

ÉVOLUTION RAPIDE DES FONDS D'UNE ZONE ESTUARINE : LE SECTEUR D'ITAQUI-BAIE SÃO MARCOS-MARANHÃO (BRÉSIL)¹

Maâmar EL-ROBRINI ²

Résumé

L'évolution morpho-sédimentaire des fonds de la baie de São Marcos est très dynamique et des bancs de sable sont en déplacement permanent, comme par exemple le banc des Cavalos (180 m/an) et le banc des Lanzudos (100 m/an). Les bancs se déplacent vers la partie interne de la baie en liaison avec la circulation résiduelle de fond .

Abstract

The bottom of São Marcos bay is very dynamic and presents high morphological changes. The displacement rate of some sand banks are, for instance, are from 180m/yr (Bank of Cavalos) to 100 m/yr (bank of Lanzudos). The migration's is directed towards the internal part of the bay and linked to the bottom residual circulation.

Mots-clés: Baie de São Marcos-Maranhão, chenal de navigation, exhaussement, migration des bancs de sable.

Key-words: São Marcos Maranhão' bay, channel of navigation, raising, displacement of sand banks.

INTRODUCTION

Des études préliminaires ont été faites dans la baie de São Marcos, dans le secteur du port d'Itaqui, à partir de l'analyse des cartes nautiques de 1976 et de 1984 (Direction de l'Hydrographie et de la Navigation - D.H.N.). Cette région estuarienne fait partie du Golfe du Maranhão (fig. 1), situé dans le Nord

(1) Contribution PROMAR (Progr. Ens. Ciencias Mar) n. 31

(2) Universidade Federal do Pará Centro de Geociências. Departamento de Geologia (PROMAR) C.P.1611/ 66000 Belém. Pará. Brasil.

brésilien, qui comprend, entre autres, les baies de São José, Cumá et Tubarão. Les dépôts sédimentaires sont constitués principalement par des bancs sableux qui se déplacent en fonction des courants de marée. La migration des bancs de sable - ainsi que des chenaux de marée - a une incidence importante sur la navigation estuarienne, sur l'érosion des rives et sur leur envasement. Des levées bathymétriques régulières sont nécessaires afin de suivre l'évolution morphosédimentaire de l'estuaire et d'assurer parfaitement sa navigabilité.

Le présent travail traite de l'évolution spatiale et temporelle de différents bancs de sable dans le secteur d'Itaqui en 1976 (donnée locale "Obelisco") et en 1984 (donnée horizontale "Córrego Alegre"). Le réajustement de "Obelisco" sur "Córrego Alegre" a été nécessaire afin de pouvoir comparer les deux cartes.; il nous a été cependant impossible d'étendre les observations à la partie située à l'Ouest du méridien 44° 26 W, faute de données bathymétriques.

I - BAIE DE SÃO MARCOS

La baie de São Marcos est une vaste zone estuarienne orientée NE-SW et dont la morphologie intègre deux types contrastés de côte: au nord-est, la côte est subrectiligne à nord-est (fig. 1 et 2), avec des formations dunaires et des plages sableuses (Nord de l'Île de São Luís); au nord-ouest, par contre, la côte échan-crée à rias, (figs. 1 et 2) est en partie colonisée par la mangrove.

Cette vaste baie - amplement ouverte sur la plate-forme continentale - a 50 km dans sa partie nord, 15 km dans la partie centrale (entre Alcântara et la Pointe de São Marcos), 25 km au niveau de l'île des Carangueijos et 4 km à l'embouchure du rio Mearim. Le secteur d'Itaqui se situe dans la partie médiane de la baie.

II - CHENAUX ET BANCs DES FONDS ESTUARIENS

Les fonds estuariens sont caractérisés par de nombreux chenaux profonds -parfois à bras multiples - et par des fonds sableux dans lesquels s'individualisent des bancs. L'analyse morphologique permet la distinction de 4 zones principales :

(a) Un important *chenal de navigation* longe la rive droite de la baie de São Marcos. Sa profondeur maximale est de 4 km (en face de la Pointe da Madeira) et

ses largeurs s'échelonnent entre 1,3 km et 1,7 km dans la partie navigable (limitée par la courbe de 25 m). Vers le sud, le chenal se sépare en trois grands bras (fig.3).

- Le premier (a, fig.3) forme une importante échancrure à l'est (à partir de la Pointe da Madeira), site du bassin portuaire. Les fonds de 20 m sont larges de 270 m.

- Le second est séparé du bassin portuaire par l'île de Guarapirá (b, fig.3). Les fonds de 20 m de ce bras du chenal ont des largeurs comprises entre 300 m (secteur de l'île de Guarapirá) et 700 m (au sud). A cette disposition générale s'ajoutent de petits bassins allongés ayant entre de 25 et 28 m de profondeur.

- Enfin, le troisième bras est très large (900 m), délimité par deux bancs sableux qui le ferment au Sud (c, fig. 3): celui des Lanzudos à l'ouest et le banc "A" à l'est.

(b) L'île de São Luís est séparée de l'île do Mêdo par le chenal du *Boqueirão*. Orienté NE-SW, le chenal a plus de 900 m de largeur et des profondeurs entre 20 et 30 m (fig.3).

c) La partie médiane de l'estuaire est occupée par un immense haut-fond sableux, orientée NE-SW, qui comporte plusieurs bancs de sable d'environ 10 m de hauteur. Un chenal de 24 m de profondeur (situé à 44° 24' de longitude W) sépare le banc des Lanzudos, à l'est, du banc dos Cavalos à l'ouest ; seul le banc des Lanzudos est exposé à marée basse.

(d) Enfin, de l'autre côté de la baie de São Marcos un chenal est développé, ses dimensions sont parmi les plus imposantes (fig. 3), avec des profondeurs de 55 m et une largeur de 2,8 km dans sa partie médiane.

III TRANSPORT DES MASSES SÉDIMENTAIRES SUR LE FOND

Dans la baie de São Marcos, les bancs de sable peuvent être observables à marée basse. Dans la Baie de Fundy - Canada et dans la baie du Raz Blanchard - FRANCE, les courants de marée atteignent des vitesses de l'ordre de 10 noeuds et peuvent facilement transporter des sables et des galets (OTTMANN, 1965).

Cependant, les vitesses maximales des courants de marée enregistrées dans la baie de São Marco sont de l'ordre de 6 noeuds (D.H.N., 1972) et sont responsables du déplacement des bancs de sable. Les courants de marée de 1 à 3 noeuds

(0.5 à 1.5 m/s) ont une action limitée. Dans ce cas, le transport de sable se fait par un phénomène de roulement de fond, sous forme de longs bancs parallèles. Les courants dirigés frontalement aux bancs érodent leurs extrémités. Avec le retour du courant de marée durant l'étape suivante, une phase de dépôt et d'allongement du banc se développe. De tel banc sont observés sur les marges du pas de Calais et des Flandres - France (OTTMANN, 1965) et sur les marge de la Baie de São Marcos. Enfin , les courants de moindre importance transportent les sables petit à petit , formant ainsi des ripples marks (REINEECK, 1967; MC DOWELL et O'CONNOR, 1977). Des courants dont les valeurs sont comprises entre 70cm/sec. et 90 cm/sec. sont suffisants pour provoquer des sand waves et des sand ribbons à Delaware Bay (POLIS et KUPFERMANN 1973, E.G.& G. WASHINGTON ANALYTICAL SERVICE CENTER 1985 ; Mc CAVE 1971 ; RUBIN et Mc CULLOCH 1980, BELDERSON et al.,1982) et à proximité de la pointe de Madeira (figure 3, C.V.R.D., 1989).

IV COMPARAISON DES DONNÉES DE 1974 ET 1984

Des modifications significatives ont eu lieu dans les fonds de la baie de São Marcos dans l'espace d'une décennie. L'analyse des coupes de 1974 et de 1984 - tracées en superposition entre les parallèles de 2° 31 et 2° 37 (fig.4) - et des cartes bathymétriques de la baie de São Marcos (fig.3), montre avec précision ces modifications survenues

Le *chenal de navigation* a une tendance générale à l'exhaussement (5 m) avec, en face du port d'Itaquí (bras C, profil 5, fig. 4) une élévation maximale de 8 m. Dans la partie aval (profil 1, fig.4), les rives de l'île de Médo ont subi un approfondissement de 8 m, alors que la rive située près du chenal du Boqueirão s'est moins approfondie (4 m). Ces changements n'ont pas modifié le tracé du chenal de navigation (fig.3), certainement en raison des dragages d'entretien qui, entre novembre 1985 et juillet 1989, ont enlevé du chenal environ 2.2 millions de m³ de sédiments (HERMES, C.V.R.D, com..pers..).

L'approfondissement du *chenal du Boqueirão* est estimé à 8 m (fig. 4, profil 1 et 2), avec une incision continue vers la baie de São Marcos (d'environ 3 m).

La *partie médiane de la baie* a également subi des altérations morphologiques et les zones d'accumulation ont été considérablement modifiées. Dans la partie

aval, le banc des Cavalos s'est déplacé de près de 2 km vers le Sud entre 1974 et 1984 (fig. 3) et est à l'origine d'un banc allongé de 1.5 km de largeur, orienté NE-SW. Au sud-est de ce banc, une zone en approfondissement s'est déplacée vers le nord (750 m) à une vitesse de 75 m/an. Dans la partie amont, par contre, deux grands bancs se sont tout d'abord mis-en-place(le banc des Lanzudos et le banc "A" - fig. 3) pour ensuite migrer vers le sud, de 1km et de 0.45 km respectivement. Le banc des Lanzudos s'est considérablement rétréci, passant de 2,1 km de largeur en 1974 à 1,2 km en 1984. Au contraire, le banc "A" s'est élargi de 600 m en 1974 à 900 m (1984) et a été probablement alimenté par le banc des Lanzudos. Les bancs de sable ne sont pas uniquement localisés dans le secteur d'Itaqui, mais sont également présents dans toute la baie de São Marcos (D.H.N., 1984).

Quant au chenal situé de l'autre côté de la baie, il a subi un approfondissement de près de 8 m entre 1974 et 1984 (fig. 3, profil 1).

V - DISCUSSION : ÉVOLUTION DES FONDS DE LA BAIE DE SÃO MARCOS ENTRE 1974 ET 1984

1- Vitesse de transport de sédiments

La vitesse de déplacement de ces bancs est inégale. Parmi les bancs majeurs, indiqués sur les figures 3 et 4, c'est le banc des Cavalos (fig. 3) qui a subi la migration la plus importante: 1,8 km, soit une moyenne de 180 m/an. alors que celle du banc des Lanzudos (fig. 3) a été estimée à 10.5 km (100 m/an). Quant au banc "A", il s'est déplacé à une vitesse moyenne de 45 m/an.

Ces vitesses moyennes de déplacement sont inférieures à celles obtenues entre 1979 et 1984 sur les côtes atlantiques de la Guyane Française - 900 m/an (FROIDEFOND & al., 1985), 320 à 1220 m/an (PROST 1988) - et du Surinam - 1500 m/an (NEDECO 1968; RINE & GINSBURG, 1985). Les conditions sont différentes : dans le cas du Maranhão il s'agit des déplacements à l'intérieur d'une grande zone estuarienne, alors que sur les côtes des Guyanes les bancs migrent essentiellement le long de la ligne du rivage océanique. Les changements à l'intérieur des estuaires guyanais n'ont pas été systématiquement étudiés jusqu'à présent, sauf des exemples ponctuels. En outre, les bancs guyanais sont constitués, dans leur parties intertidales et surtout frontales, par des boues ama-

zoniennes fluides et semi-fluides (ALLERSMA, 1971 ; AUGUSTINUS P., 1976; EISMA & VAN DER MAREL, 1971; KROOK L. 1979, MOGUEDET, 1974; PROST M.T., 1986, 1988), sédiments qui ont le pouvoir d'amortir les vagues et d'intensifier l'accumulation dans le "front" des bancs. Cela n'est pas le cas dans la baie de São Marcos - où les bancs sont toujours immergés, sauf dans le cas d'une partie du banc des Lanzudos - et qui évoluent essentiellement en relation avec la courantométrie dans la baie (D.H.N., 1984).

2- Problème d'origine des sables

Le problème de l'origine des sables reste en discussion (sources terrigènes continentales et/ou marines ?). La méconnaissance de l'hydrodynamique sédimentaire du fleuve Mearim à son débouché dans la baie de São Marcos (fig. 1) ne permet pas de quantifier ni la charge sédimentaire ni le taux d'accumulation dans la baie. Cependant, dans le fleuve Vigo en Galice (Espagne), l'estuaire est constitué dans sa partie externe, ouverte à l'océan Atlantique, par des sédiments d'origine continentale (Nonn, 1966).

(a) Sables de la plate-forme continentale, un vieux stock remanié ?

La plate-forme continentale du Pará-Maranhão est en grande partie recouverte par des sables moyens et fins (DHN, 1986; POMERANCBLUM & COSTA, 1977), ortho-quartzifères et émoussés (FRANCISCONI & al., 1979; KOPPLER & NOGUEIRA, 1973 ; KOWSMANN & COSTA, 1979).

Dans la vallée sous-marine du Maranhão (fig.5) - qui est liée à la baie de São Marcos (PALMA, 1977) - les courants de marée ont donné naissance à des bancs de sable moyens et fins qui se disposent perpendiculairement à la côte. Assymétriques et hauts de 8 à 20 m, ces bancs ont des pentes douces dans leur parties frontales et des pentes plus fortes dans leurs parties distales (COUTINHO & KEMPF, 1972 ; COUTINHO & MORAIS, 1970). Les sédiments sableux renferment des minéraux lourds tels que le Zircon et la tourmeline, provenant des roches mésozoïques du bassin du Mahanhão (KOWSMANN & COSTA, 1979).

Des "maerls" biodétritiques et terrigènes grossiers, prélevés dans les chenaux inter-bancs (LUNA, 1979; PALMA, 1979), font penser que ces bancs se sont déplacés du sud vers le nord Ils peuvent représenter des stocks potentiels qui ont alimenté les bancs des Cavalos et des Lanzudos, hypothèse d'autant plus valable vu que les sédiments des bancs situés sur la bordure orientale de la partie externe

de la baie de São Marcos sont marins, car ils contiennent des foraminifères et de mollusques (MORAIS, 1977).

La sédimentation sableuse de la plate-forme continentale Nord-Brésilienne est une relique comme celle qui recouvrent en partie la plate-forme guyanaise entre 25/30 m et 100m de profondeur et qui daterait du Quaternaire récent (PUJOS, 1990). Les sables moyens et fins auraient formé des stocks bien avant l'ennoyage de la côte par la transgression Flandrienne (+2 à +3) (-6000 ans BP).

Par conséquent, ces dépôts sableux représentent actuellement un vieux stock remanié par les courants sous-marins.

(b) Sable littoral et dépôts résiduels

Des plages et des systèmes de cordons dunaires actuels et anciens caractérisent le paysage littoral. Au Sud-Est de São Luís, d'importants édifices éoliens se sont développés ("lenções maranhenses" FRANCISCONI et al., 1979). Une partie des sables de la plate-forme provient des dunes littorales, comme dans la partie Ouest du Cap São Roque (MABESOONE et al., 1972). Au Maranhão, les sédiments sableux peuvent provenir des affleurements mésozoïques de la baie de São Marcos (KOWSMANN & COSTA, 1979).

3- Influence des courants sur le transport des sédiments

Le comportement hydrodynamique de la baie de São Marcos est peu connu, sauf quelques données sur la courantométrie obtenues dans le cadre des opérations portuaires dans la région.

Les fortes marées, avec des valeurs supérieures à 7 m (D.H.N., 1989), jouent sans doute un rôle essentiel. La carte des courants de marée dans le chenal d'accès au Port d'Itaquí (D.H.N., 1972), montre des vitesses de surface de l'ordre de 6.0 noeuds maximum en marée basse et de 3.8 noeuds en marée haute. Nous estimons que dans les estuaires profonds à fortes marées, recevant des apports considérables d'eau douce, comme celui de la baie de São Marcos, il est possible d'envisager deux types de circulation estuarienne: une première, gravitaire, à laquelle se combine une seconde, de type "tidal circulation", comme suggère KJERFVE (1989). Une circulation résiduelle de fond peut se produire dans la baie de São Marcos dans le sens de la marée haute, notamment dans les parties plus profondes du système estuarien, due à la circulation gravitaire

(FERREIRA, com.. pers.). Sous ces conditions, les sédiments seraient transportés vers l'intérieur de la baie, hypothèse qui est à l'étude.

4- Importance relative des bancs sableux dans la baie de São Marcos

Les bancs de sable de la baie de São Marcos (bancs des Cavalos, des Lanzudos et "A") occupent 11% de la surface totale de la baie. Certes, cette estimation est moins importante que celle de "Cerc Pier" aux Etats Unis (GREEN, 1986) où, dans une zone de 22,25 km², les bancs occupent 15% de la surface totale. Mais, tenant compte des dimensions de la baie et de la position du secteur d'Itaquí, l'importance relative de l'étendue des bancs est, dans le cas de la baie de São Marcos, non moins significative.

CONCLUSION

L'évolution actuelle de la baie de São Marcos est très active en raison de l'amplitude des marées (7.8 m. PENTEADO, 1964) et des transformations morphologiques des rives et des fonds s'effectuent à court terme (fig. 2,3). Les bancs de sable - dont les déplacements sont contrôlés par les marées - migrent vers l'intérieur de la baie

Les bancs de sable et chenaux régissent l'équilibre morpho-sédimentaire de l'estuaire. Enfin, le vieux stock sableux moyen à fin (Quaternaire récent) de la plate forme continentale est actuellement remanié par les courants.

REMERCIEMENTS :

Nous remercions Mr. Jorge CUNHA DE PALMA, professeur à l'Universidade Federal Fluminense (UFF/LAGEMAR Niterói - Rio de Janeiro) qui a bien voulu discuter avec nous les problèmes de dynamique sédimentaire. Nos remerciements sont aussi présentés à Mr Hélder OLIVEIRA FERREIRA, chercheur de l'Universidade Federal do Maranhão (UFMA/LABOHIDRO São Luís - Maranhão), avec lequel nous avons eu des échanges fructueuses sur l'hydrodynamique de la baie de São Marcos. Enfin nous ne saurions oublié Mme Tereza PROST du Centre ORSTOM (Cayenne) pour la lecture critique du manuscrit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLERSMA (E.), 1971 - Mud on the oceanic shelf. off Guyana. In: Sympos. on Investigat. of Resourc. in the Caribbean sea and adjacent Région, UNESCO: 193-203.
- AUGUSTINUS (P.G.E.F.), 1978 - The changing shoreline of Surinam (South America). Thesis. Uitgaven "Natuurwetenschappelijke Studiekring voor Suriname en de Nederlandse Antillen ", 95, 232 pp. Utrecht University. Pays-Bas.
- BARRETO (L.A.), MILLIMAN (J.D.), AMARAL (C.A.B.) and FRANCISCONI (O.), 1975 - Northern Brazil. Contributions Sedimentology, Upper Continental margin sedimentation of Brazil, vol. 44: 11-43.
- BELDERSON (R.H.), JONHSON (M.A.) and KENYON (N.H.), 1982 -Bedforms. In: A.H. Stride (Edit.), Offshore Tidal sands, Chapman and Hall: 27-57.
- COUTINHO (P.N.) et MORAIS (J.O.), 1970 - Distribucion de los sedimentos en la plataforma continental Norte y Nordeste del Brazil. Arq. Cien. Mar., Fortaleza, vol. 10, (1): 79-90.
- COUTINHO (P.N.) et KEMPF (M.), 1972 - Plataforma Continental do Norte, Nordeste e Leste do Brasil: Amostras de fundo coletados pelo NOC. Almirante Saldanha em 1968. Trabalhos Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco, Recife, n.13: 29-40.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 1972 - Cartas de correntes de marée proximidades da baía de São Marcos e Portos de São Luís e Itaqué. 1o. edic.: 2 cartas.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 1976 - Carta no.413, Brasil, costa Norte-Baía de São Marcos-Porto de Itaqué. Levantamentos efetuados pela Marinha do Brasil até 1974. Escala natural: 1:15.000 na lat. 2 33 5 . Projecao de Mercator, datum horizontal: Obelisco, Maranhão. 2o. edic.: 12/01/1976.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 1984 - Carta no. 413, Brazil, costa Norte-Baía de São Marcos-Porto de Itaqué. Levantamentos efetuados pela Marinha do Brasil em 1984. Escala natural: 1/15.000 na lat. 2

- 33 5". Projecao de Mercator, datum horizontal: Corrego Alegre, Minas Gerais. 3. edic.: 10/01/1986.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO**, 1984 - Carta no.410, Brasil, costa Norte - Proximidades da baía de São Marcos. Levantamentos efetuados pela Marinha do Brasil em 1984. Escala natural: 1:135.000 na lat. 2 12 00 . Projecção de Mercator, datum horizontal: Corrego Alegre, Minas Gerais. 3a. edic.: 28/09/1985.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO**, 1986 - Informações sobre amostras geológicas. Relat. Minist. Marinha, Diret. Hidrogr. Naveg., Banc. Nac. Dad. Oceanogr.: 8p.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO**, 1989 - Tabua das mares do Pará para ano de 1989. Costa do Brasil e portos estrangeiros. DG.16-26: 224p.
- EG. & G WASHINGTON ANALYTICAL SERVICE CENTER**, 1985 - Delaware bay intercomparison experiment fall 1984. Report Nat. Ocean. and Atmosph. Administrat., vol. 2, Append. A-E.
- EISMA (D.) and VAN DER MAREL (H.W.)**, 1971 - Marine muds along the Guyana coast and their origin from the Amazon basin. Contr. Miner. Petrol. vol. 31: 321-334.
- FRANCISCONI (O.), COSTA (M.P.A.), COUTINHO (M.G.N.) et VICALVI (M.A.)**, 1979 - Geologia costeira e sedimentos da plataforma continental brasileira. REMAC, no.5 : 35-51.
- FROIDEFOND (J.M.)**, 1984-85 - Rapport de mission. Projet CORDET, Univ. Bordeaux-I, Talence.
- GUILCHER (A.)**, 1967 - Origin of sediments in estuarines. Estuaries, Am. Assoc. Advancmt. Sci., vol. no.83: 149-157.
- GRËEN (M.O.)**, 1986 - Side scan sonar mosaic of a sand ridge field: Southern Mid-Atlant. bight. Geo. Marine Letters, vol.6: 35-40.
- KJERFVE (B.)**, 1980 - Estuarine geomorphology and physical oceanography. Estuarine Ecology. J.M. Day Jr., C.A.S. Hall, W.M. Kemp and A. Yanez-Arancibia (eds). Wiley Intersciences: 47-78.
- KOPPLER (J.) et NOGUEIRA (R.A.C.)**, 1973 - Influencia de possíveis rochas de fonte na plataforma continental brasileira. LAMIN/CPRM-REMAC, inedito.

- KOWSMANN (R.O.) et COSTA (M.P.A.), 1979** - Sedimentação quaternaria da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. REMAC, no.8 : 55p.
- KULM (L.D.) and BYRN (J.V.), 1967** - Sediments of Yakina bay, Oregon. Estuaries, Am. Assoc. Advancement Sci., vol. 83: 226-238.
- LUNA (J.A.C.), 1979** - Plataforma continental do Estado do Maranhão- Operação Pesquisador IV. I. Nota sobre a natureza do fundo. Trabalhos Oceanogr., Univ. Feder. do Pernambuco, Recife, vol. 14: 7-20.
- MABESOONE (J.M.), KEMPF (M.) and COUTINHO (P.N.), 1972** - Characterizations of surface sediments on the Northern and Eastern Brazilian shelf. Trabalhos Oceanogr., Univ. do Pernambuco, Recife, no. 13: 41-48.
- MC CAVE (I.N.), 1971** - Sand waves in the North sea off the coast of Holland. Mar. Geol., 10: 199-255.
- MC DOWELL and O CONNOR, 1977** - Hydraulic behaviour of estuaries. Civil Engineer. Hydraul. Series, 291p.
- MILLIMAN (J.D.), CARLOS (A.) and AMARAL (C.A.B.), 1979** - Economic potencial of brazilian continental margin sediments. REMAC, no.5: 87-116.
- MOGUEDET (G.), 1974** - Influence de l'Amazone sur le plateau continental de la Guyane Francaise. Mem. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine, 7: 279-285.
- MORAIS DE (J.O.), 1977** - Evolução sedimentar da área adjacente do porto de Itaquí, Estado do Maranhão, Brasil. Arq. Cienc. Mar., 17, (2): 143-152.
- MORAIS DE (J.O.), 1977** - Processos de sedimentação na baía de São Marcos, Estado do Maranhão, Brasil. Arq. Cienc. Mar., 17, (2): 153-164.
- NEDECO, 1968** - Suriname transportation study. Netherlands Engineer. Consult., 293p.
- NONN (H.), 1966** - Les regions cotieres de la Galice (Espagne), thèse: etude geomorphologique, Unive. Paris, 304p.
- OTTMANN (F.), 1965** - Introduction à la géologie marine et littorale, Edit. Masson, 260p.
- PALMA (J.J.C.), 1977** - Relatório de operação e resultados de processamento. LXII Comissão Oceanografia - Operacao GEOMAR VIII - Costa Nordeste 1, geologia marinha, NOc. Almirante Camara. Relat. interno, DNPM, 07/09 a 16/10/1975, 19p.

- PALMA (J.J.C.),** 1979 - Geomorfologia da plataforma norte brasileira. REMAC, no.7: 25-51.
- PENTEADO (A.R.),** 1964 - O Atlântico Sul. In: Azevedo, A. (ed.). Brasil, a terra e o homem, vol. I. As bases físicas, Com. Edit. Nac., São Paulo: 307-339.
- PERILLO (G.M.E.) and SEQUEIRA (M.E.),** 1989 - Geomorphologic and sediment transport characteristics of the Middle reach of the Bahia Blanca estuary (Argentina). Journ. Geophys. Research., vol94, no.10: 14351-14362.
- POLIS (D.F.E.) and KUPFERMAN (S.L.),** 1973 - Physical Oceanography (Delaware Bay). Report Ser. no.4, Univ. Delaware: 7-143.
- POMERANCBLUM (M.) et COSTA (M.P. de A.),** 1977 - Sedimentologia da plataforma continental Norte brasileira. REMAC, no.1:125-146.
- PRITCHARD (D.W.),** 1952 - Salinity distribution and circulation in the Chesapeake bay estuarine system. Journ. Mar. Research.: 106-123.
- PROST (M.T.),** 1986 - Observations sur l'évolution morphosedimentaire du littoral Guyanais. Intern. Symp. Sea Level Changes and Quatern. Shorelin., São Paulo, 07/1986, 20p.
- PROST (M.T.),** 1988 - L'envasement des côtes des Guyanes. La Recherche Scientifique en Guyane. Journ. du C.N.E.S., no.52: 15-16.
- REINECK (H.E.),** 1967 - Layered sediments of tidal flats, beaches and shelf bottoms of the North Sea, Estuaries. Am. Assoc. Advanc. Sci. Public., no.83: 191-206.
- RINE (J.M.) and GINSBURG (R.M.),** 1985 - Depositional facies of the mud shoreface in Suriname, South America. A mud analogue to sandy, shallow marine deposits. Univ. of Miami: 633-651.
- RUBIN (D.M.) and MC CULLOCH (D.S.),** 1980 - Single and surimposed bedforms: a synthesis of San Francisco Bay and plume observations. Sedim. Geol., vol. 26: 207-231.

LÉGENDES DES FIGURES

Figure 1 - La baie de São Marcos dans le cadre du golfe du Maranhão. Le carré indique la région étudiée. L'intervalle des courbes est en mètres (m). - The São Marcos bay in the frame of the Maranhão gulf. The square showing the study area. the contour interval is in meters (m).

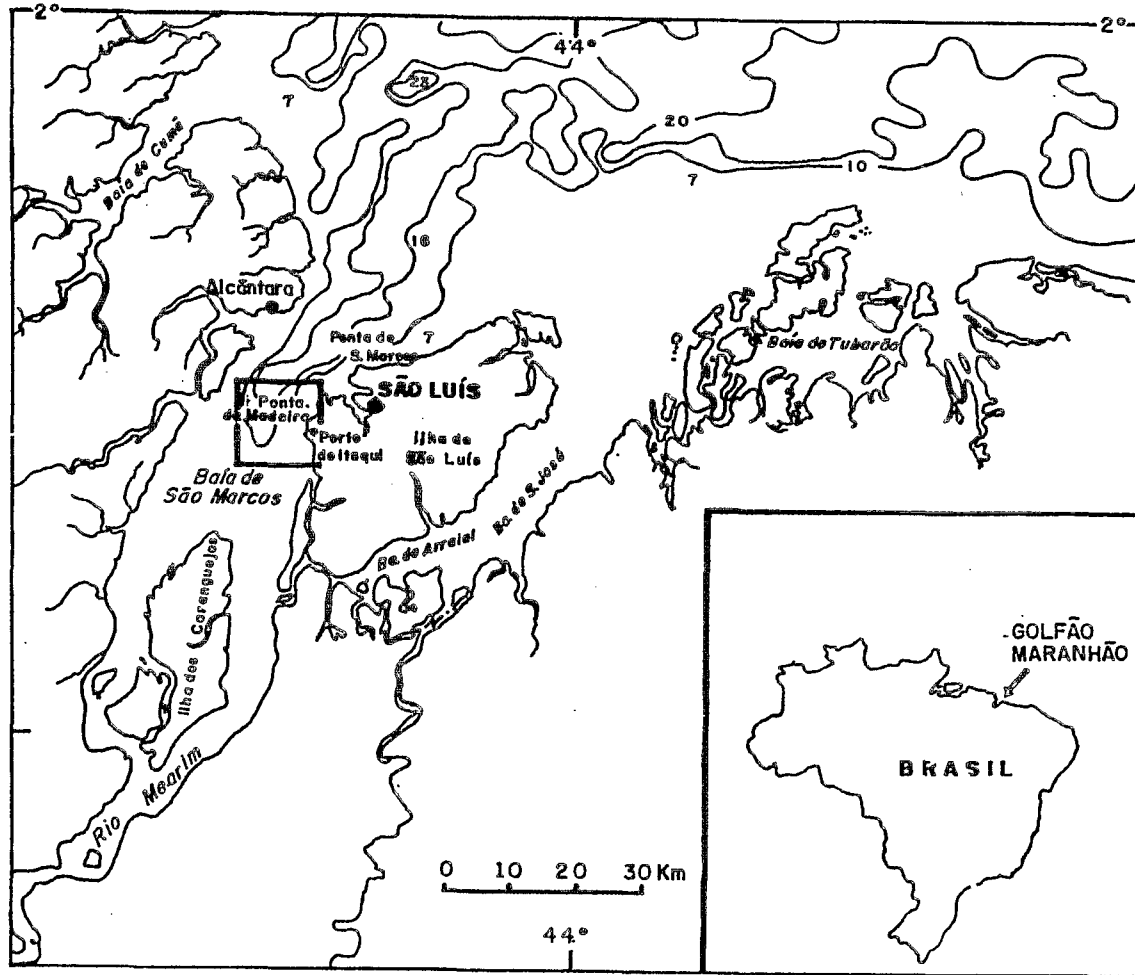
Figure 2 - La baie de São Marcos est encadrée par l'Ile de São Luís à l'Est et par le continent à l'Ouest. L'Ile dos Caranguejos occupe une grande surface dans la baie de São Marcos. Le carré indique la région étudiée. - The São Marcos bay is framed by the São Luís Island to the East and the continent to the West. The Caranguejos Island to occupy a important surface in the São Marcos bay. The square showing the study area.

Figure 3 - Évolution du fond dans le secteur d'Itaquí (Baie de São Marcos). Source: Carte no. 413 de la Marine Brésilienne (1976,1986). Les sondages sont réduits approximativement au niveau de la marée basse moyenne. (a), (B) et (C) sont les bras du chenal de navigation. Bc: banc; I: Ile; Pta: Pointe. L'intervalle des courbes est en mètres (m). - Evolution of the bottom of the Itaquí area that is situated in the São Marcos bay. Source: Map no.413 of the Brazilian Navy (1976, 1984). The sonic soundings are reduced approximately at the medium low tide. (a), (b) and (c) are the arms of the Navigation canal. Bc: bank; I: Island; Pta: Point. The contour interval is in meters (m).

Figure 4 - Profils bathymétriques sériées dans le secteur du port d'Itaquí. Source: carte no.413 de la Marine brésilienne:(----1974;----1984). Les zones en élévation sont en hachures verticales, alors que les zones en approfondissement sont en noir. (b) et (c) sont les bras du chenal de navigation. La profondeur est en mètres (m). - Seriated bathymetric profiles in the area of the Itaquí Harbour. Source: Map no.413 of the Brazilian Navy (1974 ; 1984). The raising areas are in vertical hatchings, then the deepening areas are in black. (b) and (c) are the arms of the Navigation canal. The deepening is in meters (m).

Figure 5 - Carte bathymétrique (PALMA 1979). 1 - banc de Cururupu; 2 - Massifs sableux de la dépression du Maranhão. L'intervalle des courbes est en kilomètres (km). - Bathymetric map (Palma 1979). 1 - Cururupu bank; 2 - Sandy massives of the Maranhão depression. The contour interval is in kilometers (km).

FIGURE 1



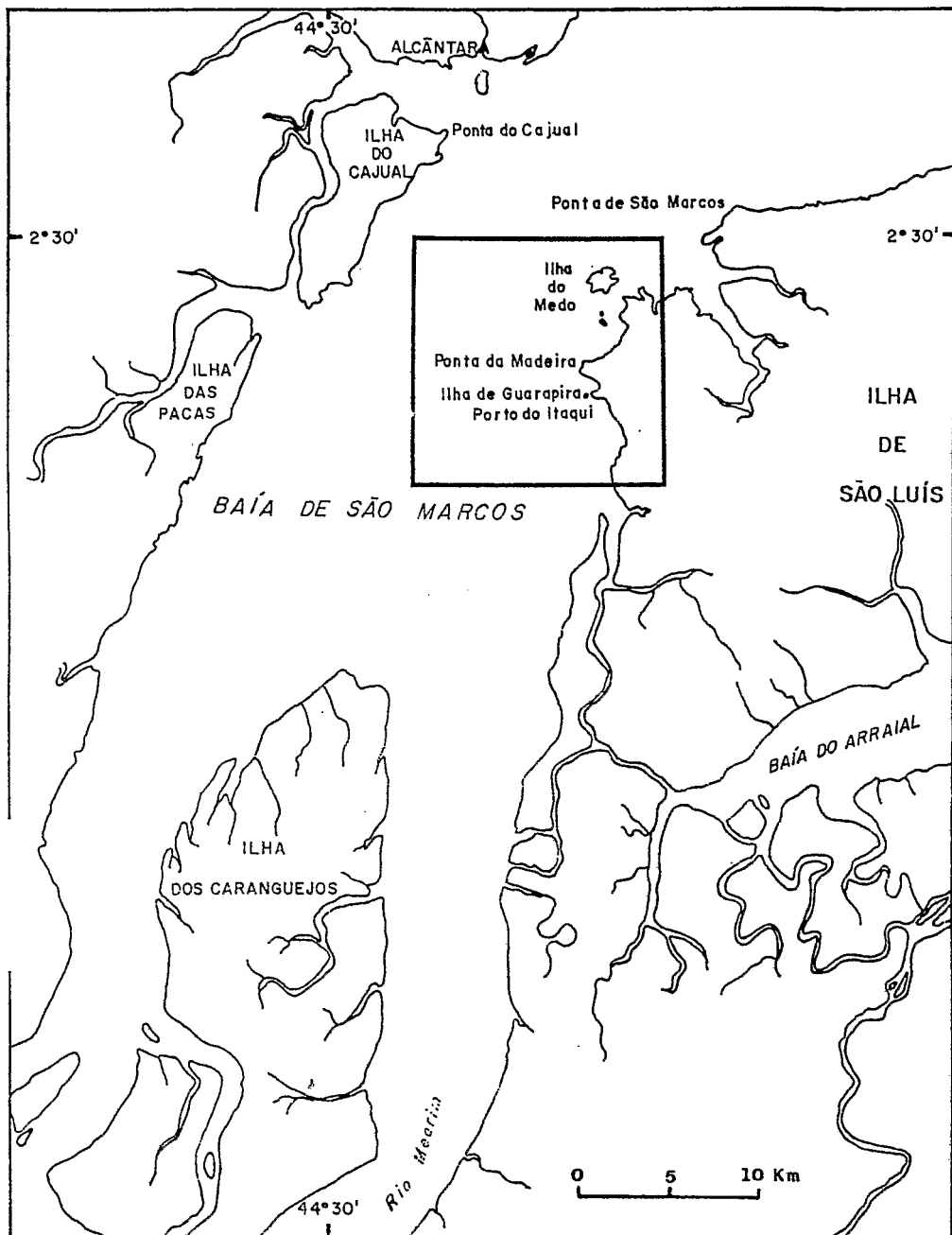


FIGURE 2

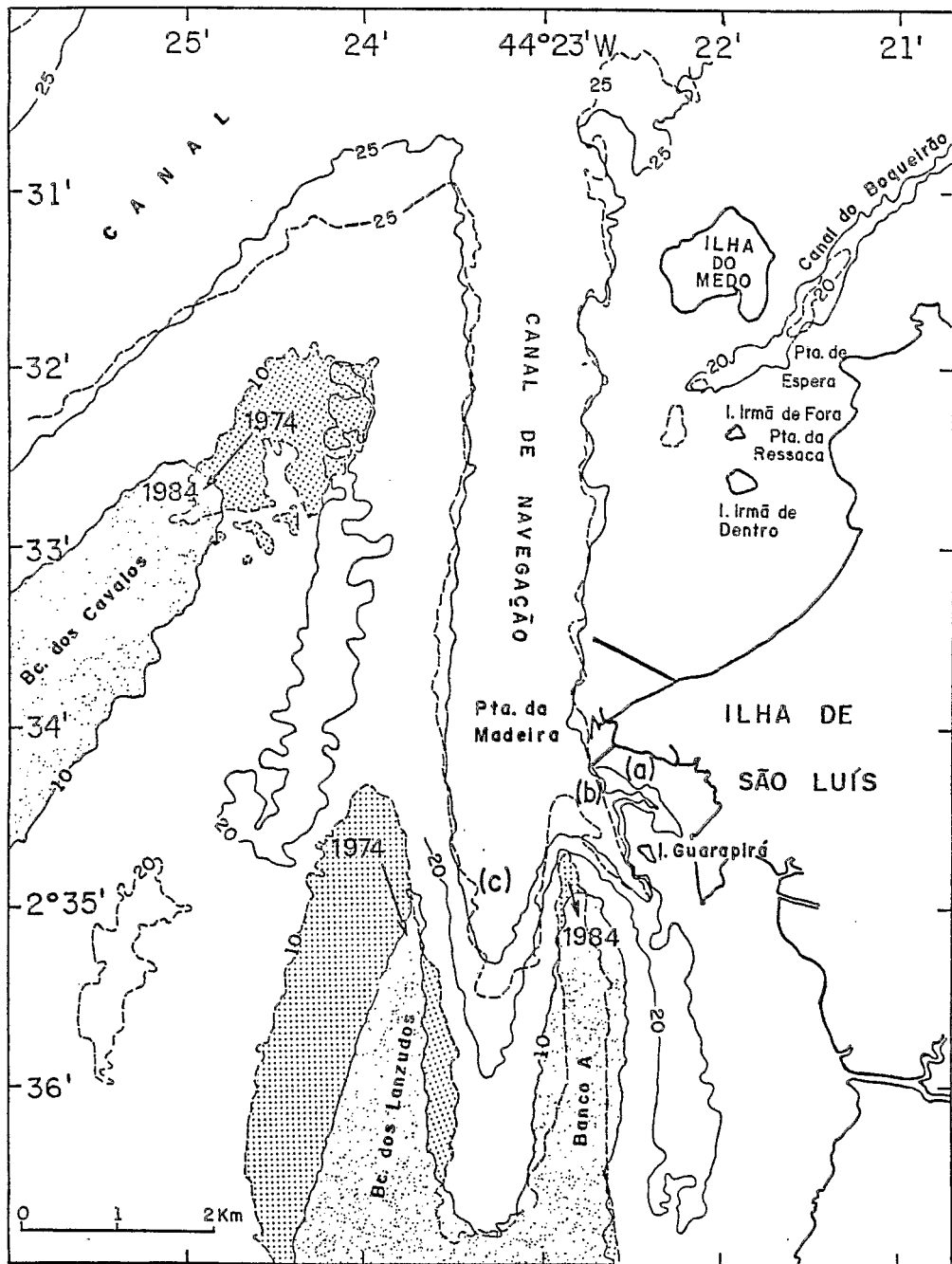


FIGURE 3

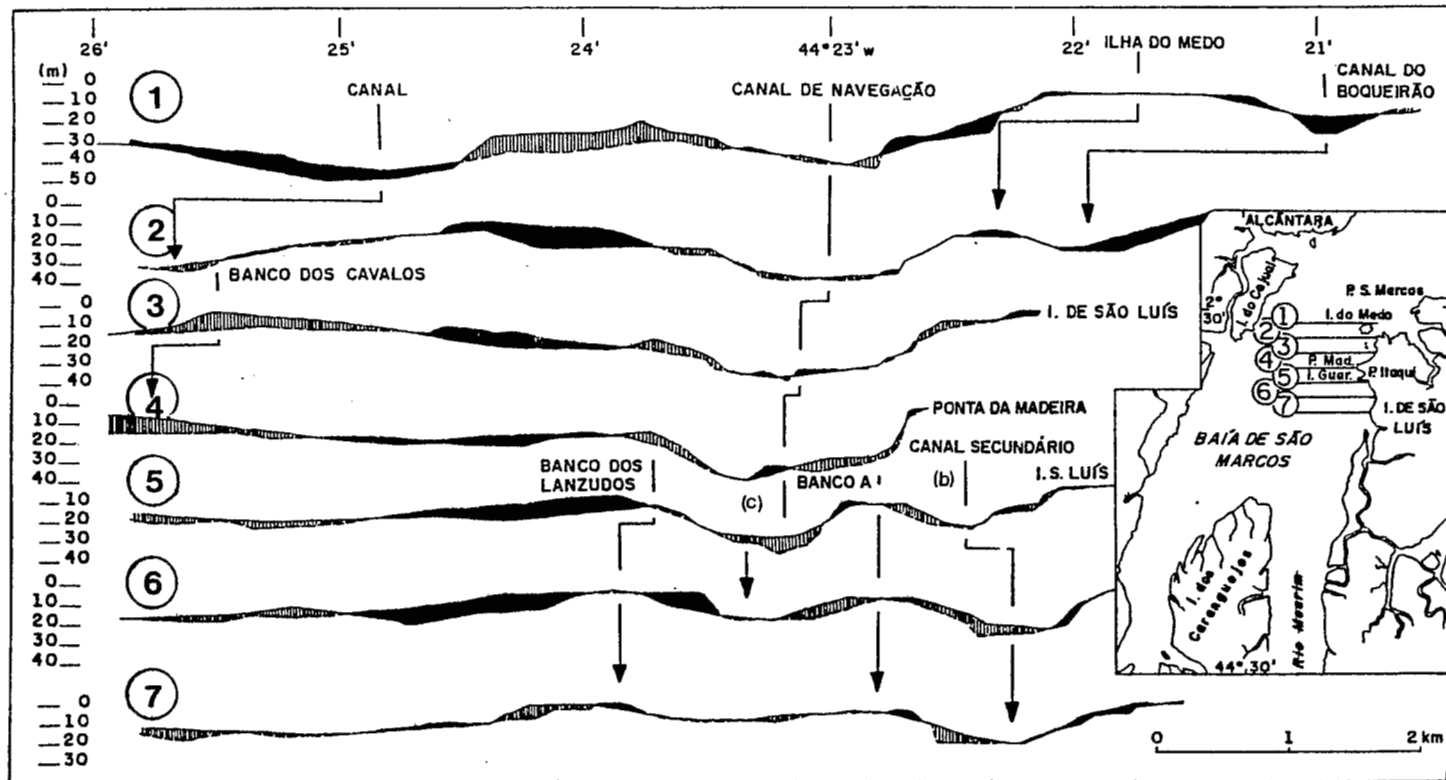


FIGURE 4

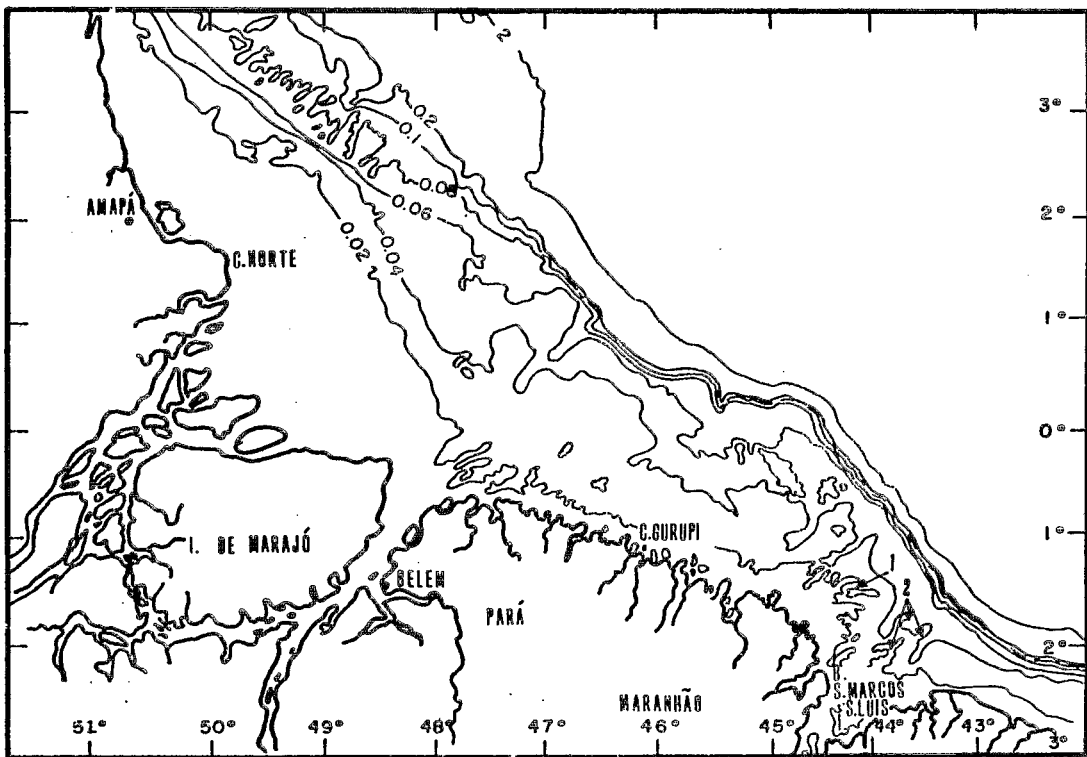


FIGURE 5