

MARAIS MARITIMES TROPICAUX

par Frédéric BALTZER * ** et Louis-Robert LAFOND *

RESUME. — Les marais maritimes tropicaux sont caractérisés par une végétation spéciale, celle de la mangrove, que l'on ne retrouve que dans quelques régions privilégiées de la zone tempérée. Cette végétation présente une zonation la plus souvent bien marquée, liée à plusieurs facteurs dont les principaux sont la marée, l'abondance et la répartition annuelle des précipitations, les apports d'eau douce, qui tous règlent la salinité des eaux interstitielles. Les différences constatées dans le degré d'aridité amènent finalement les auteurs à considérer des fonctionnements géochimiques oscillant entre deux extrêmes fortement typés :

1) En zone perhumide, les marais sont progressivement dessalés et la végétation passe de la mangrove à la forêt tropicale humide sans discontinuité.

2) En zone tropicale où alternent saison sèche et humide apparaît une frange littorale sursalée et desséchée au moins une partie de l'année, ce qui entraîne des précipitations salines (gypse ou halite), ou carbonatées (aragonite et parfois dolomite). C'est sous ces climats que se développent également les sols sulfatés acides.

ABSTRACT. — A special vegetation, the mangrove forest, covers most of the tidal marshes of the intertropical area. Out of this zone, it is found only in some peculiar countries of the temperate area. This vegetation shows a typical zonation controlled by several factors such as tide, abundance and annual distribution of rainfall, fresh water discharge, which all control interstitial water salinity. The differences noticed in the aridity rate lead the authors to consider geochemical behaviours oscillating between two extremes :

1) In permanently wet areas, marshes salt content decreases progressively from the sea towards the dryland and the vegetation varies from mangrove to wet tropical forest without discontinuity.

2) In tropical areas where dry and wet seasons are alternating, a dry hypersaline coastal fringe appears at least during a part of the year, between the mangrove swamp and the dryland. It is either covered with salt marsh grass or vegetation free and it involves evaporite (gypsum, halite) or carbonate (aragonite, sometimes dolomite) precipitations. Under these climates, acid sulphate soils occur frequently.

INTRODUCTION

Nous considérerons dans cet article sous le vocable de « marais maritimes tropicaux » l'ensemble des zones morphologiques qui forment transition entre le domaine maritime et le domaine continental, zones où les dépôts sédimentaires sont ou ont été importants, et ont conservé leur structure. Ces zones de transition sont soumises à l'influence prédominante de l'eau salée, ou non.

Ceci nous amènera à regrouper dans une description générale les unités morphologiques définies comme lagunes littorales, et à les associer à la fois

aux wadden et aux marais tels que les décrit F. Verger (1968) par exemple.

La morphologie générale des marais maritimes tropicaux est très plate à l'échelle régionale; à petite échelle, elle est plus variable, puisque l'on peut y décrire des chenaux, des levées, etc. Deltas et estuaires tropicaux s'accompagnent le plus souvent de dépressions latérales aux caractéristiques de marais, l'influence de la salinité est importante dans les dépressions localisées en zone aval, alors qu'elle peut s'annuler vers l'amont. On voit donc l'importance des marées et des courants qui leur sont associés dans la définition des marais, et leur influence sur la morphologie et la géochimie de ces zones.

* Laboratoire de Sédimentologie, section océanographie, Université Paris-Sud, centre d'Orsay.

** Section de géologie, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

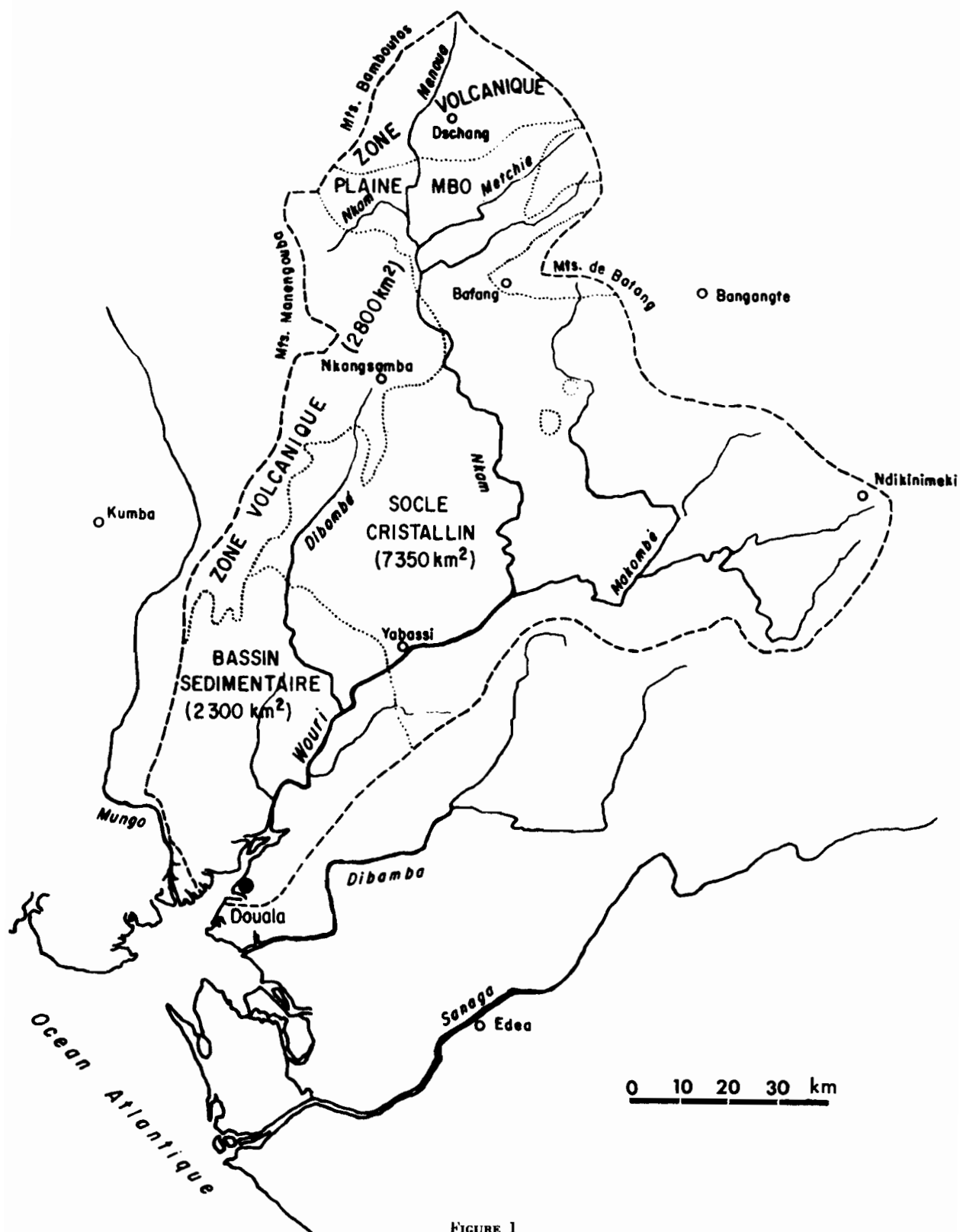


FIGURE 1
 Schéma du complexe laguno-marécageux des Bouches du Cameroun et Bassin versant du Wouri.
 Du pied du Mont Cameroun au Sud de la basse Sanaga, la mangrove occupe plus de 3 000 km².

Les facteurs climatiques : précipitations, alternance des saisons sèches et humides, températures, vents et par conséquent évaporation, jouent un rôle également très important et conditionnent l'aspect et le fonctionnement géochimique des zones marécageuses tropicales, en particulier par leur influence directe sur la végétation.

Enfin, l'importance des apports sédimentaires et la vitesse de la variation du niveau marin au cours des temps récents conditionnent également, quoique sans doute d'une manière plus secondaire, le fonctionnement des marais tropicaux.

En décrivant quelques grands types de marais maritimes tropicaux, nous ferons apparaître au cours d'une première partie l'ossature d'une classification climatique et géochimique; une seconde partie nous permettra ensuite de souligner l'importance des facteurs évolutifs principaux.

I. — DESCRIPTION DES GRANDS TYPES DE MARAIS MARITIMES TROPICAUX

Le climat, sous lequel fonctionnent les marais, réglant le régime hydrique et le rapport précipitations/évaporation, nous pouvons d'emblée distinguer trois grands types :

1) le type équatorial, dans lequel les précipitations sont presque constantes (Cameroun, Guyanes) ;

2) le type tropical *sensu stricto*, avec saison sèche plus ou moins longue, ce qui nous conduit à envisager deux sous-types, l'un à tendance plus humide (Guinée), l'autre à tendance subaride (Nouvelle Calédonie) ;

3) les types de transition, soit en direction des climats tempérés humides (Sud de la Floride), soit en direction des zones arides (Sud-Ouest de Madagascar, mer Rouge).

A) LES MARAIS ÉQUATORIAUX

Le premier exemple décrit sera celui des bouches du Cameroun; nous montrerons ensuite l'originalité des côtes de la Guyane française par rapport à ce type moyen.

1) Les bouches du Cameroun.

L'ensemble marécageux des bouches du Cameroun est situé autour du 4^e parallèle Nord, au fond

du golfe de Guinée. Il constitue le débouché de plusieurs fleuves dont le Wouri, sur l'estuaire duquel est installé le port de Douala.

Cette zone basse s'étend sur plus de 3 000 km², occupant le centre d'un bassin sédimentaire subsident depuis la fin du Crétacé. La morphologie des zones basses est imprécise, l'enchevêtrement des bouches des rivières Mungo, Wouri et Dibamba est compliqué par celui des chenaux de marée. Jusqu'en 1896, la rivière Sanaga, la plus importante du Cameroun oriental, débouchait d'ailleurs dans le même ensemble et des communications secondaires existent encore de nos jours jusqu'au Sud de cette rivière (fig. 1).

Le centre des bouches du Cameroun fonctionne comme une lagune ouverte et est protégé de la mer libre par un cordon sableux unique, fréquemment entaillé par les vagues de tempêtes, mais qui résiste assez bien à l'érosion malgré sa faible largeur. B. Gèze (1943) prévoyait en effet sa disparition prochaine, notant des reculs importants et la disparition d'un îlot avancé. Mais il s'agit sans doute pour l'essentiel de remaniements saisonniers.

Dans cette région, le marnage varie de 1,5 à 4,5 m et la salinité ne dépasse pas 22 pour mille en mer libre, en raison de l'abondance des apports fluviaux et de la concentration de ceux-ci au voisinage de la côte sous l'influence des courants. À l'intérieur du domaine marécageux, la salinité peut tomber à zéro au plus fort de la saison humide (fig. 2).

Le climat de la zone côtière camerounaise est typiquement équatorial, avec une température moyenne annuelle voisine de 27 °C et une pluviosité importante (3 940 mm/an répartis sur 230 jours à Douala — plus de 10 000 mm/an à la corne SW du massif du Mont Cameroun). Les pluies sont en fait réparties sur onze mois dans l'année, avec un maximum sur trois mois et il n'y a aucun mois à caractère franchement aride.

La colonisation des zones intertidales par la mangrove est totale, et la succession des zones végétales est simple : on rencontre en effet successivement, de la partie la plus marine du marais vers la partie la plus continentale :

- un rideau de *Rhizophora*,
- une zone à *Avicennia* en peuplement dense,
- la forêt non halophile, établie sur marais d'eau douce ou sur des terrains toujours exondés.

Il n'y a pas de solution de continuité marquée entre la zone saline et la forêt d'eau douce, le gradient de salinité restant toujours progressif du continent vers la mer. Dans cette région, la limite

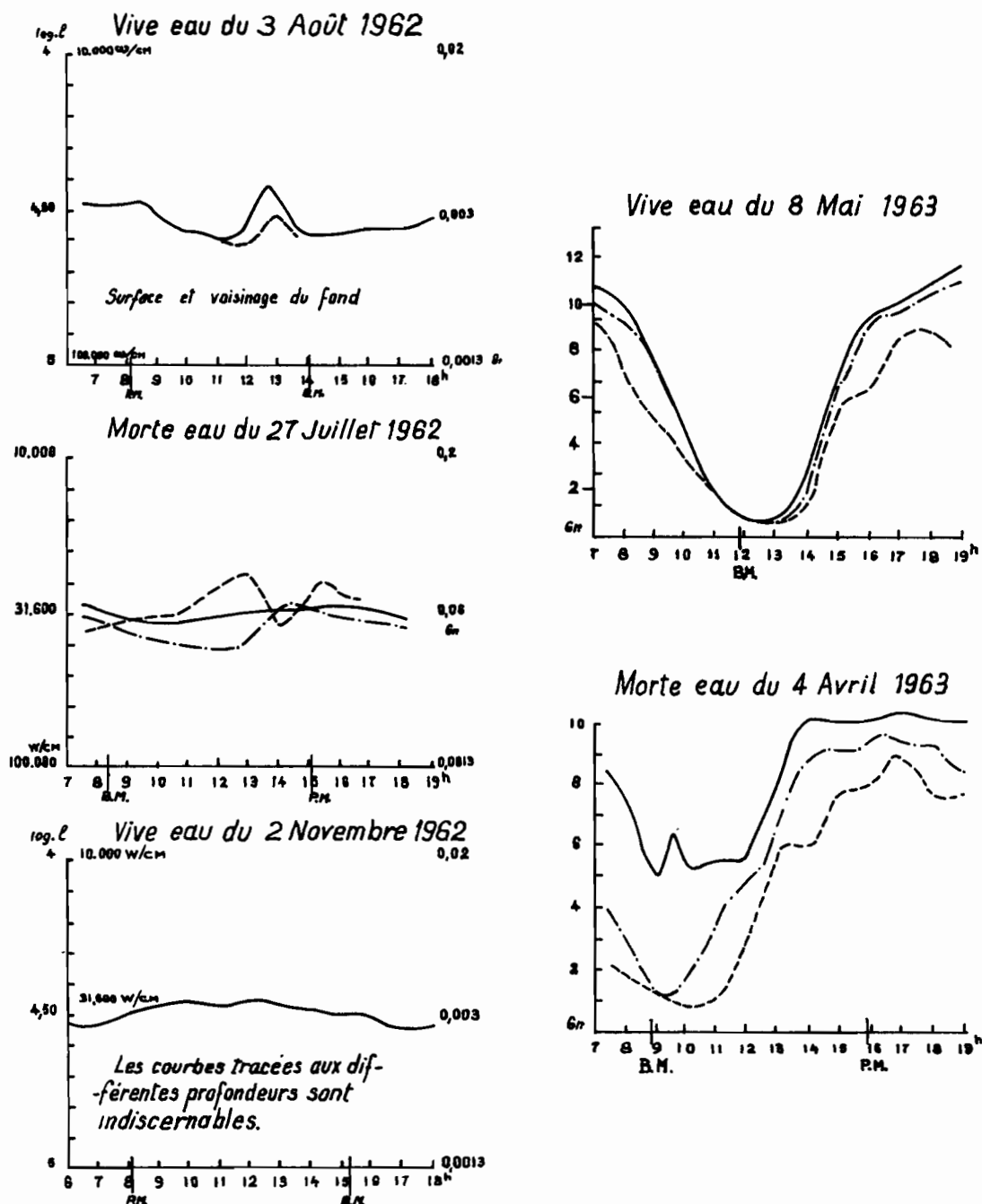


FIGURE 2

Courbes représentatives de la variation de la salinité en fonction des marées dans l'estuaire du Wouri (Bouches du Cameroun).

La variation représentée est celle enregistrée à des postes de mesure situés un peu en aval du port de Douala, c'est-à-dire dans la partie amont du complexe laguno-marécageux du littoral camerounais. En zone moyenne ou aval, les influences saisonnières sont moins sensibles.

En abscisses, heures de la marée et position des extrêmes de la courbe de marée mécanique.

En ordonnées, salinité en grammes par litre ou conductibilité électrique de l'eau, si la salinité est très faible.

Trait continu : mesures à 1 m au-dessus du fond.

Tiré-pointillé : mesures à mi-profondeur.

Tiré : mesures à 1 m au-dessous de la surface.

d'extension de la forêt halophile semble correspondre à peu près au niveau des plaines de vive eau, mais cette limite n'est pas facile à tracer en l'absence des voies de pénétration et de discontinuités franches dans la couverture végétale.

Si la végétation constitue un peuplement homogène, la répartition des sédiments actuels dans l'ensemble des bouches du Cameroun obéit au contraire à des lois strictes.

a) Dans les zones amont, et en particulier vers le centre des bras correspondant au débouché principal des rivières de quelque importance, on rencontre des sables grossiers dont l'origine fluviale est attestée par l'examen du stock de minéraux lourds : c'est ainsi que les sables du Mungo, provenant du Mont Cameroun, sont surtout d'origine volcanique, alors que les sables du Wouri sont caractérisés par un cortège à dominante d'origine métamorphique. La plus grande partie du bassin du Wouri s'étend en effet sur des affleurements du Précambrien inférieur, les formations volcaniques récentes n'étant représentées que dans la zone la plus amont, au N et à l'E de N'Kong-samba.

Ces sables parviennent dans la partie centrale de la lagune, où l'on retrouve les mêmes minéraux lourds, enrichis en biotite et associés à des quartz de taille plus fine, bien qu'il existe une assez large solution de continuité entre les gisements d'amont et du centre de la lagune. Cette zone intermédiaire est remplie en effet de dépôts vaseux.

b) Dans la zone moyenne du complexe marécageux, les sédiments sont à dominante nettement argileuse, les particules grossières associées étant surtout des micas. Il s'agit là de sédiments transportés en suspension par les rivières et floculés au contact des eaux salines, et dont le transport dans tout l'estuaire et les marécages voisins n'est plus assuré que par les courants de marée. Ces sédiments fins tendent à se déposer dès que la vitesse relative des courants diminue; on les rencontre donc sous forme de laisses de pleine mer le long des berges des chenaux de marée comme sous la forme de minces placages sur les schorres colonisés par la mangrove. On les rencontre également dans le secteur aval du complexe des bouches du Cameroun, là où les profondeurs d'eau deviennent suffisantes pour que l'agitation au voisinage du fond finisse par s'amortir en grande partie.

La répartition des sédiments vaseux à la fois dans les zones centrales et dans les zones latérales de l'ensemble marécageux s'explique aisément comme un vannage et une décantation des eaux chargées de particules fines, à partir des zones

centrales. L'évolution granulométrique progressive des argiles, qui passent d'un faciès légèrement parabolique au centre à un faciès franchement hyperbolique dans les zones intertidales souligne d'ailleurs l'ampleur et la généralité du processus d'engraissement des slikkes et schorres aux dépens de la zone centrale, alimentée plus ou moins directement par les apports continentaux. Les vases paraboliques du centre sont constamment recyclées dans la zone estuaro-lagunaire, lors de chaque inversion des courants de marée, tandis que les vases hyperboliques des rives ou des petits fonds sont piégées définitivement dans les conditions hydrodynamiques actuelles. L'existence de cette évolution granulométrique souligne en outre le fait, trop souvent oublié, que les vases sont transportées sous forme de particules élémentaires et non sous forme d'agrégats floculés, même en zone à forte salinité : les agrégats sont détruits à mesure de leur formation par la turbulence des courants, les houles ou les clapots, ils ne peuvent se constituer et sédimenter qu'en eau calme.

c) Dans la partie la plus aval des bouches du Cameroun, les conditions d'agitation marine liées aux houles extérieures et aux clapots de vent permettent comme sur les plages une différenciation de plages sableuses associées à de très petits fonds vaseux (région de Manoca) ; la salinité ne s'annule plus jamais quelle que soit la saison et l'ensemble constitue une zone de transition avec le milieu océanique extérieur. Dans les chenaux de marée voisins règnent par contre des conditions semblables à celles décrites dans la zone moyenne.

En conclusion, la sédimentologie permet de distinguer une zone centrale dynamiquement active, et des zones de dépôt latérales où s'accumulent des éléments fins. C'est dans ces zones latérales à sédimentation relativement lente que l'évolution des marais est la plus poussée du point de vue géochimique : on observe en effet une réduction des sulfates en sulfures, classique sous des influences anaérobies, mais parfois aussi une réoxydation de ces sulfures, aboutissant à la formation d'efflorescences de « jarosites » (sulfate de potassium et de fer) sous l'influence des circulations d'eaux souterraines, ou parfois même à la libération d'acide sulfurique, ce qui peut abaisser le pH du milieu à des valeurs de l'ordre de 2. Dans l'ensemble cependant, ces phénomènes gardent un caractère un peu exceptionnel, contrairement à ce que l'on peut décrire en zone tropicale. Dans les bouches du Cameroun, c'est la dilution des eaux de mer par des apports fluviaux très considérables qui reste le facteur essentiel du fonctionnement des marais et l'influence marine devient en bien

des cas très discrète; le témoin le plus fidèle de cette influence paraît être le pH des vases, qui reste tamponné aux environs de 7 tant pour les eaux de la lagune que pour les eaux interstitielles des vases, alors même que la salinité tombe presque à zéro et que les acides humiques acidifient très nettement tous les apports continentaux en zone forestière.

2) Les côtes de la Guyane française.

Des bouches de l'Amazone au Venezuela, les côtes des Guyanes sont bordées de dépôts quaternaires fins, les argiles de Demerara, qui ennoient les reliefs préexistants sous un placage de 20 à 30 m de puissance, ou s'accumulent dans des fosses de subsidence (plus de 2 000 m en Guyane). La sédimentation actuelle, constituée d'apports amazoniens plaqués le long du littoral par les courants côtiers, n'est que le prolongement de la sédimentation de Demerara.

Sur toutes les côtes de la Guyane française, et hormis quelques collines anciennes, le littoral est formé d'une frange de vase à palétuviers, interrompue seulement par quelques estuaires dont certains, comme la rivière de Cayenne, ne sont en fait que de vastes chenaux de marée. L'affleurement de quelques cordons littoraux sableux marque des positions anciennes du rivage, mais le front de mer est bordé sur sa plus grande longueur par un rideau d'*Avicennia* (c'est le « siriubal » des auteurs brésiliens). Contrairement au cas le plus fréquent, les *Rhizophora* ne sont représentés qu'en peuplement épisodique le long des estuaires, où ils occupent une position interne par rapport aux *Avicennia*. Vers l'intérieur, on passe progressivement à la forêt d'eau douce, ou bien à des prairies à Cyperacées, totalement dessalées, qui occupent d'anciens marais asséchés en arrière des cordons sableux. Tous les sols dessalés sont recouverts d'une couche de débris organiques (« Pégasse »), et restent très largement hydromorphes.

Le climat des Guyanes est franchement équatorial, avec une température moyenne de 25° 5 à Cayenne et de précipitations atteignant 4 m et réparties sur dix mois de l'année. Il n'y a donc pas de traces d'aridité et la dessalure des marais est progressive de la mer vers la terre, comme au Cameroun. La plus grande extension en largeur de la frange côtière et son évolution rapide à l'échelle géologique permettent cependant une meilleure différenciation des zones de végétation qu'au fond du golfe de Guinée.

L'inversion de la zonation des peuplements de

palétuviers que l'on observe sur les côtes de Guyane par rapport au schéma habituel est extrêmement intéressante : elle est liée aux différentes résistances à l'érosion des espèces de palétuviers, comme nous le soulignerons dans l'étude consacrée à la végétation des marais. Remarquons cependant que les *Rhizophora* des estuaires guyanais appartiennent à l'espèce *R. mangle*, qui, contrairement à *R. racemosa*, supporte une certaine dessalure. Quant aux *Avicennia* du siriubal, ils sont en Guyane très souvent attaqués par la mer et la mangrove peut reculer localement de plusieurs centaines de mètres, lorsque l'érosion des côtes s'accélère. En d'autres points, et en particulier près des embouchures où se construisent des flèches sédimentaires vaseuses, le peuplement d'*Avicennia* est au contraire en voie de croissance rapide.

B) LES MARAIS TROPICAUX

Le climat tropical se distingue du climat équatorial par l'apparition d'une ou de deux saisons sèches bien différenciées. La saison sèche joue un rôle fondamental dans la morphologie des marais et oppose les marais sous régime tropical aux marais équatoriaux. L'importance relative de la période sèche dans l'année permet de distinguer deux nuances, l'une plus humide et l'autre plus aride.

1. — Climat tropical à nuance plus humide.

La côte de la République de Guinée aux environs de Conakry fournit un bon exemple de ce type de climat, par une latitude de 10° N environ. La température moyenne annuelle est de 26° 5, mais peut monter à 35°; l'amplitude de la variation diurne dépasse cependant rarement 0,5°. Les précipitations annuelles atteignent 4 350 mm, avec des chutes paroxystiques en juillet-août, mais quatre mois ont un caractère subaride ou aride.

La basse plaine littorale est constituée d'affleurements précambriens, plus ou moins ennoyés vers le Sud sous les dépôts récents. Le Précambrien est recouvert vers le Nord par une épaisse série de grès cambro-ordoviciens formant un vaste synclinal jusqu'au Fouta-Djalou et drainant les précipitations de l'arrière-pays vers le seul fleuve Konkouré. La zone basse littorale est parcourue d'innombrables chenaux de marée (« les Rivières du Sud » des anciens navigateurs), mais les apports d'eau douce sont en fait localisés en des points relativement rares sur le littoral (fig. 3).

MARAI MARITIMES TROPICAUX

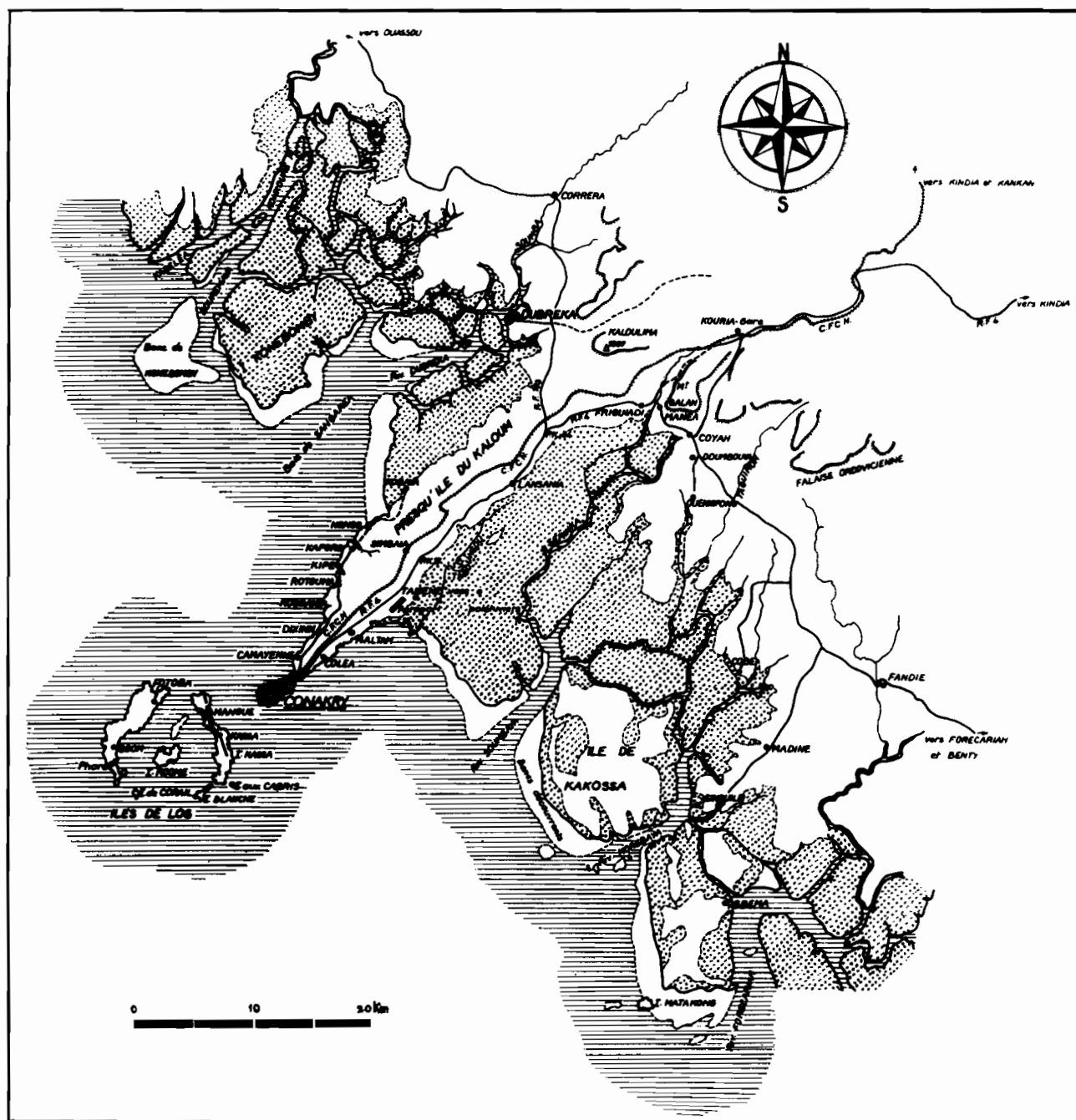


FIGURE 3

Esquisse géographique de la Basse Guinée autour de Conakry montrant la répartition des zones de marais (d'après la carte I.G.N. de Conakry au 1/200 000).

Le remplissage récent des marais, en arrière d'un cordon littoral formé de débris coquilliers est constitué de sédiments calcaréo-argileux fins, dont la granulométrie hyperbolique traduit un dépôt par décantation en eau calme. Les sédiments de mangrove paraissent affectés plus que d'autres par des

irrégularités liées probablement à un début d'évolution diagénétique.

La zonation de la végétation est typique : de la mer vers la terre, on rencontre en effet un rideau de *Rhizophora*, suivis d'*Avicennia* de plus en plus clairsemés. Les coupes pratiquées dans la mangrove

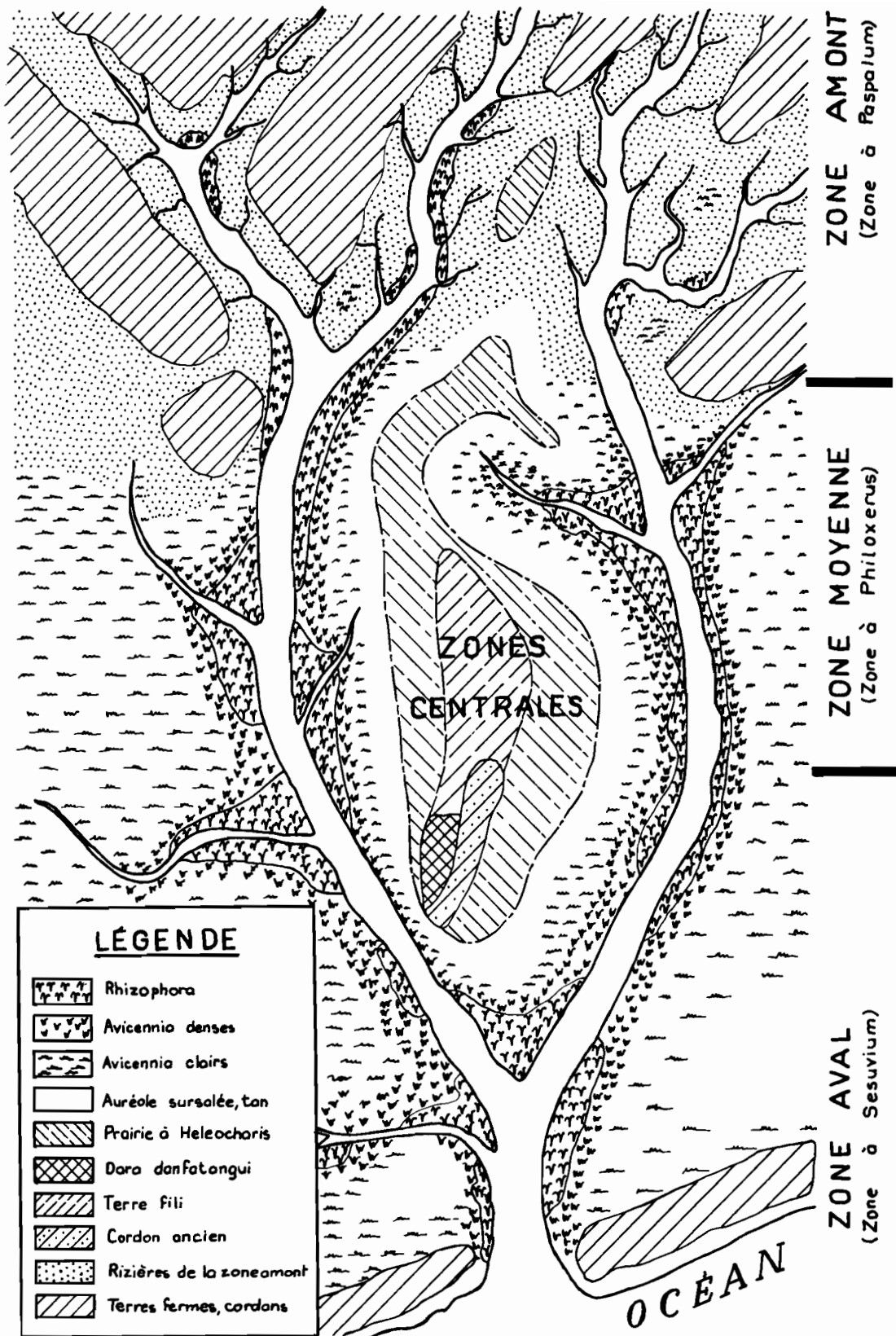


FIGURE 4

Répartition schématique des zones de végétation halophile en Basse Guinée.

Les zones amont à *Paspalum vaginatum* et une grande partie des zones centrales sont susceptibles d'un aménagement agricole que le gouvernement guinéen tente de mettre en œuvre à la suite de travaux français et avec la coopération d'experts provenant de Chine populaire. Les zones sursalées sont par contre inutilisables et les mangroves sont exploitées pour le chauffage ou la production de tanin (d'après « Aménagement hydroagricole du Casier de Soubouya, 1955 »).

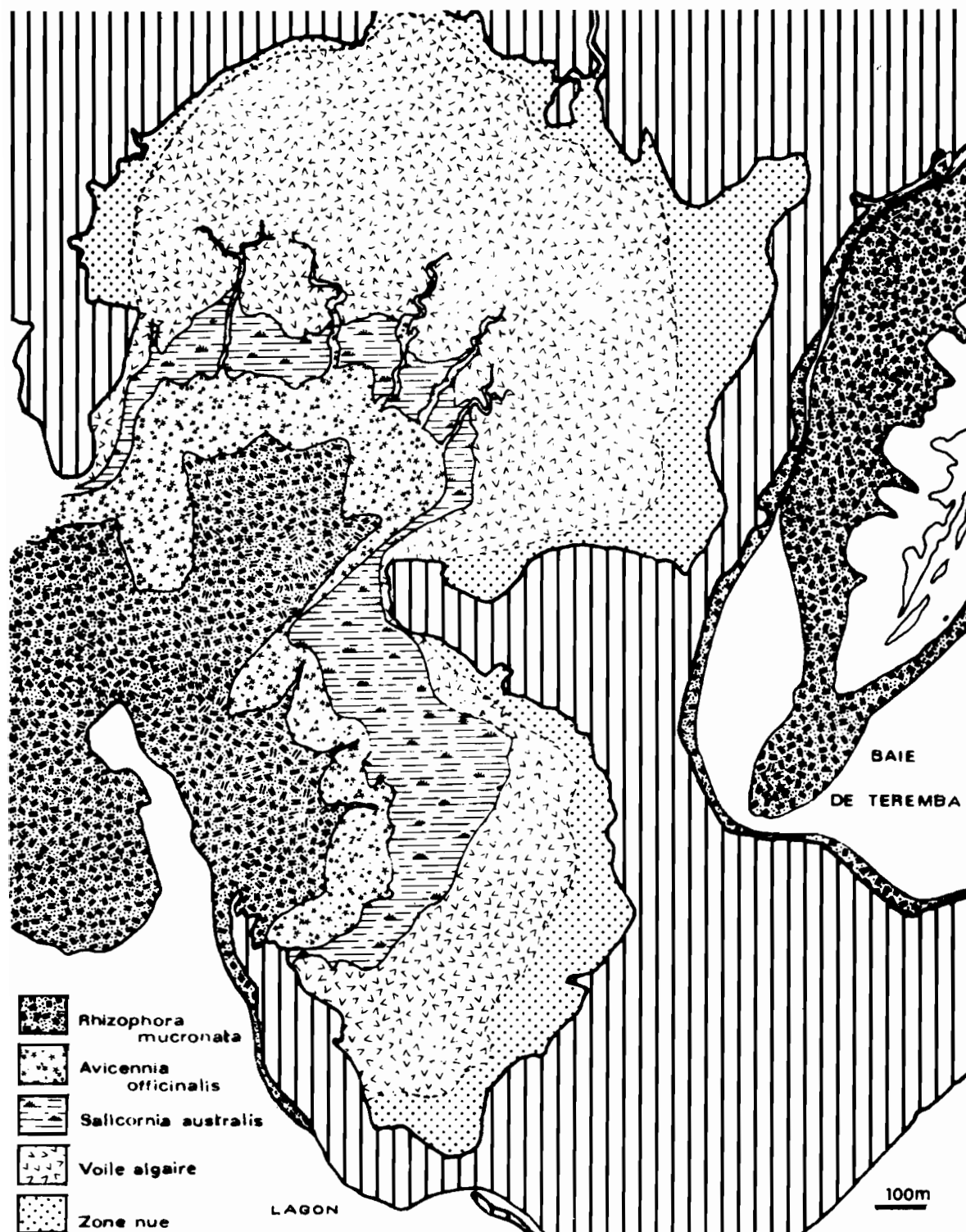


FIGURE 5
Zonation des associations végétales du marais de Mara (Nouvelle Calédonie).

favorisent d'ailleurs les *Avicennia* aux dépens des *Rhizophora*. Vers l'intérieur, les *Avicennia* font place à une bande sursalée (tanne) dépourvue de végétation et enfin à une bande couverte d'une prairie à *Heleocharis* qui forme transition avec les terres non inondables. Les associations herbacées varient d'ailleurs quelque peu de l'aval vers l'amont de la zone de mangrove et l'on peut distinguer successivement une zone à *Sesuvium*, une zone à *Philloxerus* et une zone à *Paspalum*, au moins lorsque le développement de la région côtière n'a pas été entravé par des obstacles topographiques ni modifié par des actions humaines (fig. 4).

Au point de vue géochimique, la présence de calcaire d'une part, de zones desséchées et le plus souvent sursalées d'autre part, introduit des différences dans le fonctionnement des marais de Guinée par rapport aux types précédemment décrits. Le calcaire se concentre en effet à certains niveaux sous forme de manchons entourant des racines de palétuviers ou des pinces de crabe, comme l'a décrit A. Guilcher dès 1954 dans l'estuaire du Rio Kapatchez. Le pH peut monter jusqu'à 9 en zone aérobie, traduisant une augmentation de la réserve alcaline des eaux interstitielles. Dans les zones sursalées, et en particulier au-dessous du tanne vif, apparaissent par contre des pH acides caractéristiques des cat-clays et des efflorescences sulfatées en croûtes jaunâtres. L'influence de la saison sèche est donc très nette malgré la relative brièveté de celle-ci et l'abondance des précipitations annuelles globales.

2. — Climat tropical à nuance subaride.

La côte ouest de Nouvelle-Calédonie, côte sous le vent, présente un climat tropical de nuance subaride au niveau des marais côtiers. La chaîne centrale de l'île reçoit des précipitations orographiques et les marais de la côte sous le vent sont affectés d'un climat à nuance aride avec des précipitations relativement faibles, de l'ordre de 1 m/an, en moyenne. L'année moyenne ne présente que trois mois franchement arides, mais il existe de fortes variations interannuelles et, certaines années, le climat aride peut se prolonger de longs mois, parfois pendant plusieurs années de suite. Les apports en eau douce sont souvent brutaux et se produisent alors au cours de dépressions cycloniques.

La côte ouest de la Nouvelle-Calédonie donne sur un lagon large de 1 à 15 km et long de 400 km, incomplètement séparé de la mer ouverte par un récif barrière traversé de nombreuses passes faisant face aux fleuves. C'est une côte de genèse complexe, caractérisée par de larges rias, partiellement comblées par de petits deltas. De nombreuses

indentations de la côte sont régularisées par des cordons sableux limitant des lagunes ayant évolué en marais par comblement. Un soulèvement récent a affecté ces formations. En fin de soulèvement, la transgression holocène ne s'est pas interrompue et a recommencé à faire sentir ses effets.

On observe donc des marais maritimes de deux types : les uns directement associés à des formations deltaïques, les autres isolés de tout système fluvial, donnant sur le lagon. En l'absence de cours d'eau, on observe une zonation des formations végétales comportant des palétuviers du genre *Rhizophora* en bordure du lagon et *Avicennia* vers la frange terrestre de la zone intertidale. Plus vers la terre encore, on observe un schorre herbacé à *Salicornia*, puis une région couverte d'un voile algair à Cyanophycées, se desquamant par plaques en saison sèche et enfin une zone nue dépourvue de toute végétation. Tout à fait en bordure de la terre ferme apparaît une frange de graminées halophiles, appartenant en particulier à l'espèce *Sporobolus virginicus*. La savane non halophile commence ensuite, à quelques décimètres au-dessus du marais actuel, dont elle est séparée par une microfalaise (fig. 5).

Dans les dépressions latérales deltaïques (fig. 6, 7,



FIGURE 6

Chenal de marée bordé de *Rhizophora*, dans une mangrove moyenne.

Delta de la Dumbea, Nouvelle-Calédonie (Cliché F. Baltzer).



FIGURE 7

Mangrove moyenne à *Bruguiera* seul.

Au premier plan, pneumatophores dépassant le sol de la mangrove d'une dizaine de centimètres. Même provenance. (Cliché F. Baltzer).



FIGURE 8

Erosion des pneumatophores de *Bruguiera*, à marée basse.

Bien que le sol ait été emporté sur 60 cm d'épaisseur par une crue exceptionnelle, les arbres résistent, contrairement aux *Rhizophora*. Même provenance (Cliché F. Baltzer).



FIGURE 9

Arrière-mangrove à petits *Avicennia* en peuplement clairsemé.

Même provenance (Cliché F. Baltzer).



FIGURE 10

Zone sursalée à voile algale et à *Salicornia australis*.

A l'arrière-plan, arrière-mangrove à *Avicennia*.
Même provenance (Cliché F. Baltzer).

8, 9, 10), le même schéma se reproduit si l'extension des atterrissements émergés est suffisante. Cependant les palétuviers de l'espèce *Bruguiera eryopetala* s'intercalent parmi les *Rhizophora*, laissant un rideau de ces derniers en bordure de l'eau libre. Dans d'autres cas, on observe un dessalement plus rapide, amenant un passage graduel des formations de mangrove vers une forêt marécageuse d'eau douce, essentiellement colonisée par *Melaleuca leucadendron*. On retrouve là un aspect fréquent des deltas de la zone tropicale humide (F. R. Fosberg. in UNESCO, 1964, p. 227).

3. — Géochimie.

Dans les cas où la zonation fait apparaître des marais sursalés, le dosage montre que la salinité de l'eau interstitielle des sédiments augmente de la mer vers la terre jusqu'à un maximum au-delà duquel elle décroît. La direction du plus fort gradient de salinité recoupe perpendiculairement les limites de zonage de la végétation. Cette concentration de la nappe phréatique enregistrée par la salinité produit des dépôts de gypse, de fer et de calcaire à la périphérie de certains marais (J. Avias, 1949, 1958; F. Baltzer, 1965). Le mécanisme de ces concentrations résulte de l'aridité relative du climat local faisant évaporer la nappe phréatique marine depuis la mer vers la terre, où l'amplitude de ses battements est maximale. L'eau de mer qui se concentre par ce mécanisme passe à l'état réduit sous la mangrove et se réoxyde dans les sols des schorres sursalés. Le fer contenu dans les sédiments réducteurs de la mangrove est solubilisé à l'état ferreux et transporté vers les marais sursalés où l'action conjointe de la concentration et de la réoxydation le font déposer à l'état ferrique. Les sulfures produits dans le sol de la mangrove à *Rhizophora* par réduction des sulfates de l'eau de mer sont transportés et concentrés également vers la périphérie des marais. Leur réoxydation produit de l'acide sulfurique donnant des sols sulfatés acides (cat-clays) en l'absence de calcaire, et de gypse dans le cas contraire. Dans ce milieu des silicifications sont observées sur des fragments calcaires ainsi, semble-t-il, que des néogénèses de quartz bipyramidé. Des nodules de carbonate de calcium impur, entourant des fragments de bois, des coquilles de lamellibranches et des restes plus ou moins complets de crabes sont fréquents dans cet environnement. Découverts par J. Avias dans des chenaux de marée à Canala (1949), ces nodules ont été trouvés en place à la Dumbéa (F. Baltzer, 1969), où ils constituent par endroit une dalle au niveau de la nappe phréatique.

4. — Sédimentologie.

La minéralogie des sédiments reflète la géologie des bassins versants des fleuves les plus proches. Par exemple, les sédiments du marais de Mara (près de Moindou) ont une phase argileuse constituée essentiellement de kaolinite et d'illite. Les sédiments du delta de la Dumbéa comportent du quartz et de la kaolinite hérités de l'altération des grès et des formations volcaniques acides du Crétacé. Ils comportent surtout des minéraux hérités de l'altération et de l'érosion des massifs ultrabasiques, ce qui fait l'objet d'études en cours par l'ORSTOM. La phase argileuse comporte surtout de la serpentine, un minéral très mal cristallisé de type montmorillonite et de la goethite. La phase amorphe est très abondante. Dans les deux cas, la diagenèse est très rapide et les sédiments antérieurs à la transgression holocène contiennent de la montmorillonite dominante, ce qui traduit l'importance des silicifications.

Dans les marais de type deltaïque, l'alimentation en sédiments se fait surtout par le côté fluvial, lors des crues, mais les sédiments peuvent également provenir des troubles restés en suspension longtemps après la fin de la crue dans le lagon. Dans les marais côtiers, ce dernier type d'alimentation joue un rôle quasi exclusif, ce qui produit des sédiments de faciès hyperbolique très évolué ($n = -1,5$) et extrêmement fins (médiane de l'ordre de 0,2 micron).

La zonation végétale permet de mettre en évidence de façon remarquablement nette les zones d'atterrissements actifs et les zones en cours d'érosion. Les palétuviers du genre *Rhizophora* se comportent typiquement en pionniers des atterrissements nouveaux, dont ils favorisent le développement ultérieur. Sur la rive convexe de méandres de chenaux fluvio-marins, ou à l'extrémité de cordons sédimentaires en cours de formation, il est fréquent d'observer des bourrelets successifs de palétuviers de ce genre, de plus en plus jeunes à la limite de l'eau libre.

Par contre, *Rhizophora* résiste mal à l'érosion. *Bruguiera* y résiste très bien. Le fait de voir *Bruguiera* en bordure d'eau libre est un bon indice de zone en cours d'érosion. Dans les bancs vaseux colonisés par la mangrove de l'estuaire du Diahot (Nord de la Nouvelle-Calédonie), la zonation végétale se fait par zones concentriques lorsque le banc est stable. Lorsque le banc est recoupé par un méandre, la végétation demeure à sa place initiale, et les zones les plus internes de la mangrove peuvent se trouver en bordure immédiate de l'eau libre. C'est un excellent critère d'érosion sur les photographies aériennes.

5. — Remarques générales sur les marais établis sous climat tropical.

En saison sèche, les sels de la nappe d'eau de mer interstitielle des marais se concentrent, et ce d'autant plus que le nombre des mois arides dans l'année est plus important au lieu considéré. Bien que le régime des marées en agissant sur la durée des immersions du sol produise une régulation de la salinité, la mer devient, contrairement à ce qui se passe en régime équatorial, un pôle de salinité minimum. La végétation établie sur les atterrissements doit donc être à même de supporter une hypersalinité prononcée pendant parfois plusieurs mois de l'année. Les plantes, adaptées à certaines conditions d'immersion et de salinité maximum tolérable, se répartissent en bandes plus ou moins parallèles aux courbes isohalines, dont la forme générale suit elle-même les lignes de rivage.

Dans des régions caractérisées par des totaux pluviométriques annuels aussi différents que la Guinée (4 m à Conakry), et que la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie (1 m), comme dans l'Ouest malgache, au Sénégal, etc... la zonation végétale reflète ainsi l'existence d'une zone d'évaporation de la nappe phréatique marine (L. R. Lafond, 1967; F. Baltzer, 1969; J. Vieillefont, 1969). L'évaporation est mise en évidence aussi bien par l'analyse des eaux interstitielles que par les mouvements saisonniers de battement de la nappe, plus intenses sous le « tanne » que sous la mangrove elle-même. Dans la zone du « tanne vif », la végétation halophile elle-même ne peut se développer.

C) FORMES DE TRANSITION VERS LES CLIMATS TEMPÉRÉS HUMIDES OU VERS LES CLIMATS ARIDES

Suivant les particularités climatiques à la surface du globe, les marais intertropicaux s'étendent jusque dans des zones à climat plutôt tempéré ou jusque dans des zones à climat franchement aride. Les caractères de ces marais de transition seront évidemment bien différents selon les cas. Dans ce qui suit, nous définissons l'aridité selon les normes de C. P. Péguy (1961).

1. — Formes de transition excluant l'aridité.

Dans l'extrême Sud de la Floride règne un climat subtropical n'excluant pas des gelées tout à fait exceptionnelles, bien que la température moyenne annuelle atteigne 24 °C à Miami. La pluviométrie

atteint 1,50 m par an mais il n'y a pas de saison sèche : en fait, huit mois de l'année ont un caractère tropical, alors que quatre mois doivent être considérés comme tempérés. L'étude de la région est relativement simplifiée du fait de la faible importance du marnage, qui ne dépasse guère 0,50 m.

Malgré une diminution sensible des surfaces marécageuses à la suite des interventions humaines, le littoral du Sud de la Floride garde son type particulier et la morphologie en a été décrite en particulier par J. H. Davis (1940).

Un grand marais d'eau douce (les Everglades) est installé sur un bed-rock formé de calcaires marins pléistocènes. Vers la mer, on passe progressivement à l'eau salée et le gradient de salinité est souligné par la zonation de la végétation : une association à *Conocarpus* fait place à une association de marais salé à *Avicennia*, et ceux-ci sont eux-mêmes remplacés par des *Rhizophora* de grande taille. Sur le front de mer, un rideau de *Rhizophora* pionniers borde la zone à grands individus.

La sédimentation est également en relation étroite avec les variations de salinité : des boues calcaires se déposent dans les eaux douces, des tourbes plus ou moins salines caractérisent les zones saumâtres, tant sous forêt humide que sous mangrove. En mer, se déposent les carbonates marins de la baie de Floride. Une transgression marine très lente mais constante détermine la formation en profondeur de trois lits sédimentaires séparés par des surfaces diachrones.

A des latitudes plus élevées et jusque vers le 30° parallèle, on rencontre des mangroves restreintes éparses, mais les caractères généraux de la sédimentation se rapprochent plus de ceux de la zone tempérée que de ceux de la zone tropicale.

2. — Formes de transition vers les zones arides.

Lorsque le nombre des mois arides croît dans l'année, l'hypersalinité devient la règle dans les zones marécageuses littorales. Dans l'hémisphère Nord, la mangrove est cependant représentée jusqu'en zone hyperaride, par exemple jusqu'à Hurgada sur la côte égyptienne de la Mer Rouge (27° de latitude N). Des peuplements sporadiques d'*Avicennia* se rencontrent même jusqu'au fond du golfe d'Akaba.

Dans les régions arides, l'effet du lessivage dû à la pluie ou à l'eau douce peut être négligé et la salinité est au moins celle du milieu marin extérieur. On peut décrire une zonation de la végétation (Kassas et Zahran, 1967) mais celle-ci ne suit pas obligatoirement la zonation des hypersalinités, ne

serait-ce que parce que la distribution des sels solubles dans le sol est irrégulière et que l'on observe des alternances successives de couches plus ou moins salées. La forêt de palétuviers, souvent clairsemée, ne représente le plus souvent qu'un rideau littoral derrière lequel les zones hypersalines atteignent une extension considérable.

A la limite, et sur la plus grande partie des côtes du Hedjaz en Arabie Saoudite par exemple, l'hyper-salinité générale supprime toute végétation. Le climat n'a plus rien de tropical; évaporites, dolomite et argiles fibreuses de néogène apparaissent dans les sols des sebkhas littorales.

D) CONCLUSION DE L'ÉTUDE RÉGIONALE

L'influence fondamentale du climat sous lequel fonctionnent les marais maritimes tropicaux apparaît dans les descriptions précédentes.

L'apparition, puis l'augmentation de l'aridité nous ont amené à considérer progressivement des marais de plus en plus sursalés. Corrélativement, la géochimie se modifie, des concentrations de carbonate de calcium, d'évaporites se produisent, de plus en plus abondamment jusqu'au type extrême représenté par les lagunes des bords de la mer Rouge et de la mer Caspienne : même les halophytes ne peuvent plus alors supporter les concentrations atteintes.

L'île de Madagascar présente à elle seule une suite continue d'exemples d'évolution des marais, depuis le type équatorial réalisé sur la côte Est (Baie d'Antongil où les précipitations atteignent 4 m par an) jusqu'à la côte Ouest, de plus en plus soumise à des climats arides en allant du Nord vers le Sud. Les totaux pluviométriques atteignent en effet 1,6 m/an à Majunga, 0,8 m/an à Morondava, et seulement 0,4 m/an à Tuléar.

En Papouasie (Nouvelle-Guinée), A. Guilcher (1965) met également près de Port Moresby une discontinuité climatologique en rapport avec l'apparition de zones nues dans les marais littoraux.

II. — ESSAI DE SYNTHÈSE

A) MORPHOLOGIE

Dans le domaine intertropical, les marais maritimes ont la même origine morphologique que dans

les régions tempérées : colmatage de baie ouverte ou plus ou moins fermée, par un matériel sédimentaire sableux ou vaseux, la fermeture étant assurée par un obstacle structural ou sédimentaire (île rocheuse, levée naturelle d'un delta, cordon de sable ou de galets).

Ainsi, les reliefs naturels de grande échelle fournissent le cadre morphologique des marais : ce sont les levées sédimentaires des deltas, les cordons littoraux anciens ou actifs bordant le front de mer en zone deltaïque ou longeant les côtes dont ils ferment et régularisent les indentations. Il existe également des reliefs reliques, anciens îlots de roches anciennes dominant les marais comme ils dominaient une baie marine à l'origine.

Dans les zones marécageuses à l'écart de la mer, les microreliefs de type gilgai se forment activement. Des mottureaux s'observent en Nouvelle-Calédonie sur des sols riches en argiles gonflantes, soumis à un climat faisant alterner sécheresse et humidité, ce qui confirmerait l'hypothèse formulée par F. Verger pour expliquer la genèse de ces buttes et mottes caractéristiques des marais (F. Verger, 1964).

Avec F. Verger (1968), nous appellerons par convention « wadden », la partie des marais maritimes atteinte périodiquement par les marées. La distinction entre les schorres et les slikkes apparaît vite nécessaire dans les wadden tropicaux mais nécessite un choix entre une définition par critère morphologique ou botanique car les deux types de définition ne coïncident pas sous ces climats. En effet, la mangrove à *Rhizophora* occupe souvent des atterrissements de vase fine, affectés d'une pente notable en direction de la mer et situés nettement au-dessous des hautes mers de morte eau. Si l'on adopte la définition par critère morphologique de Massart (*in* : F. Verger, 1968, p. 52-53), cette mangrove occupe typiquement la partie haute de la slikke. La zone occupée par la mangrove, et en particulier la mangrove pionnière à *Rhizophora*, rappelle d'ailleurs tout à fait une slikke de pays tempéré, la seule différence, d'importance il est vrai, étant la présence des arbres.

Une définition botanique telle que celle de Th. Monod (*in* : F. Verger, 1968, p. 53), fondée sur la présence ou non de phanérogames nous ferait rattacher la même zone au schorre; cependant nous préférons adopter la distinction morphologique. Indépendamment de la haute slikke, colonisée par la mangrove à *Rhizophora* dans de très nombreux cas, on observe une slikke découvrant à chaque marée lorsque le marnage est suffisant, formée de vase très fine et dépourvue de toute plante supérieure.

Les schorres des marais maritimes tropicaux sont constitués par la zone sensiblement plane, dont le niveau est proche des hautes mers de vive eau et dont le sol argileux, souvent assez consistant, porte des halophytes herbacés (*Salicornia*, *Sesuvium*). La limite avec la haute slikke n'est pas toujours bien nette et l'on voit des palétuviers tels que *Avicennia*, à l'état arbustif, se développer sur la frange la plus marine du schorre. Les dépressions latérales associées aux deltas peuvent présenter ou non des schorres. Lorsqu'il n'y en a pas, on observe un passage progressif de la mangrove à la forêt marécageuse d'eau non salée. L'apparition de la fougère *Acrostichum aureum* constitue un indice du milieu de transition.

Les mangroves et les schorres sont recoupés par des chenaux de marée. Lorsqu'ils entaillent des schorres, ils ont des caractères voisins des chenaux des régions tempérées et sont répartis selon un chevelu dendritique. Lorsqu'ils ont pris naissance dans la mangrove, ils sont très fréquemment interconnectés, à tel point que toute hiérarchie peut disparaître. J.R.L. Allen explique ce fait par la croissance même des mangroves à *Rhizophora*, croissance qui se fait essentiellement par la périphérie de la colonie. Les chenaux occupent la place laissée entre les diverses colonies en fin d'expansion (J.R.L. Allen, 1965).

Si les facteurs morphologiques donnant naissance aux marais maritimes tropicaux sont analogues à ceux qui régissent les marais des zones tempérées, il existe de profondes différences dans les aspects de ces marais, différences dues en grande partie à la présence d'halophytes arborescents.

B) LA VÉGÉTATION

Nous venons de voir que les végétaux de la mangrove constituent un trait fondamental de la morphologie des marais maritimes tropicaux. Sans être rigoureusement liée à la zone tropicale et équatoriale, cette flore obéit à une répartition conforme aux grands types de climat. Des formes appauvries subsistent sous les climats subtropicaux où le gel est suffisamment exceptionnel et de courte durée. Même lorsque le climat est favorable, certaines îles océaniques présentent une flore appauvrie, par suite de leur éloignement de toute autre terre. Dans les régions où la mangrove et les divers types de plantes plus ou moins halophiles associées sont bien représentés, la zonation constitue le trait le plus frappant des marais maritimes.

Très schématiquement, en reprenant l'exemple de la Nouvelle-Calédonie, on observe des palétu-

viens du genre *Rhizophora* en bordure de mer et du genre *Avicennia* sur la frange terrestre de la mangrove. Plus vers la terre, le schorre comporte des halophytes herbacés, puis une zone à voile algaire et enfin une zone dépourvue de toute végétation, où la salinité de l'eau interstitielle peut atteindre des valeurs très importantes. En bordure de la terre ferme, la limite terrestre du schorre porte des graminées halophiles (*Sporobolus virginicus*) faisant transition avec la savane à graminées non halophiles. Dans les zones où des apports d'eau douce importants ont lieu, soit par précipitations abondantes en milieu équatorial, soit par la présence d'un cours d'eau en climat tropical à saisons alternées, on peut observer le passage graduel de la mangrove à la forêt marécageuse non halophile.

Dans son ensemble, la végétation des marais maritimes tropicaux se développe à la partie supérieure de la zone de battement des marées. Parmi les facteurs régissant la zonation de cette végétation, le niveau de la mer, l'amplitude et la fréquence des marées doivent donc jouer un rôle important. Par exemple, pour les arbres de la mangrove, on sait que aussi bien les *Avicennia* que les *Rhizophora* peuvent se reproduire en libérant des plantules qui n'ont plus qu'à s'enraciner en un point favorable. Pour *Avicennia*, ces plantules ont la forme d'une bille et ne peuvent se fixer que sur une vase couverte d'une nappe d'eau de quelques millimètres d'épaisseur. Par contre, les plantules de *Rhizophora*, en forme de cigare, peuvent prendre racine même en présence d'une nappe d'eau de un à deux décimètres d'épaisseur. De plus, les plantules d'*Avicennia* ne peuvent pas se développer sous l'eau de mer, alors que le métabolisme des plantules de *Rhizophora* n'est pas inhibé par l'immersion. Ainsi, dès le stade embryonnaire, les facteurs morphologiques et physiologiques convergent pour permettre à *Rhizophora* de coloniser des zones plus fréquemment soumises à l'immersion des marées et limiter *Avicennia* à la frange terrestre des mangroves, sauf lorsqu'un facteur additionnel, l'érosion, vient modifier le schéma.

Il existe une relation marquée entre le niveau de la mer, les hauteurs caractéristiques des marées et la répartition des halophytes. En l'absence de marées, J.H. Davis (1940) a montré que la zonation existe dans les mangroves de Floride, et qu'elle y est principalement régie par la profondeur de l'eau. En présence de marées, nous avons observé en Nouvelle-Calédonie (F. Baltzer, 1969) la coïncidence très nette entre les hauteurs caractéristiques des marées et les niveaux topographiques occupés préférentiellement par les halophytes des mangroves et des schorres associés (fig. 11).

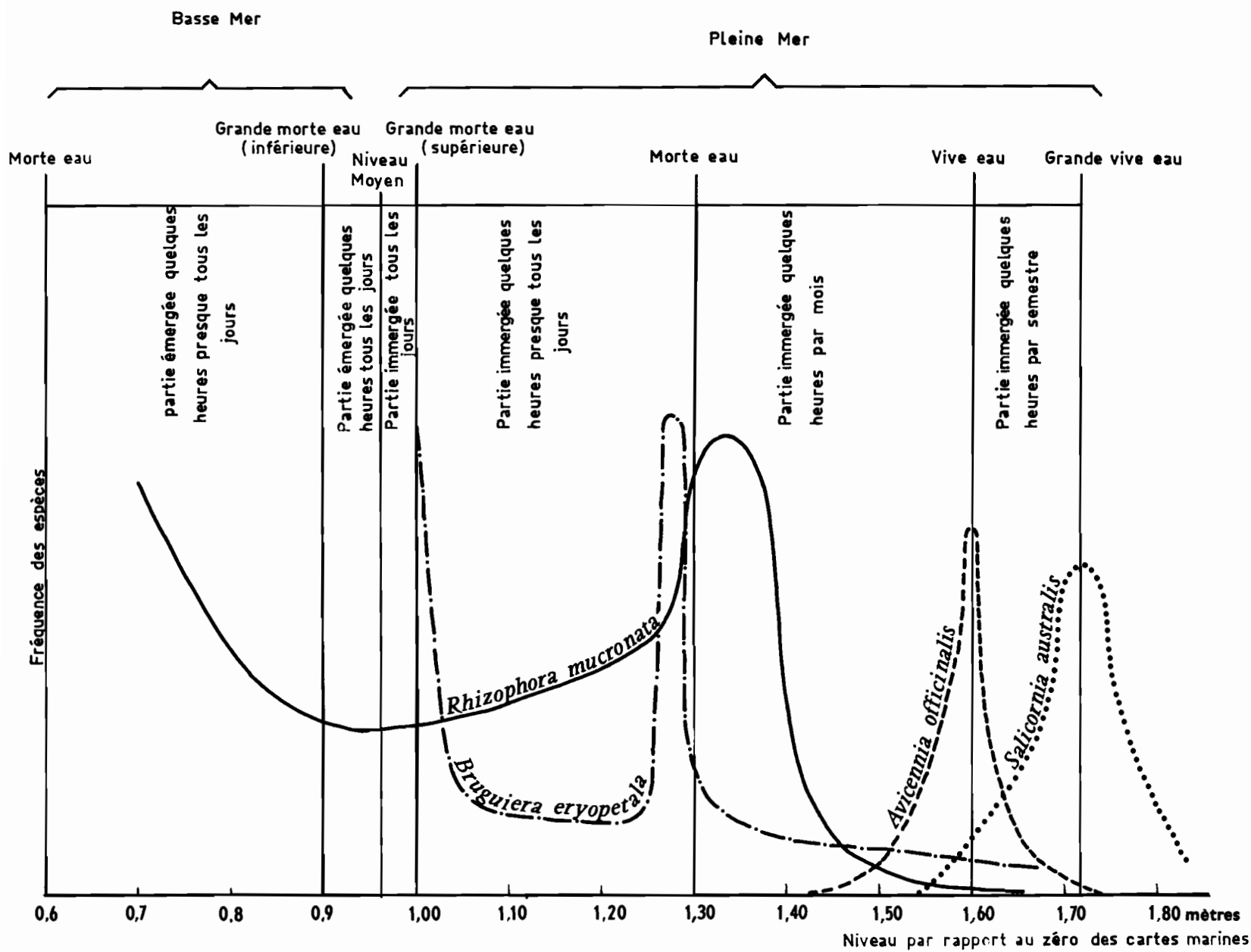


FIGURE 11

Rapports entre la fréquence des espèces halophiles et les hauteurs caractéristiques des marées dans les marais du delta de la Dumbera (Nouvelle-Calédonie) (extrait de F. Baltzer, 1969).
 Les hauteurs de marée retenues sont celle de la marée supérieure pour les hautes mers et celle de la marée inférieure pour les basses mers, en raison de l'inégalité diurne très sensible en cette région.

Salicornia australis, plante herbacée du schorre présente son maximum de fréquence au niveau précis des hautes mers de grande vive eau. Pour *Avicennia officinalis*, palétuvier de la frange terrestre des mangroves, ce maximum de fréquence se situe au niveau des hautes mers de vive eau. Pour les autres palétuviers, *Bruguiera eryopetala* et *Rhizophora mucronata*, le facteur dominant pourrait être la profondeur maximale tolérable par marée de grande vive eau. Cette profondeur serait de 1,10 m pour la seconde espèce.

Ces résultats montrent que les facteurs régissant l'installation des plantes jeunes ne sont pas seuls en cause dans la zonation. La périodicité des marées définit des zones qui sont immergées par la mer quelques heures chaque jour, chaque mois ou chaque semestre suivant la cote topographique du sol. En période sèche, l'évaporation peut concentrer les sels de l'eau de mer en surface du sol, mais aussi dans la nappe phréatique marine et ceci avec d'autant plus d'efficacité que les immersions par les marées sont plus rares. Dans ces conditions, l'eau interstitielle des sédiments tend à être de plus en plus concentrée de la mer vers le schorre. Nous avons vu que le gradient maximum de salinité recoupe perpendiculairement les limites entre les zones végétales. Sans que l'action de la salinité sur la physiologie des plantes de la mangrove ait été démontrée, on voit qu'elle apparaît comme un facteur probable de la zonation, régi par le climat, les marées et les apports d'eaux douces fluviales.

A titre indicatif, en Nouvelle-Calédonie, le genre *Rhizophora* a été observé en présence d'eau interstitielle de salinité 50 g/l, *Avicennia* 55 g/l et *Salicornia*, 70 g/l. Le voile algaire, en période sèche, reposait sur des sédiments dont l'eau interstitielle avait une salinité de 200 g/l.

En résumé, on voit apparaître deux grands types de répartition des végétaux, influencés en grande partie par la salinité de l'eau interstitielle des sédiments et donc par les mécanismes géochimiques en cours.

En premier lieu, si les apports d'eau douce sont suffisants, malgré la chaleur, aucune sursalure ne se fait ressentir et l'on observe un accroissement progressif de la salinité à travers le marais jusqu'à la mer libre, qui parfois peut avoir elle-même une salinité relativement faible. En climat équatorial, c'est le cas du Cameroun. En climat subtropical, c'est le cas de la Floride.

Lorsqu'il existe une saison sèche marquée, se traduisant par quelques mois par an de climat aride, la sursalure apparaît, atteignant fréquemment le stade de la zone nue (salinité de l'eau

interstitielle de l'ordre de 300 g/l en saison sèche, et davantage). En plus de la Guinée, de la Nouvelle-Calédonie, de Madagascar, régions déjà citées, l'Equateur, le Nicaragua, le Queensland et la Papouasie sont des régions notables pour l'extension des zones sans végétation dans leurs marais côtiers.

La végétation constitue donc un réactif à la fois très sensible et très apparent des mécanismes géochimiques dominants entraînés par le climat : les zones de dilution ou de concentration de la nappe d'eau de mer deviennent évidentes.

La végétation des marais maritimes tropicaux étant liée à des niveaux topographiques précis est également, de ce fait, un réactif très sensible de la morphologie et de ses moindres variations dans le temps. Cette réactivité résulte aussi des influences réciproques de la végétation avec les mécanismes d'érosion et de sédimentation. La végétation de mangrove freine remarquablement la houle et le clapot. Elle fixe ainsi les atterrissements récents et en favorise l'accroissement. Nous rappellerons à ce sujet certains marais maritimes de Nouvelle-Calédonie constitués par des baies intégralement bordées de palétuviers sur leur côté marin. Bien que relativement éloignés de toute embouchure fluviale, ces marais sont remplis de sédiments vaseux. Le matériel fin en suspension dans les eaux du lagon, venu initialement d'un cours d'eau ou de l'érosion d'une formation côtière, franchit l'écran des palétuviers et vient se déposer en arrière, entre la mangrove et la terre ferme. Ceci explique l'existence de dépôts extrêmement fins (F. Baltzer, 1970) tels que ceux du marais de Mara dont la médiane de $0,2 \mu$ s'accompagne d'un faciès franchement hyperbolique, ce qui implique une évolution extrême, compte tenu de la finesse de ce matériel. On peut parler d'un piégeage complet.

L'obstacle opposé à l'érosion par les mangroves est loin d'être absolu. Une tornade peut détruire très vite une vaste zone couverte de palétuviers. Une érosion plus discrète mais plus prolongée peut faire disparaître également de grandes surfaces de mangrove. Bien que ce fait soit discuté, il est hautement vraisemblable que l'érosion aurait été encore plus rapide en l'absence de mangrove.

Grâce à la zonation végétale, les variations morphologiques en cours sont très rapidement visibles. La résistance inégale des espèces de palétuviers à l'érosion peut modifier la zonation normale. En Nouvelle-Calédonie, nous avons cité le fait que les rideaux à *Rhizophora* des bordures de chenaux ou de baies disparaissent dès que la mangrove est soumise à l'érosion (bord concave de méandre, zone avancée soumise au clapot, etc.). Les *Bruguiera* de la zone située immédiatement en

arrière, mieux armés contre l'érosion, se retrouvent alors en bordure d'eau libre. De semblables mécanismes d'érosion, mais s'appliquant à d'énormes surfaces, font sentir leurs effets sur les côtes de Guyane, sur de longues périodes, et avec une certaine rythmicité. La faible résistance à l'érosion des *Rhizophora* en position de mangrove pionnière des atterrissements nouveaux pourrait expliquer au moins en partie leur absence des côtes de Guyane. En effet dans ce pays, les seuls *Rhizophora* présents se trouvent en arrière d'importantes formations à *Avicennia*.

Dans les zones où les atterrissements sont actifs, cordons et bancs de vase, bords convexes de méandres de chenaux de marée, les *Rhizophora* s'installent par vagues successives formant des bourrelets d'altitude croissante vers l'intérieur des banquettes de vase, et d'aspect très reconnaissable.

C) SÉDIMENTATION

Le matériel sédimentaire qui se dépose dans les zones laguno-marécageuses est typiquement un matériel fin, transporté en suspension par les eaux. Nous avons vu cependant à propos des bouches du Cameroun que des sédiments détritiques plus grossiers pouvaient coexister parfois avec les matériaux fins; mais les conditions de leur genèse rappellent alors celles qui règnent soit en zone littorale franche (c'est le cas dans la partie aval du système), soit en zone fluviale (dans les parties amont du système, reliées à des estuaires). Seule l'évolution du matériel fin est en fait caractéristique du milieu qui nous intéresse.

L'origine de ce matériel détritique fin est toujours continentale, soit que la sédimentation se fasse directement aux environs du débouché des cours d'eau, soit que le matériel se dépose d'abord en milieu marin littoral, avant d'être réintroduit dans les zones marécageuses par le jeu des courants de marée. Ce dernier cas est réalisé typiquement le long des côtes de Guyane, où les argiles d'origine amazonienne transitent vers le NW le long du littoral sous l'influence de l'obliquité des houles atlantiques, avant de colmater lagunes et estuaires de la zone côtière, noyant des apports locaux d'ailleurs insignifiants à l'époque actuelle.

La composition du matériel sédimentaire est donc variable, ce qui permet de définir le long des côtes des provinces à caractères plus ou moins tranchés en fonction du type des apports locaux. Dans la phase granulométrique qui nous intéresse ici, ce sont les minéraux argileux qui permettent

la meilleure caractérisation du matériel, les minéraux lourds des sables ne jouant plus qu'un rôle secondaire, contrairement à ce qui se passe en milieu fluviale ou littoral. Dans les bouches du Cameroun, les dépôts des marais sont à forte dominance kaolinique, bien qu'un peu de montmorillonite accompagne ce minéral; à l'Ouest de cette zone, les petits marais de la côte Sud du Mont Cameroun piègent un sédiment constitué pratiquement à égalité de montmorillonite, de kaolinite et d'hydrargillite, semblable à celui que l'on peut recueillir dans les torrents locaux. Les exemples de ce type pourraient être multipliés; nous nous contenterons de citer celui des côtes malgaches (fig. 12) dans lequel chacune des aires marécageuses étudiées apparaît avec un spectre minéralogique différent, malgré l'uniformité des conditions de dépôt (L.R. Lafond, 1967).

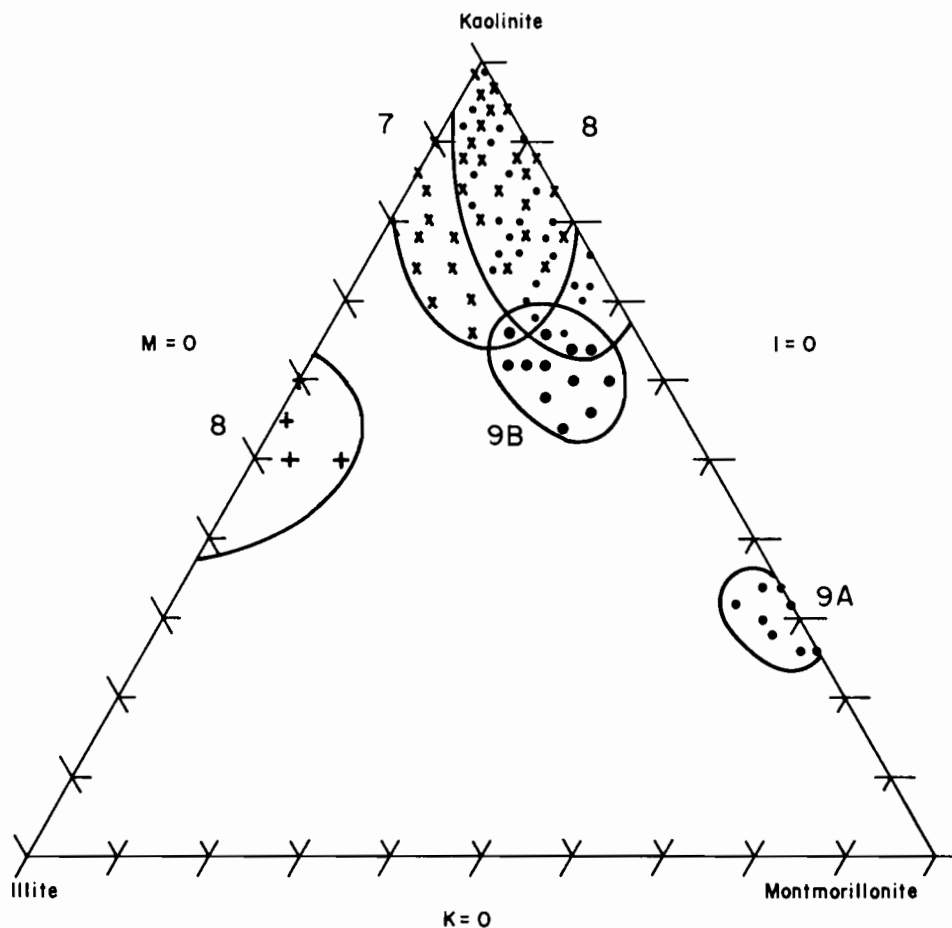
Dans les systèmes laguno-marécageux de grande dimension, le jeu des courants alternatifs uniformise d'ailleurs les apports en suspension des divers tributaires et l'on aboutit à une composition unique qui caractérise l'ensemble de la province, mais non chacune des sources de matériel (Bouches du Cameroun).

La teneur en carbonates des sédiments des marais tropicaux est variable et liée dans la majorité des cas à l'abondance de la faune littorale; il y a tous les intermédiaires entre les vases pratiquement dépourvues d'éléments calcaires, comme celles du Cameroun, et des sols de mangrove essentiellement biodétritiques, comme on en rencontre au Sénégal. Nous avons déjà décrit des remaniements de la phase calcaire dans les marais de Guinée, où la teneur en carbonates avoisine 20 % de la phase fine.

La formation de dépôts dans les marais et les vasières littorales tropicales suppose réunies un certain nombre de conditions, que l'on peut diviser en conditions mécaniques — turbulence des eaux, alimentation en matériel pélitique — et en conditions physico-chimiques; dans ce dernier groupe, l'influence de la salinité nous retiendra particulièrement.

1) *La turbulence.*

Le dépôt des éléments pélitiques dans les zones littorales dépend de la baisse relative de l'agitation, que celle-ci soit liée à l'action des houles, comme c'est le cas en mer ouverte, ou plus particulièrement à celle des courants de marée, comme dans les domaines estuarien, lagunaire et marécageux. Contrairement aux sables, les éléments péli-



7: Sédiments de la Betsiboka
 8: Sédiments de la baie d'Antongil - (x: formations flandriennes profondes)
 9A: Lagune de Morondava - 9B Delta de la Tsiribihina

FIGURE 12

Répartition des espèces principales de minéraux argileux dans les vases de marais littoraux à Madagascar.

tiques peuvent voyager sous l'influence d'un courant faible et leur dépôt n'a que peu de chances de s'effectuer tant que ce courant ne s'annule pas complètement. La reprise de ces éléments, une fois déposés, est par contre bien plus difficile que celle des sables et on sait depuis 1939 que les vitesses de dépôt et de reprise des éléments pélagiques sont d'un ordre de grandeur tout à fait différent (courbe de Hjulstrom). Dans une zone de ralentissement des courants, une partie au moins de la charge solide se dépose et le dépôt est relativement stable à partir du moment où une consolidation a pu intervenir avant le retour à des conditions d'agitation plus violentes. C'est ce qui se passe dans les petits fonds au-delà de la zone de déferlement, en

bien des points du plateau continental; sur le rivage même, les accumulations de vase ne se maintiennent que si le déferlement des vagues se fait sur des hauts fonds au large. Sinon, l'agitation perpétuellement entretenue aboutit à la différenciation d'un estran sableux et les particules argileuses sont remises en suspension et léviguées. On ne trouvera donc finalement de wadden argileux que dans les infractuosités du rivage particulièrement protégées des houles du large, comme la très étroite baie du Navire de Guerre, au pied du Mont Cameroun, ou bien dans des portions du domaine littoral isolées de la haute mer, comme les lagunes et les marais protégés par un cordon sableux. L'action du déferlement tend à combler

la passe qui fait communiquer ces systèmes laguno-marécageux avec la mer; elle ne se maintient ouverte que sous l'action des courants de marée pénétrant dans la lagune ou, en l'absence de marée, sous l'action de chasse développée par les eaux fluviales, lorsqu'il existe une alimentation continentale directe.

On peut noter que la sédimentation laguno-marécageuse dépend du même mécanisme, que l'alimentation du système en sédiments se fasse directement à partir du continent, qu'elle se fasse seulement en période de flot sous l'influence d'apports marins ou qu'elle soit mixte, les apports fluviaux étant longtemps brassés en milieu marin avant leur dépôt définitif, comme dans les marais des côtes de Guinée.

2) L'alimentation en matériel péltique.

Pour une agitation de même intensité, la possibilité de constituer des dépôts péltiques importants dépend pour une large part de l'alimentation des eaux en matériel en suspension. Dans les secteurs côtiers où ne circulent que des eaux claires, les dépôts péltiques dans les zones de moindre agitation sont réduits à de très minces placages sur les rochers ou les fonds et estrans sableux. Ces dépôts sporadiques sont néanmoins fréquemment colonisés par des palétuviers, en particulier par des *Avicennia* en peuplement dispersé.

Inversement, lorsque les courants véhiculent des charges sédimentaires importantes, la sédimentation reste active même si l'agitation conserve une valeur moyenne : c'est le cas par exemple dans l'embouchure de la Betsiboka à Madagascar, où tous les fonds sont colmatés rapidement par une formation sablo-argileuse peu triée, riche en micas détritiques, en kaolinite et en hydroxydes amorphes. Ce n'est que dans les zones totalement protégées de toute turbulence que le caractère péltique du dépôt s'accroît. Sur les côtes de la Guyane, les argiles amazoniennes sont charriées en masses importantes et il se constitue de véritables estrans vaseux en avant desquels la mer déferle avec violence sur des hauts fonds également vaseux. En l'absence d'éléments sableux dans le sédiment (il y a plus de 95 % d'éléments de taille inférieure à 35 microns), aucune différenciation ne se manifeste et les vasières littorales comme celles des petits fonds sont alimentées uniquement par un système de dépôts par excès de charge. La granulométrie de type parabolique de ces vases les oppose d'ailleurs à la granulométrie très généralement hyperbolique des dépôts de décantation lagunaires et marécageux.

3) La salinité.

Dans les régions laguno-marécageuses considérées, la salinité est toujours suffisante pour assurer une floculation totale du matériel péltique en transit, même au cœur de la saison humide. Que les éléments argileux et colloïdaux aient donc une origine immédiatement continentale ou qu'ils aient transité auparavant en milieu marin, le dépôt définitif se fait en milieu floculant, soit que la concentration du milieu soit toujours supérieure au seuil de floculation, soit que le brassage des sédiments avec les eaux douces apportées en saison humide soit trop imparfait pour qu'une défloculation puisse se produire. Celle-ci n'a été observée que tout à fait exceptionnellement dans les estuaires à fort débit fluvial, comme celui de l'Approuague en Guyane.

Les particules élémentaires tendent donc toujours à s'associer pour former des agrégats et la dispersion de ceux-ci n'est assurée que par la turbulence du milieu. Si cette turbulence descend au-dessous d'un certain seuil, les agrégats se forment pour peu que la concentration en matières solides soit assez importante dans l'eau et le dépôt commence. Le faciès hyperbolique de la granulométrie implique un dépôt par décantation, mais l'évolution progressive des sédiments au cours du transport montre que le transport s'est effectué sous la forme d'éléments dispersés : la constitution des agrégats floculés suppose donc à la fois une salinité suffisante et une turbulence faible, contrairement à une opinion souvent répandue.

Un cas particulier est constitué par les marais littoraux dont l'alimentation en sédiment dépend uniquement d'apports fluviaux, comme c'est le cas en baie de Kompong Som au Cambodge : on constate en effet que les sédiments se déposent dans ces lagunes à l'état floculé, bien que la communication entre marais et mer soit inexistante en saison sèche et réduite à une passe où ne se manifeste pas de renverse de courant en saison des pluies.

Quoique faible, la salinité dans ces lagunes n'est jamais totalement nulle : l'eau salée pénètre à travers le cordon sableux et son influence est en tous les cas suffisante pour assurer une floculation complète du matériel détritique continental qui se trouve ainsi totalement piégé. Les eaux qui sortent par la passe sont des eaux claires, malgré leur salinité souvent peu sensible. La turbulence faible qui règne dans les lagunes de médiocre étendue, quel que soit le temps à l'extérieur, favorise largement les phénomènes de dépôt. L'étude granulométrique montre que ces dépôts

sont soit des dépôts directs, par excès de charge, soit des dépôts de décantation à faciès hyperbolique : la prédominance d'un type granulométrique est fonction de l'intensité de l'alluvionnement à l'entrée de la lagune.

D) GÉOCHIMIE

Les marais maritimes tropicaux constituent un milieu particulièrement favorable aux évolutions géochimiques rapides du type de la diagenèse précoce. Les sédiments sont le plus souvent des vases ou des tourbes riches en matière organique. Les sédiments déposés sont très riches en eau. Les taux d'humidité peuvent atteindre 400 % du poids sec dans la couche superficielle d'un sol de mangrove. Des taux de 200 % sont courants. Par contre, dans les régions où la sursalure intervient, les taux d'humidité oscillent, suivant la saison entre 20 % et 120 %.

Cette eau interstitielle a une composition qui rappelle celle de l'eau de mer diluée lorsque le mélange avec de l'eau douce intervient seul, mais les proportions relatives des ions deviennent extrêmement variables dès que l'eau de mer, l'eau douce terrestre, l'eau de pluie et l'eau plus ou moins saumâtre reconcentrée se mélangent.

Les particules minérales qui sédimentent dans les marais maritimes sont le plus souvent apportées sous une forme oxydée. La richesse en matière organique des vases de ces marais fournit une abondante énergie qui permet à une flore bactérienne variée et omniprésente de réduire les substances oxydées. L'eau interstitielle constitue le milieu où ont lieu ces échanges électroniques (J. Debyser, 1961). La seule limitation à ces mécanismes résulte d'une dessiccation excessive, ou, même en présence d'eau, d'une salinité excessive.

Le milieu des marais maritimes tropicaux présente donc des aspects fondamentalement distincts suivant qu'il est saturé en eau ou non et que cette eau présente une salinité inférieure ou sensiblement égale à celle de l'eau de mer ou, au contraire, est affectée d'une sursalure, d'une hypersalinité prononcée.

Dans les marais fréquemment inondés ou soumis à un climat pas trop aride, dont le sol reste gorgé d'une eau de salinité au plus comparable à celle de l'eau de mer (cas le plus fréquent des mangroves à *Rhizophora*), l'anaérobiose est la règle. La réduction des sulfates de l'eau de mer libère des sulfures qui peuvent conduire à la formation de pyrite ou de monosulfures de fer. En

présence de carbonate de calcium, ces sulfures participent à une forte augmentation de la réserve alcaline. Ainsi, les pH des sols de mangrove à *Rhizophora* sont-ils fréquemment compris entre 7 et 8 et parfois davantage. En l'absence de carbonates, le pH du sol de mangrove à *Rhizophora* atteint le plus souvent des valeurs inférieures à 7, en raison de l'abondance des acides humiques.

Les conditions d'oxydo-réduction se traduisent dans ces sols par des rH_2 de l'ordre de 20 à la surface, qui tombent rapidement à des valeurs inférieures à 9 en profondeur, dans le domaine où la pyrite est stable.

Dans les marais où une sursalure se fait sentir, la végétation répartie en bandes susceptibles de supporter une salinité de plus en plus élevée met en évidence les gradients de salinité auxquels elle est soumise en saison sèche. La dessiccation à l'origine de cette sursalure permet une réoxydation des sulfures produits en saison plus humide ou au cours d'une phase sédimentaire antérieure. Cette réoxydation se traduit par l'apparition de rH_2 moyens, pouvant atteindre 25 ou 27. Dans les mêmes conditions, le pH, par suite de la réoxydation des sulfures en sulfate (par action bactérienne ou purement physico-chimique), s'abaisse fortement, surtout à quelques décimètres sous la surface du sol. Dans ce comportement, la baisse du pH est nettement liée à la teneur en soufre total (J. Vieillefon, 1968). En l'absence de calcium, il se forme un sol sulfaté acide. C'est le mécanisme de formation des « cat-clays » qui, sans être typique des marais tropicaux, est remarquablement fréquent dans ces milieux.

Les milieux de type exondé ou inondé peuvent se succéder dans le temps de façon accidentelle ou périodique. J. Vieillefon (1968), sur les « tannes » de la Casamance, signale des pH de 7 en hautes eaux et de 3 en basses eaux, indiquant ainsi que la variation est saisonnière. En présence de calcium, les solutions sulfatées, si la concentration due à l'évaporation est suffisante, pourront précipiter sous forme de gypse dans la zone la plus sèche des marais (« tanne » du Sénégal, « évaporite » de Madagascar, zone à voile algair ou zone nue en Nouvelle-Calédonie).

Dans les marais de climat tropical, la saison sèche permet souvent à des concentrations en carbonate de calcium d'apparaître à la périphérie de marais. On peut également observer des silicifications caractérisées sur des calcaires bioclastiques ou des minéraux argileux.

Le mécanisme de transport du fer signalé en Nouvelle-Calédonie est précisément un résultat des deux comportements des milieux de marais mari-

times tropicaux : le sol de la mangrove est le siège de réductions permettant la mise en solution du fer sous forme ferreuse. Le schorre à végétaux herbacés halophiles ou dépourvu de végétation est le siège de réoxydations et d'une concentration de la nappe phréatique qui enrichit progressivement l'eau interstitielle en fer depuis la mer vers la terre jusqu'au point où le fer précipite.

Sous les climats de transition vers le climat tempéré de tendance aride et sous les climats arides caractérisés, les marais sont de plus en plus marqués par des précipitations de carbonates au sein même des sédiments, sous forme d'aragonite et de dolomite. Les climats de transition non arides comme celui de Floride sont également le siège de précipitations carbonatées, mais en milieu aqueux.

On voit la multiplicité des mécanismes géochimiques ayant lieu au sein de ces milieux. Leur nombre explique la difficulté de la mise en polders de ces terrains, dont l'exploitation est pourtant fort intéressante compte tenu de la richesse des apports sédimentaires qui les ont constitués et des besoins alimentaires en ces régions souvent fort peuplées.

CONCLUSIONS

L'évolution morphologique des marais maritimes tropicaux est liée essentiellement à l'équilibre réalisé entre les apports sédimentaires, leur compaction et leur érosion ultérieures. D'une manière générale, le colmatage est le facteur dominant, même si des remaniements locaux paraissent indiquer une érosion active. Au cours du colmatage, on voit la lagune se différencier progressivement du milieu marin, le domaine du wadden s'étendre jusqu'à comprendre l'ensemble de la surface limitée par quelques cordons sableux envasés. Si l'évolution est poussée jusqu'à son terme, la dessalure du milieu transformera naturellement en marais l'ancien wadden. Ce mécanisme est particulièrement efficace sous climat tropical, en raison, nous l'avons vu, des multiples interactions entre la végétation et les structures sédimentaires.

L'homme cherche à intervenir dans cet équilibre, car les marais tropicaux, en particulier ceux associés aux deltas, ont des densités de population qui comptent parmi les plus importantes du globe : au Pakistan oriental, plus de 60 millions d'habitants vivent sur une surface de 150 000 km² seulement. La poldérisation en vue de la riziculture est de ce fait l'objet d'études nombreuses, tant

en vue d'augmenter les surfaces exondées et dessalées, que pour rendre cultivables les sols d'origine maritime. Sur ce point, la complexité des problèmes géochimiques implique des études pédologiques et hydrologiques extrêmement soignées avant la mise en polder, ainsi qu'une surveillance constante par la suite. Ceci explique les mécomptes qui ont suivi certaines tentatives.

Ce milieu a également été étudié à propos de l'éradication de la malaria, les moustiques vecteurs du paludisme s'y développant parfois avec une extraordinaire abondance.

En ce qui concerne le génie civil, lagunes et marais jouent aussi parfois le rôle de bassin de décantation pour les apports fluviaux, protégeant les petits fonds voisins du littoral d'un colmatage rapide et évitant des dragages coûteux. En baie de Kompong Som (Cambodge), lors de la construction du port, les fonds se sont ainsi maintenus malgré l'augmentation de l'apport sédimentaire dû à une déforestation inconsidérée des bassins versants. Ce rôle de bassin de réception peut être également mis à profit en tant que tampon contre les crues très importantes dont les fleuves de ces régions sont capables.

Il existe une dernière raison justifiant l'intérêt porté aux marais tropicaux par les spécialistes. Ce milieu intermédiaire, de grande activité géochimique, est le siège de transferts et de concentrations de métaux et pourrait fournir le moyen de comprendre la genèse de certains types de gîtes métallifères.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie très abondante sur le sujet a été volontairement réduite aux titres utilisés par les auteurs. La plupart des articles cités contiennent eux-mêmes d'importantes listes de références. Une liste bibliographique écologique pourra être trouvée à la référence PLAZIAT J.C. (1970).

ALLEN J.R.L. (1965). — Coastal geomorphology of eastern Nigeria : beach-ridge barrier islands and vegetated tidal flats. *Geol. in Mijnbouw*, 44^e jaarg., p. 1-21.

ANONYME (1955). — Etude de l'aménagement hydro-agricole du casier de Soumbouya. Etude agronomique. *Gouvernement Général de l'A.O.F., Direction des T. P. de Guinée*, rapport ronéo., 237 p.

AVIAS J. (1949). — Note préliminaire sur quelques phénomènes actuels ou subactuels de pétrogenèse et autres, dans les marais côtiers de Moindou et de Canala (Nouvelle Calédonie). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 277-280.

- AVIAS J. (1958). — Note préliminaire sur l'existence de vases bariolées gypsifères actuelles dans les marais côtiers de la Nouvelle-Calédonie. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 396-397.
- AVIAS J. (1963). — A propos des vases bariolées gypsifères actuelles de Nouvelle-Calédonie et sur la genèse des marnes bariolées salifères du Trias. *In* : Le Trias de la France et des régions limitrophes, *Mém. B.R.G.M.*, n° 15, Paris, p. 615-622.
- BALTZER F. (1965). — Etude sédimentologique du marais de Mara (Côte ouest de la Nouvelle-Calédonie) et de formations quaternaires voisines. Thèse 3^e cycle Orsay publiée *in* : *Expédition Française sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie*, éd. Fondation Singer-Polignac, vol. IV, Paris, 1970, p. 1-147.
- BALTZER F. (1969). — Les formations végétales associées au delta de la Dumbea (Nouvelle-Calédonie) et leurs indications écologiques, géomorphologiques et sédimentologiques mises en évidence par la cartographie. *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., I, 1, p. 59-84.
- BOYÉ M. (1960). — La géologie des plaines basses entre Organabo et le Maroni (Guyane française). Thèse 3^e cycle Orsay, *Mém. carte géol. détaillée de la France*, Paris, 1963, 148 p.
- BOYÉ M. (1962). — Les paléotuviers du littoral de la Guyane française. Ressources et problèmes d'exploitation. *Les cahiers d'Outre-mer*, XV, p. 271-290.
- CHOUBERT B. et BOYÉ M. (1959). — Envasements et dévasements du littoral en Guyane française. *C. R. Acad. Sci.*, t. 249, p. 145-147.
- CLARKE L.D. et HANNON N.J. (1967). — The mangrove swamp and salt marsh communities of the Sydney District. *J. Ecol.*, vol. 55, p. 753-771.
- DAVIS J.H. Jr (1940). — The ecology and geologic role of mangroves in Florida. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 517, p. 303-412.
- DEBYSER J. (1961). — Contribution à l'étude géochimique des vases marines. *Thèse Sci.* (1959), éd. Technip, Paris, 239 p.
- DERLIARD R. (1965). — Contribution à l'étude du peuplement des sédiments sablo-vaseux et vaseux intertidaux compactés ou fixés par la végétation de la région de Tuléar (Madagascar). *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, Marseille. Fasc. h. s., suppl. n° 43, in-8°, 94 p., 16 pl. h.-t., 15 photos.
- EMERIT M. (1960). — Etude granulométrique de la mangrove de Joal (Sénégal). *Ann. Fac. Sci. Dakar*, t. 5, p. 107-115.
- FOSBERG F.R. (1961). — Vegetation-free zone on dry mangrove coasts. *U. S. Geol. Surv., Prof. pap.*, 424-D, D 216 - D 218.
- FOSBERG F.R. (1964). — Vegetation as a geological agent in tropical deltas. *In* : Les problèmes scientifiques des deltas de la zone tropicale humide et leurs implications. UNESCO, Paris, p. 227-232. Actes du Colloque de Dacca, 422 p.
- FRANCIS-BŒUF C. (1947). — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaires. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. s., t. 23, p. 150-344.
- GÈZE B. (1943). — Géographie physique et géologie du Cameroun occidental. *Mém. Museum nation. Hist. nat.*, Paris, n. s., t. 17, 271 p.
- GILL M. (1969). — Tidal trees. Orient and occident. *Bull. Fairchild tropical garden*, vol. 24, n° 3, p. 7-10.
- GILL A.M. et TOMLINSON P.B. (1969). — Studies in the growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Biotropica*, 1 (1), p. 1-9.
- GLEDHILL D. (1963). — The ecology of the Aberdeen Creek mangrove swamp (Sierra Leone). *J. Ecol.* (G. B.), 51, n° 3, p. 693-703.
- GUILCHER A. (1954). — Rapport sur les causes de l'envasement du Rio Kapatchez (Guinée française). *Serv. de l'Hydraulique*, rapp. dactylo.
- GUILCHER A. (1965). — Questions de morphologie climatique en Mélanésie équatoriale (Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Bretagne, Guadalcanal). *Bull. Assoc. Géogr. fr.*, n° 338-339, p. 28-40.
- GUILCHER A. (1968). — XV^e chronique océanographique : Notes sur les mangroves. *Norois*, n° 57, p. 115-117.
- HERVIEU J. (1966). — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Thèse Sc. Orsay, *Mém. ORSTOM*, n° 24 (1968), Paris.
- JACQUES-FELIX H. (1951). — Régions naturelles et paysages végétaux du Cameroun. *Encycl. Afr. franç.*, vol. Cameroun-Togo, p. 15-29.
- KASSAS et ZAHNAN (1967). — Ecology of the Red Sea littoral salt marsh. *Ecol. Monogr.*, vol. 37, n° 4.
- LAFOND L.R. (1967). — Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide. Thèse Sc. Orsay, 3 vol., 836 p., 277 fig., *Lab. Sédimentologie*, Orsay.
- LEVEQUE A. (1962). — Mémoire explicatif de la carte des sols de terres basses de Guyane française. *Mém. ORSTOM*, n° 3, Paris.
- MAGNANINI A. (1953). — As regiões naturais do Amapá. *Rev. brasil. Geogr.*, ano xiv, n° 3, p. 243-304.
- MAURAND P. (1943). — Indochine forestière. *Imprim. d'Extrême-Orient*, Hanoï, 1 vol., 2^e éd.
- PEGUY C.P. (1961). — *Précis de climatologie*. Masson, éd., Paris, 348 p.
- PLAZIAT J.C. (1970). — Huitres de mangrove et peuplements littoraux de l'Eocène inférieur des Corbières. *Géobios*, n° 3, fasc. 1, Lyon, pp. 7-27, 9 fig., 78 réf.
- SCHOLL D.W. (1964). — Recent sedimentary record in mangrove swamps and rise in sea level over the southwestern coast of Florida. *Marine geology*, n° 1, p. 344-366, n° 2, p. 343-364.
- TEIXEIRA GUERRA A. (1953). — Algunos aspectos geomorfológicos do litoral amapaense. *Bol. Geogr.*, IX, n° 98 (1951), p. 176-178.
- THOM B.G. (1967). — Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico. *J. Ecol.*, 55, n° 2, p. 301-343.
- THORNTON I. et GIGLIOLI M.E.C. (1965). — The mangrove swamps of Keneba: lower Gambia river basin. *J. appl. Ecol.*
- UNESCO (1964). — Les problèmes scientifiques des deltas de la zone tropicale humide et leurs implications. Actes du colloque de Dacca, 422 p.
- VAUGHAN T.W. (1910). — The geologic work of mangroves in southern Florida. *Smithsonian Misc. Coll.*, vol. 52, p. 461-466.
- VERGER F. (1964). — Mottureaux et gilgais. *Ann. Géogr.*, LXXIII, p. 413-430.
- VERGER F. (1968). — *Marais et wadden du littoral français*. Bordeaux, Biscaye, 544 p.

- VEILLEFON J. (1968). — Etude des variations du pH et du rH dans les sols de mangroves de Basse Casamance. VI^e conf. Assoc. scient. Ouest africain (W.A.S.A.), section sciences de la terre, Lab. géol. Fac. Sc. Abidjan, 16 p., ronéo.
- VEILLEFON J. (1969). — La pédogenèse dans les mangroves tropicales. Un exemple de chronoséquence. *Science du sol, Bull. Assoc. Franç. Et. Sol*, p. 115-148.
- WEYL R. (1953). — Lithogenetische Studien in den Mangroven der Pazifikküste. *N. Jb. f. Geol. u. Paläontol.*, p. 202-218.