

# Étude sédimentologique des milieux de mangrove du Bénin occidental (Afrique de l'Ouest)

Afrique de l'Ouest  
Bénin  
Lagune  
Mangrove  
Sédimentologie

West Africa  
Benin  
Lagoon  
Mangrove swamp  
Sedimentology

M. Gaillard <sup>a</sup>, M. Gaillard <sup>a</sup>, J. Lang <sup>b</sup>, J. Lucas <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Équipe de Recherche Géologique béninoise, Service de Géologie, BP 526, Cotonou, Bénin.

<sup>b</sup> Institut des Sciences de la Terre et Laboratoire Associé au CNRS n° 157, 6, Bd Gabriel, 21100 Dijon, France.

<sup>c</sup> Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface, CNRS, Laboratoire de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg cedex, France.

## RÉSUMÉ

Le domaine margino-littoral béninois est un modèle d'environnement laguno-estuarien, voire deltaïque, en liaison avec l'Océan Atlantique, sous faible amplitude de marée, non carbonaté, en climat tropical humide avec influence de la néotectonique. Dans le cadre de cet environnement, l'objectif de cette étude est d'apporter des précisions sédimentologiques sur les milieux de mangrove, aujourd'hui isolés derrière le cordon sableux formant la côte occidentale du Bénin et pouvant, par comparaison avec les séries anciennes, apporter d'utiles indications paléogéographiques.

Pauvre en espèces, la mangrove béninoise appartient au type atlantique tropical à tendance humide — compte tenu du « couloir de sécheresse » qui affecte cette région. Elle subit de profondes modifications hydrologiques au cours des différentes saisons en liaison avec les fleuves Mono et Couffo. Très comparables aux mangroves du Sénégal, leur caractère plus humide limite cependant le développement des tannes. D'anciens beach-rocks existent localement sous les sédiments de mangrove.

L'analyse granulométrique et l'étude des faciès précisent une sédimentation de type lenticulaire en liaison avec des variations hydrodynamiques nombreuses et rapides. Le sédiment argilo-quartzéux contient également une phase chimique (pyrite se transformant par oxydation en jarosite, gypse et halite en liaison avec des micromilieus d'évaporation) et une importante phase organique — avec des pH de 5 à 6.

La kaolinite, en provenance du « Continental terminal » proche, se sédimente pendant les périodes calmes ; les smectites semblent liées aux dépôts plus sableux de forte énergie et leur origine est probablement à rechercher dans un arrière-pays lointain (Éocène, socle).

En conclusion, les caractères observés relèvent autant de la sédimentation de mangrove, localement à tendance tourbeuse (dont l'équivalent en pays tempéré se retrouve dans les polders) que de la sédimentation estuarienne.

*Oceanol. Acta*, 1982. Actes Symposium International sur les lagunes côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 septembre 1981, 129-137.

## ABSTRACT

Sedimentological study of mangrove swamp environments of the Western Benin (West Africa).

The littoral area of Benin is a lagoonal-estuarial, indeed even deltaic, environmental model touching the Atlantic Ocean. It is under weak tidal amplitude, non-carbonated, and has a humid tropical climate with neotectonic influence. Within the limits of this environment, the aim of this study is to supply precise sedimentological details on the mangrove milieux, which today are isolated behind the sandy bars forming the western coast of Benin and which can, through comparison with the past series, help in paleogeographic reconstitutions.

Poor in species, the mangrove of Benin belongs to the tropical Atlantic type tending to be humid, considering the "drought belt" which affects this region. It undergoes profound hydrological changes in the course of the different seasons in relation to the Mono and Couffo Rivers. Very comparable to the mangroves in Senegal, it is however more humid and this

limits the development of "tannes". Older beach-rocks exist locally under the mangrove sediments.

The granulometric analysis and the study of the facies makes clear a lenticular-type sedimentation in relation to numerous and rapid hydrodynamic variations. The clayish-quartzose sediment also contains a chemical phase (pyrite is transformed through oxidation into jarosite, gypsum and halite in relation to the micromilieux of evaporation) and an important organic phase — with a pH level ranging from 5 to 6.

Kaolinite, from the nearby "Continental terminal", is deposited during calm periods; the smectites seem linked to high energy sandier deposits and their origin should probably be sought in a far away back country (Eocene, basement).

In conclusion, the observed features are as much due to mangrove sedimentation, locally with a peaty tendency (the equivalent of which can be found in polders in temperate countries), as to estuarial sedimentation.

*Oceanol. Acta*, 1982. Proceedings International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 8-14 September, 1981, 129-137.

## INTRODUCTION

Le Bénin présente une façade côtière de 140 km sur le Golfe du Bénin, du Togo au Nigeria (fig. 1). La bande littorale, d'Ouest (2 km de Lomé au Togo) en Est (10 km au sud de Porto Novo), se situe dans la partie méridionale du bassin sédimentaire côtier dont la structure monoclinale est faiblement inclinée vers l'océan (Slansky, 1962); cette bande est limitée au Nord par les formations post-éocènes du « Continental terminal » (Houessou, Lang, 1978), recouvertes par la « terre de barre », sédiment argilo-sableux rouge, probablement plio-quadernaire, pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, dont la surface, apparemment pénplanée, se situe à un niveau de 20-30 m au Sud (Houessou, Lang, 1979).

Sur cette bande côtière, on rencontre des sédiments sableux plus ou moins émergés, des lacs et des lagunes, ce complexe constituant un bon exemple de ce que Levy (1971) a appelé un milieu margino-littoral. Au Bénin, il se traduit par un environnement laguno-estuarien, voire deltaïque, en liaison avec l'Océan Atlantique, sous faible amplitude de marée, non carbonaté, en climat tropical humide avec influence de la néo-tectonique (Lang, Paradis, 1977).

Ce milieu appartient au cycle qui débute vers 6 500 ans BP par la transgression de l'Holocène inférieur; celle-ci entraîne la création d'un vaste système de « rias ». La dérive littorale Ouest-Est aboutit à la formation d'un cordon sableux qui isole en arrière tout un système de lagunes (Guilcher, 1959; Assemien *et al.*, 1970; Germain, 1975;

Tastet, 1975). L'époque récente est marquée par une régression (Paradis, 1977). Ces formations plio-quadernaires littorales dont les relations avec la « terre de barre », ne sont pas toujours très claires, ont une épaisseur variable, maximale dans le prolongement des cours d'eau (50 m par exemple du sud du lac Ahémé); il pourrait s'agir de zone plus subsidente en liaison avec la présence de failles ayant conduit à la naissance du lac Ahémé.

Le « marais maritime » est caractérisé par une végétation importante de palétuviers, la mangrove présentant des adaptations remarquables dans cet environnement de transition entre eaux salées et eaux douces. Le terme désigne par extension l'ensemble du milieu, plus ou moins régulièrement submergé, avec ses caractéristiques sédimentologiques, pédologiques et biologiques. La lagune de Porto-Novo a fait l'objet de l'étude de Rabier (1978); le milieu actuel de sédimentation relève autant de la tourbe et de la mangrove aujourd'hui disparue, que de la progradation deltaïque en liaison avec le fleuve Ouémé (Rabier *et al.*, 1979). Le « lac Nokoué » est en cours d'étude (Texier *et al.*, 1980). L'objectif de l'étude présente est de fournir des précisions sédimentologiques sur les milieux de mangrove, aujourd'hui isolés derrière le cordon sableux formant la côte occidentale du Bénin dans le souci d'apporter des indications utiles aux reconstitutions paléogéographiques dans des séries anciennes comparables (Plaziat, 1975; Gruas-Cavagnetto *et al.*, 1980 a et 1980 b). Plus précisément, la lagune qui nous intéresse s'étend sur 65 km entre Grand Popo à l'Ouest et Togbin à l'Est (fig. 1).

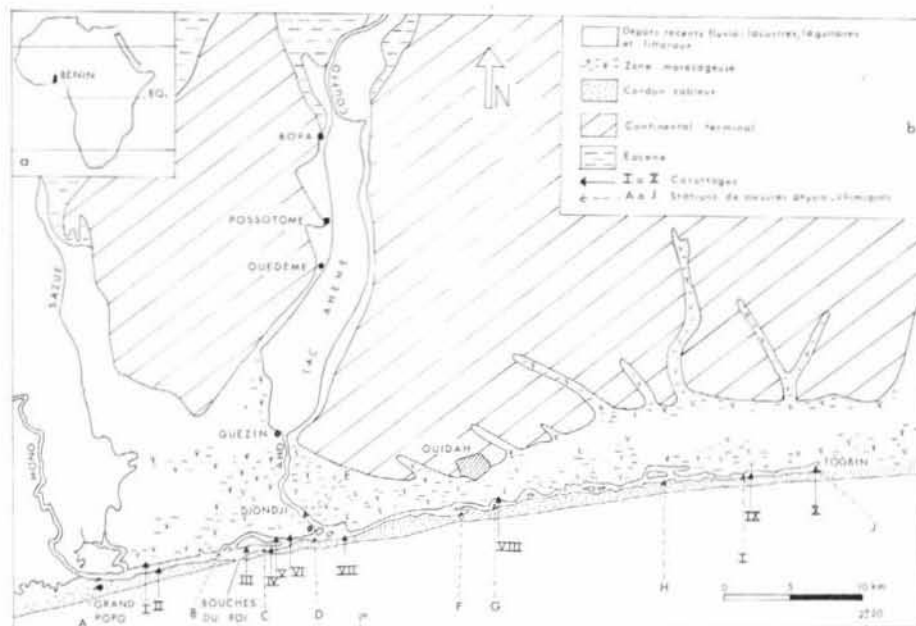


Figure 1

Cadre géographique et géologique du secteur étudié: 1 a) à l'échelle de l'Afrique; 1 b) à l'échelle du Bénin, avec la localisation des stations de prélèvement.

La zone marécageuse comprend: a) la bande à *Rhizophora* sur les rives de la lagune Togbin-Grand Popo et du « lac » Ahémé (la mangrove s'étend vers le Nord jusqu'au débouché du Couffo); b) la zone *Avicennia* et les « prairies » à *Paspalum*; c) la zone à *Acrostichum* ainsi que les tourbes flottantes des vallées et des dépressions.

*Geographic and geologic framework of the studied area: 1 a) at the scale of Africa; 1 b) at the scale of Benin, with location of the sampling stops.*

## CADRE PHYSIQUE

## Le climat

La mangrove béninoise appartient au type atlantique tropical à tendance humide, à nuancer cependant compte tenu du « couloir de sécheresse » qui affecte cette région (Baltzer, Lafond, 1971). On relève une grande saison sèche (avec moins de 40 mm de précipitations en novembre, décembre, janvier et février), une grande saison des pluies (avril, mai, juin, juillet), une petite saison des pluies en octobre et une petite saison sèche en août. La température mensuelle moyenne varie de 25° en août à 28° en mars, avec une moyenne annuelle de 26°C. Signalons l'important effet destructeur des ouragans (exemple récent des mangroves de la lagune de Fresco en Côte d'Ivoire). On notera une forte diminution de la pluviométrie vers l'Ouest : Porto-Novo 1 420 mm, Cotonou 1 370 mm, Ouidah 1 150 mm, Grand Popo 920 mm. L'humidité reste élevée toute l'année.

## Les apports fluviaux

La lagune côtière entre Grand Popo et Togbin est alimentée par trois fleuves venant du Nord : le Mono et son affluent la Sazué, ainsi que le Couffo qui se jette dans le lac Ahémé, celui-ci communiquant avec la lagune par l'intermédiaire de l'Aho. La communication avec la mer est unique au lieu-dit « les Bouches-du-Roi ». Ces fleuves ont un régime en relation avec le climat du centre du pays — saison des pluies centrée sur août (alors que, sur la côte, cette période correspond à une petite saison sèche) et grande saison sèche de novembre à mars. En conséquence, les hautes eaux, dans la lagune côtière, se situent de mai à octobre avec un maximum en septembre (basses eaux de novembre à avril). Si on se réfère aux travaux de Colombani *et al.* (1972) sur le fleuve Ouémé, à l'est du Bénin, les suspensions sont en quantité relativement faible, avec une forte proportion d'éléments argilo-silteux. Mais il ne faut pas négliger l'importance sédimentologique des « phénomènes accidentels », tels que la crue du Mono et du Couffo en octobre 1979 par exemple (eaux marron-ocre, très chargées en argiles et en silts tandis que sur le fond, compte tenu du fort courant, transport probable de sable par roulement ou par saltation).

## ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DES MILIEUX DE MANGROVE

## Géomorphologie

## Côte

Son tracé apparaît très mobile au cours de temps très brefs (Lang, Paradis, 1977). Guilcher (1959) avait remarqué que le Mono formait des méandres dans le cordon. L'observation des photographies aériennes entre Hakoué et Togbin montre que la lagune côtière forme d'anciens méandres entaillant la bande sableuse qui la sépare de la mer. Les anciens estuaires de Djegbadji (2511 ± 120 BP ; Diop, Dakar) et de Méko plage démontrent la mobilité de l'embouchure du Mono qui se jetait plus à l'Est, il y a 2 000 ans ; des anciennes embouchures, reconnaissables par leur morphologie en dépression, sont visibles près de Djondji (Paradis, 1976 et 1977). Des changements très rapides se produisent à l'embouchure ; ils sont dus aux marées et à la forte dérive littorale est-ouest. A marée haute, de fortes vagues pénètrent dans l'estuaire et érodent rapidement les îles de la lagune se situant dans l'axe ou à proximité de l'estuaire. Il y a même formation de falaises importantes en quelques mois (3 à 4 m pour l'île de Koueta, constituée d'un matériel argilo-sableux). L'important transport de sable par la dérive littorale tend à obstruer l'embouchure en saison sèche. Certaines années, elle se ferme dès février et doit être ouverte par l'homme, lors de la

crue, afin d'éviter l'inondation des villages. L'estuaire du Mono se déplace rapidement puisqu'un mouvement de 500 m vers l'Est a pu être observé depuis janvier 1979. Quand on parle de « cordon sableux », il existe en fait un cordon subactuel et une série de cordons internes plus anciens résultant de phénomènes très mobiles qui se sont produits depuis 5 000 ans (Lang, Paradis, 1977).

## Lagune (fig. 1 b)

Elle a un tracé extrêmement sinueux et comporte de nombreuses îles. On y observe des chenaux, des levées sableuses sur les rives, etc. De nombreux chenaux de marées, plus ou moins perpendiculaires à la lagune, permettent une extension de la mangrove vers le continent, car la partie septentrionale correspond à une plaine littorale très plate. Au Sud, le développement de la mangrove est limité par un cordon sableux que l'on peut considérer comme subactuel du fait de son relief. Par contre, les anciens estuaires correspondant à des zones basses (érosion du cordon sableux) sont des zones bien abritées où prolifèrent les palétuviers.

Du point de vue bathymétrique, on peut distinguer deux domaines :

— à l'ouest de l'embouchure du Mono, la profondeur atteint 4 à 5 m (0,5 m sur les bancs de sable) — si on prend le niveau de saison sèche comme référence (2 à 3 m de plus en période de crue) ;

— à l'est des Bouches-du-Roi, la profondeur est souvent inférieure au mètre en saison sèche.

## Lac Ahémé

D'orientation subméridienne, long de 25 km, large de 3 à 5 km, en relation avec l'océan par le bras de l'Aho et les Bouches-du-Roi (fig. 1 b), il apparaît très encaissé ; on observe localement sur ses rives le développement de la mangrove. Le Continental terminal le domine parfois de plusieurs dizaines de mètres, ce qui est exceptionnel dans le domaine margino-littoral béninois où la topographie est extrêmement plate. Le lac Ahémé a été engendré très vraisemblablement par un jeu de failles normales résultant d'une néotectonique active. Les sources d'eau chaude (45°C), à l'ouest du lac (Possotomé), sont certainement en relation étroite avec ces accidents.

## Hydrologie de la lagune

## Salinité

Des prélèvements mensuels sur dix stations régulièrement réparties tout au long de la lagune permettent d'étudier la décroissance de salinité de part et d'autre des Bouches-du-Roi (communication avec la mer) en fonction des saisons (fig. 2) ; elle est toujours inférieure à celle de l'eau de mer. Pendant la période des hautes eaux (septembre à novembre), la salinité est faible (en moyenne,  $C = 10\ 000\ \mu\text{mho/cm}$ ), même à proximité de l'embouchure (24 000  $\mu\text{mho/cm}$  en octobre, alors qu'elle est voisine de 49 000  $\mu\text{mho/cm}$  dans l'eau de mer). Elle est minimale à Grand Popo (eaux douces en provenance du Mono) et à Djondji, lieu de confluence de la lagune et de l'Aho (débouché du lac Ahémé).

Avec la saison sèche, la salinité augmente rapidement (en moyenne  $C = 22\ 500\ \mu\text{mhos}$  en décembre, 31 500 en janvier, 34 500 en février, 38 000 en mars). A partir des Bouches-du-Roi, la mer pénètre profondément dans la lagune et engendre de forts courants ; le « front salé » d'une part remonte à l'Ouest le Mono vers Grand Popo surtout à partir de janvier-février, et d'autre part progresse vers l'Est dans la lagune pour atteindre Hakoué en décembre, Djondji en janvier et Ouidah en février.

Dès fin avril, début de la saison des pluies dans le Sud, la baisse de salinité est sensible. En mai et surtout en juin, elle s'accroît avec les apports d'eaux douces en provenance du Mono et de l'Aho.

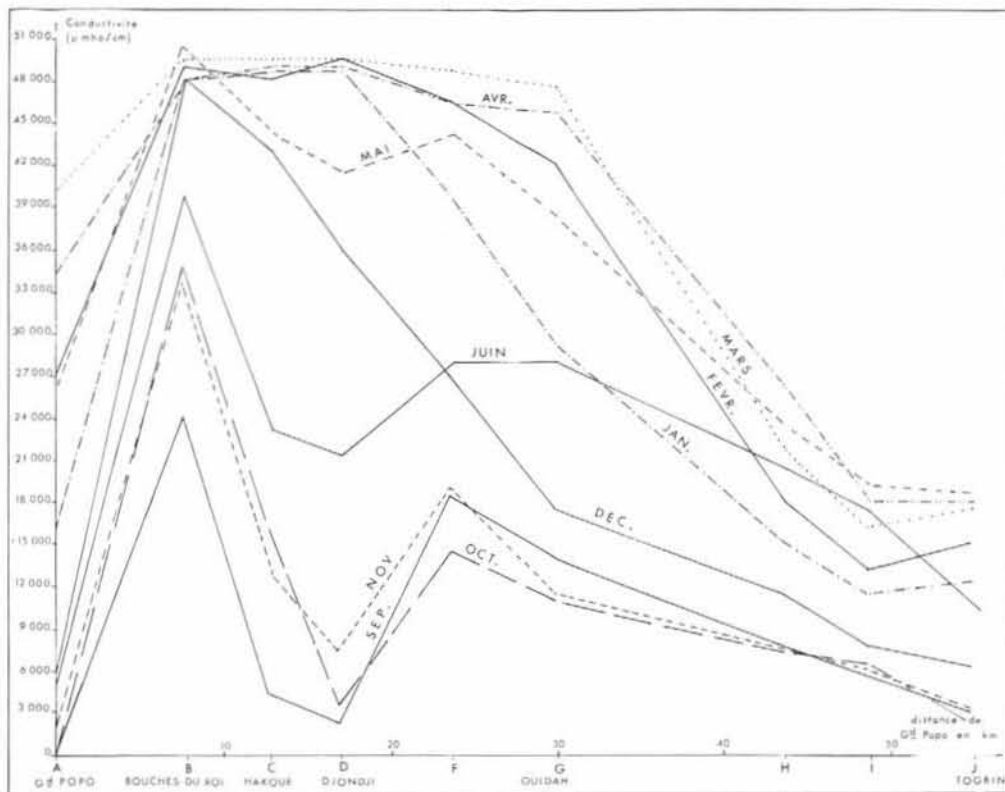


Figure 2  
Variations mensuelles de la conductivité dans la lagune.  
Monthly variations of the lagoon's conductivity.

**Remarque :** lac Ahémé. Après la période des hautes eaux du Couffo, pendant laquelle les eaux du lac sont douces, le front salé de la lagune remonte par l'Aho, atteint le sud du lac début janvier (C : 43 000  $\mu\text{mho/cm}$ ) et remonte vers le Nord pendant la saison sèche (moitié inférieure du lac en 1979-1980). Dès les pluies, en mai, se produit le mouvement inverse.

Ces variations de salinité dues aux saisons et à la position géographique se compliquent de variations journalières dues aux marées. A marée haute, les eaux salées progressent de part et d'autre de l'estuaire ; au reflux, ces eaux sont chassées vers la mer et la salinité diminue. Ces phénomènes s'amortissent quand on s'éloigne des Bouches-du-Roi.

#### Températures

Les eaux sont toujours chaudes — moyenne annuelle de 30,3°C au cours de 1979-1980, avec de faibles écarts de température (moins de 1°), les températures minimales se situant près des Bouches-du-Roi (29°3 en moyenne, avec un minimum de 28°).

#### pH

Des mesures systématiques mensuelles du pH des eaux dans les différentes stations donnent des valeurs s'étalant entre 7,1 et 8,2. Les valeurs les plus basses se situent dans la partie orientale de la lagune et, vers l'embouchure, on note des pH nettement basiques correspondant au pH de l'eau de mer (8-8,2). D'une manière générale, les pH sont plus faibles en septembre-octobre, quand il y a apport d'eaux douces continentales.

#### Caractéristiques biologiques (biofaciès)

##### Généralités

La mangrove s'étend sur les deux rives de la lagune avec de nombreuses interruptions dues à l'homme (extraction artisanale du sel : Paradis, Adjanooun, 1974 ; Paradis, 1980), ainsi que sur les îles. Il n'y a pas de mangrove à l'embouchure en raison de la force des courants. Elle existe aussi sur les bords du lac Ahémé, le long du Mono et de la Sazué. L'amplitude des marées et la morphologie des zones inondables conditionnent les possibilités d'existence de la man-

grove — d'extension assez limitée au Bénin où le marnage est faible (HMVE : 1,5 m ; HMME : 1,3 m ; BMME : 0,4 m, BMVE : 0,2 m). L'alternance des basses et hautes eaux entraîne des émergences et des submersions des rives qui influent sur le développement de la faune et de la flore.

##### Peuplements végétaux

Dans ces mangroves, les palétuviers vivent sur des substrats vaseux à sableux, aussi bien dans des eaux à salinité marine qu'en eau très dessalée (moins de 1‰), et pouvant supporter les sursalures des eaux interstitielles du sol (*Rhizophora racemosa*, *Avicennia africana*) ; signalons également *Acrostichum aureum*, fougère de mangrove indiquant des sols en voie de dessalure.

Les mangroves atlantiques sont plus pauvres en espèces que les mangroves indo-pacifiques. Au Bénin, il s'agit d'une mangrove secondaire (Paradis, Adjanooun, 1974 ; Paradis, 1978) et les zones défrichées sont envahies par des graminées (*Paspalum vaginatum*).

Malgré l'influence de l'homme, on peut distinguer la zonation suivante du centre de la lagune vers la terre ferme : 1) étroite bande de *Rhizophora* : les palétuviers frontaux sont souvent installés sur les faciès grossiers de la levée sableuse de bordure ; localement des chenaux la traversent et pénètrent dans des zones plus internes où l'on retrouve les *Rhizophora* le long du marigot, sur des substrats très vaseux ; 2) une zone à *Avicennia* où la surface du sol est tapissée de pneumatophores ; après défrichement, des « prairies » à *Paspalum* succèdent souvent à cette mangrove ; 3) une zone à *Acrostichum*, souvent fortement dégradée, qui fait la transition avec les cocotiers.

Les principaux stades d'évolution de la mangrove béninoise semblent très similaires à ceux décrits par Vieillefon (1974) et Kalck (1978) au Sénégal : les *Avicennia*, plus tolérants vis-à-vis des vagues, forment la végétation pionnière et créent, dans la zone interne, un abri relatif permettant ensuite le développement des *Rhizophora* ; ceux-ci progressent vers la zone externe en repoussant les *Avicennia*. A la différence du Sénégal, il n'y a pas au Bénin de développement important de tanne, peut-être en liaison avec une pluviométrie plus importante — mais celle-ci n'est pas seule en cause, car des tannes associés à des mangroves existent au Gabon dans le contexte d'un climat équatorial de

transition. Ils ont été décrits par Lebigre et Marius (1981), qui font intervenir en plus du facteur climatique (existence d'une saison sèche bien marquée de 3 mois), un facteur hydrologique probablement important (réception d'eau douce à partir des bassins versants), un facteur granulométrique (substrat sableux) et un facteur géologique qui semblerait secondaire (existence de salines).

Dans les argiles noires, il est possible d'observer souvent des racines de *Rhizophora* épigénisées en oxydes et hydroxydes de fer (« iron pipe » sur le pourtour de l'île d'Houeta près de l'embouchure du Mono et sur les rives à l'ouest de Djondji). La morphologie originelle est très bien conservée, avec une partie externe de couleur rouille et une partie centrale creuse. La densité peut être très forte (une fois les quelques centimètres) et lors de l'érosion de ces faciès, les vestiges des racines sont facilement extraits ; l'argile restante prend l'aspect d'un véritable gruyère et donne naissance à des galets de boue à angles plus ou moins vifs.

#### Peuplements animaux

La faune de la mangrove présente un caractère lagunaire — petit nombre d'espèces et grand nombre d'individus.

#### Mollusques

Lamellibranches (*Aloidis*, *Donax*, *Ostrea*) et gastéropodes (*Tympanotonus*, *Pachymelania*, *Natica*, *Neritina*) représentent l'essentiel des populations actuelles et fossiles à la surface du sédiment, voire dans des carottes (Nozeran-Pasquier, 1976 ; Paradis, 1976). Les débris sont localement si abondants qu'ils forment une lumachelle avec très peu de sédiment entre les tests. Les deux valves des *Aloidis* sont fréquemment accolées et bien conservées, car elles se situent dans les parties argileuses de l'imbrication sable-argile. Il existe des niveaux parfois centimétriques d'accumulations de coquilles, et en particulier d'huîtres. Ces lamellibranches, installés sur substrat grossier et surmontés par du matériel plus fin, soulignent la limite de deux faciès différents et témoignent peut-être d'un petit arrêt de sédimentation. Les divers types d'huîtres se fixent également sur les beach-rocks, les troncs d'arbres et surtout sur les racines aériennes où elles acquièrent une adaptation morphologique caractéristique (Plaziat, 1970).

Nous noterons que dans certains niveaux, les coquilles sont très fragiles, se détruisant au premier contact en raison d'une corrosion à la fois chimique et biologique. Des analyses d'eaux interstitielles en fin de saison sèche (avril 1979 et 1980) ont donné des pH de 5 à 6, alors que les eaux de la lagune avaient un pH de 7,7 à 8 et une salinité de 60 000  $\mu\text{mho/cm}$ . Les phénomènes d'évaporation-oxygénation et acidification du sol, bien que beaucoup moins sensibles que dans les tannes de la mangrove de Casamance (Kalck, 1978), agissent néanmoins sur la géochimie des sédiments malgré la forte pluviosité dans cette région. Cette corrosion chimique qui joue le rôle principal est préparée et favorisée, avec l'enfouissement, par l'action des microorganismes : bactéries détruisant le périostacum et cryptogames perforantes attaquant le test calcaire (Philippon, Plaziat, 1975). Il est vraisemblable que dans des milieux fossiles comparables, l'absence totale de coquilles puisse s'expliquer par une dissolution active et précoce ; signalons cependant que certaines coquilles de 3 000 ans peuvent encore dans certaines conditions être peu affectées (Vicillefon, 1974).

#### Crabes

Ils creusent des terriers dans les sédiments. Sur la levée sableuse, de part et d'autre de la lagune, il est fréquent de rencontrer à la surface du sol de très nombreuses pelotes de nourrissage formant un tapis continu : quelques millimètres de diamètre, meubles, souvent empilées les unes sur les autres, mais gardant leur individualité en l'absence de tout choc mécanique. Ce biofaciès est détruit à chaque marée haute lorsque les vagues atteignent cette zone.

#### Autres organismes

Des balanes colonisent tous les supports, et sont ainsi maintenus au-dessus des fonds vaseux. Signalons les *Periophthalmes*, poissons adaptés à l'émersion. Les diato-

mées pullulent dans l'eau et à l'interface sédiment — eau ou air, où elles forment des films qui peuvent éventuellement souligner le litage du sédiment au cours de son évolution dans le temps.

#### Conditions de sédimentation

##### Principaux lithofaciès

La carte des lithofaciès sera précisée ultérieurement (Oyede). Brièvement on reconnaît :

##### Aréno-lutites

Les variations latérales de faciès, avec structures lenticulaires et terminaisons en biseau, sont très nombreuses. On observe des microstratifications obliques ; il s'agit le plus souvent de petites lentilles sableuses centimétriques noyées dans une matrice argileuse, vraisemblablement en liaison avec des microchenaux. Il en résulte une véritable imbrication des sables blonds et des argiles noires (« flaser bedding »).

##### Graviers (inférieurs au centimètre)

Ils forment des niveaux d'extension très limitée, probablement en liaison avec de fortes crues dans des chenaux anciens.

Remarque : beach-rocks. Ils s'étendent sur plusieurs kilomètres de long dans le cours inférieur du Mono depuis Allongo à l'Ouest jusqu'à Hakoué vers l'Est avec quelques interruptions. Il en existerait également vers Grand Popo (témoignages oraux). Il s'agit de grès indurés de faible épaisseur à stratifications obliques, visibles exceptionnellement aux très basses marées. Les bancs ont une direction constante (Nord 75 à 80°, et un pendage d'environ 5° vers le Sud). Il s'agit d'une ancienne plage, parallèle à l'actuelle, maintenant en retrait, correspondant au schéma de Dalongeville et Salanville (1981). Leur cimentation semble liée à des variations de salinité. En ce milieu tropical humide, il semble difficile d'évoquer une formation uniquement à partir de l'eau de mer sous conditions évaporitiques comme c'est le cas dans des zones plus arides (Purser, 1980). D'autre part, ces bancs sont traversés par des fractures longitudinales, nombreuses, de direction N80°, et des fractures transversales de direction N170°, plus rares. Elles sont peut-être dues au tassement ou à l'affouillement du soubassement meuble, mais nous n'excluons pas l'influence possible d'une néotectonique active avant le dépôt des sédiments de mangrove, cette dernière se développant ensuite à la faveur d'une période tectonique plus calme.

En lame mince, les grains de quartz s'ordonnent en microséquences (toujours plus ou moins obliques) ; le ciment intergranulaire, siliceux, n'occupe pas tous les vides, préservant ainsi partiellement une porosité primaire. Ces beach-rocks sont très différents de ceux décrits par Lang et Paradis (1977) sur une plage près de Cotonou (ciment ferrugineux avec précipitation de quelques gerbes aragonitiques).

#### Analyses minéralogiques, granulométriques et géochimiques

##### Minéralogie

— Les sédiments de mangrove sont relativement homogènes et présentent une grande constance minéralogique ; les feldspaths, et surtout les quartz, représentent la fraction détritique la plus grossière. Associés à la muscovite, fréquente, ils sont issus du socle béninois qui affleure à 70 km plus au Nord et du Continental terminal (quartz tapissés par un enduit rouge caractéristique). De ce dernier, proviennent également des petits fragments millimétriques plus ou moins roulés de grès (petits quartz emballés dans une matrice rouge argileuse). On observe quelquefois la magnétite qui fait partie du cortège des minéraux lourds, abondants dans les fractions grossières.

— A côté de ces minéraux détritiques, les plus abondants, il existe des minéraux de néogène. La halite se rencontre tout au long des profils et fait l'objet, localement, d'industrie artisanale (Paradis, Adjanohoun, 1974). Le gypse, assez

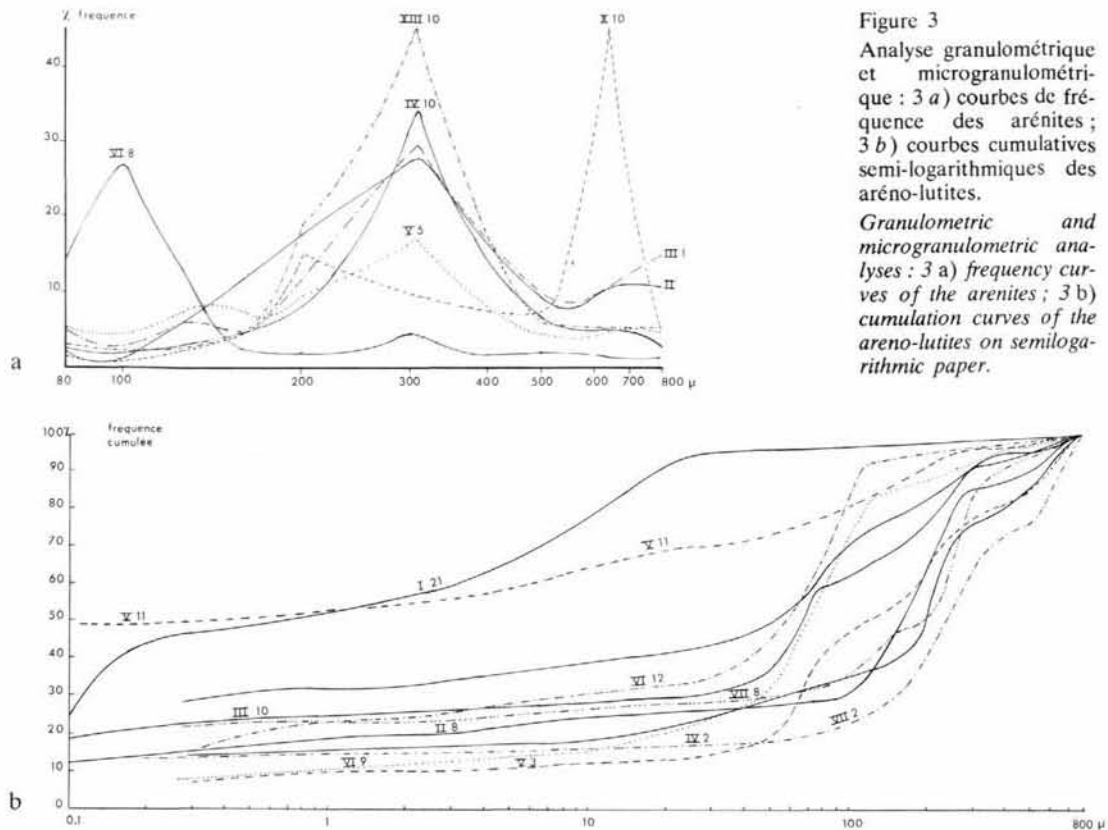


Figure 3  
Analyse granulométrique et microgranulométrique : 3 a) courbes de fréquence des arénites ; 3 b) courbes cumulatives semi-logarithmiques des aréno-lutites.  
*Granulometric and microgranulometric analyses : 3 a) frequency curves of the arenites ; 3 b) cumulation curves of the arenolites on semilogarithmic paper.*

fréquent, se trouve généralement en faible quantité, principalement dans la partie sommitale des carottes, dans les faciès argileux. Ce gypse se forme probablement en saison sèche grâce aux phénomènes d'évaporation-concentration et à l'oxydation du soufre. La présence de micromilieux peut également favoriser sa précipitation, même dans des eaux peu salées.

La pyrite est un minéral très répandu dans la mangrove. Les vases noires riches en matière organique sont un milieu réducteur favorable au développement de bactéries sulfato-réductrices qui réduisent le soufre des sulfates de l'eau de mer et provoquent la formation de pyrite (Vieillefont, 1974). En saison sèche, il apparaît partout, à la surface du sol, de nombreuses fentes de dessiccation, profondes, d'où une oxygénation du milieu entraînant l'oxydation de la pyrite. La jarosite, provenant de la réoxydation plus ou moins complète de la pyrite en sulfate de fer, auquel s'ajoute du potassium —  $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$  — est un minéral secondaire au Bénin. Cette transformation s'accompagne d'une acidification du milieu (Kalck, 1978). Quand il existe, ce minéral se localise principalement en surface, à moins d'un mètre de profondeur. Nous n'avons observé aucune répartition géographique significative.

La polyhalite —  $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$  — se rencontre à des profondeurs variables (de 20 à 90 cm, parfois en surface) et toujours sur une très petite épaisseur (10-15 cm). La calcite est très rare (fins débris de coquilles).

— L'analyse des argiles a porté sur 65 échantillons.

Kaolinite et smectites forment 85 % de la fraction inférieure à 2 μ, le reliquat étant représenté par des illites et quelques interstratifiés de type illite-smectite.

Les kaolinites sont de type fire-clay, et présentent donc systématiquement un désordre sur l'axe *b* (Range *et al.*, 1969) : ces kaolinites désordonnées réagissent mal au traitement à l'hydrazine (l'épaisseur des feuillets ne passe que partiellement de 7,15 à 10 Å après traitement). La constance de ces kaolinites de type fire-clay permet de penser à une origine unique à partir du Continental terminal proche ; elles se décarteraient pendant les périodes calmes de sédimentation fine. Par contre, les smectites seraient apportées avec les détritiques grossiers vraisemblablement

par les crues (sans exclure un apport éventuel par la mer lors des grandes marées ou des tempêtes). On peut en déduire une origine plus lointaine que celle de la kaolinite. Ce sont probablement des beidellites (Kalck, 1978) qui peuvent provenir du socle altéré (100 km environ au Nord) et également de l'Éocène (fig. 1) qui en est riche (Slansky, 1959).

Dans les carottes, malgré l'homogénéité assez grande des sédiments quant à leur composition argileuse, on peut néanmoins déceler quelques variations significatives. Nous observons globalement un enrichissement en kaolinite de la base au sommet, enrichissement qui peut être continu ou discontinu suivant les profils.

Granulométrie et microgranulométrie (120 échantillons ; fig. 3)

La mise en place des sédiments de mangrove est complexe. On peut cependant noter l'influence de l'installation des palétuviers sur la sédimentation : les plus faibles valeurs de médianes s'observent au sommet des profils ; la présence d'un très dense réseau de racines en surface crée un abri très efficace contre les courants et des particules ultra-fines peuvent se sédimenter (faciès hyperbolique) — souvent 35 à 40 %, voire 60 %, des argiles sont inférieures à 0,1 μ. La structure lenticulaire des sédiments complique l'analyse granulométrique puisque la médiane et l'indice de Trask, qui n'a guère d'intérêt dans cet environnement, peuvent varier rapidement d'une zone à l'autre : les nombreux microcanaux qui se recoupent entraînent des distributions plurimodales (Baltzer, 1980).

L'origine multiple du matériel détritique (Mono, Continental terminal, Océan Atlantique) et la présence de courants font que les sédiments de la mangrove sont très mal classés (plusieurs stocks granulométriques) et immatures (pas de courbes plurimodales).

Cependant, on peut essayer de décrire un « faciès granulométrique » dans ces sédiments de mangrove : similitude parfois assez grande de courbes granulométriques ; forte proportion des particules ultra-fines ; distributions plurimodales assez voisines les unes des autres pour les sables avec toujours un maximum de fréquence des grains autour de 300 μ ; courbes montrant toujours un meilleur classement

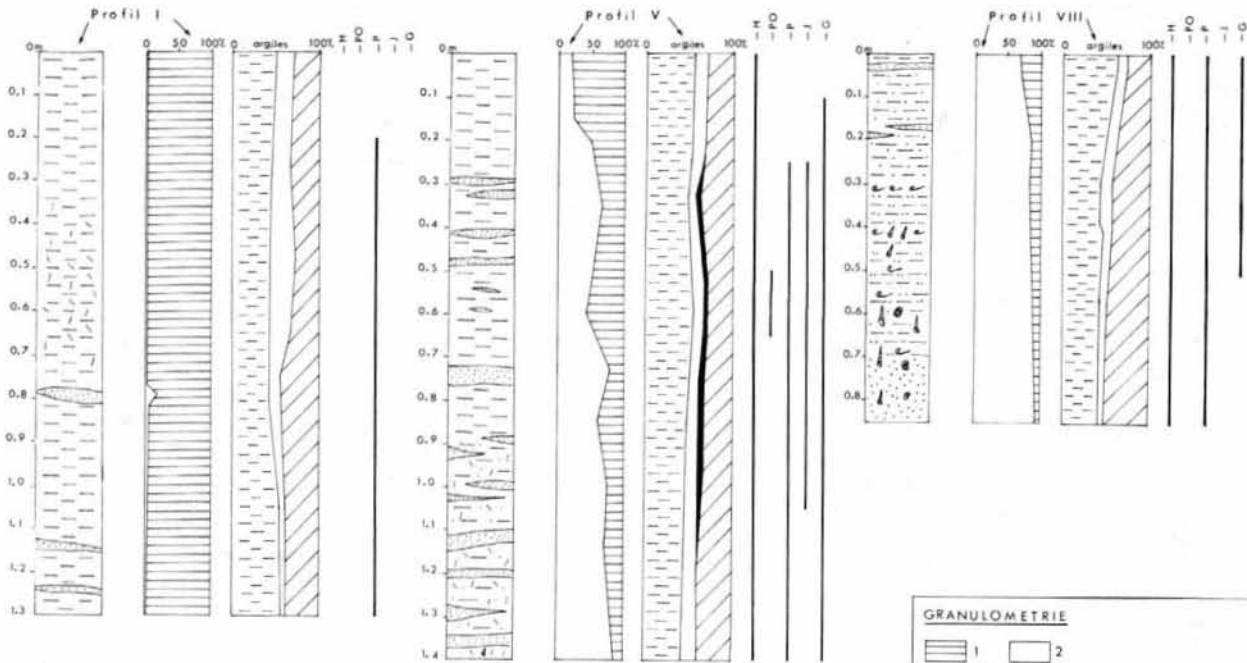


Figure 4

Analyses de quelques carottes caractéristiques :

- Granulométrie : 1. Fraction inférieure à  $80 \mu$  ; 2. Fraction supérieure à  $80 \mu$ .
- Argiles : 3. Kaolinite ; 4. Illite ; 5. Interstratifiés illite-smectites ; 6. Smectites.
- Minéralogie : H. Halite ; Po. Polyhalite ; P. Pyrite ; J. Jarosite ; G. Gypse.

Analysis of some typical drilled cores :

- Grain size analysis : 1. Fraction finer than  $80 \mu$  ; 2. Fraction coarser than  $80 \mu$ .
- Clays : 3. Kaolinite ; 4. Illite ; 5. Interstratified minerals illite-smectites ; 6. Smectites.
- Mineralogy : H. Halite ; Po. Polyhalite ; P. Pyrit ; J. Jarosite ; G. Gypsum.

du côté des particules les plus grossières, peut-être en relation avec l'existence de courants qui entraîneraient le vannage des particules fines.

#### Carbone organique

Les teneurs oscillent entre 0,1 et 5 %. On observe systématiquement un très net enrichissement dans les niveaux supérieurs des profils, parallèlement à l'installation d'une sédimentation de plus en plus fine et à la présence de racines, radicules et feuilles.

Nous n'avons observé aucune corrélation évidente de ces teneurs avec les médianes granulométriques ou avec la nature des argiles.

Cependant, les faibles teneurs en carbone (moins de 1 %) correspondent toujours aux faciès les plus grossiers. Comme dans les sédiments lagunaires méditerranéens (Gadel, 1976), il est fort probable que les particules organiques subissent le même tri que les particules minérales. Par effet de tri, seuls se déposent les débris organiques dont la dimension compense la faible densité.

#### Étude du litage

Il a été étudié à partir d'une quinzaine de carottes (prélevées à l'aide de tubes plastiques, munis d'un piston) dépassant parfois 2 m de longueur (fig. 4). Nous avons vu que les réseaux complexes de racines fonctionnent comme un véritable piège pour les argiles d'où une base sableuse à 80-90 %, alors que le sommet, surtout dans les trente derniers centimètres, est le plus souvent argilo-silteux, voire argileux, à 50-60 %. La limite est en général assez nette. Signalons également, notamment après une pluie — indépendamment des dépressions vaseuses, plus ou moins sableuses — le colluvionnement de sédiments argilo-silteux sur de grandes surfaces monotones émergées ; mais ces sédiments souligneraient un litage approximativement annuel, plus ou moins visible à l'échelle de l'échantillon d'autant plus qu'il est généralement souligné par le développement de voiles à cyanophycées (faciès détritiques terrigènes « stromatolitiques »). Nous ne connaissons pas le taux de sédimentation.

#### CONCLUSIONS

Les caractères sédimentologiques et paléogéographiques observés relèvent autant de la sédimentation de mangrove, localement à tendance tourbeuse — dont l'équivalent en pays tempéré se retrouve dans les polders (par exemple baie du Mont-Saint-Michel ; Lang *et al.*, 1973) que de la sédimentation estuarienne. Plusieurs de ces caractères sont fossilisables et susceptibles d'être reconnus dans les séries anciennes (Plaziat, 1975 ; Lang, Paradis, 1977) telles qu'on en connaît dans l'Éocène inférieur des Corbières (Plaziat, 1970) et dans les lignites yprésiens du Soissonnais (Gruas Cavagnetto *et al.*, 1980 a et 1980 b) en France, dans le Crétacé supérieur et l'Éocène inférieur de la bordure occidentale et méridionale du bassin des Iullemeden au Niger (Boudouresque *et al.*, 1982), etc.

#### Échelle de l'échantillon

a) Malgré d'importantes variations de détail, les sédiments de mangrove montrent dans leur ensemble une assez grande homogénéité minéralogique. On assiste à une sédimentation détritique terrigène, avec prépondérance d'arénites quartzueuses, localement cimentées par la silice, et localement de rudites. L'agressivité climatique, parallèlement à une néotectonique faible, est favorable pour faire disparaître en majeure partie éléments lithiques et feldspaths. La kaolinite, de type fire-clay, provient probablement du Continental terminal et elle se sédimente pendant les périodes calmes. Les smectites semblent liées aux dépôts plus sableux de forte énergie et leur origine est probablement plus lointaine (Éocène, socle). De plus, l'alternance des saisons sèches et humides favorisent les circulations d'eau dans les sols de mangrove ; silice et fer peuvent alors alimenter la néoformation des smectites.

Les argiles noires piégées par les palétuviers montrent des néogénèses de pyrite en milieu réducteur. Par oxydation, cette dernière se transforme en jarosite. Le gypse, en faible quantité, est assez fréquent, surtout dans les zones fines sommitales des carottes. Comme la halite, localement

exploitée, il résulte de phénomènes d'évaporation-concentration en saison sèche dans des micromilieus. Les pH, le plus souvent bas dans les sédiments, expliquent la disparition des organismes à test calcaire dans les carottages alors qu'ils abondent en surface (*Tympanotonus*, *Pachymelania*). Signalons enfin une phase organique importante due à l'accumulation des débris de palétuviers, pouvant même aboutir localement à la formation de tourbe.

b) Si, dans leur ensemble, ces sédiments sont très hétérogènes du point de vue granulométrique, ils présentent cependant quelques constantes : distribution polymodale des sables ; remaniements fréquents ; meilleur classement des particules grossières en liaison avec des courants forts ayant chassé les particules fines ; proportion importante d'argiles ultra-fines déposées dans des zones très calmes à l'abri des mangroves.

Malgré les différents facteurs intervenant dans la genèse de la mangrove (apports fluviaux, marnage, précipitation, évaporation), il semble qu'il se produise une certaine homogénéisation, minéralogique, granulométrique et hydrologique (progression du front salé, à partir de l'embouchure, vers l'Est et vers l'Ouest, surtout rapide de décembre à février).

c) Au plan paléontologique, on pourra faire référence aux pollens des végétaux de mangrove, aux associations de gastéropodes et de lamellibranches (éventuellement de foraminifères), pauvres en espèces et riches en individus dans les eaux saumâtres, aux variations des épines des organismes, au mode de fixation des huîtres, aux terriers et éventuellement aux pelotes de nourrissage des crabes...

#### Échelle des conditions de sédimentation

Sans insister sur les caractéristiques de la sédimentation houillère (Lang, Paradis, 1977) ou deltaïque (Rabier *et al.*, 1979), localement présentes dans ce cadre margino-littoral, relevons dans ces milieux de mangrove des séquences, sableuses à la base et argileuses au sommet (particules

ultrafines piégées par les racines). En relation avec des variations hydrodynamiques nombreuses et rapides, les structures lenticulaires sont fréquentes.

#### Échelle géodynamique

La mangrove béninoise appartient au type atlantique tropical à tendance humide ; elle est très comparable à celle du Sénégal (Kalck, 1978 ; Lucas *et al.*, 1980 ; Marius, Lucas, 1982) ; mais dans cette dernière, on observe un grand développement des tannes, différence probablement imputable à des facteurs climatiques (plus grande sécheresse) et surtout hydrologiques (influence de la nappe phréatique). Le climat agit notamment sur la végétation et la salinité (Baltzer, Lafond, 1971 ; Levy, 1971) sans oublier l'influence des ouragans, « phénomènes accidentels » qui ont une grande importance sédimentologique. La géomorphologie (pluies, vents, etc.) est principalement induite par la géodynamique interne, soit en liaison avec l'eustatisme, soit en liaison avec l'instabilité du continent. A cette dernière, est peut-être liée la fracturation d'un beachrock, vestige d'une ancienne plage parallèle à l'actuelle, mais en retrait et se situant actuellement sous les sédiments de mangrove ; celle-ci se développerait ensuite à la faveur d'une tectonique plus stable d'une part et du maintien du niveau de la mer d'autre part. Son recul récent peut être dû à des facteurs climatiques, à une légère régression du niveau marin et surtout aux facteurs anthropiques, brutaux et irréversibles.

#### Remerciements

Nous sommes reconnaissants au Doyen S. Alidou, Secrétaire du Comité National béninois du P.I.C.G.-UNESCO, d'avoir favorisé nos recherches. Les analyses d'argiles ont été effectuées à Strasbourg, les microgranulométries à Perpignan (J. P. Barusseau et C. Duboul-Razavet), ainsi que les analyses de carbone organique (F. Gadel). R. Meyer a accepté de relire notre texte. Nous remercions bien vivement toutes les personnes qui nous ont ainsi aidés.

#### RÉFÉRENCES

- Assemien P., Filleron J. C., Martin L., Tastet J. P., 1970. Le Quaternaire de la zone littorale de Côte d'Ivoire, *Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr., Dakar, Bull. liaison n° 25*, 65-78.
- Baltzer F., 1980. Géodynamique de la sédimentation et diagenèse précoce sur un delta tropical à mangroves en domaine ultra-basique (Nouvelle-Calédonie), *Thèse Doct. État, Univ. Orsay, France*.
- Baltzer F., Lafond L. R., 1971. Marais maritimes tropicaux, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 13, 2, 173-196.
- Boudouresque L., Dubois D., Lang J., Trichet J., 1982. Contribution à la stratigraphie et à la paléogéographie de la bordure orientale du bassin des lullemeden au Crétacé supérieur et au Cénozoïque (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest), *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 24, 4, 685-695.
- Colombani J., Sircoulon J., Moniod F., Rodier J., 1972. Monographie du delta de l'Ouémé, Rapport ORSTOM, Hydrol., 200 p. (ronéo).
- Dalongeville R., Sanlaville P., 1981. La signification morphogénétique du beach-rock (grès de plage) en Méditerranée, *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 2, 60-62.
- Gadel F., 1976. Bilan du carbone dans des sédiments lagunaires et marins méditerranéens : effets des processus biologiques saisonniers et diagénétiques, *Arch. Hydrobiol.*, 77, 1, 109-138.
- Germain P., 1975. Contribution à la connaissance du Quaternaire récent du littoral dahoméen, *Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr., Dakar, Bull. liaison n° 44-45*, 33-45.
- Gruas Cavagnetto C., Laurain M., Meyer R., 1980 a. Un sol de mangrove fossile dans les lignites du Soissonais (Yprésien) à Verzenay (Marne), *Geobios*, 13, 5, 795-801.
- Gruas Cavagnetto C., Laurain M., Meyer R., 1980 b. Paysage végétal et position stratigraphique du sommet des lignites du Soissonais dans la Montagne de Reims (Yprésien, Bassin de Paris), *Geobios*, 13, 6, 947-952.
- Guilcher A., 1959. La région côtière du Bas-Dahomey occidental, *Bull. I.F.A.N., Dakar, sér. B*, 11, 3 et 4, 357-424.
- Houessou A., Lang J., 1978. Contribution à l'étude du Continental terminal dans le Bénin méridional, *Sci. Géol. Bull., Strasbourg*, 31, 4, 137-149.
- Houessou A., Lang J., 1979. La terre de barre dans le Bénin méridional (Afrique de l'Ouest), *Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr., Dakar, Bull. liaison n° 56-57*, 49-58.
- Kalck Y., 1978. Évolution des zones à mangroves du Sénégal au Quaternaire récent. Études géologiques et géochimiques, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 122 p.
- Lang J., Lucas G., Mathieu R., 1973. Le domaine benthique littoral de la baie du Mont-Saint-Michel (Manche). Exemple d'environnement sédimentaire détritique marin actuel, *Sciences de la Terre*, 18, 1, 19-78.
- Lang J., Paradis G., 1977. Un exemple d'environnement sédimentaire biodétritique non carbonaté marin et continental, holocène, en climat intertropical : le domaine margino-littoral du Bénin méridional (ex-Dahomey), *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 19, 3, 295-312.
- Lebigre J. M., Marius C., 1981. Mise en évidence d'une zone à « structures circulaires de végétation » dans les mangroves de la Mondah (Gabon), *Symposium Internat. Lagunes côtières, Bordeaux*.
- Levy A., 1971. Eaux saumâtres et milieux margino-littoraux, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 13, 3, 269-278.
- Lucas J., Kalck Y., Goulet D., 1980. Aspects minéralogiques et chimiques des sédiments et des sols des mangroves du Sénégal, *Sci. Géol., Mém., Strasbourg*, 53, 53-56.



- Marius C., Lucas J., 1982.** Évolution géochimique et aménagement des mangroves du Sénégal (Casamance), *Oceanol. Acta, Actes Symposium Internat. Lagunes côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 septembre 1981*, 151-160.
- Nozeran Pasquier S., 1976.** Écologie des mollusques des lagunes du Sud Dahomey, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orsay, France, Notes Contrib. CERPAB n° 11*, 96 p.
- Paradis G., 1976.** Recherches sur le Quaternaire récent du Sud de la R.P. du Bénin (ex-Dahomey) : étude des thanatocénoses de mollusques, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orsay, Notes contrib. CERPAB n° 12*, 173 p.
- Paradis G., 1977.** Observations sur l'Holocène récent du Sud Bénin (ex-Dahomey). *Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr., Dakar, Bull. liaison n° 51*, 49-69.
- Paradis G., 1978.** Interprétation paléoécologique et paléogéographique des taphocénoses de l'Holocène récent du Sud-Bénin à partir de la répartition actuelle des mollusques littoraux et lagunaires d'Afrique occidentale, *Géobios*, **11**, 6, 867-891.
- Paradis G., 1980.** Un cas particulier de zones dénudées dans les mangroves d'Afrique de l'Ouest : celles dues à l'extraction du sel, *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., 4<sup>e</sup> sér.*, **2**, 227-261.
- Paradis G., Adjanooun E., 1974.** L'impact de la fabrication du sel sur la végétation de mangrove et la géomorphologie dans le Bas Dahomey, *Annal. Univ. Abidjan, sér. E*, **7**, 1, 599-612.
- Philippon J., Plaziat J. C., 1975.** Rôles respectifs de la corrosion et des cryptogames perforantes dans la destruction de mollusques des mangroves. Conséquences sur la fossilisation, *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. **281**, 617-620.
- Plaziat J. C., 1970.** Huitres de mangroves et peuplements littoraux de l'Éocène inférieur des Corbières, *Geobios*, **3**, 7-27.
- Plaziat J. C., 1975.** Les mangroves anciennes. Discussions de leurs critères de reconnaissance et de leurs significations paléoclimatiques, *IX<sup>e</sup> Congrès Inter. Sédimentologie, Nice*, thème 1, 153-160.
- Purser B. H., 1980.** *Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents, tome 1*, Éd. Technip., Paris, 366 p.
- Rabier J., 1978.** Étude sédimentologique de la lagune de Porto Novo (R. P. du Bénin), *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Bordeaux I et Univ. Natl. du Bénin*, 114 p.
- Rabier J., Klingebiel A., Lang J., 1979.** Étude sédimentologique de la lagune de Porto Novo (Bénin, Afrique de l'Ouest), *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, **25**, 31-55.
- Range K. J., Range A., Weiss A., 1969.** Fire clays type kaolinite or fire clay mineral. Experimental classification of kaolinite halloysite minerals, *Proc. Inter. Clay Conf., Tokyo*, **1**, 3-13.
- Slansky M., 1959.** Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo, *Mém. BRGM n° 11*, 270 p.
- Tastet J. P., 1975.** Les formations sédimentaires quaternaires à actuelles du littoral du Dahomey, *Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr., Bull. liaison n° 46*, 21-44.
- Texier H., Colleuil B., Profizi J. P., Dossou C., 1980.** Le lac Nokoué, environnement lagunaire du domaine margino-littoral sud-béninois, *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, **28**, 115-142.
- Viellefont J., 1974.** Contribution à l'étude de la pédogenèse dans le domaine fluvio-marin en climat tropical d'Afrique de l'Ouest, *Thèse Univ. Paris VI et Mém. ORSTOM, 1977*, 292 p.

