

ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DE L'ÎLE EUROPA

par L. BERTHOIS et R. BATTISTINI

Ce travail fait suite à la « Note préliminaire sur la morphologie de l'Île Europa », publiée par l'un de nous, R. Battistini, dans le N° 6 de « *Madagascar, Revue de Géographie* » (1). Le prélèvement des échantillons sédimentologiques a été effectué par R. Battistini lors d'une mission de 8 jours en avril 1964, organisée par l'Université de Madagascar, avec l'aide de la Marine Nationale. Cette mission comprenait aussi : M. Legendre, Professeur à la Faculté des Sciences, Chef de Mission ; le Médecin Lieutenant-Colonel Brygoo, Directeur de l'Institut Pasteur de Madagascar, chef de mission adjoint ; M. le Doyen R. Mallet, de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Tananarive ; M. Capuron, Conservateur des Eaux et Forêts, chef de la section botanique au C.T.F.T. ; M. Malzy, Chef de la Section Zoologie à l'I.R.S.M. ; M. Derijard, Assistant à la Station Marine de Tuléar ; M. Gaudy, Attaché de recherche C.N.R.S. ; M. Vasseur, Chercheur Comexo ; M. Mauge, Chercheur au Laboratoire de Zoologie ; M. Stevens, Cinéaste ; M. Croce, Secrétaire de Radio-Université, reporter.

Étant donné le temps souvent important nécessaire à l'analyse de prélèvements sédimentologiques, il a semblé préférable de dissocier la publication des résultats morphologiques, qui ont pu être rédigés dès après la mission en 1964, de la publication des résultats sédimentologiques qui font l'objet du présent article. L'analyse des échantillons de sédiments a été entièrement effectuée par L. Berthois, qui en a aussi entièrement rédigé les résultats. Seul le chapeau de présentation faisant office d'introduction a été rédigé par R. Battistini.

(1) A signaler aussi : R. BATTISTINI : *La morphologie de l'Île Europa*, Mission Scientifique à Europa, Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, série A, Zoologie, tome XLI, pp. 7-18, 6 fig., 13 photog.

Située au milieu du Canal de Mozambique, par 40°20' de longitude et 22°20' de latitude, c'est-à-dire au Sud-Ouest de Madagascar, Europa est une île circulaire d'origine corallienne d'environ 6 km de diamètre, dont les points les plus hauts sont constitués par des dunes ne dépassant pas une dizaine de mètres d'altitude. Une vaste mangrove, dont l'exutoire est au Nord, c'est-à-dire du côté sous le vent, occupe sa partie centrale.

Le bâti de l'île est un ancien atoll, sans socle précoralien visible, d'âge Quaternaire moyen, qui devait être assez comparable morphologiquement à Bassas da India.

Cet ancien récif corallien a été exondé et karstifié lors de la dernière grande régression marine (régression pré-flandrienne), cette karstification se poursuivant encore actuellement.

La part de la construction corallienne flandrienne est minime. La plate-forme de basse mer qui ceinture l'île semble à peu près partout façonnée dans le calcaire corallien ancien, et la retombée externe semble morte (d'où le faible développement ou l'absence de levée détritique externe sur la plature). Il faut considérer à part, toutefois, la côte nord, en face du débouché de la mangrove, où il existe une bordure lobée de corail vivant, et où le calcaire corallien ancien disparaît sous un biseau de corail flandrien (surtout coalescence de *Porites*).

La partie externe de la plature est dominée par de grands lapiés, façonnés dans le calcaire récifal ancien qui affleure jusqu'un peu au-dessous du niveau des hautes mers de vive eau.

Une levée actuelle surtout sableuse sur la côte nord, comportant des accumulations de tempête de grosses dalles de calcaire corallien et de beach rock sur la côte ouest et sud, ceinture l'île, en recouvrement sur les calcaires coralliens anciens. Cette levée est localement remaniée en petites dunes, surtout du côté au vent de l'île (côte ouest, sud et sud-est).

On peut distinguer à l'intérieur de l'île trois unités morphologiques :

1 — une ceinture externe karstifiée dans le calcaire corallien ancien porté entre 2 et 4 mètres au-dessus du niveau de croissance actuelle du corail ;

2 — une plaine centrale correspondant au colmatage par la boue calcaire du lagon ;

3 — une vaste mangrove desservie par un très beau réseau de chenaux de marée.

Ce que la carte marine qualifie de « lagon » correspond à l'exutoire, presque à sec à basse mer, de cette vaste mangrove. Une quarantaine d'échantillons ont été prélevés, comprenant :

- des éléments du bâti ancien : calcaires coralliens, lumachelles, etc...
- des sédiments de plage actuels et de dunes
- des boues calcaires compactes de l'ancien lagon
- des grès de plage actuels (beach rock)
- des ponces, nombreuses dans la laisse de haute mer du cyclone du 11-12 mars, qui pourraient témoigner d'une activité volcanique sous-marine dans cette partie du Canal de Mozambique.

La forêt de palétuviers représente un cas intéressant de mangrove sur boue calcaire dont il serait profitable de suivre l'évolution.



I. — LITHOLOGIE DES SEDIMENTS CONSOLIDES

MÉTHODE D'ÉTUDE

Une recherche sur des matériaux coralligènes n'est efficace qu'à la condition d'examiner des échantillons assez volumineux et des surfaces relativement importantes de ceux-ci ;

Cette nécessité exclut, le plus souvent, l'examen en sections minces dont les dimensions habituelles sont trop exigües, d'autre part, les formations coralliennes étant, en général très faiblement consolidées le ciment est partiellement ou même totalement détruit au cours de la préparation.

Pour obvier à ces inconvénients nous avons préparé des sections à la scie qui fournissent de grandes surfaces, pouvant être polies au tour lapidaire, si la roche est suffisamment cohérente, ou examinée sans polissage si la roche est très friable. Enfin, les surfaces ainsi préparées se prêtent à l'analyse chromatique lorsqu'elle est nécessaire.

CALCAIRE CORALLIEN

Echantillon N° 40 — *Calcaire corallien* de la partie moyenne de la plature de basse mer (voir situation du prélèvement fig. 1).

Aspect macroscopique :

Aspect botryoïde lorsque les lithothamnium ne sont pas entamés, couleur jaune clair.

Le corail blanc est vacuolaire lorsqu'il n'est pas encapuchonné, quelques tubes de serpuliers, la structure corallienne apparaît dans les cassures, rares pointements de corail rose.

Aspect microscopique :

Le corail blanc a une structure très vacuolaire constituée par un réseau à colonnettes réunies par des tiges transversales, cet ensemble forme un édifice fragile dont les vides ont partiellement comblés de dépôts aciculaires tissant une mince trame transparente qui est irisée sous un éclairage oblique. Les cristaux aciculaires sont parfois implantés radialement, ils obturent alors la presque totalité des vides.

L'enduit de lithothamnium qui encapuchonne les coraux est mince mais très compact, la structure ne révèle que de petites perforations alignées.

On observe également des bourgeons de corail rose dont la structure est également vacuolaire, mais beaucoup plus serrée que

celle du corail blanc. La surface de ces bourgeons est parcourue par un réseau parfois très serré de tubes de serpuliers extrêmement ténus.

Aux abords de la surface de contact entre le corail blanc et les lithothamnium, il existe fréquemment des tubulures de calcite teintées par de l'hydroxyde de fer, elles sont vides et lisses intérieurement.

Analyse chromatique : Le corail blanc est teinté par le Nitrate de Cobalt, c'est donc de l'aragonite.

Les lithothamnium sont en calcite, de même que les tubulures signalées à la limite des deux formations.

— *Inclusions grises ou noirâtres dans le calcaire corallien ancien et plus dures que ce dernier (voir fig. 1).*

Echantillon N° 11

Aspect macroscopique :

La roche est légèrement brunâtre, parsemée d'enclaves claires, la structure est compacte.

Aspect microscopique :

La roche renferme de grandes enclaves blanches à structure générale compacte qui sont formés de lithothamnium dans lesquels la structure intime a presque totalement disparu par dissolution et recristallisation partielle.

La pâte de la roche est brun clair à brun rougeâtre, elle est microgrenue et renferme :

- a) de petits débris de roche volcanique gris foncé contenant des minéraux très colorés à éclat bronzé attribués à un pyroxène ;
- b) de petits débris de corail blanc ;
- c) des débris plus ou moins volumineux de lithothamnium ;
- d) des débris de radioles de crinoïdes.

Echantillon N° 12

Aspect macroscopique :

La roche est presque exclusivement composée de gastéropodes mais ils apparaissent assez mal extérieurement et c'est seulement sur la section à la scie qu'il est possible de les identifier ; on observe en outre quelques rares grosses perforations dues à des mollusques lithophages. Le ciment est un carbonate blanc dont la couleur tranche

nettement sur celle rouge-brunâtre des débris de coquille des gastéropodes.

Aspect microscopique :

L'examen de la section à la scie permet de reconnaître par place la structure caractéristique des gastéropodes dans laquelle on peut parfois identifier le pilier central et les amorces des spires, mais le plus souvent on aperçoit seulement des débris tubulaires arqués mais sans liaison génétique avec les débris voisins.

Les parois des tests ont une couleur rouge brunâtre, la partie interne des canaux est très rarement revêtue d'un enduit de carbonate de chaux, en général il existe un remplissage hétérogène constitué de débris roulés (probablement des lithothamnium) et une fine poussière blanche indéterminable accompagnée fréquemment de tubes de serpuliers.

Certaines portions de la section laissent apercevoir, dans les vacuoles, de petits débris minéraux lamellaires à reflets bronzés. Une extraction sous l'eau a été faite pour leur détermination.

Le ciment qui réunit les débris de gastéropodes paraît être de la calcite provenant sans doute de lithothamnium qui ont encapuchonné les débris, mais dans certains endroits, on remarque des traces de dissolution des gastéropodes, il y aurait donc probablement des phénomènes de dissolution suivis de recristallisation ou dissolution partielle des coquilles avant leur incorporation dans ce milieu très calcaire où les dissolutions paraissent improbables.

Minéraux inclus dans les anfractuosités de la roche

Tous les grains sont anguleux.

Les minéraux suivants ont été identifiés. — *Ouwarowite* : grenat calcique et chromifère de couleur verte. *Pyroxènes* : Augite et Aegyrine à polychroïsme très marqué. *Biotite* : une plaquette très mince à contour anguleux. *Magnétite* et *Ilménite* abondantes en grains anguleux.

Echantillon N° 13

Aspect macroscopique :

La surface extérieure est vermiculée, elle a subi une altération assez marquée.

La roche a la même composition que le n° 12. Ce sont encore des débris de gastéropodes qui en forment la trame, mais cette détermination n'aurait pas pu être faite sur cet échantillon seul ; la recristallisation et l'obturation des vides y sont presque complets

ce qui donne à la roche un aspect massif qui n'existait pas dans l'échantillon n° 12.

Dans certaines parties du remplissage des tests de gastéropodes ou dans les endroits où le ciment est largement développé, on voit apparaître la structure des lithothamnium.

Il existe des plages brun rougeâtre, dont la couleur est identique à celle des tests de gastéropodes, mais aucune structure n'y est discernable. Il est impossible de savoir si cette absence de structure est due à une orientation tangentielle de la section des tests ou si elle est le fait de recristallisations partielles.

En résumé

L'examen des inclusions du calcaire corallien ancien est difficile à cause de la présence de lithothamnium qui ont parfois quasi totalement oblitéré les éléments antérieurs, par l'extension des recristallisations qu'ils paraissent avoir entraîné.

Mais il apparaît cependant que les débris contenus en inclusion étaient lithologiquement très différents de la formation coralligène actuelle ; les échantillons 12 et 13 notamment sont essentiellement des calcaires à gastéropodes dans lesquels les coraux jouent un rôle très restreint. L'abondance des minéraux dans les portions alvéolaires à l'intérieur des blocs sectionnés, incite à penser qu'au moment du dépôt sédimentaire, il existait encore des portions du substratum rocheux en affleurement ou immergés à faible profondeur.

Si cette éventualité devait être écartée il faudrait recourir à un apport éolien, qui paraît assez peu probable si l'on tient compte de la direction du vent dominant (voir flèche au bas de la fig. 1).

Echantillons provenant du fond du grand lagon

Echantillon N° 35

Concrétion calcaire du fond dur du lagon (voir fig. 1).

Aspect macroscopique :

L'aspect extérieur est botryoïde, la couleur blanche : la roche paraît constituée par des dragées de lithothamnium assez faiblement agglomérées par un ciment calcaire.

Dans les anfractuosités apparaissent de très petits vermetes et des débris de corail.

Aspect microscopique :

Dans la section on peut apercevoir la trame caractéristique des lithothamnium lorsque la section est assez large.

La surface coupée est extrêmement vacuolaire et il appert, que la roche a été formée de deux fractions bien distinctes, mais sans doute quasi contemporaines :

- a) Des débris plus ou moins roulés de lithothamnium, provenant d'une formation très voisine ou de la même formation, partiellement démantelée par la mer lorsque les formes construites n'étaient pas assez massives pour résister au ressac.
- b) Des lithothamnium très compacts, à structure massive, qui ont cimenté entre eux les débris épars et englobé la masse dans une biocénose unique.

On observe des tubes de serpuliers analogues à ceux de l'échantillon n° 40, mais ils paraissent plus riches en débris calcaires.

Echantillon N° 36

Fond lisse rocheux du lagon sous une mince pellicule sableuse (voir fig. 1).

Aspect macroscopique :

La roche a l'aspect d'un calcaire assez peu cohérent, il porte quelques perforations souvent peu profondes attribuables à des mollusques lithophages. Couleur blanc grisâtre.

Aspect microscopique :

La roche est formée de petits débris coralliens blancs, arrondis lorsqu'ils sont de petite taille, agglomérés très faiblement par un ciment calcaireux provenant de la dissolution partielle des éléments les moins volumineux, car il n'apparaît pas de trace de boue carbonatée ayant pu constituer ce ciment.

Cette structure est interrompue par endroits et remplacée par des amas compacts qui paraissent avoir deux origines :

- 1) Dans certains cas, ces amas ne possèdent pas de limite périphérique nette, il semble qu'on puisse les attribuer à une dissolution suivie de recristallisation partielle faite « *in situ* » sans dérangement des éléments préexistants.
- 2) Dans d'autres cas, ce sont des débris beaucoup plus grossiers que la moyenne des constituants de la roche qui ont conservé leur structure compacte et leur forme originelle. La structure originelle peut encore être vacuolaire avec de fins canicules. La roche est alors formée de gros débris coralligènes, en général peu roulés, dont la périphérie a partiellement été dissoute puis a recristallisé, de telle sorte que la structure vacuolaire n'est plus visible que dans la partie centrale.

En résumé

Les deux échantillons 35 et 36 provenant du fond du lagon ne présentent que des disparités de détail portant sur la dimension des constituants et les modalités de dissolution et de recristallisation. Les caractéristiques essentielles sont identiques dans les deux cas.

BEACH-ROCK

Echantillon N° 4

Près de la station météorologique, côté ouest (voir fig. 1).

Aspect macroscopique :

La roche est d'origine détritique, elle a une structure granulaire très hétérométrique, elle est blanche et formée de :

- a) débris de lamellibranches et de petits gastéropodes, en général très roulés, assez peu abondants ;
- b) débris de corail roulés, assez peu abondants dans les petites tailles ;
- c) débris de lithothamnium, très abondants, souvent très roulés ;
- d) graviers ou petits galets de corail massif bien roulés. Cet ensemble est faiblement aggloméré par un ciment calcaireux.

Aspect microscopique :

Galet de corail blanc à structure vacuolaire comportant de place en place des colonnettes à structure compacte d'où partent des ramifications transversales. On observe de grandes vacuoles dans lesquelles les planchers coralligènes sont fortement espacés.

Ce galet ainsi que d'autres débris coralligènes de plus faibles dimensions est inclus dans un ensemble granuleux très hétérométrique où l'on distingue tous les composants identifiés à l'examen macroscopique auxquels il faut ajouter des débris de crinoïdes.

Echantillon N° 18

A l'entrée du grand lagon, côté ouest (voir fig. 1).

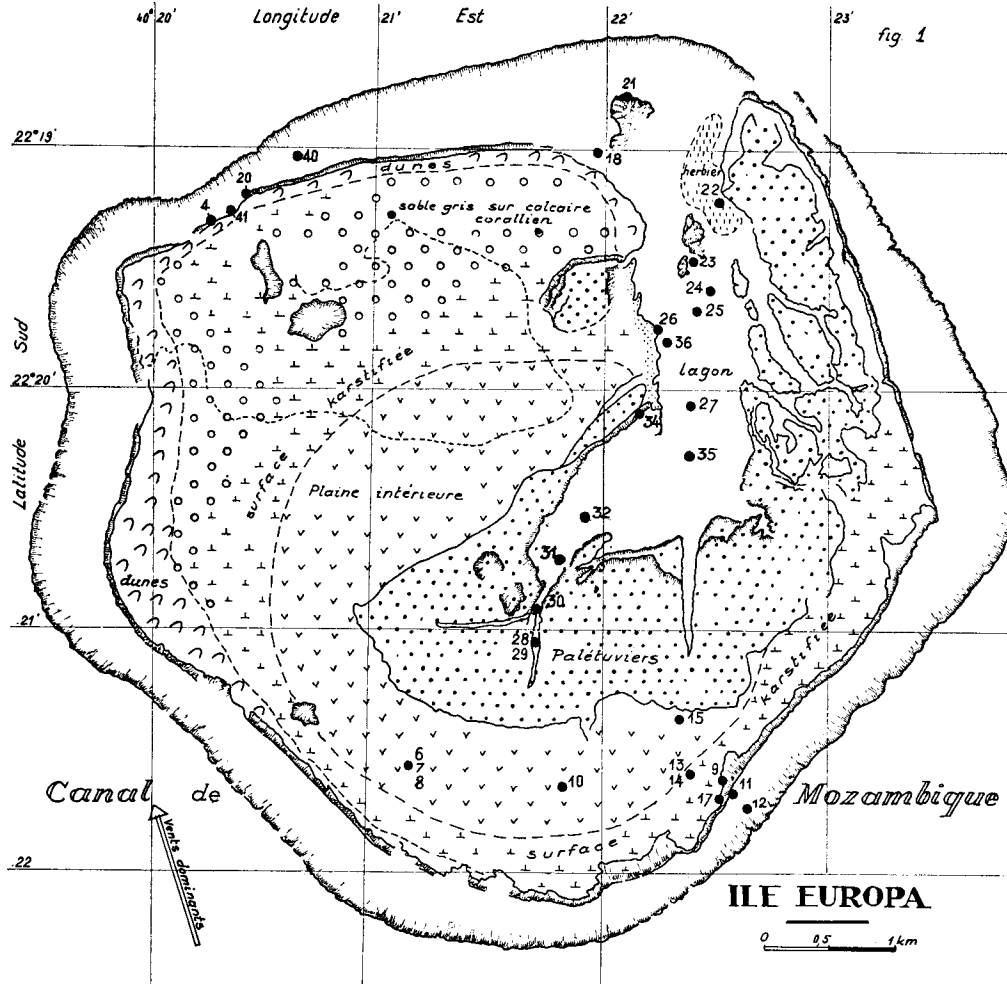
Aspect microscopique :

La roche est quasi identique à la roche Ech. 4, mais elle ne renferme pas de gros galets de corail blanc, elle est donc essentiellement composée de :

- a) Petits débris roulés de lithothamnium, très abondants et constituant près de 80 % de l'ensemble.

- b) Débris coquilliers rares, très roulés, paraissant en général attribuables à des lamellibranches.
 c) Rares débris de corail blanc toujours roulés et de petite taille.

L'ensemble est faiblement aggloméré par un ciment dont le calcaire paraît avoir été fourni par les lithothamnium.



Carte de l'Ile Europa d'après la carte marine n° 5846.
 Schématisation de la morphologie d'après R. BATTISTINI (1965).
 Les numéros indiquent les points de prélèvements
 des échantillons.

ROCHE RECUEILLIE DANS LA LAISSE DE HAUTE MER

Echantillon N° 17 (fig. 1)

La roche, très vacuolaire, est gris clair ; au microscope elle apparaît comme presque entièrement vitreuse avec des fissures de type perlitique mais formant un dessin ayant plutôt l'aspect d'une trame que celui d'un empilement de perles.

Les phénocristaux sont rares, nous avons reconnu : Andésine à 50 % d'anorthite, mâlé Albite-Carlsbad ; Augite légèrement Aégrynique, Magnétite.

La roche est une ponce trachytique.

II. — ANALYSE DES SEDIMENTS GROSSIERS

I. — GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS GROSSIERS

Remarques concernant la granulométrie

La granulométrie des sédiments récoltés a été traitée assez sommairement car dans le cas présent elle ne peut fournir, prise dans son ensemble, qu'un nombre restreint de renseignements qui doivent être utilisés avec une grande prudence.

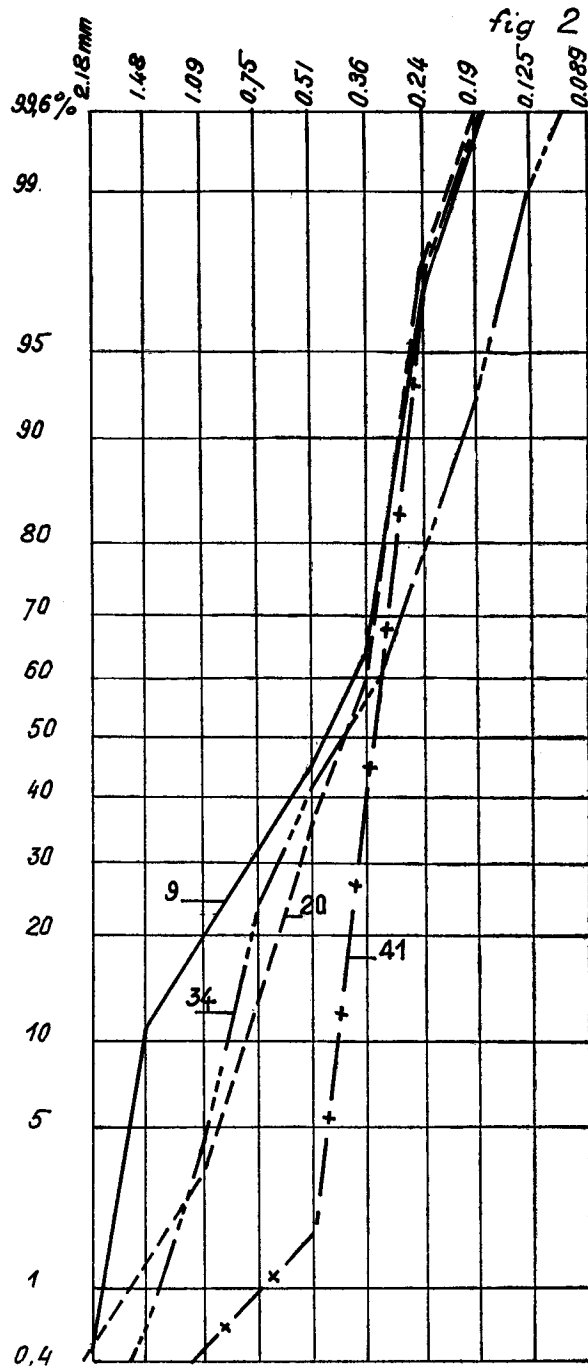
Cette méfiance à l'égard des résultats granulométriques découle essentiellement du fait de l'hétérogénéité des matériaux transportés et déposés.

Nous montrerons plus loin que les sédiments sont quasi dépourvus de minéraux, et constitués à plus de 99 % par des débris organogènes formés de calcite (P.S. : 2,71) ou d'aragonite (P.S. : 2,94). Mais à cet écart des poids spécifiques susceptible d'engendrer des disparités dans le transport des grains isodiamétriques, viennent encore s'ajouter des modifications importantes dues aux coefficients de forme ou de compacité, certains grains sont roulés et subsphériques, d'autres sont lamellaires, certains éléments sont compacts, d'autres renferment des canaux ou des vacuoles ; les coquilles de même diamètre (foraminifères) peuvent être transportées vides ou remplies de boue calcaire. Tout cet ensemble de faits réduit considérablement la portée des résultats granulométriques pondéraux, c'est pourquoi notre interprétation sera très restreinte.

Pour faciliter les comparaisons, nous avons groupé les courbes cumulatives par groupe sédimentaire.

A. — SABLES DE PLAGE

- Ech. N° 9 — Sable grossier de la haute plage au sud de l'île.
- » N° 20 — Sable de la plage actuelle en face du camp.
 - » N° 34 — Sable de plage rive ouest du lagon.
 - » N° 41 — Sable à mi-hauteur de la plage actuelle (voir localisation fig. 1 et courbes cumulatives fig. 2).



Courbes granulométriques des sables de plage.



Discussion des résultats

Les courbes des échantillons 9, 20 et 34 sont assez bien groupées, les diamètres moyens sont compris entre 0,42 et 0,48 mm, les écarts sont faibles dans le domaine des éléments grossiers ; ils sont un peu plus importants mais encore faibles dans le domaine des éléments fins.

Par contre, il existe un écart très appréciable entre les courbes des échantillons 20 et 41 prélevés en des points très voisins, mais à des altitudes différentes. L'échantillon 20 renferme 36 % d'éléments de diamètres supérieurs à 0,51 mm tandis que l'échantillon 41 n'en contient que 2 %. Les gros éléments sont difficilement déplacés sur la pente vers la partie haute de la plage.

B. — SÉDIMENTS DU FOND DU LAGON, ZONE NORD ET CENTRALE

Ech. N° 21 — Entrée nord du lagon.

» N° 22 — Près de la rive est du lagon.

» N° 23 — 24 — 25 — Partie centrale du lagon, en s'écartant progressivement des îlots émergeant dans la partie nord du lagon.

» N° 26 — Près de la rive ouest du lagon.

» N° 27 — Partie centrale du lagon.

Localisation des points fig. 1.

Courbes granulométriques fig. 3.

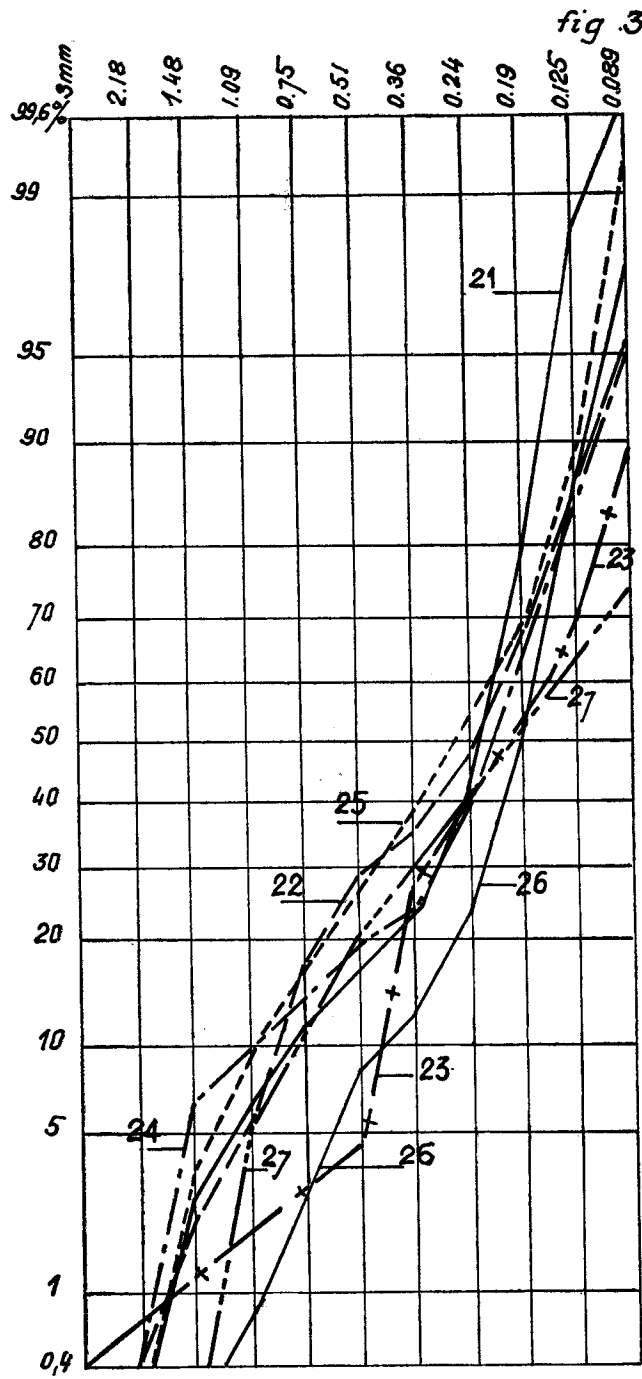
Examen des résultats

Nous noterons tout d'abord que les diamètres des grains moyens s'échelonnent entre 0,19 et 0,27 mm, mais cette quasi identité granulométrique s'estompe rapidement lorsqu'on examine l'ensemble des tracés.

En ce qui concerne la fraction grossière, les courbes n°s 21, 22, 24, 25 et 27 présentent des écarts peu importants. Mais les courbes n°s 23 et 26 s'écartent notablement de cet ensemble, l'échantillon n° 23 a été prélevé à l'abri d'un îlot résiduel, ce fait explique sans doute la pénurie d'éléments grossiers.

L'échantillon n° 26 a été prélevé au large d'une plage de sable près de la rive Ouest du lagon.

Considérons maintenant la fraction fine de ces sédiments ; elle a été dosée pondéralement, mais il ne nous a pas paru utile d'en faire une étude microgranulométrique complète ; cependant l'examen des extrêmes des courbes nous fournit des renseignements intéressants, en effet :



Courbes granulométriques des sédiments du fond du lagon.

L'échantillon n° 21, situé à l'entrée nord du lagon, ne possède aucun élément de diamètre inférieur à 0,089 mm.

Le n° 22, situé à l'abri d'un herbier, possède 5 % de grains inférieurs à 0,089 mm.

Le n° 23, prélevé à l'abri d'un îlot résiduel : 10 %, inférieurs à 0,089 mm.

Le n° 24, moins abrité que le précédent : 5 % < 0,089 mm.

Le n° 25, non abrité par les îlots résiduels : 0,3 %, inférieurs à 0,089 mm.

Le n° 26 au bas de la plage ouest : 2 % < 0,089 mm.

Le n° 27, dans la partie centrale sud du lagon, où la vitesse de l'eau doit être fortement atténuée : 25 % < 0,089 mm.

Cet échelonnement des teneurs en sédiments fins, qui sont essentiellement constitués par des poudres calcareuses en suspension, montre l'influence de la microtopographie sur la sédimentation.

C. — SÉDIMENTS DU FOND DU LAGON, ZONE SUD-OUEST

Ech. n° 32 — Fond du lagon, zone sud-ouest.

» n° 31 — Fond du lagon, zone sud-ouest à l'entrée du chenal.

» n° 30 — Zone sud-ouest du lagon, partie aval du chenal.

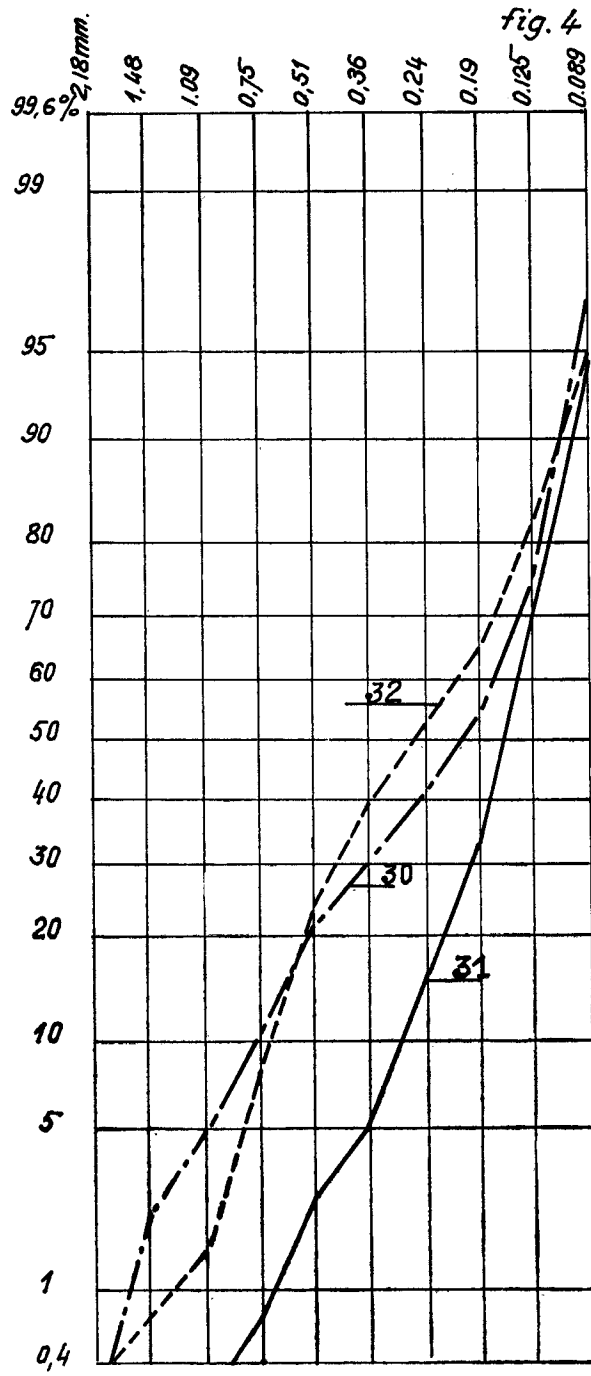
Localisation des prélèvements (fig. 1), courbes granulométriques (fig. 4).

Discussion des résultats

Les diamètres moyens sont compris entre 0,16 et 0,27 mm, ils sont donc très voisins de ceux des sédiments des parties médiane et nord du lagon.

Les sédiments prélevés aux points 32 et 30 sont granulométriquement assez voisins l'un de l'autre, les deux courbes cumulatives s'écartent au maximum de 10 %. Par contre, le sédiment prélevé au point 31, qui est intermédiaire entre les points 32 et 30, est représenté par une courbe cumulative très différente des deux autres : des écarts de 25 % peuvent être notés en ce qui concerne les diamètres de 0,36, 0,24 et 0,19 mm.

Nous nous contenterons, pour l'instant, de signaler cette anomalie sur laquelle nous reviendrons un peu plus tard. Nous noterons pour terminer que la teneur en éléments fins (< 0,089 mm) ne reflète pas la disparité présentée par la fraction grossière : les trois prélèvements possèdent en effet 5 % d'éléments de diamètres inférieurs à 0,089 mm.



Courbes granulométriques des sédiments de la zone sud-ouest du lagon

CONCLUSIONS

Les sédiments des plages offrent le triage le plus sélectif ; ce sont ceux qui paraissent refléter avec le plus de fidélité les modalités de la sédimentation.

Les sédiments du lagon sont notablement moins bien triés que ceux des plages, la répartition granulométrique de la fraction grossière fournit quelques indications sur la sédimentation, mais c'est la proportion relative de la fraction fine de chaque échantillon qui semble refléter avec davantage de précision et de nuances les conditions de dépôt.

2. — COMPOSITION DES SEDIMENTS GROSSIERS

Observation préliminaire

Les très gros fragments coralligènes très peu abondants, qui existaient dans quelques échantillons récoltés, ont été éliminés par un tamisage préalable sur un crible à mailles de 3 m/m.

Au cours des tamisages qui ont été effectués sur 150 g. de sédiments, chaque résidu de tamisage a été mis en sachets pour un examen ultérieur à la loupe binoculaire.

Les résultats de cette analyse sont groupés dans le tableau n° 1.

Les indications dans les colonnes ont la signification suivante :

- (+) très rare — le plus souvent représenté par un seul exemplaire
- + rare
- ++ peu abondant
- +++ abondant
- ++++ très abondant

Pour faciliter les recherches, les résultats sont groupés dans l'ordre numérique des prélèvements ; mais, dans l'examen qui va suivre, nous utiliserons à nouveau le classement par catégorie sédimentaire qui a été adopté dans les paragraphes consacrés à la granulométrie des sédiments grossiers.

DISCUSSION DES RESULTATS

A. — SABLES DE PLAGE

Echantillons n°s 9, 20, 34 et 41 :

L'échantillon n° 9 se distingue des trois autres par une plus grande abondance des débris calcaireux, mais il n'y a pas de différence fonda-

Tableau N° 1 (Suite)

N° de l'échant.	Diam. des tamis en mm.	Serpuliers	corail blanc ou rose	Radioles d'oursins	débris de Lamellibranches	débris de gasteropodes	spicules de spongiaires	foraminifères	bryozoaires	débris calcaireux	minéraux & esquilles de roche
23	3,00	(+)	+	(+)					(+)	+++	
	2,18		+	(+)					(+)	+++	
	1,48		+	(+)	+	+		+	(+)	++++	
	1,04		+	(+)	+	(+)		+	(+)	++++	
	0,75	(+)	+	(+)	+	+		(+)	(+)	++++	
	0,51	(+)	+	(+)	+	+		(+)	(+)	++++	
	0,36 0,24		+	+		+		+	+	++++	
24	3,00				(+)					++	
	2,18		+		+	+		(+)		+++	
	1,48	(+)	+	(+)	+	+		(+)		+++	
	1,04		+	(+)	+	(+)		+		+++	
	0,75	(+)	+	(+)	+	+		+	(+)	+++	
	0,51	(+)		(+)	+	(+)		+	(+)	+++	
	0,36 0,24			(+)	+			++	(+)	+++	+
25	3,00					++				+++	
	2,18				+	+				+++	
	1,48		+		+	+		+		+++	
	1,04		(+)	(+)	+	+		(+)		+++	
	0,75		+		+	+		+		++++	
	0,51		+		+	+		++		++++	
	0,36 0,24				(+)	+		++		++++	+
26	2,18				(+)	+		+		+++	
	1,48		(+)		+	+		+		+++	
	1,04		(+)	(+)	+	(+)		(+)		+++	
	0,75		(+)		+	+		+		+++	
	0,51		+	(+)	+	+		+		++++	+
	0,36				+	+		++		++++	(+)
	0,24				+	+		++		++++	+
27	3,00		+		(+)	+			(+)	++	
	2,18		+		+	+				++	
	1,48		+		+	+				+++	
	1,04		+	(+)	+	+				+++	
	0,75		+	(+)	+	+				+++	
	0,51		+	(+)	+	+		+	(+)	+++	
	0,36 0,24		+	(+)	+	(+)		+	(+)	+++	

Tableau N° 1 (fin)

N° de l'échant.	Diam. des tamis en mm.	Serpulien	Corail blanc ou rose	Radiales d'oursins	débris de lamellibranches	débris de gastéropodes	spicules de spongiaires	foraminifères	bryozoaires	débris calcaires	minéraux & esquilles de roches
30	3,00					+++				++	
	2,18					+++				++	
	1,48		(+)		+	+++				++	
	1,04		(+)		+	+++				++	
	0,75				++	++		+		+++	(+)
	0,51				++	++		+		+++	+
	0,36				++	++		++	+	++++	+
0,24				++	(+)		+++		++++	(+)	
31	2,18				(+)	(+)				++	++
	1,48		(+)		(+)					++	+
	1,04				+	+		(+)		+++	+
	0,75		(+)		+	+		+		+++	+
	0,51				+	+		+		+++	+
	0,36				+	+		+++		+++	(+)
	0,24				+			+++		+++	
32	3,00					+				++	
	2,18				++	+		+		+++	
	1,48				+++	+		+		+++	
	1,04			(+)	+++	+		(+)		+++	+
	0,75		(+)	(+)	++	+		++		++++	++
	0,51				+	(+)		+++		++++	+
	0,36				+		+	+++		++++	+
0,24						+	+++		++++		
34	3,00				+					++	
	2,18		+		+			(+)		++	
	1,48		+		+	(+)		(+)		++	
	1,04		+	+	+	(+)		(+)		++	
	0,75		(+)	+	+	(+)		(+)		+++	
	0,51		+	(+)	+	+		+	(+)	++++	
	0,36		+	+	+	+		++	+	++++	
0,24							++	+	++++		
41	2,18				+					++	
	1,48		(+)		+				(+)	++	
	1,04		+		++			+	(+)	+++	(+)
	0,75		+	(+)	++			+	(+)	+++	
	0,51		+	(+)	+			+	(+)	++++	(+)
	0,36		++	(+)	+			+	(+)	++++	
0,24			(+)	+			(+)		++++		

mentale entre les quatre sédiments considérés. La comparaison entre les échantillons n° 20 et n° 41 montre qu'ils sont composés des mêmes éléments, en proportions sensiblement identiques, cependant on observe dans l'échantillon n° 41 : une réduction de la teneur en corail dans les grandes dimensions et une augmentation du pourcentage des débris calcareux dans les faibles diamètres.

Ainsi s'explique le triage plus sélectif réalisé dans l'échantillon 41 situé à une altitude supérieure à celle de l'échantillon 20.

B. — SÉDIMENTS DU FOND DU LAGON : ZONE NORD ET ZONE CENTRALE

L'échantillon n° 21 — situé à l'entrée nord du lagon, est principalement composé de : débris calcareux abondants, débris de lamellibranches peu abondants ; le corail, les radioles d'oursins, les gastéropodes, les foraminifères et les bryozoaires sont rares ou très rares.

L'échantillon n° 22 — situé à l'abri d'un herbier est constitué par : des débris calcareux très abondants, des foraminifères abondants ; les gastéropodes, qui ont partiellement remplacé les lamellibranches, sont peu abondants, les autres éléments sont rares.

L'abondance des foraminifères sur un fond sédimentaire abrité est un phénomène qui a déjà été observé dans le lagon de l'île Mayotte (L. Berthois, Y. Le Calvez, A. Guilcher — 1964). Cette protection semble particulièrement nécessaire lorsque les foraminifères atteignent des diamètres supérieurs à 0,5 mm, ils doivent alors opposer aux courants une résistance incompatible avec les faibles moyens dont ils disposent.

Il est particulièrement remarquable qu'aucun des autres échantillons prélevés dans cette zone du lagon : n°s 23, 24, 25, 26, 27 ne possède une proportion de foraminifères aussi élevée que le n° 22.

Les échantillons prélevés aux points 23, 24, 25, 26 et 27 ont des compositions assez voisines, quelques particularités peuvent être signalées :

Présence de débris de serpuliers dans les sédiments 23 et 24.

Rareté du corail dans les échantillons n°s 25 et 26, elle coïncide avec la rareté des radioles d'oursins.

Les débris de lamellibranches sont toujours rares, ceux de gastéropodes, qui les accompagnent fréquemment, sont encore moins abondants.

Les foraminifères sont rares ou très rares, sauf dans quelques résidus de faibles diamètres des stations 24, 25 et 26 où ils deviennent peu abondants.

En définitive, les sédiments des zones nord et médiane du lagon, abstraction faite du n° 22, présentent des compositions très voisines.

C. — SÉDIMENTS DU FOND DU LAGON : ZONE SUD-OUEST

N^{os} 32 et 31 — Respectivement zone sud-ouest et entrée du chenal.

N^o 30 — Partie aval du chenal.

Au cours de l'étude granulométrique nous avons signalé l'étroite parenté des courbes cumulatives des sédiments prélevés aux points 32 et 30.

L'examen du tableau n^o 5 montre qu'ils sont composés des mêmes éléments organogènes, la différence la plus importante est due à la prédominance des débris de gastéropodes sur les débris de lamellibranches dans l'échantillon n^o 30 tandis que ce sont les lamellibranches qui surclassent les gastéropodes dans l'échantillon n^o 32.

Par contre, la comparaison avec l'échantillon n^o 31 montre que les débris de lamellibranches et de gastéropodes y sont devenus très rares, leur disparition a entraîné une réduction importante du pourcentage des éléments grossiers.

Remarquons en outre que les foraminifères ont à peu près la même fréquence dans les trois échantillons considérés. En outre, nous avons noté précédemment que les teneurs en fraction fine ($< 0,089$ mm) sont les mêmes dans les trois cas. L'identité de fréquence de ces éléments, aisément transportables par les courants, conduit donc à admettre que la carence des lamellibranches et des gastéropodes, qui entraîne une réduction du pourcentage pondéral des éléments grossiers, n'est pas attribuable à une disparité dans les conditions de transport sédimentaire. C'est une modification biologique locale qui, en supprimant la présence de certains éléments grossiers, modifie la granulométrie du sédiment, sans que les courants, dont la vitesse doit être assez faible dans cette zone sud du lagon, aient à intervenir.



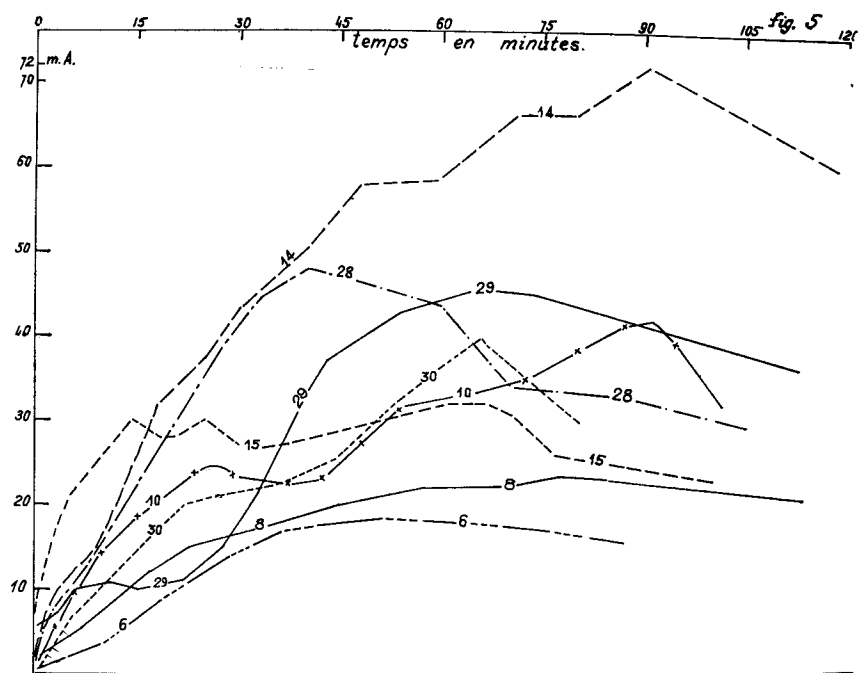
III. — ANALYSE DES SEDIMENTS FINS

I. — MICROGRANULOMETRIE

Préparation des échantillons par Microélectrodialyse

Les échantillons renfermant une fraction fine très importante ou exclusivement composée d'éléments fins ont été tamisés sous l'eau à l'aide d'un crible à mailles de 0,080 mm.

Après décantation à l'étuve à 60° et séchage à l'air, les échantillons ont été soumis à la microélectrodialyse pour extraire les ions absorbés suivant la méthode de P. Urbain (1954). L'achèvement de l'extraction des ions se signale par un palier de la tension mesurée en mA ou fréquemment par une chute de cette tension. La durée de l'opération est rarement inférieure à 1 heure et atteint rarement 2 heures (voir fig. 5).

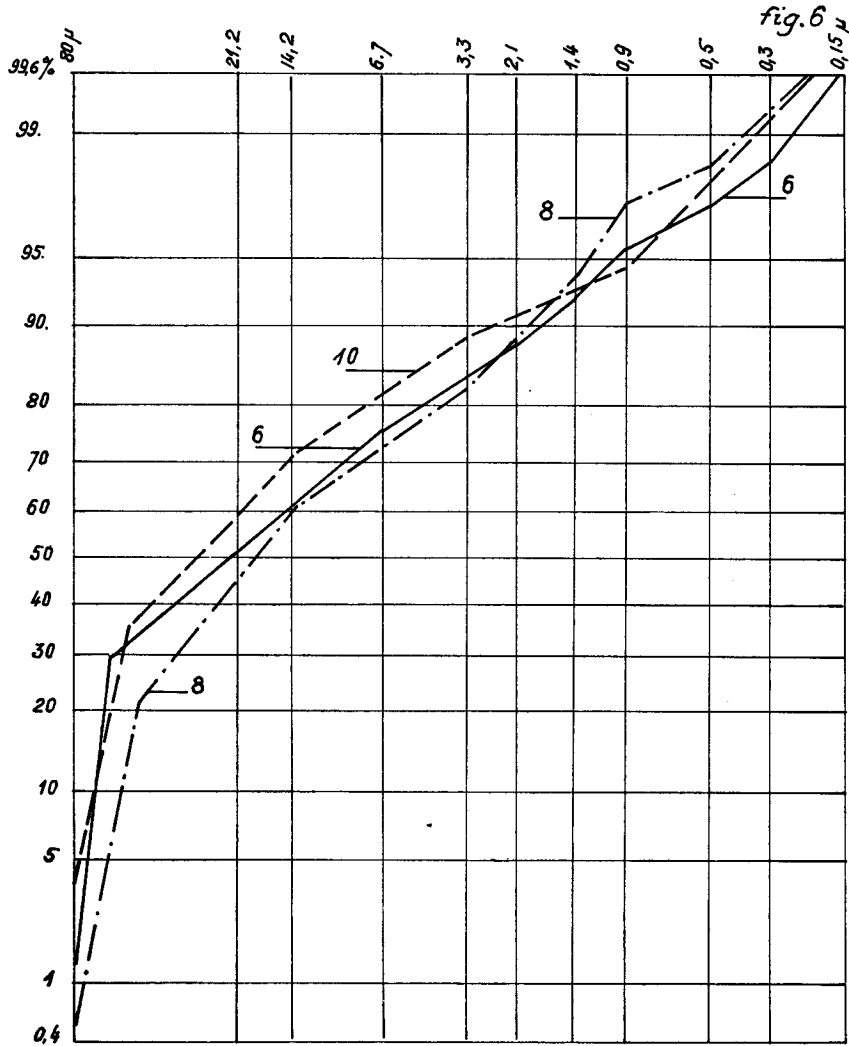


Graphique des mesures relevées au cours des microélectrodialyses.

Sur le résidu de la cuve du microélectrodialyseur, nous avons fait un prélèvement de 5 g. destiné à l'analyse microgranulométrique pour laquelle nous avons utilisé la méthode à la pipette raccourcie de P. Munier et A. Rivière (1948).

A. — SOL ET VASE ANCIENNE

Tous les échantillons ont été prélevés dans la zone sud de l'île constituant la « plaine intérieure ».



Courbes granulométriques cumulatives de la vase ancienne du Sud du lagon :
n°s 8 et 10 et du sol la surmontant : n° 6.

L'échantillon n° 6 forme le sol portant des Oyats et des *Arthrocnemum*.

L'échantillon n° 8 est la vase ancienne au-dessous de ce sol.

L'échantillon n° 10 est une vase ancienne prélevée à environ 1 400 m à l'Est du point n° 8 (voir fig. 1).

Les courbes cumulatives sont représentées sur la fig. 6.

Discussion des résultats

Une première remarque s'impose immédiatement lorsqu'on examine les courbes cumulatives ; c'est qu'elles ont toutes les trois la même allure générale et renferment entre 22 et 35 % d'éléments de diamètres compris entre 50 et 80 microns.

La courbe n° 8 de la vase ancienne et celle du sol la surmontant (n° 6) sont extrêmement voisines ; les pourcentages d'éléments < 30 microns ne présentent pas d'écarts atteignant 5 %. On peut en conclure que la transformation de la vase ancienne en sol n'entraîne pas de modification granulométrique dans le domaine des éléments fins.

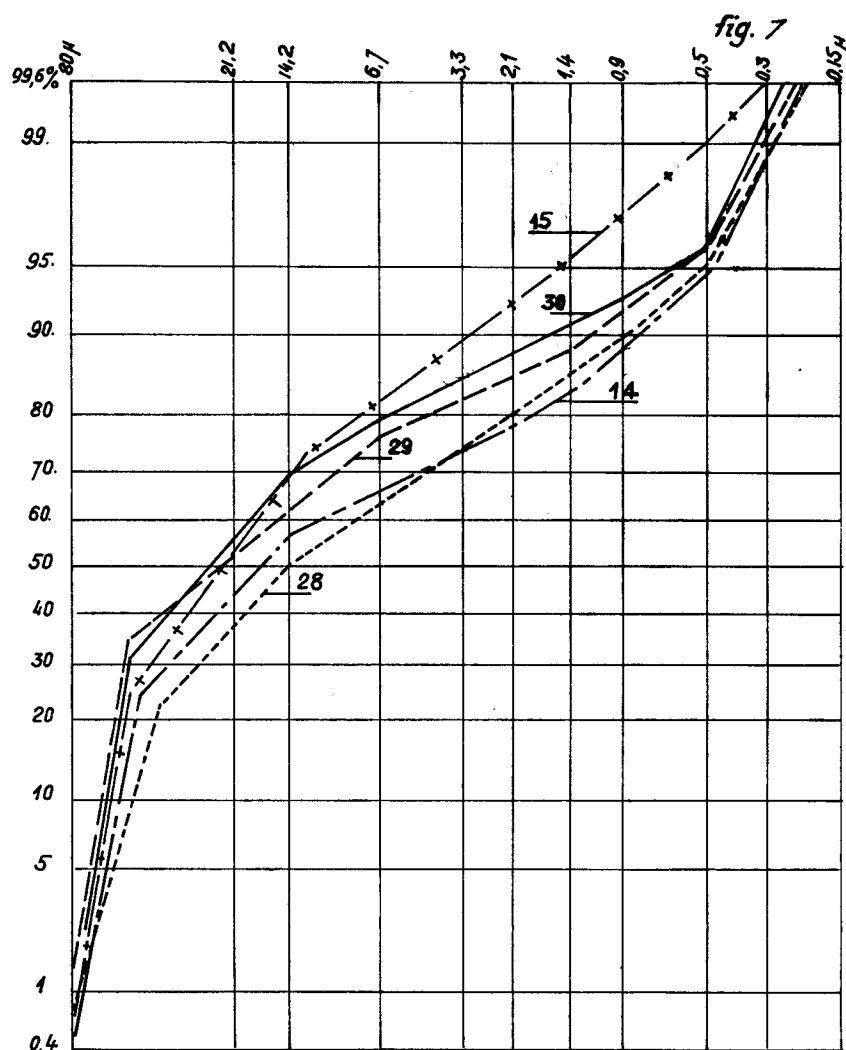
La courbe n° 10, représentant un autre prélèvement de la vase ancienne, s'écarte peu de la courbe n° 8 ; les différences de pourcentage qui atteignent 13 % pour des éléments de 21,2 microns, s'atténuent dans la fraction plus fine.

B. — DÉPÔTS ACTUELS

Les échantillons suivants ont été analysés (voir localisation fig. 1) :

- N° 14 — Vase calcaire grise de la mare à encorbellement au sud de l'île.
- N° 15 — Vase calcaire blanche, partie interne de la mangrove, au sud de l'île.
- N° 28 — Vase calcaire du haut de la berge d'un chenal de la mangrove.
- N° 29 — Sédiment du fond du chenal.
- N° 30 — Sédiment du fond du chenal prélevé en aval du n° 29. La fraction grossière du sédiment n° 30 a été analysée et comparée à celles des n°s 31 et 32.

Les courbes cumulatives sont groupées sur la figure 7.



Courbes granulométriques cumulatives des dépôts fins actuels.
L'échantillon n° 30 comprend en outre une fraction grossière
qui a été précédemment étudiée.

Examen et discussion des résultats

La courbe cumulative de l'échantillon n° 15 a un tracé identique à celui des autres courbes entre 80 et 14,2 microns, c'est-à-dire pour 70 % en poids, du sédiment, mais entre 70 et 99,6 % la répartition granulométrique suit une loi probabiliste. Il appert ainsi, que dans

la partie interne de la mangrove, le dépôt de la fraction $< 14,2$ microns dépend de conditions assez différentes de celles qui sont réalisées dans les autres parties de la mangrove.

Les courbes cumulatives des sédiments n^{os} 14, 28, 29 et 30, ont des formes identiques ; le maximum d'écart des teneurs s'observe pour les grains de 14,2 microns où il atteint 20 %, mais il diminue ensuite rapidement ; il n'est plus que de 16 % à 6,7 microns, 10 % à 3,3 microns et moins de 5 % au-dessous de 1 micron.

Il est intéressant de poursuivre plus loin la comparaison entre les dépôts anciens (type de l'éch. n^o 8) et les sédiments actuels du fond du chenal dans la mangrove (éch. n^o 29).

Nous avons reconstruit ces deux courbes cumulatives suivant la méthode de A. Rivière (1952-1954) et nous avons obtenu les deux tracés de la fig. 8.

La courbe n^o 8 représente un sédiment très peu évolué, avec lequel le sédiment actuel est étroitement apparenté (n^o 29). On remarque que la courbe semi-logarithmique de ce sédiment se rapproche du « faciès parabolique » de A. Rivière. Nous pouvons donc en inférer que les sédiments actuels dérivent en majeure partie des sédiments anciens dont ils se différencient par une amélioration marquée, mais peu considérable, de la sélection granulométrique.

2. — ANALYSE DES RESIDUS INSOLUBLES

Préparation des échantillons

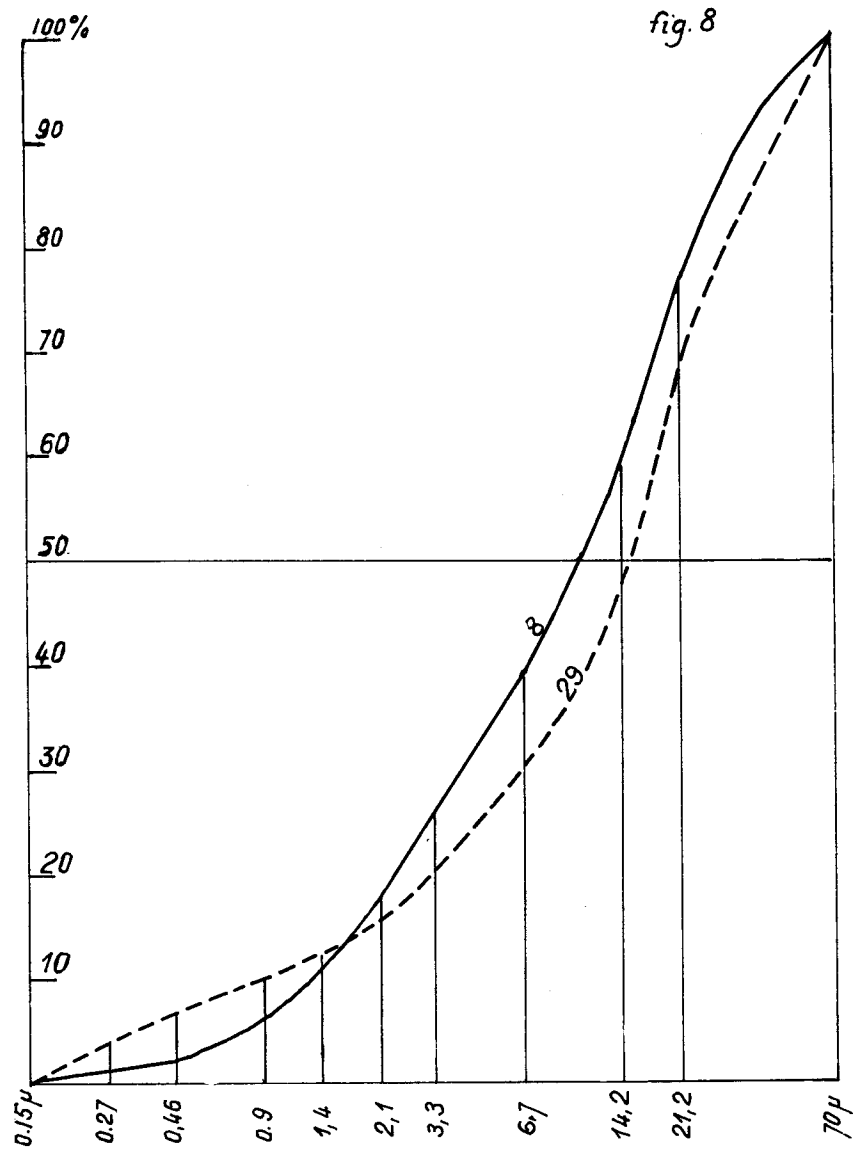
Le dosage des résidus insolubles a été exécuté sur des échantillons de vases calcaires à l'exclusion de tous les sédiments granuleux.

Le résidu insoluble a été dosé sur la fraction inférieure à 80 microns, séparée par tamisage sous l'eau. L'attaque à l'HCl 50 % maintenue au bain de sable pendant une heure.

Après refroidissement l'HCl a été décanté, puis le résidu a été lavé à l'eau distillée jusqu'à disparition du « louche » au Nitrate d'argent.

Après séchage à l'étuve à 110°, le résidu a été pesé à poids constant. Enfin, la fraction insoluble a été montée dans le baume de canada entre lame et lamelle, pour être examinée au microscope.

Par suite de la sélection initiale opérée par tamisage, il peut exister des différences entre les pourcentages des résidus insolubles trouvés ici et ceux résultant des analyses pondérales qui portent sur l'ensemble du sédiment.



Courbes granulométriques cumulatives semi-logarithmiques.
(Méthode de A. Rivière)

A. — SOL ET VASE ANCIENNE

Echantillon n° 6 — Sol — Résidu insoluble 0,80 %.

Les préparations sont encombrées d'amas d'hydroxyde de fer en agglomérats peu épais formant des plaquettes de toutes formes et de toutes dimensions entre 10 et 100 microns. Sous un fort grossissement ces amas se résolvent en une pellicule brun-rougeâtre souvent craquelée, les zones où la pellicule est très mince sont ocre-jaune, la surface est, dans les deux cas, ponctuée de petits grains opaques d'oxyde de fer, dont les diamètres sont compris entre 1 et 3 microns (ils atteignent exceptionnellement 5 microns).

Les minéraux sont extrêmement rares, nous avons seulement noté un petit grain d'olivine.

Les débris organogènes sont moins exceptionnels, mais encore très rares : débris de spicules de spongiaires et quelques très rares têtes de graines indéterminables, l'enveloppe est le plus souvent mince, exceptionnellement elle peut être très épaisse.

Echantillon n° 7 — Sol — Résidu insoluble 0,81 %.

Mêmes caractéristiques générales que le n° 6. On a distingué : lépidocrocite, calcite et augite.

Echantillons n°s 8 et 10 — Vases calcaires anciennes — Résidus inso-

lubles : n° 8 : 2,46 % ; n° 10 : 1,02 %.

Les préparations sont en majeure partie occupées par des amas ferrugineux analogues à ceux de E. 6, mais nettement plus massifs et en général complètement opaques dès qu'ils atteignent 120 à 130 microns de longueur, la zone périphérique reste seule transparente.

Spicules de spongiaires : Monactinellidæ.

Minéraux : calcite et pyroxène.

B. — DÉPÔTS ACTUELS

Echantillon n° 14 — Résidu insoluble 2,22 %.

Les amas ferrugineux sont encore très abondants mais ils sont, en général, moins intensément teintés que ceux de E. 10, par contre, ils sont notablement plus développés ; ils atteignent ou même dépassent 2 à 3 mm.

Lorsqu'ils sont d'étendue plus restreinte (150 à 400 microns), le fond est jaune d'ocre, il est parsemé de taches plus fortement teintées

(en rouge) dont la périphérie peut être fondue dans la masse jaune ou au contraire, cernée par une ligne sombre lorsque l'ensemble plus fortement teinté a des limites nettes.

Ces amas colorés englobent ou encapuchonnent une quantité parfois très importante de spicules de spongiaires.

Spicules de spongiaires

Ils sont extrêmement abondants, ce sont essentiellement des mégasclères de *Monactinellidae* fragmentés, parfois en très petits débris, il y a relativement peu de fragments dans lesquels on peut distinguer l'extrémité pointue ou le renflement basal, ils ne sont pas teints par l'hydroxyde de fer.

Les mégasclères de *Tetractinellidae* sont beaucoup plus rares, ainsi que les spicules d'*Hexactinellidae* ; les microsclères épineux de *Monactinellidae* ne sont représentés que par quelques exemplaires dans chaque préparation.

Les diatomées sont peu abondantes et de taille réduite à une centaine de microns.

Echantillon n° 15 — Résidu insoluble : 0,32 %.

Ce sédiment renferme beaucoup moins d'amas d'hydroxyde de fer que les précédents, en particulier E. 14 et, en outre, ils n'atteignent jamais les dimensions importantes qu'ils ont dans cet échantillon.

Spongiaires :

Sphérules épineuses.

Débris de spicules de *Monactinellidae*, ils sont assez communs mais beaucoup moins abondants que dans E. 14.

Spicules de *Tetractinellidae*.

Silicoflagellés :

Ils sont peu abondants, sous la forme de petits corps de 40 à 50 microns, allongés, avec une contraction de la partie centrale. Ponctuations en creux sur toute la surface.

Minéraux : Zircon, pyroxène et calcite.

Echantillon n° 28 — Résidu insoluble : 0,57 %.

La préparation renferme encore de nombreux amas jaunes, ils sont beaucoup moins nombreux cependant que dans les n° 6 et 7, et surtout ils ne sont jamais totalement opaques.

La masse amorphe, jaunâtre, qui constitue le support des amas, encapuchonne un grand nombre de débris de spicules ; elle est en outre parsemée de petits amas rougeâtres à fort relief qui sont plus

riches en hydroxyde de fer que l'ensemble, leurs contours sont habituellement bien délimités, mais parfois, ce contour est diffus, montrant alors qu'il peut exister des concentrations locales de l'hydroxyde de fer dans ces amas.

Enfin, toute la surface des amas jaunes est couverte de petites ponctuations rouge sombre, presque opaques, qui sont des granules d'hydroxyde de fer dont le diamètre n'excède pas 1 à 2 microns.

Spongiaires

Monactinellidae — assez abondants, le plus souvent en débris, plus rarement avec une pointe, très rarement avec 2 pointes ou un renflement. Mégasclères à 3 ou 4 branches et spicules globuleux de *Tetractinellidae* (L. Cayeux, 1961).

Silicoflagellés — abondants, les parties extrêmes qui sont renflées, sont reliées par une zone centrale dont le diamètre est très légèrement réduit. La surface est ornée de petites cupules comme dans les *Dinophysiales* ; quelques très rares *Peridinidae*.

Diamées centriques peu abondantes.

Minéraux : Augite aegyrienne très rare.

Echantillon n° 29 — Résidu insoluble : 0,10 %.

Ce sédiment renferme très peu d'amas alumino-ferrugineux, ils sont toujours de petite taille.

Spongiaires

Spicules de *Monactinellidae* abondants en débris de prismes, le plus souvent dénués de pointements.

Spicules globuleux de *Tetractinellidae* et spicules d'*Hexactinellidae*.

Silicoflagellés assez abondants.

Echantillons n°s 30 et 31 — Résidus insolubles

N° 30 : 4,12 %. N° 31 : 2,87 %.

Nous décrirons ces deux échantillons ensemble car ils sont quasi identiques.

Ces sédiments renferment une certaine quantité d'amas d'alumino-ferrugineux qui sont en général assez faiblement teintés en jaune clair, mais on observe aussi de gros amas plus intensément colorés en brun rouge qui englobent une grande quantité de spicules de spongiaires. Ils sont en outre parsemés d'un grand nombre de petits grains opaques, probablement d'hydroxyde de fer.

Spicules de spongiaires

Moyennement abondants en petits débris, ce sont des Monactinellidae sans pointement (mégasclères).

Microsclères de Monactinellidae.

Les silicoflagellés sont rares — Débris de radiolaires.

Echantillon n° 32 — Résidu insoluble : 2,09 %.

Amas alumino-ferrugineux analogues à ceux des échantillons 30 et 31 ; mais les punctuations foncées sont moins abondantes.

Spongiaires

Débris de Monactinellidae (mégasclères) assez rares.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

L'essentiel des résultats des examens microscopiques des résidus insolubles a été groupé dans le tableau n° 2 ; nous avons renoncé à représenter des fréquences car leur estimation eut été trop subjective ; nous nous sommes bornés à indiquer par une croix la présence des objets observés en signalant toutefois, par une parenthèse, les cas où l'objet mentionné n'a été rencontré qu'une seule fois.

Tableau N° 2 Composition des résidus insolubles

N° de l'échantillon.	agglomérats ferrugineux	spicules de spongiaires	Radiolaires	Diatomées	Silicoflagellés	graines	Zircon	Calcite	Pyroxène	Peridot	Leptocrocite
6	+	+				+				+	
7	+							+	+		+
8	+	+						+			
10	+	+						+	+		
14	+	+		+							+
15	+	+			+		+	+			
28	+	+		+	+				+		
29	(+)	+			+						
30	+	+			+						
31	+	+	(+)		+						
32	(+)	+			+						

Résumé des analyses microscopiques des résidus insolubles.



L'examen de ce tableau met en évidence :

La rareté des spicules de spongiaires dans les échantillons de sol n^{os} 6 et 7.

L'absence de radiolaires, de diatomées et de silicoflagellés dans les vases anciennes.

L'absence de minéraux, ou tout au moins, leur extrême rareté dans les sédiments du fond des chenaux et de la partie sud du lagon.

3. — COMPOSITION MINÉRALOGIQUE D'APRES LES ANALYSES DIFFRACTOMETRIQUES

Les analyses diffractométriques ont été exécutées par M. Auffret, Assistant au Laboratoire de Géologie de l'E.N.S.A., nous le remercions de sa collaboration.

On a utilisé un cristallobloc C.G.R. avec une anticathode de cobalt, raie $K \alpha = 1,790 \text{ \AA}^{\circ}$ —

Les fréquences approximatives des minéraux sont exprimées par trois termes seulement. Seuls l'aragonite et la calcite fournissent des pics bien développés ; la lépidocrocite se signale par des pics de plus petite taille mais bien individualisés, tandis que tous les autres minéraux sont marqués par des pics peu développés.

Cependant, il ne faut pas oublier que le faible développement d'un pic, qui correspond à une faible intensité de la diffraction X, peut aussi bien résulter de la rareté du minéral que d'une cristallisation imparfaite.

Les résultats de ces analyses ont été groupés dans le tableau 3.

La composition minéralogique permet de faire les remarques suivantes :

La Gibbsite (hydrargillite) — $\text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2 \text{O}$, n'existe que dans les deux prélèvements de sol : Ech. n^{os} 6 et 7.

La Kaolinite — $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot 2 \text{OH}_2$ existe en très faible quantité dans presque tous les prélèvements, il en est de même de la lépidocrocite : $\text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot \text{H}_2 \text{O}$.

Les minéraux du groupe de la Natrolite n'existent que dans les échantillons n^{os} 14, 15, 28, 29, 30. Ce groupe comprend trois types :

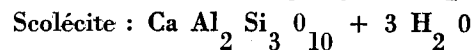
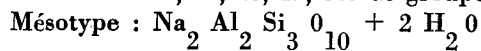
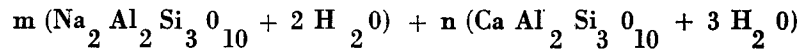


Tableau N° 3 Composition minéralogique
d'après les analyses diffractométriques

N° de l'échant.	Aragonite	Calcite	Dolomite	Lépidocrocite	Gibbsite	Natrolite	Magnésite	Kaolinite	Néphéline	Dipyre
6	+++	++++		+	+			+	+	
7	+++	++++		+	+			+		
8	+++	++++		+				+		
10	+++	++++		+				+		+
14	+++	++++		+		+			+	
15	+++	++++	+	+		+				
28	+++	++++		+		+		+		
29	+++	++++	+	+		+	+	+		+
30	++	+++		+		+		+		+
31	+++	++++		+				+		+
32	+++	++++		+			+	+		+

+ rare +++ assez abondant ++++ dominant

et Mésolite qui résulte du mélange des deux précédents en proportions diverses soit :



Ce sont essentiellement des minéraux associés aux roches volcaniques basiques, c'est leur mode habituel de gisement dans le Plateau Central Français (A. Lacroix, 1962).

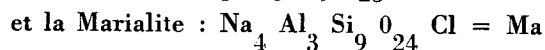
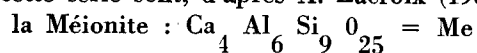
La Mésotype est fréquente comme élément microscopique d'origine secondaire des roches volcaniques à néphéline de Madagascar.

A. Lacroix (1922) en cite de nombreux gisements. La Scolécite a également été rencontrée à Madagascar, dans les basaltes et dans les schistes cristallins.

Ces minéraux peuvent donc avoir une origine locale et provenir du substratum de l'île.

La présence du Dipyre, qui a été rencontré dans cinq échantillons : n^{os} 8, 28, 29, 31 et 32 pose un problème un peu plus complexe, qui mérite d'être examiné en détail.

Le dipyre comme tous les minéraux du groupe des Wernerites a une composition chimique assez variable : les deux termes majeurs de cette série sont, d'après A. Lacroix (1962) :



La composition du Dipyre peut varier de :

	Me ₁ Ma ₂	à	Me ₁ Ma ₃
Si O ₂	55,85		57,85
Al O ₂ O ₃	23,73		22,35
Ca O	8,67		6,53
Na ₂ O	9,62		10,87
Cl	2,75		3,10
	100,62		100,70

D'après A. Lacroix, ces variations de la composition chimique sont, en majeure partie, dues aux inclusions que renferme le minéral.

A. Lacroix (1889) a consacré de nombreux travaux, dont sa thèse, à l'étude des roches à Wernerite, en particulier des schistes cristallins et des cipolins qui leur sont associés. C'est ainsi qu'il a montré la formation de dipyre dans les roches calcaires métamorphisées au contact des lherzolites et des ophites dans la chaîne des Pyrénées (A. LACROIX, 1962 — *Loc. cit.*, p. 214).

A Madagascar, les minéraux du groupe des Wernérites (plus particulièrement la Scapolite), se rencontrent comme éléments microscopiques des cornéennes calcaires au contact des filons de pegmatites (A. LACROIX, 1922 — *Loc. cit.*, p. 578 et suiv.). Il existe même des roches (wernérites) dont tous les éléments blancs sont formés d'une wernérite.

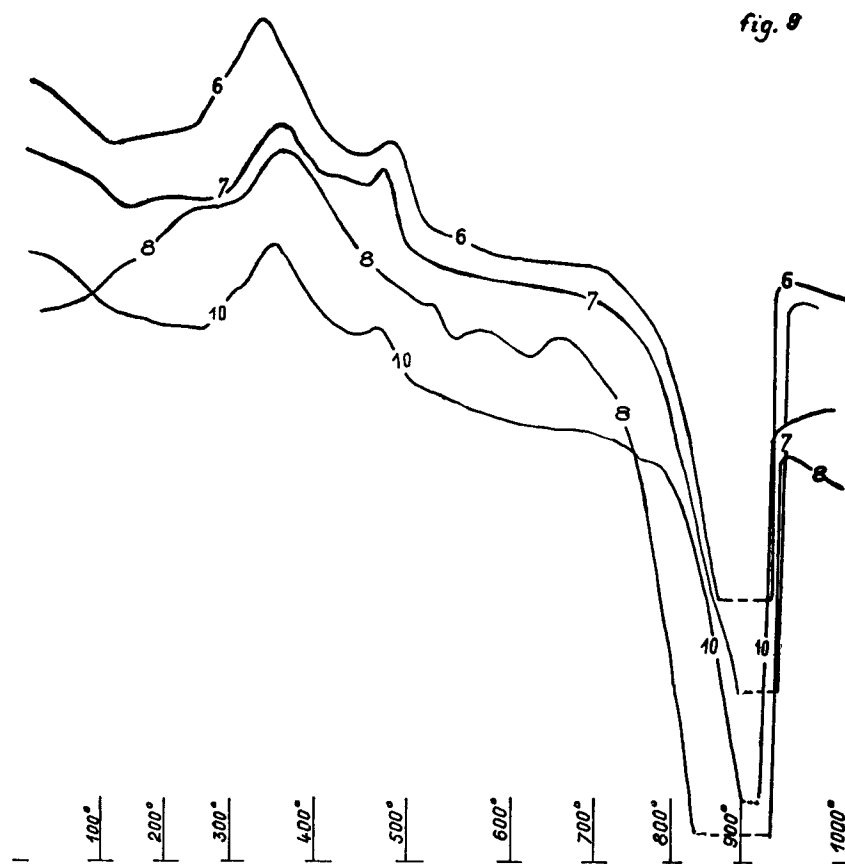
Cet exposé du mode de gisement des wernérites, permet de penser que lorsque la vie corallienne s'est installée sur le sommet

volcanique de l'île Europa, l'activité volcanique n'était pas encore totalement éteinte. Elle s'est manifestée à nouveau, peut-être de façon restreinte, mais cependant suffisante pour provoquer un métamorphisme de certaines couches calcaires et la formation de wernérite.

4. — ANALYSES THERMIQUES DIFFÉRENTIELLES

A. — SOL ET VASE ANCIENNE (voir fig. 9).

Les échantillons de sol n^{os} 6 et 7 ainsi que la formation sous-jacente de corail ancien n^o 8 et le prélèvement n^o 10, provenant de la même formation, se signalent par une importante inflexion exother-



Courbes d'analyses thermiques différentielles des sols : numéros 6 et 7, et des vases anciennes : numéros 8 et 10.

mique vers 350°-360° correspondant à des gels d'hydroxyde de fer probablement accompagnés de matière organique.

Un second crochet exothermique apparaît vers 450°, il est beaucoup moins développé que le précédent : il signale la présence de la Lépido-crocite.

Les crochets obtenus à des températures comprises entre 450° et 700° ne sont pas suffisamment nets pour permettre des déterminations minérales ou même pour permettre de contrôler celles qui ont été faites par diffraction X.

Enfin, les courbes s'achèvent par un énorme crochet endothermique dû à la combinaison des réactions Calcite-Aragonite qui se terminent vers 950°.

B. — DÉPOTS ACTUELS

Echantillons n^{os} 14, 15, 28, 29 (voir fig. 10)

Ces quatre échantillons sont caractérisés par le grand crochet endothermique dû à la présence des deux minéraux : calcite et aragonite, il débute vers 800° et s'achève vers 950°. Ce crochet est toujours extrêmement développé et la force électromotrice produite est telle, qu'en général, il ne peut s'inscrire entièrement sur l'enregistreur.

En outre de ce fait général, les particularités suivantes méritent d'être notées.

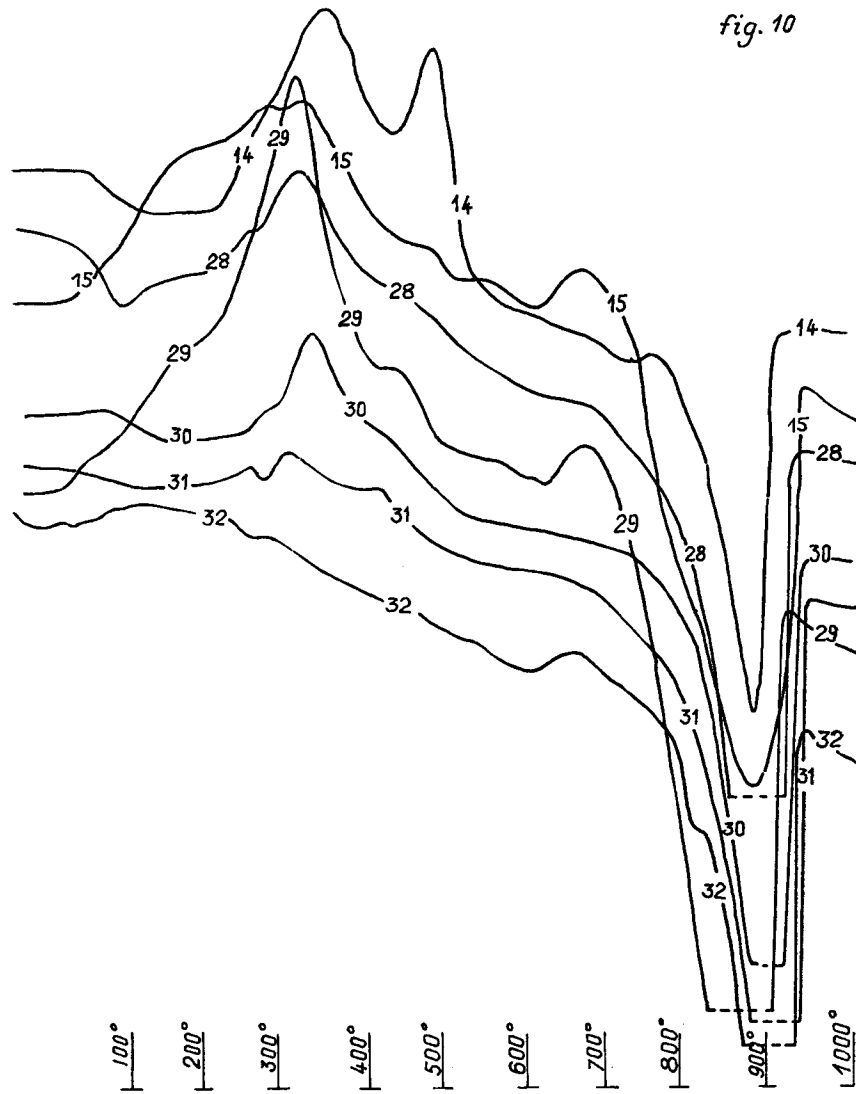
N^o 14 : Crochets exothermiques dus aux gels de matière organique et d'hydroxyde de fer (350°-360°) puis à la présence de lépidocrocite (460°).

N^o 28 : Disparition du crochet de la lépidocrocite.

N^{os} 15 et 29 : Crochet exothermique à 350° intensément développé dans l'échantillon 29, ce qui correspond à une élévation de la proportion d'hydroxyde de fer, puisque la teneur en matière organique, mise en évidence par les dosages d'N et C, n'a pas sensiblement varié.

Echantillons n^{os} 30, 31, 32.

Les analyses thermiques différentielles ont été exécutées sur les fractions fines de ces trois échantillons.



Courbes thermiques différentielles des dépôts actuels.

Les courbes enregistrées montrent toujours les énormes crochets endothermiques dus à la Calcite et l'Aragnite. Mais elles mettent en évidence un fait intéressant qui est la disparition progressive du crochet exothermique situé entre 300 et 400° : il est bien développé sur le n° 30, très atténué sur la courbe n° 31 et il a disparu sur la courbe n° 32.

Ceci met en évidence l'influence de la mangrove qui est génératrice des gels de matière humique et d'hydroxyde de fer que caractérisent les crochets exothermiques. Ils disparaissent totalement lorsqu'on passe à la sédimentation du lagon.

Tableau N° 4 Composition chimique

	Ech. N° 8	Ech. N° 14	Ech. N° 21	Ech. N° 30
H ₂ O -	0,69	1,97	5,12	1,95
H ₂ O +	7,19	14,13	0,27	11,94
	7,88	16,10	5,39	13,89
<u>Soluble dans HCl</u>				
SiO ₂	2,14	0,43	0,24	1,38
Al ₂ O ₃	0,03	0,10	0,07	0,03
Fe ₂ O ₃	0,19	0,35	0,40	0,19
CaO	46,73	39,88	51,13	43,30
MgO	1,05	0,13	0,06	1,23
CO ₂	37,85	32,51	40,22	35,36
	87,99	73,40	92,12	81,49
<u>Insoluble dans HCl</u>				
SiO ₂	0,68	3,23	0,41	0,71
Al ₂ O ₃	tr	0,13	0,10	tr
Fe ₂ O ₃	0,19	tr	0,11	0,80
Na ₂ O	1,88	6,73	1,14	3,04
K ₂ O	0,96	0,36	0,09	0,43
CaO		0,54	1,03	-
MgO		0,06	0,04	-
	3,71	11,25	2,92	4,98
	99,58	100,75	100,43	100,36

IV. — CHIMIE DES SEDIMENTS

I. — ANALYSES PONDERALES

Nous avons choisi d'analyser quatre types sédimentaires aussi différents que possible dans leur apparence et dans leur répartition dans l'île. Notre choix s'est arrêté sur :

N° 8 — Vase ancienne.

N° 14 — Vase calcaire grise de la mare à encorbellement du sud de l'île.

N° 21 — Sédiment du fond du lagon à l'extrémité nord.

N° 30 — Sédiment du fond du chenal, dans la partie aval de celui-ci.

Nous avons exécuté des analyses fractionnées, elles nous ont paru indispensables pour des sédiments dont la majeure partie est constituée par des carbonates (voir tableau 4).

Les résultats des analyses ne sont pas exactement comparables entre eux à cause des teneurs élevées en H_2O (—) (perte en eau à 105°) et H_2O (+) (perte en eau à 800°). Les écarts à prendre en considération doivent donc être très élevés pour être réellement significatifs.

L'échantillon le plus carbonaté est le n° 21 prélevé au nord du lagon, c'est la zone où il existe actuellement une vie corallienne active.

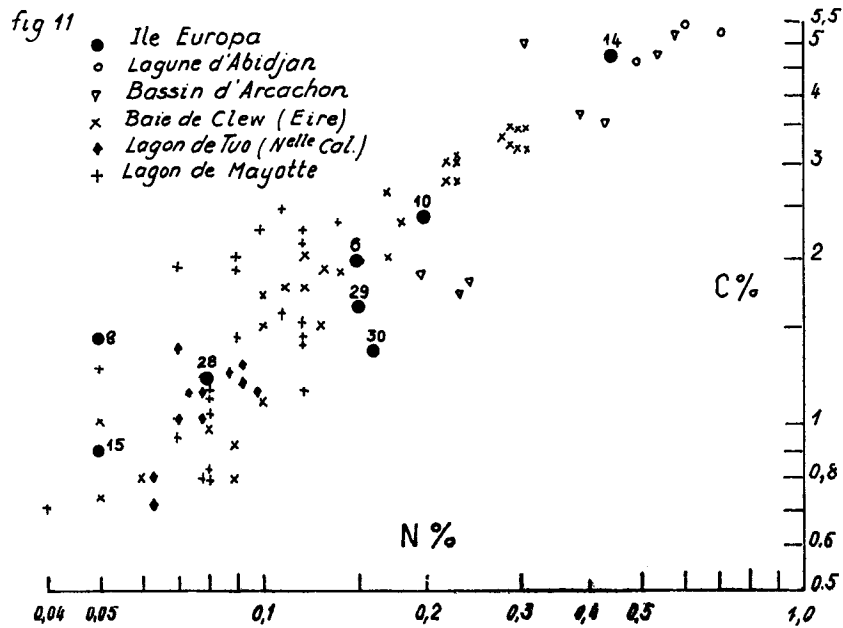
Les échantillons 8 et 30 ont des compositions chimiques comparables, ce qui confirme l'interdépendance si souvent constatée entre la vase ancienne et les vases actuelles notamment dans la mangrove.

Enfin, le n° 14 de la mare à encorbellement se signale par une teneur anormalement élevée en silice, qui est due à l'abondance des spicules de spongiaires mentionnée dans l'étude du résidu insoluble.

2. — TENEURS EN AZOTE TOTAL ET EN CARBONE

Les dosages d'Azote total ont été exécutés suivant la méthode classique du microkjeldahl, et les dosages de Carbone suivant la méthode d'Ann, également classique.

Les résultats des dosages sont groupés sur la fig. 11. Les analyses chimiques ont été exécutées par M^{lle} S. Bouillé que nous remercions de sa collaboration.



Teneurs en N total en fonction des teneurs en C dans les sédiments.

Discussion des résultats

Les teneurs les plus élevées en N et C sont celles de l'éch. 14, vase calcaire grise de la mare à encorbellement du sud de l'île ; elles sont voisines de celles des vases de la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) d'après J. Debysen.

L'échantillon n° 10, vase calcaire ancienne au sud de la Plaine centrale, a des teneurs voisines de celles du lagon de Mayotte (Archipel des Comores).

Les échantillons n° 6, sol du sud de l'île ; n° 29, sédiment du fond du chenal et n° 30, sédiment du fond du même chenal, en aval du 29 : ces trois prélèvements ont des teneurs en N à peu près identiques mais des teneurs en C décroissantes dans l'ordre de leur inscription.

L'échantillon n° 28 a des teneurs en N et C inférieures à celles des trois prélèvements précédents.

Enfin, les échantillons 8 et 15 ont les mêmes teneurs en N, mais le n° 15 qui est une vase calcaire blanche de la partie interne de la mangrove au sud de l'île est moins riche en carbone que le n° 8 qui est une vase ancienne. Il faut en outre noter, que le sol (éch. n° 6), qui surmonte la vase ancienne (n° 8), est beaucoup plus riche en azote et en carbone que cette dernière.

TABLEAU N° 5 — Rapports C/N

	C/N		C/N
Ech. n° 6	13,1	Ech. n° 15	17,8
— n° 8	27,0	— n° 28	15,0
— n° 10	12,0	— n° 29	17,6
— n° 14	10,5	— n° 30	14,6

L'examen des rapports exprimés dans ce tableau atténue les disparités signalées plus haut. On constate en effet, qu'en faisant abstraction du prélèvement n° 8, les rapports C/N sont compris entre 10,5 et 17,8 pour les sept autres échantillons.

L'écart des rapports est encore considérable, il montre, que s'il existe une certaine similitude entre les teneurs en N et C, des influences locales peuvent modifier profondément les pourcentages. Une preuve en est fournie par la comparaison de la vase ancienne n° 8 (prélevée sous le sol n° 6), et de la vase ancienne n° 10, prélevée en surface à 1 400 m à l'Est du point n° 8.

Dans la vase n° 8, le rapport C/N atteint 27,0, alors qu'il est réduit à 12,0 dans la vase n° 10. Les fluctuations que nous avons signalées sont certainement accompagnées de beaucoup d'autres qui mériteraient une étude détaillée que nous ne pouvions entreprendre dans ce « tour d'horizon » des problèmes posés par l'île Europa.



R E S U M E

Les roches incluses dans le corail ancien ne sont pas à dominance coralligène, elles sont formées de débris de gastéropodes ; l'abondance des minéraux existant dans les vacuoles suggère l'idée de la persistance, à cette époque, de pointements rocheux exondés ou immergés à faible profondeur.

L'étude des calcaires coralligènes met en évidence l'importance des phénomènes de dissolution et de recristallisation des carbonates (et peut-être de la silice hydratée) montrant les instabilités locales de la chimie du milieu sédimentaire.

Cette instabilité doit être liée aux variations du niveau marin car il suffit, en effet, d'une surélévation ou d'un affaissement de quelques mètres pour que les conditions d'équilibre chimique, liées à la pénétration des eaux pluviales, varient d'une manière considérable.

Les phénomènes karstiques qui affectent la plus grande partie de l'île sont liés à cette instabilité altimétrique. Les observations faites à l'échelle microscopique expliquent justement l'ampleur des phénomènes chimiques dans ce milieu instable.

Les renseignements fournis par l'analyse des sédiments grossiers peuvent être résumés comme suit :

Les foraminifères sont très abondants dans le sédiment n° 22 qui a été prélevé dans un herbier, la concentration de ces micro-organismes est due au ralentissement des courants à travers l'herbier et à la plus grande abondance de nourriture.

Les autres sédiments grossiers : numéros 21, 23, 24, 25, 26, 27 ont des compositions quasi identiques et la comparaison de la fraction grossière de leurs courbes cumulatives ne permet pas de les différencier ; par contre, les variations de leurs teneurs en fraction fine, reflète avec plus de fidélité les modalités locales de dépôt.

L'analyse granulométrique des échantillons 32, 31 et 30, de la partie sud-ouest du lagon, avait montré que l'échantillon 31, placé en position intermédiaire entre les échantillons 32 et 30, avait une courbe granulométrique cumulative très différente des deux autres, bien que la teneur en éléments $< 0,089$ mm soit identique pour les trois échantillons.

L'examen des résidus de tamisage a montré qu'il y a identité de composition dans les sédiments 30 et 32, mais que le n° 31 en différait par des teneurs beaucoup moins élevées en lamellibranches et gastéropodes.

Etant donné l'identité de fréquence des éléments fins, facilement déplaçables, dans les trois échantillons, on est conduit à admettre

que la carence du sédiment n° 31 en lamellibranches et en gastéropodes est due à une modification locale de la biocenose et non à une perturbation du régime de transport par les courants.

L'analyse des sédiments fins a mis en évidence les faits suivants :

Le sol (éch. 6 et 7) sur vase ancienne (éch. 8 et 10) ne diffère pas sensiblement de celle-ci.

Les dépôts actuels ont été comparés à la vase ancienne suivant la méthode de A. Rivière, ce qui a permis de montrer qu'il existe une grande similitude micro-granulométrique entre les deux formations ; le sédiment actuel présente une amélioration de la sélection granulométrique du sédiment ancien qui est d'un type « peu évolué ».

L'examen des résidus insolubles a montré la rareté des spicules de spongiaires dans le sol n°s 6 - 7.

L'absence de radiolaires, de diatomées et de silicoflagellés dans les vases anciennes, ce qui implique qu'à ce moment la sédimentation était plus rigoureusement calcaire qu'à l'époque actuelle ou encore que la silice des organismes anciens a été dissoute, mais cette dernière interprétation est peu vraisemblable car l'analyse diffractométrique ne permet pas d'en retrouver la trace.

Les analyses diffractométriques ont montré l'existence d'un certain nombre de minéraux accessoires qui accompagnent la Calcite et l'Aragonite toujours très prépondérante.

Parmi ceux-ci, le Dipyre, minéral du groupe des Wernerites, est formé au cours du métamorphisme du calcaire par une roche basique. La présence du Dipyre dans les sédiments de l'île Europa montre que lors de l'installation des colonies coralligènes sur le sommet du cône volcanique, l'activité éruptive n'était pas totalement éteinte et qu'elle s'est manifestée postérieurement à l'installation des coraux, peut-être seulement localement mais avec une intensité suffisante pour provoquer le métamorphisme du calcaire et la formation du Dipyre.

Les analyses thermiques différentielles ont précisé l'influence de la mangrove et des dépôts terrigènes dans l'abondance des gels humiques et d'hydroxydes de fer. Ils disparaissent dans les sédiments actuels du lagon.

Enfin, les analyses chimiques pondérales ont permis de fixer la composition des principaux types sédimentaires et de confirmer en la chiffrant, la prédominance de la sédimentation carbonatée.

Les dosages d'N et de C ont montré une grande dispersion des résultats. Il appert que des influences locales ont profondément modifié, non seulement les teneurs en N et C, mais leurs rapports réciproques.

LISTE DES OUVRAGES CITES

- BATTISTINI R. — 1965 — *Note préliminaire sur la morphologie de l'île Europa*. Madagascar, Rev. de Géogra., n° VI, pp. 37-59.
- BERTHOIS L., LE CALVEZ Y., GUILCHER A. — 1964 — *Influence des facteurs dynamiques sur la répartition des foraminifères dans le lagon de l'île Mayotte* (Comores). C.R.A.S., Paris, T. 258, pp. 1292-1294.
- CAYEUX L. — 1961 — *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires*. Paris, Imp. Nat., 1916, pl. XXXIII.
- LACROIX A. — 1889 — *Contribution à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à Wernerite*. Thèse n° 660, Fac. des Sc., Paris, 31 mai 1889.
- LACROIX A. — 1922 — *Minéralogie de Madagascar*. Tome 1, p. 592, Challamel, Ed. Paris.
- LACROIX A. — 1962 — *Minéralogie de la France*. Tome 2, p. 267, nouveau tirage.
- MUNIER P. et RIVIERE A. — 1948 — *Contribution à l'étude des argiles utilisées en céramique*. Fasc. II, Inst. Céram. Française, Sèvres, 1948.
- RIVIERE A. — 1952 — *Sur la représentation graphique de la granulométrie des sédiments meubles*. Bull. Soc. Géol. Fr., 6^e série, T. II, pp. 145-167.
- RIVIERE A. — 1954 — *Généralisation de la méthode des faciès granulométriques — Evaluation de la dispersion aléatoire*. C.R.A.S., Paris, T. 238, pp. 2326-2328.
- TREGOUBOFF G. et ROSE M. — 1957 — *Manuel de Planctonologie Méditerranéenne*. Publ. du C.N.R.S., Paris 1957.
- URBAIN P. — 1954 — *Sur un microélectrodialyseur destiné à l'extraction des ions absorbés* (application aux roches argileuses). Ann. d'Hydrologie, 1954, pp. 1 à 8.

SUMMARY

Europa is a low circular island of coralline origin, about 6 km in diameter, situated in the southern part of the Mozambique Channel. The zonation of the island comprises an external belt in primary coral limestone, from 2 to 4 meters above sea-level, a central plain, the result of the silting up of the original lagoon by lime deposits, and lastly a large mangrove in the present lagoon which has its issue towards the North (cf. « Note préliminaire sur la morphologie de l'île Europa » by R. BATTISTINI, in « Madagascar, Revue de Géographie », n° 6).

About 50 kinds of sediments have been sampled from various parts of the island, chiefly including present beach sediments, ancient and present lime deposits, present beach-rock, as well as constituents of the primitive structure of the island, coral limestones, etc.. Those are the samples that are analysed in detail in this study. The presence of minerals of volcanic origin in some of the sediments seems to imply that coral colonies settled on the summit of a submarine volcanic cone and that volcanic activity went on after the colonies had settled.