

Les sols des marais maritimes du littoral occidental malgache

J.-M. LEBIGRE (1), C. MARIUS (2) et P. LARQUE (3)

(1) Université de Tuléar (Madagascar), Département de Géographie. (2) ORSTOM/ULP Institut de Géologie Strasbourg.
(3) CNRS/CGS Strasbourg.

RÉSUMÉ

A travers l'étude des sols de quelques marais maritimes du littoral occidental de Madagascar (baie de la rivière Saint-Vincent, baie de Tsingilofilo, lagune de Belo-sur-Mer, delta de la Tsiribihina, estuaire de la Betsiboka, baie de la Mahajamba), cet article met à la fois en évidence leur grande diversité et l'existence d'un certain nombre de points communs : rapide salinisation menant à la disparition des mangroves et à leur substitution par des tannes.

MOTS-CLÉS : Mangrove — Sol — Madagascar — Géochimie

ABSTRACT

SEASIDE MARSH SOILS OF WESTERN COASTLINE IN MADAGASCAR

This soil survey of some seaside marshes on the Western coast of Madagascar (River Saint-Vincent Bay, Tsingilofilo Bay, Tsiribihina Delta, Betsiboka Bay, Belo-sur-mer Lagoon and Mahajamba Bay), shows a large diversity and a lot of common points : a quick salinization resulting in the disappearance of mangroves and their replacement by flats (tannes).

KEY WORDS : Mangrove — Soil — Madagascar — Geochemistry

LE CADRE NATUREL

Le littoral ouest de Madagascar se déroule sur environ 3 900 km (1 660 du cap Sainte-Marie au cap Saint-André, 2 270 du cap Saint-André au cap d'Ambre) du 12° au 25° degré et demi de latitude sud (fig. 1). Géologiquement, il s'inscrit presque entièrement dans un grand bassin sédimentaire qui occupe le tiers occidental de la Grande Ile.

Présentation générale

Les marais maritimes de Madagascar couvrent environ 400 000 ha, basses slikkes exclues. On trouve la plupart de ceux-ci à des embouchures fluviales. Il s'agit généralement de deltas (Mangoky, Tsiribihina, Sambi-

rano), de deltas emboîtés dans des estuaires ou dans des baies (Betsiboka, Mahajamba) ou plus rarement d'estuaires (Loza). Mais il existe également quelques grands marais maritimes en dehors de toute embouchure, comme celui de la baie de la rivière Saint-Vincent bordée par de vieilles dunes grésifiées. Notre étude porte sur quelques-uns d'entre eux (fig. 2).

Les facteurs climatiques

Le climat varie sensiblement de Nosy Be (13° lat. S) à Tuléar (tropical du Capricorne) : on passe progressivement d'un climat « humide et chaud » (précipitations de l'ordre 2 200 mm, réparties sur 12 mois) à un climat « subaride et chaud » (précipitations de l'ordre de 350 mm) comme le montre le tableau I.

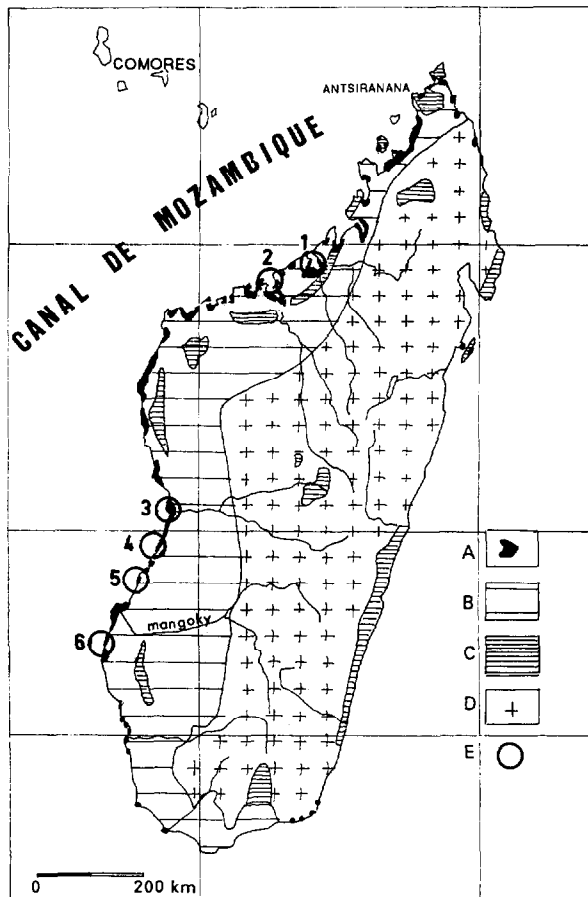


FIG. 1. — Les marais maritimes de Madagascar : localisation des sites étudiés.

A. marais maritime. B. Bassin sédimentaire. C. Volcanisme. D. Socle. E. Localisation des sites : 1. baie de la Mahajamba, 2. estuaire de la Betsiboka, 3. delta de la Tsiribihina, 4. lagune de Morondava, 5. lagune de Belo-sur-mer, 6. marais maritimes de Tsingilofilo et de la rivière Saint-Vincent.

Madagascar's seaside marshes : situation of the studied zones.
 A. Seaside marsh. B. Sedimentary basin. C. Volcanism. D. Basement. E. Localization : 1. Mahajamba Bay, 2. Betsiboka Estuary, 3. Tsiribihina Delta, 4. Morondava Lagoon. 5. Balo-sur-mer Lagoon, 6. Seaside marshes of Tsingilofilo and Riv. Saint-Vincent.

Les facteurs marins

A la différence de la côte orientale, l'amplitude des marées semi-diurnes est importante : le marnage de grande vive-eau est d'environ 3 m à Tuléar et de 4,50 m à la pointe Maroloha près de Majunga. Cela permet l'émersion d'un vaste estran à marée basse.

Les grandes houles du canal de Mozambique ont une forte capacité régularisatrice : elles érodent les secteurs rocheux et sont à l'origine des puissants courants de dérive littoral qui, à la faveur de l'alluvionnement

sableux, sont à l'origine des flèches et cordons littoraux qui séparent les marais maritimes du large.

L'alluvionnement

La puissance d'alluvionnement des fleuves malgaches explique la rapide progradation des marais maritimes situés aux grandes embouchures (Betsiboka, Sofia et Mahajamba notamment). Le phénomène doit être mis en relation avec l'intense déforestation qui affecte l'intérieur de l'île et qui donne une grande efficacité aux processus érosifs.

L'étude géologique et sédimentologique du littoral ouest malgache a fait l'objet d'une étude détaillée de J. HERVIEU (1968) qui a montré que les dépôts de mangroves sont des dépôts bien triés, déposés par excès de charge et assez maturés. Cependant les tendances au faciès *hyperbolique* de décantation ne sont pas rares. En moyenne, les caractères généraux de ces sédiments fluvio-marins sont les suivants :

- la fraction granulométrique de diamètre supérieur à 100 microns est généralement très importante ;
- la fraction comprise entre 0,1 et 10 μ constitue en moyenne 50 % des échantillons ;
- la grossièreté varie le plus souvent autour de 1 μ ;
- l'indice d'hétérométrie est élevé, compris le plus souvent entre 3 et 4.

Pour ces sédiments, une origine fluviale (ou une provenance des berges des estuaires) est le cas général.

Les apports sont saisonniers et le dépôt de la vase se fait en deux sites préférentiels : d'une part sur les hauts-fonds sableux situés dans les estuaires et entre chaque embouchure fonctionnelle, d'autre part dans les secteurs protégés de la houle par des accumulations sableuses littorales.

L'essentiel de la sédimentation vaseuse se fait surtout en période de crues, par excès de charge et floculation des éléments en suspension.

Presque tous les sables littoraux et estuariens se caractérisent par leur finesse et leur grande homiométrie. Pour plus de 80 % des échantillons, les valeurs de la médiane sont comprises entre 0,125 et 0,32 mm et l'indice d'hétérométrie varie autour de 25.

La végétation

Les marais maritimes de Madagascar comme tous les marais maritimes tropicaux se caractérisent par un type de végétation inconnu aux moyennes et hautes latitudes, la mangrove. Celle-ci comporte ici 8 espèces de palétuviers réparties en 8 genres et 6 familles : *Rhizophora mucronata* Lamk. (Rhizophoracée) *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lamk. (Rhizophoracée) *Ceriops tagal* C.B. Robinson (Rhizophoracée) *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. (Avicenniaceae)

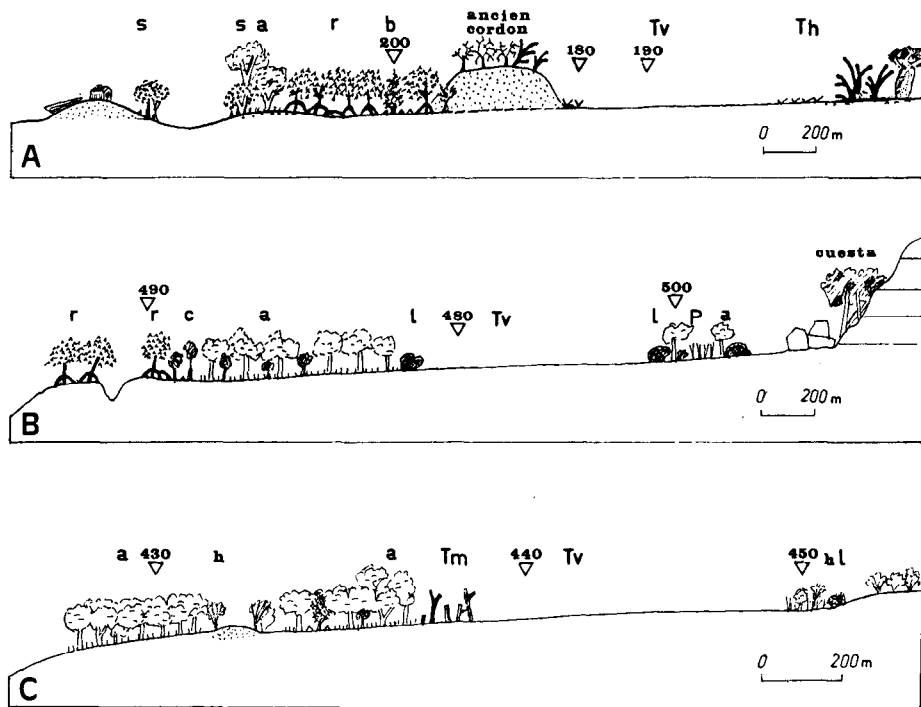


FIG. 2. — Les séquences végétales et l'emplacement des prélèvements de sol.

A. Séquence de Belo-sur-Mer. B. Séquence de Maroakora (baie de la Mahajamba). C. Séquence d'Ambatomalama (estuaire de la Betsiboka).

Th : tanne herbeux, Tm : tanne à palétuviers morts, Tv : tanne vif, P : prairie marécageuse à *Acrostichum aureum* et *Typha*. a : *Avicennia marina*, b : *Bruguiera gymnorrhiza*, c : *Ceriops tagal*, h : *Hibiscus tiliaceus*, l : *Lumnitzera racemosa*, r : *Rhizophora mucronata*, s : *Sonneratia alba*.

Plants sequence and localization of soils sampling. A. Bolo-sur-Mer sequence. B. Mahajamba Bay sequence. C. Betsiboka Estuary sequence.

Th = herbaceous flat, Tm = decayed mangrove, P = marshy meadow, Tv = barren flat.

TABLEAU I

Normales pluviométriques des principales stations de la côte ouest de Madagascar (en millimètres). D'après R. DUFURNET, 1972
Montly means of rainfall observed in the main stations on the Western west of Madagascar (after R. DUFURNET, 1972)

Station	Lat.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
Nosy Be	13°19	464	425	287	141	58	49	33	40	49	96	189	362	2192
Marovoay	16°07	442	343	275	71	3	2	1	5	7	22	97	227	1496
Maintirano	18°60	302	220	158	32	9	4	4	3	8	17	63	177	998
Belo/Tsir	19°41	235	175	124	14	5	7	5	2	6	15	49	172	809
Morondava	20°17	228	209	117	13	7	6	1	2	7	9	17	129	744
Morombe	21°45	123	134	59	4	7	7	2	0	5	4	2	85	454
Tuléar	23°22	70	71	42	7	18	11	4	3	10	14	4	57	341

Sonneratia alba J. Smith (Sonneratiacée)
Xylocarpus granatum Koenig (Méliacée)
Heritiera littoralis Aiton (Sterculiacée)
Lumnitzera racemosa (L.) Gaerth. (Combrétacée)

Il faut ajouter à cette liste de nombreuses plantes ligneuses (comme *Thespesia populnea* ou *Derris uliginosa*) ou herbacées qui se mêlent aux palétuviers dans la mangrove régressive.

Derrière la mangrove apparaissent presque toujours de grands tannes, étendues sursalées nues ou herbeuses désignées à Madagascar sous le terme assez général de « sira sira » (J.M. LEBIGRE, 1983).

L'existence fréquente en arrière des tannes de prairies marécageuses à *Typha*, *Phragmites* et *Scirpus* notamment, s'explique par la présence de sous-écoulements alimentés par des eaux douces continentales.

LES SOLS

Les sols des marais maritimes de Madagascar nous sont connus essentiellement grâce aux travaux de L.R. LAFOND (1967), J. HERVIEU (1968) et de J.H. DURAND (1963, 1964, 1967, 1973).

46 échantillons prélevés dans 21 profils ont été analysés. Pour la majorité, ce sont des profils de tannes vifs, les autres provenant, soit de la mangrove à *Avicennia*, soit plus rarement de celle à *Rhizophora*.

Morphologie

La plupart des profils sont caractérisés par un horizon brun-jaune, jaune ou gris clair, presque blanc, surmontant un horizon gris à gris foncé, de texture argileuse ou sableuse, à consistance généralement fluide ou de beurre avec des taches brunes ou rouge-jaune. Certains profils contiennent dans leurs horizons profonds des débris de coquilles et des niveaux riches en matière organique. On notera que l'horizon à consistance fluide n'a ni la couleur 'purée de marron', ni les taches jaunes de jarosite des sols sulfates acides. Cette consistance est à relier à l'état de décomposition de la matière organique.

Caractères chimiques

Dans le tableau II sont consignés les résultats du pH *in situ*, du pH sec et de la composition ionique de sels solubles, obtenue à partir d'un extrait aqueux 1/10.

On constate que le pH est proche de la neutralité, qu'il soit mesuré sur le terrain ou sur l'échantillon séché à l'air. On remarque d'ailleurs que le pH sec est très souvent supérieur au pH *in situ*, par suite de la cristallisation des sels de sodium au séchage, comme nous l'avions observé dans les mangroves du Saloum, au Sénégal (C. MARIUS, 1985).

A l'exception du profil 36, prélevé sous *Rhizophora* dans lequel le pH du sol est nettement acide, aucun des profils ne possède d'*acidité potentielle* et ne correspondent donc pas à des *sols potentiellement sulfatés acides*.

Par contre, le caractère dominant de ces sols est la *salinité*, qui dans l'ensemble, est très élevée. Exprimée par la conductivité de l'extrait aqueux au 1/10^e, on constate que la salinité de la plupart des échantillons est voisine de celle de l'eau de mer (46 mS/cm), et que pour certains, elle est de trois fois à quatre fois supérieure à celle de l'eau de mer. Ce sont donc des sols hypersalés. La composition ionique se caractérise par la prédominance des anions Cl⁻ et SO₄⁼ et des cations Na⁺ et Mg⁺⁺. Ce sont donc essentiellement des sels très solubles : NaCl, MgCl₂ et MgSO₄. L'étude des rapports Cl⁻/SO₄⁼, Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ et Na⁺ + K⁺ / Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ montre que la salinisation est, en

grande partie, de type chlorurée sodique (C.S.) ou chlorurée-sulfatée-sodique (CS.S). Ce sont donc des sols salsodiques, qui appartiennent au sous-groupe des sols sodiques et qui ne présentent pas de risque d'alcalinisation, les bicarbonates étant très faiblement représentés et les carbonates totalement absents.

Géochimie

Les résultats des analyses montrent une grande diversité dans la composition chimique en éléments majeurs selon les régions (tabl. III).

La perte à 1 000 °C montre, qu'à l'exception des profils sableux — caractérisés par des teneurs élevées en SiO₂ — à Belo (M200) et dans le delta de la Tsiribihina (M120 et M130), tous les profils sont riches en eau. La corrélation est hautement significative (r = - 0,9) entre SiO₂ et la perte à 1 000 °C (tabl. IV).

Les teneurs en Al₂O₃ qui traduisent la présence d'argile dans ces sols montrent une nette différence entre les sols de la Tsiribihina, qui sont argileux, avec un taux moyen d'Al₂O₃ de 18 %, d'une part, et les sols de Belo-sur-Mer et Morombe pour lesquels la teneur en Al₂O₃ avoisine 6 %.

En ce qui concerne les alcalino-terreux, les différences entre les régions sont encore plus marquées. En effet, les teneurs en MgO et surtout en CaO sont très élevées, à Morombe, où pour certains échantillons, les valeurs sont comprises entre 18 et 34 % de CaO, alors que dans le delta de la Tsiribihina le taux de MgO est de l'ordre de 1,5 à 2,5 % et celui de CaO, inférieur à 0,5 %, c'est-à-dire des teneurs voisines de celles des mangroves de l'Afrique de l'Ouest.

Cette différence est à attribuer au bassin amont qui est constitué de formations calcaires dans la région de Morombe.

Le fer présente une corrélation hautement significative (r = 0,9) avec Al₂O₃ et les teneurs en Fe₂O₃ sont les plus élevées dans le delta de la Tsiribihina.

Le taux de titane est, dans l'ensemble, inférieur à 1 % et présente, lui aussi une très bonne corrélation avec Al₂O₃ et Fe₂O₃. Fe et Ti sont donc associés à l'argile.

Enfin les alcalins Na et K sont bien représentés, en particulier K, dont les valeurs sont généralement supérieures à 2 % et qui provient de l'altération des feldspaths, soit, en partie de l'illite.

Minéralogie

LES MINÉRAUX DES SOLS

Tous les échantillons ont été analysés par diffraction des RX sur poudres désorientées. Les résultats (tabl. V) montrent que tous les profils sont caractérisés par la présence de quartz et d'argile, mais qu'ils se différencient entre eux par les autres minéraux. La halite est présente dans de nombreux échantillons, du delta de la Tsiribihina et de Belo notamment. Les feldspaths

TABLEAU II
pH et salinité des sols
pH and salinity of soils

N°	VEGETATION	PROFONDEUR	pH1	pH sec	C.E. mS/cm	CA ⁺⁺	MG ⁺⁺	K ⁺ (meq/l)	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	TYPE DE SALINISATION
ESTUAIRE DE LA BETSIBOKA												
M91	B.S.	0-10	7,2	7,0	4,3	6,8	5,5	1,3	28,7	29,3	15,0	CS,SC
M92	M.A.	0-10	5,9	6,8	8,2	34,7	10,5	1,4	36,9	28,5	56,0	SC,C
M93	T.V.	0-10	7,0	6,6	21,9	3,8	42,1	3,5	181,5	205,5	36,5	C,SM
DELTA DE LA TSIRIBIHINA												
M131	T.V.	0-10	7,8	8,2								
M132		90-100	6,2	6,4	4,2	0,4	2,9	0,8	36,1	32,2	7,6	CS,S
M141	T.V.	0-10	6,0	7,4	2,6	0,6	3,3	0,7	20,7	20,9	3,5	C,S
M142		20-30		6,4	10,35	1,3	16,4	1,8	90,5	92,0	14,2	C,S
M143		90-100	5,1	4,8	14,7	2,1	26,7	2,2	119,6	132,5	17,2	C,S
M151	T.V.	0-5		6,5	10,5	13,2	6,2	0,7	86,1	87,0	19,0	CS,S
M152		40-50	6,9	7,4	6,5	6,3	2,8	0,9	54,3	52,5	13,2	CS,S
M161	M.A.	0-5		7,5	2,95	1,8	3,0	0,8	26,1	28,2	2,8	C,S
M162		50-60	6,8	6,4	7,8	1,3	8,1	1,6	68,0	68,0	7,85	C,S
M311	M.	0-10	7,0	7,5	3,5	0,5	2,6	0,8	31,1	28,5	3,5	C,S
M312		40-50	6,3	6,9	3,3	0,6	2,6	0,6	27,0	26,5	2,75	C,S
M331	M.R.	0-10	6,3	6,7	3,6	0,4	3,0	1,0	26,7	28,7	1,0	C,S
M332		60-70	6,2	6,6	3,8	0,4	2,6	1,0	30,6	30,0	3,6	C,S
M361	M.R.	0-10	6,4	3,2	6,2	4,7	15,6		44,5	35,5	36,4	SC,SM
M362		50-60	7,0	4,1	5,8	4,3	12,6	1,8	43,7	36,9	28,4	CS,SM
REGION DE MORONDAVA												
M111	T.V.	0-10		7,5	6,3	1,8	3,6	0,9	56,1	54,0	4,7	CS,S
M112		100-110	6,3	6,4	5,4	0,5	4,4	0,7	45,4	45,7	3,7	C,S
MARAI MARITIME DE BELO SUR MER												
M181	T.V.	0-10	7,1	7,2	9,8	8,1	14,0	2,1	74,9	87,2	10,8	C,SM
M182		110-130	6,7	7,2	7,0	4,6	7,0	1,4	51,9	60,0	6,3	C,S
M191		50-60	6,7	7,2	12,4	7,4	13,5	1,7	101,3	111,2	11,8	C,S
M192	T.V.	90-100	6,7	7,2	16,6	29,0	21,7	2,8	128,0	135,0	42,5	C,SC
M194		140-150	6,2	7,9	45,8	6,5	89,2		434,4	447,0	131,0	CS,S
M201	T.V.	0-10	6,6		2,2	2,4	3,7	0,4	15,1	15,7	4,2	CS,SM
M202		90-100	6,8		2,5	1,5	4,9	0,4	17,1	18,4	4,2	CS,SM
REGION DE MOROMBE												
M221	T.V.	0-10	6,3	6,9	33,0	57,8	57,4	6,2	273,0	307,0	81,5	CS,SM
M222		100-110	6,5	7,0	6,7	4,8	6,0	1,8	53,0	55,7	7,1	C,S
M231	T.H.	0-10	6,9	6,7	14,4	8,4	34,2	4,0	99,5	140,2	5,5	C,SM
M232		40-50	7,0	6,6	0,8	0,5	0,5	0,3	4,6	4,4	0,5	C,S
M234		100-110	7,4	8,0	0,75	2,0	3,0	0,3	2,4	1,6	5,1	SC
M241	F.I.	0-10	7,1	6,8	2,5	0,6	1,1	0,9	21,6	20,1	2,2	C,S
M242		50-60	6,6	7,9	1,9	2,3	2,9	0,9	14,0	9,5	8,8	CS,SM
M243		100-110	6,6	7,7	0,7	2,5	1,1	0,2	3,4	1,9	3,8	SC,SC

Légende : M : mangrove MR : mangrove à Rhizophora MA : mangrove à Avicennia BS : basse-slikke
FI : frange interne TV : tanne vif TH : tanne herbeux
pH1 : pH in situ

(microlite et plagioclases) sont relativement abondants dans la Tsiribihina. La calcite est en abondance à Morombe, notamment dans les profils M 22 et M 23, caractérisés par leurs fortes teneurs en CaO (tabl. IV). Toujours à Morombe, on note la présence d'ankérite,

un carbonate de fer. Le gypse est plus rarement présent, ainsi que la pyrite, observée dans certains échantillons du delta de la Tsiribihina. Cette diversité minérale traduit bien la diversité de la composition géochimique que nous avons signalé précédemment.

TABLEAU III
Composition chimique des échantillons de sol
Chemical composition of soil samples

N°	Perte à 100°	Somme	Perte à 1000°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	BaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O
M91	4,36	97,91	15,61	40,10	23,40	1,00	5,0	9,7	0,114	0,81	0,03	0,02	1,11	0,78
M92	3,11	97,23	12,34	56,50	14,20	0,87	4,0	6,7	0,055	0,57	0,03	0,0H	1,03	0,75
M93	7,65	98,61	20,21	34,00	21,80	3,72	2,2	9,4	0,117	0,73	0,02	0,01	5,55	0,77
M111	4,71	101,01	7,21	65,10	14,50	1,89	0,4	4,8	0,111	0,90	0,08	0,01	2,71	3,09
M112	2,81	101,21	4,74	75,40	11,10	1,02	0,2	2,5	0,01H	0,57	0,08	0,01	2,19	3,32
M121	0,58	100,15	3,71	79,90	8,10	0,39	0,3	2,8	0,087	0,53	0,04	0,01	3,37	1,00
M122	2,36	97,91	6,05	66,40	11,70	2,00	2,0	4,4	0,160	0,71	0,08	0,03	1,15	2,93
M131	2,54	99,51	5,76	67,10	13,40	3,18	0,6	4,5	0,206	0,69	0,08	0,02	1,04	2,90
M132	4,32	100,72	5,64	66,10	14,20	1,58	0,7	5,8	0,054	0,81	0,09	0,03	2,36	3,13
M141	2,23	99,11	5,35	73,30	10,90	1,50	0,2	3,7	0,099	0,54	0,06	0,01	1,08	2,16
M142	6,45	99,05	12,05	48,70	20,70	2,29	0,2	8,0	0,561	0,79	0,05	0,01	3,24	2,24
M143	6,79	98,13	11,11	54,00	16,80	2,10	0,3	5,1	0,025	0,84	0,06	0,02	4,68	2,92
M151	2,25	100,31	6,61	71,50	10,60	1,18	0,8	3,1	0,096	0,48	0,08	0,03	3,32	2,62
M152	4,27	98,79	8,53	60,30	15,70	2,50	0,6	5,5	0,180	0,69	0,07	0,02	2,09	2,52
M161	5,11	100,91	12,89	46,90	23,60	4,14	0,2	8,8	0,223	0,84	0,04	0,02	1,06	1,93
M162	9,85	100,25	12,19	48,20	22,40	2,07	0,3	8,9	0,247	0,84	0,04	0,02	2,79	2,02
M172	5,08	99,27	12,22	46,70	22,30	4,66	0,3	8,5	0,221	0,81	0,04	0,01	1,28	2,07
M181	3,89	100,61	33,31	22,10	5,60	9,67	25,6	2,4	0,013	0,33	0,02	0,45	0,59	0,19
M182	1,41	100,18	9,17	75,90	4,40	9,52	4,7	1,5	0,013	0,39	0,07	0,08	0,95	1,37
M191	3,36	100,39	31,88	29,90	5,00	1,42	19,5	2,3	0,020	0,42	0,04	0,44	0,76	0,34
M194	17,14	90,21	27,68	29,20	9,60	2,49	0,2	6,1	0,028	0,59	0,03	0,01	13,02	1,20
M201	0,36	101,12	2,21	92,70	2,70	0,19	0,H	1,0	0,028	0,46	0,05	0,02	0,51	1,20
M202	0,41	99,07	2,31	90,60	2,70	0,18	0,H	0,8	0,020	0,34	0,06	0,02	0,60	1,40
M211	1,23	99,99	5,05	83,60	5,20	0,64	0,2	1,3	0,023	0,36	0,07	0,02	1,20	2,20
M221	10,18	78,81	25,52	9,50	1,30	5,66	26,2	0,5	0,01H	0,06	0,01	1,01	6,52	0,40
M222	11,02	97,63	35,55	18,30	2,30	5,14	34,2	0,9	0,016	0,12	0,01	0,24	0,58	0,10
M231	12,32	96,19	26,21	43,90	3,80	8,89	12,2	1,5	0,020	0,29	0,03	0,03	1,03	0,20
M232	2,65	99,35	22,39	42,20	6,10	5,86	13,3	2,4	0,034	0,39	0,09	0,05	0,47	1,10
M233	2,84	98,32	7,07	68,40	10,40	1,97	2,5	3,9	0,035	0,75	0,06	0,02	0,74	2,40
M234	1,23	99,51	8,46	84,40	3,20	0,38	0,H	1,7	0,024	0,35	0,02	0,0H	0,11	0,60
M241	5,76	97,93	18,69	38,50	12,60	9,84	9,9	4,6	0,158	0,56	0,03	0,03	1,32	1,70
M242	6,71	98,21	11,89	50,50	16,90	3,33	4,9	5,8	0,116	0,80	0,05	0,03	1,15	2,80
M243	2,38	96,24	7,45	63,40	11,50	1,25	5,1	3,7	0,053	0,66	0,05	0,03	0,78	2,20
M311	5,53	97,95	13,01	45,00	24,40	1,55	0,4	9,2	0,193	1,01	0,05	0,01	1,39	1,70
M312	5,08	98,69	12,15	46,50	24,10	1,60	0,5	9,3	0,256	1,03	0,06	0,01	1,41	1,80
M322	5,27	99,79	12,35	45,80	26,40	1,43	0,3	9,3	0,172	1,01	0,06	0,0H	1,38	1,80
M331	6,37	98,29	13,64	45,20	24,40	1,52	0,4	8,9	0,080	0,94	0,05	0,0H	1,42	1,70
M332	5,37	99,24	13,61	45,40	25,00	1,52	0,4	8,9	0,072	1,01	0,06	0,02	1,47	1,70
M351	2,67	98,41	7,61	61,50	17,40	1,15	0,7	6,0	0,111	0,82	0,07	0,01	0,83	2,00
M361	9,29	98,57	16,63	45,90	20,30	1,62	0,7	8,3	0,073	0,99	0,07	0,02	1,93	2,00
M362	6,93	97,02	15,87	42,90	23,60	1,34	0,4	8,7	0,085	0,90	0,04	0,01	1,65	1,47
M371	1,29	98,36	4,47	67,60	10,00	1,25	1,4	7,7	0,112	2,21	0,07	0,02	1,43	2,03
M372	1,05	99,02	3,85	71,40	9,80	1,13	1,3	6,3	0,087	1,64	0,06	0,02	1,39	2,09

H - valeur inférieure à la limite inférieure de détection

Les teneurs en oxydes et la perte à 1000° sont mesurées sur l'échantillon séché à 110° ; elles sont exprimées en grammes pour 100 grammes de l'échantillon sec. La perte à 100°C à titre indicatif est exprimée en % par rapport à l'échantillon brut.

LA FRACTION ARGILEUSE

Elle est essentiellement constituée de kaolinite, de minéraux interstratifiés de type illite-smectite (10-14 Sm) et d'illite, certains échantillons contiennent de la goe-

thite, notamment ceux de la Tsiribihina, riches en fer (M310 à M370) et plus rarement de la vermiculite.

Le tableau VI montre que, dans l'ensemble, les proportions relatives de kaolinite et d'interstratifiés sont

TABLEAU IV
Composition chimique moyenne du sédiment
Mean chemical composition of the sediment

TYPE	SI	AL	MG	CA	FE	MN	TI	NA	K	P1000	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN
MOY	55	14	2,0	2,5	5,2	0,1	0,7	1,6	1,8	11	219	453	77	35	15	61	51
STD	19	7,6	1,4	4,6	3,0	0,1	0,3	1,2	0,9	6,5	308	200	41	23	6,4	35	28
N	44	44	40	41	44	43	42	42	44	41	41	44	44	43	43	42	44
SI	1,0	-0,2	-0,7	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,5	-0,9	-0,3	0,5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
AL	-0,2	1,0	0,0	-0,3	0,9	0,7	0,9	0,3	0,3	0,2	-0,4	0,1	0,9	0,7	0,5	0,9	0,9
MG	-0,7	0,0	1,0	0,5	0,0	0,1	-0,2	0,0	-0,2	0,6	0,5	-0,2	-0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0
CA	-0,4	-0,3	0,5	1,0	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	0,5	0,7	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1	-0,3	-0,4
FE	-0,3	0,9	0,0	-0,3	1,0	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2	-0,4	0,0	1,0	0,7	0,6	0,9	0,9
MN	-0,1	0,7	0,1	-0,3	0,7	1,0	0,6	0,1	0,3	0,0	-0,3	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
TI	0,0	0,9	-0,2	-0,4	0,9	0,6	1,0	0,3	0,5	-0,1	-0,5	0,3	0,9	0,6	0,6	0,9	0,8
NA	-0,1	0,3	0,0	-0,3	0,3	0,1	0,3	1,0	0,3	0,1	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,1	0,4	0,1
K	0,5	0,3	-0,2	-0,5	0,2	0,3	0,5	0,3	1,0	-0,5	-0,3	0,8	0,3	0,2	0,1	0,5	0,3
P1000	-0,9	0,2	0,6	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,5	1,0	0,2	-0,5	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0
SR	-0,3	-0,4	0,5	0,7	-0,4	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3	0,2	1,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4
BA	0,5	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,8	-0,5	-0,2	1,0	0,1	-0,1	-0,2	0,2	0,1
V	-0,2	0,9	-0,1	-0,3	1,0	0,6	0,9	0,3	0,3	0,1	-0,4	0,1	1,0	0,7	0,5	0,9	0,9
NI	-0,2	0,7	0,1	-0,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,2	0,1	-0,3	-0,1	0,7	1,0	0,6	0,8	0,6
CO	-0,2	0,6	0,1	-0,1	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,3	-0,3	-0,2	0,5	0,6	1,0	0,5	0,5
CR	-0,1	0,9	-0,1	-0,3	0,9	0,6	0,9	0,4	0,5	0,0	-0,4	0,2	0,9	0,8	0,5	1,0	0,8
ZN	-0,1	0,9	0,0	-0,4	0,9	0,7	0,8	0,1	0,3	0,0	-0,4	0,1	0,9	0,6	0,5	0,8	1,0

sensiblement identiques et que le taux d'illite est de l'ordre de 10 à 15 %.

L'examen détaillé des diagrammes permet de distinguer trois sortes de minéraux interstratifiés de type illicite-smectite (tabl. VI).

Des interstratifiés *stricto-sensu*, des interstratifiés à 40-50 % de smectite et des interstratifiés à 60-70 % de smectite. Il apparaît que la smectite est prédominante à Morondava, mais que la majorité des échantillons est caractérisée par des interstratifiés à 40-50 % de smectite.

Pour la kaolinite, l'héritage détritique du bassin-versant cristallin ne fait aucun doute. Comme le signale HERVIEU (1968), ce minéral est hérité principalement des sols et de l'altération du socle métamorphique. Pour les interstratifiés, plusieurs origines peuvent être envisagées : soit l'héritage du bassin-versant sédimentaire, soit une origine marine, due au fait que dans l'eau de mer la sédimentation de la smectite est nettement plus faible que celle de la kaolinite et de l'illite, soit enfin la néogenèse des smectites en milieu hydromorphe riche en sels, mais surtout en cations, à hydrolyse limitée ou périodique.

UTILISATION ET MISE EN VALEUR

Bien que la pression démographique reste généralement beaucoup plus faible (moins de 10 h au km²) sur les littoraux occidentaux de Madagascar que sur les hautes-terres, mangroves et tannes sont l'objet de multiples utilisations traditionnelles (J.M. LEBIGRE, 1984).

Les aménagements sont de deux ordres, agricoles (dans la mangrove) et salicoles (sur les tannes).

Dans le delta de la Tsiribihina s'est développée, au moins depuis le XIX^e siècle, une riziculture de mangrove plus sommaire que celle de l'Afrique de l'Ouest (J.M. LEBIGRE, 1987). Les défrichements affectent indifféremment divers peuplements de palétuviers. Le choix du terrain dépend en effet du dessalement de l'horizon supérieur du sol lié à la submersion régulière de l'eau douce superficielle des marées dynamiques. Les diguettes sont facultatives et tendent à disparaître aujourd'hui. Leur usage comme celui des pépinières semble avoir été introduit au début de ce siècle par les migrants antaisaka, des riziculteurs venus du S.-E. de la Grande Ile. Mais les techniques premières sont dues aux agro-pasteurs sakalava établis plus anciennement. La maîtrise rudimentaire de l'eau dans ce delta où les distributeurs fluviaux sont instables explique l'abandon du riche secteur de Kaday marqué par une salinisation récente des sols. Ce type de mise en valeur s'est exporté plus au sud dans le delta du Mangoky.

Des salins occupent une partie des tannes des environs de Tuléar, de Belo-sur-Mer et d'Antsiranana (Diégo-Suarez). Dans les deux premiers cas, il s'agit de techniques gujarati apportées par la communauté indo-pakistanaise. C'est l'eau sursalée de la nappe phréatique, pompée de fosses creusées dans la tanne qui est évaporée dans les œillets.

Ces aménagements auxquels il faut ajouter les polders du delta du Sambirano sont très ponctuels. Il existe des utilisations plus courantes de la mangrove. La pêche et le ramassage des crabes et des mollusques sont encore artisanaux (A. KIENER, 1972). Cependant à Majunga

TABLEAU V
Minéralogie de la fraction totale
Mineralogy of total fraction

N°	Quartz	Microcline	Plagioclase	Calcite	Gypse	Halite	Argile	Pyrite	Autres
M91		+		++			+++		
M92	+++			+	++	-	++	+	
M93				++		+++	+++		
M121	+++	+	+				++		
M122	+++	++	++				++		
M131	+++	+	++				++		
M132	+++	++	++			+	++		
M141	+++	+	+			+	++		
M142	+++	+	++			+++	+++		
M143	++	+	++			+++	+++		
M151	+++	+	+		+	++	++		
M152	++	++	+		++	++	+++		
M161	+	+				++	++++		
M162	++	+	+				+++		
M171	+	+					++++		
M172	+	+	+		++		++++		
M311	+		+				++++		GO
M312	++		+				+++		GO
M331	++						++++		GO-GI
M332	+	+					+++		GO-GI
M361	++	+					++	+++	
M362	+						+++	+++	
M111	+++		++			+	+++		
M112	+++	++				++	+++		
M181	+++			++			+		AR
M182				++		++	+		AR
M191	+	++				++			AK-AR
M192	++		+		+	+++	++	++	
M194	+					++++	++	+	JAR
M201	++++					+			AK
M202	+++	+				+			
M211	+++	+				++			
M221				+++	+++	+++			
M222	+			++++		+			
M231	++	+		+++		++	++		AK
M232	++	+		+++			++		AK
M233	++	+	+	-			+++		
M234	++++	+					++	++	
M241	+	+		+			+++		AK
M242	++	+	+	+++			+++	++	
M243	++	+		+			+++	+++	

Légende : ++++ très abondant
+++ abondant
++ présent
+ faible quantité

AR : aragonite
AK : ankérite
- : traces
GO : goéthite
GI : gibbsite
JA : jarosite

la société Réfrigépêche Ouest vient d'inaugurer une décortiquerie qui exporte de la chair de crabe surgelée sur l'Europe. Les *Soylla serrata* sont collectés auprès des pêcheurs (qui attrapent les crabes au crochet ou à

la raquette) et de groupes de pêche utilisant de nouvelles techniques.

Le bois des palétuviers sert à fabriquer du charbon de bois (région de Tuléar) et est utilisé comme maté-

TABLEAU VI
Minéralogie de la fraction argileuse
Mineralogy of clay fraction

N°	Kaolinite	Illite	Interstr 10-14 Sm	10-14 Sm 40-50%	10-14 Sm 60-70%	Vermi- culite	Goe- thite	Gib- bsite	Autres
M91	69	10		21			++		
M92	70	5		25					
M93	70	-	30						
M121	74	5		21					
M122	32	15		53					
M131	42	16		42					
M132	31	13			56		+		
M141	50	15		35			+		
M142	51	11		38					
M143	41	18			41				
M151	55	10		20		15			
M152	47	12		23		18	+		
M161	64	9		27					
M162	48	11			41				
M171	55	9		36					
M172	56	13		31					
M311	65	5		30			+		
M312	61	6			33		+		
M331	60	10		30			+	+	
M332	64	9		27			+		
M361	70	10		20			+	+	
M362	68	9			23		+	+	
M111	37	6			57				
M112	36	9			55				+
M113	39	11			50		+++		
M181	48	12		40					
M182	42	16			42				
M191	36	19		45					
M192	43	14		43			+		
M194	62	7		31					
M201	45	10		45					
M202	43	14		43					
M211	48	9		43					
M222	25	12		63					
M231	17	16		67					
M232	28	14		58					
M233	22	22		56					
M234	46	21		33					
M241	37	16		47					
M242	29	8			63				
M243	36	14			50				

Légende : +++ abondant ++ présent + faible quantité

riau de construction ou bien directement comme bois de feu. Dans les grandes mangroves du N.-W. de Madagascar,

l'exploitation des Rhizophoracées en petits chantiers forestiers donne lieu à un commerce très actif par goélette.

CONCLUSION

L'étude des sols du littoral occidental malgache, développés dans les marais maritimes à mangroves montre que le facteur dominant de leur pédogenèse est la *salinité*, liée aux sels solubles apportés par la mer, bien que la plupart de ces sols se développent à l'embouchure de cours d'eau à débit puissant. La progradation rapide de la côte, liée à une sédimentation rapide, résultant en partie de l'érosion des hautes terres, ne permet pas à la matière organique de s'accumuler et de favoriser ainsi la sulfato-réduction bactérienne avec pour conséquence la formation de pyrite et donc l'acidité de ces sols. Les sols des marais maritimes du littoral occidental de Madagascar *ne sont donc pas sulfatés-acides*. En

revanche le développement des zones nues appelées tannes, liée à la salinité des nappes et des sols est considérable.

L'absence de soufre et donc d'acidité potentielle est un facteur favorable à l'aménagement agricole des marais, notamment par la construction de grands barrages anti-sels, de polders de grande taille comme au Suriname, permettant ainsi le développement d'une riziculture intensive, associée à l'aquaculture.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 30 mai 1990.

BIBLIOGRAPHIE

- DUFURNET (R.), 1972. — Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Madagascar, *Revue de Géographie*, 20 : 25-118.
- DURAND (J.H.), 1963. — Les sols à cocotiers des côtes N.W. et N.E. de Madagascar. Nutrition minérale du cocotier, Tananarive, IRAM.
- DURAND (J.H.), 1964. — La mise en valeur des mangroves de la côte N.W. de Madagascar. *Bull. Ass. Franç. Etude du Sol*, 5 : 200-206.
- DURAND (J.H.), 1967. — Les sols des bassins paraliques de la côte ouest de Madagascar, *L'Agronomie Tropicale*, 22, 12 : 1176-1186.
- DURAND (J.H.), 1973. — Géochimie des sols des bassins paraliques. Données générales sur leur mise en valeur. *L'Agronomie Tropicale*, 28, 6-7 : 640-664.
- HERVIEU (J.), 1968. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical, Paris, *Mémoires ORSTOM*, 24, 465 p., 1 carte H.T.
- KIENER (A.), 1972. — Ecologie, biologie et possibilités de mise en valeur des mangroves malgaches. *Bull. Madagascar*, 308 : 49-84.
- LAFOND (L.R.), 1967. — Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide. Orsay, thèse d'Etat, 800 p. *multigr.* + fig. H.T.
- LEBIGRE (J.M.) 1983. — Les tannes, approche géographique. Madagascar, *Revue de Géographie*, 43 : 41-63.
- LEBIGRE (J.M.), 1984. — Problématique des recherches sur les marais maritimes de Madagascar en vue de leur protection et de leur aménagement. Madagascar, *Revue de Géographie*, 44 : 45-74.
- LEBIGRE (J.M.), 1987. — Les activités traditionnelles dans un espace littoral tropical : le delta de la Tsiribihina (Madagascar). *Les Cahiers d'Outre Mer*, XL, 160 : 343-372.
- LEBIGRE (J.M.), 1988. — Le marais maritime de la Tsiribihina : paysage végétal et dynamique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 215.
- MARIUS (C.), 1985. — Mangroves du Sénégal et de Gambie. *Trav. et Doc. ORSTOM* n° 193, 357 p.