

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DU QUATERNAIRE MARIN : COMPARAISON DU LITTORAL DE SAO-PAULO ET DE SALVADOR DE BAHIA (BRÉSIL)

Louis MARTIN* et Kenitiro SUGUIO**

** Departamento de Paleontologia e Estratigrafia.
Instituto de Geociências. Cidade Universitaria
C.P. 20899, São-Paulo (Brésil)

* Mission O.R.S.T.O.M. Instituto de Geociências.
Cidade Universitaria. C.P. 20899, São-Paulo (Brésil)

RÉSUMÉ

Il existe dans la partie sud du littoral de l'état de São-Paulo qui présente une morphologie d'émergence, des témoins indiscutables de niveaux marins holocènes et pléistocènes supérieurs au niveau actuel de la mer. La comparaison de la position de ces anciennes lignes de rivage avec celles de la partie nord du littoral qui présente une morphologie de submersion, permettra d'estimer le rôle que joue la tectonique moderne.

Il semble que cette différenciation en morphologie de submersion au nord et d'émergence au sud ne soit pas due à un jeu de blocs séparés par des failles perpendiculaires à la côte, comme cela se produit dans la région de Salvador (Bahia), mais soit le résultat d'un mécanisme de flexure continentale. Au nord, le point d'inflexion passerait sur le continent et s'éloignerait progressivement de celui-ci au fur et à mesure que l'on irait vers le sud.

ABSTRACT

In the southern section of the Sao Paulo littoral there is an emerged coastline landscape with definite evidence of Pleistocene and Holocene former sea-levels above present-day sea-level. Comparisons between the positions of these old shorelines and the shorelines in the northern section, where there has been submergence, shows that recent tectonic movements have played a not inconsiderable part in coastal geomorphology.

This differentiation between submerged landscapes in the north and emerged ones in south is not, it appears, due to block movements along fault lines perpendicular to the coast, as is the case in the Salvador (Bahia) region, but to warping along the continental flexure line. It seems that the line of warp passes over the land mass in the north, then becomes progressively further from the coast towards the south.

RESUMO

Na parte sul do estado de São-Paulo, que apresenta uma morfologia de emergência, existem testemunhos indiscutíveis de níveis marinhos holocênicos e pleistocênicos superiores ao nível atual do mar. A comparação da posição dessas antigas linhas de praias com as da parte norte do litoral, que apresenta uma morfologia de submersão permitira estimar o papel desempenhado pela tectônica moderna.

Parece que esta diferenciação na morfologia, de submersão ao norte e de emergência ao sul, não é devida a um jogo de blocos separados por falhas perpendiculares à costa, como isso acontece na região de Salvador (Bahia), mas é devido ao resultado de um mecanismo de flexura continental. Ao norte o ponto de inflexão passaria sobre o continente, distanciando-se progressivamente da costa à medida que se dirige para o sul.

РЕЗЮМЕ

В южной части берега штата Сао-Паулу, морфология которой связана с всплыванием, существуют бесспорные останцы голоценовых и плейстоценовых уровней, превышающих современный уровень моря. Сравнение положения этих древних береговых линий с таковыми же в северной части побережья, представляющей морфологию типа погружения, позволит оценить роль современной тектоники.

Повидимому это разделение на морфологию типа погружения на севере и всплывания на юге не обусловлена завором блоков, разделенных перпендикулярными берегу сбросами, как это имеет место в области Сальвадор (Баия), но является результатом механизма континентальной флексуры. На севере, точка перегиба вероятно проходит по материку и постепенно удаляется от него по мере перехода к югу.

S'étendant sur près de 9 000 km, le littoral brésilien présente des aspects très variés. Les différentes structures de la marge continentale se répercutent sur la répartition des dépôts quaternaires littoraux. En de nombreux points, le socle antécambrien vient au contact de la mer. On rencontre souvent, près de la côte, de hauts reliefs qui sont la conséquence de phénomènes de réactivations tectoniques ayant débuté au Cénozoïque et se poursuivant probablement au Quaternaire. Certaines régions côtières ne reçoivent actuellement que très peu de sédiments. Les dernières formations quaternaires s'y sont formées aux dépens des formations précédentes.

LE QUATÉNAIRE MARIN DU LITTORAL PAULISTE.

De direction approximativement NE-SO, le littoral pauliste est limité par le 23^e et le 25^e degrés de latitude sud et par le 43^e et le 45^e degrés de longitude ouest (fig. 1 et 2). Il présente des caractéristiques mixtes de côte d'émergence et de côte de submersion. La région de l'île de São-Sebastião constituant une limite approximative entre deux zones de comportement différent. Au nord, le socle antécambrien vient à peu près partout au contact de la mer, à l'exception de petites plaines sédimentaires formées de dépôts quaternaires marins. Au sud, se développe une série de plaines sédimentaires séparées les unes des autres par des avancées du socle. On note immédiatement que la superficie de ces plaines augmente assez régulièrement du nord vers le sud. Cette différence dans la sédimentation quaternaire peut s'expliquer par une variation de la dynamique de la sédimentation mais également par une influence

de la tectonique. Dans cette seconde hypothèse, la côte nord aurait une tendance négative et la côte sud, une tendance positive.

Les diverses formations marines quaternaires.

Jusqu'ici, seule la plus grande plaine quaternaire, celle de Cananeia-Iguape (fig. 2), a été étudiée en détail. Les plaines d'Itanhaem, Santos et Bertiooga ont fait seulement l'objet d'une étude de reconnaissance. Celle-ci a montré qu'il y existait peu de



Fig. 1. — Carte de situation.

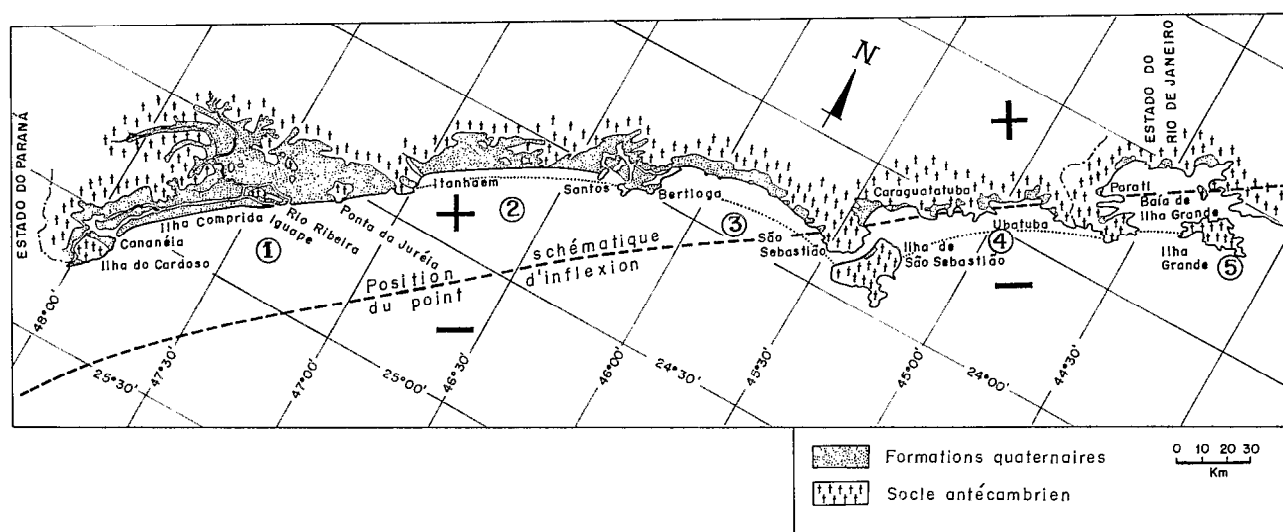


Fig. 2. — Le Quaternaire marin du littoral de l'état de São-Paulo.

différences fondamentales si ce n'est une diminution des formations pléistocènes du sud vers le nord.

La plaine sédimentaire littorale de Cananeia-Iguape forme un vaste croissant de 100×40 km limité au nord-est et au sud-ouest par des avancées du socle antécambrien. Elle est formée de sables marins, de sédiments argilo-sableux d'origine fluvio-lagunaires et de mangroves. Près du cristallin, les sables marins peuvent être recouverts d'alluvions et de colluvions. L'altitude varie de 0 à 10 mètres. Cependant, on rencontre au milieu des sédiments, des pointements du socle qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres d'altitude. Dans sa partie externe, la plaine sédimentaire est drainée par un réseau de lagunes et de petits cours d'eau qui le plus souvent n'ont pas de cours extérieurs. Seul le Rio Ribeira possède un cours supérieur extérieur à la plaine. Cependant il est important de noter qu'actuellement il transporte des sédiments tout à fait différents de ceux que l'on rencontre dans la plaine.

Une cartographie de détail et des datations au ^{14}C ont permis d'identifier un certain nombre de formations (MARTIN et SUGUIO, 1975) (fig. 3) :

— à la base, au contact du cristallin, nous trouvons une formation continentale à galets qui a reçu le nom de formation Pariquera-Açu. Il est vraisemblable qu'elle est d'âge Pliocène.

— Au-dessus, nous rencontrons une formation qui a reçu le nom de Formation Cananeia (SUGUIO et PETRI, 1973). Un certain nombre de coupes en bordure des cours d'eau et des lagunes et quelques forages, nous ont permis de mieux connaître sa composition et d'avoir une idée de son milieu de dépôt. Son altitude varie de 5-6 mètres, dans les

zones externes (près de la mer), à 9-10 mètres, dans les zones internes (près du cristallin). La base est constituée par une formation argileuse passant progressivement à une formation sableuse. Des études de micro-faune (PETRI et SUGUIO, 1973) ont montré que la formation argileuse était du type formation de transition, passant d'un milieu continental à un milieu marin. On rencontre dans la formation sableuse de nombreux terriers fossilisés de *Callianassa major* Say 1818 (photo 1) (SUGUIO et MARTIN, 1976). Ces crustacés fouisseurs (photo 2) ont une zone d'habitat très limitée et bien délimitée ; ils ne vivent pas au-dessus du niveau moyen de la mer et au-dessous du niveau des marées basses normales (RODRIGUES, 1966). Ces « tubes » sont donc de très bons marqueurs des anciennes lignes de rivage (WEIMER et HOYT, 1964) : la zone supérieure des « tubes » représente la position du niveau moyen de la mer à l'époque où vivaient les animaux qui les ont construits. Quand on va de l'océan vers l'intérieur des terres, on remarque que la zone des « tubes » s'élève progressivement (fig. 3). Ce fait doit indiquer une période de transgression au cours de laquelle les *Callianassas* se sont déplacés vers l'intérieur, au fur et à mesure que le niveau de la mer s'élevait, afin de conserver les mêmes conditions de milieu. Vers le sommet de la formation, il existe en certains endroits une série de couches argileuses de quelques centimètres d'épaisseur séparées les unes des autres par des sables marins. Sur certaines de ces couches argileuses, il existe des fentes de retrait (dessiccation) qui ont été fossilisées. Il est vraisemblable qu'il s'est produit, vers l'époque du maximum de la transgression, des oscillations du niveau de la mer. Enfin, à la surface de la Formation Cananeia, il existe

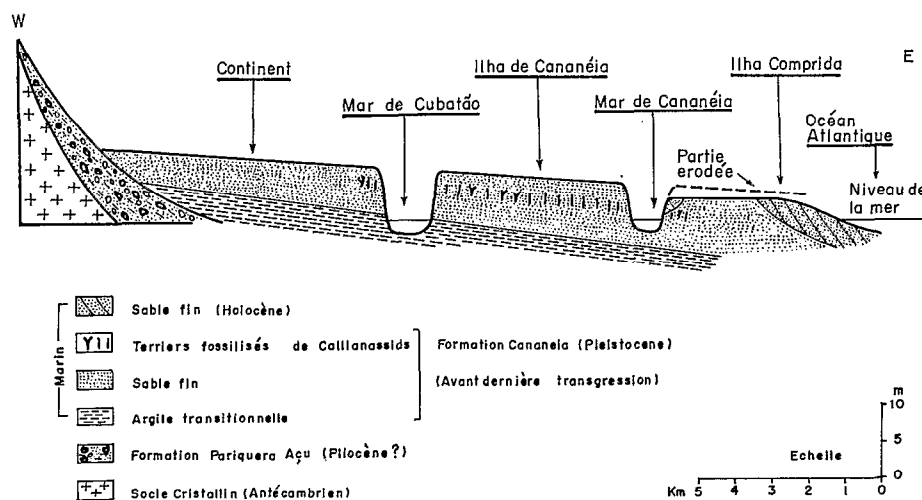


Fig. 3. — Coupe interprétative du Quaternaire marin dans la région de Cananeia.

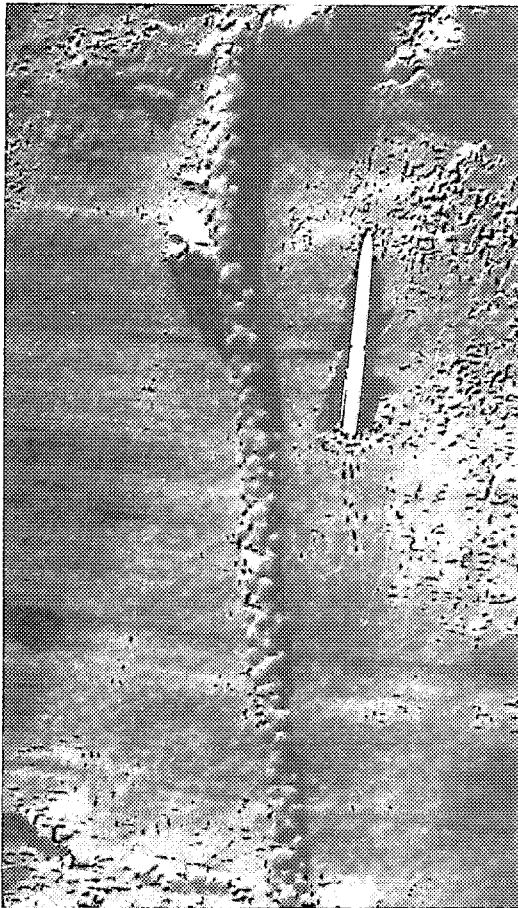


Photo 1. — Terrier fossile de *Callianassa major* Say 1818 de la Formation Cananeia. Noter les bosselures caractéristiques de la paroi externe et la position du « tube » par rapport aux structures sédimentaires.

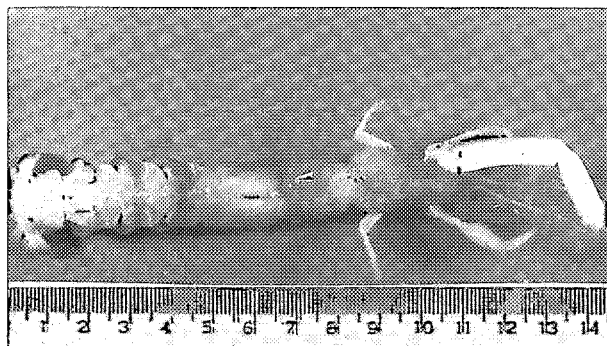


Photo 2. — *Callianassa major* vivant actuellement sur les plages du littoral de l'état de São-Paulo (échantillon du Dr. Sergio de A. RODRIGUES).

encore en certains endroits, des traces de cordons littoraux de régression.

Une première datation au 14C, effectuée sur des morceaux de bois prélevés dans la formation argileuse au niveau de la marée haute actuelle, a donné un

âge de 28000 ± ou — 2000 ans B.P. (Ba 227). Le comptage ayant été effectué dans de mauvaises conditions, il est vraisemblable que l'âge doit être légèrement plus ancien. Cependant, aussi imparfaite soit-elle, cette datation nous montre que la Formation Cananeia n'a pas été mise en place au cours du dernier épisode transgressif, comme cela avait été admis jusque là. De plus, l'échantillon gardant une certaine activité, il est vraisemblable que la Formation Cananeia a été mise en place au cours de l'épisode transgressif de 30000 ans. Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'une très légère contamination pourrait causer la petite activité mesurée. Dans ce cas, la Formation Cananeia pourrait être plus ancienne et dater de l'épisode transgressif de 100000 ans.

— Nous trouvons ensuite, stratigraphiquement au-dessus de la Formation Cananeia, mais en position topographique inférieure, des sables marins littoraux qui ne dépassent pas 3 mètres d'altitude. Ces sables ont la même composition que ceux de la Formation Cananeia car ils proviennent du remaniement de celle-ci. La plus grande partie de l'île Comprida est formée de ces sables marins. On y voit très nettement les structures d'anciens cordons. Au nord-est, dans la région de « Barra do Una », cette formation prend un développement assez important. En bordure des lagunes et des cours d'eau qui drainent la plaine, on rencontre des formations de mangroves. On rencontre également des mangroves élevées ou abaissées qui se sont formées à une époque où le niveau de la mer était différent du niveau actuel. Dans les zones basses de la Formation Cananeia se sont déposés des sédiments argilo-sableux d'origine soit fluviale soit lagunaire. Un certain nombre de données qui seront étudiées plus en détail par la suite montrent que ces sédiments se sont déposés à l'Holocène, en relation avec le dernier épisode transgressif.

— Il est intéressant de noter que dans l'île d'Iguape, près du village d'Icaparra, il existe des restes d'une formation plus élevée que la Formation Cananeia. Il pourrait s'agir d'un témoin d'un épisode transgressif plus ancien que celui qui a engendré la Formation Cananeia.

Ébauche d'un schéma des variations du niveau de la mer depuis 6500 ans, dans le sud du littoral pauliste.

Utilisation des « sambaquis » (Kjokkenmodings)

Il existe dans les plaines sédimentaires de la moitié sud du littoral pauliste (Santos, Itanhaem et Cananeia Iguape), de très nombreux sambaquis. Ceux-ci peuvent atteindre des dimensions assez considérables. Ainsi, le sambaqui de Vila-Nova, dans l'île Comprida, mesurait 300 mètres de longueur, 60-75 mètres de largeur et 6 mètres de hauteur. Celui du Rio Nobrega, également dans l'île Comprida,

avait 120 mètres de longueur, 40-45 mètres de largeur et une hauteur maximum de 24 mètres.

Il est évident que les coquilles des sambaquis ne constituent pas le matériel idéal pour dater d'anciennes lignes de rivage, car le plus souvent on ne connaît pas la relation exacte qui a existé entre la base du sambaqui et le niveau de la mer au moment de la construction. Toutefois, on est sûr qu'au moment du début de la construction, la base du sambaqui était située au-dessus du niveau de la marée haute. L'altitude de la base des sambaquis s'étageant de quelques centimètres sous le niveau actuel de la mer à plusieurs mètres au-dessus, ceux-ci vont nous indiquer des limites supérieures qui n'auront pu être dépassées par la mer.

Il est également évident qu'une datation isolée ne pourra fournir que peu d'informations, par contre, toute une série de datations de sambaquis d'une même région, confrontée aux autres données connues pourra apporter de précieuses informations.

Il paraît logique de penser que les hommes qui ont construit les sambaquis n'ont pas transporté loin de leur lieu de récolte les coquilles qui ont servi à leur construction. Au moins au début de leur construction, les sambaquis ont dû se situer près des baies ou des lagunes qui fournissaient les coquillages. Si aujourd'hui un sambaqui se trouve situé à l'intérieur des terres, il est indispensable de voir si à proximité on ne trouve pas des témoins d'une ancienne ligne de rivage. L'éloignement de la ligne de rivage ayant pu se produire à la suite d'une forte sédimentation ou au contraire à la suite d'une baisse du niveau de la mer.

Dans la région de Cananeia-Iguape, on peut grouper les sambaquis en plusieurs familles en fonction de leur situation géographique.

(a) Un certain nombre de sambaquis sont situés sur la Formation Cananeia en bordure des lagunes actuelles. Ils ne nous fournissent que peu d'indications sur la position du niveau de la mer au moment de leur construction. Cependant, on peut constater qu'ils sont situés le plus souvent en bordure d'anciennes baies entaillées dans la Formation Cananeia (fig. 4). Aujourd'hui ces petites baies sont sans eau ou occupées par la mangrove. Ceci peut nous laisser penser qu'à l'époque du début de la construction des sambaquis, le niveau de la mer était légèrement plus haut qu'actuellement.

(b) D'autres sambaquis, reposant sur la Formation Cananeia, sont situés très à l'intérieur des terres (jusqu'à 30-40 km du littoral actuel). Leur situation ne peut s'expliquer que par un niveau marin supérieur au niveau actuel. Il est logique de penser que ceux situés le plus à l'intérieur des terres correspondent à la période où le niveau de la mer fut le plus haut. Il est intéressant de noter que ces sam-

baquis ont des tailles infiniment plus petites que ceux situés près du littoral actuel. On peut penser (entre autres causes) que la durée de leur construction a été beaucoup plus courte ce qui peut indiquer que la mer (lagune) n'est pas restée très longtemps près de l'emplacement où ils sont situés.

Les datations des sambaquis les plus éloignés devraient encadrer le maximum ou les maxima atteints par la mer au cours du dernier épisode transgressif. Malheureusement, les sambaquis ne nous indiquent pas la hauteur atteinte par ces maxima. Cependant en d'autres endroits, il peut exister des témoins morphologiques (terrasses, etc.) qui pourront nous apporter des indications sur cette hauteur. Nous verrons plus loin qu'il existe effectivement des terrasses témoins de niveaux supérieurs au niveau actuel qui peuvent être associées aux sambaquis.

(c) Enfin, certains sambaquis ont leurs bases situées entre 0 et 3 mètres au-dessus du niveau de la marée haute actuelle. Un certain nombre de données nous montrent qu'au cours de l'Holocène, le niveau de la mer fut supérieur au niveau actuel. Les altitudes des bases de ces sambaquis nous donneront donc des limites supérieures qui n'auront pu être dépassées par la mer.

Il est intéressant de noter que la construction des sambaquis a nécessité la permanence de la mer ou de la lagune à proximité du site durant une période de temps assez longue à l'échelle humaine. Certains auteurs pensent que les témoins de niveaux marins holocènes supérieurs au niveau actuel sont la conséquence d'élévations catastrophiques et passagères du niveau de la mer. Il est évident que la présence de sambaquis très à l'intérieur des terres dans des régions où il n'y a pratiquement pas d'apports sédimentaires s'oppose à cette argumentation. Il en est de même des très nombreux trous d'oursins que l'on rencontre, sur des parois verticales, bien au-dessus de leur zone de vie actuelle.

Datations au 14C et indices morphologiques de niveaux supérieurs au niveau actuel de la mer.

— *Échantillon A93.* L'échantillon daté de 6500 ± ou — 172 ans B.P. (Ba 230) a été prélevé environ 1 mètre sous le niveau moyen actuel de la mer, dans la partie sud de l'île Comprida (côté lagune). Le morceau de bois daté provient d'une ancienne formation de mangrove. Actuellement, dans la région de Cananeia, la surface des dépôts de mangrove se situe à peu près au niveau moyen de la mer. L'échantillon daté s'est donc déposé à une époque où le niveau moyen de la mer se situait 1 ± ou — 0,2 mètre plus bas que le niveau actuel. La formation datée est recouverte par une formation sableuse littorale, ce qui indique une période de transgression.

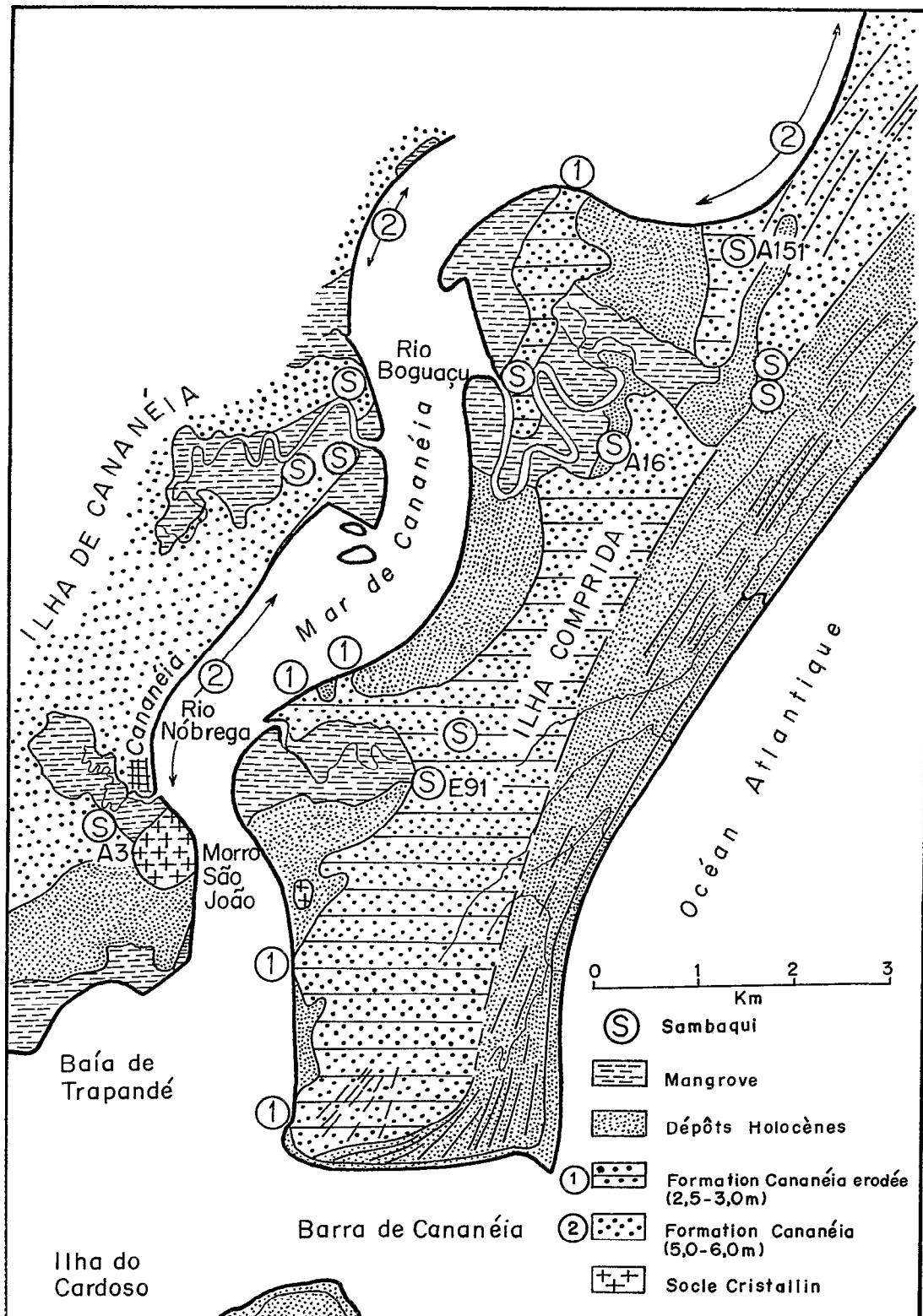


Fig. 4. — Carte de situation des sambaquis et de la terrasse d'abrasion dans la région de Cananéia.

— *Échantillon A55*. L'échantillon daté de 6100 +ou — 130 ans B.P. (Ba 226) est un morceau de bois provenant d'une formation de mangrove ancienne du sud de l'île du Cardoso. Il a été prélevé 0,2 mètre au-dessus du niveau de la marée haute actuelle (0,8 mètre au-dessus du niveau moyen). Pour les mêmes raisons que précédemment, nous pouvons penser qu'au moment du dépôt le niveau moyen de la mer se situait 0,8+ou — 0,2 mètre au-dessus du niveau actuel.

— *Terrasse d'abrasion dans la Formation Cananeia*. Le sud de l'île Comprida (côté lagune) est constitué par la Formation Cananeia. Ici, son altitude varie de 2,5 à 3 mètres, alors qu'un peu plus au nord, elle est de 5 à 6 mètres comme dans toute l'île de Cananeia (fig. 4). Il existe deux explications à cette différence d'altitude : (a) cette partie de la Formation Cananeia est originellement plus basse que le reste de la formation, ce qui est assez difficile à expliquer ; (b) dans le sud de l'île Comprida, la Formation Cananeia a été arasée par la mer durant une période où son niveau était supérieur au niveau actuel d'au moins 3 mètres. Cette dernière hypothèse semble être la plus logique, car on trouve en d'autres endroits, et notamment dans la région d'Iguape, des parties de la Formation Cananeia érodées.

On rencontre dans cette partie de l'île Comprida des sambaquis, tel celui du Rio Nobrega (E91) qui a été daté de 4380+ou — 160 ans B.P. (SPC 21). Le haut niveau marin qui a dû éroder la Formation Cananeia a forcément été antérieur à la construction du sambaqui. Il a donc dû se produire aux environs de 5000 ans B.P. De plus, le sambaqui se trouvant en bordure d'une zone basse aujourd'hui sans eau, il est probable qu'au début de sa construction, le niveau de la mer était supérieur au niveau actuel de 1,5 à 2 mètres (fig. 4).

Il est intéressant de noter que la partie inférieure du sambaqui est très cimentée, ce qui peut indiquer que la base de celui-ci a été recouverte par l'eau lors d'un second haut niveau. Ceci aurait entraîné une forte dissolution de la partie inférieure. Cette dissolution aurait été suivie d'une cimentation lors de la baisse du niveau de la mer. On observe également ce phénomène dans un sambaqui (encore non daté) dont la base est située 0,5 mètre au-dessus du niveau de la marée haute actuelle.

— *Échantillon A3*. L'échantillon daté de 4300+ou — 110 ans B.P. (Gif 4335) provient d'un reste de sambaqui situé près de la cité de Cananeia en bordure de la zone basse qui s'étend entre la cité et le « morro » São-João (fig. 4). La base du sambaqui repose sur la Formation Cananeia à une altitude de 5,1 mètres. La situation de ce sambaqui fournit peu de renseignements sur la position du niveau de la mer au moment de la construction. On peut tout

de même supposer que le niveau de la mer était légèrement supérieur au niveau actuel et que la zone basse, aujourd'hui sans eau, en bordure de laquelle se trouve le sambaqui, formait une baie entaillée dans la Formation Cananeia, dans laquelle étaient récoltées les « berbigoes » (*Anomalocardia brasiliensis*) et les huîtres dont les coquilles servirent à construire le sambaqui.

— *Échantillon A16*. L'échantillon daté de 4120 +ou — 110 ans B.P. (Gif 3436) provient d'un sambaqui intact situé dans l'île Comprida en bordure de la zone basse drainée par le Rio Bogaçu (fig. 4). L'altitude de la base du sambaqui par rapport au niveau actuel de la mer est assez difficile à définir car le sambaqui se trouve actuellement au milieu d'une épaisse forêt. Le sambaqui a été construit au pied d'un talus d'environ 3 mètres de hauteur qui représente probablement le rebord de la Formation Cananeia. D'après d'autres indications relevées dans la même région, il est probable que la base du sambaqui se situe entre 1,5 et 2 mètres au-dessus du niveau de la marée haute actuelle. La position du sambaqui semble indiquer qu'à l'époque de sa construction, le niveau de la mer était supérieur au niveau actuel et que la tendance était à la régression.

— *Échantillons A28 et A29*. En bordure du canal d'Arapira (lagune qui sépare l'île du Cardoso du continent) se trouve un sambaqui très intéressant. Sa base se situe à peu près au niveau de la marée haute actuelle. Du côté lagune le sambaqui repose sur une formation argilo-sableuse contenant des morceaux de bois et des coquilles « d'ameijoas » (*Lucina jamaicensis*) en place. L'habitat de *Lucina jamaicensis* sont les bancs argileux ou argilo-sableux des fonds de baies qui émergent à marée basse.

Les coquilles de la formation argileuse (A28) ont été datées de 4400+ou — 110 ans B.P. (Gif. 3439). Au moment où les coquilles vivaient, le niveau de la mer devait se situer environ 1,4 mètre au-dessus du niveau actuel.

Le fait qu'un sambaqui soit en partie située sur cette formation laisse supposer une période de régression. En effet, il a fallu attendre que la formation argileuse soit émergée en permanence pour que les « hommes des sambaquis » puissent s'y installer. Des coquilles prélevées à la base du sambaqui ont été datées de 3790+ou — 110 ans B.P. (Gif. 3437). Le fait que la base du sambaqui soit située au niveau de la marée haute actuelle, laisse supposer qu'à cette époque, le niveau de la mer devait, au minimum, être légèrement inférieur au niveau actuel.

— *Terrasse de construction d'Icaparra*. A la base d'une terrasse adossée à la Formation Cananeia, on rencontre une ou plusieurs couches de débris végétaux d'une épaisseur de 1 à 2 centimètres. Des dépôts tout à fait analogues se forment sur les plages

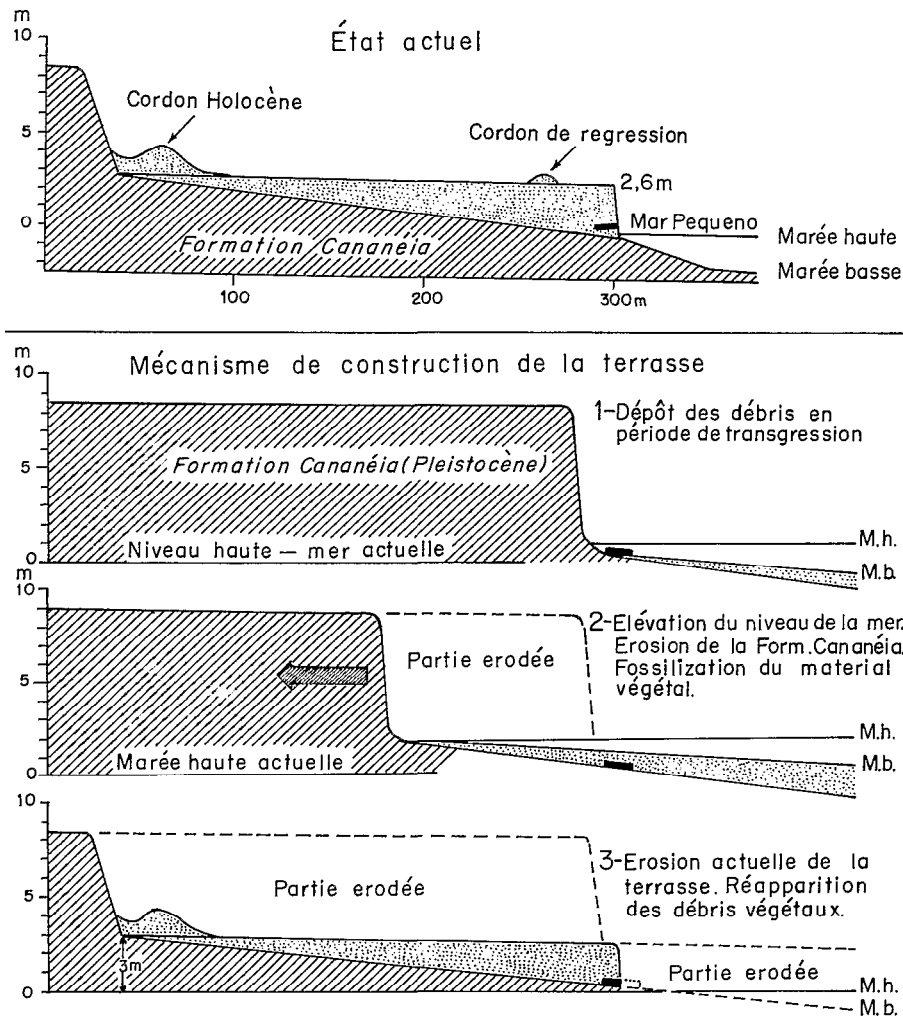


Fig. 5. — Terrasse de construction d'Icaparra. Mécanismes de sa formation.

actuelles de la même région. Une de ces couches (A37) située 0,2 mètre au-dessus du niveau de la marée haute actuelle a été datée de 3370 ± ou — 100 ans B.P. (Gif. 3430). Cette couche est recouverte par des sables marins à structures littorales, ce qui indique une phase transgressive.

On peut supposer que la formation végétale s'est déposée dans la partie inférieure de la plage (la présence de très nombreux micas milite pour cette position plutôt que pour le haut de plage) à une époque où le niveau de la mer était légèrement supérieur au niveau actuel et alors qu'il se produisait une érosion de la Formation Cananéia (fig. 5). Les produits de l'érosion ont pu rapidement enfouir les débris végétaux et permettre leur conservation. Au fur et à mesure de l'élévation du niveau de la mer, l'érosion et le recul de la Formation Cananéia

se sont poursuivis ainsi que la construction de la terrasse (fig. 5). Il existe en fait deux sortes de terrasses, une terrasse d'abrasion dans la Formation Cananéia et une terrasse de construction qui recouvre la première. La limite atteinte par la transgression se situe au pied du talus de la Formation Cananéia. Ceci représente le niveau atteint par la marée haute. Il se situe environ 3 mètres au-dessus du niveau de la marée haute actuelle. Un peu en retrait du talus de la Formation Cananéia, on rencontre un cordon qui marque probablement une période de stationnement du niveau de la mer et le début de la régression. Sur la terrasse, on trouve un autre cordon caractéristique de la phase de régression. Actuellement la terrasse de construction est érodée à la suite du déplacement de la « barra d'Icaparra » (grau faisant communiquer la lagune avec l'océan), ce qui a

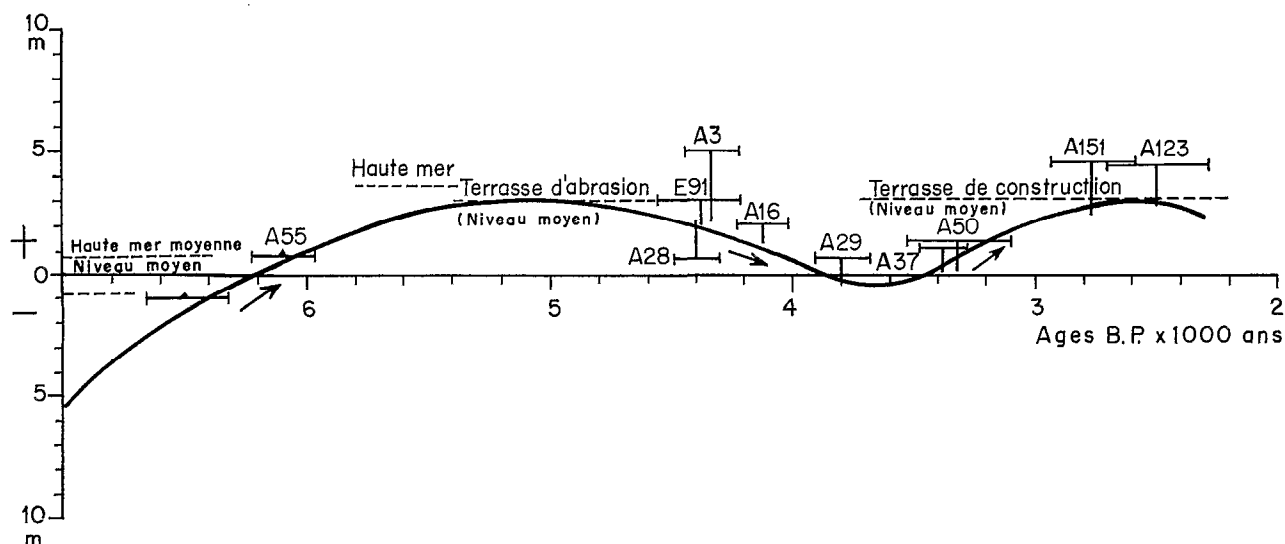


Fig. 6. — Ébauche d'une courbe des variations relatives du niveau de la mer depuis 6500 ans dans la partie sud du littoral pauliste.

permis la remise à jour de la formation végétale datée (fig. 5).

— *Échantillon A50*. L'échantillon daté de 3215 ± ou — 230 ans B.P. (SPC 137) provient de la base d'un sambaqui situé en bordure du Canal d'Ararapira. La base du Sambaqui qui repose sur une formation sableuse très riche en feldspaths se situe 0,7 mètre au-dessus du niveau de la marée haute actuelle. Au moment de la construction du sambaqui, le niveau de la mer ne pouvait être supérieur de 0,5 mètre au niveau actuel.

— *Échantillon A151*. L'échantillon daté de 2885 ± ou — 270 ans B.P. (SPC 136) provient d'un petit sambaqui situé dans l'île Comprida sur la Formation Cananeia en bordure de la zone plus basse. Sa position géographique ne fournit pas d'arguments en faveur d'un niveau supérieur mais également ne s'y oppose pas (fig. 4).

— *Échantillon A123*. L'échantillon daté de 2540 ± ou — 255 ans B.P. (SPC 134) provient d'un sambaqui situé sur un affleurement rocheux en bordure du Rio das Pedras très à l'intérieur des terres (nord d'Iguape). La situation géographique du Sambaqui n'est compatible qu'avec un niveau marin supérieur au niveau actuel et probablement proche d'un maximum.

En résumé (fig. 6) nous pouvons ébaucher le schéma suivant des variations relatives du niveau de la mer depuis 6500 ans. Aux alentours de 6200 ans, le niveau de la mer fut égal au niveau actuel, il lui fut supérieur d'au moins 3 mètres vers 5000 ans B. P. Ce premier haut niveau fut suivi d'une période, entre 4000 et 3500 ans B.P., où le niveau fut probablement légèrement inférieur au niveau actuel. Entre 3000

et 2500 ans B.P., le niveau fut de nouveau supérieur au niveau actuel d'environ 3 mètres.

Les datations en cours des sambaquis situés à l'intérieur des terres devraient préciser la position des maxima. Il semble d'ailleurs y avoir deux groupes de sambaquis : un premier groupe aurait des âges supérieurs à 4500 ans et un second, à peu près égaux à 2500 ans. De même les datations des sambaquis dont les bases sont situées entre 0 et 3 mètres au-dessus du niveau de la marée haute actuelle, devraient préciser la position de la courbe dans la période comprise entre les deux maxima.

SCHÉMA DE L'ÉVOLUTION STRUCTURALE DU LITTORAL PAULISTE COMPARÉ A CELLE DE LA RÉGION DE SALVADOR (BAHIA).

Utilisation des anciennes lignes de rivage comme indicateurs d'une éventuelle activité tectonique.

Un certain nombre de régressions et de transgressions se sont produites au cours du Quaternaire. Ces variations relatives du niveau de la mer sont la résultante de phénomènes eustatiques liés aux glaciations et d'autres phénomènes en relation avec la tectonique ou la dynamique côtière. Les premiers ont une répercussion mondiale, les seconds locale. Au cours d'une même période les variations eustatiques sont dans le même sens, par contre les variations dues à la tectonique peuvent s'ajouter ou se retrancher aux premières.

C'est sur le dernier cycle régression-transgression que nous possédons le plus de données. Un certain nombre de courbes de variations du niveau de la

mer ont pu être construites dans diverses parties du monde pour cette période. Nous pouvons constater qu'elles diffèrent dans les détails. Prenons l'exemple d'une courbe établie en Côte d'Ivoire (MARTIN, 1973). Nous constatons que de 23000 à 18000 ans B.P., le niveau de la mer est passé de — 60 mètres à — 110 mètres, soit une variation de 50 mètres en 5000 ans. De même, entre 17000 et 7000 ans, le niveau est passé de — 110 à — 10 mètres soit une variation de 100 mètres en 10000 ans. Par contre, au cours des 6000 dernières années (comme nous l'avons vu pour le Brésil), le niveau n'a varié que de quelques mètres.

Au cours des rapides variations du niveau de la mer, les phénomènes eustatiques masquent les autres causes de variations. Il est alors difficile d'estimer la valeur des phénomènes locaux, car ceux-ci peuvent être de l'ordre de grandeur des erreurs faites sur les altitudes et les âges. Quand les variations eustatiques tendent vers zéro, les autres causes de variations deviennent beaucoup plus perceptibles.

Il existe des régions du monde où, au cours des 6000 dernières années, le niveau ne fut jamais supérieur au niveau actuel et d'autres (comme le Brésil) où il lui fut supérieur. Ceci implique bien que les phénomènes locaux peuvent avoir des amplitudes mesurables même au cours du seul Holocène. Ce sera donc pendant les périodes de stationnements eustatiques que nous pourrions essayer d'estimer l'influence de la tectonique. Pour cela, nous allons essayer de voir s'il existe des décalages dans l'altitude des anciennes lignes de plage au cours des 6000 dernières années. Nous pourrions également essayer de mesurer les décalages qu'il peut exister entre les témoins des transgressions plus anciennes, en divers points du littoral.

Nous allons étudier plus particulièrement deux zones du littoral brésilien qui semblent avoir été influencées de façon différente par la tectonique au cours du Quaternaire. Il s'agit des régions côtières des états de Bahia et de São-Paulo.

Schéma de l'évolution structurale de la région littorale de Salvador (Bahia).

Au point de vue géologique, cette partie du littoral brésilien est caractérisée par l'existence du bassin du Recôncavo qui est un graben recoupé plus ou moins obliquement par la côte.

Si nous comparons la morphologie et les anciennes lignes de rivage holocènes en dehors et dans le bassin du Recôncavo, nous pouvons constater des différences assez grandes. En dehors du bassin, la côte présente une morphologie d'émersion et dans le bassin, de submersion. Sur les plages de la ville de Salvador (plages du Cristo, du Rio Vermelho et d'Itapoão) situées au nord-est de la faille de Salvador qui limite vers l'est le graben, il existe de nombreux témoins

(grès de plage, trous d'oursins élevés, etc.) de niveaux marins holocènes supérieurs au niveau actuel. Par contre, de l'autre côté de la faille de Salvador, dans la Baie de Tous-les-Saints, il n'existe plus de traces de niveaux supérieurs au niveau actuel de la mer. Toutefois, nous devons noter qu'il en existe dans les îles d'Itaparica et Madre de Deus. Sur la rive ouest de la baie et dans la région de Valença et Camamu, il n'existe pas de témoins de lignes de rivage holocènes franchement supérieures au niveau actuel de la mer. Par contre, nous en retrouvons lorsque nous traversons la zone de failles qui marque la limite ouest du graben par exemple à Ilheus, il existe des grès de plage et des trous d'oursins élevés.

Les travaux pétroliers (BEN BARNES et LEITE, 1972) ont montré que le bassin du Recôncavo était formé d'une série de blocs ayant joué différemment au cours des temps (fig. 8). Les îles d'Itaparica et Madre de Deus sont situées sur un bloc à tendance positive, ou pour le moins à tendance moins négative que les autres.

Ainsi, les décalages qui existent entre les lignes de rivage holocènes, dans et hors du bassin, montrent que celui-ci a continué à être une zone de subsidence au cours du Quaternaire récent, à l'exception d'une zone matérialisée par les îles d'Itaparica et Madre de Deus.

Il est intéressant de noter que le passage entre zones différentes est brusque. Il n'existe pas de passage progressif entre une zone à morphologie d'émersion et une zone à morphologie de submersion.

Schéma de l'évolution structurale de la zone littorale de l'état de São-Paulo.

— Nous avons vu que, dans la partie sud-ouest du littoral pauliste (celle présentant une morphologie d'émersion) il existait des témoins indiscutables de niveaux marins holocènes supérieurs au niveau actuel de la mer. Le but de notre travail est de voir si ces mêmes niveaux existent dans la partie nord-est du littoral pauliste (celle présentant une morphologie de submersion) et s'ils existent, de voir s'ils ont des altitudes différentes. Ceci afin de tenter de chiffrer l'influence de la tectonique. Malheureusement, nous ne possédons pas actuellement toutes les données chiffrées pour trancher ce problème. Cependant, nous pouvons déjà faire un certain nombre de constatations intéressantes (SUGUIO et MARTIN, 1975) :

— du nord vers le sud, la superficie et la largeur des plaines quaternaires formées de sédiments marins croît régulièrement (fig. 2). Dans la région de la baie de Ilha Grande (état de Rio de Janeiro) au nord, les formations quaternaires marines sont peu développées et il existe même de véritables rias dans la région de Parati. Par contre, nous avons vu que

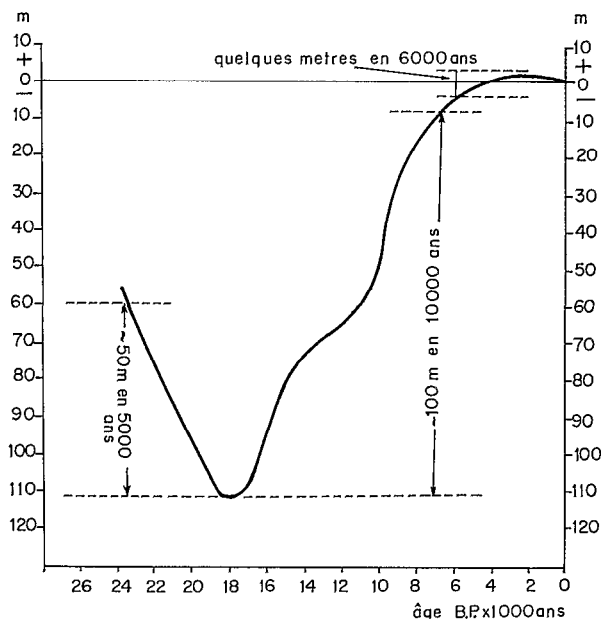


Fig. 7. — Courbe des variations relatives du niveau de la mer en Côte d'Ivoire depuis 25000 ans (MARTIN, 1973).

dans la région de Cananea-Iguape, la plaine quaternaire prenait une extension assez considérable (100×40 km). Parallèlement, l'importance des formations pléistocènes croît du nord vers le sud.

— Si on examine la limite du socle antécambrien, on peut définir 5 unités qui sont du sud vers le nord (fig. 2) :

- (1) l'unité de Cananea-Iguape
- (2) l'unité d'Itanhaem-Santos
- (3) l'unité de Bertioga-São-Sebastião
- (4) l'unité de São-Sebastião-Serra do Parati
- (5) l'unité de la Baie de Ilha Grande.

La première unité est complètement remplie par des sédiments quaternaires et le littoral est pratiquement rectifié. En allant vers le nord, les autres unités sont de moins en moins remplies et il n'y a que très peu de dépôts quaternaires marins dans la baie d'Ilha Grande.

— La largeur de la partie supérieure de la plateforme continentale croît du nord vers le sud. Dans la région de la Serra do Parati, l'isobathe de — 50 mètres se situe à 8 kilomètres de la côte, dans la région de Santos à 50 kilomètres et dans celle d'Iguape à 60 kilomètres.

— Contrairement à ce qui se passe dans la région de Salvador, nous n'avons pas ici un passage brusque d'une zone présentant une morphologie de submersion à une zone présentant une morphologie d'émersion. Au contraire, nous avons un passage progressif.

Il ne semble pas que l'on puisse invoquer un jeu de blocs séparés par un accident perpendiculaire à la côte qui passerait dans la région de São-Sebastião pour expliquer la différence morphologique existant entre le nord et le sud. D'ailleurs, toutes les grandes structures de cette région sont plus ou moins parallèles à la côte. La marge continentale entre Cabo-Frio (État de Rio de Janeiro) et l'état de Santa Catarina est caractérisée :

(a) par la présence du bassin sédimentaire sous-marin de Santos qui est une dépression tectonique méso-cénozoïque remplie de basaltes et de sédiments. Le bassin est limité sur sa bordure continentale par la faille de Santos qui a un rejet supérieur à 3000 mètres dans la partie nord, mais qui vers le sud-ouest passe à une grande flexure faillée ;

(b) par l'existence du « Planalto » atlantique du sud-est brésilien, qui se termine sur la côte par un escarpement de 900 à 1200 mètres au-dessus du niveau de la mer dans un ensemble de 1200 kilomètres de longueur qui a reçu le nom de Serra do Mar (fig. 9).

Le complexe de vallées tectoniques, de montagnes de blocs et de petits bassins sédimentaires qui

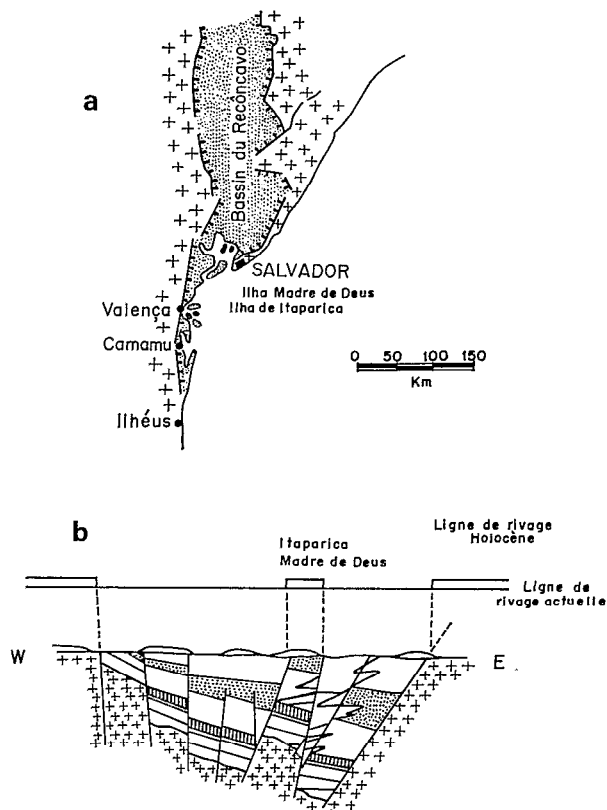


Fig. 8. — Carte du bassin du Recôncavo. Coupe schématique est-ouest (BEN BARNES et LEITE, 1973).

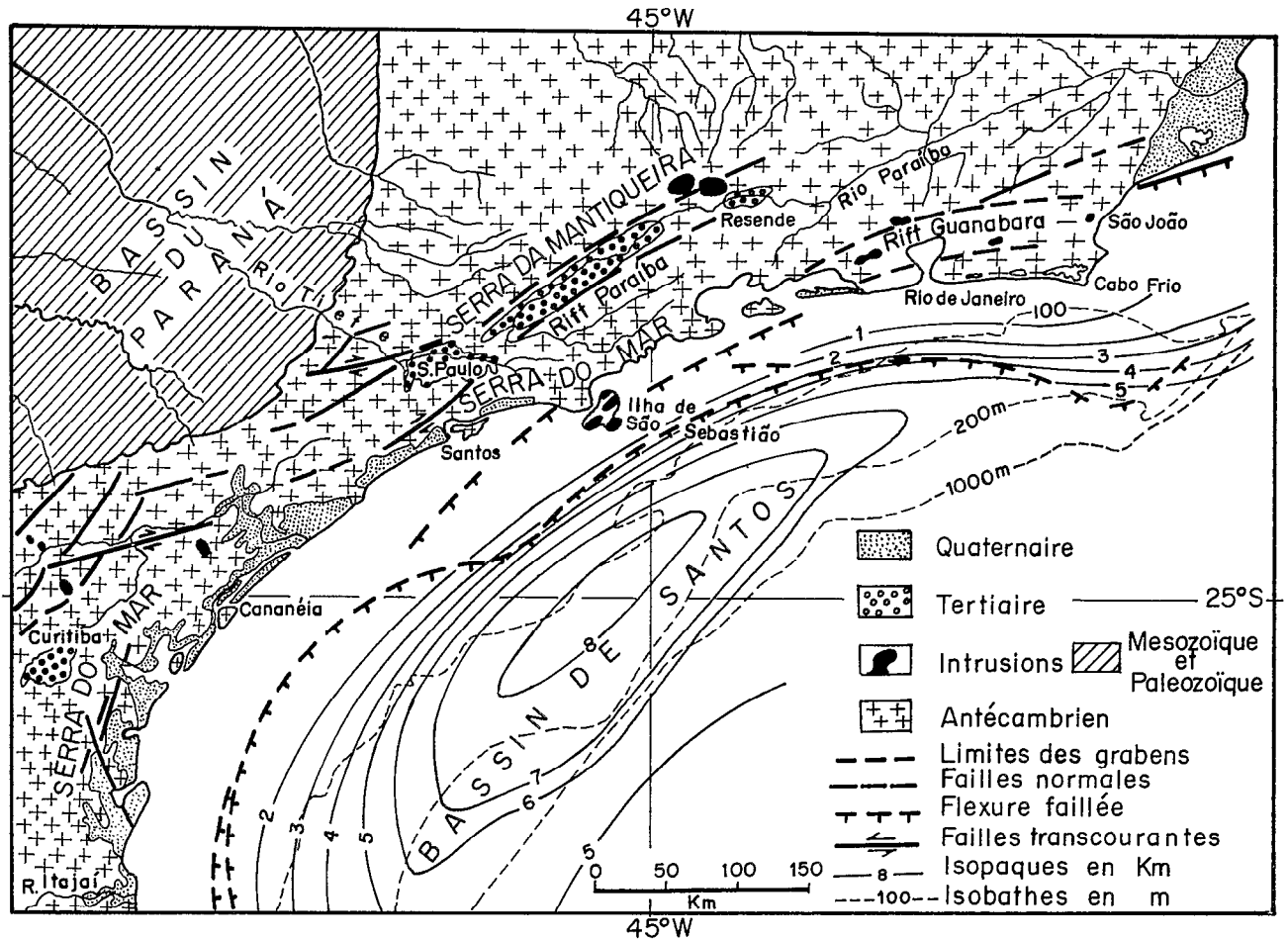


Fig. 9. — Carte structurale de la marge continentale bordant le bassin de Santos (ALMEIDA, 1975).

constituent le système de rift de la Serra do Mar, développé au cours du Cénozoïque, représente un des éléments topographiques et tectoniques les plus remarquables de la marge continentale atlantique du continent américain (ALMEIDA, 1975). Le mouvement vertical qui s'est produit dans cette région à partir du Jurassique a probablement été supérieur à 11 kilomètres (dénivellation entre les plus hautes montagnes et le soulèvement du bassin de Santos). Ces mouvements furent accompagnés d'intense magmatisme.

Il a donc existé depuis le Cénozoïque, sur le continent, une zone positive et en mer, une zone négative. Il doit vraisemblablement exister entre ces deux zones un point d'inflexion. Aussi, il semble plus logique d'envisager une différenciation, entre le nord et le sud du littoral pauliste, par un système de flexure continentale (BOURCART, 1949). En schématisant à l'extrême, nous avons le modèle suivant (fig. 10) :

— 1^{er} cas. La ligne de côte est située à gauche du point d'inflexion, c'est-à-dire sur la partie en voie de soulèvement, le littoral présentera une morphologie d'émergence ;

— 2^e cas. La ligne de côte est située à droite du point d'inflexion, c'est-à-dire sur la partie en voie d'enfoncement, le littoral présentera une morphologie de submersion. Il est évident que ce schéma est par trop simplifié et que nous pouvons tenter de nous rapprocher de la réalité en essayant de reconstruire l'évolution de cette partie de la marge continentale brésilienne depuis l'ouverture de l'Atlantique.

F. F. de ALMEIDA (1975) voit ainsi l'évolution tectonique de la région depuis la fin du Jurassique et le début du Crétacé :

« A cette époque, un phénomène thermique se serait produit dans le manteau supérieur et aurait causé le soulèvement de la région actuelle de la

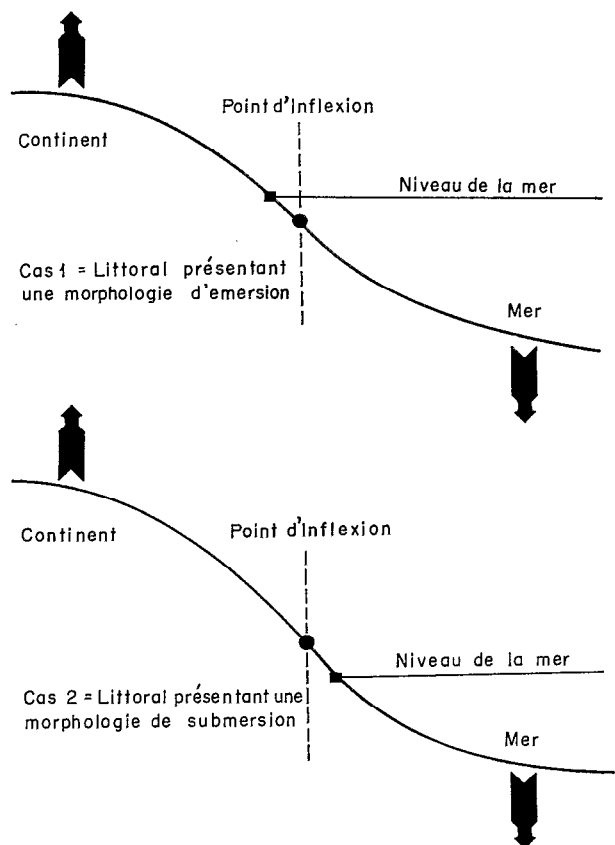


Fig. 10. — Schéma de la différenciation en côte d'émersion et de submersion par un mécanisme de flexure continentale.

Serra do Mar et de l'Arc de Ponta Grossa. Ce soulèvement se serait accompagné de fracturations de distension et d'un abondant volcanisme fissural. La coïncidence dans le temps de ce processus avec l'ouverture de l'Atlantique, au cours du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur, amène à le considérer, comme d'ailleurs toute la réactivation tectonomagmatique Wealdienne, comme lié à la taphrogénèse par laquelle débute la séparation des continents. Sur la marge occidentale du rift primaire a existé un système de failles dont la faille de Santos devait faire partie. A l'est de celle-ci, le bassin de Santos entraînait en subsidence avec à sa base des coulées basaltiques probablement intercalées avec des sédiments du Crétacé inférieur. A l'Aptien, une mer épicontinentale pénétra dans le rift primaire. A cette époque la Serra do Mar n'existait pas avec son relief important en bordure du bassin. Cependant, le bassin de Santos était séparé de celui du Parana par un diviseur d'eau. La Serra do Mar primitive s'individualisa au cours du Crétacé supérieur, probablement avant le Sénonien, à une époque que seule une étude des sédiments du bassin de Santos pourra

définir. Elle a dû surgir près de la faille de Santos et a reculé jusqu'à sa position actuelle.

Le sénonien et le Paléocène furent des époques de grandes perturbations tectoniques dans la région de la Serra do Mar qui à cette époque présentait déjà un relief élevé. Elle a fourni des sédiments au bassin du Parana à l'intérieur du continent (Formation Bauru du Sénonien) et au bassin de Santos où des sédiments clastiques continentaux du Crétacé supérieur ont été rencontrés par sondage. Durant le Sénonien inférieur et entre le Coniacien et le Paléocène, un volcanisme alcalin accompagna ces perturbations tectoniques.

A partir de l'Oligocène débute la subsidence du graben du Paraíba et l'élévation des bords de la dépression. Le rift de Guanabara date probablement de la même époque.

Une troisième pulsation tectonique affecta le système de la Serra do Mar, probablement au Pliocène, quand est apparu et se fut rempli d'alluvions le bassin tectonique de São-Paulo. En même temps, la subsidence des bassins de Taubaté et Resendé s'accrut. Ce processus a dû s'accompagner de l'augmentation du relief des montagnes bordant le rift. Les petits dépôts aréno-argileux continentaux non fossilifères représentés par les formations Alexandra au Parana, Pariquera-Açu dans l'état de São-Paulo et par les dépôts existant autour de la baie de Guanabara doivent dater de cette époque. Le Pliocène fut une époque de soulèvement épirogénique généralisé de toute la région centrale et orientale du Brésil. Ce qui entraîna un intense processus érosif et par conséquent une sédimentation présentée par le groupe Barreiras dans les régions côtières.»

Le rift du Paraíba continue à fonctionner au Quaternaire car des sédiments récents sont recoupés par des failles bordières.

Il s'est donc produit une réactivation de la marge continentale brésilienne sud après la séparation de l'Afrique et de l'Amérique. Cette réactivation s'est traduite, sur le continent par la surrection de La Serra do Mar et la formation des grabens du Paraíba et de Guanabara, et en mer par la continuation de la subsidence du bassin de Santos. Nous avons vu qu'il s'était produit plusieurs pulsations et que le phénomène semblait se poursuivre au Quaternaire.

Un phénomène de flexure continentale n'est pas incompatible avec ce que nous venons de voir. Naturellement cette flexure continentale s'est accompagnée de nombreuses failles. Il est possible que ces dernières aient été actives pendant les périodes de pulsations et que pendant les périodes intermédiaires un phénomène purement de flexure soit intervenu. La position du littoral par rapport au point d'inflexion pourrait expliquer la morphologie différente qui existe entre le nord et le sud (fig. 11). Au nord,

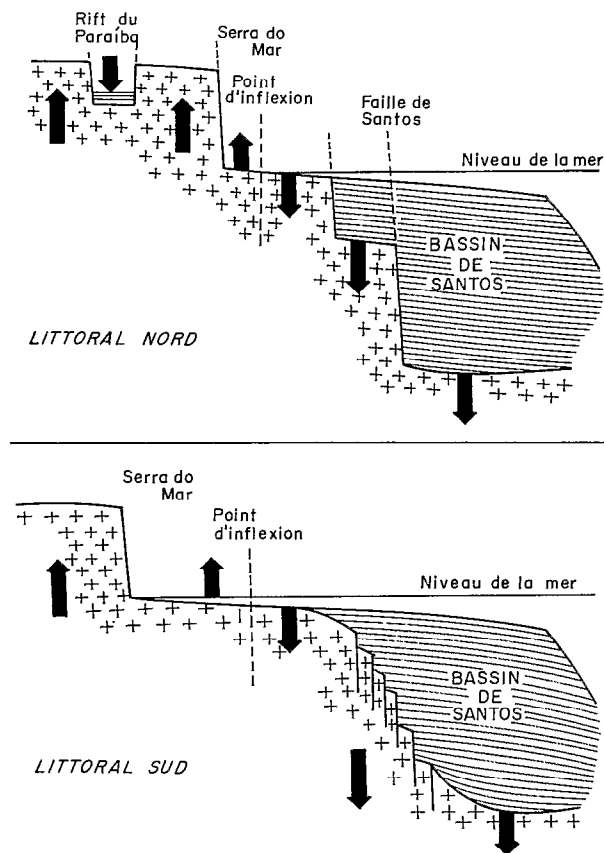


Fig. 11. — Application du mécanisme de flexure au littoral pauliste.

le point d'inflexion se situerait sur le continent et le littoral aurait une tendance à la submersion. Le point d'inflexion passerait sur le plateau continental dans la région de São-Sebastião et s'éloignerait progressivement de la côte en allant vers le sud (fig. 2). Ceci expliquerait l'accroissement régulier de la superficie des plaines sédimentaires du nord vers le sud.

Il est possible que ce phénomène de flexure continentale ne soit pas perceptible à l'échelle de l'Holocène, car il est évident que la différenciation en côte de submersion et en côte d'émergence ne s'est pas faite au cours du seul Holocène. Il est vraisemblable que le phénomène soit plus perceptible à l'échelle du Pleistocène. Malheureusement dans ce cas, les données chiffrées sur les âges et les altitudes des anciennes lignes de rivage sont plus difficiles à obtenir.

CONCLUSION.

Le littoral pauliste possède une morphologie de submersion au nord et une morphologie d'émergence au sud. Nous avons pu dans la région sud définir deux sortes de formations marines quaternaires. Les unes, mises en place au cours du dernier épisode transgressif, indiquent des niveaux relatifs de la mer supérieurs au niveau actuel d'au moins 3 mètres. Les autres, mises en place probablement au cours de l'avant dernier épisode transgressif, indiquent un niveau relatif de la mer supérieur de 9 à 10 mètres au niveau actuel.

Dans la région de Salvador de Bahia, les décalages observés entre les lignes de rivage dans et hors du graben du Recôncavo semblent indiquer que celui-ci est encore actif au Quaternaire récent. Ici la différenciation entre côte à morphologie de submersion et côte à morphologie d'émergence se fait par un jeu de blocs séparés par des failles plus ou moins verticales.

Au contraire, dans la région du littoral pauliste, il semble que cette différenciation soit la conséquence d'un phénomène de flexure continentale. Dans la région nord, la ligne de côte se situerait à droite du point d'inflexion, c'est-à-dire sur la partie en subsidence et au sud à gauche du point d'inflexion, c'est-à-dire sur la partie en élévation. Du nord vers le sud, le point d'inflexion s'éloignerait progressivement vers le large ce qui expliquerait l'élargissement régulier des plaines sédimentaires quaternaires du nord vers le sud. La comparaison des anciennes lignes de rivage permettra de vérifier si ce phénomène de flexure se poursuit au Quaternaire et si oui de le chiffrer.

REMERCIEMENTS.

Ce travail entre dans le cadre d'une étude du Quaternaire du littoral de l'état de São-Paulo. Cette étude a été financée par la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São-Paulo = Fondation d'Aide à la Recherche de l'État de São-Paulo). Les auteurs remercient cette institution pour l'aide financière qu'elle leur a apportée. Ils remercient également M^{me} DELIBRIAS du Laboratoire des Faibles Radioactivités de Gif-sur-Yvette et Jean-Marie FLEXOR du Laboratoire de Physique Nucléaire de l'Université Fédérale de Salvador de Bahia pour les datations au ¹⁴C qu'ils ont bien voulu effectuer.

Manuscript reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 16 janvier 1976

BIBLIOGRAPHIE

- ALMEIDA (F. F. de), 1975. — The systeme of Continental rifts borderings the Santos bassin. International symposium on continental margins of Atlantic type. São-Paulo, octobre 1975 (sous presse).
- BARNES (B.), LEITE (D. C.), 1972. — O sitio de Aratu e a geologia do Recôncavo. Instituto de geografia, série geomorfologia, Univ. de São-Paulo, 24 : 14.
- BOURCART (J.), 1949. — La théorie de la flexure continentale. C. r. du XVI^e Congrès Intern. de Géographie, Lisbonne, 167-190.
- MARTIN (L.), 1973. — Variation du niveau de la mer et du climat en Côte d'Ivoire depuis 25000 ans. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. géol.*, vol. IV, n° 2 : 93-103.
- MARTIN (L.), SUGUIO (K.), 1975. — The state of São-Paulo coastal marine Quaternary geology. The ancient shorelines. International symposium on the Quaternary, Curitiba, juillet 1975 (sous presse).
- PETRI (S.), SUGUIO (K.), 1973. — Stratigraphy of the Iguape-Cananea lagoonal region. Sedimentary deposits, São-Paulo state, Brazil. Part II : Heavy minerals studies, microorganisms inventories and stratigraphy. *Bol. IG, Instituto de Geociências USP*, vol. 4, : 71-85, São-Paulo.
- SUGUIO (K.), PETRI (S.), 1974. — Stratigraphy of the Iguape-Cananea lagoonal region. Sedimentary deposits, São-Paulo state, Brazil. Part I : Field observations and grain size analysis. *Bol. IG, Instituto de Geociências USP*, vol. 4 : 1-20, São-Paulo.
- SUGUIO (K.), MARTIN (L.), 1975. — Brazilian coastline quaternary formations. The states of São-Paulo and Bahia littoral zone evolution scheme. International symposium on Continental margins of Atlantic type, São-Paulo, octobre 1975 (sous presse).
- SUGUIO (K.), MARTIN (L.), 1976. — Presença de tubos fósseis de Callianassa nas formações quaternárias do litoral de Estado de São-Paulo e sua utilização na reconstrução de Paleoambiente. *Bol. IG, Instituto de Geociências, Universidade de São-Paulo*.
- RODRIGUES (S. de ALMEIDA), 1966. — Estudos sobre Callianassa. Tese de Doutouramento, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São-Paulo, 168 p.
- WEIMER (R. J.), HOYT (J. H.), 1964. — Burrows of Callianassa major Say, geological indicators of littoral and shallow neritic environments. *Journal of Paleontology*, vol. 38, n° 4 : 761-767.