificiel (drainage d'un bas-fond à sols très hydromorphes* engorgés par la nappe phréatique*).
- Erosion (d'un sol)*** En général arrachement par l'eau de pluie, par l'intermédiaire du ruissellement*, d'une partie du sol lorsqu'il est mis à nu. Mais cela peut aussi concerner le fluage * des altérites * mobilisées par la nappe phréatique*.
- Ferrallitique (sol)*** Sol le plus fréquent de Madagascar, qui a commencé à se former il y a très longtemps (plus de 500.000 ans) par altération (en langage imagé « pourriture ») de la roche. Ce sol est coloré (rouge, ocre, jaune, chocolat)

dans sa partie supérieure argileuse, rosâtre, beige, ou bigarré dans sa partie inférieure plus sableuse qu'on appelle zone d'altération* et qui peut être très épaisse (5 à 30 mètres). Ce très vieux sol est lessivé* depuis longtemps, il a une faible capacité d'échange* et est acide*. Sa fertilité* est faible.

Fertilité (d'un sol)

Aptitude d'un sol à produire. Plus un sol produit, plus il est fertile. C'est une notion globale et synthétique. La bonne fertilité d'un sol peut être due à sa structure favorable (sols « chocolat du SE) ou à ses propriétés chimiques intéressantes (andosols* de la région de Betafo et de Iandratsay, baiboho, bourrelet de berge*...).

Fluage (dans les bas-fonds)

processus lent (qui ne se voit pas à l'échelle humaine) de mise en mouvement vers l'aval* d'une lame ou nappe de boue ou de sable issue de l'érosion par reptation des altérites des versants voisins et noyés par la nappe phréatique* à l'arrivée dans le bas-fond. Le fluage explique le fond plat d'un bas-fond*. La lame de fluage n'est pas à proprement parler composée d'alluvions* qui, elles, sont issues du débordement d'un cours d'eau inexistant ici.

Gabbro

Roche d'origine volcanique (basalte* transformé par métamorphisme*), qui est cristallisée en minéraux sombres dits ferro-calco-magnésiens (lui donnant sa teinte sombre d'ensemble), en feldspaths, rarement en quartz*. Un sol ferrallitique* sur gabbro est rouge foncé (présence importante de fer dans la roche) et est bien structuré* par rapport aux autres sols ferrallitiques par exemple sur granito-gneiss*. Il possède une relative bonne fertilité*. On le trouve en particulier dans l'alvéole* de Soavina.

Glacis

Surface régulière à pente faible, située au piémont* d'un plus haut relief (hautes collines, reliefs résiduels*...). Il peut être l'amont* d'une surface d'aplanissement* c'est-à-dire l'endroit où elle se raccorde à des reliefs dominants.

Gneiss

Roche très courante à Madagascar qui ressemble à un granite*, c'est-à-dire cristallisée (quartz, feldspaths, micas, minéraux noirs) mais dont les cristaux présentent une certaine orientation (on dit « foliation »). L'altération (donc l'érosion postérieure) du gneiss est plus rapide que sur granite* qui, à la longue, reste en relief. Le gneiss fait partie d'un ensemble de roches très anciennes qu'on appelle

« métamorphiques* », c'est à dire qui résultent de la transformation chimique de roches dites « sédimentaires » (calcaires, grès, argiles...) qu'on voit par exemple dans l'Ouest de Madagascar.

Goethite (dans les sols)

Oxyde de fer hydraté de teinte jaune et qui, fixé aux argiles, colore donc le sol en jaune. Par altération ferrallitique*, le fer contenu dans les roches se transforme en oxydes. Si le climat est humide (frange Est de Madagascar) et que le sol ne subit pas de fortes dessiccations, l'oxyde de fer prend la forme hydratée, c'est à dire la goethite. A l'inverse si le climat à une vraie saison sèche, l'oxyde de fer prend la forme déshydratée rouge qui est l'hématite*.

Gouttière (dans le paysage)

Alvéole*, c'est à dire vaste dépression ouverte, plus longue que large. On peut parler par exemple de la gouttière de Soavina.

Granite

Roche grenue cristallisée très courante à Madagascar, dont les cristaux ne montrent pas d'orientation particulière (pas de « foliation »). Le granite a deux origines possibles : soit « intrusive » c'est-à-dire sous forme de magma (lave) traversant d'autres roches existant déjà, soit métamorphique* c'est à dire, comme le gneiss*, le micaschiste, le quartzite* ou le cipolin*, résultant de la transformation chimique ultime de roches sédimentaires préexistantes (par exemple les grès).

L'altération ferrallitique*, donc l'évacuation ultérieure par érosion, est moins rapide que sur les gneiss*, les gabbros*, les micaschistes, les granito-gneiss*. Le granite, sur une très longue durée, a tendance à se dégager en reliefs résiduels rocheux* (boules, dômes, inselbergs*).

Granito-gneiss

Nom générique pour désigner indistinctement granites * d'origine métamorphique* et gneiss*, lorsqu'ils sont imbriqués sans que les uns (granites) ressortent plus que les autres (gneiss) dans le paysage. Seule une étude géologique ou géomorphologique de détail permettrait de les distinguer. On peut dire par exemple que, globalement, les Hauts-plateaux, le Moyen-Ouest et la frange orientale, sont majoritairement composés de granito-gneiss.

Grès

Roche sédimentaire dite « détrititique » (de « détritit ») résultant de l'érosion, de l'accumulation et de la consolidation de débris de roches plus anciennes,

sous formes de colluvions sableuses, d'alluvions sableuses ou de dépôts éoliens.

Les grès peuvent avoir des compositions multiples, mais ils sont le plus souvent riches en grains de quartz*. Ils sont souvent alternés avec des dépôts plus argileux. On parle alors plus globalement de « grès argileux », ainsi dans la région du Sud-Est.

Hématite (dans les sols)

Oxyde de fer non hydraté, de teinte rouge et qui, fixé aux argiles, colore donc le sol en rouge. Par altération ferrallitique* le fer contenu dans les roches se transforme en oxydes. Si le climat est humide (frange Est de Madagascar) et que le sol ne subit pas de fortes dessiccations, l'oxyde de fer prend la forme hydratée, jaune c'est-à-dire la goethite *. A l'inverse si le climat a une vraie saison sèche, l'oxyde de fer prend la forme déshydratée rouge qui est l'hématite.

Hydromorphe (sol)

Propriété et aspect, d'un sol qui est engorgé par l'eau une partie plus ou moins longue de l'année. Le sol, privé d'air donc d'oxygène, tend à se décolorer du fait de la transformation des oxydes de fer. Il devient gris (long engorgement annuel) ou tacheté (engorgement temporaire).

Inselberg (mot nordique)

Dôme ou « pain de sucre » de granite sain et lisse qui domine le paysage. (fréquents en pays Betsileo)

Kaolinite (dans un sol)

Type d'argile que l'on trouve dans les sols intertropicaux, en particulier dans les sols ferrallitiques* où elle est liée aux oxydes de fer. Elle dérive de la recombinaison partielle de la silice et de l'aluminium libérés par l'altération* des roches.

Lacustres (alluvions ou sédiments)

Alluvions* déposées dans un lac, issues des cours d'eau qui s'y jettent ou des projections volcaniques qui y tombent (exemple : le bassin lacustre d'Antsirabe).

Lapilli

Projections volcaniques de nature basaltique* de 2 à 10 mm de grosseur (exemple : les lapilli de la région de Betafo)

Lavaka

Signifie « trou » en malgache ; passé dans le langage géographique pour désigner l'érosion spectaculaire des altérites ferrallitiques* en entonnoirs profonds et à parois verticales, pouvant faire jusqu'à 300 m de long et 50 m de hauteur, élargis en amont* resserrés en aval*.

Lessivage (des sols)

Au sens large, tout ce qui est évacué du sol par les eaux d'infiltration : éléments minéraux en solution, argiles..., Un sol ferrallitique* est très lessivé puisqu'il est très ancien. Au sens étroit du terme ne concerne que le départ des argiles qui ne sont pas en vraie solution (on parle alors de colloïdes).

Lixiviation (des sols)

Départ, donc lessivage, des éléments minéraux en solution seuls (donc pas des argiles qui sont des colloïdes).

Matière organique (dans les sols)

Tout ce qui, dans un sol, dérive de la décomposition et de la transformation des organismes vivants, végétaux ou animaux. Si la matière organique est bien décomposée, bien transformée et bien liée aux particules minérales (argiles, limons, sable) on parle d'humus. Elle est le siège d'une activité biologique* (microbes, vers de terre...) qui rend assimilables par les plantes, les éléments minéraux (azote, phosphore, calcium, potassium, oligo-éléments) présents dans le sol. Si elle ne se décompose pas ou mal dans l'eau en l'absence d'oxygène, on parle de tourbe*.

Métamorphique (roche)

Roche qui résulte de la transformation, chimique et physique, d'anciennes roches sédimentaires (issues de sédiments déposés sous l'eau ou hors de l'eau), sous des conditions extrêmes de pression et de température, au cœur de chaînes de montagne en formation par exemple. C'est ce qui s'est passé à Madagascar lors de la genèse d'au moins trois chaînes de montagnes à l'ère précambrienne (800.000 à 2,5 milliards d'années).

Le socle* de Madagascar correspond aux cœurs plissés de ces 3 chaînes de montagne rabotées par l'érosion pendant les ères géologiques. C'est pourquoi on y trouve des roches métamorphiques : les calcaires sédimentaires ont donné des cipolins*, les grès et sables purs ont donné des quartzites*, les schistes ont donné des micaschistes, les grès impurs ont donné des gneiss* ou des granites*, les basaltes* ont donné des gabbros*...

Modelé

Forme du relief (versant, bas-fond, cuvette, plateau, plaine alluviale, bourrelet de berge etc...).

Nappe phréatique (dans une altérite)

Eau, alimentée par les pluies qui s'infiltrent, qui remplit tous les pores (trous) du matériau d'altération*. Cette eau peut circuler en montant ou en baissant. On parle de fluctuation de la nappe phréatique. Les

altérites ferrallitiques* ont une nappe à 10-30 m de profondeur sous le sommet de la tanety et qui peut fluctuer sur quelques mètres. Cette nappe affleure à la base des versants* et alimente les bas-fonds*.

Niveau de base

Dans un paysage ou une région donnée, quand les eaux de surface (cours d'eau) n'ont plus d'énergie pour circuler et déposent leur alluvions* c'est qu'on a atteint leur niveau de base. C'est une application des lois de la pesanteur. Tant que l'eau circule elle est capable d'éroder* le matériau qu'elle traverse. Au niveau de base, elle stagne et n'a plus de potentiel d'incision. Le niveau de base peut changer dans le temps, baisser en particulier. C'est-à-dire qu'en amont* à un même endroit, un cours d'eau qui entaillait peu, coulera plus vite et entaillera donc davantage jusqu'à atteindre le nouveau niveau de base situé plus bas. L'ancien niveau de base est lui-même érodé et subsiste (héritage) en terrasses* perchées. Pour une période donnée, le plus ultime niveau de base pour n'importe quel cours d'eau est la mer. Mais chaque cours d'eau possède des niveaux de base locaux.

Nutriments (ou nutriments)

Éléments minéraux nécessaires et assimilables par les plantes. Ils sont soit naturellement dans le sol, soit apportés par la fertilisation.

Pénéplaine

Terme géographique un peu vague qui n'est plus très utilisé. A Madagascar il est synonyme de « surface d'aplanissement* ». Vaste étendue dégagée, à peu près à la même altitude.

Plaine alluviale (d'un cours d'eau)

Plaine constituée par l'accumulation d'alluvions* déposées par les débordements et les changements de lit d'un cours d'eau. Étendue globalement horizontale, mais pouvant montrer dans le détail des dépressions, des cuvettes*, d'anciens lits, des bourrelets de berge*.

Plateau

Étendue globalement horizontale, perchée au-dessus des paysages environnants et délimitée par des talus ou versants* pentus (exemple : les plateaux cuirassés sur basalte du SE de Madagascar). Le terme de « Hauts Plateaux », pour les « Hautes Terres » Centrales de Madagascar est donc impropre bien qu'entériné par l'usage.

Pompe biologique

Propriété que peuvent avoir les enracinements profonds d'absorber et récupérer (« pomper ») les éléments minéraux pour les plantes qui les redéposent en surface

en se décomposant et les remettant à disposition des cultures associées ou des cultures suivantes. Terme appliqué en général aux plantes de couverture aux enracinements profonds et puissants.

Pouzzolanes (de Pouzzole, localité italienne)

Projections volcaniques basaltiques de plus de 20 mm de grosseur qui s'accumulent en lits superposés sur les flancs du volcan qui les émet (exemple : les pouzzolanes de Betafo).

Quartz

Silice cristallisée pierreuse présente en cristaux dans les roches grenues (granito-gneiss...*) ou en filons blancs traversant ces roches. Le quartz est ce qui résiste le plus longtemps à l'altération des roches. C'est pourquoi il est abondant dans le sol coloré et les altérites* sous forme de grains de sable.

Quartzite

Roche métamorphique* formée de silice issue de la cristallisation en quartz* d'anciens grès* (roche sédimentaire formée de grains de sable soudés).

Reliefs résiduels

A Madagascar, ce sont des reliefs rocheux dominant les paysages environnants. Il s'agit le plus souvent de granites*, de quartzite* ou de cipolin*. Pour les granites les « résidus » (ou « noyaux durs ») peuvent prendre la forme de grosses boules, de dômes lisses ou d'inselberg*. Ce sont des roches qui se ferrallitisent* moins vite que les gneiss*, micaschistes... situés autour et qui, eux, « descendent » plus vite car davantage touchés par les épisodes climatiques érosifs (création de surface d'aplanissement*). Les reliefs résiduels dominant donc souvent les alvéoles* d'évidement et les glacis* de piémont*.

Roche cristalline

Roche grenue composée de cristaux (quartz*, feldspaths, micas, minéraux noirs...): granite*, gneiss*, micaschiste, cipolins*... Le plus souvent à Madagascar elle résulte de la transformation (métamorphisme*) de roches sédimentaires sous l'effet d'énormes pressions et températures.

Ruissellement

Ecoulement superficiel de l'eau de pluie qui ne s'infiltré pas. Le ruissellement, sur sol nu en particulier, peut arracher des particules de terre et causer de l'érosion*. Le ruissellement peut être « en nappe » (lame d'eau étalée) ou « concentré » (rigoles, ravins...).

Saturation-désaturation (d'un sol)

Etat de « remplissage » du complexe adsorbant* en éléments fixés et assimilables par les plantes (cations), soit utiles (calcium, magnésium, potassium, oligo-éléments), soit toxiques (aluminium, manganèse). Un sol est saturé quand tous les sites de fixation sur le complexe adsorbant* sont occupés. L'état de saturation s'exprime en pourcentage (0 à 100 %).

Socle

Il s'agit des plus vieilles roches de Madagascar (ère précambrienne, d'âge supérieure à 800 millions d'années) qui en constituent le « substratum ». Il montre les « racines » rabotées de chaînes de montagne précambriennes qui ont transformé les roches sédimentaires préexistantes en roches métamorphiques*. Le socle est composé de roches cristallines* « intrusives » ou métamorphiques (granites*, gneiss*, micaschistes, quartzites*, cipolins*, gabbros*). Le socle, au cours des ères géologiques, a subi des phases d'altération*, de soulèvements, de dislocation, de volcanisme et d'érosion (surfaces aplanissements*, reliefs dérivés*..).

Structure (du sol)

Ensemble des fissures (minuscules ou grossières) visibles ou peu visibles, qui parcourent un sol, et qui peuvent délimiter des « agrégats » (petites mottes naturelles). Cette fissuration et les pores du sol, guident la descente de l'eau, de l'air et des racines. Un sol « massif » est le contraire d'un sol structuré. La bonne structure d'un sol, avec sa porosité, est une condition et une composante essentielle de sa fertilité*.

Surface d'aplanissement

Etendue plane bien dégagée résultant du « rabotage » (arasement) par l'érosion* des altérites* de reliefs préexistants, lors des différentes périodes géologiques. On compte environ 4 surfaces d'aplanissement successives étagées à Madagascar, qui se trouvent en altitude du fait du soulèvement lent du socle* malgache.

Le terme érosion* ne préjuge pas ici des processus (mécanismes) impliqués. Cette érosion* peut être due, c'est l'hypothèse la plus courante, aux actions des eaux superficielles balayantes, et à la longue arasantes, sous climat sec et agressif, à averses violentes sur un sol peu couvert. Mais elle peut aussi être due aux actions des nappes phréatiques* imbibant le manteau altéritique*, qui provoquent un fluage* (« fonte » en langage imagé) de ces altérites ainsi étalées et mobilisées (comme un tapis roulant) vers le nouveau niveau de base* situé à plus faible altitude, alors que le front de fluage* (l'endroit où se produit la « fonte » vers le nouveau

niveau de base*) recule vers l'amont comme un morceau de sucre qui fond. Ce type d'érosion* (encore peu étudié et reconnu) se produit plutôt sous climat humide. De telles « surfaces de fluage » existent en périphérie du Lac Alaotra où elles continuent à se former.

Depuis leurs périodes de formation et du fait des baisses de niveau de base*, les surfaces d'aplanissement à sols ferrallitiques* ont été réentaillées par des réseaux de vallées* souvent bien encaissées, en plateaux découpés en lanières, présentant à peu près la même altitude. Les plus belles surfaces d'aplanissement s'observent dans le Moyen-Ouest (la pénéplaine* de Mandoto par exemple). Sur les Hauts Plateaux et dans le Moyen-Ouest on en trouve les lambeaux (d'âges géologiques différents) étagés à des altitudes différentes. Le soulèvement lent du socle* malgache explique en partie cet étagement.

***Terrasse (d'une vallée,
d'une plaine alluviale)***

Témoin d'un niveau de base* alluvial ancien d'un cours d'eau, ré-entaillé par le niveau de base local actuel. Autrement dit, restes de l'ancien fond de vallée*, généralement dispersés en petits « bas-plateaux », perchés à quelques mètres au dessus de la plaine alluviale* actuelle. La terrasse est donc composée d'alluvions* anciennes. Les sols, anciens sols hydromorphe* (tachetés) y sont généralement médiocres (compacts).

Tourbe

Débris végétaux issus d'une végétation aquatique, accumulés les uns sur les autres, non ou peu décomposés du fait d'un engorgement permanent, sans oxygène, empêchant le travail normal des bactéries. La tourbe, de couleur brun-foncé, peut faire 0,40 à 3 mètres d'épaisseur dans les bas-fonds* surtout dans leurs parties amont*.

Toxicité

Effet néfaste sur une plante, de l'assimilation de certains éléments chimiques présents dans le sol. Par exemple l'aluminium (dit « échangeable ») dans certains sols ferrallitiques* très acides* ou le fer (dit « ferreux », soluble) pour le riz dans les sols de bas-fonds*.

Vallée

Endroit « en creux » longitudinal dans le paysage où se concentrent les eaux de ruissellement ou/et de nappe phréatique* d'un bassin versant*, qui s'écoulent

longitudinalement et où se déposent des sédiments minéraux (alluvions*) ou végétaux (tourbe*).

Une petite vallée peut être un bas-fond sans cours d'eau mais à matériau de fluage* plus ou moins tourbeux*. En s'élargissant on passe à une vallée alluviale* à cours d'eau individualisé (dépôt d'alluvions* par débordement) puis à une plaine alluviale* quand la bande alluviale est très large.

Versant

Partie en pente d'un relief, quel qu'il soit (colline, plateau*, relief résiduel*), dominant des vallées*. La pente du versant peut être convexe*, concave* ou rectiligne. Le versant peut être long ou court, en pente forte ou faible. Si la pente est très faible, au pied de reliefs dominants, on parle de glacis* plutôt que de versant. On parle de « versant de raccordement », généralement convexe*, pour nommer le versant qui raccorde un plateau ou une surface d'aplanissement* à une vallée*.