

## NOTE TECHNIQUE

# Les sols potentiellement sulfatés-acides de l'estuaire du Barito (Kalimantan — Indonésie)

M.R. DJUWANSAH (1), C. MARIUS (2)

(1) LIPI/ULP — Institut de géologie — Strasbourg  
(2) ORSTOM/ULP — Institut de géologie — Strasbourg

### RÉSUMÉ

*L'estuaire du Barito constitue un axe navigable important du Kalimantan et c'est une région à forte densité de population résultant de la transmigration. Elle est caractérisée par une pluviométrie abondante et par une végétation de mangroves et de marais d'eaux douces, à dominance de *Nypa fruticans* et *Melaleuca leucadendron*. Les sols sont tous très argileux avec une proportion importante de fibres et radicelles peu décomposées, d'où leur richesse en matière organique favorisant la sulfato-réduction bactérienne et donc la présence de soufre sous forme de pyrite. Ce sont donc des sols potentiellement sulfatés acides. Du point de vue minéralogique, la caractéristique principale de ces sols est la présence relativement importante de minéraux interstratifiés illite-smectite dans la fraction argileuse. L'étude géochimique permet de mettre en évidence la présence de 4 phases liées aux intercorrélations entre les éléments majeurs et traces. Enfin, la mise en valeur et l'aménagement de ces sols sont étudiés.*

MOTS-CLÉS : Indonésie — Mangrove — Sols sulfatés-acides — Aménagement.

### ABSTRACT

#### POTENTIALLY ACID SULPHATE SOILS OF BARITO ESTUARY

*The Barito estuary is a major navigable axis of Kalimantan island, Indonesia. It is an area with very high population density due to the transmigration. This region is characterized by high rainfall average and by a mangroves vegetation associated with fresh water swamps dominated by *Nypa fruticans* and *Melaleuca leucadendron*. The soils are very fine-textured, consist of mainly clay-loam rich in reduced organic matter favourable to bacteria sulfato reduction leading to pyrite formation. These soils are potentially acid sulphate soils. Their mineralogical properties are characterized by relatively important quantities of interlayered illite-smectite. The geochemical study of the soils revealed the occurrence of 4 geochemical phases. The land use and improvement of these soils are also studied.*

KEY WORDS : Indonesia — Mangrove — Acid Sulphate Soils — Improvement.

### SARI KARANGAN

*Muara Barito merupakan salah satu jalur pelayaran penting di Kalimantan. Daerah ini berpenghuni padat sehubungan dengan adanya program transmigrasi. Curah hujan di daerah ini relatif tinggi. Lingkungannya dicirikan oleh vegetasi mangrove dan rawa air tawar yang didominasi oleh *Nypa fruticans* dan *Melaleuca leucadendron*. Tanahnya bertekstur halus, liat berdebu, kaya akan bahan organik yang menyebabkan proses pembentukan pirit. Tanah-tanah ini menunjukkan sifat-sifat tanah sulfat masam potensial. Sifat mineralogis liat dicirikan dengan*

banyaknya interlayered Illite — smectite. Studi geokimia tanah memperlihatkan terdapatnya empat fase geokimia. Tataguna lahan dan pengembangan daerah ini juga dibahas.

KATA KATA KUNCI : Indonesia — Mangrova — Tanah sulfat masam — Pemanfaatan tanah.

## INTRODUCTION

Les plaines côtières de l'Indonésie sont les régions qui contiennent les plus fortes densités de population et dans le cadre de la transmigration des populations de Java vers le Kalimantan, d'importants projets d'aménagement de ces régions en vue de développer la riziculture ont été mis en œuvre.

Aussi dans le cadre de la coopération franco-indonésienne, un programme pluridisciplinaire d'étude de l'estuaire du Barito a été mis en place, comprenant hydrologues, sédimentologues, pédologues, botanistes et biologistes et au cours de deux missions effectuées en août 1983 et août 1984, nous avons prospecté et carto-

graphié les sols de la partie aval de l'estuaire du Barito (Delta Pulau petak). Le choix de cette région a été dicté par le fait que c'est une voie de pénétration fluviale et que Banjarmasin est un important port du Kalimantan sud.

## LE MILIEU NATUREL

### Situation géographique

L'estuaire du Barito a une forme presque quadrangulaire limité au nord par la rivière Pulau Petak, à l'est par le Barito, à l'ouest par le Kapuas Murung et au sud par la Mer de Java (fig.1).

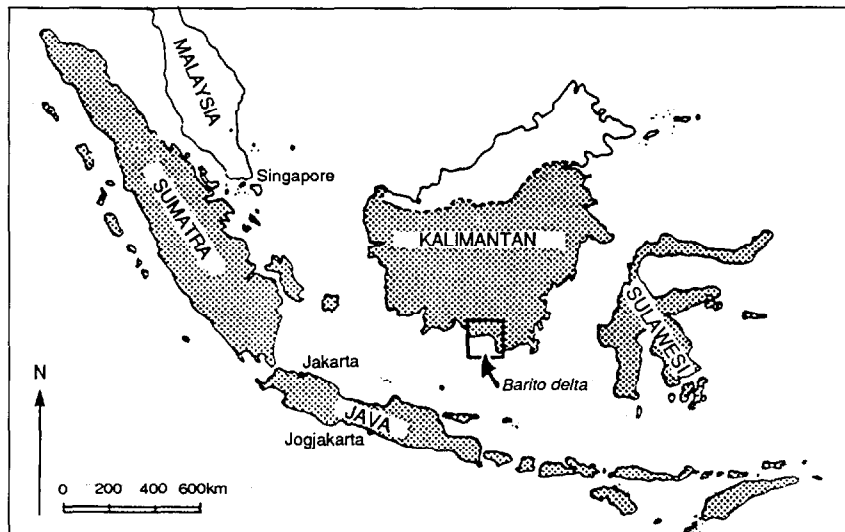


FIG. 1. — Localisation de la zone d'étude. — Location map of the study area

Deux grands canaux : le Tamban et le Serapat joignent le Barito au Kapuas et de nombreux autres canaux ont été récemment construits dans le cadre du développement de la transmigration.

### Climat

D'après l'étude des « bioclimats du monde indonésien » de FONTANEL et CHANTEFORT (1978), la région étudiée appartient au « bioclimat de basse altitude,

sans saison sèche, surhumide », caractérisé par l'absence de saison sèche, par l'abondance des précipitations et donc par la constance de l'humidité. Le total pluviométrique annuel est inférieur à 3000 mm réparti sur toute l'année avec des tranches d'eau mensuelles le plus souvent supérieures à 100 mm. A Banjarmasin, la pluviométrie annuelle est de 2 823 mm (tabl.I), avec cependant 2 mois (août et septembre) pendant lesquels la hauteur d'eau est

légèrement inférieure à 100 mm. La température moyenne annuelle est de 28,6°.

On remarquera qu'avec une pluviométrie inférieure

à celle de Koba en Guinée (AUBRUN, 1986), le climat est ici beaucoup plus humide et la répartition, plus régulière sur toute l'année.

TABLEAU II  
Pluviométrie moyenne annuelle en mm (Banjarasin, 1964 — 1974)  
Mean annual rainfall in mm

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluviométrie	311	621	413	139	231	128	168	93,5	98	128	35	276	2531,5
Nb. de jours de pluies	13,5	17,5	16,3	10,6	12	7	12	8,5	9,6	9,5	20,5	18	

### Hydrologie-sédimentologie (BASSOULET, 1984)

Les caractéristiques hydro-sédimentologiques de l'estuaire du Barito ont été étudiées sur une longueur de 40 km environ à partir de l'embouchure en août 1983, c'est-à-dire en saison sèche.

Comme dans la plupart des estuaires inclus dans des complexes deltaïques, le Barito présente à son débouché un seuil important d'accrétion, ce qui nécessite des dragages fréquents pour maintenir un chenal de navigation correct. La présence de ce seuil, où les phénomènes de dépôts sont intenses, et un chenal amont très profond, confèrent à cet estuaire des caractéristiques hydro-sédimentaires particulières. Les eaux apparaissent relativement stratifiées en températures et salinité, même en vives eaux. La limite amont du front de salinité a été déterminée à 38 km de l'embouchure pour la période de la saison sèche.

Durant cette période d'étude, les teneurs en matières en suspension ont été faibles pour l'ensemble de l'estuaire. Si la présence d'un réel bouchon vaseux n'est pas mise en évidence, on distingue néanmoins deux périodes de fortes concentrations en M.E.S. se succédant au cours du cycle de marée, en aval de Banjarasin : la première, au cours du jusant, révélant des teneurs en suspension plus élevées que la seconde située à mi-flot.

Durant la saison sèche, l'estuaire du Barito « fonctionne » avec la dominance des courants de marée. On note un stockage des silts à l'intérieur de l'estuaire. Les vents violents en période de moussons sont la cause principale d'une continuelle redistribution du matériel fin particulière au débouché du fleuve.

En fortes crues, la zone aval ainsi que le débouché du fleuve sont fortement alimentés en matériau fin qui décante rapidement dans une faible tranche d'eau (d'un milieu fortement réducteur).

Un tel stock sédimentaire est difficile à évaluer sans mesures en saison de pluies.

Du point de vue de la chimie des eaux, les ions majeurs dissous sont en très faibles concentrations (calcium : 13 mg/l, magnésium ; 5,7 mg/l, sodium : 3 mg/l, potassium 0,63 mg/l, sulfates : < 40 mg/l). Ces concentrations s'accroissent avec l'influence marine : dans l'estuaire, les ions majeurs sont d'origine marine.

Les sédiments en suspension sont constitués de très fines particules de dimensions moyennes de 2 — 5 µ, souvent associées à de la matière organique. Il y a très peu de diatomées.

Minéralogiquement, les suspensions sont principalement constituées de quartz, et de minéraux argileux : kaolinite prédominante, illite, smectite et interstratifiés plus ou moins bien représentés.

### Végétation

L'un des principaux résultats de cette prospection a été la découverte d'une magnifique forêt à *Rhizophora*, avec des arbres de plus de 30 m de haut. Deux espèces de *Rhizophora* y sont représentées : *Rhizophora apiculata* et *Rhizophora mucronata*. Le long du fleuve et en front de mer, la mangrove est essentiellement représentée par *Sonneratia caseolaris*.

La forêt marécageuse est représentée, à proximité de la mangrove, par une grande variété d'espèces telles que : *Acanthus sp.*, *Excoecaria agalocha*, *Cerbera sp.*, *Nypa fruticans*, *Xylocarpus*, *Pandanus*, plusieurs espèces de palmiers et surtout *Melaleuca leucadendron*.

Les marais d'eau douces sont les formations végétales qui occupent les plus grandes surfaces de l'estuaire avec 3 espèces dominantes : *Achrosticum aureum*, *Hibiscus tiliaceus*, et *Cyperus rotundus*. A ces espèces et particulièrement à *Achrosticum aureum*, sont associées des espèces, soit de la mangrove, soit de la forêt marécageuse. Les principales associations sont : *Achrosticum — Rhizophora*, *Achrosticum — Nypa* et *Achrosticum Melaleuca*.

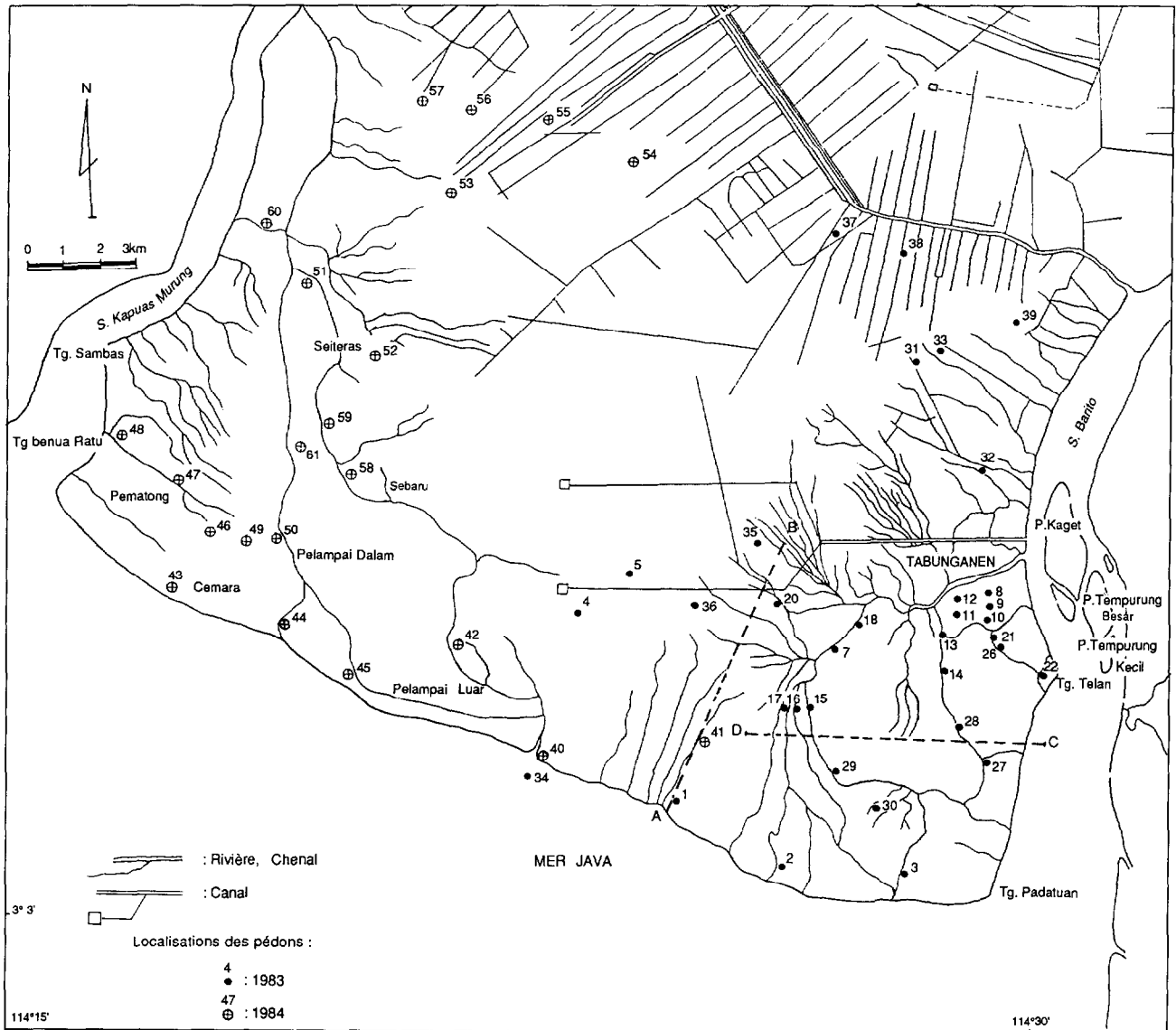


FIG. 2. — Localisation des pédons  
Soil profiles locations

## LES SOLS

61 profils ont été observés et leur localisation est donnée dans la figure 2.

### Morphologie

La plupart des pédons se caractérisent par la présence d'une tourbe généralement fibreuse et parfois composée de débris de bois ou de feuilles. L'horizon tourbeux est plus ou moins épais, généralement situé en

surface, parfois au sein du profil et rarement en profondeur. En fait, il s'agit le plus souvent d'une argile tourbeuse, de couleur gris foncé (10 YR 3/1 — 3/2), riche en fibres et débris racinaires, de consistance semi-développée à développée, collant et plastique. Dans la partie intérieure où le terrain est plus ou moins émergé, la couleur des sols est plus claire à petites taches brunâtres ou rougeâtres (fig.3).

Sous *Rhizophora*, les profils sont identiques à ceux du Sénégal, c'est-à-dire des profils homogènes, riches

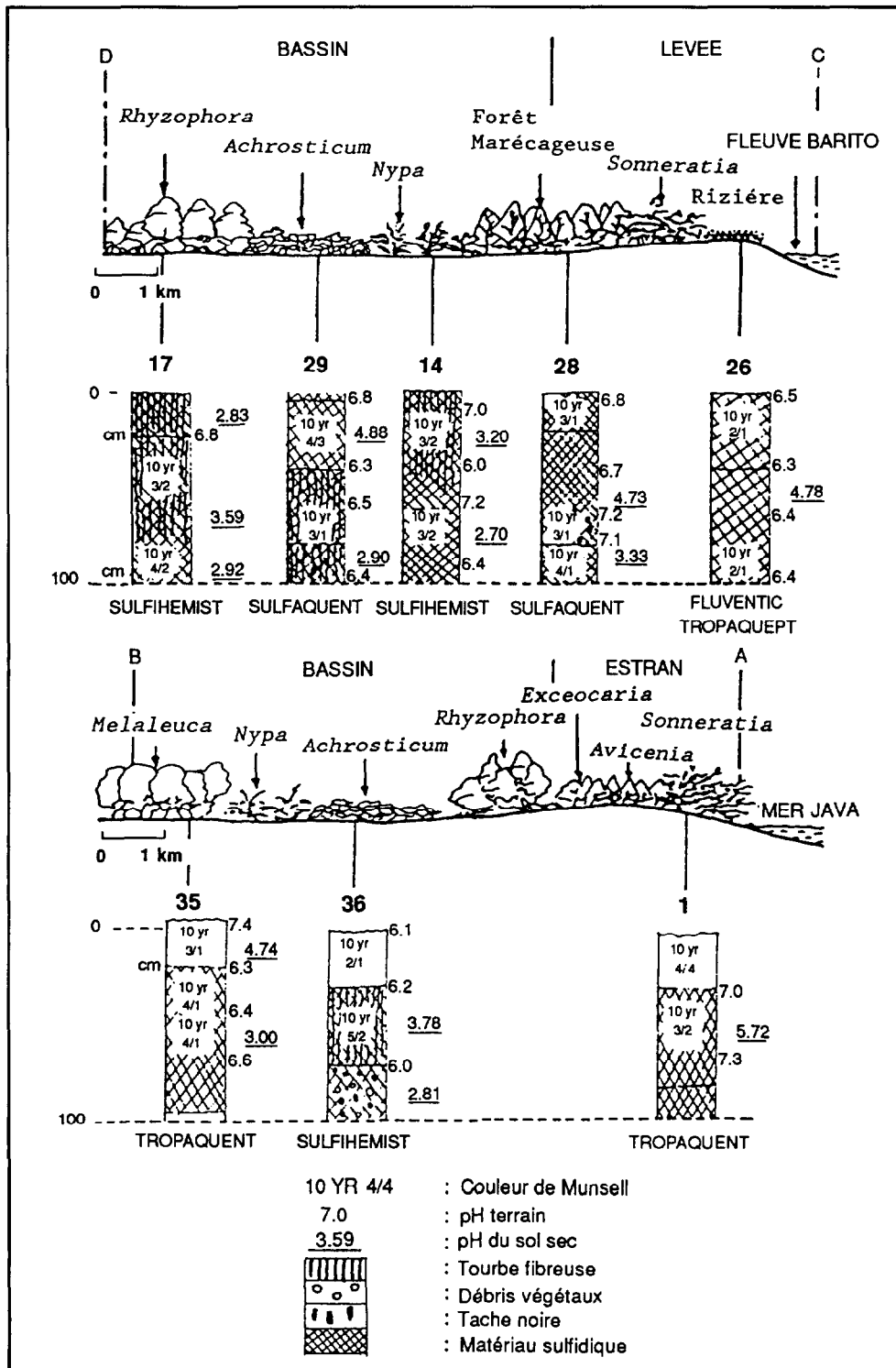


FIG. 3. — Deux séquences de profils pédologiques (voir fig.3). A-B de la côte vers la zone centrale de l'estuaire. C-D du fleuve vers la zone centrale de l'estuaire  
 Two sequences of soils profiles transects (see fig.3). A-B from the river to the center part of the estuary. C-D from seashore to the center part of the estuary

en fibres et dégageant une forte odeur de H<sub>2</sub>S. En surface, on observe une intense activité des crabes.

En fait, il apparaît que le caractère morphologique dominant de ces sols est leur consistance relativement développée, ce qui indique qu'ils sont physiquement matures.

### Propriétés chimiques

Plus de 140 échantillons ont été prélevés pour être analysés. Le pH a été mesuré sur le terrain et sur les échantillons séchés. Ont été aussi dosés le carbone, le soufre et les éléments chimiques majeurs et traces. Par ailleurs on a analysé 24 échantillons d'eaux de nappes.

#### LE PH

Sur le terrain tous les profils ont un pH compris entre 6 et 7, alors que sur sol séché, la plupart des pédons, à l'exception de ceux situés sur les levées du fleuve, ont un pH très acide, généralement inférieur à 3,5. Ainsi, la grande majorité des sols de l'estuaire du Barito sont potentiellement sulfatés acides.

Cette acidité potentielle est à relier à la teneur élevée de ces sols en matière organique et au milieu anaérobie favorable au développement de la sulfato-réduction bactérienne et donc à la formation de sulfures, principalement du fer, c'est-à-dire de la pyrite. Le séchage de ces sols provoque l'oxydation de la pyrite et la formation de jarosite (sulfate de fer) avec, pour conséquence, la baisse du pH.

#### LA MATIÈRE ORGANIQUE

Le carbone organique a été dosé sur 152 échantillons et les résultats montrent que tous les profils sont très riches en matière organique. La teneur en carbone varie de 5 % à plus de 30 %, la moyenne pour 152 échantillons étant de 12,4 % avec un écart type de 5,47, ce qui représente un taux de matière organique de l'ordre de 20 %. Il s'agit d'une matière organique peu décomposée, presque tourbeuse.

#### LE SOUFRE

Le soufre total a été dosé sur tous les échantillons. La teneur en soufre dans les sols est variable avec une moyenne de 1,55 %, un écart type de 1,5 %, et un maximum de 5,8 %. Dans la plupart des cas, la teneur en soufre augmente vers la profondeur (fig.4) et l'on observe que c'est dans le matériau fibreux que se concentre la plus grande partie du soufre sous forme réduite. C'est donc un matériau sulphidique selon la terminologie de la taxonomie du sol (tabl. II).

#### LA SALINITÉ

Les eaux de nappes de 24 pédons ont été analysées et les résultats (tabl. III) montrent que la salinité est très faible. En effet, la conductivité de ces eaux,

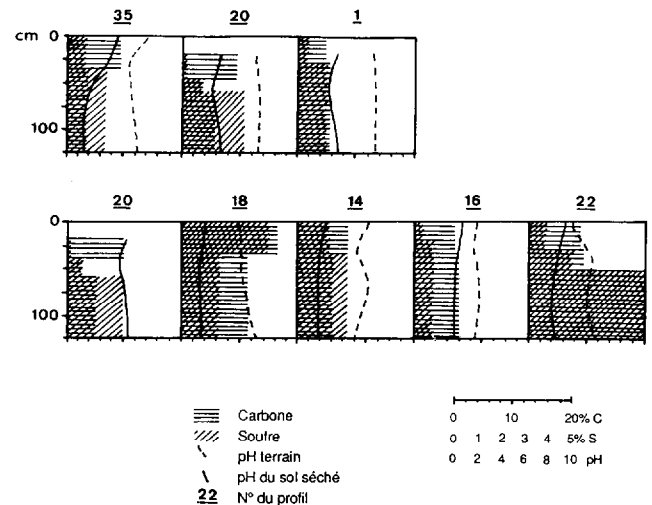


FIG. 4. — Teneur en soufre et en C-organique dans les sols des séquences (voir fig. 2 et 3)

*Sulphur and C-organic contents in the soils of the sequences (see fig. 2 and 3)*

calculée d'après la relation 10 C.E. mS/cm = somme des anions en meq/l que nous avons vérifiée pour des centaines d'échantillons d'eau, est, dans l'ensemble, inférieure à 4 mS/cm, sauf pour les eaux prélevées sous *Rhizophora*, où la conductivité s'élève à 8 mS/cm. En tout état de cause, ces conductivités sont nettement inférieures à celles que supporte le riz (16 mS/cm). Le pH de ces eaux est voisin de la neutralité et compris entre 6 et 8. Les anions sont essentiellement représentés par Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>=</sup> et les cations par Na<sup>+</sup> et Mg<sup>+</sup>. La salinisation est chlorurée — sodique. Le rapport Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>=</sup> exprimé en m.mol./l est voisin de 20 dans l'eau de mer et l'on constate qu'il y a une bonne corrélation entre le pH et le rapport Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (fig.5).

#### LA GÉOCHIMIE

L'analyse de 10 éléments majeurs et de 12 éléments traces a été effectuée pour tous les échantillons. Le résultat de ces analyses a été traité statistiquement.

Sur le tableau IV sont consignés les moyennes et les écarts types pour chaque élément, ainsi que la matrice des coefficients de corrélations entre les différents éléments qui a été établie pour des valeurs inférieures à la moyenne + 2 écarts types. A partir de ce tableau, les groupes des éléments à intercorrélations positives ont été déterminés (tabl.V) selon la méthode de BESNUS et MOSSER (1976). D'après cette méthode, il apparaît que les éléments peuvent être groupés en 6 phases, à l'exception de Co et Ni qui n'ont aucune corrélation avec

TABLEAU II  
Teneurs en Soufre (%) pour les différents matériaux des sols  
*Sulphur contents of divers soils materials*

Nature du sol	Nb. d'observation	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart Type
Matériau fibreux	26	5,84	0,32	2,07	1,91
Matériau à taches noires	8	3,35	0,26	1,61	1,33
Matériau gris (hue<3)	19	4,53	tf	1,60	1,35
Matériau clair (hue>3)	17	4,20	tf	1,47	1,26

tf : très faible

TABLEAU III  
Résultats d'analyses chimiques des eaux de nappes  
*Chemical analysis data of ground water*

N° d'échant.	pH	C A T I O N S (m.mol/l)					Alka-linité	ANIONS(m.mol/l)			H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> mg/l	Cl <sup>-</sup> / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Σ meq/l		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ meq/l		
Bar 6	6,0	21,0	0,46	3,20	0,57	29,01	0,560	28,51	1,69	31,95	0,115	16,8
8	6,1	18,4	0,51	1,68	0,39	23,06	0,055	20,55	1,25	23,10	0,167	16,5
11	7,1	12,7	0,28	1,44	0,40	16,66	0,414	14,49	0,59	16,09	0,127	24,1
13	7,2	22,5	0,47	2,60	0,53	29,24	1,459	25,96	0,89	29,20	0,121	28,8
15	6,8	45,6	0,74	4,24	0,80	56,42	1,053	51,74	1,83	56,43	0,111	28,8
16	7,5	62,9	1,07	7,50	1,12	81,22	1,480	74,11	2,63	80,85	0,112	28,1
17	7,2	28,6	0,59	3,08	0,55	36,45	1,000	31,70	1,46	35,62	0,096	21,7
18	7,2	13,9	0,30	1,54	0,41	18,10	0,690	15,51	0,67	17,53	0,112	23,1
19	7,5	44,8	0,96	4,33	0,98	56,37	2,910	49,56	1,13	54,72	0,078	44,25
21	7,9	22,2	0,53	2,04	0,52	27,85	1,227	25,11	0,71	27,76	0,198	35,3
22	7,3	32,2	0,68	3,40	0,87	41,41	2,130	36,81	0,97	40,89	0,129	37,9
23	6,7	6,0	0,14	0,68	0,40	8,26	0,560	6,91	0,31	8,66	0,130	22,2
24	6,7	17,0	0,33	1,92	0,71	22,58	1,426	19,85	0,26	22,33	0,050	38,1
27	7,2	19,9	0,42	2,36	0,49	26,03	0,935	23,90	0,90	26,64	0,128	66,5
29	7,4	51,0	0,96	5,68	1,03	65,38	2,130	58,30	1,70	63,84	0,146	34,2
31	7,2	46,8	0,98	5,36	0,93	60,36	0,880	54,00	2,08	59,03	0,139	26,0
32	6,2	25,9	0,56	3,28	0,85	34,73	0,120	30,60	2,08	34,64	0,121	14,7
32A	6,7	75,0	1,60	3,56	1,58	96,89	0,470	81,99	4,30	91,07	0,115	19,06
33	6,4	22,8	0,52	2,76	0,72	30,29	0,230	27,59	1,23	30,28	0,122	22,6
35	6,5	32,4	0,72	40,80	0,91	43,11	0,490	38,40	2,02	42,94	0,095	19,0
36	7,0	34,3	1,08	4,52	0,40	45,24	1,600	42,08	1,96	47,60	0,537	21,5
37	5,5	12,3	0,22	1,78	0,38	16,86	0,030	13,74	1,58	16,90	0,087	8,7
38	6,6	20,0	0,47	2,68	0,52	26,87	0,260	24,66	1,35	27,62	0,135	18,2
39	6,9	22,8	0,52	3,76	0,56	31,97	0,280	31,40	1,49	34,66	0,130	20,9

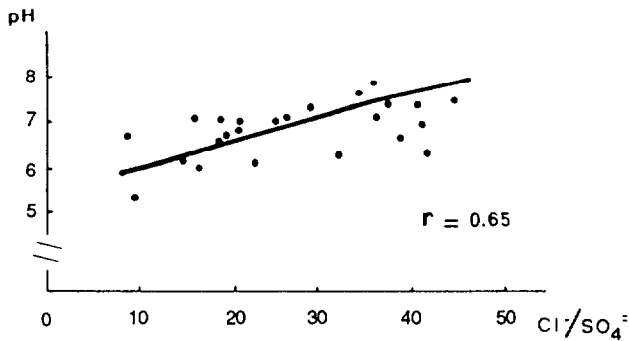


FIG 5. — Relation entre le pH et rapport Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> des échantillons d'eaux analysées  
*Relationship between pH and Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ratio of analyzed water samples*

les autres éléments, et que 3 de ces phases sont détritiques. La signification empirique de ce groupement est représentée dans le tableau VI. L'interprétation de chaque phase, sur le comportement géochimique, est la suivante :

*a. La phase détritique*

Ce sont les matériaux détritiques qui constituent 78 % de la masse totale du sol et ils sont composés de sables, de limons et d'argiles. Les éléments constitutifs de ces 3 phases sont semblables, sauf dans la composition des éléments traces qui varie, très probablement, en fonction de la nature minéralogique et granulométrique.

*b. La phase de l'eau de mer*

Cette phase est représentée par Mg, Na et K. Le magnésium et le sodium qui sont les composants

TABLEAU IV  
Corrélations entre les éléments chimiques des sols  
Soils chemical elements correlations

	Si	AL	MG	CA	FE	MN	TI	NA	K	P <sub>1000</sub>	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	C
MEAN	52	16	1.1	0.4	5.1	0.0	0.8	0.9	1.4	19	109	163	126	49	15	82	66	27	16	23	153	115
STD	9.2	3.1	0.2	0.2	2.0	0.0	0.1	0.4	0.3	7.0	24	30	22	27	5.9	17	21	7.0	2.9	4.2	34	46
N	144	146	142	142	144	134	146	140	146	139	137	144	145	143	141	143	140	138	145	145	142	53
SI	1.0	0.6					0.9		0.7										0.6	0.6	0.9	-0.7
AL	0.6	1.0					0.9		0.9							0.7			0.5	0.9	0.7	0.7
MG	-0.6		1.0	0.6				0.7														
CA	-0.7		0.6	1.0			-0.6	0.5		0.7	0.6	-0.5										-0.5
FE					1.0	0.5											0.6					
MN					0.5	1.0																
TI	0.9	0.9					1.0		0.9										0.8	0.7	0.9	-0.7
NA			0.7	0.5				1.0				0.9	0.7			0.7			0.8	0.9	0.7	-0.7
K	0.7	0.9					0.9		1.0			0.9	0.8			0.7			0.5	0.9	0.7	-0.7
P1000	-0.9									1.0	0.5											0.8
SR	-0.5			0.7						0.5	1.0											
BA	0.8	0.9					0.9		0.9			1.0	0.7						0.8	0.6	0.8	-0.7
V		0.9					0.7		0.8			0.7	1.0					0.7	0.6	0.9	0.7	-0.6
NI														1.0								
CO															1.0							
CR	0.7	0.7					0.7		0.7			0.7	0.7			1.0	0.6		0.8	0.8	0.7	-0.7
ZN					0.6										0.6		1.0					0.6
CU		0.5							0.5				0.6					1.0				
SC	0.6	0.9					0.8		0.9			0.8	0.9			0.8			1.0	0.8	0.7	-0.7
Y	0.6	0.7					0.7		0.7			0.6				0.8	0.6			1.0	0.6	-0.7
ZR	0.9	0.7					0.9		0.7			0.8	0.6			0.7			0.7	0.6	1.0	-0.6
C	-0.7	-0.6					-0.7		-0.7	0.8		-0.7	-0.6			-0.7			-0.7	-0.7	-0.6	1.0

TABLEAU V  
Matrice des coefficients de corrélations pour la détermination des groupes à intercorrélations positives  
Matrix of correlation factors for determining the positive intercorrelations groups

	Si	Al	Mg	Ca	Fe	Mn	Ti	Na	K	Pf	Sr	Ba	V	Ni	Co	Cr	Zn	Cu	Sc	Y	Zr	C
Si	-Si																					
Al	Si	Al																				
Mg	-Si		Mg																			
Ca	-Si		Mg	Ca																		
Fe					Fe																	
Mn					Fe	Mn																
Ti	Si	Al		-Ca			Ti															
Na				Mg	Ca			Na														
K	Si	Al					Ti		K													
Pf	-Si			Ca						Pf												
Sr	-Si			Ca						Pf	Sr											
Ba	Si			-Ca			Ti		K			Ba										
V		Al					Ti		K			Ba	V									
Ni														Ni								
Co															Co							
Cr	Si	Al					Ti		K			Ba	V			Cr						
Zn					Fe										Co		Zn					
Cu		Al							K				V					Cu				
Sc	Si	Al					Ti		K			Ba	V			Cr			Sc			
Y	Si	Al					Ti		K			Ba	V			Cr	Zn		Sc	Y		
Zr	Si	Al		-Ca			Ti					Ba	V			Cr			Sc	Y	Zr	
C	-Si	-Al					-Ti			Pf		-Ba				-Cr			-Sc	-Y		C



TABLEAU VI  
Groupes des éléments à intercorrélations positives  
Positive intercorrelation groups of the elements

Ordre de détermination des groupes	Classement des groupes	Hypothèses sur la Signification des groupes
* Si Al Ti K Ba V Cr Sc Zn Sc Y	* Si Al Ti K Ba V Cr Zn Sc Y	Phase détritique: -Sableuse / Quartzzeuse
* Si Al -Ca Ti Ba V Cr Sc Y Zr	* Si Al -Ca Ti Ba V Cr Sc Y Zr	
* -Si Ca Pf Sr	* Al Ti K Ba V	-Vaseuse / Argileuse
* -Si Mg Ca	* Al K V Cu	
* -Si -Al -Ti Pf -Ba -Cr -Sc -Y -Zr C	* -Si Ca Pf Sr	Phase carbonatée
	* -Si Mg Ca	
* Al Ti K Ba V * Al K V Cu * Mg Ca Na	* Mg Ca Na	Phase de l'eau de mer
* Fe Mn * Fe Co Ni * Co * Ni	* -Si -Al -Ti Pf -Ba -Cr -Sc -Zr C	
	* Fe Mn	Phase Pyritique
	* Fe Co Ni * Co * Ni	Autres phases

Pf - Perte au feu, Perte à 1000°C

majeurs des cations de l'eau de mer n'ont aucune corrélation avec les autres éléments, sauf avec K. Bien que la possibilité de la présence de ces trois éléments dans les phases détritiques soit incontestable, cette propriété montre que la teneur en ces trois éléments dans les sols provient, pour la plus grande partie, de l'eau de mer.

### c. La phase pyritique

Le fer et le manganèse qui sont les deux éléments composants des minéraux sulphidiques forment un groupe unique qui n'est pas représenté dans les autres phases. Ce fait peut indiquer que l'accumulation de ces deux éléments se déroule d'une manière particulière par l'importance du processus de la pyritisation.

### d. Les phases organique et carbonatée

La phase organique est représentée par le groupe perte à 1000 -C et celle carbonatée, par perte à 100 - Ca - Sr qui sont corrélés négativement avec les autres éléments. Cette corrélation négative signifie que les éléments de ces deux groupes proviennent de sources différentes, et que le processus d'accumulation de ces phases est indépendant des autres groupes d'éléments.

Ceci montre l'importance de l'influence de l'activité biologique sur la composition des sols.

### Propriétés minéralogiques

Les poudres désorientées de tous les échantillons et la fraction < 2 μ de 77 d'entre eux ont été analysées par diffraction X.

Le quartz, la kaolinite, la smectite, la pyrite, la jarosite et un feldspath sont présents dans la fraction

totale des échantillons. On notera l'absence de halite à l'encontre des sols de mangroves d'autres régions.

La fraction argileuse est essentiellement composée de kaolinite et de minéraux interstratifiés gonflants de type (10-14) Sm. L'illite est à l'état de traces et la smectite n'est faiblement représentée que dans quelques très rares échantillons. La kaolinite provient du manteau d'altération des roches du bassin amont. Quant aux interstratifiés (10-14) Sm, qui forment l'essentiel des minéraux gonflants, il s'agit de minéraux intermédiaires entre les illites d'une part et les smectites d'autre part. Soit ils proviennent de la transformation qui se fait en direction de la smectite, terme final qui n'est pas atteint, soit ils représentent le produit de la dégradation des smectites liée à l'acidité des sols, soit enfin d'une néoformation de la smectite liée à l'abondance de la silice transportée par le fleuve et qui est attestée par la présence de diatomées.

### Classification

Dans la figure 2 et 3, nous avons présenté les séquences types des pédons allant de la mer vers la partie centrale du delta (A-B) et du bord des fleuves vers l'intérieur (C-D). L'étude des caractères morphologiques et chimiques des sols montre que ce sont des sols très peu évolués chimiquement, bien que physiquement matures, riches en matière organique tourbeuse, à pH généralement acide et inférieur à 3,5, mais pas salés. Si l'on excepte les sols des levées du fleuve qui sont des « *Tropaequent* ou *fluventic tropaequent* », tous les profils sont des *Sulfihemist* ou des *Sulfaquent*. Dans la classification présentée par C. MARIUS (1987) pour le référentiel pédologique français, ces sols appartiennent, pour la majorité, aux groupes des « thiosols » sous groupe des « thiosols tourbeux » ou « thiosols humifères ».

### MISE EN VALEUR

On estime à environ 250 000 ha les superficies cultivées en riz principalement, mais aussi en cocotier, bananier, caféier, canne à sucre, agrumes et ananas. L'utilisation actuelle de ces sols est le résultat de nombreuses années d'expériences acquises par les populations locales. Le principe est de maintenir les sols inondés en permanence afin d'empêcher leur oxydation et donc leur acidification. Par ailleurs, l'inondation est exclusivement assurée par la marée. C'est une riziculture inondée tidale. Le riz est transplanté trois fois et la récolte est effectuée après neuf mois. C'est donc du riz flottant.

Le système d'aménagement, utilisé à grande échelle dans la région est le système « Gajah Mada University », décrit par DRIESSEN (1972) au 1<sup>er</sup> Congrès International sur les S.S.A. (fig.6). Un canal primaire

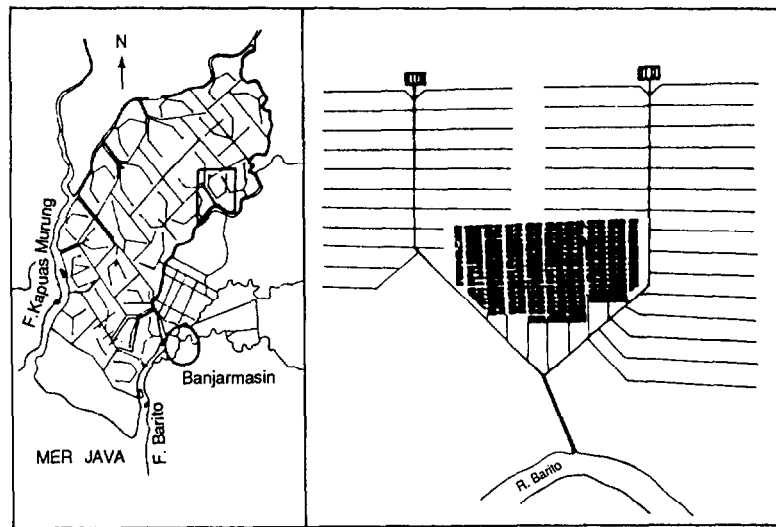


FIG. 6. — Système d'aménagement de Gajah Mada  
*Gajah Mada reclamation system*

perpendiculaire à la rivière se divise en deux canaux secondaires qui se terminent eux-mêmes dans des bassins réservoirs. Des canaux tertiaires partant des canaux secondaires permettent la pénétration effective de l'eau à marée haute. Les entrées des canaux tertiaires sont plus étroites que vers l'intérieur afin d'obtenir une décharge égale de tous les canaux tertiaires à marée basse. Les bassins réservoirs stockent les eaux de drainage qui sont ensuite remises dans le circuit pour l'irrigation, ce qui pose naturellement des problèmes, les eaux de drainage étant souvent acides et il semble qu'à l'avenir il faille songer à isoler les deux systèmes : irrigation et drainage.

## CONCLUSION

Les sols de l'estuaire du Barito, au Kalimantan en Indonésie se caractérisent principalement par leur richesse en matière organique et en soufre, et donc par

une forte acidité potentielle. Par contre, du fait d'une forte pluviosité et du débit puissant d'un grand fleuve, ces sols ne sont pas du tout affectés par la salinité.

Contrairement à de nombreuses idées reçues, l'aménagement de ces sols pose plus de problèmes que celui des sols de mangroves salés car ils doivent rester inondés en permanence, en l'absence de sels solubles capables de neutraliser l'acidité, comme au Sénégal, par exemple. Le mode d'aménagement qui est utilisé jusqu'à présent semble bien adapté à ce milieu grâce, d'une part à l'abondance de la main-d'œuvre agricole résultant de la transmigration, d'autre part à l'importance des superficies cultivables.

Il faut cependant souligner qu'il existe d'autres méthodes d'aménagement dans la perspective d'une agriculture intensive.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 16 février 1989*

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBRUN (A.), 1983. — Expertise pour la banque mondiale des sols de mangrove de la plaine de Koba et possibilités d'extension (Guinée). Organisation et Environnement, Paris, 35 p.
- BASSOULET (Ph.), 1984. — Study of hydrosedimentological processes within Barito Estuary, Delta Pulau Petak, Kalimantan Indonesia. IFREMER centre de Brest, 82 p.
- BASSOULET (Ph.), DJUWANSAH (M.R.), GOULEAU (D.) et MARIUS (C.), 1986. — Hydrosedimentological processes and soils of the Barito Estuary (South Kalimantan — Indonesia). *Oceanologica acta* n° 3 : 217-226.
- BESNUS (Y.) et MOSSER (C.), 1976. — Les groupes à intercorrélations positives : une méthode statistique pour déterminer la répartition des éléments chimiques entre les phases constitutives d'une roche. C.R. Acad. Sci. Paris : 587-590.
- DRIESSEN (P.M.), ISMANGUN, 1972. — Pyrite containing sediments of southern Kalimantan, Indonesia. Proc. of the 1<sup>st</sup> Intern. Symp. on Acid Sulphate Soils, ILRI - Wageningen.
- FONTANEL (J.) et CHANTFORT (A.), 1978. — Bioclimate on the Indonesian archipelago. Inst. Français de Pondicherry, Travaux de la section scientifique et technique.
- HEHANUSSA (P.E.), 1981. — Basic data from Barito delta, south Kalimantan, Indonesia. LGPN-LIPI - Bandung, 21 p.
- MARIUS (C.), 1985. — Mangroves du Sénégal et de la Gambie. ORSTOM, *Travaux et Doc.* n° 193, 357 p.
- MARIUS (C.), 1987. — Les Sols Sulfatés-acides. Référentiel Pédologique Français, 1<sup>ère</sup> proposition. A.F.E.S. — INRA.
- MIRMANTO (E.), SURIADARMA (A.), KARTAWINATA (K.), 1985. — Mangroves and associated plants communities in the vicinity of the muara barito - South Kalimantan. Herbarium Bogoriensis. LBN-LIPI - Bogor.
- PONS (L.J.), ZONNEVELD (I.S.), 1965. — Soil ripening and initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. ILRI - Wageningen, publ. n° 13, 128 p.
- SOIL RESEARCH INSTITUTE, 1973. — Report on soil investigation of the delta Pulau Petak, South and central Kalimantan. Ministry of Agriculture, Soil Research Institute - Bogor, n° 5.
- U.S.D.A., 1975. — Soil Taxonomy. A Basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Soil survey.