

PRÉSENCE ET FORMATION DE NIVEAUX DE SIDÉRITE DANS LES SÉDIMENTS RÉCENTS
DU DELTA AMAZONIEN

Par A. TANCREDI*, G. SIEFFERMANN**, Y. BESNUS***,
G. FUSIL**** et G. DELIBRIAS*****

* Institut de Développement Economique et Social du Para (BRÉSIL)

** Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Bondy (FRANCE)

*** Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface (C.N.R.S.), Strasbourg (FRANCE)

**** Lab. des Argiles, S.S.C.-O.R.S.T.O.M., Bondy (FRANCE)

***** Lab. du Radiocarbone, C.N.R.S., Gif-sur-Yvette (FRANCE)

Résumé – L'étude concerne sept sondages effectués jusque vers une profondeur de 50 m dans les sédiments quaternaires de l'île de Marajo située dans l'estuaire de l'Amazonie.

Après une brève présentation de la région et des caractéristiques texturales des sondages, l'étude de la fraction argileuse est abordée par voie chimique, par les rayons X et par la microscopie électronique. La moitié supérieure des sondages est souvent sableuse et proviendrait du Tocantins ; la moitié inférieure montre fréquemment des niveaux argilo-limoneux où de la kaolinite, de la montmorillonite et des illites se rencontrent associées à de la sidérite et à des chlorites ferrifères.

Cette sidérite et ces chlorites ferrifères seraient néoformées en milieu réducteur, dans un paysage estuarien. Un lien est suggéré entre ces niveaux de sidérite et la déferrification des dépôts de kaolin qui bordent la plaine du bas-Amazone.

Abstract – The study deals with seven boreholes realized down to 50 m in the Quaternary sediments of the Marajo Island in the Amazon estuary.

After a short presentation of the country and of the textural characteristics of the boreholes, the study of the clay fraction is carried on by chemical means, X-ray diffraction and electron microscopy. The upper part of the boreholes is often sandy and seems to originate from the Tocantins river ; the lower part frequently shows muddy and clayey levels in which kaolinite, montmorillonite and illites are found associated to siderite and ferriferous chlorites.

These ferriferous chlorites and siderite seem to be formed in an estuarian environment with reducing conditions. A relation seems to exist between the siderite-bearing beds and the deferrification of the kaolinic deposits on the edge of the plain of the Lower Amazon.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 34.363 exp 1

Cote : B

11 SEP. 1991

I – INTRODUCTION

L'un d'entre nous (TANCREDI, 1972) a effectué durant plusieurs années, sous l'égide de l'IDESP et de la SUDAM, une dizaine de sondages jusque vers une profondeur de 50 m, dans la partie orientale de l'île de Marajo. Le but de ces sondages était alors de trouver des nappes souterraines d'eau douce pour satisfaire en saison sèche aux besoins de l'important cheptel bovin de l'île.

Les carottes de ces sondages nous montrent des assises sableuses, des niveaux à galets, d'autres niveaux, rouges, riches en débris de cuirasses ferrugineuses ; des couches argileuses à montmorillonite, kaolinite et chlorite et d'autres riches en matière organique, chlorites ferrifères et carbonates de fer. Ce sont là des produits détritiques qui ne proviennent pas des mêmes régions ou qui ne s'élaborent pas dans les mêmes conditions physico-chimiques.

Pour interpréter ces carottes de sondage et comprendre l'édification de cette partie de l'île, les auteurs ont tenté une analyse des événements qui se sont succédé au Quaternaire et à la fin du Tertiaire, dans les régions qui ont alimenté cette sédimentation.

II – DESCRIPTION DE LA RÉGION : SCHEMA GÉNÉRAL (fig. 1)

L'île de Marajo, dont la superficie représente le dixième de celle de la France, est située à l'embouchure de l'Amazone entre 48 et 51° de longitude Ouest et 0 et 2° de latitude Sud. Dans la partie est, la plus haute, elle n'émerge que de quelques mètres au-dessus du niveau moyen des eaux de l'Atlantique. De là, elle s'étend vers le Nord-Ouest, jusqu'à l'Amazone, en une vaste plaine argileuse, avec une pente insignifiante de moins de 10 centimètres par kilomètre.

Le domaine géographique de Marajo est situé, au point de vue géologique, sur une fosse : la fosse de Marajoara. Les formations sédimentaires sous l'île atteignent entre 2000 et 4000 m d'épaisseur, comme l'ont montré deux sondages pétroliers (GUIMARAES, 1964 ; MESNER et WOOLDRIGE, 1964) (fig. 2).

Les sédiments quaternaires représentent, selon les spécialistes, au moins 200 m d'épaisseur dans cet ensemble, et proviennent essentiellement des fleuves Tocantins et Amazone (BEURLIN, 1970).

Historiquement, le bassin de l'Amazone a existé tout au long du Secondaire, du Primaire et probablement aussi au cours d'une partie du Précambrien ; mais il ne s'écoulait pas vers l'Atlantique.

Au début du Tertiaire, c'était, selon JENKS (1956), une vaste plaine drainée vers le Pacifique, vers un prolongement du golfe de Guayaquil. La surrection andine ferma, au Miocène supérieur, cet écoulement vers l'Ouest, formant selon JENKS (1956) un immense lac et forçant les eaux à se chercher un passage, vers le Nord-Est par l'Orénoque, et vers l'Est en direction de Marajo. On aboutit ainsi au bassin actuel, limité, au Nord comme au Sud, par des boucliers précambriens, et à l'Ouest par la chaîne andine.

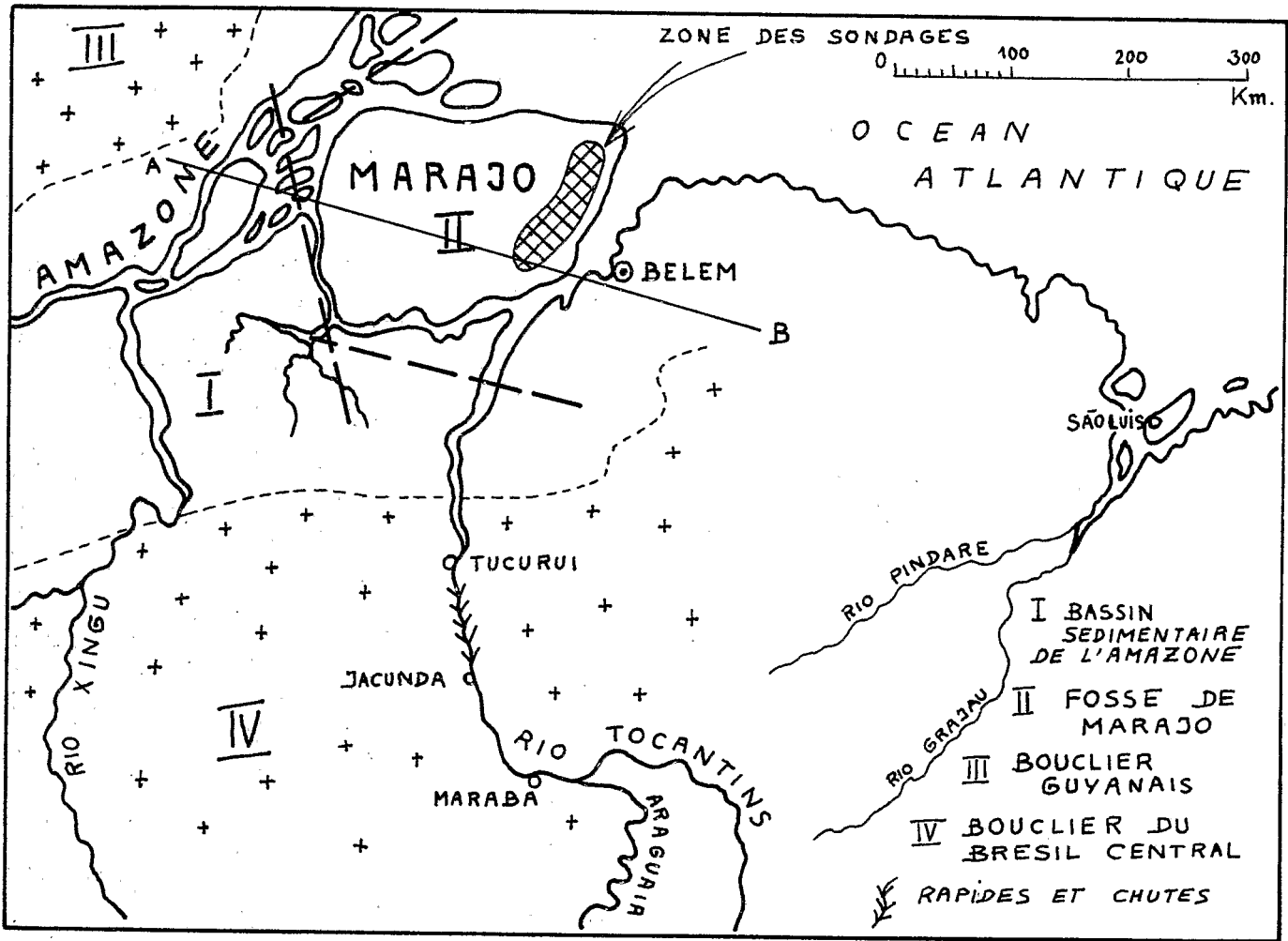


Fig. 1 — Situation et ébauche géologique

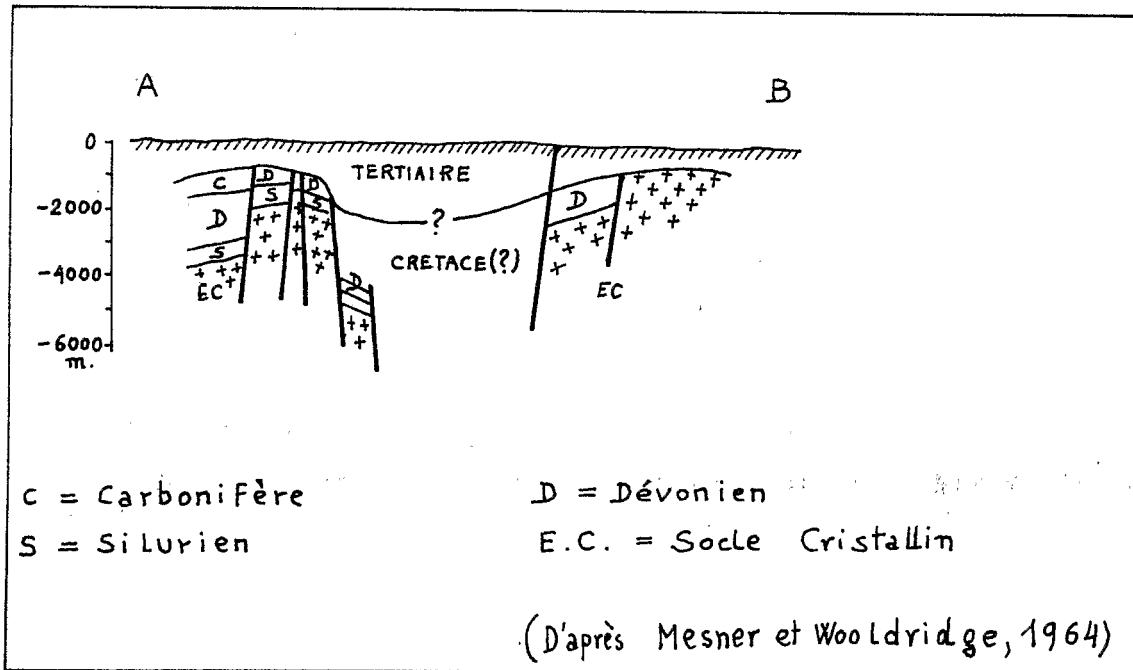


Fig. 2 – Coupe A – B

III – LES FOURNISSEURS DE PRODUITS DÉTRITIQUES

1) L'Amazone

L'Amazone draine le plus grand bassin fluvial du monde, dont la superficie représente 11,5 fois celle de la France (6300 km² – KELLER, 1962), et déverse vers l'Atlantique 18 % de toutes les eaux douces qui s'écoulent de l'ensemble des terres émergées vers les océans (5500 km³ d'eau par an – DAVIS, 1964). Cela représenterait une masse d'eau de 10 m d'épaisseur sur la surface de la France.

Le matériel minéral en suspension et en solution déversé dans l'Atlantique représente 731.10⁶ tonnes par an (GIBBS, 1967), ce qui correspond avec le débit cité à une charge minérale moyenne de 84 ppm.

De la figure 3 tirée de GIBBS (1967), il ressort que les particules à l'embouchure de l'Amazone sont en presque totalité inférieures à 200 μ, et que 75 % d'entre elles ont une taille comprise entre 0,5 et 20 μ. Toujours selon le même auteur, la composition de ce matériel solide transporté est approximativement la suivante :

montmorillonite	22 %
quartz	21 %
micas et illites	20 %

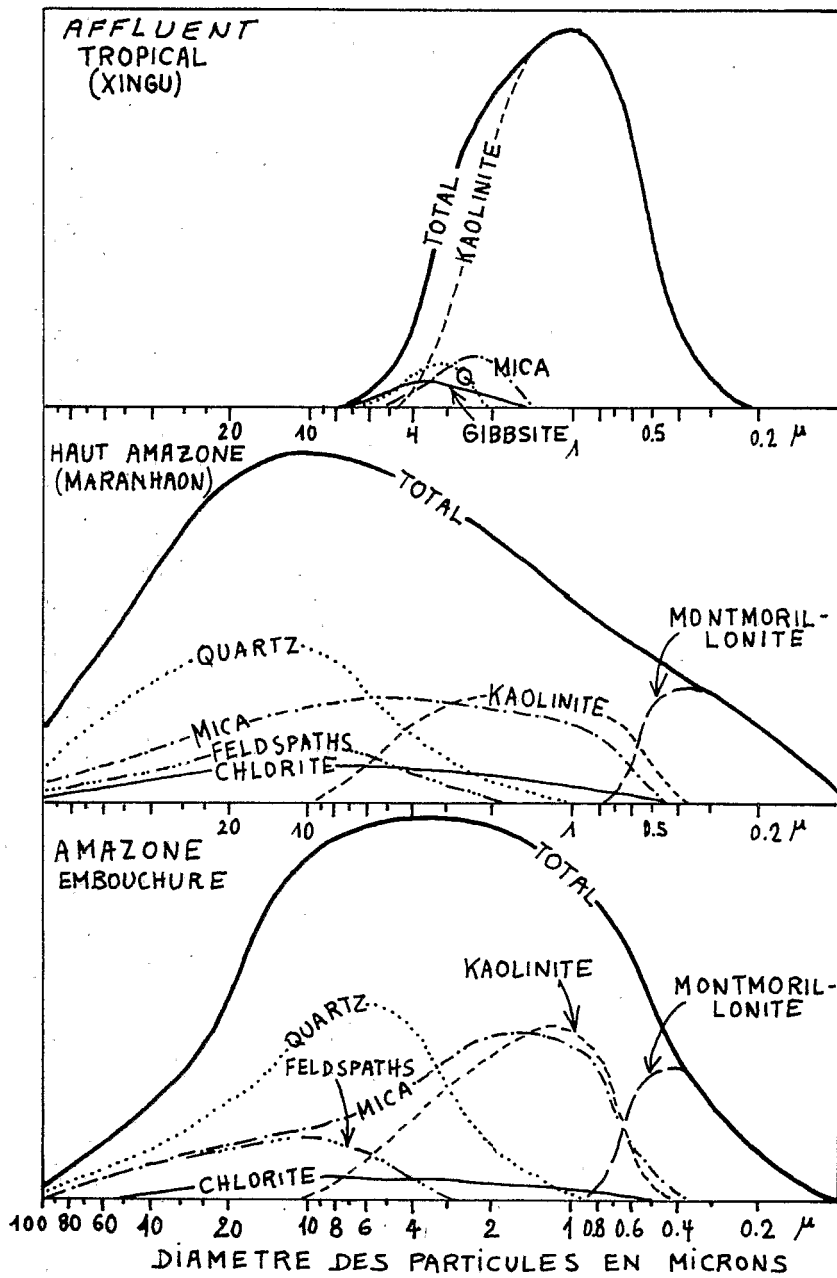


Fig. 3 - Granulométrie et composition minéralogique (d'après GIBBS, 1967)

kaolinite	20 %
feldspaths K	5 %
plagioclases	5 %
chlorites	4 %
divers	3 %

Cette composition reflète bien l'origine andine de la majeure partie du matériel ; selon GIBBS (1967) d'ailleurs, 84 % du matériel minéral transporté par l'Amazone proviennent des zones andines du bassin.

2) Le Tocantins - Araguaia

Le fleuve Tocantins n'est pas actuellement un tributaire de l'Amazone. Son bassin ne représente en superficie que le dixième de ce dernier, son débit n'en est que le vingtième et sa charge minérale moyenne est seulement de 10 ppm, voisine de celle du Xingu (fig. 3). La granulométrie du matériel solide transporté du Tocantins est voisine de celle du Xingu avec un maximum de particules dans les tailles comprises entre 0,5 et 3 μ . La composition de ce matériel solide en suspension est la suivante :

montmorillonite	8 %
kaolinite	50 %
illites et micas	19 %
quartz	13 %
gibbsite	6 %
divers	4 %

Il faut noter cependant, pour le Tocantins, un très important cheminement de quartz grossier au fond du lit du fleuve. L'ampleur de ce transport est bien visible en période de basses eaux entre Tukurui et Jacunda, où le fleuve n'est qu'une succession de rapides et de chutes sur plus de 100 km (Planche I, photo 1). Dans cette zone de rapides, où le Tocantins a à peine creusé son lit dans le socle, son niveau s'abaisse de plus de 100 m. En amont, le fleuve est calme et navigable sur une très grande distance.

En fait, la zone des rapides de Tukurui-Jacunda, et le tronçon aval du Tocantins en direction de l'Amazone, correspondent à une capture ; le fleuve se jetait autrefois dans l'Atlantique par la baie de Sao-Luis du Maranhao. Nous verrons plus loin que cette capture s'est produite au Quaternaire, mais antérieurement à 35 000 ans B.P.

IV - LES SONDAGES ÉTUDIÉS

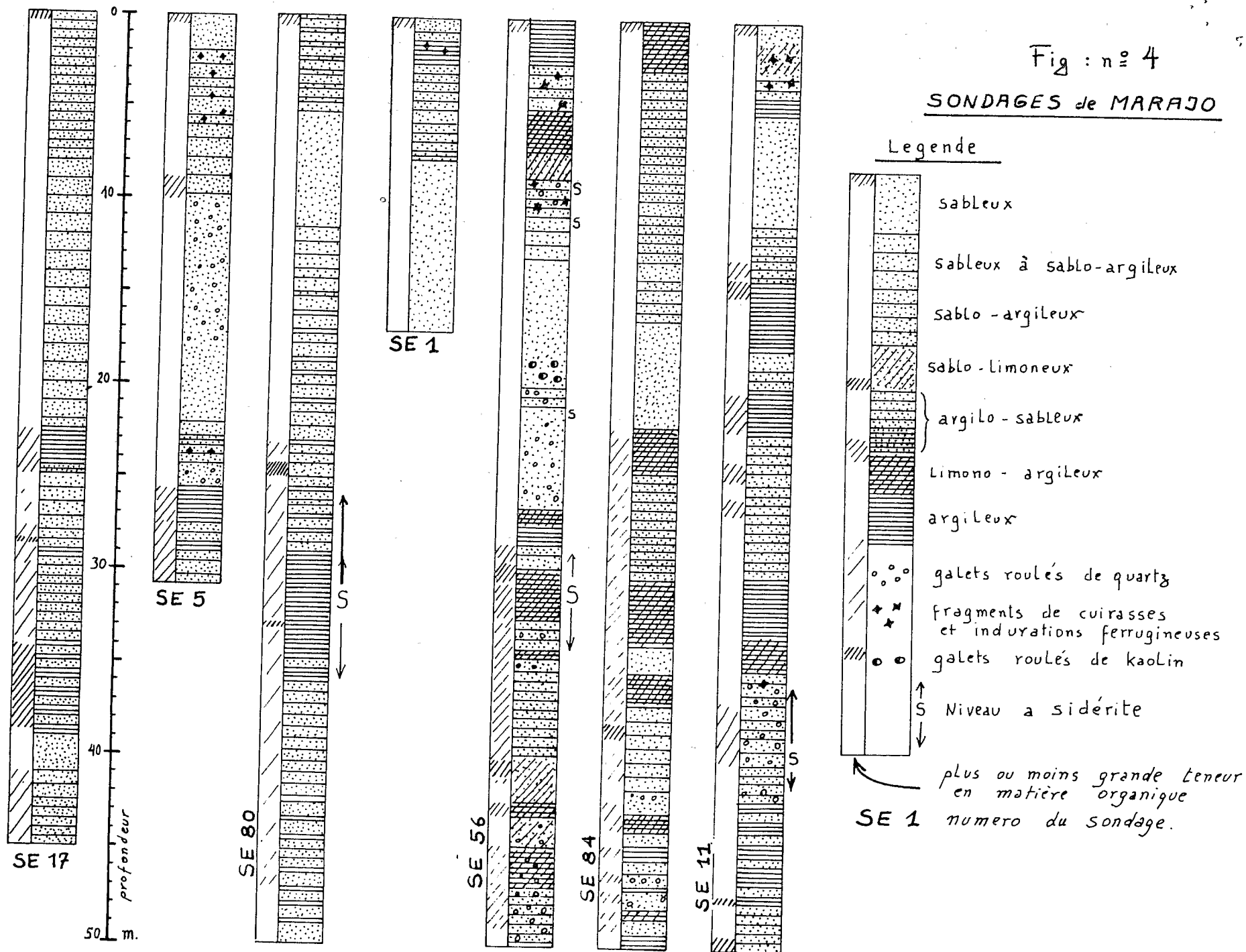
1) Caractéristiques générales

Une dizaine de sondages ont été étudiés et sont décrits par TANCREDI (1972). Sept de ces sondages sont schématisés à la figure 4 ; ils sont situés dans la partie orientale de l'île. Tous les sondages montrent :

- 1) un ou plusieurs niveaux importants de sables, plus ou moins fins, à des profondeurs variables ;
- 2) des niveaux à petits galets roulés, à des profondeurs variables selon les sondages : entre 46 et

Fig : n° 4

SONDAGES de MARAJÓ



50 m pour SE 56 ; entre 35 et 41 m pour SE 11, etc. ;

- 3) des zones à débris de cuirasses ferrugineuses, à des profondeurs également variables ;
- 4) des niveaux à galets roulés de kaolin provenant des assises de kaolin induré qu'on rencontre dans toute la moitié orientale du bassin amazonien (CAMPOS *et al.*, 1974), comme vers 20 m de profondeur dans le sondage SE 56 ;
- 5) des niveaux argilo-limoneux, avec ou sans matière organique à des profondeurs variables.

Toutes ces caractéristiques sont celles d'une sédimentation deltaïque, dans laquelle aucune corrélation entre les niveaux des divers sondages n'est possible.

L'examen des sept sondages représentés à la figure 4 permet cependant de dégager les trois remarques générales suivantes :

- 1) dans l'ensemble, les niveaux sableux dominant en puissance sur les niveaux argileux ;
- 2) les niveaux sableux sont principalement situés entre 5 et 25 et entre 35 et 50 m de profondeur ;
- 3) inversement, les niveaux les plus argileux se rencontrent surtout entre 20 et 35 m de profondeur.

2) Examen de la fraction minérale

a) Fraction minérale des niveaux sableux

Les résultats obtenus à l'aide des rayons X recourent ceux de l'analyse chimique. Dans tous les sondages, les zones sableuses montrent une très large dominance du quartz. Associés au quartz, apparaissent un minéral de la famille de la kaolinite et une quantité appréciable d'un minéral non déterminé, caractérisé par un pic à 18 Å. Par ailleurs, la presque totalité des diffractogrammes correspondant aux échantillons de niveaux sableux montrent une réflexion intense et fine à 3,69 Å (fig. 5 ; SE 56 - 16 m). Notons que ce pic non interprété a été observé sur le sable de Fontainebleau par M. DELAUNE (communication orale).

Le cortège de minéraux lourds associé à ces niveaux sableux montre par ordre d'importance de la staurotite, du zircon, de la tourmaline, de l'andalousite et de l'épidote.

b) La fraction minérale des niveaux argileux sans matière organique

Les niveaux argileux exempts de matière organique des divers sondages ont été examinés par diffraction de rayons X. Les diffractogrammes obtenus sont sensiblement identiques. La figure 5 montre celui du niveau 27,5 m du sondage SE 56.

Les diffractogrammes montrent par ordre d'importance :

- 1) une kaolinite très bien cristallisée, bien caractérisée sur son diffractogramme de poudre par les pics à 7,15 et 3,56 Å intenses et aigus et les deux triplets 2,56 - 2,53 - 2,49 et 2,38 - 2,34 - 2,29 Å ;
- 2) une montmorillonite associée à un minéral interstratifié (10-14M) ; ce dernier est caractérisé par un large dôme centré sur 13 Å qui se rabat au chauffage à 10 Å ;
- 3) du quartz (pics à 4,26 et 3,338 Å) ;
- 4) un peu d'illite (pics à 10 et 5 Å) ;
- 5) des traces de chlorite.

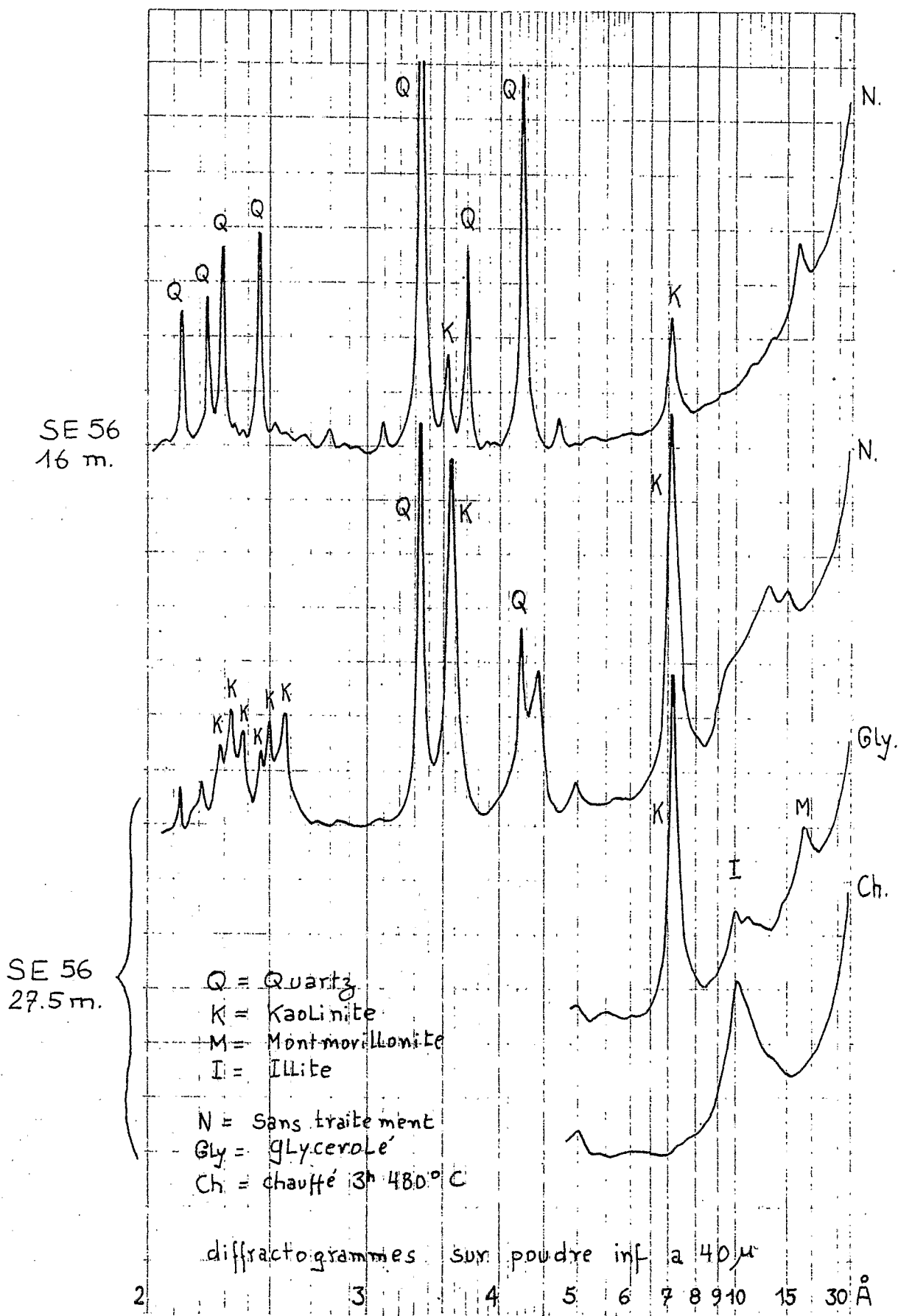


Fig: n° 5

Ech n°	Niveau Prof m.	en % de terre sechee à 110°												PERTE 110/1000° Σ	PERTE 20-110°
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mat. Organ.			
SE 56	4.5 m.	62.5	17.1	1.83	0.5	6.6	0.09	0.94	1.14	2.28	n.d.	n.d.	6.78	99.81	3.15
" "	10.0 m.	29.6	10.3	0.14	0.3	51.6	0.08	0.28	0.10	0.15	"	"	7.91	100.45	0.90
" "	21.5 m.	91.3	4.9	<0.1	<0.2	0.8	0.03	0.32	0.06	0.11	"	"	1.98	99.59	0.20
" "	27.5 m.	65.4	18.7	0.53	<0.2	4.7	0.01	0.77	0.30	0.78	"	"	8.29	99.43	2.51
" "	32.7 m.	17.2	7.7	1.42	1.1	45.9	2.76	0.35	0.15	0.39	"	"	23.19	100.12	2.12
" "	35.7 m.	63.2	16.8	0.94	<0.2	6.2	0.05	0.89	0.24	1.20	"	"	9.64	99.28	3.59
" "	42.5 m.	93.9	1.5	0.12	<0.2	1.9	0.01	0.16	<0.05	0.21	"	"	2.06	99.87	0.40
" "	45.7 m.	59.3	20.1	1.05	0.3	7.0	0.12	0.94	0.18	1.07	"	"	10.17	100.23	3.71
" "	49.7 m.	62.7	16.7	1.23	0.4	6.6	0.14	0.89	0.20	1.09	"	"	9.43	99.40	4.81

ANALYSE CHIMIQUE DE LA TERRE TOTALE DU SONDAGE SE 56
Tableau n° 1.

c) La fraction minérale des niveaux argileux et argilo-limoneux plus ou moins riches en matières organiques

La fraction minérale de ces niveaux a été étudiée par voie chimique, par la diffraction des rayons X et la microscopie électronique.

Les analyses chimiques (tableau 1) effectuées par spectrométrie d'arc montrent, dans les niveaux organiques, des teneurs en fer élevées, très supérieures à celles des niveaux non organiques, et parfois une forte teneur en manganèse.

Les diffractogrammes de rayons X (fig. 6, niveau 32,7 m du sondage SE 56) montrent le même cortège de minéraux que dans les niveaux non organiques (kaolinite, montmorillonite, quartz et illite), associés à une quantité importante de sidérite (pics à 3,58 ; 2,79 ; 2,34 et 2,13 Å) et de chlorite ferrifère, caractérisée par la persistance du pic à 7 Å après traitement à l'hydrazine.

La microscopie électronique (Planche I, photos 2' et 3) permet d'observer nettement des quantités importantes de minéraux argileux associés à des rhomboèdres de sidérite, de taille généralement supérieure à 2 µ.

d) Age des niveaux organiques

Afin de préciser l'époque de la sédimentation, l'âge ¹⁴C de plusieurs niveaux organiques a été déterminé sur deux sondages :

sondage SE 11, niveau 1,3 m > 35 000 ans

sondage SE 11, niveau 2,0 m > 35 000 ans

sondage SE 80, niveau 2,3 m > 35 000 ans

Ces déterminations nous permettent de dire qu'au-delà de 10 m de profondeur l'âge des dépôts est supérieur à 35 000 ans.

V - ESSAI D'INTERPRÉTATION

L'étude des sondages de Marajo pose principalement deux questions : la première concerne l'origine des niveaux à sables grossiers et à galets roulés ; la seconde, celle de la genèse de la sidérite et des chlorites ferrifères des niveaux argilo-limoneux.

1) Origine des niveaux à sables grossiers et à galets roulés

Deux hypothèses sont possibles pour expliquer l'origine de ces niveaux : la première consiste à en faire des dépôts amazoniens ; la seconde à les faire venir du Tocantins. La deuxième hypothèse semble la plus vraisemblable, car elle rend compte davantage des faits d'observation :

a) Nous avons vu que les niveaux sableux dominant dans les sondages étudiés, et que ces sables sont souvent grossiers et associés à des galets roulés de quartz et de kaolin. Ces derniers, particulièrement fragiles, ne peuvent provenir de bien loin.

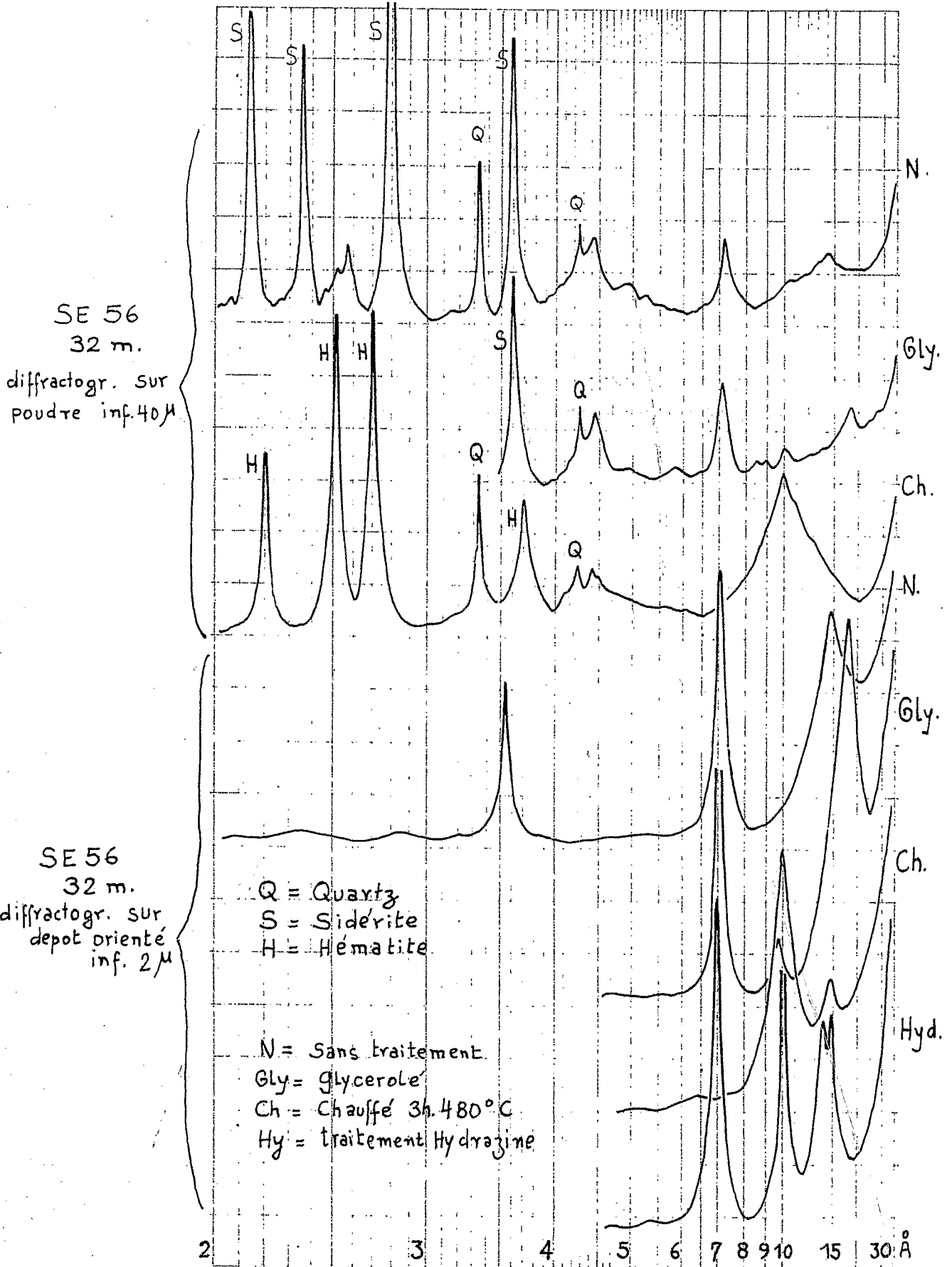


Fig n° 6

b) Au paragraphe relatif à l'Amazone, nous avons indiqué que le matériel solide transporté par le fleuve est essentiellement constitué d'éléments fins, de taille inférieure à 200μ (GIBBS, 1967). L'Amazone ne transporte actuellement ni galets, ni sables grossiers.

c) Enfin, nous avons signalé au paragraphe relatif au Tocantins que ce fleuve est en pleine activité de creusement et de décapage de toute la région située entre Maraba et Tucurui, qui correspond à une zone de capture relativement proche de l'île de Marajo.

A la vue de ces données, l'hypothèse d'un dépôt fluviatile provenant du Tocantins est la plus vraisemblable. Cette sédimentation serait la conséquence de la capture, dans un passé relativement proche, du haut et moyen Tocantins par un tributaire de l'Amazone. L'âge de cet événement semble antérieur à 35 000 ans, comme le montrent nos datations. Il est probablement postérieur au Tertiaire, car nous trouvons, dans les assises de sables, des galets de kaolin provenant des niveaux de kaolin indurés, que des auteurs comme JENKS (1956) et SOMBROEK (1962) attribuent au Pliocène terminal.

2) *Origine de la sidérite et des chlorites ferrifères des niveaux argilo-limoneux*

GIBBS (1967) donne une remarquable analyse de la fréquence granulométrique et de la composition minéralogique du matériel solide transporté par l'Amazone à son embouchure. Il montre, en particulier, comme nous l'avons rappelé dans les paragraphes relatifs aux faits, que les chlorites transportées dans l'Amazone sont essentiellement des produits d'érosion de la chaîne andine ; ces chlorites sont généralement de grande taille, comprise entre 2 et 40 microns.

Il ressort des paragraphes relatifs aux analyses, que nous retrouvons dans beaucoup de niveaux argileux et argilo-limoneux des sondages étudiés la granulométrie et la composition minéralogique que GIBBS (1967) attribue au transport amazonien.

Mais, trois des sondages étudiés, contiennent en plus, dans leurs niveaux argilo-limoneux, des quantités importantes de sidérite, cristallisée sous forme de rhomboèdres de 2 à 20 microns et associée à des chlorites ferrifères de petite taille. L'épaisseur de ces niveaux est souvent d'une dizaine de mètres et les teneurs en fer, exprimées en Fe_2O_3 , peuvent atteindre 50 %. Ces niveaux à sidérite et chlorites ferrifères sont riches en matières organiques et sulfures. Ils correspondent à des conditions réductrices.

Dans le milieu dont nous venons de rappeler les caractéristiques, l'origine de la sidérite et des chlorites ferrifères peut s'expliquer de deux manières :

- soit par apport détritique ; ce seraient des produits d'érosion hérités du bassin du Tocantins ou de l'Amazone ;
- soit par néoformation dans le milieu estuarien, au moment de la sédimentation.

L'hypothèse d'une origine détritique peut difficilement être envisagée ici car :

- 1) Aucun travail, concernant l'Amazonie ne mentionne de sidérite dans le matériel solide transporté par l'Amazone ou le Tocantins.
- 2) Aucun gisement de fer carbonaté n'est connu dans les bassins de ces deux fleuves.
- 3) Enfin, la forme cristallisée en rhomboèdres de 2 à 20 microns de la sidérite rend douteuse, sinon impossible, l'origine détritique.

La deuxième hypothèse consiste à faire naître la sidérite et les chlorites ferrifères à partir de produits en solution ou pseudo-solution ; elle rend mieux compte des faits d'observation.

Mécanisme proposé

Dans l'hypothèse d'une néoformation de la sidérite et de la chlorite ferrifère, on peut envisager un mécanisme semblable à celui qu'a proposé BUBENICEK (1970) pour le minerai de fer lorrain et qui se résume par la réaction :

limonite + agent réducteur → chlorite + sidérite.

On sait que l'Amazonie est riche en fer. On sait aussi que la matière organique y est particulièrement abondante (GIBBS, 1967). Quelles que soient les conditions de transport du fer, combinaisons et valences, on peut imaginer qu'il s'est précipité dans une zone littorale, avec de la matière organique et de l'argile. La vase obtenue, réductrice par activité bactérienne, a pu créer un milieu favorable à la néoformation de sidérite et de chlorite. Ces minéraux ont pu se former soit directement si le fer était livré à l'état bivalent, soit par réduction d'hydroxydes ferriques dans le cas contraire. Le deuxième mécanisme paraît le plus probable. En effet, on trouve souvent des traces de goethite dans les niveaux à sidérite.

On pourrait, par ailleurs, établir un lien entre la formation de ces niveaux à sidérite et la déferrification des grands dépôts de kaolin qui auréolent la cuvette amazonienne, comme l'ont signalé de nombreux auteurs (JENKS, 1956 ; SOMBROEK, 1962, 1966 ; VIEIRA, 1971 ; CAMPOS *et al.*, 1974).

VI – CONCLUSIONS

Des sondages d'une cinquantaine de mètres de profondeur, dans les sédiments quaternaires de la partie orientale de l'île de Marajo, sont ici étudiés.

La moitié supérieure de ces sondages est souvent sableuse et proviendrait du Tocantins.

La moitié inférieure montre fréquemment des sédiments argilo-limoneux, riches en matières organiques et correspondant à un milieu réducteur. Elle contient, à côté d'argiles, de la sidérite et des chlorites ferrifères.

La genèse de cette sidérite et des chlorites ferrifères est interprétée comme le résultat de néoformations en milieu estuarien réducteur.

Enfin, on peut faire un rapprochement entre ces accumulations ferrugineuses et la déferrification qu'ont subie les vastes dépôts kaoliniques du bassin amazonien.

Manuscrit reçu le 10 février 1975

BIBLIOGRAPHIE

- BEURLEN K. (1970) — Geologie von Brasilien — Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin, Stuttgart.
- BUBENICEK L. (1970) — Géologie des gisements de fer de Lorraine — Thèse Sci. Nancy et *Publ. I.R.S.I.D.*, P. 48, multigr., 146 p.
- CAMPOS E.N. de, MONIZ A.C., OLIVEIRA J.J. de et SIEFFERMANN G. (1974) — Minéraux argileux de quelques altérations entre la ville de Belem du Para, le rio Gurupi et le rio Guama — *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, sér. Pédol., (sous presse).
- DAVIS L.C. (1964) — The Amazon's rate of flow — *Nt. History*, 73 - 6, p. 15 - 19.
- GIBBS R.J. (1967) — Geochemistry of the Amazon river system — *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 78, p. 1203 - 1232.
- GUIMARAES D. (1964) — Geologia do Brasil — *Memoria n° 1, D.N.P.M.*, Rio de Janeiro, p. 510 - 549.
- JENKS W.J. (1956) — Handbook of South American Geology ; an explanation of the geologic map of South America — *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 65, 378 p.
- KELLER R. (1962) — Gewässer und Wasseraushalt des Festlandes, eine Einführung in die Hydrogeographie — Haude und Spener'sche Verlagsbuchhandlung Berlin, Leipzig, 520 p.
- MESNER P. et WOOLDRIDGE L.C.P. (1964) — Maranhão paleozoic basin and coastal basins, North Brazil — *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 48, p. 1475 - 1512.
- SOMBROEK W.G. (1962) — Reconnaissance soil survey of the area Guama - Imperatriz — *Publ. SUDAM*, Belem, Para.
- SOMBROEK W.G. (1966) — Amazone soils — Pudoc, Wageningen, Nederlands, 275 p.
- TANCREDI A.C. (1972) — Application de la prospection électrique à l'étude hydrogéologique de l'île de Marajo, état du Para, Brésil — *Diplôme Et. sup.*, Strasbourg, multigr., 25 p.
- VIEIRA L.S. (1971) — Os solos do Estado do Para — *IDESP, Cadernos Paraenses*, Belem, Para, Brasil, 8, 175 p.

PLANCHE I

Photo 1

Vue des rapides du fleuve Tocantins entre Tucurui et Jacunda
(cliché SIEFFERMANN)

Photo 2

Photographie obtenue au microscope électronique de cristaux de kaolinite et de rhomboèdres
de sidérite

Photo 3

Photographie obtenue au microscope électronique de rhomboèdres de sidérite maclés

PLANCHE I



Photo 1



Photo 2

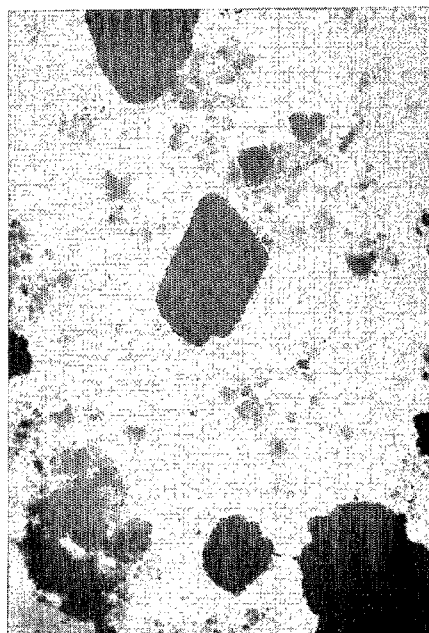


Photo 3