

## ARARI, ETUDE D'UN LAC TROPICAL ILE DE MARAJÓ (BRÉSIL)

Helenice VITAL & Luis Ercílio do Carmo FARIA JR<sup>1</sup>

### RESUME

Le lac Arari, qui se situe dans la partie Est de l'île de Marajó (Etat du Pará) est - par les conditions physico-chimiques de ses eaux - un lac d'eau "blanche" dont la caractéristique principale est une extrême variation saisonnière. Les argiles lacustres sont surtout la kaolinite, l'illite et la smectite. Des niveaux composés d'éléments halo-chimiques sous forme de grains sub-arrondis d'hydroxyde de fer ont été reconnus également. Le taux élevé de sédimentation (1,8 mm/an) et les formes préservées autour du lac - observées sur les images radar - démontrent que le lac Arari dérive d'un ancien lac bien plus vaste et dont l'évolution a été complexe.

### ABSTRACT

This work was carried out in the Arari lake on the Marajó Island (Pará-Brazil) which is characterized by an extreme seasonal variation. On the one hand, the physico-chemical conditions in this fresh-water lake (temperature, salinity, pH, oxygen dissolved, conductivity) indicate that it is a typical "white water lake". On the other hand, X-ray analysis revealed that kaolinite, illite and smectite are the dominant clay materials in the suspension materials and in the bottom sediments of the lake. Levels of allochemical components (constituted of iron hydroxides) were recognized and are represented by intraconglomerates in the mud. Trace elements were identified (Cu, Zn, Mn and Fe) in very low concentrations: they indicate the unpolluted nature of the region by trace metals. The high accumulation of excess Pb-210 activity in the lake bottom and the preserved geomorphic features around the lake - seen in radar images - allow us to uphold that the Arari is a remnant of a much larger lake.

Mots-clés: Lac Arari, Minéralogie des argiles, Sédimentation, Pará, Brésil.

Key-words: Arari lake, Clay mineralogy, Sedimentation, Pará, Brazil

---

(1) Universidade Federal do Pará (PROMAR/DGL/CG). Belém. Brasil.

## INTRODUCTION

L'île de Marajó - ainsi qu'une multitude d'îles mineures - fait partie du paysage de "rias" qui caractérise l'importante région côtière du Nord du Brésil (fig.1). Il s'agit d'une zone littorale extrêmement plane, dont les nombreuses îles sont séparées du continent par des goulets, des criques et des bras fluviaux d'une part, et par une vaste plaine continentale d'autre part. Celle-ci est entrecoupée par des estuaires et par des vallées assez larges, submergées par les fleuves qui deviennent très étroits vers l'intérieur (FARIA JR., 1987)

Le lac Arari - qui se trouve dans la partie orientale de l'île de Marajó, au milieu de savanes basses ("campos") - est un réservoir aqueux et poissonneux important, mais dont le cycle hydrologique subit l'extrême variation saisonnière annuelle qui caractérise cette région. En effet, des périodes de sécheresse, parfois prolongées, alternent avec des crues durables, produisant des variations significatives dans les conditions hydrodynamiques, physico-chimiques et sédimentologiques du lac.

L'évolution physiographique du lac Arari pendant les derniers milliers d'années a fait l'objet d'études appuyées sur la photo-interprétation de l'île de Marajó et sur la sédimentologie du lac. D'autres recherches (radio-isotopiques et tectoniques) ont suivi afin d'aboutir à un modèle sur la formation de l'île de Marajó et du Arari.

## I - STRUCTURE REGIONALE ET STRATIGRAPHIE DU BASSIN DE MARAJÓ

### A - La structure régionale

L'île de Marajó fait partie du bassin sédimentaire de l'embouchure de l'Amazonie (fig.2) comprenant - entre autres - une partie immergée (LUDWIG, 1964; CASTRO & VASCONCELOS, 1970) et une partie submergée (plate-forme continentale).

Le bassin est limité au nord-ouest par le bouclier des Guyanes et au sud-ouest par le bouclier Central Brésilien. L'arc de Gurupí - qui se situe entre les deux boucliers - sépare le bassin paléozoïque du Bas-Amazone du bassin de Marajó, alors que l'arc de Tocantins sépare ce dernier du bassin du Maranhão (fig.2). Au nord, le bassin s'étend vers le large, jusqu'au talus continental.

La structure régionale du bassin est relativement simple et résulte (a) de l'effort de distension et (b) des failles actives depuis le Crétacé Supérieur : deux grands grabens (Limoeiro et Mexiana) et deux plate-formes (Pará-Maranhão et l'Amapá) forment la base structurale de la région. Le graben de Limoeiro, de direction générale NE-SW, sépare d'une part le bassin du Bas-Amazone de la plate-forme du Pará. Quant au graben de Mexiana, il sépare le bassin de Marajó de la plate-forme de l'Amapá, l'ensemble dessinant un vaste monoclinale avec un plongement modéré vers le SE.

## B - La stratigraphie du bassin

La stratigraphie du bassin de l'embouchure révèle une épaisse série de sédiments néo-crétacés et cénozoïques qui repose, en discordance, sur le socle précambrien formé par des granite-gneiss, schistes, quartz et phyllites (SCHALLER & al., 1971). Cette séquence a une expression régionale car des restes paléozoïques sont également présents au-dessous des séquences cénozoïques dans les bassins du Bas-Amazone et du Maranhão (SCHALLER & al., 1971).

En ce qui concerne l'évolution tectono-sédimentaire, il est admis que la sédimentation dans le bassin de l'embouchure a commencé au Trias Supérieur (130 M.a), associée au processus du rift et à la séparation entre l'Amérique du Sud et l'Afrique (REZENDE & FERRADAES, 1971). Ainsi, la typologie du bassin peut être associée soit au type Atlantique sur une marge passive, soit au type V proposé par KLEMME (1971).

Le remplissage des grabens de Limoeiro et Mexiana débuta par des sédiments continentaux, provenant du sud-ouest, et s'est poursuivie par des sédiments silico-clastiques d'origine andine (Miocène). Malgré les transgressions qui se sont produites, les sédiments clastiques ont toujours prédominé dans l'ensemble du bassin.

## II - LE GEOSYSTEME DU LAC ARARI

### A. - L'Ararí, un lac d'eaux "blanches"

L'étude du géosystème du lac Arari a été faite pendant un cycle hydrologique annuel (VITAL, 1988) comprenant les conditions hydrodynamiques, les propriétés physico-chimiques saisonnières des eaux, la teneur et la composition des

solides en suspension, la minéralogie et les propriétés texturales des sédiments des fonds, leur distribution spatiale et la géochimie des éléments traces.

Ces paramètres varient en fonction des saisons : pendant la saison humide, de février à juin, le lac Arari atteint 200 km<sup>2</sup>, avec des profondeurs moyennes de l'ordre de 2,5 m (maximum : 5 m); par contre, en saison sèche (septembre à décembre), les eaux disparaissent presque entièrement (VITAL, 1988). Les moyennes annuelles de températures et de précipitations ont été respectivement 27°.9 C et 2546,2 mm en 1987 (VITAL, 1988). Le maximum pluviométrique a été atteint au mois de mars (613 mm) et le minimum au mois de novembre (néant).

Les données physico-chimiques des eaux lacustres indiquent des conditions typiques d'un lac "d'eaux blanches" (VITAL, 1988), à savoir : pH relativement neutre (6.8-7.0), température moyenne de 27°.8 C, conductivité entre 50 et 100 umhos/cm et teneur d'oxygène dissous entre 7.5 et 8.2 mg/l.

### 1) Teneur et composition des sédiments en suspension

Les eaux du lac sont caractérisées principalement par une turbidité élevée à cause des substances en suspension permanente dans l'eau (argiles, silts, micro-organismes), ce qui leur confère une coloration brun-jaunâtre (VITAL H. & FARIA JR, 1990).

Il y a de grandes différences dans la concentration moyenne des sédiments en suspension dans les périodes humide et sèche. Pendant la première, les valeurs varient entre un maximum de 176 mg/l et un minimum de 157 mg/l, alors que en saison sèche, les valeurs sont de l'ordre de 839 mg/l maximum et de 427 mg/l minimum.

Quels sont les processus responsables de l'augmentation des sédiments en suspension?

- Le premier, logique, est l'intense évaporation de la période sèche qui provoque un abaissement considérable du niveau des eaux (50% ) et une augmentation de la concentration des sédiments dans l'eau.

- Le second est la présence, proche du fond, d'une couche dense et immobile d'argiles floкулées, facilement remobilisée par l'agitation des eaux, par les vents (quand la profondeur de l'eau graduellement diminue), par le passage des embarcations ou même par l'immersion d'instruments océanographiques. Par contre, pendant l'hiver, lorsque les précipitations sont plus intenses et que les apports

fluviaux et pluviaux du lac augmentent, les argiles en suspension sont plus diluées ou s'accumulent dans les zones profondes. Des profils bathymétriques réalisés pendant cette période montrent la présence de points discontinus interprétés comme des "écho-fantômes" de cette couche.

## 2) Les composants biologiques

Des prélèvements d'eaux du lac Arari ont été faits à des fins biologiques. La composition d'individus de phytoplancton varie en fonction du milieu et des variations saisonnières (SILVA, en cours) à savoir : flux et reflux des eaux, pénétration de la lumière, éléments nutritifs et destruction du phytoplancton par le zooplancton herbivore.

Pendant la période sèche il y a une forte concentration d'individus de phytoplancton (SILVA, en cours), notamment: BACILLARIOPHYCEAE genre *Melosira* sp, CYANOPHYCEAE genre *Oscillatoria* sp et CHLOROPHYCEAE genre *Micrasteria* sp. Pendant la période des crues, par contre, ces mêmes espèces se réduisent et prédomine le genre *Oscillatoria* sp. Le zooplancton est représenté surtout par des phylum ROTIFERA (*Keratella* sp, *Collotheca* sp, *Eilinia* sp, *Brachiomus* sp, *Sinatherina* sp, *Trichocerca* sp) et ARTHROPODA, Classe CRUSTACEA, sous-classes COPEPODA et BRANCHIOPODA (*Diaplanosoma* sp, *Bosmina* sp, *Bosminopsis* sp), en plus de nauplios de CICLOPOIDA E CALANOIDA.

Les variations observées par SILVA doivent être liées aux concentrations d'éléments nutritifs, d'ions dissous et à la dilution de la suspension, car les paramètres physiques et chimiques des eaux (température, O<sub>2</sub>, salinité et pH) - qui peuvent causer des changements qualitatifs et quantitatifs du plancton - n'ont pas subi des variations significatives pendant la même période d'étude.

## B - Circulation des eaux et dispersion des sédiments

L'influence prédominante des vents du secteur NE sur l'hydrodynamique du lac est fondamentale. Les vents provoquent des courants dont les vitesses maximales sont de l'ordre de 52 cm/s en surface (au débouché du Rio Arari dans le lac) et de 42 cm/sec. à 2 m de profondeur, avec une direction préférentielle SE-NE renforcée par le vecteur moyen E-SE. Les valeurs élevées du vecteur magnitude du courant obtenues dans le lac Arari sont 56% respectivement en surface et 72% à 2 m de profondeur. Les vitesses de courants changent entre la

partie centrale du lac (plus faibles) et la proximité du débouché du fleuve Arari (plus fortes). Quant aux courants provoqués par le vent, ils rémanient les sédiments de fond sous faible épaisseur d'eau.

L'action continue des courants a un impact géomorphologique : la rive occidentale du lac est en érosion sous l'action des eaux entraînées par les courants, alors que la rive orientale reste le site d'accumulation sableuse significative (fig. 3).

### C - Sources, nature, distribution et évolution des sédiments fins du lac

Les sédiments du lac Arari sont apportés par les fleuves (comme le Rio Arari), par les marées dynamiques, par l'érosion pluviale de la zone externe voisine et par l'érosion de rivages provoquées par les courants de surface. Il s'agit principalement des boues riches en matière organique, en kaolinite, illite, smectite et chlorite.

L'analyse semi-quantitative de la composition de argiles révèle que (a) les sédiments en suspension sont constitués principalement de kaolinite alors que (b) les sédiments de fond se distribuent en trois zones argileuses principales, à savoir :

(I) Portion sud et extrémité NE du lac - kaolinite > smectite > illite ;

(II) Partie Centre-Nord et extrémité NNW - kaolinite > illite > smectite ;

(III) Partie centrale - illite > kaolinite > smectite (fig. 4) (VITAL & FARIA JR., 1989).

Alors que l'abondance de la kaolinite reflète sa relation génétique avec les terrains tropicaux sujets aux climats humides et à une forte météorisation, la chlorite - sous forme de traces - est liée à des processus chimiques intenses. L'importance de la smectite - principalement dans la paragenèse de type I - est normale, car caractéristique des milieux paraliques et lacustres. La prédominance de l'illite - considérée comme préférentiellement marine (HIRST, 1962) - sur la smectite dans les paragenèses de type I et III, suggère trois sources (isolées ou non) à savoir : (a) les marées dynamiques (b) l'érosion de sédiments argileux des zones immergées voisines du lac (c) ou encore l'accumulation sous des conditions marines pendant la submersion pléistocène de cette partie de l'île de Marajó.

Des fentes de contraction ainsi que des grains sub-arrondis d'hydroxydes de fer, de 2 à 4 mm de diamètre, apparaissent dans les petites îles du lac (qui sont submergées par les crues). Les grains se forment à partir de multiples sécheresses

des fonds du lac. Ceci reflète des conditions climatiques spécifiques de la région pendant la saison des pluies, avec l'hydrolise et la libération du fer, alors que pendant la saison sèche, le sédiment se minéralise et fixe le fer. Ainsi, la vigueur et la durée des périodes sèches sont à l'origine de la formation des niveaux des crypto-conglomérats halo-chimiques.

## D - Géochimie des éléments traces

Le lac Arari n'est pas pollué, mais il est essentiel de connaître et de suivre le taux des métaux afin d'éviter les possibles impacts futurs sur l'environnement.

La recherche de Cu, Zn, Mn, Pb, Co, Ni, Cr, Cd et Fe a été faite dans les sédiments du fond; ont été détectés des concentrations réduites de cuivre, de zinc, de manganèse et de fer. Le degré d'affinités entre les métaux détectés a été examiné à partir d'un tableau de corrélation, en établissant une relation linéaire pour les concentrations des métaux dans la fraction mobile des sédiments du fond. Ce traitement statistique fait apparaître les tendances d'une ressemblance des métaux avec leurs sources et avec le milieu, comme proposé par LACERDA (1983).

La relation Cuivre x Zinc présente une bonne corrélation positive qui s'accroît lorsqu'on utilise la relation Cuivre x Zinc et Cuivre x Cuivre/Zinc. D'autre part, les relations Cuivre x Manganèse et Cuivre x Fer présentent des corrélations négatives à cause de l'association probable du Cuivre avec les argilo-minéraux et non avec les oxydes de Fer (Fe) et de Manganèse (Mn).

En conclusion, les concentrations d'éléments traces dans le lac Arari sont contrôlées par la photosynthèse, le renouvellement de la biomasse et l'apport de sédiments dans les eaux naturelles. Ce sont ces paramètres qui véhiculent les métaux qui seront incorporés à la biomasse ou absorbés par les particules sédimentaires.

Il est certain que l'action anthropique dans les teneurs des métaux contenus dans le lac est inexpressive jusqu'à présent.

## III - LE TAUX DE SEDIMENTATION ET L'EVOLUTION REGIONALE

Le taux de sédimentation dans le lac Arari ont été obtenus par Pb-210. Un profil caractéristique montre une zone superficielle plutôt homogène au-dessous

de laquelle l'activité du Pb-210 diminue vers un niveau inférieur constant (moyen - "background"). L'excès d'activité du Pb-210 est déterminé pour chaque partie de la carotte (Pb-210 en excès = Pb-210 total - Pb-210 supporté).

La *couche superficielle* - qui a une profondeur moyenne de l'ordre de 5 cm et une activité du Pb-210 de 6 désintégrations par minute (dpm/mg) - varie avec les saisons. La *zone de diminution radio-active*, est située entre 5 et 14 cm de profondeur dans le substratum du lac; c'est dans celle-ci qui ont été calculées les vitesses d'accumulation. Enfin, au-dessous de cette couche - là où l'activité du Pb-210 atteint une constante de niveau inférieur - se trouve le *niveau de "background"*. Ce dernier représente le Pb-210 provenant de Ra-226 dans le sédiment (Pb-210 supporté) Il a été difficile d'estimer avec précision le "background" du lac Arari, en raison des faibles profondeurs des carottes. Cependant, selon le Pb-210 supporté, la valeur obtenue de 0,6 dpm/mg peut être considérée comme valable.

L'activité du Pb-210 en excès a été déterminée à chaque point de la carotte, en vérifiant que la couche superficielle décrite auparavant se trouvait à des profondeurs variables. Elle est spécialement épaisse à la proximité de l'embouchure de la rivière Jenipapocu (nord du lac), probablement à cause des passages des buffles et du bétail, animaux qui contribuent à un mélange dans des endroits plus profonds. En s'appuyant sur les données ci-dessus, il nous a été possible d'estimer que la géochronologie du Pb-210 révèle un taux de sédimentation continu de l'ordre de *1.8 mm/an*.

Or, la courbe eustatique holocène établie pour le Surinam (BRINKMAN & PONS 1968 in PROST, 1986), montre un maximum transgressif à 6000 ans BP (+2, +3) suivi par un niveau relativement "stable" jusqu'à nos jours. Transposer cette interprétation pour la région de Marajó c'est admettre que les 11 mètres supérieurs du substratum sédimentaire du lac Arari ont été accumulés à partir de 6 000 BP ( $0,00018 \text{ m/an} \times 6000 \text{ ans} = \text{à } 10.0 \text{ m}$ ) en milieu fluvio-lacustre. C'est aussi admettre qu'avant le maximum transgressif, la sédimentation alluviale dans des cours à méandres - auparavant prépondérante - aurait diminué, à l'exemple de la dynamique actuelle observée par des images radar (fig. 6). A partir de la submersion graduelle du drainage continental par la remontée du niveau marin il y a eu formation d'un grand lac qui a été graduellement comblé.

#### IV - DISCUSSION ET CONCLUSION

L'actuel lac Arari se situe à l'intérieur d'une vaste zone de sédimentation fluvio-lacustre (ISSLER et al, 1974 in Projecto Radam, 1974) dont l'évolution a imposé ses formes aux rives du lac : la rive ouest (fig.6) est limitée au sud par une structure linéaire homogène de direction E-W. alors qu'au nord et à l'est, les limites du lac sont irrégulières et interdigitalisées avec la région des savanes.

Surtout, les images radar et les photos aériennes révèlent une saisissante morphologie fluvio-lacustre sous la forme de paléo-chenaux, de petit lacs et de cordons fluvio-lacustres, sub-parallèles à la rive orientale. Les cordons infléchissent vers le sud, suivant la direction structurale E-W qui se trouve en marge de cette région.

La forme et la disposition de ces paléo-chenaux témoignent des paléoenvironnements. Par exemple, à 6 km de la rive orientale (partie centrale) la disposition d'un paléo-chenal indique des courants NE-SW. Au-delà, l'orientation de nombreux et puissants paléo-chenaux révèle que le drainage de l'actuelle partie centrale de l'île a été autrefois exogène, communiquant avec l'Océan. La région a été sans doute le site d'un vaste lac dont l'actuel Arari serait le témoin (PORSANI, 1981). En outre, les variations saisonnières du niveau des eaux (VITAL, 1988) confortent cette hypothèse : les cordons linéaires sub-parallèles à la rive orientale seraient d'anciens rivages successifs, abandonnés progressivement pendant le comblement. Les lacs mineurs qui se trouvent au niveau de l'enchevêtrement des paléo-chenaux correspondraient à des lacs reliques, comme l'Ararf.

La sédimentation du lac a eu lieu, très vraisemblablement, sous l'emprise des processus variés et à différentes échelles spatio-temporelles combinant d'une part (a) des variations climatiques et (b) des changements du niveau des eaux et, d'autre part (d) l'ensablement par comblement, (f) les variations de l'apport dû à des changements locaux du drainage, etc (VITAL, 1988). Ces derniers sont bien visibles sur les images radar et sur les photographies aériennes grâce au contraste qui présente la région voisine du lac avec le reste de l'île de Marajó.

L'essai d'attribuer un âge pour le début de la formation du lac Arari se trouve ici appuyé sur son taux de sédimentation. Nous soutenons que c'est seulement après le maximum transgressif holocène (6000 ans BP, +2, +3) et la relative "stabilisation" de niveau marin jusqu'à l'Actuel, qu'il y a eu isolement du

système fluvio-lacustre de l'intérieur de l'île de Marajó dont le corollaire a été le comblement du lac majeur.

Considérant les caractéristiques tectoniques de la région (fig.2), il est possible d'admettre que la partie de l'île de Marajó où se trouve le lac Arari était immergé au Pléistocène et que, depuis lors, subit un soulèvement (VITAL, 1988; FARIA JR & VITAL, 1989). C'est seulement après le maximum transgressif holocène qu'il y a eu formation du paysage fluvio-lagunaire de la région avec son système d'îles, criques, goulets et lacs .

EN CONCLUSION, la formation du lac Arari peut-être résumée comme suit :

a) Pendant le Pléistocène :

- Le bassin de l'embouchure de l'Amazone subit un mouvement tectonique avec remplissage des grabens de Limoeiro et de Mexiana.
- Il y a submersion pendant les périodes transgressives interglaciaires
- Pendant la dernière régression pléistocène le niveau de la mer se trouve à - 100 m (MILIMAN et al., 1975 in VITAL, 1988)

b) Pendant l'Holocène :

- Les conditions continentales sont dominées par une sédimentation alluviale dans un système de fleuves à méandres (comparable au modèle actuel, observé sur des images radar).
- Vers 6000 ans BP, le niveau de la mer atteint le maximum transgressif (+2, +3 m).
- La submersion graduelle du drainage continental est à l'origine de la formation de l'île de Marajó.
- L'accumulation fluvio-lacustre du lac subit l'influence des fluctuations marines.
- Le comblement postérieur provoque l'individualisation des lacs mineurs et leur ensablement

Dans ce contexte, la formation de l'actuel lac d'Arari représente très vraisemblablement le dernier épisode majeur de cette évolution.

**BIBLIOGRAPHIE**

- CASTRO, J.C.; VASCONCELOS, D.N.** - 1970 - Estudo Sedimentológico Integrado da Bacia do Marajó e do 1-PAB-1. Relatório Interno. Belém, PETROBRAS. 11p.
- FARIA JR, L.E.C.** - 1987 - Geologia e Geomorfologia do Quaternário da região costeira do Estado do Pará. In: 1º. Congresso da ABEQUA Resumos. Pôrto Alegre, Brasil.
- FARIA JR, L.E.C.; VITAL, H.** - 1989 - O lago Arari e a formação da ilha de Marajó(PA). In 2º. Congresso da ABEQUA Rio de Janeiro, Brasil.
- HIRST, D.M.** - 1962 - The geochemistry of modern sediment from the Gulf of Paria II. The location and distributions of trace elements. *Geochim. Cosmoc. Acta.* 26:1147-1187.
- KLEMME, H.D.** - 1971 - What Giants and their Basins have in commom. The oil and gas journal. 3:1-15.
- KOIDE, M.; BRULAND, K.W.; GOLDBERG, E.D.** -1973 - Th-238/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 37:1171-1187.
- KRISHNASWAMI, L.D.; MARTIM, J.M.; MEYBECK, M.** - 1971 - Geochronology of the lakes sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 11: 407-414.
- LACERDA, L.D.** - 1983 - Aplicação da Metodologia de Abordagem pelos parâmetros críticos no Estudo da Poluição por Metais Pesados na Baía de Sepetiba, RJ. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica da UFRJ. 136p.
- LERMAN, A.** - 1978 - LAKES: Chemistry.Geology. Physics.New York, Springer - Verlag. 363p.
- LUDWIG, G.** - 1964 - Geology of Marajó Basin. Relatório interno.Rio de Janeiro, PETROBRAS. 67p.

- PORSANI, M.J.** - 1981 - Paleocanais, uma opção para a prospecção de água subterrânea rasa na Ilha de Marajó-PA. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NCGG. 109p.
- PROJETO RADAM** - 1974 - Levantamento de Recursos Naturais. Fôlha SA-22 Belém. Rio de Janeiro, v. 5.
- PROST, M.T.** - 1986 - Observations sur l'évolution morphosédimentaire du littoral guyanais. In: International. Symposium. on Sea Level Changes and Quaternary Shorelines. São Paulo. 23 p.
- REZENDE, W.M.; FERRADAES, J.O.** - 1971 - Interpretação Geológica Regional da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. In Anais do XXV Cong. Bras. de Geol. Belém, v 3, p. 203-214.
- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C.** - 1971 - Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: Anais do XXV Cong. Bras. de Geol., São Paulo. Brasil SBG. v. 3, p. 189-202.
- SILVA, L.M.** - (no prelo) - Efeitos da Sazonalidade nas características Hidrogeoquímicas e Limnológicas das águas do lago Arari. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/CPGG.
- VITAL, H.** - 1988 - Estudo do Geossistema do Lago Arari-Ilha de Marajó (PA). Tese de Mestrado, CPGG/UFPA, Belém. 106p.
- VITAL, H.; FARIA JR, L.E.C.** - 1989 - Mineralogia e Geoquímica dos sedimentos do Lago Arari, Ilha de Marajó/PA. In: Congresso da ABEQUA, II. Rio de Janeiro, Brasil.
- VITAL, H.; FARIA JR, L.E.C.** - 1990 - O Sistema Hidrodinâmico e a Suspensão do Lago Arari-Ilha de Marajó (PA). In: Anais do 36º Congresso Brasileiro de Geologia. Natal-RN. V. 2, p. 719-732 (Ref. PROMAR - 0030).

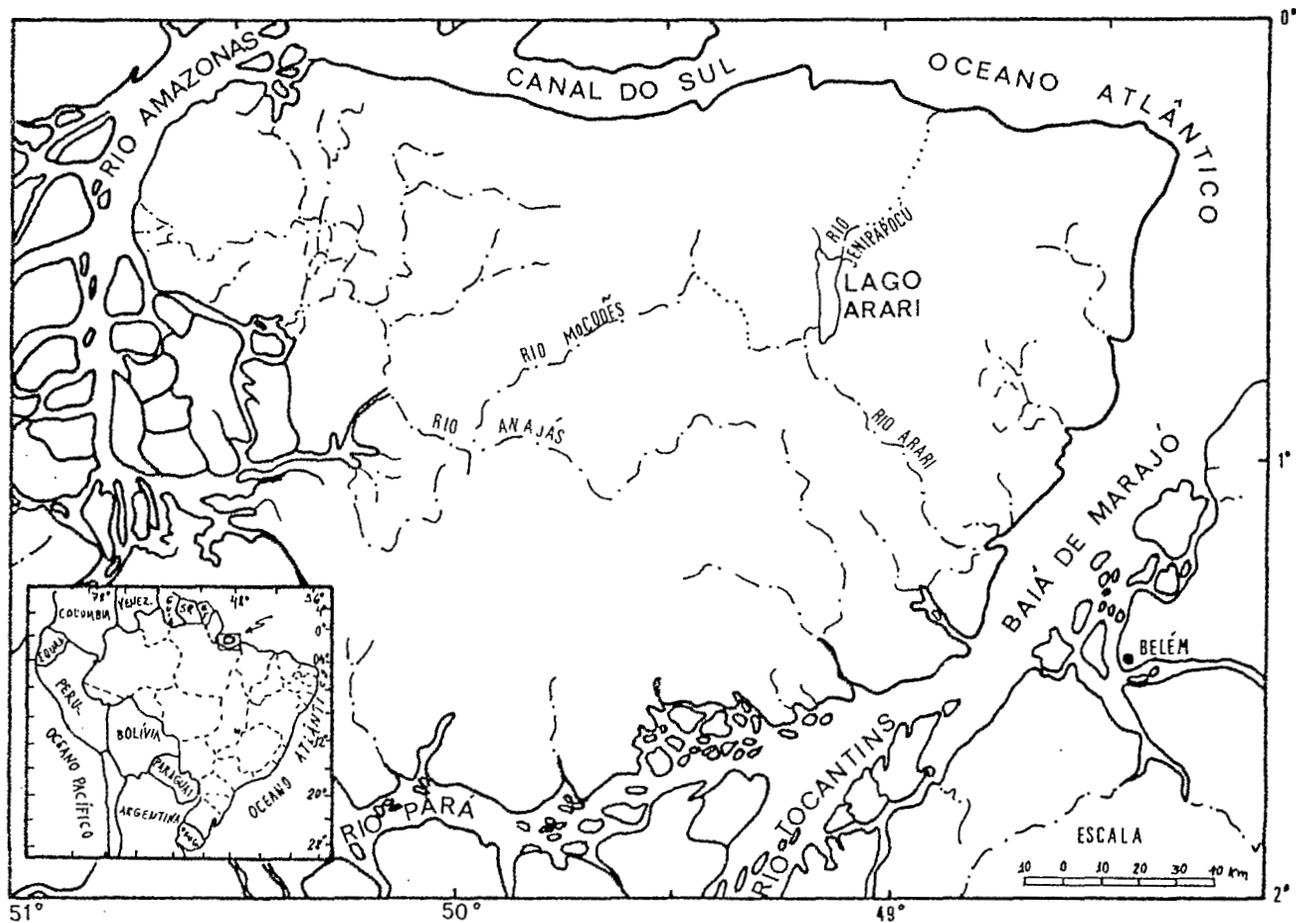


Fig. 01 : Carte de localisation de la région étudiée - Ile de Marajó/Pará (Brésil)

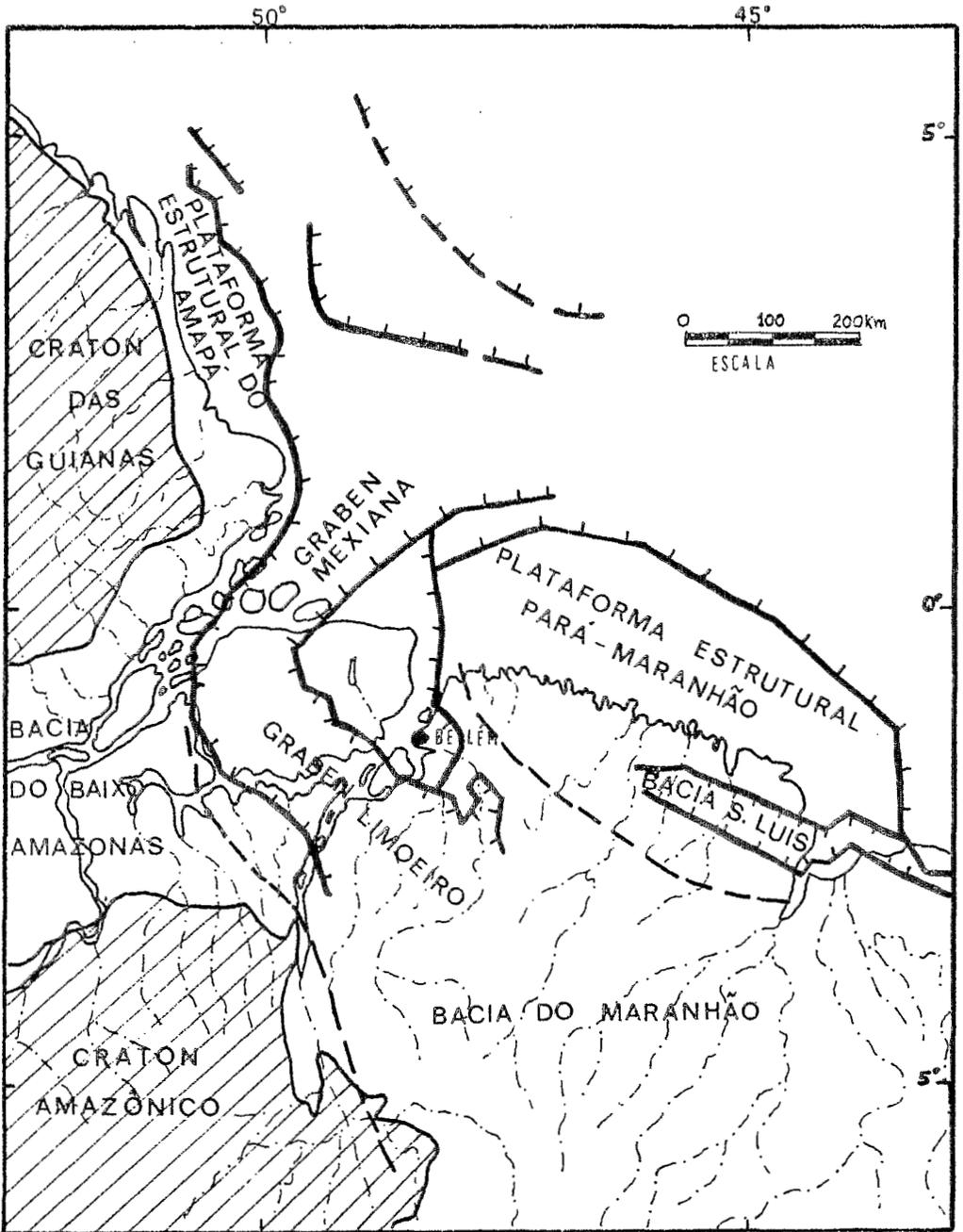


Fig. 02 : Schéma structural de la région côtière et de la plateforme continentale du Nord brésilien (Modifié par Gorini, 1979. In : Vital, 1988)

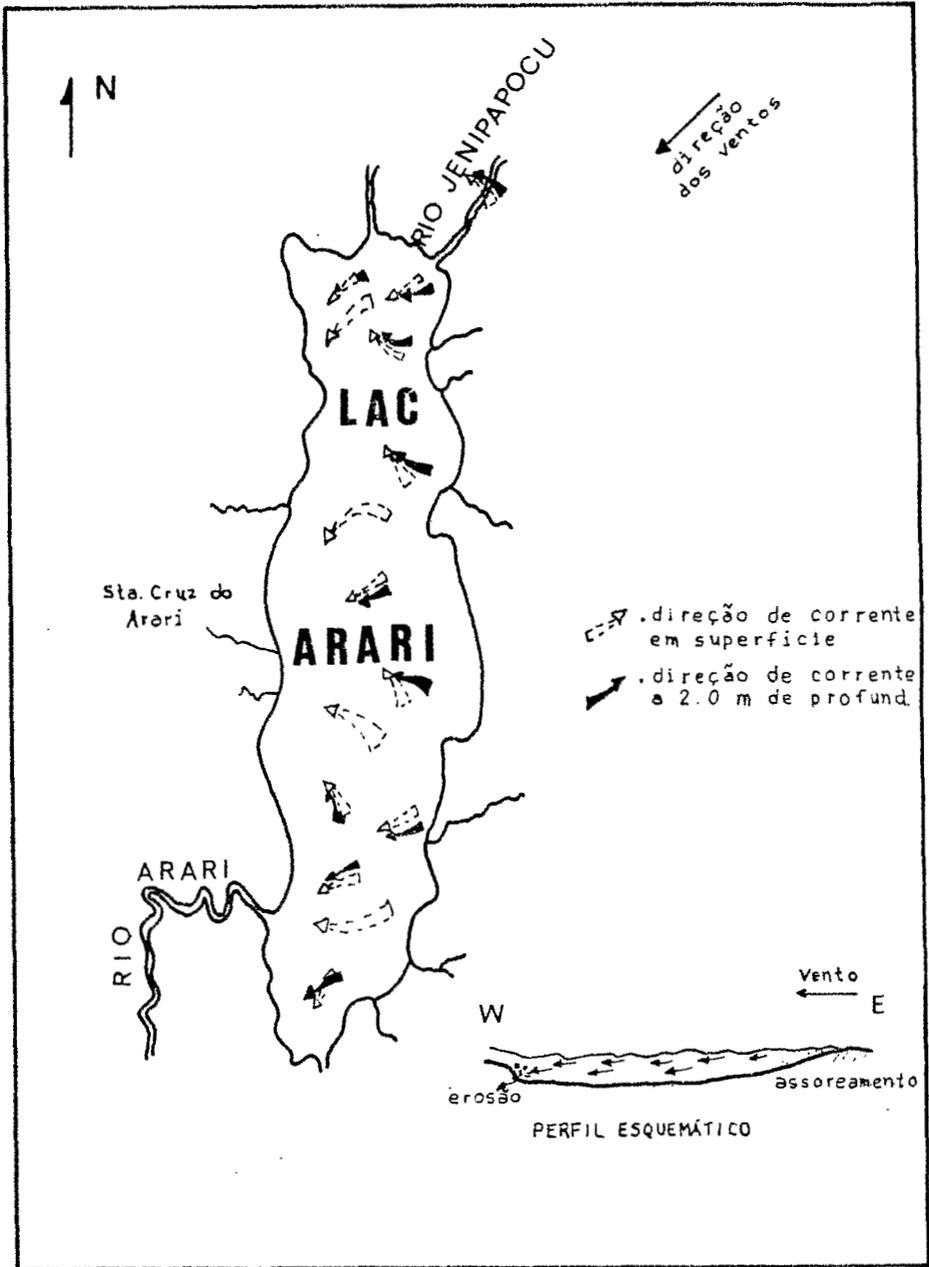
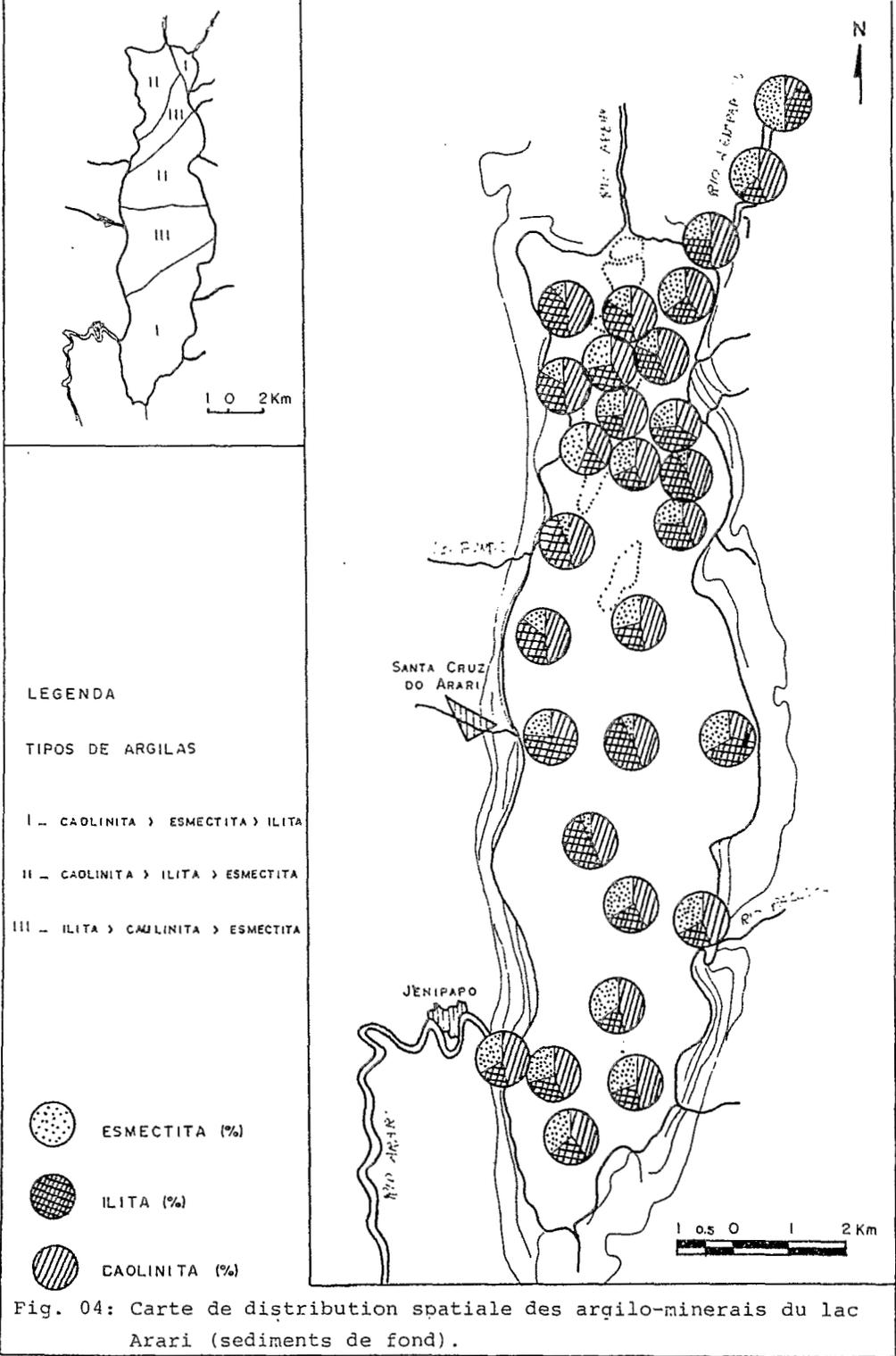


Fig. 03: Carte interprétative du système de circulation du lac Arari



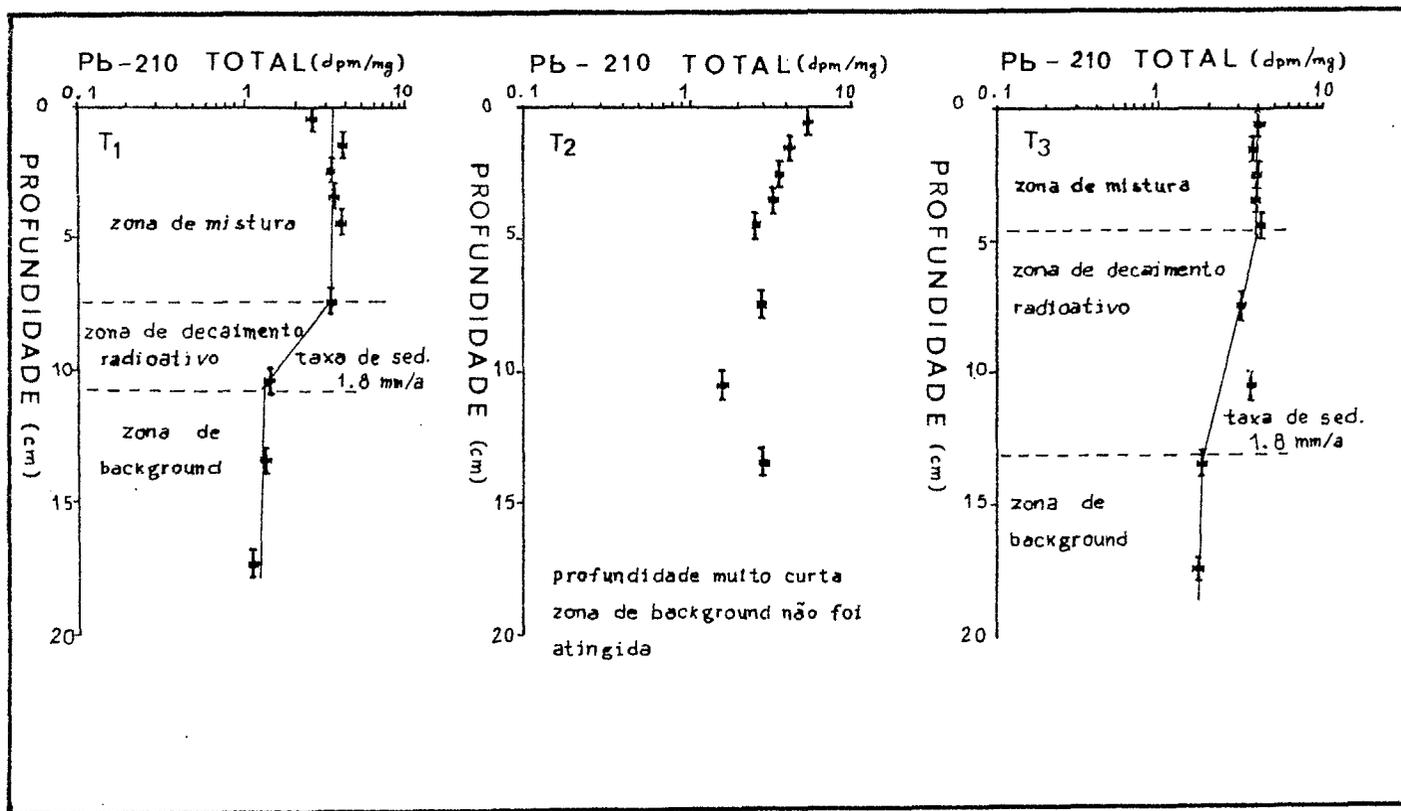
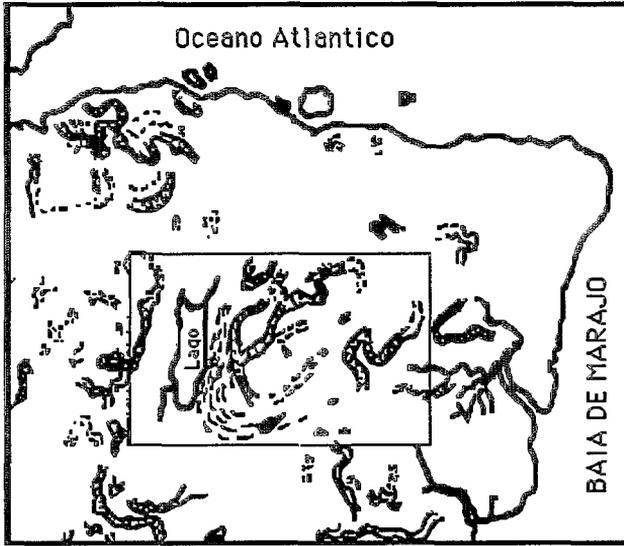


Fig. 05: Perfil d'activité du Pb-210 dans le substrat du lac Arari, montrant ses trois zones caractéristiques et un taux de sédimentation autour de 1.8 mm/an.



-  Paléo-Chenaux
-  Cordons linéaires
-  Lacs reliques

Modifié de Bemergui, 1981 in Vital, 1988



Fig. 6 : Formes géomorphologiques modelées dans la partie superficielle par événements géologiques récents, correspondant à d'anciens chenaux de drainage ensablés (à partir d'images Radar)