

BATHYMÉTRIE ET SÉDIMENTOLOGIE DE LA BAIE D'AMBARO (NORD-OUEST DE MADAGASCAR)

Contribution à l'étude d'une baie eutrophique tropicale *

J. DANIEL, J. DUPONT, C. JOUANNIC

Section Géologie du Centre ORSTOM de Nosy Bé

RÉSUMÉ

Cette étude a permis d'établir une carte bathymétrique du plateau continental à l'est de Nosy Bé (côte nord-ouest de Madagascar). Les caractères morphologiques observés sont reliés d'une part à la transgression flandrienne, et d'autre part à des variations du niveau marin au cours du Plio-Quaternaire.

La carte sédimentologique, établie à partir de l'étude de 250 prélèvements superficiels montre trois zones de sédimentation : une zone interne vaseuse, une zone intermédiaire sableuse, et une zone externe récifale. La sédimentation actuelle représentée surtout par des vases terrigènes riches en matière organique, ne parvient pas à recouvrir complètement les dépôts sableux transgressifs attribués au Flandrien qui constituent ainsi des dépôts reliques, comparables à ceux que l'on rencontre sur de nombreux plateaux continentaux.

ABSTRACT

A bathymetric chart of the Ambaro bay is presented. We propose that the morphological features of the bay are due to the flandrian transgression and to prior eustatic changes of sea-level in plio-quaternary time.

A sediment chart established on the basis of 250 superficial samples shows three sedimentary zones : the internal zone, which mainly consists of very fine sediments ; the intermediate zone, which mainly consists of sandy sediments and the external zone, which is essentially made up of coral sands. The recent sediments which are for the main part very fine sediments cover only a small part of the sandy transgressive deposits of Flandrian age. The latter form relict deposits similar to those found on many present-day continental shelves.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Studie hat es erlaubt, eine Tiefenmessungskarte des Kontinentalschelfs östlich von Nosy Bé (an der Nord-Westküste Madagaskars) anzufertigen. Die beobachteten morphologischen Merkmale sind einerseits verbunden mit der flandrinischen Transgression, andererseits mit den Veränderungen des Meeresspiegels während des Plio-Quartärs.

Die sedimentologische Karte, die nach der Untersuchung von 250 Oberflächenproben angefertigt wurde, zeigt 3 Sedimentationszonen : eine innere schlammige Zone, eine sandige Zwischenzone und eine äussere Riffzone. Die gegenwärtige Sedimentation, vertreten vor allem durch erdigen Schlamm, der reich an organischen Stoffen ist, reicht nicht aus, um die sandigen Transgressionsablagerungen zu bedecken, die man der flandrinischen Zeit zuschreibt, sie bilden somit Restablagerungen vergleichbar mit solchen, die man auf vielen Kontinentalschelfs antrifft.

* La présentation de la série d'articles concernant la baie d'Ambaro a été faite par S. FRONTIER dans les *Cahiers ORSTOM série océanographie*, vol. IX, n° 2, 1971.

РЕЗЮМЕ

Настоящее исследование позволило составить батиметрическую карту шельфа на востоке от Носси-Бе (северозападный берег Мадагаскара). Наблюдаемые морфологические признаки связаны, с одной стороны с фландрийской трансгрессией, с другой — с колебаниями уровня моря в течение плио-четвертичного периода.

Карта седиментов, составленная на основании

изучения 250-ти поверхностных проб, показывает 3 зоны осадконакопления: внутренняя илистая, промежуточная песчаная и внешняя рифовая. Современное осадконакопление, представленное главным образом терригенными илами обогащенными органическим веществом, не покрывает полностью песчаные трансгрессивные отложения, образование которых приписывается фландрийскому и которые следовательно представляют собой остаточные отложения, подобные тем которые встречаются на многих шельфах.

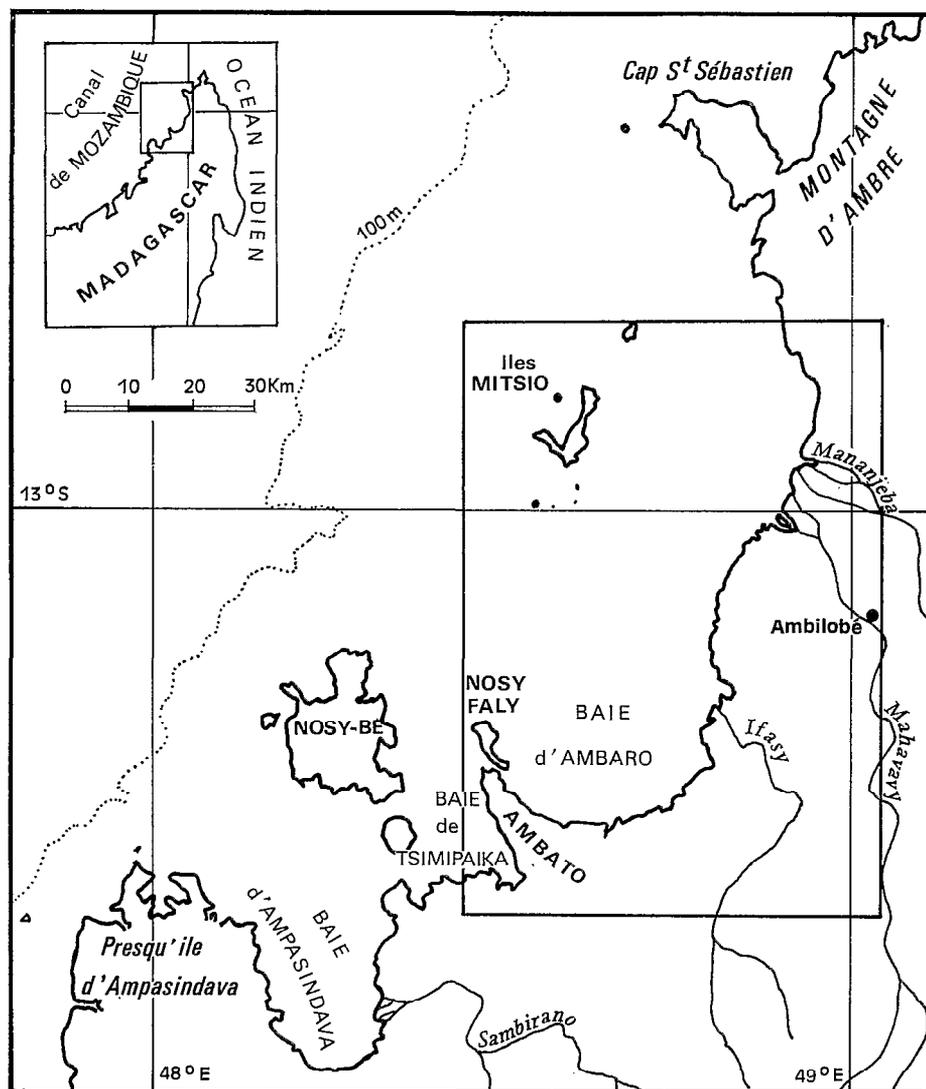


FIG. 1. — Côte Nord-Ouest de Madagascar. Localisation de l'étude.

INTRODUCTION

La baie d'Ambaro proprement dite se situe sur la côte nord-ouest de Madagascar vers 13° 20' de latitude Sud et 48° 40' de longitude Est. Cette étude porte sur une région plus importante qui s'étend vers le nord jusqu'à l'archipel des Mitsio (fig. 1).

En effet, au moment où a été entreprise l'étude de la baie d'Ambaro par les chercheurs des diverses disciplines océanographiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé, il a semblé préférable de choisir une zone où seraient représentés les principaux types de sédiments rencontrés sur le plateau continental.

Le travail à la mer a été effectué à bord des navires océanographiques Vauban et Ambariaka. Pour la bathymétrie, les 2 écho-sondeurs utilisés émettaient sur une fréquence de 30 kHz. Les sédiments ont été prélevés à la benne (bennes « Orange peel » et « Smith et MacIntyre » modifiée) ou au carottier : carottier à gravité de 2 m et carottier type Kullenberg* de 5 m.

Les travaux géologiques importants concernant le nord de Madagascar sont ceux de BESAIRIE (1936-1965), de SAINT-OURS (1960) et BATTISTINI (1959 à 1970). Dans le domaine marin on peut citer les études sur les récifs coralliens de GUILCHER (1956-1958-1965), les travaux de BERTHOIS et CROSNIER (1965-1966) et HERVIEU (1968) sur les sédiments.

L'île de Madagascar est constituée schématiquement par un socle ancien plissé, sur lequel se sont déposés, sur le bord occidental des formations sédimentaires allant du Permo-Trias (Karoo) au Tertiaire supérieur et Quaternaire. Ces terrains ont, par la suite, été affectés par des intrusions éruptives et des phénomènes volcaniques.

Ainsi, la région étudiée (fig. 3) est limitée par les formations volcaniques qui constituent la Montagne d'Ambre, Nosy Mitsio et Nosy Faly, et par la « carapace sablo-argileuse » (BESAIRIE 1965) attribuée au Plio-Quaternaire, qui forme la presqu'île d'Ambaro et la grande plaine d'Ambilobé. Cette plaine alluviale s'est formée en bordure des grès de l'Isalo (Trias supérieur - Jurassique inférieur et moyen) par les apports des fleuves Ifasy et Mahavavy issus du massif ancien. La « carapace sablo-argileuse » est en partie recouverte par des alluvions deltaïques qui ont été étudiées particulièrement par BERTHOIS et GUILCHER (1956).

* Carottier construit à la Station de géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer (PAUTOT, 1969).

BATHYMÉTRIE

La carte marine française n° 5404 (SH) donnait un nombre de sondes important ; nos profils d'écho-sondage ont été tracés perpendiculairement aux grandes lignes de relief. La localisation des profils les plus caractéristiques est donnée sur la figure 2.

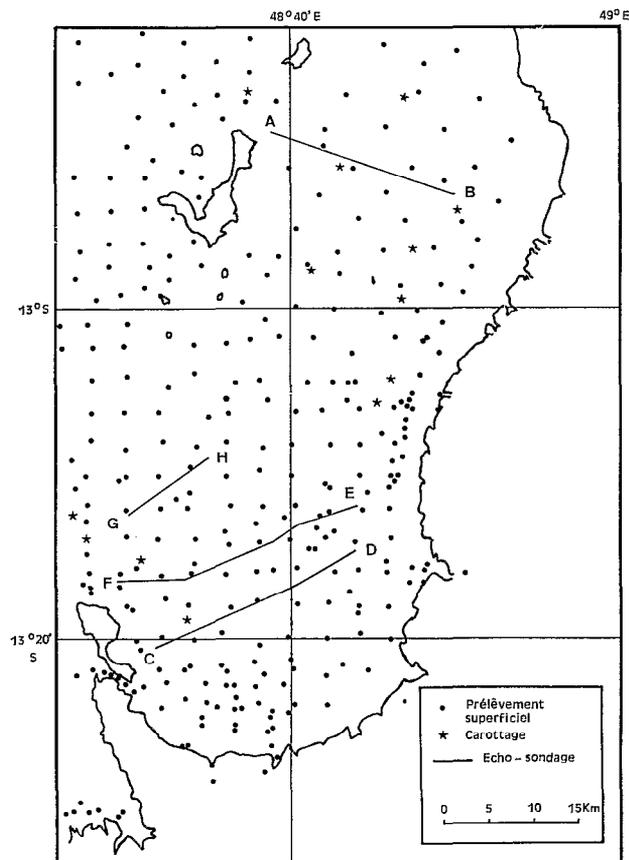


FIG. 2. — Localisation des profils et des prélèvements.

La carte bathymétrique (carte hors texte I) a été dressée en courbes de niveau équidistantes de 10 m, à l'échelle de 1/100 330 (échelle de la carte 5404 SH). Bien que les fonds ne soient pas très accidentés, surtout par rapport à la partie externe du plateau continental (JOUANNIC, 1972), il faut noter la présence d'une dépression allongée, orientée SE-NW, de plus de 50 m de profondeur.

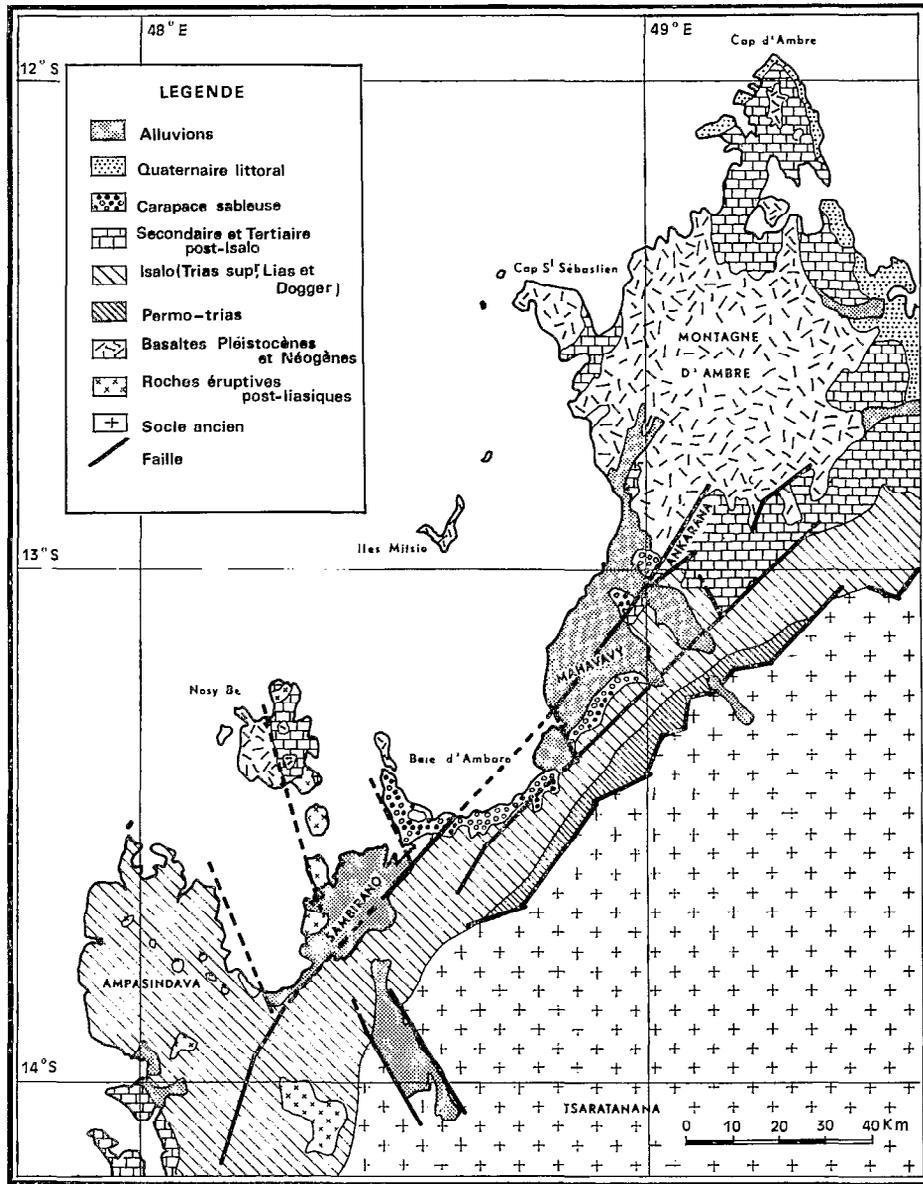


FIG. 3. — Croquis géologique du Nord-Ouest de Madagascar (d'après de Saint-Ours et Bésairie).

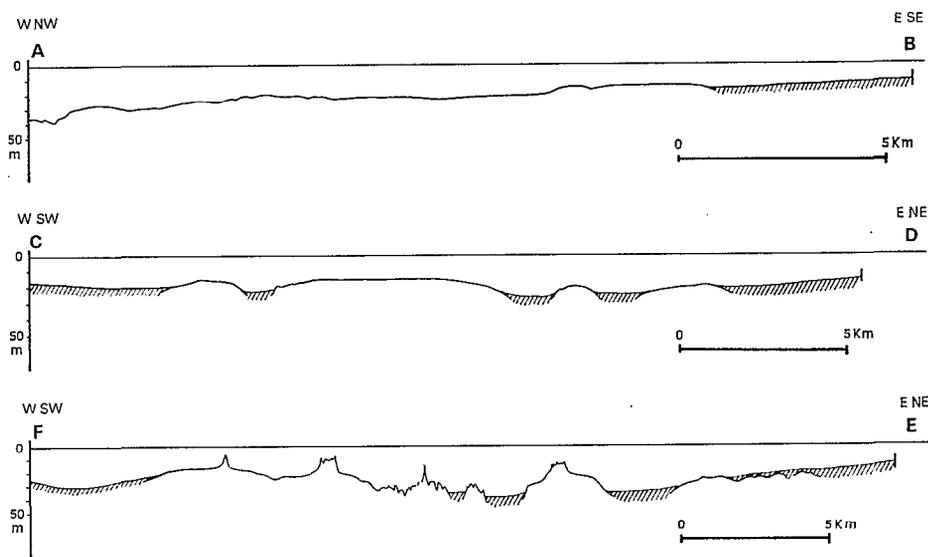


FIG. 4. — Profils bathymétriques. Les hachures indiquent une forte pénétration des ondes ultra-sonores (sédiments vaseux).

A titre d'exemples nous pouvons décrire les profils suivants (fig. 4 et 5).

— profil AB

Ce profil, situé au nord, à la latitude de Nosy Mitsio, montre une pente moyenne du plateau continental de $1^{\circ}/_{00}$ (30 m de dénivelée pour une trentaine de km de longueur). On remarque cependant que cette pente n'est pas régulière et que de modestes irrégularités apparaissent dans le relief. L'étude sédimentologique montre qu'il s'agit d'irrégularités dues à des changements dans la nature des sédiments.

— profil CD

Sur ce profil on retrouve d'une manière plus accusée les irrégularités des reliefs observées au Nord. Grâce à la pénétration des ondes ultra-sonores on peut distinguer des formations ondulées qui plongent sous des formations plus régulières et qui paraissent donc tendre à égaliser un relief préexistant.

— profil FE

Les reliefs deviennent plus accentués et sont couronnés par des récifs coralliens. Ils forment des dénivellements brutaux d'une dizaine de mètres, mettant

ainsi les récifs à moins de 5 m de la surface dans plusieurs cas. En raison de l'importance des dépôts organogènes et des encroûtements calcaires il n'a pas été possible de savoir si leur nature est uniquement récifale ou s'il s'agit d'irrégularités du substratum que la nature volcanique de la région pourrait expliquer.

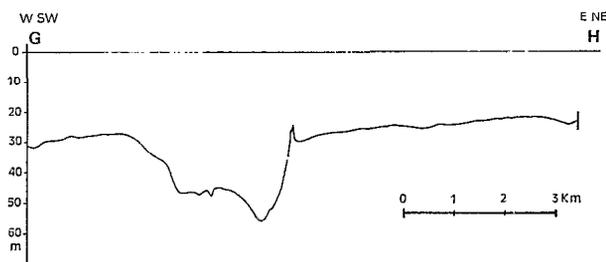


FIG. 5. — Détail d'un profil bathymétrique sur la dépression de la baie d'Ambaro.

— profil GH

Il s'agit d'une coupe de la dépression centrale dans sa partie la plus profonde (-56 m). On observe une dissymétrie entre les deux versants. Cette dissymétrie est en rapport avec la sédimentation qui est surtout active sur le versant méridional.

Interprétation

Deux traits marquants sont à retenir : l'existence de structures d'ennoyage et la présence d'une dépression remarquable dans un paysage par ailleurs monotone.

Pour les structures d'ennoyage, la morphologie seule suggère l'existence de deux types de sédimentations pouvant se succéder soit latéralement, soit verticalement. L'étude sédimentologique permettra de préciser les différences entre les deux types de fonds. Toutefois, les formes arrondies de certains « bancs » impliquent des modes de dépôt ou d'érosion particuliers alors que par ailleurs on rencontre des fonds beaucoup plus réguliers.

Quant à la dépression de la baie d'Ambaro il faut d'abord remarquer que, si elle apparaît assez nettement sur la carte bathymétrique, il ne s'agit cependant que d'un accident très ample et qu'il n'y a pas de discontinuité très marquée dans la topographie du plateau continental. On peut cependant tenter d'expliquer sa présence par deux hypothèses :

— Il pourrait s'agir d'une ancienne vallée fluviale creusée à l'air libre lors d'une régression marine et partiellement comblée par des sédiments. Cette vallée aurait été empruntée par l'Ifasy, ou l'ensemble Ifasy-Mahavavy (le cours de la Mahavavy a subi, même à des époques récentes, d'importants déplacements).

Il est intéressant de noter que la direction nord-ouest de la dépression n'exclut pas une communication, d'une part avec la « fosse » du nord de Nosy Bé qui atteint 95 m de profondeur, et d'autre part avec la passe séparant le Banc du Grand Serpent du Banc Vert. (JOUANNIC, 1972). Sans qu'il soit possible de définir un tracé précis, on pourrait donc suivre cette vallée fluviale jusqu'au rebord continental, ce qui impliquerait une variation relative du niveau marin de l'ordre de 100 m.

— Selon de SAINT-OURS (1960), la région allant de la presqu'île d'Ampasindava à la presqu'île d'Ambato fait partie d'une importante zone de faiblesse tectonique, orientée SE-NW à SSE-NNW. Il n'est donc pas impossible que la zone dépressionnaire décrite soit en relation avec cette zone d'effondrement, étant donnée sa direction générale SE-NW. De plus, cette direction se retrouve également dans les dépressions au voisinage des îles Mitsio.

Cette hypothèse est compatible avec la précédente, le tracé des fleuves sur l'actuel plateau continental ayant pu être déterminé par la tectonique.

SÉDIMENTOLOGIE

I. Répartition géographique des sédiments

La carte sédimentologique (carte hors texte II) a été obtenue à partir de 250 prélèvements (en moyenne un prélèvement tous les 2 milles) (fig. 2). Les critères retenus pour la distinction des faciès ont été la granulométrie et la teneur en carbonates des sédiments. Il est apparu en effet que l'on pouvait distinguer 2 types de sédimentation différents :

— sédimentation terrigène : la taille des éléments est très variable, les sédiments allant des argiles aux sables grossiers. Les mesures réalisées n'ont pas mis en évidence de carbonates détritiques.

— sédimentation organogène : il s'agit essentiellement de sédiments calcaires, le plus souvent grossiers.

La granulométrie des sédiments a été définie par leur teneur en éléments de taille inférieure à 40 μ (fraction fine). La limite de 40 μ correspond à la taille du dernier tamis de notre colonne. La teneur en carbonates a été mesurée au calcimètre Bernard avec une précision d'environ 5 %. Sur un diagramme (fig. 6) on a porté en abscisses les teneurs en fraction fine et en ordonnées les teneurs en carbonates. Compte tenu de la répartition des points sur le diagramme, nous avons réparti les sédiments en 3 classes granulométriques :

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| — formations vaseuses | — plus de 70 % de fraction fine |
| — formations vaso-sableuses | — 30 à 70 % de fraction fine |
| — formations sableuses | — moins de 30 % de fraction fine. |

Etant donné leur caractère particulier on a classé à part, pour la cartographie, les récifs proprement dits.

Les analyses granulométriques ont montré que, dans le cas présent, la teneur en fraction fine des sédiments correspondait effectivement à une donnée de taille. On a pu, par exemple, établir une relation entre les valeurs des médianes et la teneur en fraction fine.

Pour les teneurs en carbonates, on a également tenu compte de la répartition des points sur le diagramme et on a adopté pour les sables quatre qualificatifs :

- quartzeux de 0 à 10 % de carbonates ;
- quartzeux calcaire de 10 à 40 % de carbonates ;
- calcaire quartzeux de 40 à 70 % de carbonates ;
- calcaire de 70 à 100 % de carbonates.

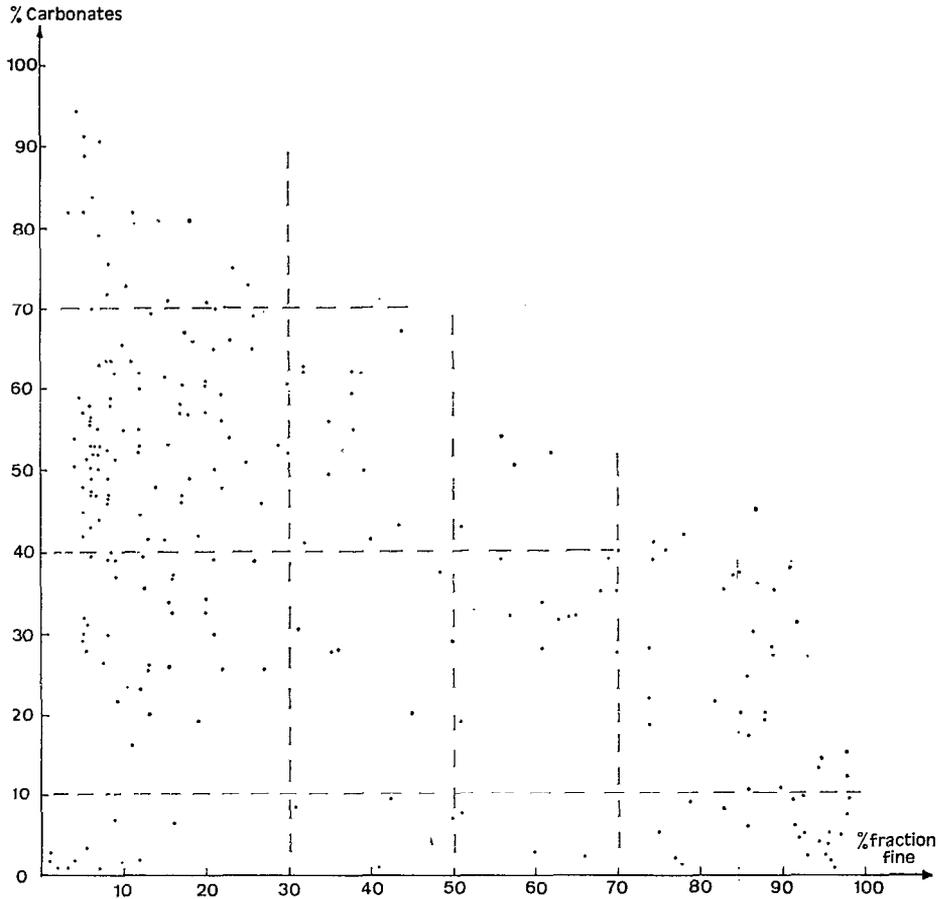


FIG. 6. — Diagramme teneurs en carbonates - teneurs en fraction fine.

Les teneurs en carbonates étant plus faibles dans les vases et les sédiments vaso-sableux nous n'avons utilisé que les qualificatifs de terrigène et calcaire suivant que la teneur en carbonates est inférieure ou non à 10 %.

Formations vaseuses et vaso-sableuses

Sur la carte, les vases terrigènes se répartissent en 2 zones. Dans la région nord-est, tout d'abord, elles occupent une surface importante à partir de l'embouchure du fleuve Mahavavy, s'étendant surtout vers le nord ; au sud, elles s'interrompent au niveau du front du delta de la Mahavavy et ne réapparaissent que dans la partie est de la baie d'Ambaro, face à

l'embouchure de l'Ifasy, où elles forment la seconde zone importante.

C'est également dans cette partie de la baie d'Ambaro que les vases sableuses terrigènes ont surtout été mises en évidence, faisant transition entre les vases et les sables littoraux. Au nord-est, sans doute à cause d'une densité de prélèvements moins importante, elles n'ont pas été trouvées et ne figurent donc pas sur la carte, bien qu'elles existent vraisemblablement.

Les vases calcaires ont été rencontrées en trois endroits. La zone la plus importante couvre la partie ouest de la baie d'Ambaro et entoure l'île de Nosy Faly. Dans ce cas, la teneur moyenne en carbonates est de 30 % ; par ailleurs, alors que les zones vaseuses

terrigenes étaient liées à la présence des fleuves Mahavavy et Ifasy, il n'existe pas actuellement, dans cette partie de la baie d'Ambaro, de fleuve de cette importance.

Dans le nord-est, on voit également se développer une zone de vase calcaire au voisinage de la vase terrigène. Enfin, on trouve à l'ouest de Nosy Mitsio une petite étendue vaseuse, où la teneur en carbonates est particulièrement élevée et peut atteindre 90 %.

De même que les sables vaseux terrigènes faisaient transition entre les vases et les sables dans l'est de la baie d'Ambaro, les vases sableuses calcaires, se rencontrent en bordure des zones vaseuses entre celles-ci et les sables quartzeux calcaires. Elles sont cependant bien mieux représentées, particulièrement au nord-est, autour de Nosy Lava. En baie d'Ambaro, elles forment une digitation assez importante liée à la topographie : elles occupent, en effet, une bonne partie de la dépression centrale.

Formations sableuses

Les sables quartzeux ne se rencontrent que sur le littoral où ils forment une bande continue entre la pointe sud de Nosy Faly et la pointe Andiako, où ils disparaissent au profit des vases.

Les sables quartzeux calcaires et calcaires quartzeux occupent la partie centrale du secteur, les derniers étant d'ailleurs les plus abondants. En effet, les sables quartzeux calcaires ne constituent que quelques taches éparses ; il faut toutefois noter qu'ils ne se rencontrent pas exclusivement près de la côte au voisinage des sables quartzeux, mais peuvent être assez éloignés du littoral, comme au sud et au nord-est des îles Mitsio par exemple ; de plus, ils correspondent le plus souvent à des reliefs, comme les deux petits bancs sableux qui émergent des formations vaseuses de l'est de la baie d'Ambaro, ainsi qu'on l'a constaté par les échosondages.

Le reste de la partie centrale est occupé par les sables calcaires quartzeux, qui d'ailleurs, dans la région, occupent la plus grande partie du plateau continental.

Les sables calcaires ne se rencontrent que dans les environs des îles Mitsio et sur la bordure est de Nosy Faly, c'est-à-dire là où les récifs coralliens sont les plus développés.

Formations récifales

On a cartographié essentiellement les récifs coralliens proprement dits. Ces récifs sont bien développés

dans la région nord-ouest de Madagascar, mais dans le secteur qui nous intéresse ils ont beaucoup moins d'importance que sur la partie externe du plateau continental. Ils existent cependant sous deux formes : les récifs frangeants, bien développés autour des îles Mitsio et de Nosy Faly, et des massifs isolés de dimensions modestes comme ceux de la baie d'Ambaro, ou un peu plus importants tels que le banc de la Dives.

Dans le secteur étudié le trait le plus marquant de la sédimentation est la présence de zones vaseuses périllitorales, discontinues séparant les formations sableuses : des sables terrigènes sur le littoral et des sables à faciès mixte terrigène-organogène sur la partie externe du plateau continental.

L'extension des zones vaseuses reste relativement faible compte tenu de la largeur du plateau continental qui atteint 60 km.

II. *Nature des sédiments*

Formations vaseuses

1° *Vases terrigènes.* Bien que la teneur en fraction fine puisse descendre jusqu'à 70 %, on constate qu'elle est, le plus souvent, supérieure à 90 %. Il s'agit d'un sédiment gris foncé en général assez fluide.

La fraction grossière, peu abondante donc, est constituée de débris coquilliers, de Ptéropodes et de débris ligneux sur lesquels sont souvent agglutinés de fines paillettes de micas. On y trouve également des Foraminifères de très petite taille et des grains de quartz très fins et anguleux.

La fraction fine se compose essentiellement d'éléments argileux (de taille inférieure à 2μ) parmi lesquels la kaolinite domine ; on y trouve aussi de l'illite généralement altérée mais la montmorillonite est plus rarement présente. L'analyse aux rayons X révèle également la présence de feldspaths et de quartz

L'analyse granulométrique totale réalisée au Laboratoire de Pédologie de l'ORSTOM à Tananarive permet de construire des histogrammes de fréquences pour les cinq classes de particules définies par les pédologues :

- argiles
particules de taille inférieure à 2μ ;
- limons fins
particules de taille comprise entre 2 et 20μ ;
- limons grossiers
particules de taille comprise entre 20 et 50μ ;

- sables fins
particules de taille comprise entre 50 et 200 μ ;
- sables grossiers
particules de taille supérieure à 200 μ .

Les histogrammes se caractérisent pour les vases terrigènes par une diminution régulière des fréquences des argiles aux sables (fig. 7).

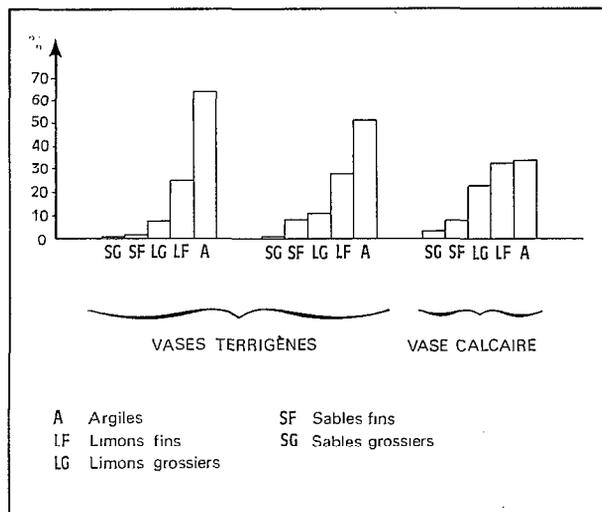


FIG. 7. — Comparaison entre des histogrammes de vases terrigènes et calcaire.

Les teneurs en fer total de ces vases sont de l'ordre de 4 à 5 % et leur teneur en matière organique de 2,5 à 3,5 %.

Ces vases sont pauvres en faune macrobenthique, ce qui s'explique, selon R. PLANTE (1971), par des facteurs abiotiques : forte turbidité de l'eau, fortes baisses de salinité, diminution de la teneur en oxygène dissous au voisinage du fond durant les périodes de fortes pluies.

2° *Vases sableuses terrigènes*. Ce terme regroupe des sédiments dont la teneur en fraction fine varie de 70 à 40 %. Les échantillons présentent le plus souvent un aspect vaseux au sens commun du terme.

Les constituants les plus abondants de la fraction grossière sont les micas (biotite et muscovite), les débris végétaux, le quartz et des coquilles de Gastéropodes (Architectonicidae). De plus on y trouve des Ostracodes et des Foraminifères de petite taille. L'analyse granulométrique montre que cette fraction

grossière est un sablon très bien classé dont la médiane est d'environ 100 μ .

La fraction fine contient des éléments argileux et des grains de quartz extrêmement fins, mais visibles à la loupe binoculaire.

Les teneurs en fer total et en matière organique diminuent par rapport aux sédiments précédents et sont respectivement de l'ordre de 3 % et 2 %.

3° *Vases calcaires*. Ces vases sont ainsi nommées par opposition aux vases terrigènes, mais la teneur en carbonates n'atteint qu'exceptionnellement des valeurs élevées (90 % dans la baie de Maribé à l'ouest de Nosy Bé). Elles se présentent, en général, sous le même aspect que les précédentes avec toutefois plus d'organismes visibles.

En effet, la fraction grossière est surtout constituée de débris coquilliers avec, en plus, des Ostracodes, des petits Foraminifères, des Ptéropodes et des débris d'Echinodermes. On y trouve également du quartz et des débris végétaux sur lesquels sont agglutinés des micas.

L'étude aux rayons X de quelques échantillons montre qu'en plus de la kaolinite et de l'illite, la montmorillonite est pratiquement toujours présente. D'après CHAMLEY (1969), cette montmorillonite serait due à la transformation en milieu marin des cendres volcaniques.

Les histogrammes de fréquences construits à la suite de l'analyse granulométrique totale montrent que, pour une teneur en fraction fine comparable, ces vases calcaires n'ont pas tout à fait les mêmes caractères granulométriques que les vases terrigènes. On constate, en effet, (fig. 7) que les argiles ne dominent plus aussi nettement et que les sables grossiers, tout en restant peu abondants, sont présents en quantité non négligeable.

Les teneurs en fer (3 %) et en matière organique (2 %) y sont également plus faibles que dans les vases terrigènes.

4° *Vases sableuses calcaires*. Cette dénomination s'applique à des sédiments divers, les paramètres choisis pour les définitions pouvant varier dans de grandes proportions (10 à 60 % de carbonates - 40 à 70 % de fraction fine). Les déterminations de teneurs en fraction fine faites sur le sédiment brut et sur le sédiment décalcifié montrent que l'on peut cependant les grouper en deux catégories :

— certains échantillons témoignent de l'enrichissement en organismes de vases terrigènes. La teneur en

fraction fine du sédiment décalcifié est en effet alors de l'ordre de 90 %. La fraction grossière est dans ce cas constituée surtout de débris coquilliers, de Foraminifères benthiques de petite taille, de Ptéropodes. Le quartz existe mais extrêmement fin et anguleux.

— d'autres échantillons, par contre, renferment, en plus des constituants organogènes et terrigènes fins, des éléments terrigènes de taille supérieure à 40 μ , en nombre suffisant pour que le sédiment même décalcifié, reste toujours dans la catégorie des vases sableuses. Les teneurs en fraction fine de l'échantillon décalcifié ne sont plus que de 40 à 60 %. L'observation à la loupe binoculaire révèle alors, dans la fraction grossière, la présence de grains de quartz de tailles variables mais en moyenne supérieures à celles des grains rencontrés précédemment (les médianes peuvent passer de 0,1 mm à 0,35 mm).

Cette catégorie de sédiments s'apparente aux sables du plateau. L'hétérogénéité et l'hétérométrie des sédiments suggèrent l'existence de mélanges sédimentaires.

A titre d'exemple, on peut comparer les courbes granulométriques (fig. 8) obtenues sur les fractions

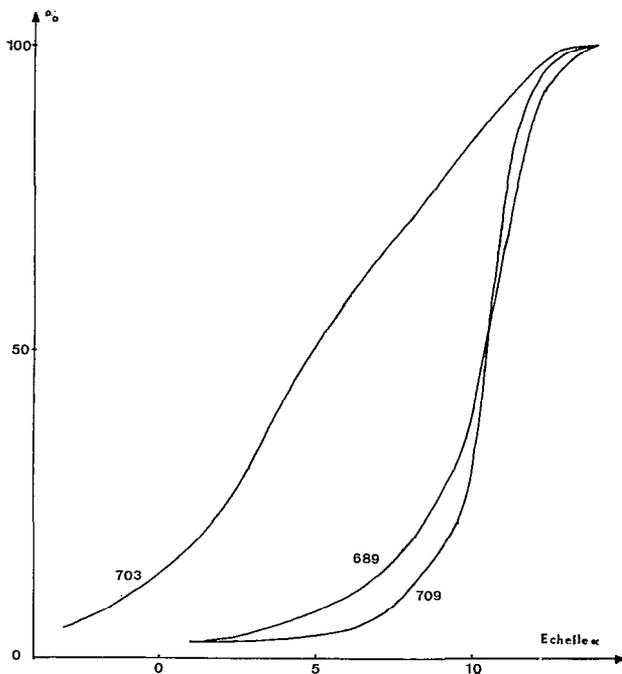


FIG. 8. — Courbes cumulatives des fractions grossières de 3 échantillons de vases sableuses.

grossières de 3 échantillons dont les caractéristiques sont les suivantes :

N° de l'échantillon	Carbonates (%)	Fraction fine % échantillon brut	Fraction fine % échantillon décalcifié
709	7	50	
689	53	62	95
703	28	61	62

La courbe granulométrique du n° 689 (vase sableuse calcaire) s'apparente à celle du n° 709 (vase sableuse terrigène). De plus la teneur en fraction fine (95 %) de l'échantillon décalcifié montre que dans ce cas (n° 689) la quasi-totalité de la fraction grossière est calcaire. Par contre, pour le n° 703 une bonne partie de la fraction grossière est terrigène.

Formations sableuses

1° *Sables essentiellement quartzeux*. Ces sables, prélevés par faible profondeur ou sur le littoral, ou encore dans les lits des fleuves, peuvent être considérés comme entièrement terrigènes, la zone littorale étant très pauvre en organismes marins, tout au plus représentés par quelques Lamellibranches et Gastéropodes.

Ces sables sont essentiellement quartzeux et l'usure des grains de quartz est souvent faible. Cette faible usure peut s'expliquer par le transport en suspension des particules, lors des crues des fleuves qui sont violentes.

On rencontre également quelques micas, biotite et muscovite, mais toutefois en quantité nettement moins importante que dans les vases sableuses.

Parmi les minéraux lourds, la hornblende joue un rôle prépondérant dans tous les sédiments étudiés. Cependant les analyses montrent qu'il peut exister des variations dans les apports des différents cours d'eau. Ainsi, les sédiments de la Mananjeba contiennent un pourcentage d'épidote non négligeable (20 à 30 % des minéraux lourds) alors que ce minéral est simplement représenté (1 à 5 %) dans les sédiments de la Mahavavy et de l'Ifasy.

Les sédiments sont, en général, bien classés comme en témoignent les courbes granulométriques (fig. 9), mais les tailles des éléments sont très variables. Les valeurs des médianes varient de 500 μ environ à 200 μ . En fait, on rencontre même des sédiments très fins

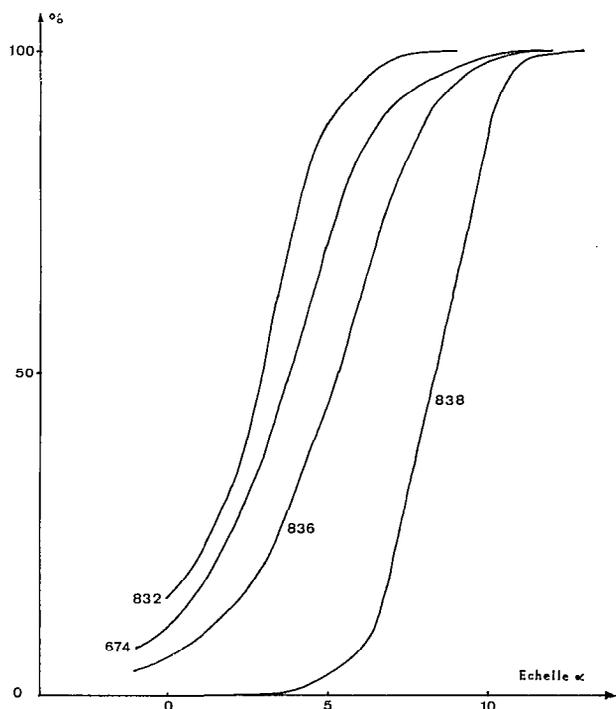


FIG. 9. — Courbes cumulatives des fractions grossières de 4 échantillons de sables quartzeux.

dans certaines zones du littoral, mais il s'agit de variations très locales. Plus vers l'intérieur, les zones de mangrove peuvent également être très riches en éléments fins.

Si le granoclassement apparaît nettement lorsqu'on considère l'ensemble des apports terrigènes en milieu marin (sables littoraux, sables vaseux et vases sableuses et vases), il n'apparaît pas dans les sables et les variations latérales peuvent être importantes.

2° *Sables quartzeux et calcaires*. S'il était intéressant, pour la cartographie, de séparer les sables quartzeux calcaires et calcaires quartzeux, on peut les étudier sous la même rubrique ; leurs constituants sont en effet les mêmes, seuls les pourcentages varient.

Nous avons vu que les vases sableuses pouvaient parfois renfermer des grains de quartz assez grossiers. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers le large, la teneur en fraction fine devient peu importante et très rapidement inférieure à 5 %. La fraction grossière qui forme alors l'essentiel du sédiment est constituée par une association d'éléments terrigènes et organogènes.

Apports organogènes :

Il s'agit de tests d'organismes marins et de débris coralliens. On rencontre d'abord des Foraminifères, parmi lesquels les plus abondants sont des Pénéroplidae (*Marginopora*), des Camérinidae (*Operculina*), des Amphisteginidae (*Amphistegina*), et des Rotalidae (*Rotalia*). On y trouve également des Textulariidae, des Alveolinidae, des Miliolidae et quelques rares Globigerinidae. Les débris coquilliers sont également abondants : coquilles de Lamellibranches et de Gastéropodes de tailles diverses, et dans une moindre mesure, des débris d'Echinodermes, de Crustacés et de Bryozoaires.

Les peuplements à Polychètes sont nombreux dans ces sables.

Apports terrigènes :

Il s'agit essentiellement de quartz. L'usure des grains est le plus souvent assez faible, compte tenu surtout de leur éloignement des sources. La taille des grains est variable et l'on n'observe pas de granoclassement sur l'ensemble du plateau continental. Les courbes granulométriques de la fraction grossière terrigène s'apparentent à celles des sédiments littoraux (fig. 10).

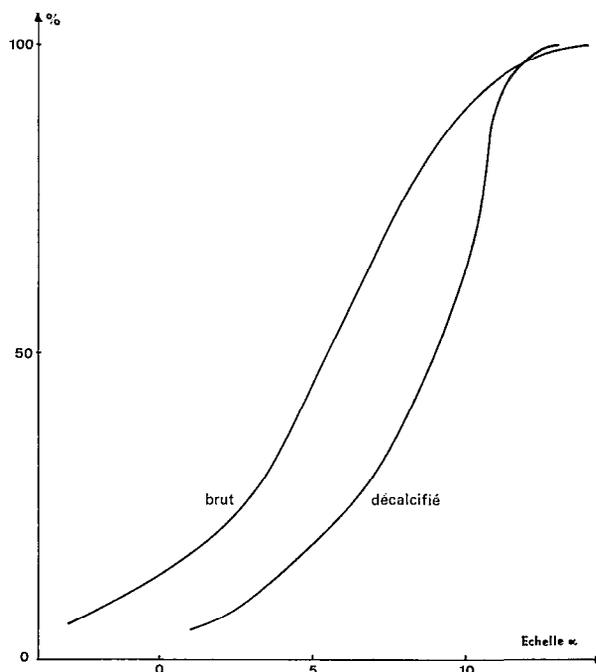


FIG. 10. — Courbes cumulatives de la fraction grossière d'un échantillon de sable quartzeux calcaire (échantillon brut et décalcifié).

Les courbes granulométriques de l'ensemble de la fraction grossière, terrigène et organogène, font apparaître un déplacement de la valeur de la médiane vers les grandes tailles et une diminution du classement. Pour l'échantillon 742, par exemple, la médiane passe de 0,280 mm à 0,125 mm selon que l'on tient compte ou non de la fraction organogène.

3° *Sables essentiellement calcaires.* Outre les organismes précédemment cités, les sables calcaires qui sont sous la dépendance des zones récifales, sont constitués de débris de Madréporaires, d'algues calcaires particulièrement du genre *Halimeda* et quelques Lithothamniées, de Foraminifères plus spécifiques tels que *Cycloclypeus*.

On trouve également des zones d'herbiers à Cymodocées où les sédiments sont de même nature mais souvent plus fins.

Dans cette partie interne du plateau continental, les récifs et les formations bioclastiques qui leurs sont associées sont bien moins développés que sur la partie externe du plateau.

III. Etude de quelques paramètres géochimiques

La baie d'Ambaro proprement dite, c'est-à-dire le sud de la région a fait l'objet d'une étude particulière : sur 60 échantillons (fig. 11) on a systématiquement déterminé les teneurs en fraction fine, carbonates, fer total, carbone et azote organique (fig. 13-14). On a ensuite cherché à établir des corrélations entre ces différents paramètres. Cette étude a surtout été réalisée dans le but de relier les caractères sédimentologiques

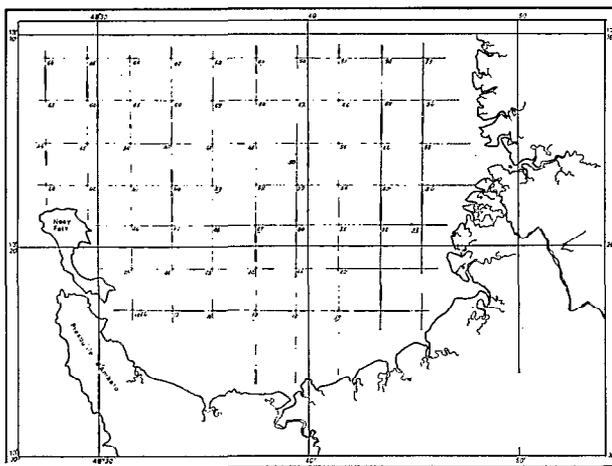


FIG. 11. — Localisation des prélèvements.

classiques aux phénomènes biologiques particulièrement en ce qui concerne la matière organique.

Relations entre la granulométrie et la teneur en carbonates (fig. 12)

Nous avons vu que le paramètre granulométrique choisi était la teneur en fraction fine et que ce para-

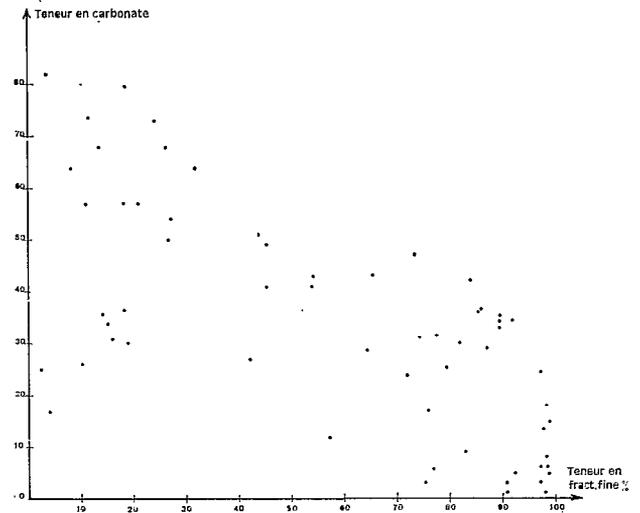


FIG. 12. — Diagramme teneur en fraction fine - teneur en carbonates.

mètre rendait bien compte de la taille des éléments. On a mesuré la teneur en carbonates et cherché si les deux caractères étaient liés.

La teneur en fraction fine varie entre 2,5 et 98,5 % et la teneur en carbonates de 1 % à 82 %. On a calculé entre les deux séries de valeurs le coefficient de corrélation linéaire qui mesure l'intensité de la liaison et on a trouvé :

$$r_1 = -0,67$$

ce qui, pour 60 échantillons, indique une corrélation inverse hautement significative. Donc, dans la zone des prélèvements, c'est-à-dire au large de l'isobathe de 5 m, la taille des éléments croît avec la teneur en calcaire. Ceci indique que les zones vaseuses ne sont pas très favorables au développement des organismes à test calcaire.

Relations entre la teneur en fer total, la granulométrie et la teneur en carbonates (fig. 15)

Les teneurs en fer total des sédiments varient de 0,28 % à 5,2 % avec un maximum de fréquence à

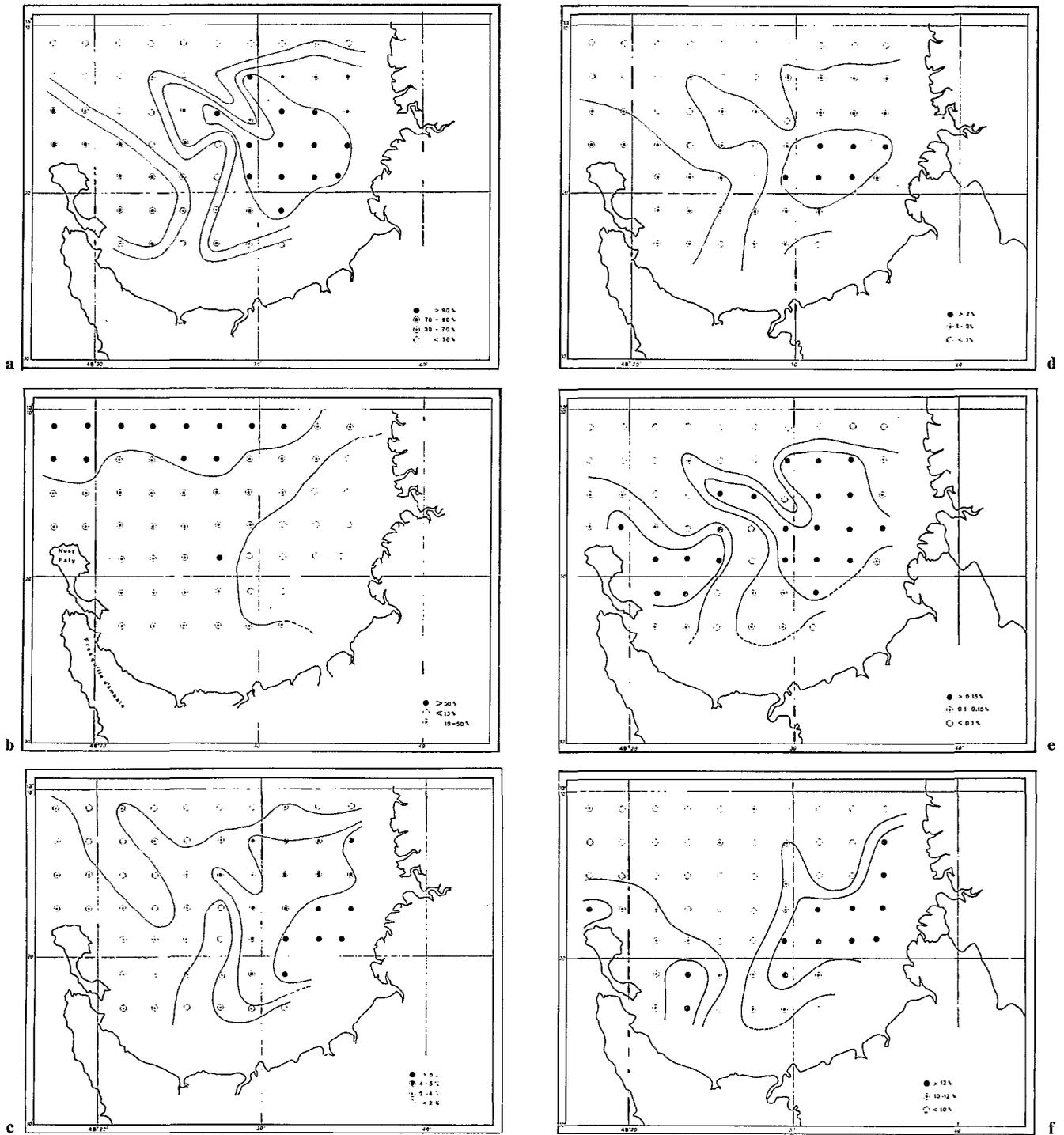


FIG. 13. — Répartition géographique des paramètres physico-chimiques :

1. a) Fraction fine ; b) Carbonates ; c) Fer total ; d) Carbone organique ; e) Azote organique ; f) C/N.

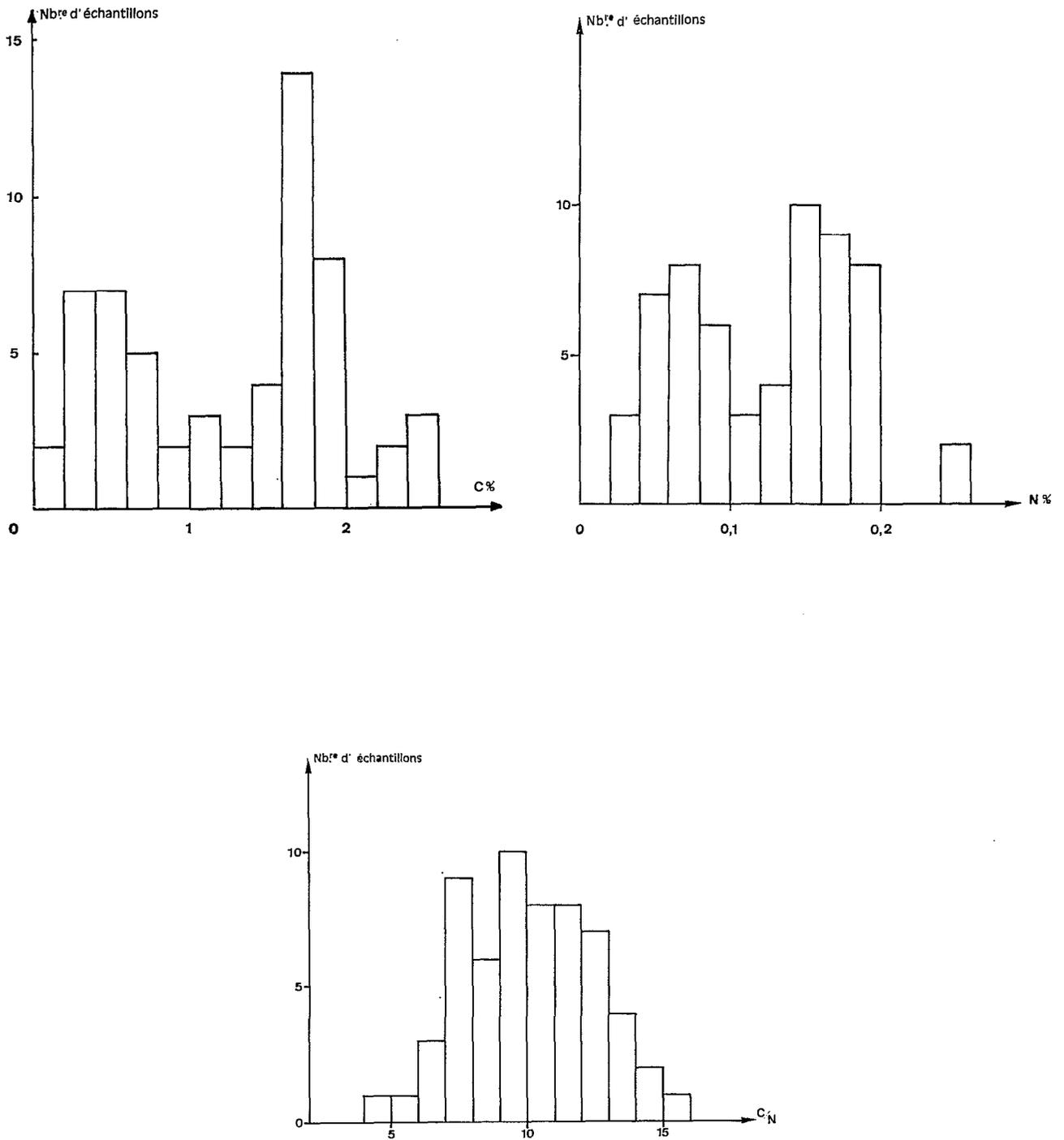


FIG. 14. — Distribution des teneurs en carbone et azote organiques et du rapport C/N.

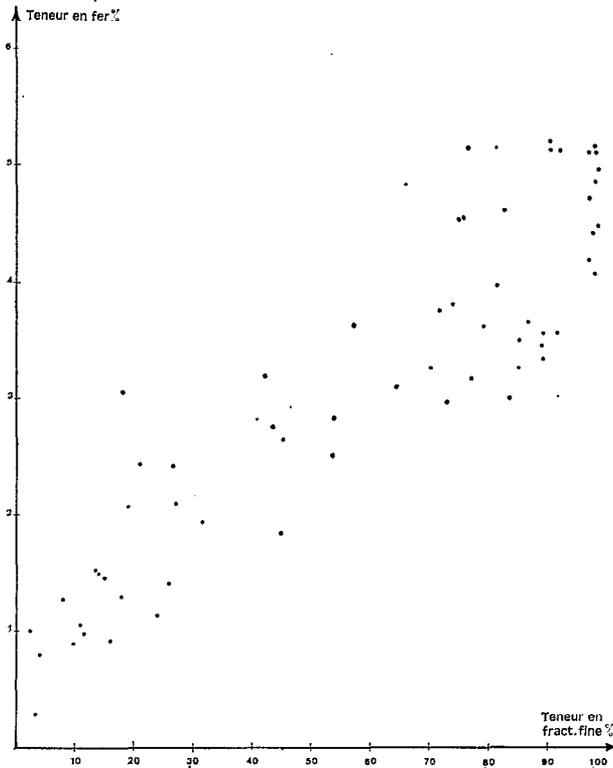


FIG. 15. — Diagramme teneur en fraction fine-teneur en fer total.

3-4 %. Si on exprime les teneurs en Fe_2O_3 %, les valeurs varient de 0,4 % à 7,4 %. La grande dispersion des valeurs est due au fait que les teneurs ont été calculées par rapport à la totalité du sédiment (fraction fine et fraction grossière); les valeurs faibles sont dues à la dilution par d'autres constituants, essentiellement les carbonates. Les valeurs élevées (supérieures à 7 % de Fe_2O_3) qui se rencontrent dans les vases, sont plus fortes que celles rencontrées habituellement dans les sédiments superficiels des régions tempérées : DEBYSER (1961) indique des valeurs variant entre 0,59 et 5,28 dans le bassin d'Arcachon et entre 3,67 et 5,79 % dans la baie de l'Aiguillon. Par contre des valeurs aussi élevées et plus ont été trouvées par FRANCIS-BŒUF (1947) dans le potopoto de Guinée et l'estuaire du Bou-Regreg au Maroc, et par LECLAIRE (1970) sur la marge continentale algérienne. Les teneurs en fer élevées seraient caractéristiques des régions tropicales et subtropicales, par suite de l'existence des sources de fer constituées par les latérites.

Le calcul des coefficients de corrélation entre les teneurs en fer et carbonates d'une part, fer et fraction fine d'autre part donne respectivement :

$$r_2 = -0,76$$

$$r_3 = 0,83$$

ce qui indique des corrélations hautement significatives dans les deux cas. La corrélation inverse fer-carbonates s'explique aisément par les phénomènes de dilution dont nous avons parlé précédemment : le fer est donc lié à la phase terrigène du sédiment ce qui est en accord avec les indications de LECLAIRE (1970) pour qui « la quantité d'hydroxydes néoformés et la totalité des sulfures ne représente jamais plus de 10 à 20 % au maximum du fer total ».

L'intensité de la liaison entre les teneurs en fer et en fraction fine est due à deux causes :

— d'une part il existe à l'intérieur du système terrigène une corrélation entre les teneurs en fer et en éléments fins. On peut calculer un coefficient de corrélation partiel entre teneurs en fer et en fraction fine pour une teneur en carbonates constante et l'on trouve

$$r_4 = 0,67$$

Le fer est donc concentré dans la fraction fine des sédiments, vraisemblablement dans les minéraux argileux.

— d'autre part l'existence des deux autres corrélations (r_1 et r_2) renforce cette liaison d'où la valeur très élevée ($r_3 = 0,83$) du coefficient.

La répartition du fer total est donc liée à la fois à l'origine et à la dimension des éléments du sédiment.

Etude de la matière organique

L'étude de la matière organique des sédiments a été faite par mesure des teneurs en carbone (C %) et azote (N %) organiques et calcul du rapport C %/N %.

Différents coefficients ont été proposés pour estimer les teneurs en matière organique à partir des valeurs de C %. Ces coefficients étant extrêmement variables selon l'état de décomposition de la matière organique, nous avons préféré n'indiquer que les teneurs en C % et N %.

Les valeurs de C % varient de 0,08 à 2,55, la valeur moyenne étant de 1,26. Ces valeurs sont du même

ordre de grandeur que celles indiquées par DEBYSER (1961) pour le bassin d'Arcachon et la baie d'Aiguillon. Elles sont nettement supérieures aux valeurs que LECLAIRE (1970) a trouvé sur le plateau continental algérien où les teneurs moyennes sont de l'ordre de 0,6 %. Par contre dans la lagune d'Abidjan DEBYSER (1961) a signalé des teneurs bien supérieures atteignant 12 % mais dans ce cas, il peut exister au-dessous de 3 m de profondeur, des conditions euxiniques alors que dans la baie d'Ambaro (PITON *et al.*, 1969) la teneur en oxygène dissous, bien que variable dans le temps et l'espace, se maintient toujours au moins à des valeurs voisines de 2 ml/l.

Les teneurs élevées en carbone organique se trouvent essentiellement dans les sédiments fins, mais à teneurs en fraction fine comparables, les sédiments riches en carbonates sont plus pauvres que les sédiments terrigènes, ce qui peut s'expliquer par la simple dilution, à condition d'attribuer une origine essentiellement terrigène à la matière organique. On peut donc s'attendre à trouver une relation entre les teneurs en carbone organique et en fer, dont nous avons admis l'origine terrigène. Le coefficient de corrélation entre les deux variables est effectivement de 0,93. Si on analyse plus en détail le diagramme Fe - C on peut remarquer que pour certaines valeurs de Fe %, les valeurs de C % sont élevées par rapport à la droite des moindres carrés. Ces teneurs sont assez bien localisées dans les zones vaseuses de l'ouest et au centre de la baie. On pourrait donc penser qu'il y a, dans ces zones, production de matière organique marine ; on constate par ailleurs (M.R. PLANTE-CUNY communication orale) que c'est le lieu de développement maximum des diatomées benthiques.

Une des manières d'étudier l'origine de la matière organique est l'examen des variations du rapport C/N. Ici, les teneurs en azote organique (N %) varient entre 0,02 % et 0,25 % et se répartissent géographiquement de la même manière que celles du carbone organique. Le rapport C/N varie, selon DEBYSER (1961), avec la nature et l'origine de la matière organique, la concentration en matière organique, et l'état d'avancement de la dégradation bactérienne des composés organiques. Pour LECLAIRE (1970), à la suite de ses travaux sur la marge continentale algérienne, le dernier facteur est prépondérant.

Dans la baie d'Ambaro, le rapport C/N varie de 4,25 à 15,94 la valeur moyenne étant voisine de 10. Les valeurs élevées se rencontrent sur toute la bordure de la baie, particulièrement à l'est au voisinage de l'embouchure de l'Ifasy c'est-à-dire là où les apports terrigènes sont importants. C'est également là que les

valeurs de C % donc les teneurs en matières organiques sont les plus élevées. On voit donc que, dans le cas présent, étant donnée la grande dispersion des valeurs, l'influence de la dégradation bactérienne, qui tend à uniformiser le rapport C/N, n'est pas prépondérante. Par contre, les deux autres facteurs invoqués par DEBYSER peuvent jouer.

Nous avons cherché à définir statistiquement une relation entre C et N (fig. 16). Les relations les plus fréquemment admises sont de la forme :

$$C = aN + b \quad (1)$$

$$C = aN^b \quad (2)$$

Dans l'hypothèse d'une relation de type (1), on peut dans le cas présent calculer un coefficient de corrélation linéaire entre C et N et l'on trouve $r = 0,89$, coefficient hautement significatif pour 60 échantillons. Dans l'hypothèse de la relation de type (2) le coefficient de corrélation entre $\log C$ et $\log N$ est $r = 0,96$ et l'équation liant C et N s'écrit :

$$C = 16,7 N^{1,24}$$

Bien que les distributions des valeurs de $\log C$ et $\log N$ n'obéissent pas rigoureusement à des lois normales nous admettrons cette relation approchée, relation qui traduit l'influence de la concentration en carbone, donc en matière organique sur les valeurs du rapport C/N.

Cependant, si on observe le diagramme C % - N % on s'aperçoit que au niveau des valeurs de $C = 1,5$ % il y a une dispersion assez importante des valeurs de N %. Ainsi on peut isoler un groupe de 8 points où les teneurs en C et N sont telles que le rapport C/N reste assez faible, (< 10) compte tenu de la valeur de C %. Or ces points correspondent à des échantillons groupés géographiquement au centre de la baie, et, de plus, 5 de ces échantillons comportaient de grosses huîtres (*Ostrea sandwichensis*). On aurait donc, dans ce cas, un rapport C/N qui traduirait la nature de la matière organique.

Dans le cas de la baie d'Ambaro on est donc conduit à admettre que les variations du rapport C/N sont surtout dues à la concentration en matière organique, que la nature de la matière organique n'influence ce rapport qu'exceptionnellement, la majeure partie de la matière organique étant d'origine terrigène, et enfin que les mécanismes d'homogénéisation d'origine bactérienne ne parviennent pas à masquer les variations importantes du rapport C/N.

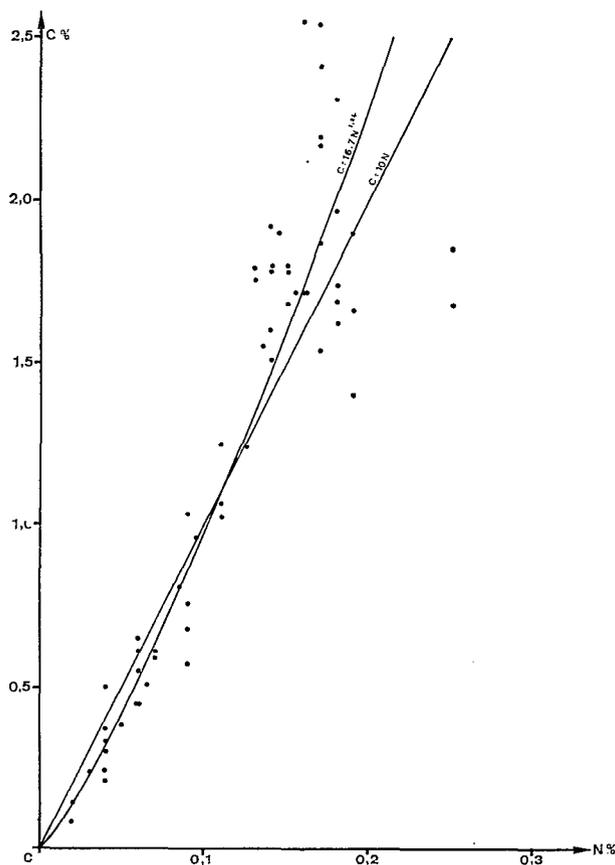


FIG. 16. — Diagramme Azote - Carbone. Courbes $C = W6,7 N 1,24$ et $C = 10 N$.

IV. Etude des sédiments en profondeur par carottages

Au cours de l'étude, plus générale, de la marge continentale du nord-ouest de Madagascar (DANIEL 1972 - DUPONT 1972 - JOUANNIC 1972), quelques carottages ont été effectués dans la région qui nous intéresse (fig. 2).

Bien que des variations existent d'une carotte à une autre, on a pu définir une succession-type qui comporte trois formations, du sommet à la base :

— niveau terrigène supérieur

Ce niveau, essentiellement vaseux, a une épaisseur très variable : il peut être totalement absent ou dépasser 5 m. La teneur en carbonates des vases, généralement faible, peut atteindre 40 % en surface, mais tend à décroître vers la base. Des intercalations sableuses,

parfois importantes, se rencontrent. Ce niveau correspond aux sédiments vaseux superficiels décrits précédemment.

— niveau sableux quartzo-coquillier à Foraminifères

Ce niveau est constant, et ne fait défaut que lorsque l'épaisseur du précédent dépasse 5 m (longueur maximale des carottes). Il s'agit de sables ou de sables vaseux dont les constituants sont les mêmes que ceux des sables superficiels quartzeux calcaires et calcaires quartzeux. Les proportions de ces constituants varient d'une carotte à une autre, le pourcentage en quartz subissant notamment des fluctuations comparables à celles décrites dans les sédiments superficiels. A l'intérieur d'une même carotte on observe fréquemment une diminution de la teneur en carbonates vers la base et un passage progressif au niveau inférieur.

— niveau terrigène inférieur

Ce niveau n'est pas toujours atteint dans les carottes, mais les observations faites sur l'ensemble du plateau continental montrent qu'on peut le considérer comme constant. Parfois même on le rencontre sous une très faible épaisseur (une dizaine de cm) de sables quartzo-coquilliers.

Sa caractéristique essentielle est son extrême pauvreté en organismes qui peuvent même être totalement absents et le plus souvent très altérés. La granulométrie est très variable et l'on rencontre aussi bien des sédiments fins que des sables quartzeux. La teinte est généralement claire à rousse, s'opposant à la teinte grise des sédiments des niveaux supérieurs.

On peut, selon les cas, rapprocher ces dépôts terrigènes de trois types de sédiments superficiels :

— on rencontre tout d'abord des sables comparables aux sables quartzeux littoraux.

— d'autres dépôts variés, sables et vases, sont du même type que les formations deltaïques telles qu'elles ont été décrites par BERTHOIS et GUILCHER (1956) dans le delta de la Mahavavy. Le mode de dépôt des sédiments étant extrêmement irrégulier, on assiste à des variations horizontales et verticales, dues aux changements de cours du fleuve.

— enfin des sédiments, caractérisés par des débris quartzo-argileux brun rouge, rappellent la carapace sablo-argileuse de BESAIRIE.

La succession observée dans les carottes montre donc les relations entre les diverses formations superficielles. A titre d'exemple, une coupe de la région de Nosy Faly est montrée sur la figure 17.

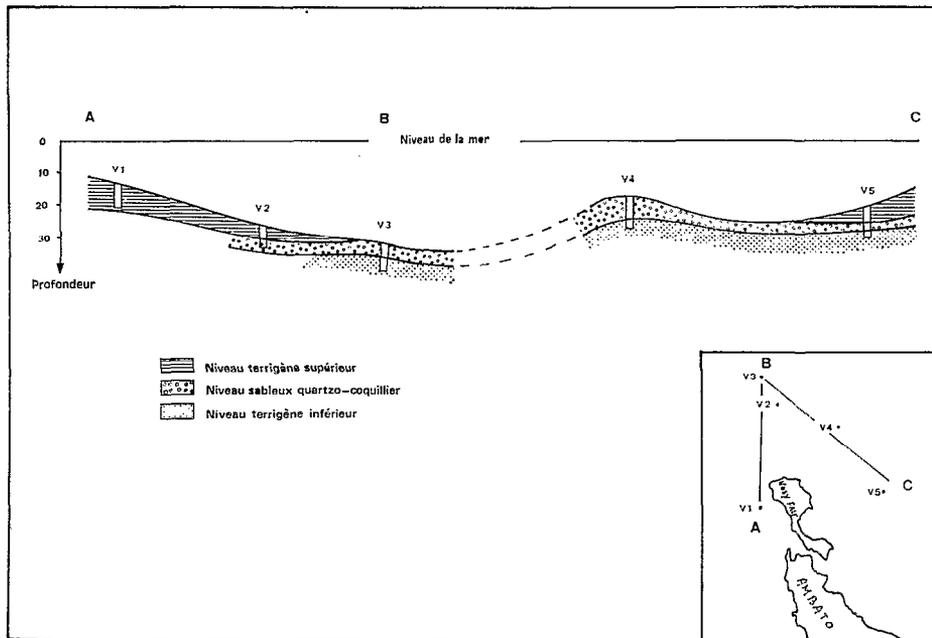


FIG. 17. — Schéma interprétatif de la sédimentation autour de Nosy Faly.

V. Interprétation

L'étude de la répartition des sédiments permet de distinguer trois zones principales, de la côte vers le large :

— Zone interne

Elle est caractérisée par les formations terrigènes, parmi lesquelles les vases occupent la plus grande surface. Tous les intermédiaires granulométriques existent cependant entre les sables littoraux et les vases.

— Zone intermédiaire

Il s'agit de la majeure partie de la région étudiée, qui est couverte par les sables quartzo-coquilliers à Foraminifères.

— Zone externe

Caractérisée par une sédimentation récifale elle ne s'individualise que dans les environs des îles Mitsio.

L'étude des carottes montre que ces sédiments superficiels ne sont pas tous contemporains et qu'il est nécessaire, pour expliquer leur mise en place, de faire appel à divers mécanismes de sédimentation.

Niveau terrigène supérieur

Dans les carottes, ce niveau est essentiellement caractérisé par des vases. Mais étant donnée la continuité, observée sur le terrain, entre les dépôts vaseux et les dépôts terrigènes plus grossiers du littoral, on peut envisager leur mise en place suivant le même mécanisme.

La disposition la plus typique a été observée près de l'embouchure de l'Ifasy où l'on rencontre successivement les sables littoraux, les sables vaseux et les vases. La description de ces classes de sédiments a déjà été donnée, mais il faut retenir le grano-classement d'ensemble. Les matériaux apportés par les fleuves se déposent en auréoles, et seuls les éléments très fins se déposent au-delà du littoral. Cette constatation avait déjà été faite par BERTHOIS et CROSNIER aux abords de l'embouchure de la Betsiboka.

La sédimentation fine elle-même n'intéresse qu'une faible partie du plateau continental. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne vers le large les apports diminuent et, de surcroît, se dispersent sur des surfaces plus importantes, si bien que progressivement les conditions de vie des organismes deviennent plus favorables : diminution de la turbidité, augmentation de la salinité

des eaux ; le sédiment peut alors devenir plus sableux, mais dans ce cas les éléments grossiers sont constitués par des coquilles et tests d'organismes. Le passage horizontal avec les sables quartzeux calcaires du plateau est par conséquent assez progressif.

On peut parfois s'éloigner de ce schéma général et il peut y avoir absence de vases terrigènes, ou dépôt de vases calcaires.

On observe dans la baie deux « couloirs sableux » séparant les étendues vaseuses, dans lesquels les sables littoraux sont en contact avec les sables quartzeux calcaires du plateau. Etant donné l'identité de nature des constituants la limite est difficile à définir, l'absence de sédiments fins favorisant l'établissement des organismes. Cependant, les sables littoraux sont plus riches en coquilles de grandes dimensions (Lamelli-branches surtout) et moins riches en Foraminifères.

Les vases calcaires se rencontrent essentiellement autour de l'île de Nosy Faly. En raison de la présence d'un « couloir sableux » dans le fond de la baie il est difficile de les faire provenir de l'Ifasy. D'autre part, l'étude des carottes montre que dans ces formations la teneur en carbonates diminue en profondeur et l'on passe progressivement à des vases terrigènes. Enfin on constate que, dans ces vases, la montmorillonite est pratiquement toujours présente et plus abondante que dans les vases terrigènes de l'est. On peut expliquer ces caractères en attribuant au Sambirano (qui se jette actuellement dans la baie d'Ampasindava) le dépôt de ces sédiments. Ce fleuve aurait eu alors un cours sud-nord et, se jettant dans la baie de Tsimipaika, aurait déposé des sédiments terrigènes à l'abri de Nosy Bé. Puis, à la suite d'un changement de cours du fleuve l'embouchure aurait pris sa position actuelle. L'alimentation en éléments fins à l'est de Nosy Bé ne serait actuellement due qu'au lessivage de cette île et de l'ensemble presqu'île d'Ambato - Nosy Faly, d'où diminution de la turbidité, stabilisation de la salinité et développement des organismes. La nature volcanique des terres lessivées expliquerait la présence de montmorillonite. En effet, ce minéral peut être un produit d'altération de roches microlithiques basiques telles que celles de Nosy Faly (CHAMLEY, 1969).

Niveau quartzo - coquillier à Foraminifères

L'étude de l'ensemble de la marge continentale des environs de Nosy Bé (DANIEL 1972, DUPONT 1972, JOUANNIC 1972) montre que les sables superficiels quartzo-coquilliers à Foraminifères de la zone intermédiaire ne peuvent pas, pour des raisons dyna-

miques, se mettre en place actuellement. Ils constituent en fait des affleurements de ce niveau quartzo-coquillier des carottes et forment donc ce que EMERY (1968) a appelé des sédiments reliques (relict sediments).

La nature de leurs constituants : éléments terrigènes parfois grossiers et organismes marins, a conduit à leur attribuer une origine littorale et, étant donnée leur extension, à en faire des sédiments transgressifs mis en place progressivement lors d'une remontée du niveau marin. Ces sédiments ne seraient donc pas tous contemporains ; les mesures d'âge absolu (JOUANNIC, 1972) donnent pour des sables identiques situés à l'extérieur de notre région d'étude, un âge flandrien.

Niveau terrigène inférieur

Le niveau inférieur présente des caractéristiques littorales, deltaïques et parfois continentales. De même que le précédent il est attribué au Flandrien, à la différence près qu'il doit être considéré comme plus littoral et qu'il peut parfois témoigner de l'émersion du plateau continental lors de la régression anté-flandrienne.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'établir une carte bathymétrique montrant un exemple de la topographie de la partie interne du plateau continental du nord-ouest de Madagascar. Bien qu'étant moins accidentée que la bordure externe, cette région présente des caractères morphologiques que l'on peut relier à deux séries de phénomènes :

— caractères liés à la transgression flandrienne

Il s'agit de variations dues aux différences de nature des sédiments superficiels. Dans le cas présent la sédimentation fine tend à uniformiser le relief en recouvrant les sédiments sableux flandriens. Ce recouvrement étant incomplet, certains caractères du relief flandrien apparaissent encore, sous forme de bombements ou d'ondulations.

— caractères liés à des actions plus anciennes

Les traces d'un réseau hydrographique ennoyé, peu apparentes dans cette étude, se retrouvent sur l'ensemble du plateau continental (DUPONT 1972, JOUANNIC 1972). Ce réseau hydrographique qui ne peut être attribué à la seule régression anté-flandrienne est qualifié de plio-quadernaire.

La carte sédimentologique, réalisée à partir de l'étude de 250 prélèvements montre que la baie d'Ambaro prise au sens strict (limitée par la ligne nord Nosy Faly - Port Saint-Louis) est très fortement soumise aux apports terrigènes, essentiellement vaseux, alors que la majeure partie du plateau continental est constituée de sédiments sableux quartzo-coquilliers

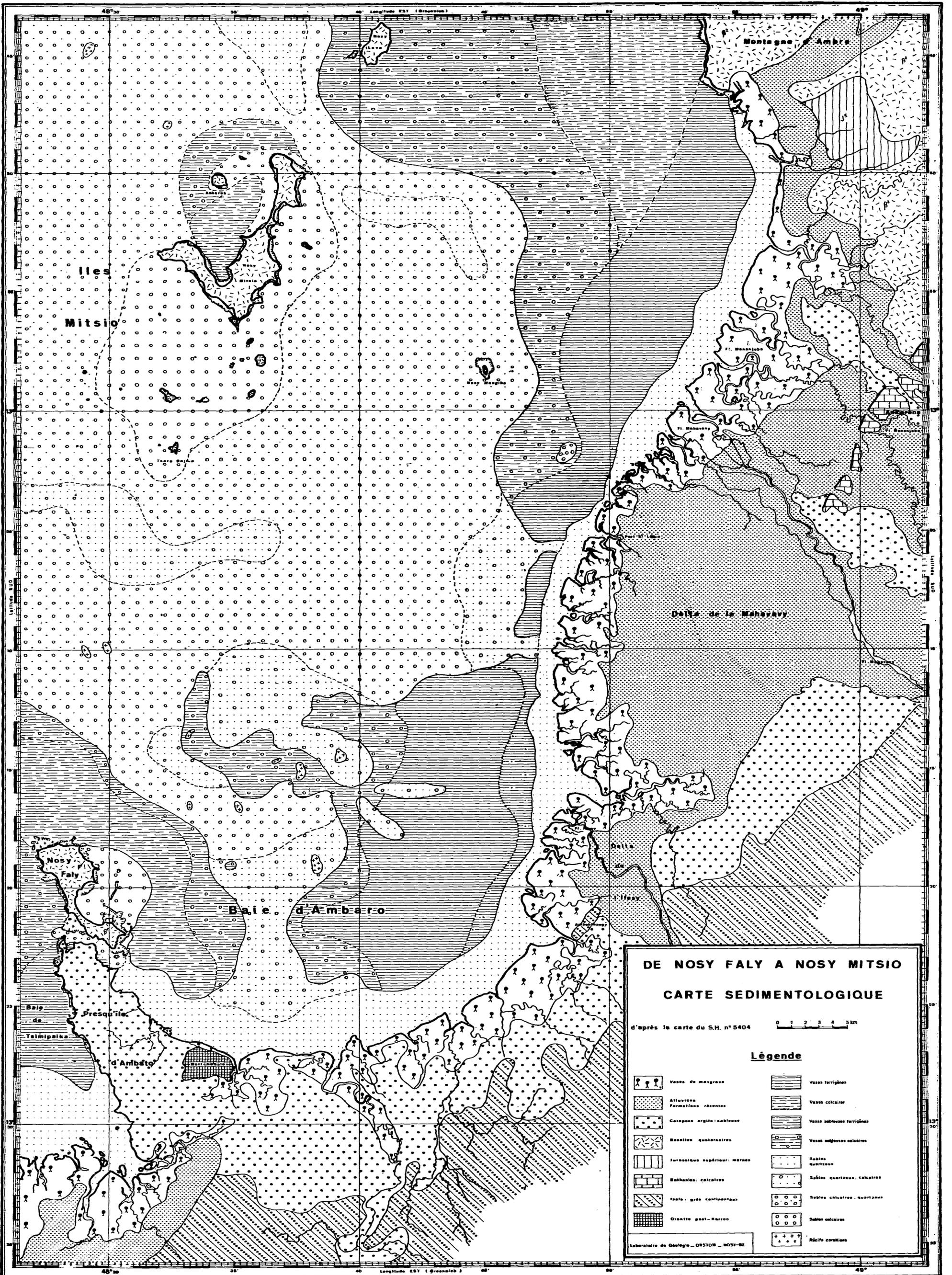
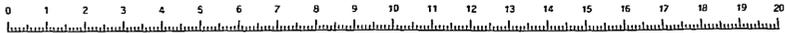
qui doivent être considérés comme des sédiments reliques. Ces dépôts transgressifs attribués au Flandrien ont été incomplètement recouverts par la sédimentation récente qui, si elle peut former des accumulations importantes dans les baies, n'a qu'une extension géographique très réduite à l'échelle du plateau continental.

Manuscrit reçu au SCD le 7 juin 1972

BIBLIOGRAPHIE

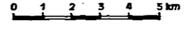
- BATTISTINI (R.), 1959. — Description géomorphologique de Nosy Bé, du delta du Sambirano et de la baie d'Ampasindava. *Mém. I.R.S.M.*, sér. F, t. III, pp. 121-343.
- BATTISTINI (R.), 1964. — Etude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar (Thèse). Ed. Cujas, Paris, 636 p.
- BATTISTINI (R.), 1965. — Problèmes géomorphologiques de l'extrême nord de Madagascar. Madagascar, *Rev. de géographie* n° 7, pp. 7-61.
- BATTISTINI (R.), 1968. — Sur l'inexistence de hauts stationnements marins quaternaires. *C.R. Soc. Léol.*, fasc. 2, pp. 46-48.
- BATTISTINI (R.), 1970. — Etat des connaissances sur les variations du niveau marin de Madagascar depuis 10 000 ans. *Sem. Géol. Madagascar*, 1970.
- BERTHOIS (L.), 1965. — Essai de corrélation entre la sédimentation actuelle sur le bord externe des plates-formes continentales et la dynamique fluviale. *Prog. Océanogr.*, vol. 3, pp. 49-62.
- BERTHOIS (L.), GUILCHER (A.), 1956. — La plaine d'Ambilobé (Madagascar). Etude morphologique et sédimentologique. *Rev. Géomorphol. dynam.* VII, n° 3-4, pp. 33-52.
- BERTHOIS (L.), CROSNIER (A.), 1965. — La sédimentation dans l'estuaire de la Betsiboka (côte ouest de Madagascar) et sur le plateau continental au large de l'estuaire. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 261, n° 18, pp. 3647-3649.
- BERTHOIS (L.), CROSNIER (A.), 1966. — Etude dynamique de la sédimentation au large de l'estuaire de la Betsiboka. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. IV, n° 2, pp. 49-130.
- BESAIRIE (H.), 1936. — Recherches géologiques à Madagascar. La géologie du nord-ouest. *Mém. Acad. malgache*, fasc. XXI.
- BESAIRIE (H.), 1965. — La géologie de la Province de Diégo-Suarez - Documentation du Bureau géologique n° 171 - Service géologique, Tananarive.
- BORDOWSKI (O.K.), 1965. — Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments. *Marine Geology*, vol. 3, n° 1/2.
- CHAMLEY (H.), 1969. — Relations entre la nature des minéraux argileux, leur origine pétrographique et leur environnement continental, littoral ou marin. Cas de Nosy Bé (nord-ouest de Madagascar). *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, fasc. hors série, suppl. n° 9, pp. 123-207.
- CHAMLEY (H.), PAQUET (H.), MILLOT (G.), 1966. — Minéraux argileux des sédiments marins, littoraux et fluviaux de la région de Tuléar (Madagascar). *Bull. Serv. Carte géol. Als-Lorr.*, 19, 3-4, pp. 191-204.
- DANIEL (J.), 1972. — Etude bathymétrique et sédimentologique d'une baie tropicale : la baie d'Ambaro. (Thèse 3^e cycle Géologie sous-marine, Paris VI), s.e., IV, 76 p. *multigr.*
- DANIEL (J.), DUPONT (J.), JOUANNIC (C.), 1970. — Etude de la relation entre le carbone organique et l'azote dans les sédiments de la baie d'Ambaro. ORSTOM - Nosy Bé, 11 p. *multigr.*
- DANIEL (J.), DUPONT (J.), JOUANNIC (C.), 1971. — Sur la bathymétrie et la sédimentation d'une portion de plateau continental de la côte nord-ouest de Madagascar : de Nosy Mitsio à Nosy Faly. *Sem. Géol. Madagascar*, 1970, pp. 9-12.
- DANIEL (J.), DUPONT (J.), JOUANNIC (C.), 1971. — Les sédiments récents et actuels de la marge continentale du nord-ouest de Madagascar. Abstract in Program of VIII^e Inter. Sedimentological congress - Heidelberg 1971.
- DEBYSER (J.), 1961. — Contribution à l'étude géochimique des vases marines. Inst. Fr. du Pétrole - Division Sédimentologie, réf. 6005, Edit. Technip, Paris, 249 p.
- DUPONT (J.), 1972. — Etude bathymétrique et sédimentologique de la pente continentale du nord-ouest de Madagascar (Thèse 3^e cycle Géologie sous-marine, Paris-VI), s.e., VII, 106 p. *multigr.*
- EMERY (K.O.), 1968. — Relict sediments on continental shelves of world. *Amer. Ass. Petroleum Geologists Bull.*, vol. 52, n° 3, pp. 445-464.
- FRANCIS-BŒUF (C.), 1947. — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaires. *Ann. Inst. Océanogr.*, XXIII, 3, pp. 149-344.
- FRONTIER-ABOU (D.), 1970. — Dosage de l'azote sur 60 échantillons de sédiment superficiel de la baie d'Ambaro. ORSTOM, Nosy Bé, Doc. n° 15, 16 p. *multigr.*
- GLANGEAUD (L.), 1941. — Evolution morphologique et dynamique des estuaires. *Bull. Ann. Géogr. Franc.*, pp. 95-103.
- GUILCHER (A.), 1956. — Etude géomorphologique des récifs coralliens du nord-ouest de Madagascar. *Ann. Inst. Océanogr.*, t. XXXIII, fasc. 2, 136 p.
- GUILCHER (A.), 1958. — Mise au point sur la géomorphologie des récifs coralliens de Madagascar et dépendances. *Mém. I.R.S.M.*, série R, t. II, pp. 89-115.
- GUILCHER (A.), BERTHOIS (L.), LE CALVEZ (Y.), BATTISTINI (R.), CROSNIER (A.), 1965. — Les récifs coralliens et le lagon de l'île Mayotte. *Mém. ORSTOM*, n° 11, Paris, 210 p.

- GUILCHER (A.), 1971. — Mayotte barrier reef lagoon, Comoro islands, as compared with other barrier reefs, atolls and lagoons in the world. *Symp. zool. Soc. London*, n° 28, pp. 65-86.
- HERVIEU (J.), 1968. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. *Mém. ORTSOM*, n° 24, Paris, 463 p.
- JOUANNIC (C.), 1972. — Contribution à l'étude bathymétrique et sédimentologique du plateau continental du nord-ouest de Madagascar (Thèse 3^e cycle Géologie sous-marine, Paris VI), s.e., 82 p. *multigr.*
- KARCHE (J.P.), 1971. — Etude pétrographique et chimique de la série volcanique de l'Anorontany et des îles Mitsio (nord de Madagascar). *Sem. Géol. Madagascar*, 1970.
- LAFOND (L.R.), 1967. — Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide 3 vol., Thèse des Sciences d'Orsay, Université de Paris.
- LECLAIRE (L.), 1970. — La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléare (précontinent algérien). Thèse 3 vol. Faculté des Sciences, Paris.
- MASSE (J.P.), 1970. — Contribution à l'étude des sédiments bioclastiques actuels du complexe récifal de l'île de Nosy Bé (nord-ouest de Madagascar). *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, fasc. hors série, suppl. n° 10.
- MINAS (M.), 1964. — Etude de la répartition de quelques facteurs géochimiques dans les sédiments de l'étang de Berre. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, fasc. 48 n° 32.
- MINAS (M.), 1965a. — La substance organique et le calcaire dans deux types de vasières littorales de la région de Tuléar. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, fasc. hors série, suppl. n° 4.
- OTTMANN (J.M.), OTTMANN (F.), 1961. — Sur le rapport C/N dans les sédiments littoraux. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 252, n° 15, pp. 2277-2279.
- OTTMANN (J.M.), 1960. — Dosage du carbone et de l'azote organique dans les sédiments marins. *Trab. Inst. Biol. Mar. e. oceanogr. Universidade do Recife*, vol. II, n° 1.
- PAUTOT (G.), 1969. — Prélèvements d'échantillons par carottes et traitement. *Cah. Océanogr.* XXI, n° 1, pp. 47-55.
- PITON (B.), PRIVE (M.), TERAY (A.), 1969. — Résultats des observations physico-chimiques en baie d'Ambaro de janvier 1968 à juin 1969. ORSTOM, Nosy Bé, Madagascar, Doc. n° 5, *multigr.*
- PLANTE (R.), 1967. — Etude quantitative du benthos de la région de Nosy Bé, note préliminaire. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. V, n° 2, pp. 95-108.
- PLANTE (R.) et PLANTE, CUNY (M.R.), 1971. — Premiers résultats de l'étude des populations du macrobenthos et des diatomées benthiques dans une baie en milieu tropical (Madagascar). *Ann. Univ. Madagascar* n° 8, pp. 245-253.
- SAINT-OURS (J. de), 1960. — Etudes géologiques dans l'extrême nord de Madagascar et l'Archipel des Comores. Thèse, Tananarive, Serv. Géol., 262 p.



DE NOSY FALY A NOSY MITSIO
CARTE SEDIMENTOLOGIQUE

d'après la carte du S.H. n° 5404



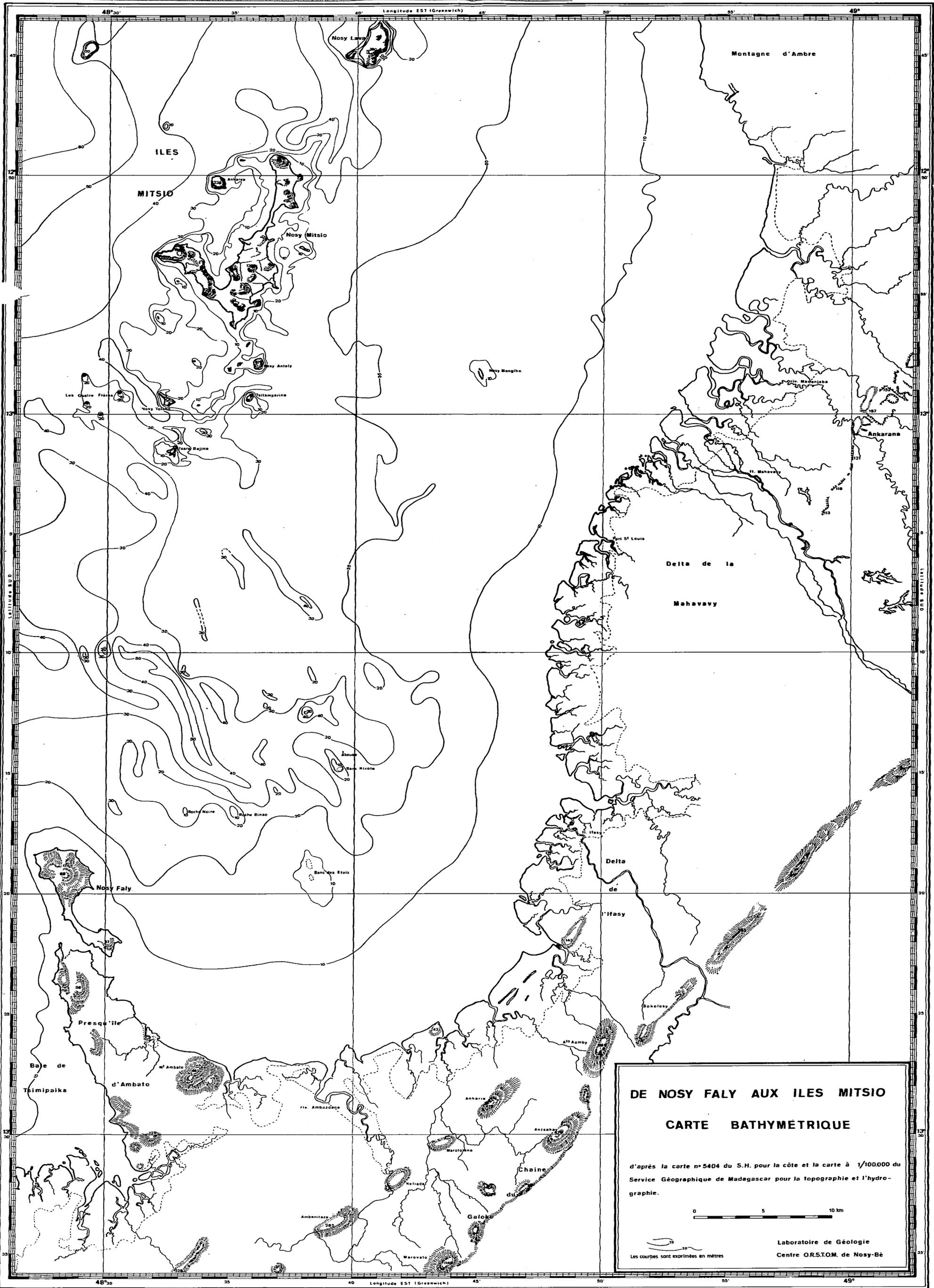
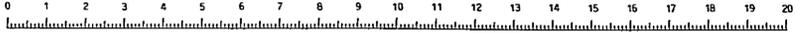
Légende

	Vases de mangrove		Vases terrigènes
	Alluvions Formations récentes		Vases calcaires
	Coarse silt-sandstone		Vases argileux terrigènes
	Basaltites quaternaires		Vases argileux calcaires
	Jurassiques supérieurs: marls		Sables quartzeux
	Marls: calcaires		Sables quartzeux, calcaires
	Sable: grès continentaux		Sables calcaires, quartzeux
	Granite gneiss		Sables calcaires
			Récifs coralliens

Laboratoire de Géologie - ORSTOM - MOSE-82

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTLUDCGQUVWMSZXY
zsaeocmuvnxirfkhdppggyjt 7142385690
Pour A2A3A4: ABERPFTLUDCGQUVWMSZXY
zsaeocmuvnxirfkhdppggyjt 7142385690

GAM: T-12
N° 60 013 DM



DE NOSY FALY AUX ILES MITSIO
CARTE BATHYMETRIQUE

d'après la carte n° 5404 du S.H. pour la côte et la carte à 1/100.000 du Service Géographique de Madagascar pour la topographie et l'hydrographie.

0 5 10 km

Laboratoire de Géologie
Centre ORSTOM de Nosy-Bé

Les courbes sont exprimées en mètres