

# Sur les caractéristiques texturales et minéralogiques des sédiments récents et des sols alluviaux dans le delta du Mangoky (sud-ouest de Madagascar)

J. Hervieu

## INTRODUCTION

C'est sur le versant occidental malgache (bassins sédimentaires de Majunga et de Morondava) que les témoins de la sédimentation détritique récente et d'origine continentale sont les plus étendus, en particulier dans les régions littorales et le précontinent (côtes de transgression).

La dissymétrie même du relief général de l'île entraîne une extension plus grande des bassins versants des rivières occidentales. L'agressivité du milieu morpho-climatique (climat tropical à saison sèche marquée et végétation de savane herbeuse dégradée ou de pseudo-steppe) est cause de phénomènes d'érosion accélérée. Enfin la mer a transgressé jusqu'à une altitude supérieure de quelques mètres au-dessus du niveau marin actuel dans de profondes vallées postpliocènes, d'où un remblaiement important, pouvant atteindre 100 m d'épaisseur, favorisé par l'extension du plateau continental et les faibles pendages des couches sédimentaires vers le canal de Mozambique.

L'alluvionnement récent est plus apparent sur la côte ouest proprement dite, avec formation de deltas typiques ou embryonnaires, que sur la côte nord-ouest, où de profondes vallées en « rias » ne sont encore que partiellement comblées.

## CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU DELTA DU MANGOKY ET DE SON BASSIN VERSANT

### *Situation et extension géographique*

Le delta du Mangoky est situé dans la région sud-ouest de Madagascar (sous-préfecture de Morombe), un peu au nord du 22<sup>e</sup> parallèle (fig. 1). C'est le plus important de l'île par son étendue : plus de 1 500 km<sup>2</sup>.

Ce delta unilobé progresse actuellement dans une direction N-NO. Le front deltaïque convexe s'étend sur environ 65 km et fait saillie de 15 km sur la ligne de rivage actuelle. La pente moyenne de la plaine deltaïque est de 0,75 pour 1 000.

## *Hydrologie*

Le fleuve Mangoky s'individualise peu avant sa sortie du massif cristallin central, au confluent de ses deux principaux tributaires : Matsiatra et Mananantanana. Son bassin versant s'étend sur une superficie d'environ 59 000 km<sup>2</sup> dont plus de 60 % dans le massif cristallin, le reste étant situé dans la couverture sédimentaire gréso-calcaire (permo-trias-jurassique essentiellement). L'hypsométrie du bassin se présente comme suit :

4 % à moins de 200 mètres d'altitude

13 % de 200 à 400 mètres

16 % de 400 à 600 mètres

15 % de 600 à 800 mètres

28 % de 800 à 1 000 mètres

10,5 % de 1 000 à 1 200 mètres

7,9 % de 1 200 à 1 400 mètres

4,6 % de 1 400 à 2 000 mètres.

L'altitude moyenne du bassin est 775 mètres

Les crues se produisent de novembre à mars avec un débit moyen de l'ordre de 3 000 m<sup>3</sup>/s, le débit moyen en période d'étiage (octobre) étant seulement de 80 m<sup>3</sup>.

## *Climat*

La nature, le mode de dépôt et l'évolution pédologique des alluvions fluviales sont en relations directes avec les facteurs climatiques régnant dans le delta et son bassin versant. Il s'agit d'un climat de type tropical normal, à saison sèche bien marquée.

Le delta et la plus grande partie du bassin versant sédimentaire sont situés dans la zone climatique dite de la côte ouest, où la pluviométrie moyenne annuelle ne dépasse guère 800 mm, mais peut descendre dans la région littorale aux environs de 400 mm en année sèche, avec de fortes irrégularités d'une année à l'autre. La température moyenne annuelle varie entre 24 et 27 °C. Les affluents dans cette zone, exception faite pour ceux s'alimentant en partie sur les hauts plateaux, ont un

cours instable ou sont à sec une partie de l'année. Le ruissellement est brutal et moins généralisé que sur les hauts plateaux cristallins. La végétation climacique est une forêt sèche tropophile en grande partie détruite et remplacée par une brousse arbustive secondaire ou une prairie haute de graminées sur les sols les plus riches, par une pseudo-steppe plus ou moins arborée sur les sols pauvres.

Le bassin versant métamorphique appartient à la zone climatique dite des hauts plateaux, qui, par suite de la variation brutale d'altitude, correspond approximativement à la limite socle ancien - sédimentaire. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1 et 2 mètres et augmente de l'ouest vers l'est. La température moyenne annuelle varie entre 18 et 22 °C. Dans cette zone, le régime saisonnier des pluies est contrasté mais

assez régulier, le ruissellement généralisé est très important. Les actions anthropiques y sont considérables (en particulier action des « feux de brousse ») et la grande épaisseur de la couverture d'altération favorise une érosion parfois spectaculaire (« lavaka »). La couverture végétale se réduit le plus souvent à une pseudo-steppe de graminées avec de rares survivances de la végétation forestière d'origine (forêt basse sclérophylle).

CARACTÉRISTIQUES TEXTURALES ET MINÉRALOGIQUES DE LA SÉDIMENTATION RÉCENTE

Les chiffres et les appréciations qui figurent dans cette synthèse ne sont pas le résultat d'observations isolées, mais sont basés sur un nombre important d'analyse

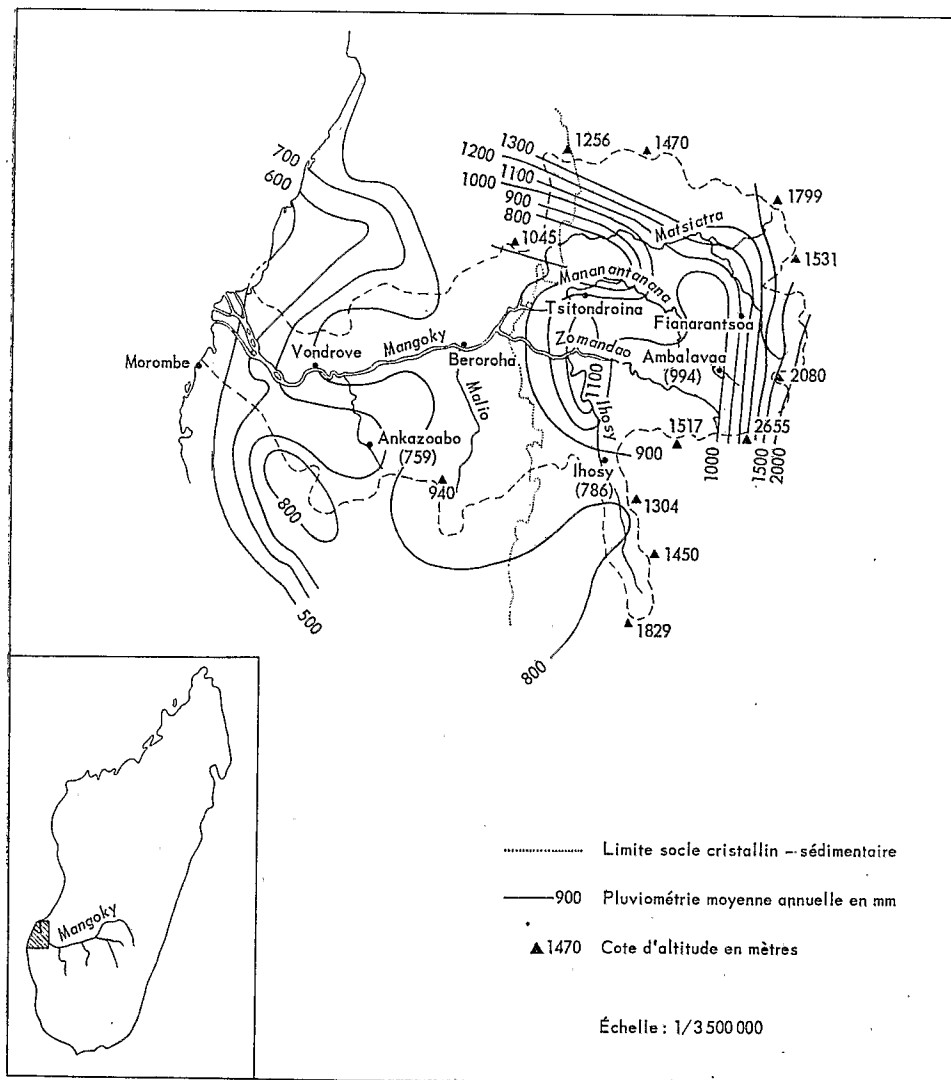


FIG. 1. Situation de la région étudiée et répartition schématique des pluies dans le bassin versant du Mangoky.

faites sur des échantillons répartis dans l'ensemble du delta et de la basse vallée. Certes, pour un même faciès de dépôt ou un même milieu, il existe parfois des variations notables dans les caractéristiques texturales et minéralogiques, mais si l'échantillonnage est fait avec soin on arrive en général à un bon groupement des résultats.

*Texture et milieux de sédimentation*

**Les formations de lit.** Elles sont constituées essentiellement par des bancs sableux qui se forment et se déplacent lors des crues importantes et ne subissent que des modifications mineures lors de la décrue par érosion latérale du chenal d'étiage.

La finesse et le degré des sédiments sableux augmentent sensiblement depuis la tête du delta jusqu'aux estuaires principaux (fig. 2) ainsi que les valeurs de la médiane varient entre 0,5 et 0,15 mm en moyenne, l'indice d'hétérométrie (*Hé* de A. Cailleux) entre 0,6 et 0,25, l'indice de triage (*So* de Trask) entre 1,55 et 1,20. Ces bancs sableux peuvent atteindre 1,5 à 2 mètres au-dessus des plus basses eaux; leur partie supérieure est souvent recouverte par une couche de quelques centimètres d'épaisseur d'alluvions fines en plaquettes déposées sous faible épaisseur d'eau lors de la décrue. Ils présentent une stratification oblique et entrecroisée curviligne typique dont chaque unité est de l'ordre de 10 à 20 cm d'épaisseur maximum.

Étant donné la largeur du lit apparent dans la plaine deltaïque (souvent 2 à 3 km) les sables du chenal d'étiage ne diffèrent guère de ceux des bancs de crue que par un triage un peu moins poussé.

*Les levées alluviales ou bourrelets de « pré-lit ».* Ces

levées bordent le lit apparent et présentent une topographie en rides très irrégulières. Il existe le plus souvent une rupture de pente nette entre les bancs de lit et les levées. Ces dernières sont localement érodées en berges concaves.

Les sédiments des levées présentent un faciès « rubané » caractérisé par l'alternance de strates sableuses fines très micacées, à stratification oblique ou entrecroisée, et de strates argilo-limono-sableuses à structure lamellaire ou feuilletée, se délitant en plaquettes. L'épaisseur respective des strates est variable, mais en moyenne ne dépasse guère 20 à 30 cm surtout pour les sédiments fins.

Dans les strates sableuses, les valeurs de la médiane varient le plus souvent entre 0,15 et 0,2 mm avec un indice d'hétérométrie de 0,4 à 0,5 et un indice de triage voisin de 1,4. Dans les strates de sédiments fins, l'allure des courbes granulométriques laisse supposer le mélange de deux fractions distinctes, toutes deux déposées par excès de charge (fig. 3).

La plus grande partie de la fraction la plus grossière de ces strates (limons grossiers et sables très fins) est d'ailleurs constituée par des micas qui contribuent pour beaucoup à la formation des structures lamellaires. En moyenne, la grossièreté des sédiments qui constituent les strates argilo-limono-sableuses fines est de l'ordre de quelques dizaines de microns.

*Terrasses inondables et surfaces d'épandage.* Les terrasses inondables font transition entre les levées d'une part, les cuvettes de débordement ou les dépressions marginales d'autre part; elles occupent des superficies très importantes dans la moyenne partie de la plaine deltaïque. Les surfaces d'épandage font transition entre

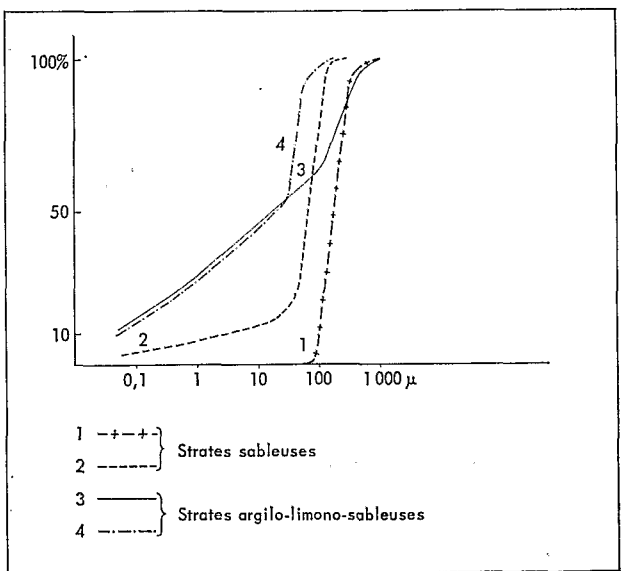
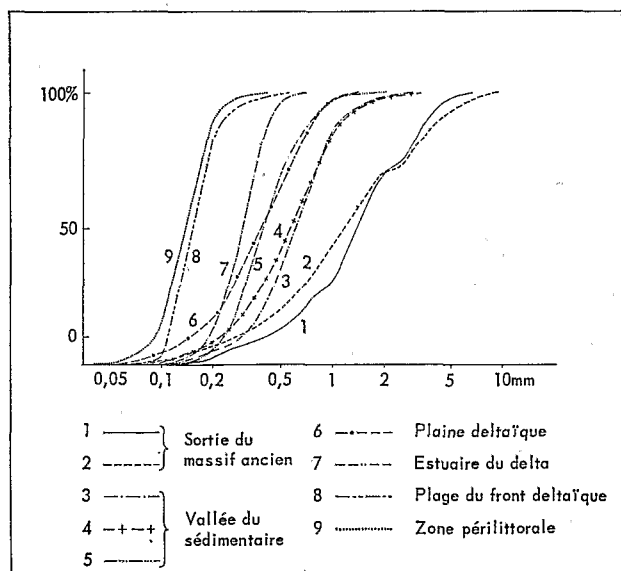


FIG. 2. Exemples de variations de la grossièreté et du triage des sables de lit sur le profil de la basse vallée du Mangoky.

FIG. 3. Sédiments des levées.

la plaine de niveau de base proprement dite et la zone littorale à mangroves.

Ces unités morphologiques sont le plus souvent constituées par des sédiments fins argileux où la fraction argileuse proprement dite inférieure à  $2 \mu$  atteint souvent plus de 50 %. Environ 80 % des particules élémentaires ont des dimensions inférieures à  $35 \mu$ , le reste étant essentiellement constitué par des micas. En moyenne la grossièreté de ces sédiments est de l'ordre de quelques microns (fig. 4).

Les courbes granulométriques cumulatives semi-logarithmiques présentent un faciès « logarithmique » typique tel que l'a défini A. Rivière en 1952, ou s'en écartent peu. Ces sédiments, évolués par transport fluvial, ont été déposés par excès de charge sous une épaisseur d'eau relativement faible, le plus souvent inférieure à 1 mètre. Étant donné leur finesse, ils ont un indice d'hétérométrie assez élevé : 2 à 3,5.

#### Cuvettes de débordement et dépressions marginales

Les cuvettes de débordement plus ou moins fonctionnelles sont inondées par les crues, et l'alluvionnement actuel y est périodique et notable. Dans les dépressions marginales, qui correspondent le plus souvent à des vallées latérales colmatées par le remblaiement récent, l'alluvionnement actuel est faible et des mares y subsistent souvent en saison sèche.

Les sédiments qui constituent ces cuvettes et dépressions sont en général très fins avec des valeurs de la médiane de l'ordre de quelques dixièmes de microns. La fraction argileuse inférieure à  $2 \mu$  peut atteindre 70 à 80 % de l'ensemble du sédiment. L'examen des courbes granulométriques permet de déceler un passage fréquent ou une tendance à des faciès très évolués

(courbes cumulatives semi-logarithmiques convexes vers le haut : faciès « hyperbolique ») qui correspondent à des sédiments déposés par décantation (fig. 4). Ces faciès sont d'autant plus nets que les dépressions sont plus éloignées du lit apparent : les eaux d'inondation ou de ruissellement arrivent dans ces dépressions ayant déjà perdu une grande partie de leur charge et sous des vitesses faibles.

*Mangroves anciennes et actuelles.* Les mangroves actuelles constituent un front littoral très important sur plus de 60 km. Les dépôts de mangroves anciennes constituent le plus souvent le sous-sol hydromorphe des surfaces d'épandage actuelles.

Bien que ces sédiments soient en général fins, les variations de la grossièreté sont importantes dans le détail en fonction de l'importance des bras d'alimentation. La répartition des chenaux de marée principaux dans le delta étant le plus souvent liée aux systèmes de bras récents ou actuels, il semble que la finesse des sédiments tende à augmenter à mesure qu'on s'éloigne de ces chenaux. En moyenne les valeurs de la médiane varient entre quelques dixièmes de microns et quelques microns, et l'hétérométrie est élevée.

Bien que les courbes granulométriques présentent en général un faciès logarithmique, il n'est pas rare d'observer des tendances au faciès hyperbolique de décantation pour les fractions les plus fines, ou les fractions les plus grossières constituées par des micas.

*Dépôts sableux littoraux.* Les sédiments sableux d'estuaire se caractérisent par un triage encore plus poussé que celui des sables de la plaine deltaïque : les valeurs de la médiane excèdent rarement 0,3 mm et l'indice d'hétérométrie est le plus souvent inférieur à 0,3. Du fait des remaniements marins ou éoliens on observe fréquemment des distributions bimodales : le premier mode toujours vers 0,3 mm, le second aux environs de 0,16 mm, ce dernier caractérisant assez bien, semble-t-il, les remaniements éoliens récents ou actuels.

En effet, ce second mode est très accusé dans les sables dunaires récents qui dérivent directement des sables dont l'homométrie est déjà très élevée.

*Les sédiments du delta immergé.* Bien que nous ne disposions actuellement que d'un nombre limité de prélèvements, il semble qu'en fonction de la profondeur et de la distance au rivage actuel, la nature dimensionnelle des sédiments varie de la manière suivante :

À proximité immédiate de la côte, et plus particulièrement au débouché des estuaires les plus importants, des bancs sableux prolongent à faible profondeur (moins d'un mètre) les crêtes pré-littorales qui découvrent à marée basse. Il s'agit de sables très fins (médiane voisine de 0,1 mm) et à forte homométrie (fig. 5).

Dans une seconde zone, sous des profondeurs d'eau de l'ordre de quelques mètres, la surface du delta immergé est constituée par des sables vaseux, avec des grossièretés moyennes inférieures au 1/10 mm.

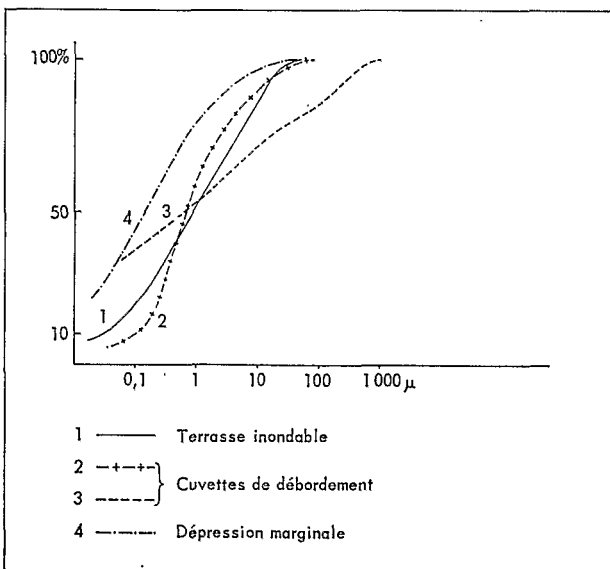


FIG. 4. Sédiments des levées.

Leur extension varie entre 5 km de large dans la partie septentrionale du delta (la plus active) et 20 km dans sa partie occidentale en régression.

Ensuite, jusqu'aux profondeurs de 20 à 30 mètres, la majorité des dépôts est constituée par des vases où la fraction argile-limon (0 à 20  $\mu$ ) atteint 40 à 80 % de la masse totale. Au-delà de ces profondeurs, les côtes augmentent très rapidement jusqu'au voisinage de 100 mètres (talus deltaïque) et nos observations dans ce secteur sont encore trop isolées pour conclure.

La plupart de ces sédiments sous-marins sont évolués et ont été déposés par excès de charge : le faciès logarithmique est plus fréquent (fig. 5) avec pour les vases les plus fines une faible tendance au faciès de décanation dans la fraction argileuse inférieure à 2  $\mu$ .

*Caractères minéralogiques des dépôts récents et actuels*

*Fraction sableuse.* Les sables des sédiments récents sont constitués en forte proportion par du quartz (75 à 95 %), tandis que les feldspaths altérés et ferruginisés ne dépassent guère 10 % et sont souvent inexistantes dans les fractions fines de dimensions inférieures à 0,2 mm.

Les teneurs en minéraux lourds sont très variables d'un point à un autre, pouvant aller de 0,5 à 8,5 % de la masse du sédiment, les concentrations les plus élevées se trouvant dans les bancs de lit et les sables de plages.

Les minéraux opaques sont toujours abondants (souvent 30 % des minéraux lourds) avec une proportion élevée d'ilménite. Les minéraux lourds transparents sont caractérisés par l'association grenat-amphibole (hornblende verte), dont les pourcentages numériques cumulés constituent jusqu'à plus de 70 % des minéraux transparents. L'amphibole est généralement nette-

ment dominante. Le cortège des autres minéraux comprend principalement en proportions variables : zircon, tourmaline, disthène, sillimanite, zoisite, staurotite. Il faut noter également dans les sables très fins la grande abondance de muscovite (10 à 30 % des minéraux transparents) et de biotite plus ou moins chloritisée.

*Fraction argileuse.* Du point de vue de la nature des minéraux argileux, la quasi-totalité des dépôts récents et des sols alluviaux du delta (y compris la surface du delta sous-marin) forment un ensemble homogène : on relève la présence constante de l'association montmorillonite-illite-kaolinite. La montmorillonite (typique à 12 Å) constitue le plus souvent 50 à 60 % environ de la fraction argileuse inférieure à 2  $\mu$ . Dans les minéraux à 10 Å la présence de biotite est fréquente. La gibbsite se trouve fréquemment en faibles quantités et on relève également des traces de goëthite.

RELATIONS ENTRE L'ORIGINE DES SÉDIMENTS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES TEXTURALES ET MINÉRALOGIQUES

*Granulométrie*

À la sortie du massif ancien cristallin, on observe que la grossièreté moyenne des sédiments de lit n'excède pratiquement pas 2 mm et que dans la vallée du bassin versant sédimentaire les valeurs de la médiane se fixent rapidement dans un intervalle dimensionnel compris entre 0,65 et 0,30 (fig. 2). Malgré des crues assez fortes mais étalées, à peu de distance du dernier seuil rocheux dans les terrains métamorphiques, le fleuve ne transporte pas de galets, tout au plus des granules (5 mm). Ces faits doivent être imputés à l'importance de la couverture d'altération dans le bassin versant cristallin, où les affluents du Mangoky ne charrient guère en quantités importantes et localement que des galets de quartzites, et surtout au processus géomorphologique. En effet, dans les conditions actuelles, le profil en long de la vallée du sédimentaire a atteint une pente moyenne de 0,75 à 0,8 pour 1 000, pente que le fleuve conserve sur une distance de plus de 200 km, et que l'on peut considérer comme voisine d'une pente d'équilibre, étant donné les conditions hydrodynamiques.

Par ailleurs, les analyses granulométriques des sédiments sableux des rivières affluentes du bassin versant sédimentaire montrent que les valeurs de la médiane varient entre 0,25 et 0,65 mm, c'est-à-dire sont sensiblement analogues à celles observées pour des bancs de crue dans le lit du Mangoky. Par conséquent le fleuve les remanie sans difficulté en améliorant leur triage. Le triage de ces sables du sédimentaire est cependant en général un peu moins bon que celui des sables de la vallée du Mangoky, car ces affluents ont un régime plus irrégulier que celui des affluents des hauts plateaux et un écoulement plus chargé.

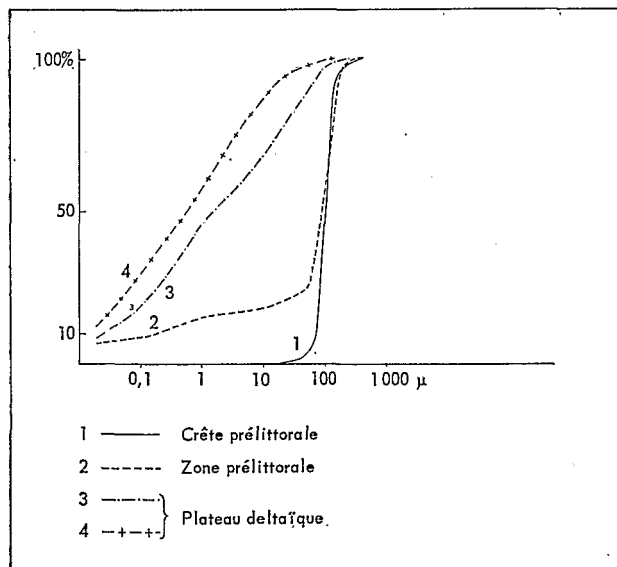


FIG. 5. Sédiments du delta immergé.

### Cortège minéralogique des sables

En ce qui concerne la composition minéralogique des dépôts sableux récents et actuels, la prédominance du quartz n'est guère surprenante, étant donné l'altération des roches métamorphiques dans le bassin versant cristallin et l'importance des séries gréseuses à désagrégation facile dans le bassin versant sédimentaire. Cependant le cortège des minéraux lourds porte surtout l'empreinte des apports du cristallin; en effet, à la sortie du cristallin aussi bien que dans la plaine deltaïque, on trouve une forte prédominance de l'association grenat-amphibole : dans les gorges du massif ancien, la hornblende peut constituer jusqu'à près de 70 % des minéraux lourds transparents, dont le pourcentage en poids varie entre 8 et 12 %. Les concentrations sont en général très inférieures dans les sables des rivières du sédimentaire, étant donné l'origine des apports : localement on observe cependant de fortes concentrations en minéraux opaques et en grenat; le cortège minéralogique y présente comme association dominante grenat-zircon-épidote.

Si l'on tient compte des caractères de l'altération des roches et de la pédogénèse (ferrallitisation) dans le bassin versant cristallin, la nette prédominance de l'amphibole et du grenat dans les sédiments du delta est assez surprenante; en effet, en milieu tropical humide ou subhumide, ce sont des minéraux réputés assez facilement altérables (l'amphibole vient en troisième position dans la série de Jackson, avant même la biotite). La biotite est également abondante dans les sédiments du delta; elle est le plus souvent plus ou moins altérée (mica vert). Il faut noter que dans le bassin versant cristallin, plus que les horizons supérieurs rubéfiés des sols ferrallitiques, c'est surtout la couverture d'altération (horizons de « départ ») dont l'épaisseur peut atteindre dans le haut bassin plusieurs dizaines de mètres, qui fournit aux tributaires du Mangoky l'essentiel des matériaux transportés. L'observation courante de cette couverture d'altération *in situ*, dans laquelle la structure de la roche est encore le plus souvent bien visible, permet de constater qu'en général les lits riches en minéraux ferro-magnésiens, bien que libérant des hydroxydes de fer, résistent davantage à l'altération chimique que les lits feldspathiques ou à mica noir rapidement kaolinisés. Ce caractère est d'autant plus net, semble-t-il, qu'on se rapproche de la bordure occidentale des hauts plateaux, là où la pluviométrie annuelle diminue, en même temps que s'accroît le caractère déjà tranché de la saison sèche.

### Argiles

La constance de l'association de minéraux argileux observée dans les sédiments du delta semble surtout dépendre de la nature des matériaux qui alimentent la sédimentation. En effet, un certain nombre de considérations laisse supposer ici la prédominance de l'« héri-

tage » pour reprendre une expression déjà utilisée par Millot, 1952; Rivière et Visse, 1954; Nesteroff et Sabatier, 1962; autrement dit l'influence des roches mères du bassin versant et des conditions qui président à leur désagrégation.

L'analyse roentgenographique des fractions argileuses des débits solides du Mangoky prélevés à la sortie du massif cristallin a montré que la quasi-totalité de la kaolinite trouvée dans les sédiments récents provient du bassin versant cristallin. Il en est sans doute de même pour les minéraux à 10 Å du type illite ou micas qui dans ces débits solides sont en association avec la kaolinite, mais en plus faibles quantités. La montmorillonite y est absente ou seulement à l'état de traces.

Par contre, dès le début de la vallée dans les terrains sédimentaires, c'est-à-dire dans la dépression périphérique du massif ancien, ce minéral fait son apparition dans les sédiments récents et son importance croît rapidement pour atteindre dans les gorges du sédimentaire les proportions trouvées dans les sédiments du delta, soit environ 50 à 60 % de la fraction argileuse inférieure à 2  $\mu$ .

L'examen des débits solides du fleuve à la sortie des gorges du sédimentaire, en tête de la plaine deltaïque, confirme ces résultats; et nous avons vu que la même association des minéraux argileux se retrouve dans les dépôts récents du delta sous-marin.

L'analyse des roches mères du bassin versant sédimentaire, en particulier des séries stratigraphiques marno-calcaires, pour déterminer la composition de leur fraction argileuse, est en cours; mais dès maintenant, du fait des lieux et de la densité des prélèvements d'alluvions récentes le long du profil en long du Mangoky, on peut dire qu'il est très probable que les apports détritiques en provenance du sédimentaire sont la principale source de la montmorillonite trouvée dans les sédiments récents de la basse vallée et du delta. De plus, on observe que pour les principaux affluents du bassin versant sédimentaire, les dépôts argileux récents contiennent en général une association montmorillonite-kaolinite où le premier minéral est nettement dominant avec des proportions pouvant atteindre 80 % de la fraction argileuse.

Cependant, la formation de montmorillonite par « néogénèse » dans les sols du delta n'est pas complètement à écarter : en effet, on relève localement des proportions très élevées de ce minéral (70 à 90 % de la fraction inférieure à 2  $\mu$ ). Il s'agit le plus souvent d'horizons gypso-sodiques de sols à hydromorphie temporaire ou d'horizons de gley de sols marécageux salés et à alcalis; il semble que dans ces sols déjà plus ou moins évolués le milieu fortement alcalin ait favorisé l'augmentation du taux de montmorillonite. Par contre, dans les dépôts très récents, même en milieu hydromorphe basique (sous-sol de mangroves en particulier), les proportions de minéraux argileux sont à peu près les mêmes que dans la majorité des sédiments du delta.

Par ailleurs, il semble que les quantités faibles à très faibles d'hydroxydes de fer et d'alumine observées dans les sédiments récents soient dues surtout au fait que dans le bassin versant cristallin, l'altération des roches métamorphiques dans les zones de « départ » (couverture d'altération proprement dite) se limite souvent au stade kaolinique. Même dans les horizons supérieurs des sols ferrallitiques, les hydroxydes de fer et d'alumine, quoique abondants, sont souvent mal cristallisés (d'après les quelques résultats que nous possédons, la présence en quantité notables de gibbsite et de goëthite dans les alluvions récentes du versant oriental perhumide de l'île semble beaucoup plus fréquente que sur la côte ouest).

**INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES TEXTURALES ET MINÉRALOGIQUES DE LA SÉDIMENTATION RÉCENTE SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES ET L'ÉVOLUTION DES SOLS ALLUVIAUX**

*Texture et classification*

Les sols du delta peuvent être classés en cinq groupes principaux : a) sols minéraux bruts; b) sols peu évolués d'apport; c) vertisols hydromorphes; d) sols hydromorphes moyennement ou peu humifères à gley; e) sols salins.

Dans les prospections à grande échelle (1/10 000) faites dans le delta pour la mise en valeur, la texture

a été un critère important de différenciation pour les sols peu évolués, en tenant compte du milieu de sédimentation et des changements intervenus dans celui-ci (recouvrements, sols à profil complexe). Les catégories suivantes ont été distinguées : sols sableux (anciens bras); sols sablo-limoneux à limono-sableux avec présence fréquente de « couches-drains » sableuses (levées alluviales et surfaces d'épandage); sols de recouvrements limono-argileux à argilo-sableux sur sables (axes de drainage ou ancien bras colmatés); sols limono-sableux à limono-argileux stratifiés (levées alluviales); sols limoneux (terrasses inondables); sols limono-argileux (cuvettes de débordement récentes); sols à recouvrements limono-sableux sur sous-sol argileux (axes de drainage récents sur l'emplacement d'anciennes cuvettes); sols argileux (cuvettes de débordement stabilisées plus ou moins anciennes).

Ces catégories sont basées essentiellement sur une appréciation de terrain, laquelle ne correspond pas toujours étroitement avec les résultats de l'analyse granulométrique qui sont assez variables dans le détail. En fait, si on reporte sur un diagramme triangulaire par exemple un certain nombre de résultats concernant les horizons caractéristiques des différents sols alluviaux récents, on constate rapidement que les points se groupent selon trois zones principales (fig. 6) qui correspondent aux milieux de sédimentation caractéristiques du complexe deltaïque : levées alluviales, terrasses inondables et surfaces d'épandage, cuvettes de débordement. Toutefois les dépôts fluvio-marins de mangroves présentent une plus grande dispersion, car ce milieu est autant conditionné par les facteurs biologiques que par les facteurs hydrodynamiques : les racines de palétuviers constituent un filtre très actif pour les eaux de crues chargées et le triage est moins net que dans les zones où les conditions d'écoulement sont moins gênées par la végétation. Aussi, en fonction des apports, il existe des vases de mangrove relativement grossières, contenant 20 à 60 % de sables, et cela a été également observé dans d'autres deltas de la côte ouest malgache.

*Stabilité structurale*

Les tableaux 1 et 2 montrent quelques résultats obtenus pour les valeurs de la vitesse de filtration au laboratoire et de l'indice d'instabilité structurale (méthode Henin, 1958) en fonction des teneurs en éléments inférieurs à 20  $\mu$  et en sables fins. Les teneurs en matière organique interviennent en général peu dans la stabilité structurale, par suite des faibles pourcentages d'humification. Aussi, l'instabilité a tendance à augmenter avec la fraction argile-limon, et la vitesse de filtration à diminuer. Il faut noter que la perméabilité est rarement élevée (valeurs de K le plus souvent inférieures à 2,5 cm/h); en effet, dans les sols sableux le faible pourcentage des sables grossiers et l'abondance des micac dans les sables fins diminuent; la perméabilité; dans les sols

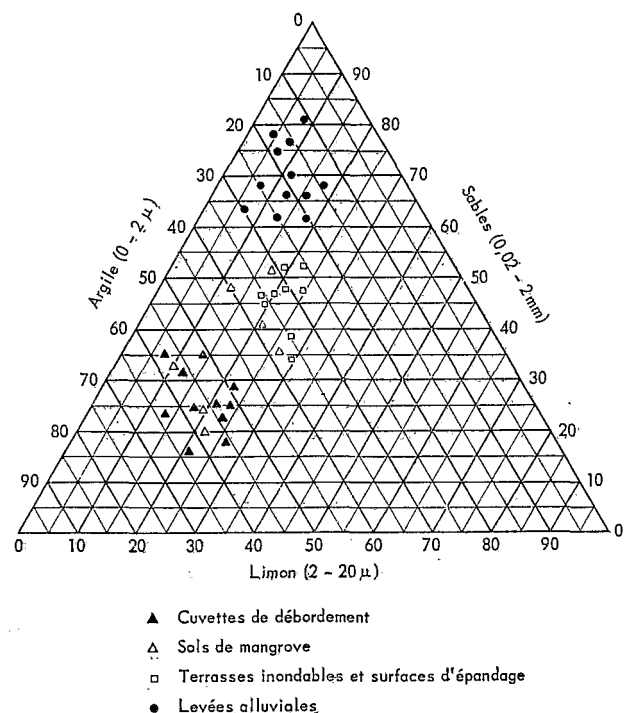


FIG. 6. Plaine deltaïque du Mangoky.

TABLEAU 1. Horizons de surface.

Argile (0-2)	Argile + limon (0-20)	Sable fin	Matière organique	Humus		K	Indice de stabilité
				Mat. organ.	cm/h		
11,2	20,0	77,4	1,5	14	1,9	0,37	
11,2	20,8	73,2	2,0	5	1,7	2,91	
20	35,8	52,7	2,9	7	2,2	0,67	
25,4	47,6	48,3	1,3	6	2,0	1,74	
30,5	46,4	29,9	4,0	12	2,0	0,62	
34,2	53,2	41,0	3,8	4	1,0	3,93	
35,9	54,8	40,3	1,6	7	1,4	3,15	
41,8	69,6	21,6	4,6	8	4,2	0,71	
47,4	65,2	23,9	4,6	21	1,2	0,7	
49,2	71,2	22,9	1,5	10	0,5	7,1	
53,3	76,4	16,6	2,5	12	0,7	2,9	

TABLEAU 2. Sous-sol.

Argile (0-2)	Argile + limon (0-20)	Sable fin	Matière organique	K	Indice de stabilité
11,2	16,6	47,8	0,7	1,1	1,1
10,0	22,0	68,8	0,3	1,1	1,1
12,8	22,0	76,2	1,2	1,1	1,6
17,2	22,0	73,3	0,7	2,3	4,7
28,2	46,4	56,4	1,3	2,5	2,2
31,9	54,0	43,4	1,2	0,1	2,6
35,0	52,0	40,1	0,7	0,5	2,8
39,2	61,6	29,4	1,2	1,4	1,4
43,8	63,0	29,2	0,8	1,2	11,7
43,4	75,6	19,5	1,3	1,7	1,5
40,1	55,2	29,6	1,3	0	6,5
51,0	64,4	25,1	1,0	0,9	2,1

TABLEAU 3.

Type de sol	Agréments grossiers		
	Alcool	Air	Benzène
	%	%	%
Sols sablo-limoneux à limono-sableux de levées	48 - 55	30 - 44	16 - 41
Sols limoneux à limono-argileux de terrasses récentes	28 - 38	9 - 11	4 - 6
Sols argileux de cuvettes	34 - 55	9 - 22	5 - 6

argileux elle est modifiée par la présence fréquente et notable de sodium dans le complexe.

D'ailleurs la plupart des sols alluviaux peu évolués se caractérisent par une fraction agrégée stable, après pré-

traitement au benzène ou sans prétraitement, moyenne à faible, très faible dans sols à argiles sodiques (pourcentage d'agrégats supérieurs à 200  $\mu$ ).

On peut donc dire qu'en moyenne les sols alluviaux du bas Mangoky sont assez sensibles à l'action de l'eau et ont une structure peu stable. Aussi, étant donné la longueur de la saison sèche et, pendant cette saison, l'absence quasi totale de couvert herbacé sur les sols cultivés, l'agressivité et l'irrégularité des premières pluies, la minéralisation rapide de la matière organique, et la texture due à l'origine alluviale des matériaux originels, deux facteurs sont essentiels pour la mise en valeur de ces sols : le maintien d'un taux minimum de matières organiques humifiées d'une part, la préparation culturale d'autre part (intérêt de la pré-irrigation).

#### Aptitude à l'irrigation

Les mesures de perméabilité en place (infiltromètre à cylindres) ont montré que l'infiltration de l'eau dans un horizon texturalement homogène obéit à la relation générale :  $D = Ct^n$  (D : quantité infiltrée en fonction du temps t; C (constante exprimée en centimètres cubes) permet dans une certaine mesure d'apprécier la mouillabilité du sol au début de l'expérience. L'exposant n, le plus souvent compris entre 0 et 1, est d'autant plus faible que la quantité d'eau infiltrée diminue en fonction du temps (colmatage).

Dans les sols alluviaux peu évolués la perméabilité en place a varié entre  $1.10^{-4}$  m/s dans les sols légers et  $1.10^{-6}$  dans les sols les plus argileux et peu structurés. Les valeurs de C ont varié entre 11 et 150, celles de n entre 0,31 et 0,93.

Selon les types texturaux, la quantité d'eau disponible (ou réserve en eau du sol) sur les 75 premiers centimètres d'un sol relativement homogène du point de vue des apports alluviaux, varie entre 35 et 100 mm (à l'exclusion des sols très sableux des anciens bras). Pour la culture irriguée du coton, ces valeurs conduisent à des doses théoriques d'arrosage variant, selon la période de végétation, entre 150 et 650 m<sup>3</sup>/ha pour les sols légers, entre 350 et 1 800 m<sup>3</sup>/ha pour les sols les plus lourds, compte tenu des conditions suivantes : irrigation du 15 décembre au 15 mai; déficit théorique pendant cette période, 376 mm; consommation effective par hectare, 7 500 m<sup>3</sup>; coefficient d'efficacité, 50 %.

#### Propriétés chimiques et fertilité naturelle

Étant donné le faible taux d'humification de la matière organique même dans les sols marécageux, les proportions d'éléments fins influent beaucoup sur le complexe absorbant et leurs réserves minérales. Ainsi la capacité d'échange sur un large intervalle est d'assez près directement proportionnelle à la teneur en argile : sa valeur passe de 15 à 20 milliéquivalents pour 100 g dans les sols contenant 15 à 20 % d'argile, à 40 ou 45 milliéquivalents



valents pour 100 g dans les sols contenant 55 % d'argile. Les valeurs sont encore plus élevées si les teneurs en matière organique sont supérieures à 3 ou 4 % pour les sols argileux.

La réaction du sol est le plus souvent neutre. En grande majorité les sédiments ne sont pas calcaires; le calcaire ne se dépose que localement dans les sols argileux de cuvettes en taches ou nodules d'hydromorphie temporaire et dans ce cas est souvent associé à des cristallisations plus ou moins denses de gypse (sols argileux un peu évolués de cuvettes stabilisées, vertisols hydromorphes).

Du fait de nappes assez minéralisées, de la nature des argiles, de la saison sèche marquée, le complexe absorbant des sols est le plus souvent très richement pourvu en éléments échangeables, en particulier en calcium et magnésium. Les sols salins sont souvent à alcalis, mais leur structure en est rarement modifiée (sols jeunes, salure par la nappe littorale). Dans les dépôts de mangroves, le rapport Na/T peut atteindre 50 % et le rapport Mg/Ca est fréquemment supérieur à 1.

Les réserves minérales sont également abondantes dans presque tous les sols par suite de la présence dans la fraction limoneuse de nombreuses espèces minérales en voie d'altération (en particulier biotite et amphibole).

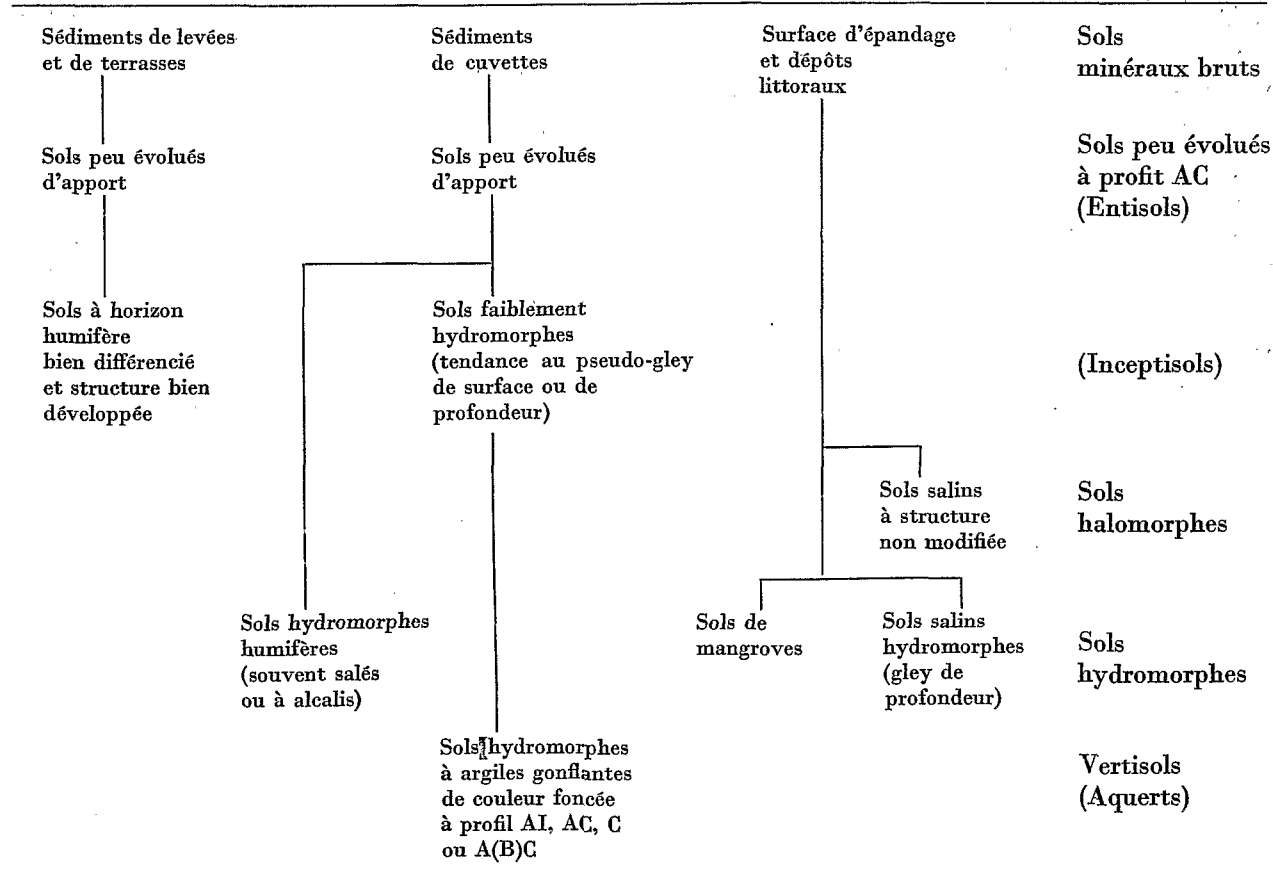
*Évolution des sols*

L'influence de la texture et de la composition minéralogique (en particulier des argiles) des dépôts alluviaux, liée aux actions conjuguées du milieu originel de sédimentation, de la morphologie actuelle et des facteurs climatiques (saison sèche marquée), est très importante dans l'évolution des sols du delta.

On peut représenter schématiquement les principaux stades d'évolution des dépôts alluviaux (ci-dessous).

D'après ce schéma on peut voir que c'est surtout dans les matériaux fluviatiles fins et argileux que la différenciation pédogénétique est la plus poussée, en particulier, pour des raisons de drainage. En effet, un drainage plus ou moins défectueux en saison des pluies, une dessiccation de longue durée en saison sèche sont à l'origine de cristallisations salines (de gypse surtout), le plus souvent très disséminées dans le profil, de taches calcaires, de marmorisation, dans de rares cas de concrétions ferro-manganésifères.

Ces mêmes conditions, liées à la nature des colloïdes argileux et à un fort pourcentage de sodium sur le complexe absorbant, favorisent évidemment la formation de vertisols hydromorphes qui présentent le plus souvent une accumulation dispersée gypso-calcaire en taches ou en cavités.



Un mauvais drainage permanent en profondeur (nappe littorale surtout) a pour conséquence la formation d'horizons de gley caractéristiques.

Enfin, si le sol est inondé d'une manière quasi permanente, il s'établit une végétation marécageuse (en particulier peuplements à *Typha angustifolia*) avec formation d'un horizon organo-minéral plus ou moins consistant.

Par contre, dans les sols bien drainés, l'évolution pédogénétique est principalement liée à la permanence suffisamment prolongée d'un couvert végétal dense

(forêt d'alluvions ou prairie de hautes graminées) : ce cas est relativement peu fréquent à cause des importantes destructions faites par l'homme. En présence de sels, étant donné les importantes variations du niveau de la nappe dans ces sols perméables, il n'y a pas d'accumulation localisée. Cependant dans la zone littorale, les sols sableux sont souvent recouverts d'une mince croûte saline en saison sèche avec une végétation clairsemée à base de salicornes (nappe fluvio-marine à faible profondeur).

## Summary

*On the textural and mineralogical characteristics of recent sediments and alluvial deposits in the delta of the River Mangoky (south-western Madagascar) (J. Hervieu)*

The delta of the Mangoky, which lies in the south-western part of the island in a dry tropical area, covers approximately 570 square miles. Its sloping basin spreads over 22,780 square miles of the old metamorphic shelf and its silt covering, going from a dry tropical climate to the sub-humid to humid tropical climate of the High Plateaux of Madagascar.

Textural analysis of the fluvial silt has made it possible to determine, according to the amounts and size of the particles and the *facies* of the deposit, a certain number of sedimentation areas such as sandbars, alluvial levees, flood-prone terraces and dissipating areas, overflow basins and marginal depressions, past and present mangrove swamps, littoral deposits, continental shelf, etc.

The heavy transparent minerals in the sand are characterized by the distinct predominance of the amphibole-garnet-white mica association.

In the clayey portions, the montmorillonite (50 to 60 per cent on the average) - kaolinite-illite association is constantly present.

The origin of the silt largely explains the textural and mineralogical characteristics of the recent deposits which, for the most part, are "inherited". The geomorphological development of the lower valley, the characteristics of the greater or lesser ferrallitic alteration in the sloping crystalline basin and the petrographic nature of the rocks of the sedimentary slope of the basin are the main factors which, together with climatic and hydrological factors, condition the different aspects of recent and present sedimentation.

The textural and mineralogical characteristics of recent silt deposits have a preponderant influence on the physical and chemical properties of the delta soils and on their potential for cultivation. From the point of view of soil development, it is primarily in the fine clayey substances that the pedogenetic differentiation is greatest, particularly on account of drainage.