

LES PLAINES ORIENTALES DE MADAGASCAR

A.Claude RATSIMBAZAFY

Pédologue

- 1970 -

La zone étudiée comprend les versants orientaux et le replat littoral jusqu'à la mer. Elle occupe toute la longueur de l'Ile.

Malgré cet allongement submériidien de près de 1400 km, on y rencontre un ensemble de conditions semblables : géologie, relief général, climat, végétation ...

Cette zone Est est une des régions de Madagascar qui ont fait l'objet de nombreuses études pédologiques. Nous en avons effectuées quelques unes mais nous utiliserons également les travaux des autres pédologues aussi bien de l'ORSTOM que des autres organismes.

La présente note est un essai de synthèse des connaissances acquises sur cette zone quant aux plaines. Mais les plaines se trouvant en position basse, héritent nécessairement des caractères dus au milieu existant sur les reliefs qui les surplombent. Nous serons donc amenés à dégager assez brièvement ces caractères. Dans l'étude des facteurs de pédogenèse, nous avons essayé de les distinguer suivant le rôle qu'ils jouent en précisant leur relation avec les sols.

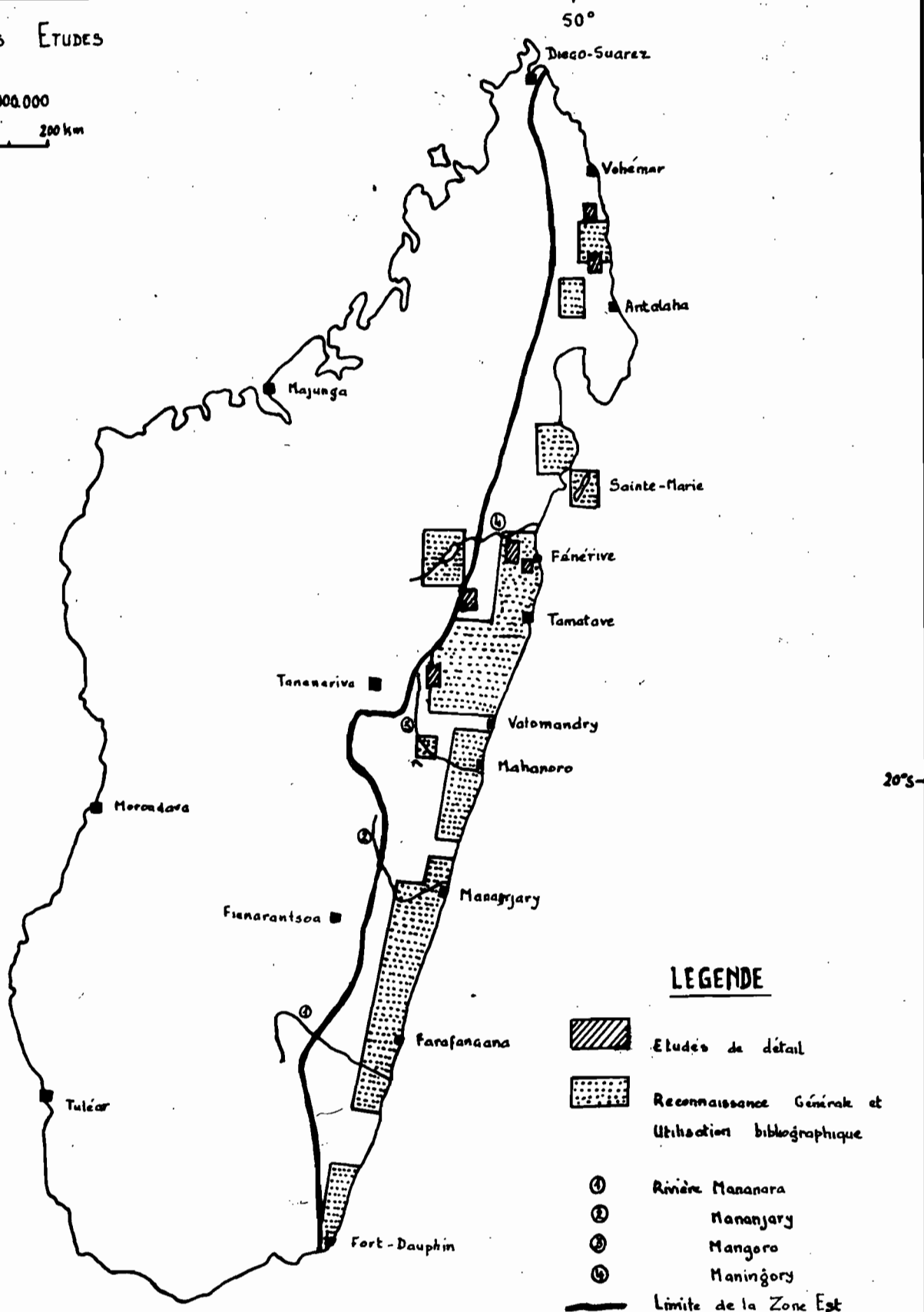
- Certains facteurs jouent un rôle important sur la formation et l'évolution générale des sols : ce sont la géologie, le climat, le relief général, la végétation. Leurs influences se font sentir à un niveau très élevé de la classification des sols : classe, sous-classe et groupe.

Les autres influent sur la répartition des sols formés sur al-

LOCALISATION DES ETUDES

Echelle 1/7.000.000

0 200 km



luvions : ce sont la géomorphologie et l'homme. La géomorphologie elle-même est le reflet de la résultante des phénomènes d'alluvionnement et de l'érosion, du système hydrographique. Il est évident que les rôles de ces différents facteurs s'interfèrent les uns sur les autres et une séparation nette est impossible, cependant dans de telle étude, cette distinction nous semble utile pour comprendre les phénomènes.

L'exposé se fera donc comme suit :

I. Facteurs généraux de la pédogénèse

- géologie, relief, climat, végétation
- influence sur l'évolution des sols

II. Facteurs d'évolution au sein des vallées alluviales

- géomorphologie, l'homme
- influence sur les sols

III. Les sols des plaines et leurs aptitudes culturales

IV. Problème de mise en valeur

I - FACTEURS GÉNÉRAUX D'ÉVOLUTION DE LA PÉDOGÉNÈSE

I. 1 - Géologie et géomorphologie

Tous les géologues ayant effectué des études sur la zone Est de Madagascar sont unanimes dans leurs rapports sur l'existence de trois unités géographiques :

1.1 - Les hauts massifs, d'altitude 900 m et plus, reliefs dérivés, profondément disséqués, que P. BRENON a appelés reliefs polyédriques. Ils sont formés sur le socle cristallin constitué de granite, de gneiss, de migmatites, de filons de quartzites et de roches éruptives anciennes telles que gabbros et diorites.

Ils portent des forêts primaires, ombrophiles. Les vallées sont étroites, très encaissées et les rivières ont un régime torrentiel.

Ils ont été affectés par des mouvements tectoniques s'échelonnant dans le temps depuis le Précambrien jusqu'à des périodes très récentes. Ils se sont traduits d'une part par des décrochements verticaux, aboutissant à la mise en place des versants orientaux, des couloirs de direction subméridienne et des parois rocheuses, d'autre part à des essaims de dykes généralement doléritiques.

L'hétérogénéité des roches et l'encaissement du système hydrographique ont permis l'édification de ces reliefs dérivés polyédriques.

1.2 - Zone de basse colline

Le raccordement entre les massifs précédemment étudiés et la zone de basse colline, dont l'altitude varie de 50 à 600 m, se fait par une dénivellation de 300 à 500 m. La plupart des géologues y trouvent des failles.

Cette zone de basse colline, au relief mollement ondulé, entrecoupé de petites vallées peu encaissées et marécageuses faute d'exutoire, descend en pente douce vers l'Est. F. DIXEY l'a considérée comme faisant partie de la surface finitertiaire. Pour F. BOURGEAT, elle fait partie des niveaux locaux d'aplanissement de la fin du tertiaire, dont le témoin le plus caractéristique est le niveau de Ranomajana et de Brickaville. A Farafangana, cette surface tronque à la fois des roches basaltiques crétacées et des roches cristallines. C'est la zone des "Savoka" à Ravenala ou Bambou, ou des pseudo-steppes.

Les basses collines sont formées sur roches diverses :

- socle cristallin : migmatite, gneiss, granite
- roche éruptive : basalte crétacé, amphibolites
- roche sédimentaire : on observe des roches sédimentaires du crétacé supérieur, sous forme de plaquages ou de buttes ravinées. La série est constituée de grès grossiers, de formations argilo-gréseuses ou d'argiles bariolées.

- Quant aux terrasses fluviatiles, nous nous référons à la récente thèse de F. BOURGEAT qui synthétise les dernières connaissances acquises à ce sujet. Les dépôts alluviaux les plus anciens sont difficiles à identifier en raison de l'analogie de faciès avec les séries sédimentaires du Crétacé. La haute terrasse, la plus ancienne, ne laisse de témoin que sur la piste Brickaville-Anivorano. Sur la moyenne terrasse, on distingue les dépôts à dominance sableuse et ceux à dominance argileuse. Les terrasses sableuses ont été observées dans la région de Ranomafana et d'Anaborano, les terrasses argileuses dans les basses vallées de la Manampatrana, de la Manambato, dans la plaine d'Anosivelo. Nous reproduisons une coupe présentée par cet auteur dans sa thèse (planche n° 1, 2e coupe).

La moyenne terrasse argileuse a été reconnue par nous-mêmes dans la plaine de l'Iazafo, ainsi que dans la vallée de la Lokoho au Sud de Sambava. De même, dans la plaine d'Ampahefena, au Sud de Vohémar, nous avons rencontré ce recouvrement de la formation sableuse par un dépôt argileux dans certaines têtes de talweg.

Bref, sur certaines régions du littoral oriental, les recreusements quaternaires sont moins marqués que sur les Hautes terres. Néanmoins la distinction entre la Haute terrasse ancienne et les séries crétacées et pliocènes n'est pas aisée en raison de l'analogie de faciès. Les coupes naturelles sont rares. Par contre, les moyennes terrasses argileuses et sableuses peuvent être caractérisées avec moins de difficulté.

...

1.3 - Zone côtière

La zone côtière, d'altitude inférieure à 50 m, peut être plus ou moins large suivant les régions, large dans la partie méridionale, presque inexistante dans la partie Nord.

On y rencontre les plaines alluviales de niveau de base, les anciennes dunes et les cordons littoraux, isolant entre eux soit des marécages soit des lagunes. On peut couramment observer, même au milieu d'un marécage, la présence de petites collines basaltiques du Crétacé moyen, pouvant donner un complexe de colluvions-alluvions noires.

I. 2 - Climat

En se basant sur les critères de classification de Thornthwaite, J. RIQUIER a défini le climat comme perhumide mégathermique :

- 10 à 12 mois humides
- pluviométrie annuelle entre 1500 et 3000 mm
- température moyenne annuelle comprise entre 22 et 26 ° C
- faible amplitude thermique.

Les courbes de pluie-évapotranspiration établies pour différentes stations montrent que la réserve en eau du sol ne s'épuise jamais. De même les courbes ombrothermiques de Gaussen ne laissent apparaître aucun mois sec (graphique n° 1 et 2). La côte Est de Madagascar subit fréquemment le passage de cyclones plus ou moins violents.

I. 3 - Végétation

La végétation a été classée par H. HUMBERT et G. COURS DARNÉ comme celle du Domaine de l'Est, forêt dense ombrophile sempervirente à plusieurs strates. Sur les reliefs dérivés à très forte pente, la forêt primaire présente ~~3~~ 3 strates :

- Strate supérieure à base d'Euphorbiacées, Rubiacées, Araliacées,

COURBES UMBRO-THERMIQUES DE BAGNOULS - GAUSSEN

Graphique n° 2

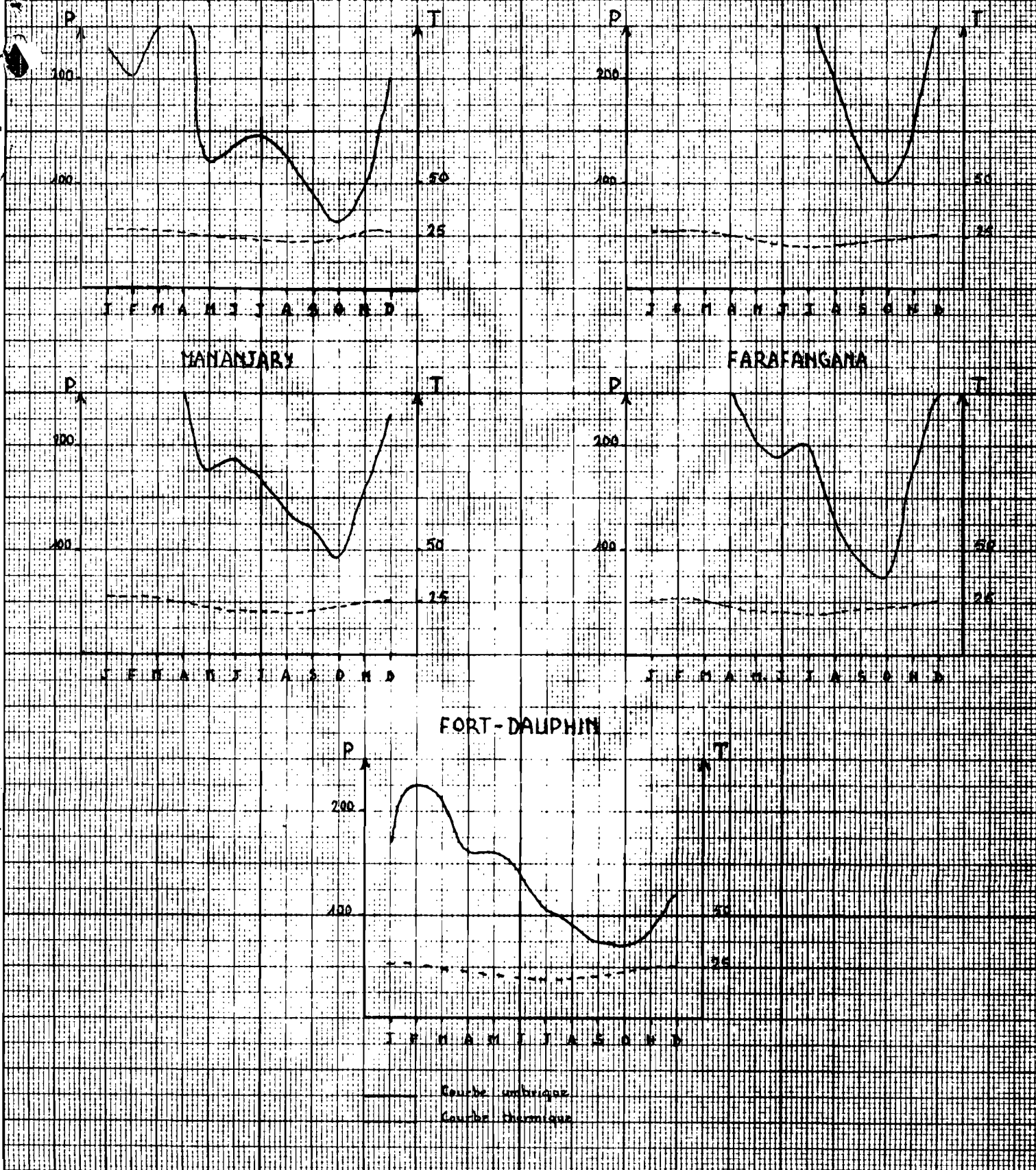
ANTALAHA

TANATAVE

MANANJARY

FARAFANGANA

FORT-DAUPHIN



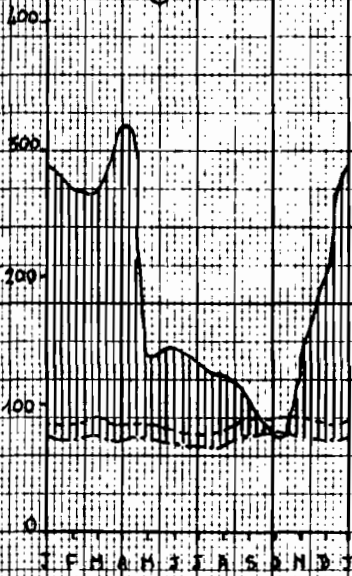
BILAN HYDRIQUE des SOLS

(J. Requier)

Graphique n° 1

ANTALAH

① 2913 mm
 ② 903 -
 ④ 903 -
 ⑤ 2010 -
 ⑥ 0 -



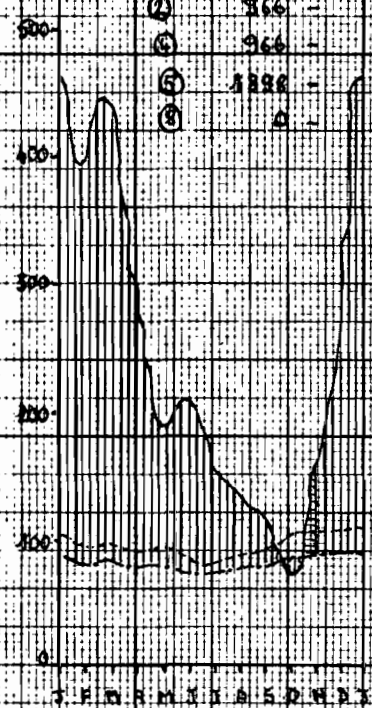
TAMATAVE

① 3171 mm
 ② 1041 -
 ④ 1041 -
 ⑤ 2460 -
 ⑥ 0 -



MANANJARY

① 2964 mm
 ② 866 -
 ④ 866 -
 ⑤ 1898 -
 ⑥ 0 -



PARAFANGANA

① 2528 mm
 ② 859 -
 ④ 859 -
 ⑤ 1659 -
 ⑥ 0 -



LEGENDE

- ① ——— Pluie en mm
- ② ——— Evapotranspiration
- ④ ——— Potentielle Prescott
- ⑤ ——— $K = 1.5$
- ⑥ ——— Evaporation d'un nappe d'eau libre selon Prescott
- ⑦ ——— Evapotranspiration réelle
- ⑧ [hatched box] Ruissellement et drainage
- ⑨ [dotted box] Utilisation de la réserve en eau du sol
- ⑩ [horizontal lines box] Contribution de la réserve en eau du sol
- ⑪ [diagonal lines box] Déficit en eau du sol

FORT-DAUPHIN

① 1527 mm
 ② 1021 -
 ④ 1021 -
 ⑤ 526 -
 ⑥ 0 -



Ebenacées, Myrtacées ...

- strate moyenne à base de Rubiacées, Ochnacées, Myrsinacées, Celastacées ...

- strate inférieure, largement disjointe, constituée par des Fougères acaules, Palmiers nains, Acanthacées, Labiées, Gesneracées. On peut observer couramment des épiphytes.

Sur les pentes fortes, certains endroits ont été défrichés pour y installer des cultures vivrières temporaires. Après abandon de la culture, une forêt secondaire s'installe. La végétation naturelle couvre bien le sol et la forêt initiale tend à s'y re-installer. Mais si elle est de nouveau défrichée et brûlée, l'invasion des graminées se produit, amène la régression définitive de la "Savoka" et s'oppose à la reconstitution de la forêt. Seul *Ravenala madagascariensis*, Palmiers, peut subsister car il résiste bien au passage du feu.

Sur les pentes faibles, comme sur les niveaux locaux d'aplanissement, le défrichement amène la régression définitive de la forêt primaire. Dès le premier défrichement et brûlage, il n'y a plus possibilité de réinstallation de la forêt. En effet, sur ces niveaux locaux d'aplanissement, l'ablation est ancienne, les sols sont assez profonds mais très pauvres, le matériau originel est très lixivié ; on y rencontre des sols ferrallitiques fortement désaturés. Alors que sur les reliefs résiduels, les sols sont moins lixiviés et on peut même trouver des sols ferrallitiques moyennement désaturés.

Sur les basses collines, on rencontre actuellement des savanes arborées à base d'*Aristida* sp., *Stenotaphrum dimitiatum*, *Paspalum conjugatum*, *Panicum brevifolium* comme graminées. Il y a rarement prédominance d'une seule espèce. *Ravenala madagascariensis* (Palmiers), *Strychnos spinosa* (doganiacées), *Albizia libbeck* (légumineuses), comme strates arborées. On peut rencontrer une forêt inextricable de bambous notamment vers Mananjary, Nosy Varika, Vavatenina. Cette végétation de Savoka donne des sols bruns ferrallitiques bien structurés.

Les bas-fonds portent des végétations de marais tels que *Cyperus*, *Aframomum*, *Typhonodorum*, *Pandanus*, *Cladium*.

Les dunes anciennes ou récentes portent soit des forêts-parc, soit des taillis et buissons associés à des graminées.

Le sol est donc partout bien protégé par la végétation, sauf peut-être les bas-

ses collines à savane arborée. L'érosion superficielle est en tout cas faible à nulle.

I. 4 - Influence de ces facteurs sur la pédogénèse

De l'étude de ces facteurs, nous pouvons déduire les idées suivantes :

- matériau généralement acide

un climat qui, d'après G. PEDRO, donne comme types d'altération l'Allitisation ou Monosiallitisation suivant l'importance du drainage. Sur les pentes nous aurons l'allitisation et dans les endroits, mal drainés, la monolittisation. En effet, la température moyenne élevée et l'abondance de l'eau conduisent à une altération poussée des minéraux. L'importance de la pluviométrie favorise le lessivage, la lixiviation, par conséquent l'acidification du milieu, la désaturation du complexe absorbant, la réduction dans les bas-fonds.

- une matière organique abondante : mais la nature du climat favorisant la vie microbienne, cette matière organique se minéralise très vite. Néanmoins, on observe l'existence de litière abondante sous forêt, où la température au sol est nettement inférieure au chiffre indiqué. Cette litière à moitié décomposée donne de grande quantité de matières organiques hydrosolubles qui jouent un rôle très important dans l'évolution des matériaux (phénomène pouvant être assimilé à la "Chéluviation" de G. PEDRO), notamment dans la dissolution et la mobilisation de l'aluminium, du fer et de la silice.

Enfin, cette matière organique abondante couvre bien le sol et le protège contre l'érosion en nappe. En temps normal, on n'observera qu'une érosion chimique et une évacuation d'éléments fins entraînés par la matière organique hydrosoluble.

On observera donc, pour conclure sur ce paragraphe, soit des accumulations relatives de fer ou d'aluminium pouvant s'indurer si le milieu le permet, soit des accumulations absolues, tels les alios des pseudo-podzols de nappe, et enfin des argilifications dans les bas-fonds dues aux apports en solution.

L'évolution des sols tendra, suivant la roche-mère ou le relief, vers la ferrallitisation, la podzolisation et l'hydromorphie.

On rencontre effectivement dans la région étudiée des sols minéraux bruts d'apport, des sols ferrallitiques fortement désaturés, des podzols et sols podzoli-

ques et des sols hydromorphes. Ces derniers, localisés dans les endroits mal drainés et les bas-fonds, hériteront de la pauvreté de ces matériaux et sols qui les surplombent.

II - FACTEURS D'EVOLUTION AU SEIN DES VALLEES ALLUVIALES

Ces facteurs sont la morphologie des plaines et l'homme. La morphologie se décompose en système hydrographique et en alluvionnement.

II. 1 - Système d'hydrographie

Du fait de l'étroitesse de la zone Est, les cours d'eau et rivières ont des longueurs assez faibles avec un profil très accentué, présentant parfois des biefs calmes séparés par des rapides et des chutes. Les bassins versants sont peu étendus et se situent généralement sur les versants orientaux. Les rivières coulent soit perpendiculairement à la ligne des côtes soit parallèlement aux chaîons à la faveur des fractures et passent d'un chaînon à un autre par un seuil rocheux. Ces seuils rocheux gênant l'évacuation normale de l'eau, constituent des niveaux locaux de base qui favorisent l'alluvionnement en amont et la formation de plaines alluviales de niveau local de base.

Le réseau hydrographique, ainsi que le montrent les quelques profils représentés sur le graphique 3, présente deux parties : un premier cours à pente forte et un deuxième à pente faible. Le régime est régulier, l'écart entre le débit maximal et minimal est faible, l'étiage absolu est toujours important.

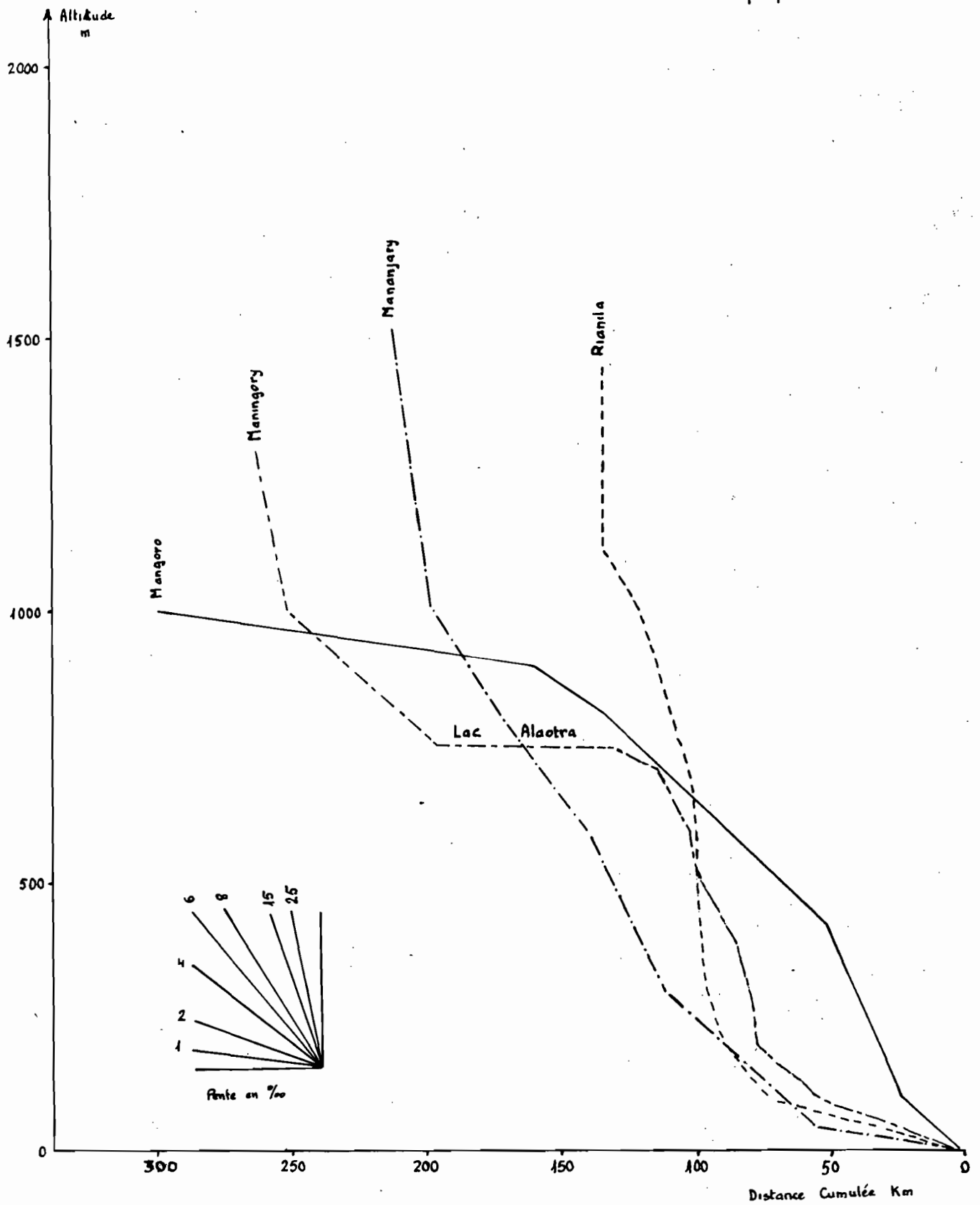
L'écoulement des rivières et fleuves vers la mer est généralement gêné par la présence des dunes anciennes ou des cordons littoraux actuels, ce qui provoque l'alluvionnement en amont de l'embouchure et la formation de véritables plaines de niveau de base.

Par la suite nous étudierons donc les deux types de plaines :

- les plaines de niveau de base local, d'altitude 50 à 1100 m, formées dans les couloirs tectoniques entre les chaîons.

PROFILS DES RIVIERES

Graphique n° 3



- les plaines de niveau de base marin, de faible altitude.

II. 2 - Alluvionnement

En temps normal ⁽¹⁾, les courants d'eau sont peu chargés en éléments en suspension, étant donné la faible agressivité de l'érosion superficielle sur les sols bien protégés par la végétation naturelle.

2.1 - Plaines de niveau de base local

Ces plaines se rencontrent aussi bien à l'intérieur des hauts reliefs résiduels, d'altitude supérieure à 900 m, telles que les plaines de Didy, de Fierenana, qu'au niveau des basses collines, Iazafo à 70 m, Itomampy à 560 m. Elles ont une origine complexe : en effet les couloirs tectoniques ont été approfondis et élargis par l'érosion. Un seuil rocheux en aval a provoqué la formation d'un lac qui a été vite comblé par les alluvions.

Dans ces plaines on rencontre 3 types d'alluvions :

- alluvions sableuses dans les endroits les plus bas.
- alluvions argileuses anciennes qui dominent le fond de 4 à 5 m.
- alluvions récentes et actuelles qui dominent les alluvions anciennes de 2 à 3 m. Ces alluvions récentes peuvent être, comme à Iazafo, plaquées contre les alluvions argileuses.

2.1.1. - Alluvions sableuses

Ces alluvions sableuses se rencontrent dans les niveaux les plus bas où on les trouve directement sous des horizons tourbeux. Cependant, la plupart des sondages effectués semblent montrer que cet alluvionnement sableux couvre toute la partie en aval, au moins, de ces plaines. Ces sables sont peu arrondis, certains très souvent ~~très~~ anguleux, ce qui atteste un transport court. Ils proviennent de l'altération du socle, mais également des filons de quartzites. Cette érosion intense serait due au displuvial Sambanien de F. BOURGEAT ou au mouvement tectonique qui a provoqué la formation du couloir. L'alluvionnement s'est fait à

...

(1) Lors du passage des cyclones, l'équilibre est complètement bouleversé.

la faveur des seuils rocheux en aval. La reprise de la pédogénèse au cours du pluvial suivant a favorisé l'altération des minéraux tels que les feldspaths.

1.1.2 - Alluvions argileuses anciennes

Partout dans ces plaines, nous avons rencontré des témoins d'une ancienne terrasse qui repose sur les alluvions sableuses précédemment étudiées. Ces témoins sont localisés sur les rebords des plaines; sur le côté ouest les alluvions argileuses sont souvent mélangées à des colluvions assez hétérogènes. Ces alluvions peuvent contenir encore des traces de mica à 100-150 cm de profondeur et comporter à leur base des lits de gravillons ferrugineux. Ces terrasses ont été disséquées et recouvertes par des dépôts récents et actuels. Nous pensons qu'elles datent de la même époque que les alluvions sableuses ou au plus tard du pluvial post-sambanien.

2.1.3 - Alluvions récentes et actuelles

Les dépôts récents se trouvent soit directement sur les alluvions sableuses, soit sur les alluvions argileuses érodées. Dans ces plaines étroites l'alluvionnement latéral est important en tête de talweg, le triage des éléments se fait surtout longitudinalement : on rencontre en amont les éléments grossiers et les limons micacés ; en aval la décantation des éléments fins s'effectue dans un immense marais (cf. planche n° 2 en annexe). Le lit des rivières est constitué d'éléments fins sauf en amont. La répartition des sols est étroitement liée à ces modes d'alluvionnement.

2.1.4 - Géomorphologie

La planche n° 2 nous montre que la morphologie est bien individualisée en amont des plaines :

- le bourrelet de berge, constitué d'alluvions actuelles, est bien individualisé.
- la terrasse inondable est nette mais peu étendue.
- la cuvette de décantation est de faible étendue ou même inexistant
- la rivière est peu large et le lit est peu encaissé. [Vers le milieu de la plaine, ces caractères morphologiques s'estompent, le bourrelet

de berge est peu net, la terrasse inondable et la cuvette de décantation se confondent. Le niveau moyen hydrostatique est nettement au-dessus de la surface du sol.

Enfin, en aval on n'observe plus qu'un immense marais dans lequel la rivière se perd. La submersion y est permanente. C'est la zone des tourbes qui peuvent reposer directement sur les alluvions anciennes sableuses.

2.2 - Plaines de niveau de base marin

Ce sont de véritables plaines de niveau de base, où l'alluvionnement est conditionné par les variations du niveau de la mer d'une part, par la plus ou moins grande facilité de l'évacuation des rivières vers l'Océan d'autre part ; en effet l'écoulement de l'eau peut être gêné par la présence des anciennes dunes, des collines basaltiques ou des cordons littoraux.

Comme nous l'avons vu dans l'étude de la géologie on peut remarquer en amont, la succession des trois alluvions de granulométrie différente :

- à la base, la moyenne terrasse sableuse, datant probablement, comme l'a suggéré F. BOURGEAT, du displuvial sambainien. Cette terrasse par la suite a été érodée et disséquée.

- sur cette terrasse à dominance sableuse ~~et argileuse~~ se sont mis en place des dépôts argileux à la faveur de la transgression flandrienne, qui accompagnait le pluvial post-sambainien.

- les alluvions actuelles sont venues ensuite se déposer sur cette moyenne terrasse argileuse ou sableuse.

Vers les moyens cours et ~~à~~ aval, la terrasse argileuse a été entièrement érodée de même qu'une partie de la terrasse sableuse et les dunes anciennes, les alluvions récentes se sont déposées directement sur ces formations grossières. L'alluvionnement actuel étant faible et représenté essentiellement par des éléments moyens à fins, le recouvrement est de faible épaisseur et dans les bas-fonds éloignés des cours d'eau, on rencontre directement les anciennes formations sableuses sous les tourbes. La planche n° 3 nous montre les différentes coupes théoriques d'une plaine côtière.

La géomorphologie est ainsi simple :

- en amont, la rivière est encaissée dans la terrasse moyenne.

Il n'y a ni bourrelet sensu-stricto ni terrasse inondable. On peut cependant

rencontrer des marais isolés entre les basses collines.

- à moyen cours, on peut observer un bourrelet alluvial peu net, une terrasse inondable assez étendue, des buttes-témoins sableuses, marais immense.

- en aval, le bourrelet est peu marqué, la terrasse inondable est très étendue.

On constate donc une ressemblance nette entre les plaines de niveau de base local et les plaines côtières de niveau de base marin. L'âge de leurs différents dépôts homologues semble être le même.

II. 3 - Action de l'homme

L'action de l'homme se fait sentir dans deux phénomènes :

- le creusement
- le "tavy"

3.1 - Creusement

L'homme creuse dans les terrasses élevées pour y installer des rizières. Nous avons pu rencontrer ainsi des fosses de 200 cm de profondeur dans la région de Sambava. Ainsi des sols initialement non hydromorphes le deviennent.

3.2 - Le "tavy"

Le tavy est le défrichement et brûlage de la forêt primaire sur les pentes assez faibles pour y installer des cultures vivrières temporaires.

Cette pratique crée un déséquilibre dans le climat et favorise l'érosion.

C'est ainsi qu'au cours du passage des cyclopes, ces "tavy" sont très vulnérables, on y observe des éboulements et décrochements des horizons de sol jusqu'à la zone d'altération et même jusqu'à la roche saine.

L'alluvionnement en sables quartzeux dans les plaines côtières devient alors très intense. Les terrasses actuelles, exploitées en rizières, sont souvent recouvertes d'une couche de sables, les bourrelets de berge peuvent gagner jusqu'à 100 cm de hauteur. Cependant, ces apports sableux sont la plupart du

temps redistribués lors des crues non cycloniques : ils sont soit évacués vers la mer, soit repoussés vers les cuvettes. Ces grains de sables s'infiltrant à travers les horizons tourbeux fibriques et rejoignent la formation sous-jacente.

II. 4 - Influence de ces facteurs sur les sols

Nous avons vu que la tendance évolutive de la pédogénèse dans ces plaines est l'hydromorphie. Les facteurs que nous venons de passer en revue dans cette deuxième partie influenceront sur la répartition des différentes sous-classes et groupes dans la classe des sols hydromorphes.

Cette répartition est étroitement liée à la géomorphologie, donc à la durée de la submersion ou à la hauteur de la nappe phréatique. Les endroits assez élevés, tels que les bourrelets bien individualisés, portent des sols peu évolués.

Au fur et à mesure que la submersion dure, nous passons des sols à pseudogley au sol tourbeux. Dans cette zone orientale de Madagascar, en raison de l'abondance de la végétation, on ne rencontre que des tourbes fibriques quand elles ne sont pas cultivées.

III - LES SOLS ET LEURS VALEURS CULTURALES

III. 1 - Les sols de bourrelet de berge

Quand le bourrelet est bien individualisé, on y rencontre des sols peu évolués d'origine non climatique, d'apports modaux caractérisés par un horizon humifère peu épais, limono-argileux avec sables grossiers ou fins, une structure à tendance grumelleuse, bien pourvus en paillettes de mica. La matière organique est toujours bien liée à la partie minérale. L'horizon sous-jacent est généralement de couleur jaunâtre, de texture moyenne, bien pourvu en mica. La stratification

de dépôt peut être reconnue à certains endroits.

Quand la nappe phréatique se rapproche de la surface pendant une bonne partie de l'année, on observe un début d'individualisation du fer en profondeur sous forme de taches rouilles à contour peu net. Ce sol se classe comme le précédent mais dans le sous-groupe hydromorphe.

Les propriétés physico-chimiques de ces sols sont assez bonnes mais la réaction est acide, le pH varie entre 5,6 et 6,0. La capacité d'échange est convenable surtout en surface, mais le taux de saturation bas, 25 à 30 %. La teneur en matière organique atteint 4 à 8 % en surface avec un rapport C/N voisin de 12-13. La carence principale est le phosphore.

Ces sols conviennent à toute culture, mais ils occupent des surfaces très restreintes, et la plupart du temps les paysans y creusent des fossés pour en faire des rizières.

Notons que dans les plaines côtières, ces types de sols sont peu représentés.

III. 2 - Les sols de terrasse

Les terrasses sont inondées une bonne partie de l'année. On y rencontre des sols hydromorphes peu humifères et suivant la durée de l'engorgement, on a les sous-groupes à pseudogley, à amphigley, à gley d'ensemble. On rencontre presque toujours des horizons sableux en profondeur.

A. Les sols à pseudogley

Dans les endroits à engorgement temporaire, les sols à pseudogley se présentent avec un horizon humifère de 20 à 30 cm d'épaisseur, gris foncé, limoneux avec sables fins, assez riches en paillettes de mica, peu compact, non structuré ; ensuite, on a un horizon ocre-jaune avec des taches grises, argilo-limoneux, assez pourvu en mica. Vers 90-100 cm, on rencontre un horizon ocre-jaune, argileux, compact, à perméabilité presque nulle, à structure fondue. Ces pseudogley se présentent toujours comme un complexe de sol : le sommet est représenté par des dépôts actuels, la partie jaune est le témoin de l'ancienne terrasse argileuse.

Les propriétés physico-chimiques sont nettement moins bonnes, la réaction est très acide. La capacité d'échange est convenable en surface mais le taux de saturation reste faible. La teneur en matière organique reste correcte, en moyenne 7 % en surface. Cependant cette bonne texture des 100 premiers centimètres associée à un bon système de drainage permet d'autres cultures que le riz. Le niveau de fertilité chimique doit être relevé.

B. Les sols à amphigley

Lorsque l'engorgement est temporaire mais que la nappe phréatique reste assez près de la surface tout au long de l'année, on observe un sol à amphigley dont les caractères essentiels sont les suivants : un horizon humifère peu épais, gris-noir, argileux à argilo-limoneux, riche en débris de racines mortes. Vers 30 cm de profondeur on a un horizon gris-beige tacheté de rouille et vers 80-100 cm un horizon de gley gris-bleu à reflet verdâtre. Le niveau moyen de la nappe se situe vers 50 cm de profondeur.

Ces sols présentent le même niveau de fertilité que les sols précédemment décrits, mais le phénomène d'hydromorphie bien plus accusé détériore les propriétés physiques. Un bon drainage permet encore d'autres cultures que le riz.

C. Les sols à gley d'ensemble

Lorsque le niveau hydrostatique affleure à la surface du sol toute l'année, on a des sols hydromorphes à gley d'ensemble.

Ces sols comportent généralement un horizon fin de 50 à 80 cm, puis un horizon sableux en profondeur. L'horizon humide est assez bien développé, mais le niveau de fertilité chimique reste bas. En principe, ils ne conviennent qu'à la riziculture, le drainage étant difficile.

D. Les sols semi-bourbeux

Dans les endroits les plus bas des terrasses, la submersion est quasi-permanente, la matière organique s'accumule mais l'assèchement temporaire permet à cette matière organique une perceptible évolution ; on peut observer alors la formation d'un humus du type anmoor, mais acide. Ces sols se classent dans les sols hydromorphes moyennement organiques, humiques à gley à anmoor acide.

La seule qualité de ces sols est leur richesse en matière organique, donc richesse en azote, mais par contre pauvre en phosphore. Ils ne conviennent en principe qu'à la riziculture.

On n'y rencontre pas de sulfures, car l'eau ne stagne pas, mais circule, ce qui amène un renouvellement perpétuel de l'oxygène. Ce phénomène favorise également l'évolution de la matière organique.

III. 3 - Les sols des marais

Les marais sont très importants au point de vue superficie, ils sont également laissés à leur état naturel aussi bien dans les plaines de niveau de base local que dans les plaines côtières.

La submersion y est totale et permanente, l'accumulation de la matière organique très importante. C'est la zone des tourbes et tourbières. On a des sols tourbeux oligotrophes. Ils sont généralement fibriques, tout au moins en surface, et faiblement léniques en profondeur. Dans le détail, l'aspect de la matière organique dépend de la végétation originelle : les Cyperacées donnent une matière organique plus facilement décomposable que les Pandanacées. Ces sols se présentent avec un horizon organique épais, ayant jusqu'à 400-500 cm d'épaisseur, constitué essentiellement d'un lacis de débris végétaux peu ou pas décomposés, à très forte teneur en eau, pas de partie minérale. Ensuite, on observe un horizon organique à tendance lénique, de couleur noire mais devenant brun-rouge à l'air, à teneur en eau moins élevée, à faible partie minérale. Cet horizon peut avoir 100 à 150 cm d'épaisseur et est souvent séparé du premier par une couche d'eau. En dessous nous avons un horizon de gley très souvent sableux dans sa partie supérieure. Dans les plaines de niveau de base local, cet horizon de gley est souvent lessivé en fer et en argile, lessivage qui suppose un déplacement latéral de la nappe, que l'on peut appeler un drainage virtuel. Alors que dans les plaines de niveau de base marin, le cas est très rare.

Dans les endroits où l'eau ne circule pas, où il n'y a pas de renouvellement d'oxygène, on observe la présence de sulfures d'origine organique facilement décelables à leur odeur d'hydrogène sulfuré, surtout si on fait agir une solution diluée d'acide chlorhydrique. Dans ces marais l'eau est fortement chargée

en fer complexé par la matière organique hydrosoluble.

Ces sols tourbeux sont pauvres chimiquement, la réaction est très acide. La teneur en matière organique peut atteindre 90 %, ce qui offre une grande capacité d'échange, le taux de saturation reste très bas. Le rapport C/N va de plus de 30 en surface à 15 en profondeur.

Etant donnée l'absence presque totale de support minéral, dans ces horizons organiques, on y observe de fortes carences en silice, potassium, calcium, magnésium, phosphore.

L'exploitation des ces sols en rizière donne des rendements très faibles durant 4 ou 5 ans : cela est dû à la piriculariose et au phénomène de grains vides, causés par un déséquilibre nutritionnel. La piriculariose est une maladie cryptogamique et les grains vides une maladie physiologique. La verse est également courante en raison de la carence en silice, carence qui a été récemment confirmée par les études en cours de l'I.R.A.M. dans le marais d'Ambila.

Nous signalerons, pour mémoire, l'existence de sols hydromorphes complexes, tels des sols tourbeux fossilisés soit par un autre sol tourbeux, soit par un sol hydromorphe peu humide ou même par des dépôts récents. Leur intérêt est de servir de témoin aux différents cycles de sédimentation.

IV - PROBLEMES DE MISE EN VALEUR

Sur la côté Est, il est évident que les problèmes majeurs de mise en valeur sont la pauvreté chimique, l'abondance de l'eau, donc le drainage, le maintien du capital matière organique dans les sols tourbeux.

IV.1 - Pauvreté chimique

Comme nous l'avons vu, la pauvreté chimique est générale. Les fumures minérales de redressement sont indispensables si on compte sur un ^{bon} rendement. Pour les sols peu humifères, la fumure organique est également souhaitable pour maintenir le taux de matière organique, augmenter la capacité d'échange, et avoir

une structure stable. Le mode d'apport des engrais minéraux doit être adapté aux différentes cultures pour réduire au minimum les pertes par lessivage. Le phosphate est l'engrais minéral le plus efficace. La chaux agricole utilisée seule est également rentable. La matière organique contient beaucoup d'azote, mais il est très lentement mis à la disposition des plantes dans ces sols acides où la nitrification est lente à s'établir. Il se trouve sous forme de ligno-protéines stables. L'apport de sulfate d'ammonium ne serait donc pas superflu, surtout en début de cycle végétatif.

Dans ces sols hydromorphes fortement réduits, l'excès de fer ferreux toxique est à redouter. Des apports de chaux magnésienne pour remonter le pH seraient probablement profitables. L'acidité ~~est~~ très forte peut libérer de l'aluminium libre qui est nocif. La présence fréquente de sulfures aggrave le phénomène ; en effet, l'oxydation de ces sulfures par le drainage provoque une chute très importante du pH.

IV. 2 - Drainage et problème de matière organique

Le drainage représente le problème de mise en valeur le plus ardu.

Il se pose d'une part sur la réalisation même du drainage, la possibilité d'évacuer l'eau par gravité ~~étant~~ étant difficile en raison du niveau très voisin de celui de la mer dans les plaines côtières, ou de la présence de seuils rocheux dans les plaines hautes ; d'autre part sur l'effet même du drainage sur l'évolution des sols tourbeux.

2.1 - Réalisation du système de drainage

Pour la riziculture, la maîtrise de l'eau est nécessaire, néanmoins le riz s'accommode bien de l'état actuel de la submersion. Mais si l'on veut installer d'autres cultures plus exigeantes, comme le bananier, la canne à sucre ou le palmier à huile, il est indispensable de contrôler avec précision le niveau de la nappe au cours de l'année.

Sur les terrasses ~~actuelles~~ ^{moyennes}, l'opération est possible, nous avons vu un bel exemple dans le marais d'Ambila à Manakara ; par contre dans les marais, la réalisation est plus difficile. Dans les plaines hautes, il faudrait abaisser les seuils rocheux ; dans les plaines côtières, on devrait creuser des drains très profonds, ces opérations coûtent très cher ~~et~~ et souvent sont impossibles à réaliser.

2.2. Conduite du drainage

Si la réalisation du système de drainage est possible, la conduite même du drainage nécessite d'énormes précautions sur les sols tourbeux, et cela pour les raisons suivantes :

- leur forte teneur en eau impose un affaissement très important à l'issue du drainage. La surface de l'horizon organique épouse le plan du soubassement qui peut être extrêmement irrégulier.

- si le drainage est trop brutal, certaines matières organiques peuvent donner des agrégats enduits de produits hydrophobes et difficilement mouillables.

- à l'issue du drainage, la matière organique peut se minéraliser très rapidement. Ce capital organique, seule richesse de ces sols, ne doit pas être dilapidé. Le brûlage devrait donc être prescrit. Mais si le feu s'avère indispensable, comme le prescrit R. DIDIER de SAINT AMAND, on doit être en mesure de contrôler d'une manière absolue son action. D'après cet auteur, ce procédé est valable à court ou moyen terme. Mais si un rendement satisfaisant veut être maintenu à long terme, il ne faut pas être exigeant pendant les premières années de mise en culture. Favoriser les actions microbiologiques est encore le seul moyen d'obtenir l'évolution de la matière organique, sans dilapider le capital.

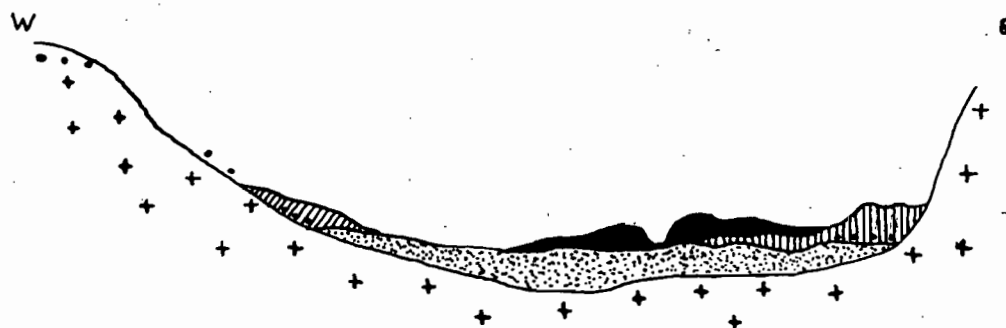
Pour cela, on peut précéder à un drainage progressif et favoriser l'alluvionnement en canalisant vers ces marais les eaux chargées des crues. Un autre moyen est d'épandre sur les surfaces drainées des terres provenant de zones d'altération de sols ferrallitiques limitrophes, mais cette opération peut être assez coûteuse.

En tout cas, que ce soit par brûlage ou par les autres moyens énumérés, la mise en valeur de ces tourbes implique une maîtrise totale de l'eau. Dans les plaines de niveau de base local, on peut abaisser le niveau du seuil rocheux. Dans les plaines côtières l'opération ne semble réalisable sans de gros travaux.

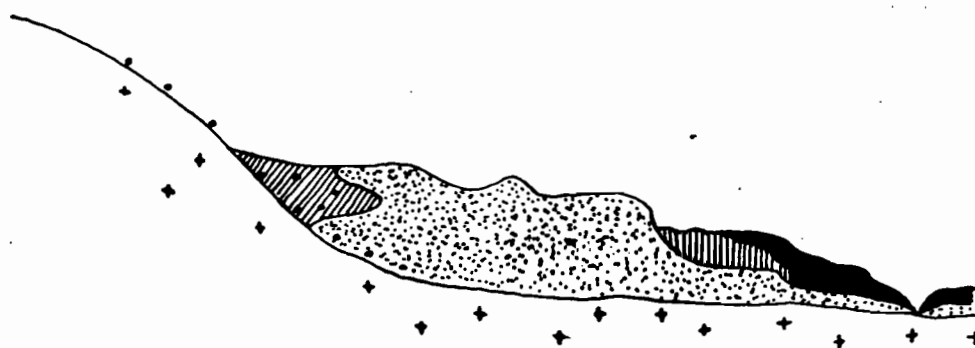
Enfin, les sols de la côte Est formés sur alluvions peuvent comporter des minéraux primaires en apparence peu altérés. On peut s'attendre donc à des réserves importantes en bases, comme sur la côte Ouest ou sur les Hauts plateaux. Or, les analyses montrent qu'il y a très peu de réserves. En réalité ces minéraux ont subi de profondes modifications en raison de l'intensité de l'al-

tération, et ont gardé momentanément leur structure. F. BOURGEAT les a appelés "minéraux dégradés".

1. COUPE TRANSVERSALE DE L'IAZAFO
A AMBALAKONDRO (Cl. Ratsimbazafy)



2. COUPE TRANSVERSALE DE LA VALLEE DE RIANILA
A ANABORANO (F. Bourgeat - M. Damour)



Solc cristallin ou trachyte



Gakts roulés ou Gravillons ferrugineux



Colluvium - Alluvium



Alluvions Sableuses Anciennes



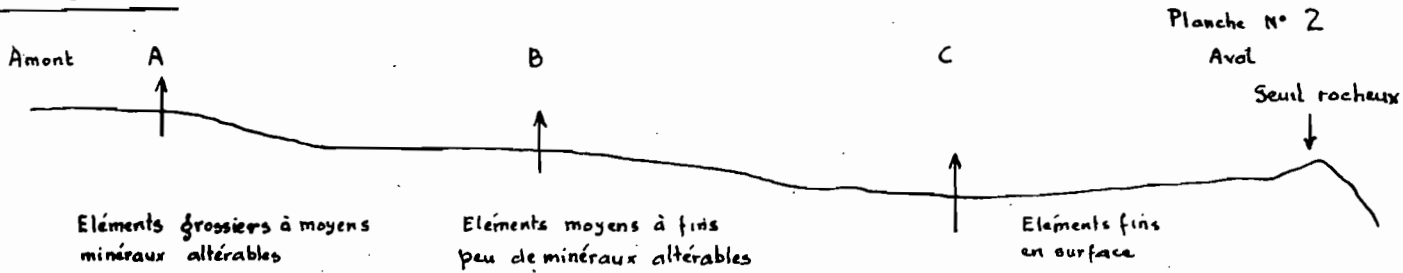
Alluvions argileuses anciennes



Dépôts récents

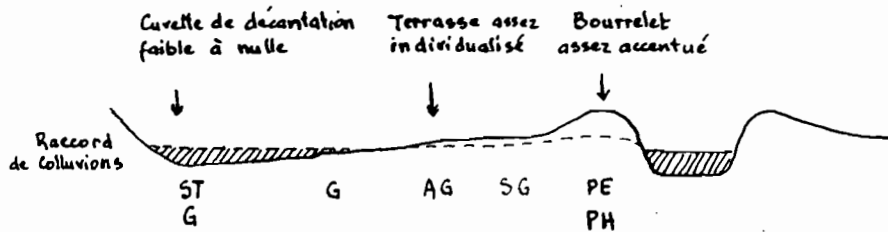
REPARTITION DES SOLS DANS LES PLAINES DE NIVEAU LOCAL DE BASE

Coupe longitudinale

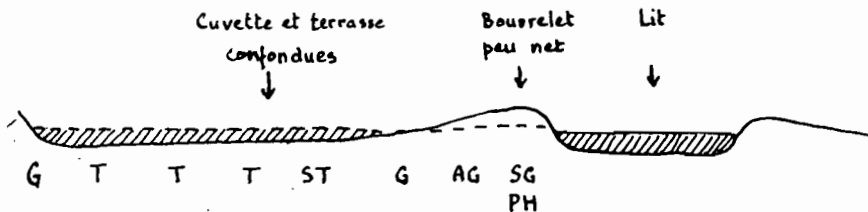


Coupe transversale

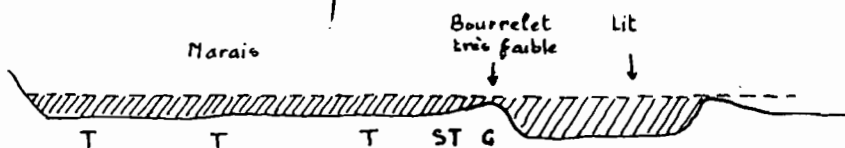
1. Niveau A



2. Niveau B



3. Niveau C



Sols

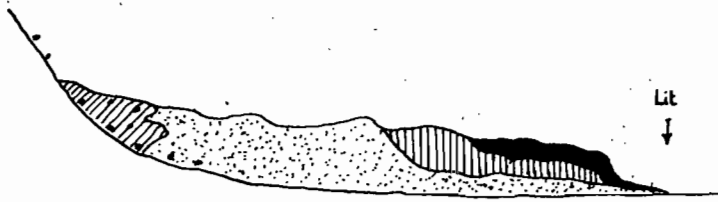
G	Sol à gley
AG	Sol à amphigley
SG	Sol à pseudo-gley
PH	Sol peu évolué, phase hydromorphe
PE	Sol peu évolué modal
ST	Sol humique à gley
T	Sol tourbeux

----- niveau moyen de la nappe
 // // // // // Submersion quasi-permanente à permanente

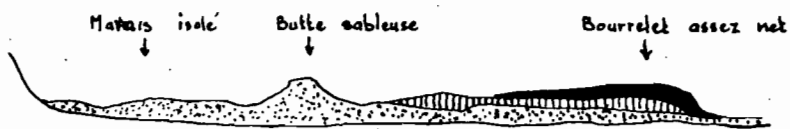
COUPE D'UNE PLAINE COTIERE

Planche n° 3

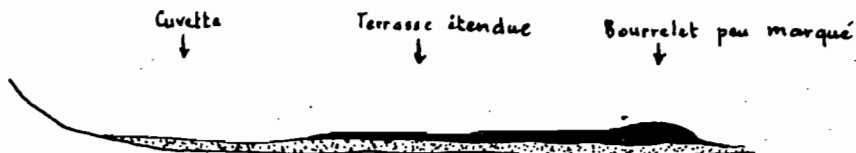
1. Coupe en Amont



2. Coupe à moyen Cours



3. Coupe en Aval



Formation Sableuse Ancienne



Colluvium - Alluvium



Terrasse argileuse ancienne



Dépôts récents

BIBLIOGRAPHIE

- ALDEGHERI M. 1967
Fleuves et rivières de Madagascar.
Public. ORSTOM, section hydrologie, Tananarive.

- AUBERT G. 1963
La classification pédologique française
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., n° 3

- AUROUZE J. 1952
Etude géologique des feuilles de Vavatenina et de Fénérive
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 30, 91 p.

- BATTISTINI R. 1964
Les caractères morphologiques du secteur littoral compris entre Foulpointe
et Maroantsetra.
Revue de Géograph. Madagascar. Janv-Juin, n° 4.

- BOURGEAT F. 1964
Etude de la basse plaine de la Manambato.
Publ. ORSTOM, Tananarive, multigr. 60 p.

- BOURGEAT F. - PETIT M. 1969
Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement sur les Hautes Terres
centrales de Madagascar.
Ann. Géogra. pp. 158-188
- BOURGEAT F. 1970 (voir à la fin)
- BOURGEAT F. - RAKOTOMIRAHO D. 1968
Reconnaissance pédologique dans la région de Farafengana - Zone de la
Manambatozanary et zone de la moyenne Manantsimba.
Dgc. ronéo. ORSTOM Tananarive.

- BRENON P. 1953
Essai sur la morphologie de quelques reliefs latéritiques.

Bull. AC. Malg. 30, 1952-1952, pp. 171-175

- DIDIER de SAINT AMAND R. 1967
Dynamique des sols hydromorphes organiques malgaches en relation avec la riziculture.
Thèse Nancy (IRAT - Paris) 195 p.
- DORMOIS R. 1949
Etude géologique des feuilles Andavakoera et Vohémar.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 102
- DOTTIN O. 1960
Etudes géologiques et prospection des feuilles Longozabe, Antanandehibe et Mahanoro.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 102
- DOTTIN O. 1960
Etudes géologique et prospection des feuilles Marovoara, Mananara.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 96
- HERVIEU J. 1967
Géographie des sols malgaches
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. V, n° 1
- HERVIEU J. 1966
Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical.
Thèse Paris - ORSTOM, 521 p.
- HERVIEU J. 1960
Notice sur les cartes pédologiques de la F. 33 Brickaville-Moramanga
Publ. IRSM Tananarive.
- HUMBERT H. - COURTS DARNE G. 1965
Notice sur la carte du tapis végétal de Madagascar.
Extr. Trav. Section scientifique et technique de l'Institut Français de Pondichéry - Hors série, n° 6.

- ISAMU BABA 1958
Méthode de diagnose de l'Akiuchi, toxicité du fer et de l'hydrogène sulfuré dans les zones humides de Ceylan.
Tropical Agriculturist, vol. EXIV, n° 4

- KILIAN J. 1966
Recherches des sols à Palmiers à huile dans la région de Tamatave.
Doc. IRAM-IRAT N° 89

- KILIAN J. 1968
Comportement du Bananier et du Palmier à huile sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave.
Doc. IRAM-IRAT n° 137

- KILIAN J. 1968
Les formations littorales marines sableuses de la Côte Est de Madagascar entre FOULPOINTE et MAHANORO. Aspects morphologiques et pédologiques.
Doc. IRAM-IRAT n° 172

- KILIAN J. 1969
Reconnaissance pédologique dans la région de Manakara en vue de l'extension du Palmier à huile.
Doc. IRAM-IRAT n° 184

- KILIAN J. - RANDRIAMAMONJIZAKA J.L. 1965
Etude pédologique de la plaine du Bas-Faraony, sous-préfecture de Manakara.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 66.

- LAPLAINE L. 1955
Etude géologique de la feuille Andapa.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 66

- LAUTEL R. 1951
Etude géologique des feuilles Ambatondrazaka, Ambodilazama et Tamatave.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 22

- MARCHAL J. 1960
Etude géologique et prospection des feuilles Antara, Ampasimbe, Soamerana-Ivongo.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 100
- MARCHAL J. 1957
Etude de la feuille (géologique) MIDongy-Sud et Vangaindrano.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 81
- MOUREAUX Cl. 1956
Les marais d'Ambila, près de Manakara.
Mém. IRSM, sér. D, tome VII, pp. 1-22
- NOIZET G. 1961
Etude géologique des feuilles Anosibe-Antanambao, Manampotsy, Vatomandry.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 108
- PEDRO G. 1968
Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique.
Géogr. Phys. et géolog. Dynam. Vol. X, fasc. 5, pp. 457-470
- PICHOT J. 1966
Périmètre d'aménagement de l'Anony. Lac Alaotra. Etude pédologique, évolution et mise en valeur des sols hydromorphes.
Rapport de stage ORSTOM, doc. IRAM-IRAT, 2 tomes.
- RANTOANINA M. - DELBOS L. 1960
Etude géologique des feuilles Ranomafana et Brickaville.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 98
- RATSIMBAZAFY Cl. 1967
Reconnaissance pédologique du périmètre Farahalana-Ambaribe, sous-préfecture de Sambava.
Doc. ronéot., ORSTOM, 17 p.
- RATSIMBAZAFY Cl. 1967
Reconnaissance pédologique du périmètre d'Ampanefena
Doc. ronéo. ORSTOM, 13 p.

- RATSIMBAZAFY Cl. 1967
Reconnaissance pédologique de l'Iazafo, sous-préfecture de Vavatemina.
Doc. ORSTOM, 25 p.
- RATSIMBAZAFY Cl. 1968
Etude pédologique de la plaine de Didy.
Doc. ronéo. ORSTOM, 15 p.
- RATSIMBAZAFY Cl. - ZEBROWSKI Cl. 1967
Périmètre de Fierenana, sous-préfecture de Moramanga.
Doc. ronéo. ORSTOM, 9 p.
- RATSIMBAZAFY Cl. 1967
Etudes de trois plaines alluviales à Madagascar.
Rapport de stage ORSTOM, multigr. 173 p.
- RIQUIER J. - SEGALEN P. 1949
Notice sur la carte pédologique du Lac Alaotra.
Mém. IRSM, sér. D, Tome I, Fasc. 1, pp. 1-32
- RIQUIER J. 1951
Les sols du périmètre forestier d'Ambila-Lemaintso.
Mém. IRSM Sér. D, Tome III, fasc. 1
- RIQUIER J. 1956
Les sols sur alluvions récentes et anciennes du Lac Alaotra.
6e congr. Intern. de la Science du Sol. Paris, 1956. Vol. E, com.V, pp. 541-546
- RIQUIER J. 1958
Note sur l'évapotranspiration de Thornthwaite et le bilan hydrique des sols
Le Naturaliste Malgache, tome X, fasc. 1-2.
- RIQUIER J. 1959
Présence de sulfures dans les sols de marais de Madagascar. Conséquences pour les rizières.
Bull. de Madag. Mai 1959, n° 156, pp. 431-435.

- RIQUIER J. 1961.
Notice sur les cartes d'utilisation des sols, F 16. Plaine d'Anosivelo.
Publ. IRSM, section Pédologie.

- RIQUIER J. 1961.
Les sols de la plaine de Vohipeno, F. 17.
Publ. IRSM, section Pédologie.

- ROCHE H. (de la) 1951
Etude géologique des feuilles Mandritsara-Maroantsetra.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 26

- ROCHE H. (de la) 1952
Etude géologique des feuilles Ifanadrana-Mananjary.
Trav. Bur. Géol. Tananarive, n° 33

- ROCHE P. et al. 1959
Les sols à riz et leurs problèmes à Madagascar.
Mém. IRSM sér. D, tome IX.

- SOURDAT M. 1968
Trois plaines marécageuses de la côte Est.
Ilaka I (s/p. de Vatomandry)
Amparihibe (s/p. de Mahanoro)
Androngaronga (s/p. de Mahanoro)
Doc. ronéo. ORSTOM Tananarive, 18 p.

- TREYER M. 1967
Etude pédologique sur les sols à cocotier dans la région de Sambaba.
Doc. IRAM-IRAT, n° 98

- VIELLEFON J. 1961
Les sols de l'Ile Sainte-Marie
Publ. IRSM, section Pédol.

- ZEBROWSKI Cl. 1967
Moramanga
Rapport de stage, ORSTOM, multigr. 139 p.

- ZEBROWSKI Cl. 1967

Reconnaissance pédologique de la Plaine de Mahambo.

Doc. Ronéo. ORSTOM, TANANARIVE, 4 p.

- ZEBROWSKI Cl. - RATSIMBAZAFY Cl. 1967

Périmètre de Fierenana, sous-préfecture de Moramanga.

Doc. ronéo. ORSTOM, Tananarive, 9 p.

- BOURGEAT. F. 1970

Contribution à l'étude des sols sur socle ancien à Madagascar.
Thèse ORSTOM, Strasbourg, 320 p + annexe.



Végétation naturelle sur pente de la
Côte Est

Relief polyédrique



Pseudo-steppe de basse colline
Niveau local d'aplanissement



Exemple de seuil rocheux



Type de plaine de niveau de base local



Vue d'une plaine côtière



Géomorphologie à moyen cours
d'une plaine côtière

- levée alluviale peu marquée
- terrasse inondable étendue
- marais délaissé à l'état naturel