

THESE PRESENTEE A
L'UNIVERSITE DE PARIS VI
POUR L'OBTENTION DU
DOCTORAT 3e CYCLE

SPECIALITE : GEOLOGIE

MENTION : GEOLOGIE SOUS-MARINE

par M. Christian JOUANNIC

Sujet de la Thèse :

CONTRIBUTION A L'ETUDE BATHYMETRIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE
DU PLATEAU CONTINENTAL DU N W DE MADAGASCAR : du Cap St Sébastien
à la Presqu'île d'Ampasindava.

Soutenue le : 25 février 1972 devant la Commission

Composée de : Président M. Louis GLANGEAUD

Examineurs M. Gabriel LUCAS

M. André GUILCHER

M. Hugues FAURE

P L A N

	Pages
AVANT - PROPOS	1
INTRODUCTION	2
GENERALITES	3
I - <u>CARACTERES GENERAUX DU NORD DE MADAGASCAR</u>	3
A - Géologie	3
B - Climatologie	6
C - Hydrographie	7
D - Hydrologie marine	7
II - <u>MOYENS ET METHODES UTILISES</u>	9
A - Bathymétrie	9
B - Sédimentologie	10
MORPHOLOGIE ET STRUCTURES	14
I - <u>LA ZONE INTERNE DU PLATEAU CONTINENTAL</u>	16
A - Les grandes lignes du relief - Les valeurs de la pente	16
B - Les différents types de relief	19
II - <u>LA BORDURE EXTERNE DU PLATEAU CONTINENTAL</u>	24
A - Les bancs coralliens	25
B - Le type mixte	26
C - Les dunes hydrauliques	28
D - Les passes	29
E - Le début de la retombée sur les grands fonds	31

III - <u>INTERPRETATION</u>	.....	32
A - Les structures d'envoyage		32
B - La barrière immergée		39
C - Le problème de l'origine des dépressions et des passes		40
SEDIMENTOLOGIE	.....	46
I - <u>REPARTITION ET NATURE DES SEDIMENTS</u>	.....	47
A - Les sables quartzeux de l'estran		49
B - Les formations vaseuses et vaso-sableuses		50
C - Les sables quartzo-coquilliers à Foraminifères		53
D - Le faciès récifal		56
E - Interprétation		56
II - <u>ETUDE DES SEDIMENTS EN PROFONDEUR</u>	.....	59
A - Etude des carottes prélevées dans les faciès vaseux et vaso-sableux		59
B - Etude des carottes prélevées dans les faciès sableux		64
C - Interprétation		72
CONCLUSION GENERALE	.....	81
BIBLIOGRAPHIE		

A V A N T - P R O P O S

Les présents travaux ont été réalisés au Centre ORSTOM de Nosy-Bé (Madagascar).

Je remercie tout d'abord Monsieur le Directeur Général de l'ORSTOM de m'avoir permis de mener à bien cette étude.

Je suis profondément reconnaissant à M. le Professeur L. CLANGEAUD, Membre de l'Institut, du rôle de Directeur Scientifique qu'il a bien voulu assumer à mon égard, de l'accueil bienveillant qu'il m'a toujours réservé au Laboratoire de Géologie Dynamique et de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le Jury.

Je remercie également MM. G. LUCAS et H. FAURE, Professeurs à l'Université de Paris VI, et M. A. GUILCHER, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale, d'avoir bien voulu faire partie de ce Jury.

J'exprime ma vive gratitude à M. G. PAUTOT, qui dirige la Section de Géologie du Centre Océanologique de Bretagne, et qui, étant mon "Parrain Scientifique" à l'ORSTOM, a toujours suivi avec le plus grand intérêt mes travaux à Madagascar, en me prodiguant nombre suggestions et conseils, et m'a très aimablement accueilli dans son Laboratoire.

Je remercie sincèrement M. C. BOBIER, Sous-Directeur du Laboratoire de Géologie Dynamique de Villefranche-sur-Mer, de l'excellent accueil qu'il m'y a réservé.

Je suis très reconnaissant à toutes celles et à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué aux résultats que j'expose ici. Je pense en particulier à M. FONTES et Mme VERGNAUD - GRAZZINI, du Laboratoire de Géologie Dynamique (Paris VI), à M. PINTA, M. PARROT et Mme DELAUNE ainsi qu'à leurs collaborateurs, des Laboratoires Centraux de l'ORSTOM à Bondy, à M. GENSE, du Laboratoire du Centre ORSTOM de Tananarive. Je pense aussi à tous mes camarades des Centres Océanographiques de Nosy-Bé, de Villefranche-sur-Mer et de Brest. Je dois ici une reconnaissance toute particulière aux marins des N/O "VAUBAN" et "AMBARIKA", dont je dois dire que le dévouement et l'amabilité au cours des diverses campagnes en mer ne m'ont jamais fait défaut.

Je garderai enfin le meilleur souvenir de cette première équipe de Géologie dont j'aurai fait partie deux séjours durant à Nosy-Bé, en compagnie de mes collègues et camarades J. DUPONT et J. DANIEL, ainsi que de R. GOULAMHOUSSEN, technicien de Laboratoire, et de GASTON LAGAFO, dont la collaboration, en particulier sur le terrain, fut toujours aussi efficace que spontanée et sympathique.

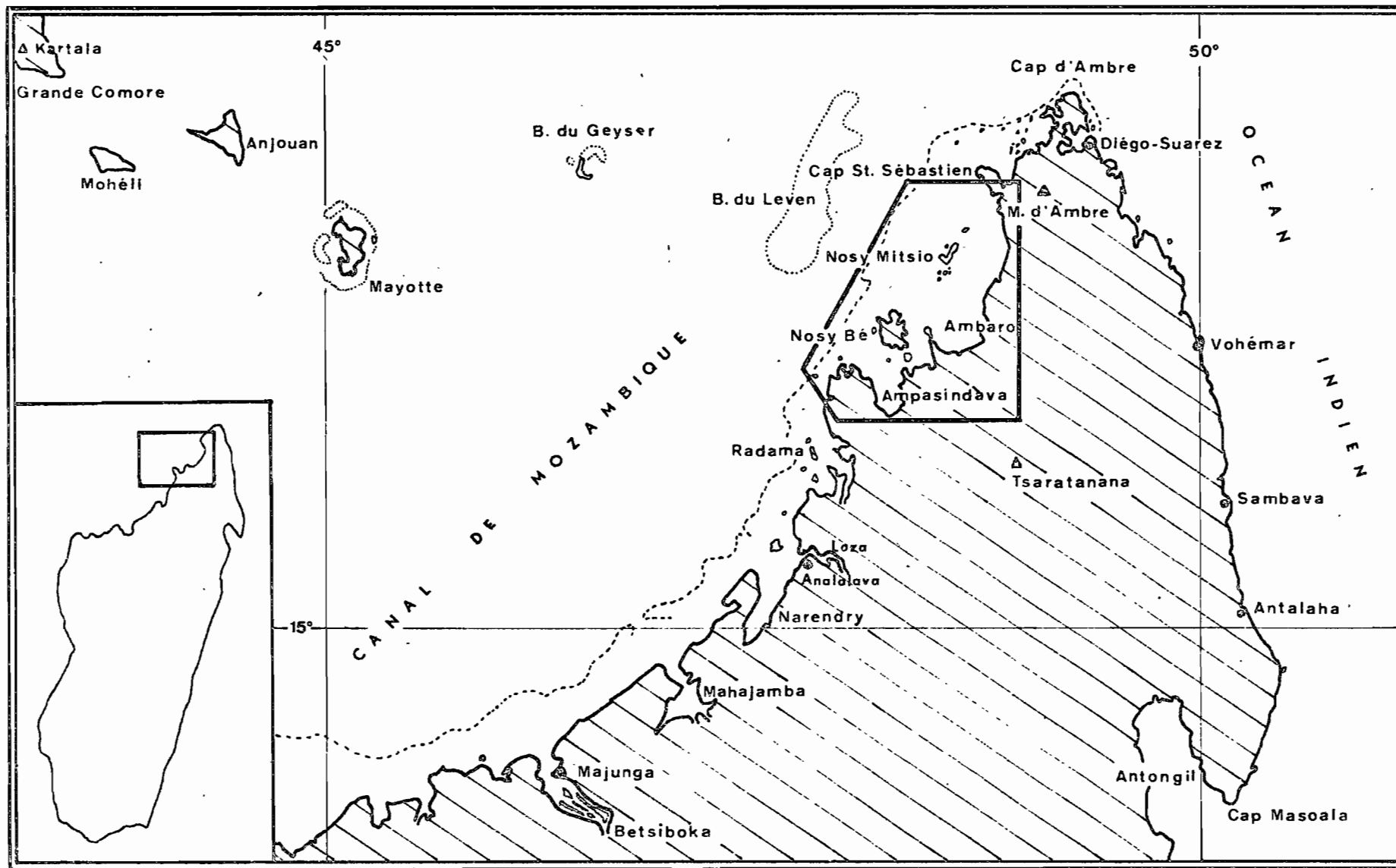
I N T R O D U C T I O N

La partie du plateau continental de la côte NW de Madagascar qui s'étend du Cap St Sébastien à la Presqu'île d'Ampasindava est située entre 12° 20' et 13° 50' de latitude Sud et entre 47° 50' et 49° de longitude Est Greenwich. Ouverte à l'Ouest sur le Canal de Mozambique, elle s'allonge sur 180 km du NNE au SSW (fig.1).

L'étude bathymétrique et sédimentologique de cette région représente l'extension vers le Nord et vers le Sud d'une part, jusqu'au rebord continental d'autre part, de celle menée en Baie d'Ambaro : cette baie ne constitue plus ici que la partie centrale du secteur (fig.2).

Cette étude vient s'ajouter aux travaux déjà réalisés sur le plateau continental malgache, en particulier à ceux de LAFOND (1957, 1964) dans l'estuaire de la Betsiboka et en Baie d'Antongil, de GUILCHER (1958) dans la région des îles Radama, de BERTHOIS et BATTISTINI (1964) sur la plateforme de l'Extrême Sud de Madagascar, de BERTHOIS et CROSNIER (1966) devant l'estuaire de la Betsiboka, et d'HERVIEU (1968) devant les grands fleuves de l'Ouest malgache.

Avant d'aborder l'étude proprement dite, nous donnerons un aperçu des caractères généraux de la région Nord de Madagascar, ainsi que des moyens et méthodes utilisés.



NORD - OUEST DE MADAGASCAR Fig. 1

GENERALITES

I - CARACTERES GENERAUX DU NORD DE MADAGASCAR

A - GEOLOGIE

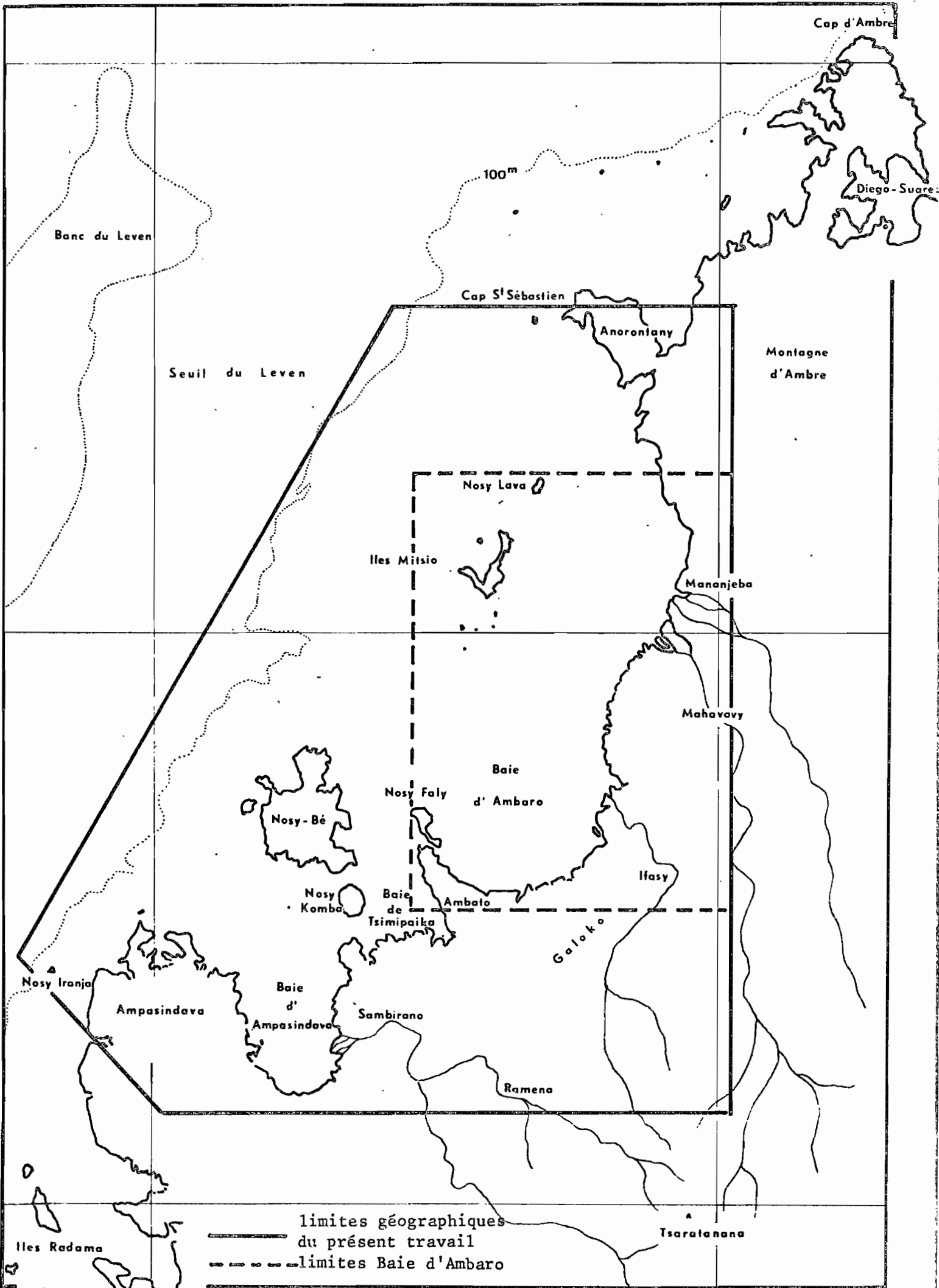
Les premières études géologiques du Nord de Madagascar sont dues aux explorateurs qui, outre leurs propres observations, ont fourni les matériaux qui permirent les études de A. LACROIX - H. DOUVILLE par exemple. La première description géologique précise a été publiée en 1906 par P. LEMOINE.

Puis, à la suite de diverses notes et cartes, H. BESAIRIE publie en 1936 un important mémoire sur la géologie du nord-ouest de Madagascar, et par la suite (1952) un mémoire sur le Bassin de Majunga. Les résultats des travaux de J. de SAINT-OURS (de 1952 - 1958) ont été rassemblés dans sa thèse (1960).

Enfin, H. BESAIRIE a, en 1965, rassemblé l'essentiel des connaissances sur la géologie de la Province de Diégo-Suarez dans un mémoire qui se réfère aux publications antérieures et aux nombreux travaux non publiés.

En plus de ces importants travaux d'intérêt général des études plus spécialisées ont été faites, parmi lesquelles nous citerons celles intéressant plus particulièrement le domaine marin : les Etudes des récifs coralliens d'A. GUILCHER (1954 - 1956 - 1965), études de la sédimentation de L. BERTHOIS et A. CROSNIER (1965 - 1966), de J. HERVIEU (1968) ; études sur la plaine d'Ambilobé de L. BERTHOIS et A. GUILCHER (1956) et enfin les études de géomorphologie et de géologie quaternaire de R. BATTISTINI (1958 à 1970).

L'île de Madagascar est constituée schématiquement (fig.3) par un socle ancien plissé, sur lequel se sont déposées, sur le côté occidental,



des formations sédimentaires allant du Permo-Trias (Karoo) au Tertiaire supérieur et Quaternaire. Ces terrains ont, par ailleurs, été affectés par des intrusions éruptives et des phénomènes volcaniques.

Le socle ancien peut constituer des reliefs importants tels que le Massif du Tsaratanana (2880 m), point culminant de l'île de Madagascar. Les terrains sédimentaires forment le long de la côte ouest une bande de largeur variable ; en effet, en certains points des bombements du socle ramènent les terrains cristallins au voisinage du Canal de Mozambique. Cette couverture sédimentaire forme un système de cuestas dont la plus importante est celle des grès de l'Isalo qui porte le nom de chaîne du Galoka au niveau de la Baie d'Ambaro. Les seconde et troisième cuestas constituées par les calcaires du Jurassique inférieur et moyen et par les grès du Crétacé moyen, n'apparaissent pas dans l'arrière pays du secteur étudié et sont surtout visibles au NE dans l'intérieur et sur la côte.

Entre ces reliefs et la côte s'étendent deux grandes plaines alluviales dont la largeur varie de 10 à 30 km, la largeur maximum étant observée dans la plaine de la Mahavavy. Les plaines de la Mahavavy et du Sambirano "présentent des caractéristiques analogues. Elles se sont formées en bordure des grès de l'Isalo par les apports de fleuves puissants, issus du Massif du Tsaratanana, qui ont longuement divagué en créant de vastes deltas" (BESAIRIE 1965). BERTHOIS et GUILCHER (1956) distinguaient trois formations dans la plaine de la Mahavavy :

- un pédiment argilo-sableux à évolution latéritique
- les plaines deltaïques
- la zone des mangroves

D'après les recherches plus récentes de GOMEZ SILVA (in BESAIRIE 1965), toute la plaine littorale d'Ambilobé correspondrait à des formations alluviales, et il est préférable d'utiliser le terme de "carapace sablo-argileuse" proposé par H. BESAIRIE. Cette carapace recouvre également la presque totalité de la presqu'île d'Ambato.

La carapace sablo-argileuse est elle-même recouverte par des alluvions deltaïques : "le delta présente une morphologie classique avec de nombreux changements de lits résultant surtout des gros apports d'eaux cycloniques, méandres à évolution rapide, levées et cuvettes de débordement" (H. BESAIRIE 1965).

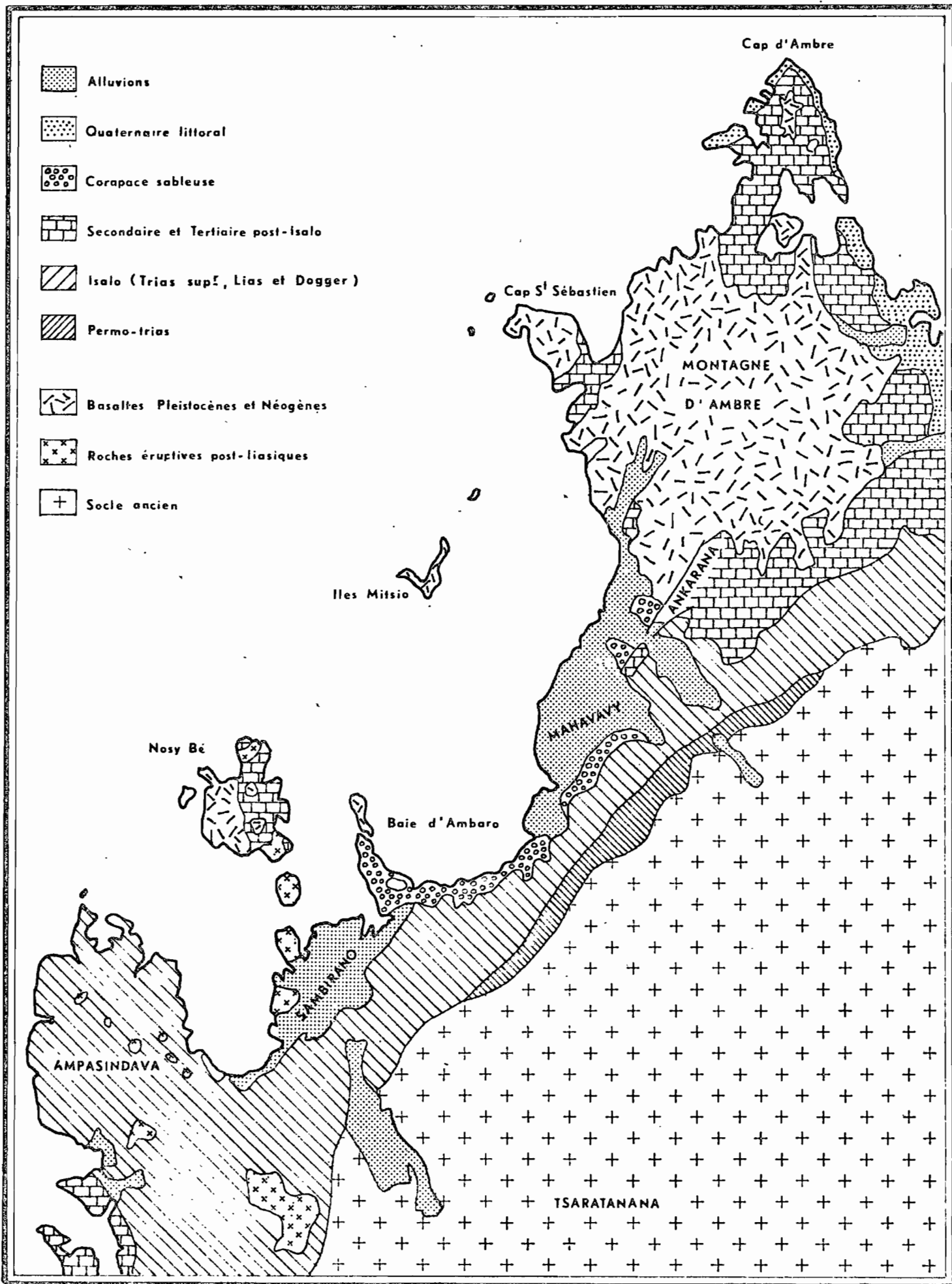


Fig. 3 Croquis Géologique

L'extension de la zone des mangroves est variable mais peut atteindre 7 kilomètres. De plus, "le delta est construit, au moins partiellement, sur le prolongement interne des vasières" (BERTHOIS - GUILCHER 1956).

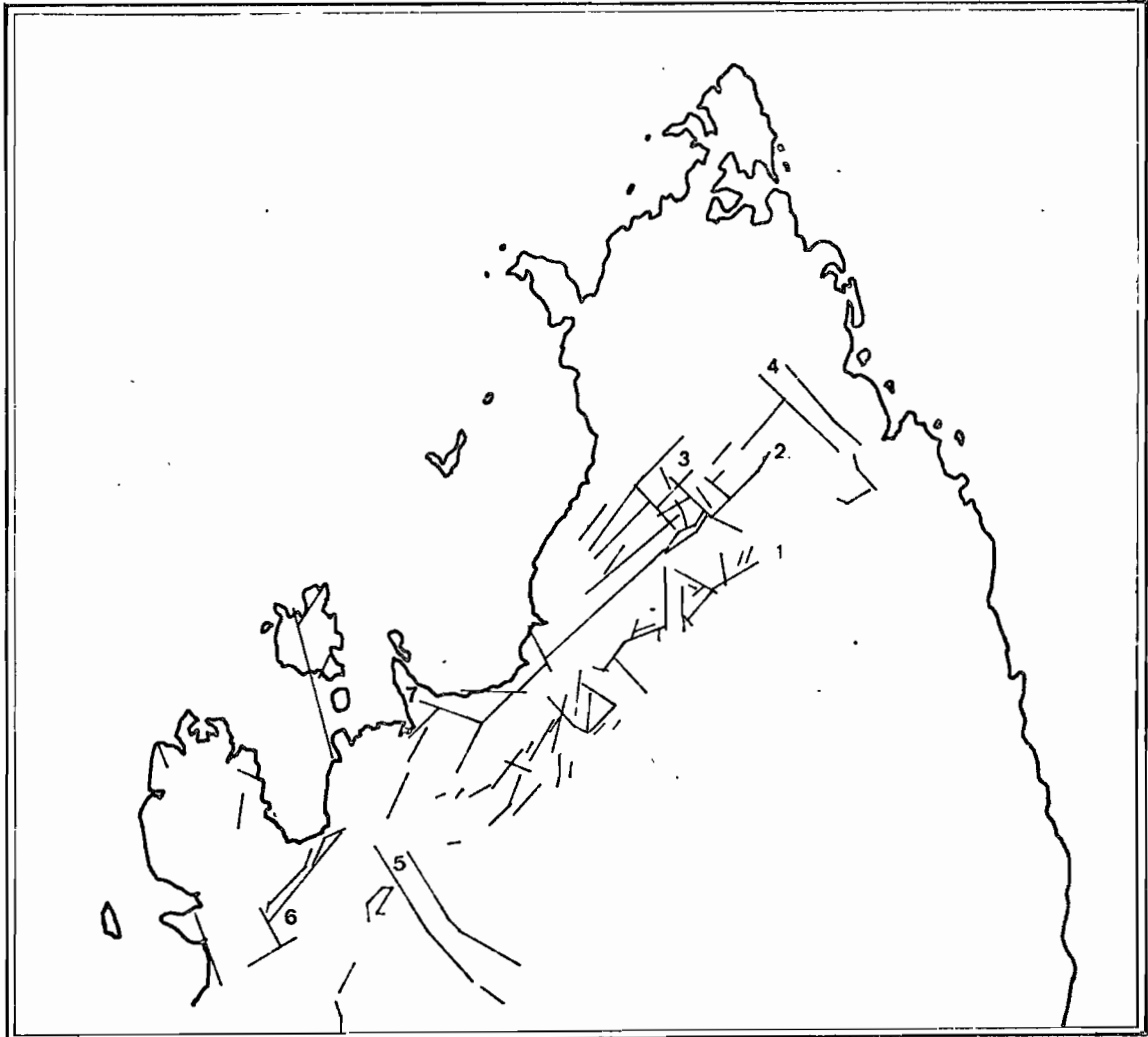
Les formations sédimentaires ont été affectées par des intrusions éruptives post-liasiques représentées par des granites alcalins, des syénites néphéliniques. Ces roches ont provoqué des déformations locales et peuvent former des reliefs importants tels que les massifs du Lokobe et de Befotaka à Nosy Bé, l'île de Nosy Komba, les Monts d'Ankify et du Sambirano et les intrusions de la presque île d'Ampasindava qui sont considérés être d'âge Oligocène. Enfin, l'activité volcanique s'est développée depuis le Miocène jusqu'au Quaternaire récent (J. de SAINT-OURS 1960) donnant des coulées et des projections de nature essentiellement basaltiques. Ainsi, la Montagne d'Ambre avec ses 1475 m domine le Nord de Madagascar. L'Archipel des Mitsio est également constitué d'îles et d'îlots essentiellement basaltiques, dont les côtes souvent escarpées en falaises contrastent avec les côtes basses bordées de palétuviers de la baie d'Ambaro. L'archipel des Radama et Nosy Iranja à l'ouest de la presque île d'Ampasindava sont en partie constitués de roches effusives. Enfin, de nombreux cratères sont apparus au Quaternaire récent dans la partie occidentale de Nosy Bé et ils ont recouvert cette région d'une couche épaisse de cinérites et de lapillis.

Tectonique -

Les directions tectoniques générales du socle cristallin sont est-ouest mais nous ne nous intéressons qu'aux mouvements ayant affecté à la fois le socle et la couverture sédimentaire. Les fractures peuvent se ranger en deux systèmes qui ont une valeur générale pour l'ensemble de Madagascar (fig. 4).

- Le système "Côte Est"

Cette direction est parallèle à la Côte Est de Madagascar, dont le tracé, rectiligne sur 1100 km, est attribué à une fracture majeure de l'écorce qui se traduit notamment par un fort gradient gravimétrique (CATTALA 1954). A ce système appartiennent la zone de fracture du contact socle-sédimentaire (fig.4) ; le grand accident continu que l'on peut suivre de la presque île d'Ambato jusqu'au fossé de l'Andranomantsy ; et enfin les failles de l'Ankarana dont la plus remarquable est celle du "mur de l'Ankarana" qui effondre le Bathonien avec un rejet de plus de 200 mètres et qui se prolonge peut-être vers le sud par les failles de Jangoa, d'Ankaramy et de Maromandia.



1 Contact Socle - Sédimentaire

2 Faille d' Ambilobé

3 Failles de l'Ankarana

4 Fossé de l' Andranomantsy

5 Fossé du Sambirano

6 Faille Ankarany - Jangoa

7 Ambato

Fig.4 Schéma Tectonique

d'après H. BESAIKIE

- Le système dit "Mozambique"

Il s'agit de fractures NNW - SSE dont les plus remarquables sont constituées par le fossé de l'Andranomantsy au Nord-est, le graben du Sambirano au sud-ouest et les fractures transversales du Plateau de l'Ankarana.

Les failles du système "Côte Est" contribuent à une descente en gradins vers le Canal de Mozambique, l'ensemble formant une zone flexurée (au sens de J. BOURCART) opposant la zone côtière en voie de subsidence au massif du Tsaratanana, en voie de soulèvement.

De plus les travaux de R. BATTISTINI (1965) concernant les altitudes des niveaux marins quaternaires montrent également une opposition entre l'Extrême-Nord, en voie de soulèvement, et la région qui nous intéresse qui, au contraire, subirait un mouvement négatif.

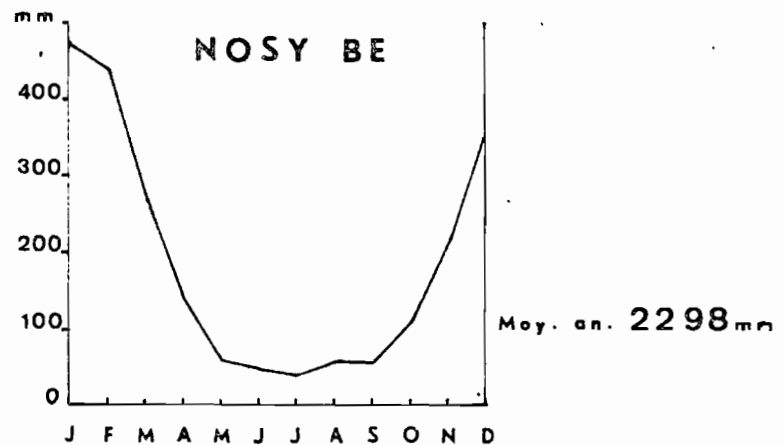
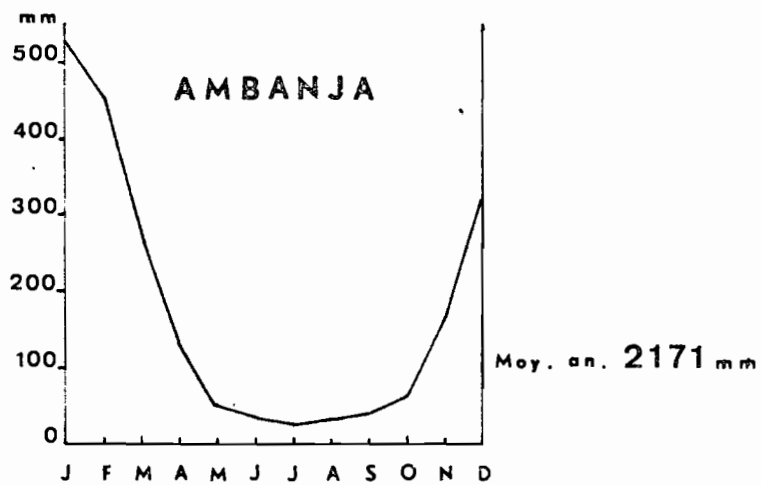
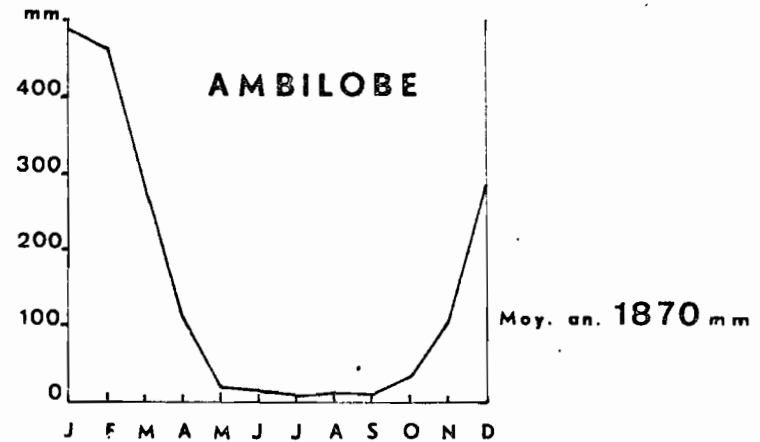
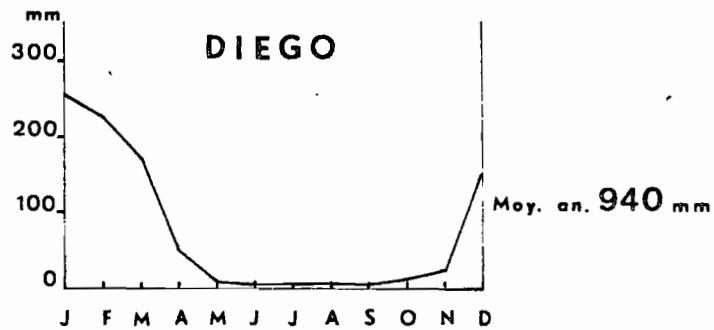
B - CLIMATOLOGIE

Le climat du Nord de Madagascar est régi par la position de l'Ile, soumise à l'alizé du Sud-Est et par les hauts reliefs du Tsaratanana et de la Montagne d'Ambre.

Les Vents.

Durant l'hiver austral, qui correspond à la saison sèche, le nord de Madagascar est soumis au alizés du Sud-Est, violents et quasi-permanents, qui sont déviés vers le Nord par les hauteurs du Tsaratanana et s'engouffrent vers l'Ouest dans la dépression de Vohémar-Ambilobé entre le Tsaratanana et la Montagne d'Ambre. Ces vents d'est sont souvent violents dans la région des îles Mitsio. Ils s'incurvent vers le Sud pour devenir nord-est dans la Baie d'Ambaro et dans la région de Nosy Bé ; ils perdent alors progressivement leur force et sont en général, suffisamment affaiblis pour être remplacés l'après midi par une brise de mer, le "talio", de secteur Ouest, provoquée par l'échauffement des terres durant la matinée. Le "talio" tombe le soir et l'alizé ou "varatrz" reprend dans le courant de la nuit.

Durant l'été austral, le Nord de Madagascar se trouve au contact d'un alizé affaibli et de la mousson Nord-Ouest à bout de course : cette situation de contact accroît l'instabilité de l'air et favorise les



Moyennes mensuelle et annuelle des pluies Fig. 5

précipitations : c'est la saison humide. Cette saison est celle de fréquents calmes plats mais aussi de cyclones. Ceux-ci arrivant de l'Océan Indien, déviés vers le Nord par le Tsaratanana, empruntent souvent la dépression Vohemar-Ambilobé pour passer près des îles Mitsio.

Les précipitations -

On peut distinguer trois régions dans le Nord de Madagascar (Fig.5) :

- La région de Nosy Bé et du Sambirano est caractérisée par des pluies annuelles assez abondantes (2200 à 2300 m/m). La saison sèche est accusée, mais sans aridité.

- La région d'Ambilobé et Diego-Suarez est soumise à des pluies moins abondantes : environ 1000 m/m à Diego-Suarez et jusqu'à 2000 m/m à Ambilobé. La saison sèche est très prononcée (7 à 8 mois).

- Les hauts reliefs (Tsaratanana, Montagne d'Ambre) font écran condensateur et reçoivent des pluies abondantes (2500 m/m sur la Montagne d'Ambre) et ne subissent pas de saison sèche.

C - HYDROGRAPHIE

Le Tsaratanana est le noeud hydrographique principal du Nord de Madagascar. Plusieurs cours d'eau en descendent vers la côte Nord-Ouest. Ce sont du Nord au Sud la Mananjéba, la Mahavavy, l'Ifasy, le Sambirano et sont affluents la Ramena. La Mahavavy avec ses 175 km et le Sambirano avec ses 110 km sont les plus importants.

Ces fleuves ont un régime très irrégulier dû aux grandes variations des précipitations. Le Sambirano, par exemple, avait eu en 1966, un débit moyen journalier de 351 m³/sec. en février contre 11,1 m³/sec. pour le mois d'Octobre. Son débit maximal a été estimé à 2000 m³/sec.

D - HYDROLOGIE MARINE

Houle -

Dans la région étudiée les houles les plus permanentes ont

une origine locale par opposition aux côtes Sud-Est et Est de Madagascar, influencées par les houles lointaines d'origine australe. Elles sont de deux sortes :

- la houle d'ouest engendrée par le "talio"
- la houle d'est à nord-est due à l'alizé.

La première reste en général assez faible, en raison de la modération du vent et de sa courte durée, la seconde, souvent faible également, peut par contre devenir assez forte vers le Nord.

En plus de ces houles dues aux vents réguliers, l'action des houles occasionnées par le passage des cyclones doit être importante pour le mouvement des sédiments. Très fortes, mais de courte durée il est possible qu'elles provoquent d'importants transports de sédiments, mais ce phénomène n'a pu être observé.

Marées -

Les marées, faibles sur la côte Est, sont très sensibles sur la côte Nord-Ouest : le marnage est d'environ 4 mètres à Hellville (Nosy BÉ), soit du même ordre de grandeur que ceux de la plupart des stations de la côte Ouest malgache; Ce marnage assez important a pour effet l'établissement de courants de marées qui peuvent être assez forts dans certaines passes.

Turbidité de l'eau -

La turbidité de l'eau de mer est essentiellement due au régime des pluies. En période de crue des fleuves, de grandes quantités de matériaux terrigènes, particulièrement argileux, provenant du lessivage des latérites, sont apportées à la mer, rendant les eaux particulièrement troubles dans les baies. Sur la partie externe du plateau continental les eaux sont en général claires.

Températures -

Les températures des eaux sont très favorables à la croissance des coraux : à faible profondeur, elles varient de 24 - 25° en août à 27 - 28° en février.

II - MOYENS ET METHODES UTILISES

Nous avons utilisé les deux bateaux océanographiques du Centre ORSTOM de Nosy Bé ainsi qu'un navire de recherches japonais le "SAGAMI MAR " lors d'une mission de 5 jours :

"Ambariaka" :

Il s'agit d'un bateau de bois de 13 mètres de long, ayant 1,50 m de tirant d'eau, que nous avons utilisé pour l'étude du plateau continental. Ce bateau est équipé d'un écho-sondeur ATLAS-WERKE 658 type Monograph 58 (Echelle 0-100 mètres. Fréquence d'émission 30 Kcs).

"Vauban" :

Il s'agit d'un ancien chalutier transformé de 25 mètres équipé d'un sondeur ATLAS-WERKE AN 658 A (Echelle 0-4000 mètres - Fréquence d'émission 30 Kcs) et d'un radar ATLAS WERKE type ATLAS 2200 de 50 milles de portée. Pour la mise à l'eau des appareils on dispose d'un treuil hydrographique et d'un treuil de pêche comportant 1800 à 2000 mètres de câble de 12 m/m. Le levage des engins est assuré par un mât de charge. La vitesse du navire est de 8 noeuds.

"Sagami Maru" :

Nous avons utilisé ce chalutier japonais à pêche arrière simplement pour une mission de 5 jours de bathymétrie sur la pente continentale du N W de Nosy Bé.

Enfin des embarcations type "zodiac" ou "Boston Whaler" ont été utilisées pour l'étude des zones très peu profondes.

A - BATHYMETRIE

A partir des sondes des cartes marines nous avons déterminé les profils d'écho-sondages, le plus souvent perpendiculairement aux lignes de plus grande pente. L'espacement des coupes est en général de 2 à 3 milles. Certaines zones plus complexes ont été quadrillées par un réseau de profils plus resserré.

Le positionnement a été déterminé selon les cas au cercle hydrographique, au radar ou à l'estime. La côte étant souvent basse et bordée de mangroves comme dans la Baie d'Ambaro, la précision des points n'est pas toujours excellente : sur le plateau continental on l'a estimée en moyenne de 0,25 à 0,50 mille et sur la pente continentale de 0,5 à 1 mille.

La qualité des enregistrements ne nous a guère permis de prolonger les coupes au-delà de 2000 mètres de profondeur. De plus, étant donné l'imprécision du positionnement les sondes n'ont pas été corrigées.

A partir des enregistrements, des cartes en courbes de niveau ont été dressées :

- plateau continental : 1 feuille au 1/200 000 et une feuille au 1/100 000 en courbes de niveau équidistantes de 10 mètres.

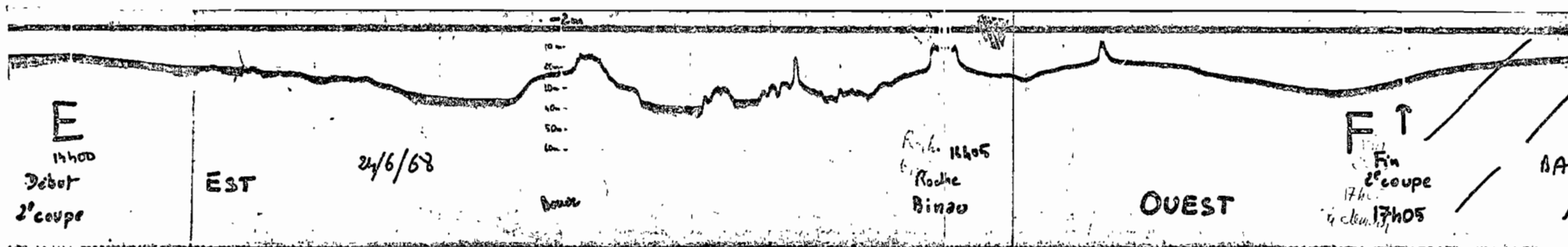
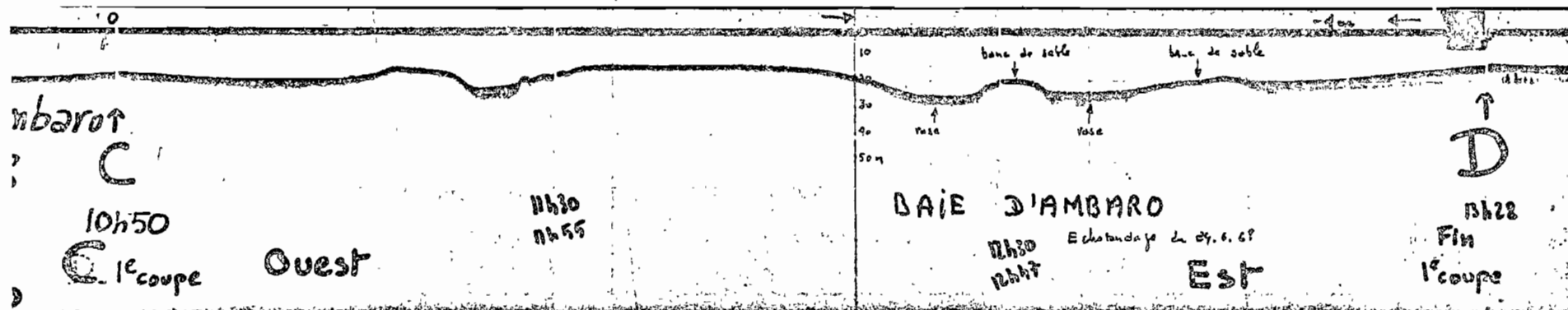
- pente continentale : 1 feuille au 1/200 000 en courbes de niveau équidistantes de 100 mètres.

B - SEDIMENTOLOGIE

Malgré la fréquence d'émission relativement élevée (30 Kcs) des écho-sondeurs, on a pu observer parfois des variations sensibles de pénétrations des ondes ultra-sonores dans les sédiments, qui ont permis de distinguer, par exemple, des sables et des vases. Dans certains cas très favorables (fig.6) on a pu observer la superposition des différents niveaux qui a été confirmée par des prélèvements.

1° Prélèvements

Les sédiments du plateau continental ont été essentiellement



Exagération verticale x 40

Fig. 6

prélevés à la benne (bennes "ORANGE-PEEL" et "SMITH et Mc INTYRE" modifiée), au cône BERTHOIS ou directement à la main sur le littoral et dans les lits des rivières. Des observations et prélèvements ont également été effectués en plongée en scaphandre autonome. Les carottages ont été faits soit par carottier à gravité (longueur 2 mètres) soit par carottier type KULLENBERG (longueur 5 mètres) construit à la station de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer (G. PAUTOT, 1969 b).

Sur la pente continentale, en plus de ces divers appareils, nous avons également utilisé une drague à roche cylindrique type "CATHERINE-LAURENCE" (Station de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer).

2° Conservation des échantillons

Les échantillons de sédiments, stockés, dans des sacs de plastique, ont été en général conservés à température ambiante, sauf les échantillons destinés à l'analyse de la matière organique qui ont été conservés à bord du "VAUBAN" en chambre réfrigérée à + 4° environ, puis à terre à -10° jusqu'à leur traitement.

3° Préparation des échantillons

Avant toute étude les échantillons ont été séchés à l'étuve à des températures variables selon leur destination :

105° pour la granulométrie et la calcimétrie

35° pour les analyses de Fer - C - N et argiles

Ensuite, pour les analyses chimiques, les sédiments ont été broyés.

4° Observation et Description des échantillons

- sédiments superficiels.

Les fractions grossières des sédiments superficiels ont été observés à la loupe binoculaire et décrits. Les résultats ont été rassemblés sous forme de diagrammes.

- carottes :

Les carottes ont été décrites sous forme de logs (avec photographies pour les parties les plus intéressantes). Divers prélèvements ont été faits pour analyses (mesure de la teneur en eau, granulométrie, calcimétrie, analyses chimiques) mais on a essayé dans la mesure du possible

de conserver une moitié de carotte intacte.

5° Analyse des sédiments

a) Granulométrie.

L'étude granulométrique complète comprend plusieurs opérations qui n'ont pas été réalisées sur tous les échantillons.

- détermination du pourcentage en "fraction fine" (éléments de taille inférieure à 40 microns) par tamisage à sec sur une colonne de tamis (GRANULOTEST - TAMISOR - colonne de 22 tamis AFNOR modules 17 à 38).

- analyse granulométrique totale. Cette opération réalisée au laboratoire de Pédologie du Centre ORSTOM de Tananarive, permet d'évaluer les pourcentages en argiles, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers (la détermination des pourcentages en éléments fins se fait par prélèvements à la pipette).

Les études granulométriques ont été faites en général sur l'échantillon brut, mais parfois également sur l'échantillons décalcifié par attaque chlorhydrique.

Les paramètres granulométriques classiques ont été définis à partir de ces analyses.

b) Détermination de la teneur en carbonates.

La teneur en carbonates a été mesurée au calcimètre BERNARD sur chaque échantillon séché et broyé. Les résultats sont exprimés en Ca CO_3 % et la précision de la mesure est d'environ 5 %.

c) Dosage du Fer total.

Le sédiment broyé est mis en solution par attaque acide oxydante. Après réduction à l'état ferreux et addition d'un complexant, le fer est dosé par spectrophotométrie (Spectrophotomètre BECKMAN DU). Les résultats sont exprimés en pourcentages de fer par rapport au sédiment sec. La précision de la mesure est de 1% pour les teneurs moyennes, mais ~~seulement~~ de 4 % pour les teneurs très faibles.

d) Dosage du Carbone Organique.

Après avoir tenté de déterminer les teneurs en matière organique par différence de poids avant et après calcination, nous avons préféré doser le carbone par oxydation par un oxydant fort et dosage en retour de la quantité d'oxydant consommée.

Le sédiment a été séché à basse température (35°) pour éviter les pertes de matière organique au cours du séchage. Par souci d'homogénéité de la prise d'essai 100 g de sédiment ont été broyés bien que le dosage proprement dit ne nécessite qu'1 ou 2 g de sédiment.

Les résultats sont exprimés en "pouvoir réducteur" (PR en milli électron-gramme/g). L'équivalence en carbone (C%) est estimée par rapport au poids sec en attribuant une formule (CHOH) à la matière organique.

$$C \% = 0,3 \text{ PR.}$$

Les erreurs absolues sur C % sont de l'ordre de 0,05 % ce qui correspond à une erreur relative sur les valeurs moyennes de 4 % ; par contre sur les faibles valeurs l'erreur relative peut atteindre 30 %.

e) Dosage de l'azote.

La méthode utilisée est le "microdosage Kjeldhal". Les résultats sont exprimés en pourcentages d'azote (N %) par rapport au poids sec. La précision de la mesure est supérieure à 5 % quand la teneur en azote est supérieure à 0,06 % ce qui est le cas pour la plupart des échantillons analysés.

f) Détermination des minéraux lourds.

Quelques analyses de minéraux lourds ont été faites, par le Laboratoire de Géologie de l'ORSTOM à Bondy d'une part, et par le laboratoire de Géologie du B R G M de Tananarive d'autre part.

Quelques mesures de radioactivité naturelle des sables ont été faites à Nosy Bé, sur des échantillons riches en minéraux lourds.

g) Etude des argiles.

Les études de minéraux argileux ont été faites en collaboration avec le laboratoire de Géologie de l'ORSTOM à Tananarive, et le laboratoire de Spectrographie de l'ORSTOM à Bondy, par spectrographie et analyse thermique différentielle.

h) Etude des roches.

Quelques échantillons de roches consolidées ont été étudiés en plaques minces.

M O R P H O L O G I E E T S T R U C T U R E S

Le plateau continental malgache est largement développé entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava : de 25 km au niveau du Cap St Sébastien, sa largeur atteint 70 km dans toute la région des îles Mitsio. Elle est d'une cinquantaine de kilomètres au Sud de Nosy-Bé. Le plateau se rétrécit à nouveau à la hauteur de la Presqu'île d'Ampasindava, devant laquelle sa largeur n'est plus que d'une dizaine de kilomètres (fig.1 et 2).

Il est bordé à l'Est par un littoral qui présente les caractères d'une côte de submergence, ainsi qu'en témoignent les côtes rocheuses et découpées des Presqu'îles d'Anorontany au Nord et d'Ampasindava au Sud (fig.2), respectivement constituées par les basaltes de la Montagne d'Ambre et par les formations grésos-schisteuses du Lias (fig.3). Ce littoral se trouve toutefois aujourd'hui régularisé dans de larges secteurs par les dépôts alluvionnaires des principaux fleuves côtiers, qui sont, du Nord au Sud : la Mananjeba, la Mahavavy, l'Ifasy et le Sambirano (BATTISTINI, 1959, 1964 ; HERVIEU, 1968) (fig. 2 et 3). Les îles les plus importantes que l'on trouve sont Nosy-Bé, Nosy Komba, Nosy Faly et celles de l'Archipel des Mitsio (1). Le plateau continental est limité à l'Ouest par un rebord continental orienté NNE - SSW, dont le tracé accuse en son milieu, par 13° de latitude, une échancrure marquée, profonde d'une dizaine de kilomètres (fig.2).

Deux grandes unités morphologiques, d'importance très inégale, disposées parallèlement au rebord continental, apparaissent distinctement sur la presque totalité du plateau : elles lui confèrent l'allure générale d'une gouttière dissymétrique, allongée suivant une direction NE - SW (fig.7, 8 et 9A).

(1) Le terme "nosy" en langue malgache signifie "île"

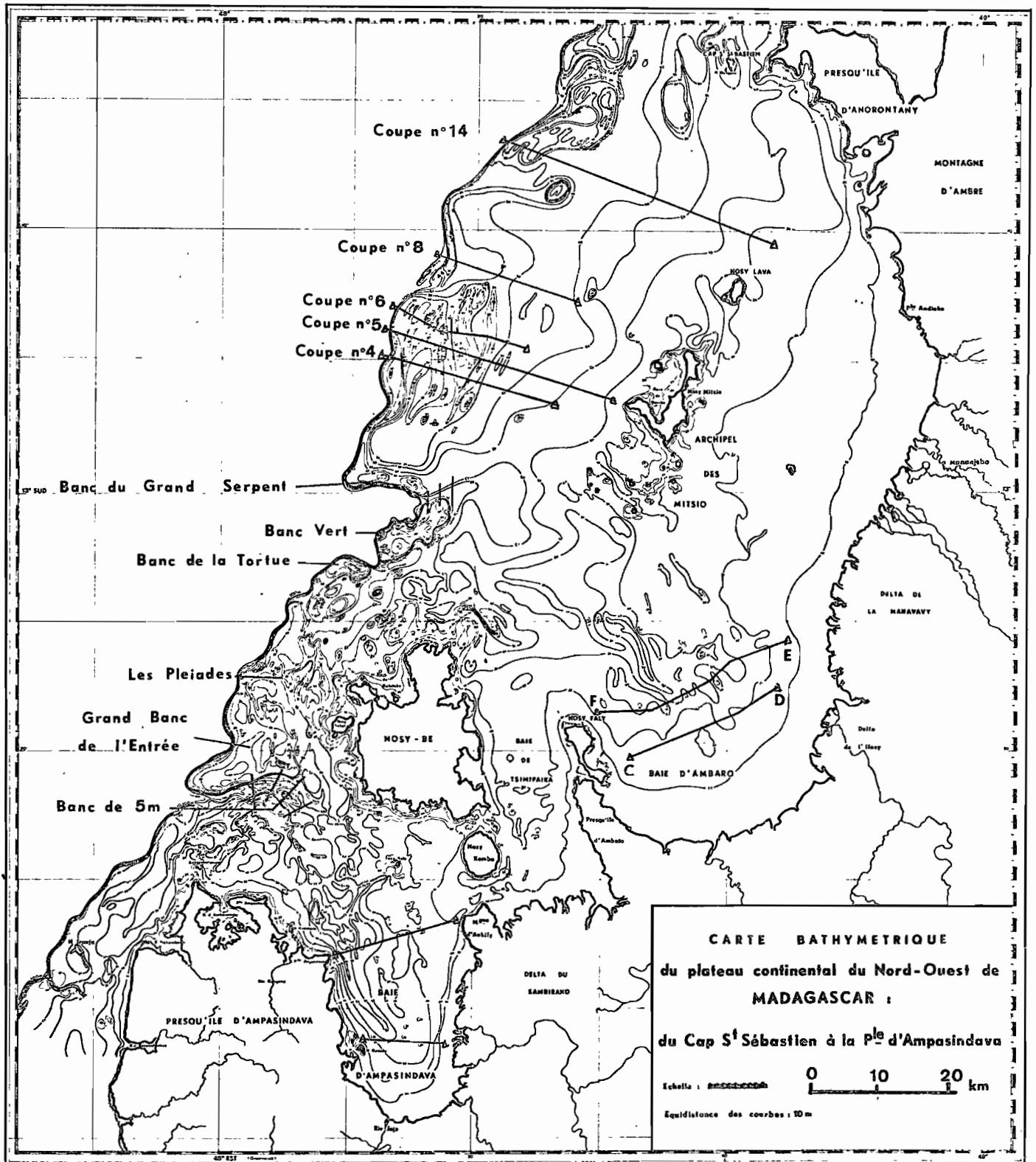


Fig. 7 : Carte bathymétrique générale.
 Situation des profils d'échosondage exposés par la suite.
 Localisation des principaux bancs.

Une zone essentiellement caractérisée par des reliefs mous et monotones, tout d'abord, s'étend depuis le littoral sur les 4/5 de la largeur du plateau, et s'abaisse lentement vers le NW jusqu'à des profondeurs allant de 60 à 95 m. Régulière au Nord des Mitsio, cette partie interne du plateau est affectée au Sud de ces îles par l'existence de dépressions bien marquées, autour desquelles le plateau s'ordonne en larges cuvettes, allongées ou évasées vers le NW. L'ensemble est perturbé par la présence de hauts fonds isolés, de nature corallienne : ces hauts fonds restent toutefois peu nombreux et de faible dimension.

La bordure externe, ensuite, est caractérisée par des reliefs très irréguliers dus superficiellement tout au moins, à une morphologie de type récifal. Les massifs coralliens vont des simples têtes de corail à de véritables bancs : ceux-ci forment une sorte de bourrelet disposé le long du rebord continental. Ce bourrelet, d'une largeur maximum de 15 km, remonte en de nombreux endroits à moins de 10 m de la surface. Il n'est toutefois pas continu : il disparaît à trois reprises, sur 6 km à l'Ouest de Nosy Lava (l'île la plus septentrionale de l'Archipel des Mitsio), sur 6 et 4 km au NW de Nosy-Bé ; il est également interrompu par des passes plus étroites mais également profondes qui font communiquer la partie interne du plateau avec le rebord continental. Vers le large, le début de la retombée sur les grands fonds s'effectue presque toujours de manière brutale : on l'observe entre 13 et 100 m de profondeur selon le type de relief que l'on trouve sur la zone de bordure correspondante du plateau.

La limite géographique entre ces deux grandes unités morphologiques est franche dans toute la moitié septentrionale du secteur : elle se situe bien au large des îles Mitsio. Elle apparaît souvent moins nettement dans la moitié méridionale : la distinction peut être faite néanmoins grâce à l'abondance des petits massifs coralliens existant dans la zone de bordure externe, conférant à cette dernière, sur les enregistrements d'écho-sondages, une structure "en aiguilles" caractéristique⁽¹⁾ (fig.10) : ces massifs coralliens sont beaucoup plus rares dans la zone interne. Toute la région située au NW de Nosy-Bé appartient ainsi à la partie externe du plateau, de même que la région située à l'Ouest d'une ligne joignant Nosy Sakatia (côte NW de Nosy-Bé) à la pointe Ampoahana (Nord de la

(1) Il convient de se rappeler que sur les enregistrements d'écho-sondage, l'échelle verticale est très exagérée (40 fois environ) par rapport à l'échelle horizontale, d'où cette structure "en aiguilles".

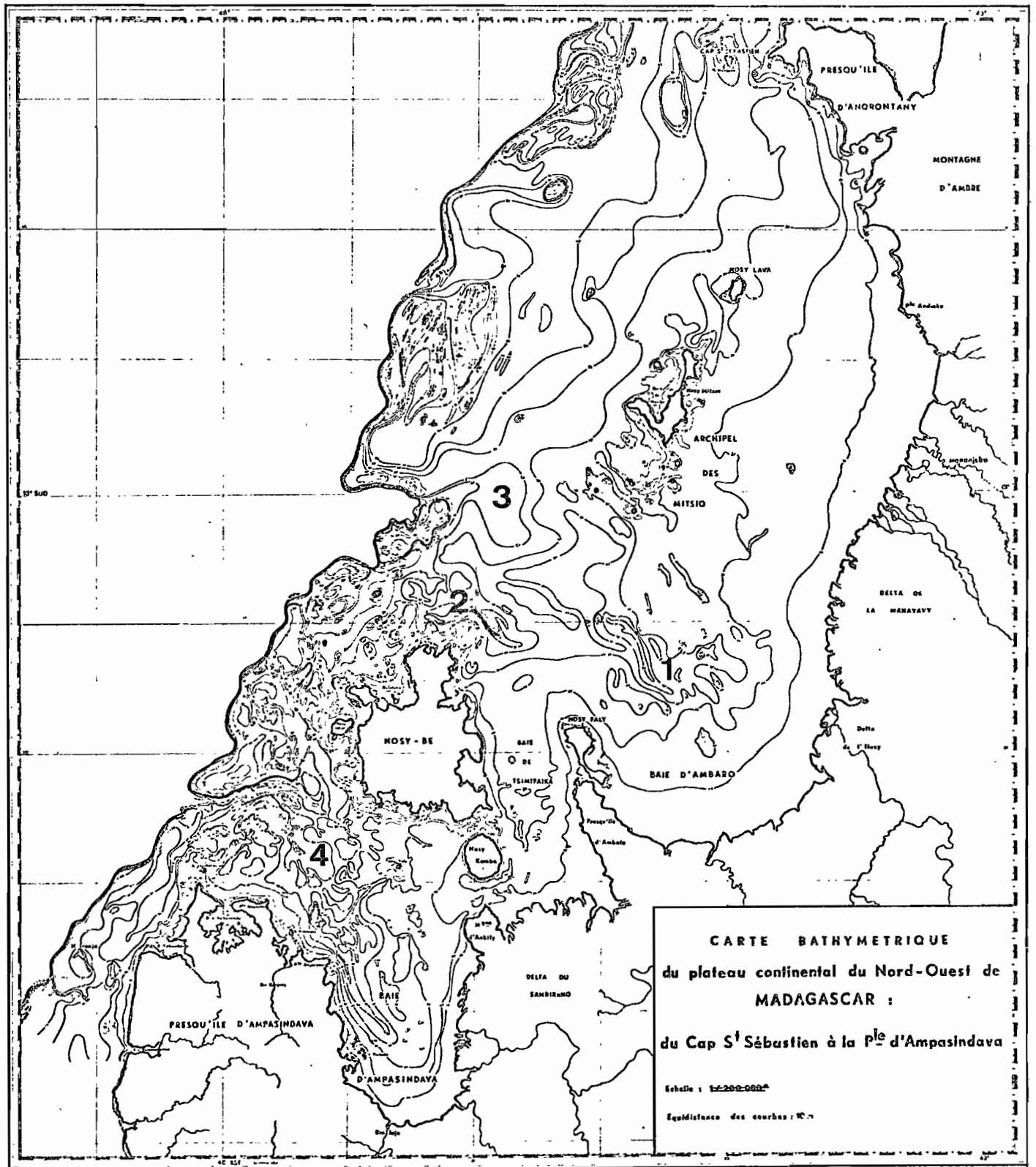


Fig. B. - Le système de cuvettes

- 1 - Cuvette de la Baie d'Ambard
- 2 - Cuvette du NE de Nosy-be
- 3 - Cuvette du Grand Serpent
- 4 - Cuvette du Sud de Nosy-be.

Presqu'île d'Ampasindava) et toute la partie du plateau située à l'Ouest de la Presqu'île d'Ampasindava.

I - LA ZONE INTERNE DU PLATEAU CONTINENTAL

La zone interne du plateau continental est de beaucoup la plus étendue. Ceci est particulièrement visible dans la région des îles Mitsio, où l'on peut l'estimer aux 5/6 de la surface du plateau. Elle n'en occupe par contre que les 2/3 dans la région comprise entre Nosy-Bé et la Presqu'île d'Ampasindava, par suite de l'extension des reliefs coralliens de la bordure externe dans ce secteur.

A - Les grandes lignes du relief - Les valeurs de la pente

Faisant suite à un ressaut souvent accentué, de l'ordre de 5 à 10m, marquant la limite externe de l'estran, le plateau s'abaisse lentement jusqu'au pied du bourrelet externe, pour atteindre des profondeurs variant de 60 à 95 m dans la région des îles Mitsio, de 60 à 75 m dans la région située entre Nosy-Bé et la Presqu'île d'Ampasindava. Les valeurs moyennes de la pente dans cette partie interne du plateau, calculées sur chaque profil d'écho-sondage mené perpendiculairement au rebord continental, entre les isobathes de 10 et de 70 m (de 60 m là où ce dernier n'est pas atteint) varient de 1,1 à 2,1 pour mille.

La pente est plus régulière dans la moitié Nord du secteur que dans la moitié Sud, non seulement en intensité mais aussi en direction. Au Nord et à la hauteur des îles Mitsio, la partie interne du plateau présente l'allure d'un vaste plan incliné, dont la ligne de plus grande pente reste perpendiculaire au rebord continental (fig.8). Au Sud, au contraire, les courbes de niveau ont tendance à s'ordonner d'une manière concentrique autour de dépressions bien marquées dans le paysage. Les

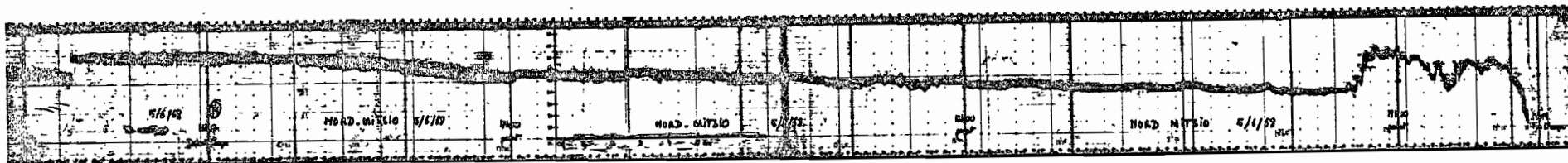
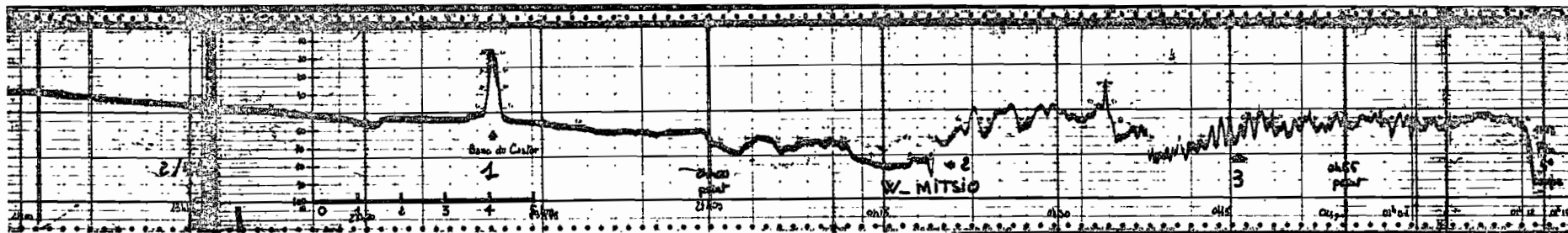


Fig. 9 : A. Coupe n° 14. Allure générale du plateau.



B. Coupe n° 5. 1. Haut-fond à revêtement corraligène de la partie interne du plateau. 2. Dépression allongée au pied du bourrelet externe. 3. Dunes hydrauliques.

ainsi un système de larges cuvettes, allongées ou évasées vers le NW.

1° La limite externe de l'estran

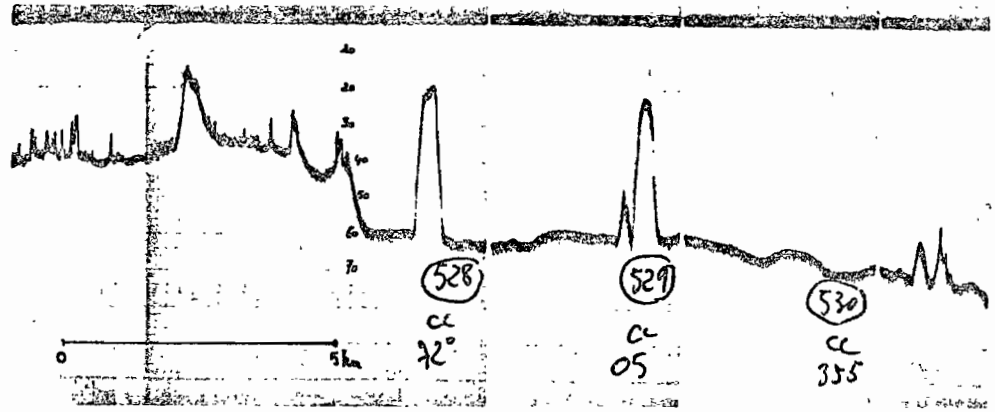
Devant les deltas des principaux fleuves côtiers, l'estran est limité vers le large par un ressaut de 5 à 10 m. Devant l'embouchure actuelle du Sambirano, en Baie d'Ampasindava, l'isobathe de 20 m lui-même ne se trouve qu'à 500 m de la limite de l'estran : ceci reste toutefois une exception. Ce ressaut se traduit par des pentes relativement élevées, dont les valeurs peuvent varier de 0,3 % à 4 % : elles sont généralement de l'ordre de 0,5 %.

De même, la limite externe des récifs frangeants, qui bordent pratiquement toutes les côtes rocheuses de la région, se traduit par un à-pic d'une dizaine de mètres. La pente reste alors souvent accentuée jusqu'à 20 m et même 30 m de profondeur. Ceci tient principalement au substratum sur lequel se sont installées ces formations coralliennes.

2° Au Nord et à la latitude des îles Mitsio

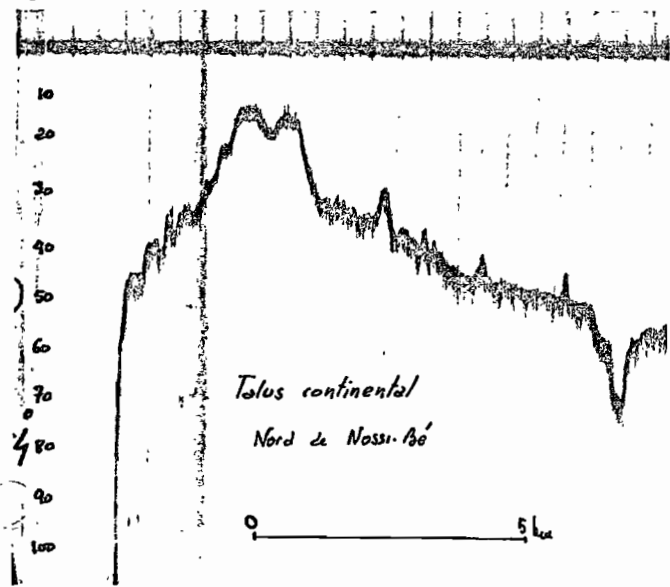
Au Nord et à la latitude des îles Mitsio, les isobathes restent grossièrement parallèles au rebord continental (fig.7). Ceci est visible dès la courbe des 10 m dans la majeure partie du secteur, en particulier en face des estuaires de la Mananjeba et de la Mahavavy. On note simplement une rupture de pente assez nette aux environs de la ligne des 30 m (fig.7) : de 10 à 30 m, c'est-à-dire depuis le littoral jusqu'à l'Archipel des Mitsio, la valeur de la pente est de l'ordre de 0,7 pour mille. Au-delà, de 30 à 70 m, elle est comprise entre 1,2 et 1,5 pour mille.

Le rétrécissement fortement accentué du plateau à la hauteur de la Presqu'île d'Anorontany, à l'Extrême Nord du secteur, perturbe en partie cette disposition. Si les fonds de 30 à 70 m ne sont pratiquement pas affectés (la pente reste en effet comparable en valeur

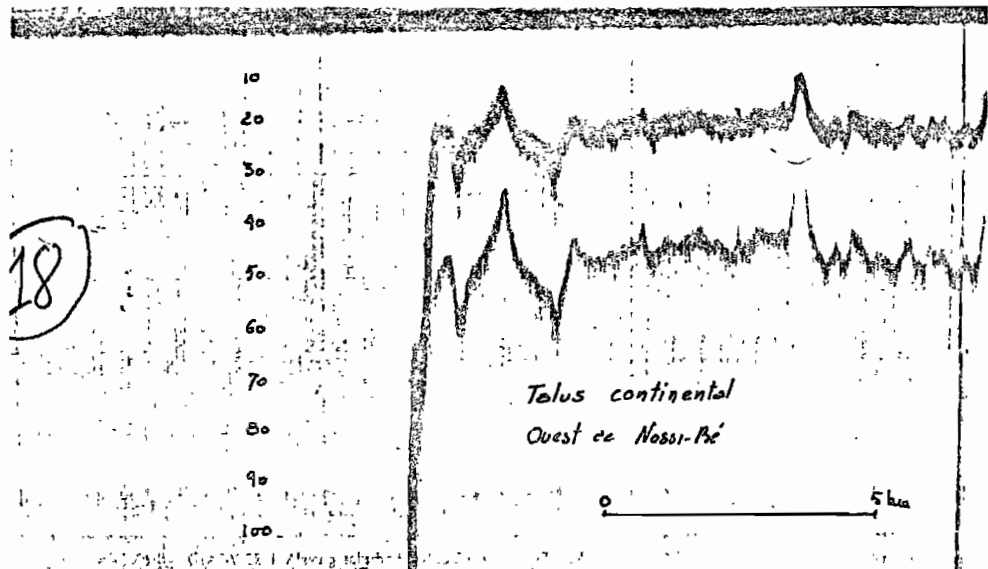


a : NW de Nosy Be. Zone à pinables.

Fig. 10 : Reliefs de la bordure externe



b : Banc de la Tortue.



c : Grand Banc de l'Entrée. Noter le décrochement à -64 m.

et en direction à celle que l'on observe plus au Sud), les isobathes de 10 à 30 m suivent la courbure de la ligne de rivage et se trouvent considérablement resserrées (fig.7) : la pente prend entre 10 et 30 m de profondeur des valeurs relativement élevées, qui varient entre 5 et 10 pour mille.

La valeur de la pente reste parfois constante jusqu'au pied du bourrelet externe, qui s'élève alors soudainement au-dessus de fonds voisins de 70 m. Souvent, cependant, elle s'accroît à l'approche du bourrelet, au-delà de la ligne des 70 m : il en résulte l'existence de dépressions allongées parallèlement à celui-ci (fig.7). A la hauteur de Nosy Lava, le bourrelet externe disparaît complètement sur 6 Km : le plateau garde alors une pente constante jusqu'au rebord continental, qui à cet endroit se confond avec l'isobathe de 80 m.

3° Du Sud des îles Mitsio à la Presqu'île d'Ampasindava

La disposition régulière des courbes de niveau, qui caractérise la région Nord du secteur, fait place à partir du Sud de l'Archipel des Mitsio à un système de larges cuvettes, disposées en fonction d'accidents remarquables que constituent des dépressions à la surface du plateau ou certaines passes profondes au travers du bourrelet externe (fig.7 et 8).

C'est ainsi qu'en Baie d'Ambaro "l'allure générale du relief est celle d'une cuvette ouverte au NW, dont le pourtour épouse la courbure du rivage de la baie, et dont le centre est formé par une dépression allongée SE - NW de plus de 50 m de profondeur" (DANIEL, thèse 3e cycle).

Des fonds d'une trentaine de mètres séparent cette cuvette de la Baie d'Ambaro au NW de deux autres zones dépressionnaires, elles-mêmes séparées par des fonds d'une quarantaine de mètres. L'une s'allonge de part et d'autre d'une véritable fosse, profonde de 95 m, située à 6 km seulement de la pointe NE de Nosy-Bé. Peu marquée, cette cuvette semble se prolonger au NW par des fonds de 50 à 60 m jusqu'à une passe qui sépare le Banc Vert du Banc de la Tortue. La seconde, plus large, mieux marquée que la précédente, s'évase au NW par l'intermédiaire d'une passe, profonde de 70 m, qui sépare le Banc du Grand Serpent du Banc Vert.

Dans toute cette région, la pente est essentiellement variable en valeur et surtout en direction.

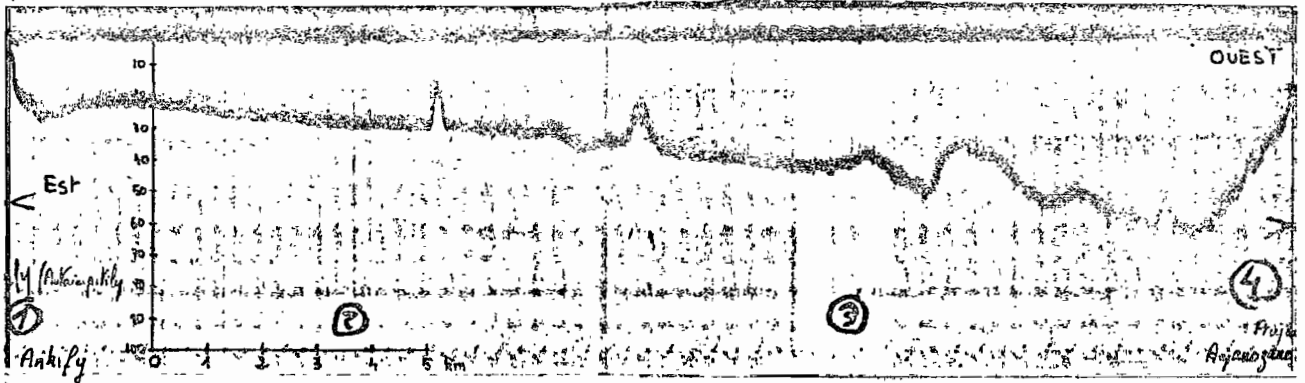
Au Sud de Nosy-Bé, l'allure générale du relief est celle d'une cuvette allongée et dissymétrique, occupant l'ensemble de la Baie d'Ampasindava et se prolongeant au NW par une zone basse, en forme de gouttière, jusqu'à la passe qui sépare le Grand Banc de l'Entrée du Banc de 5 m. La dissymétrie qui affecte la morphologie de la Baie d'Ampasindava est très nette (fig.11) : si les courbes de 10 m et de 20 m suivent en effet approximativement le dessin de la ligne de rivage, celles des 30 et 40 m s'éloignent considérablement de la côte Est, mais restent très proches de la côte Ouest. De 10 à 40 m, la valeur moyenne de la pente de la partie orientale varie de 0,25 à 0,5 pour cent, alors que celle de la partie occidentale pour les mêmes profondeurs est de 2,5 pour cent à la hauteur de Nosy Mamoko et surtout de 4,3 pour cent à la pointe Anjanozano. On observe un ombilic près de cette pointe Anjanozano, profond de 63 m.

A la sortie de la Baie d'Ampasindava, la zone dépressionnaire s'élargit notablement avant de traverser obliquement le plateau, jalonnée par plusieurs dépressions fermées de plus de 60 m, dont un ombilic de 74 m de profondeur. Ces différentes dépressions sont séparées par des fonds irréguliers de 40 à 50 m.

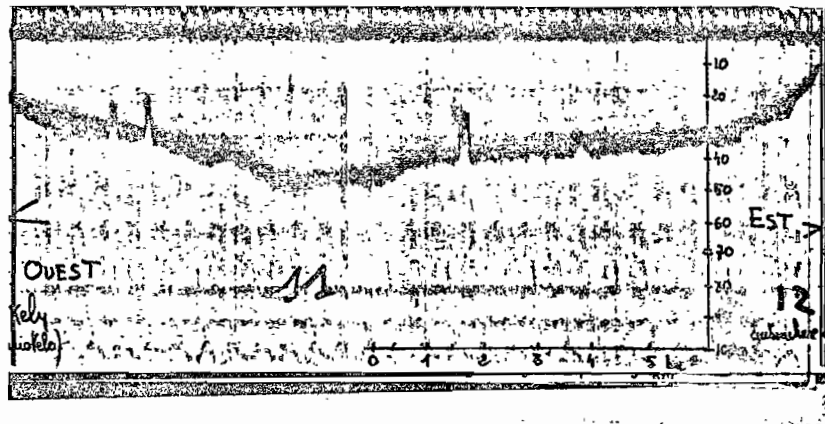
B - Les différents types du relief

Dans le détail, deux types de reliefs caractérisent la partie interne du plateau continental : des zones à fonds plats et très réguliers, sans accident visible, alternant avec des zones affectées d'ondulations irrégulières, dont l'amplitude ne dépasse toutefois jamais 15 m. Ce second type de relief prédomine largement. Il est possible par endroits de voir sur les enregistrements d'écho-sondage les formations ondulées plonger sous les premières et de les suivre ainsi enfouies sur de grandes distances (fig.6 et 9).

A ces deux types essentiels du relief s'ajoutent des acci-



a : coupe Nord : Montagne d'Ankify - Pointe d'Anjanozano.



b : coupe Sud:de Nosy Kely (Ambariotelo) à l'embouchure du Sambirano.

Fig. 11: 2 coupes transversales de la baie d'Ampasindava.

dents locaux : il s'agit en particulier de dépressions allongées en relation avec la morphologie générale de la région, et de hauts fonds, de nature corallienne au moins en surface, dont le nombre et l'étendue restent toutefois limités.

1° Les fonds plats et réguliers

On observe dans certains secteurs des fonds plats et très réguliers, à pente douce vers le large. Quatre zones principales, caractérisées par ce type de relief, peuvent être signalées. Elles s'étendent respectivement du Nord au Sud :

- du Cap St Sébastien à l'estuaire actuel de la Mahavavy
- devant l'estuaire de l'Ifasy, en Baie d'Ambaro
- à l'Est de Nosy-Bé et autour de Nosy Faly
- devant l'estuaire actuel du Sambirano, en Baie
d'Ampasindava.

On en trouve également, mais d'étendue plus restreinte, devant l'embouchure de la rivière Kingony, au NE de la Presqu'île d'Ampasindava, près de Nosy Kisimany, ainsi qu'en Baie de Befotaka (côte septentrionale de Nosy-Bé).

C'est donc en bordure de la zone littorale, et tout particulièrement devant les estuaires actuels des principaux fleuves côtiers que l'on rencontre ce type de relief. La zone la plus septentrionale, qui s'étale depuis l'embouchure des fleuves Mahavavy et Mananjeba jusqu'au Cap St Sébastien, est celle qui offre le maximum d'extension : cette zone occupe à elle seule près de la moitié du plateau continental situé au Nord de Nosy Lava.

Il est possible, sur les échogrammes qui se rapportent à cette région du Nord, de suivre en continuité un réflecteur sous-jacent, au profil irrégulièrement ondulé, sur des distances allant jusqu'à 20 km (fig.9). De tels réflecteurs apparaissent dans chacune des autres zones à fonds plats, mais sur de moins grandes distances.

2° Les formations ondulées

Le réflecteur sous-jacent émerge peu à peu vers l'Ouest, d'abord à l'état de dômes ou de bosses isolés au milieu de fonds plats : on en trouve de beaux exemples en Baie d'Ambaro (fig.6). Puis il émerge complètement aux alentours de 50 m de profondeur au Nord de Nosy Lava, de 20 m à l'Est des îles Mitsio, enfin de 30 m en Baie d'Ampasindava, sans que cela n'affecte la pente générale du plateau.

Le relief est alors formé d'une succession d'ondulations aux formes les plus divers, sans disposition régulière. Leur amplitude est très variable, elle reste cependant toujours faible : le plus souvent comprise entre 1 et 5 m, elle atteint jusqu'à 25 m pour les plus grandes. De même leur longueur d'onde est variable : les ondulations peuvent être courtes, de l'ordre de la centaine de mètres, mais peuvent avoir une longueur d'onde de l'ordre de 5 km, comme celles que l'on observe à l'Est des îles Mitsio.

Ce type de relief occupe la plus grande partie de la zone interne du plateau : il recouvre en particulier toute la région située à l'Ouest des îles Mitsio, ainsi qu'un large secteur au Sud de ces îles ; il caractérise également la région comprise entre Nosy-Bé et la Presqu'île d'Ampasindava, la moitié Ouest de la Baie d'Ampasindava, enfin la moitié Sud de la Baie de Tsimipaika.

3° Les formes secondaires du relief

Des accidents locaux rompent par endroits la monotonie du paysage, due aux deux formes de relief précédentes : il s'agit soit de dépressions, soit de hauts fonds.

a) Les dépressions

La surface du plateau est entaillée par des dépressions dont les contours se définissent par un accroissement sensible de la pente.

Deux d'entre elles longent le bourrelet externe à la

latitude de Nosy Mitsio d'une part, du Cap St Sébastien d'autre part. La première, de beaucoup la plus importante, s'individualise à partir de la ligne de 70 m (fig.9 et 12). Elle constitue une dépression fermée au-delà de 80 m, allongée sur 16 km du Nord au Sud, large au maximum de 2 km. Elle dépasse en deux endroits la profondeur de 90 m, pour atteindre même 94 m. Sur certains profils, cette dépression présente un approfondissement marqué d'une dizaine de mètres, large de 100 à 150 m, caractérisé par une forme en "V". La seconde de ces dépressions, située à la hauteur du Cap St Sébastien, est de dimensions plus modestes : elle est longue de 4 km et large de 500 m. Egaleme nt profonde de 95 m, elle est par contre beaucoup plus encaissée. Nous verrons plus loin qu'elle se prolonge par une passe au travers du bourrelet externe.

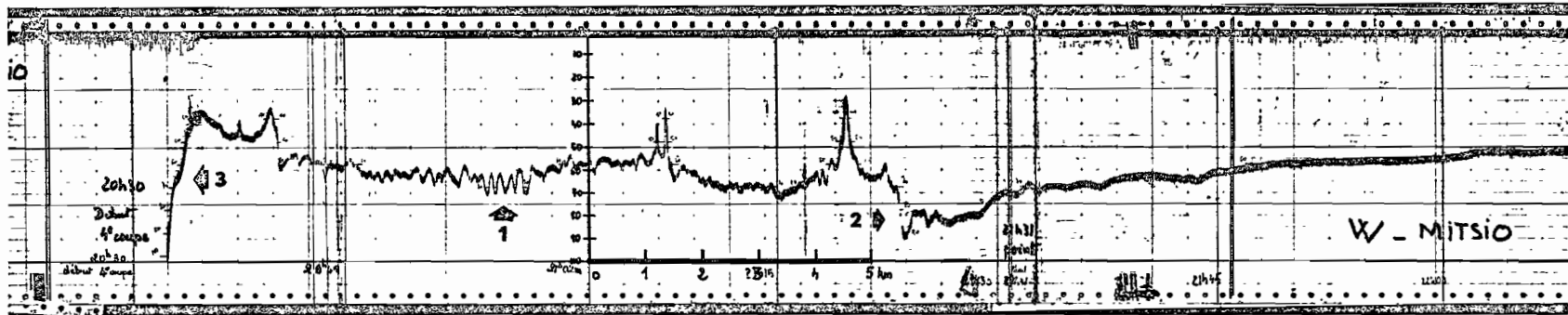
Trois autres dépressions, toutes allongées suivant un axe NW - SE, forment le centre des larges cuvettes qui constituent les grandes lignes du relief du plateau au Sud de l'Archipel des Mitsio. Ce sont la dépression de la Baie d'Ambaro, la fosse du NE de Nosy-Bé et la dépression d'Anjanozano.

- La dépression de la Baie d'Ambaro (DANIEL, thèse 3e cycle)

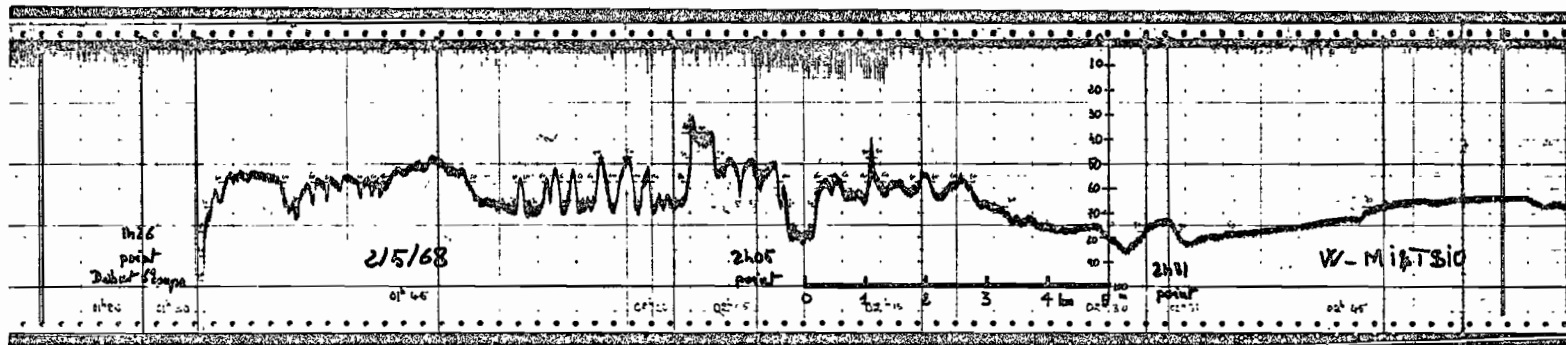
La dépression de la Baie d'Ambaro s'individualise par une rupture de pente aux environs de la ligne des 30 m. Elle est fermée en ombilic à partir de celle des 40 m : elle prend alors la forme d'une "S" inversé et allongé sur 15 km du NW au SE. Sa profondeur maximum est de 56 m. Elle se ramifie en deux digitations au Sud, de part et d'autre d'un haut fond, le Banc Kirota (fig.6) dans cette partie Sud, les formes du relief sont en partie régularisées par des fonds plats, analogues à ceux décrits précédemment.

- La fosse du NE de Nosy-Bé

Il existe à 6 km au NE de Nosy-Bé une dépression fermée particulièrement bien marquée, qui mérite l'appellation de "fosse" (fig.13). Elle s'individualise à partir d'une profondeur variant de 40 à 50 m par une rupture de pente très nette au milieu de fonds légèrement bosselés : les pentes, symétriques, sont raides et évaluées à 20 %. Longue de 7 km, d'une largeur maxima de 400 m, elle atteint 95 m de profondeur, ce qui est considérable à cet endroit du plateau. De même que la dépression de la Baie



a - coupe n° 4 : 1 = dunes hydrauliques. 2 = dépression allongée au pied du bourrelet externe.
3 = décrochement à -65 m (début de la pente).



b - coupe n° 6 : les dunes hydrauliques sont ici très bien marquées.

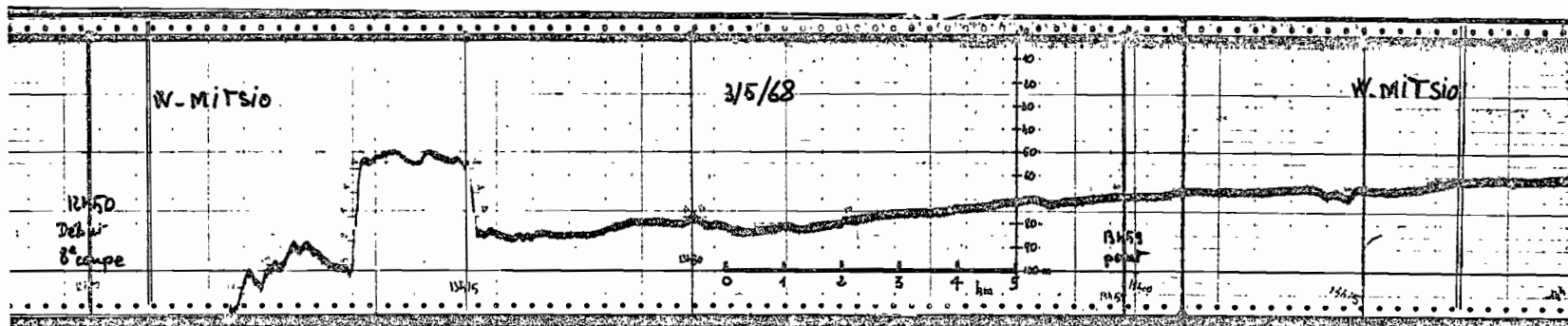


Fig. 12 : Bordures des coupes n° 4, 6 et 8. c = coupe n° 8. La zone de bordure est ici très limitée.

d'Ambaro, elle esquisse la forme d'un "S" inversé et allongé suivant une direction préférentielle NW - SE. En coupe, elle présente une allure en "V" prononcée.

- La dépression d'Anjanozano

La dépression d'Anjanozano, située à l'entrée NW de la Baie d'Ampasindava, constitue la partie la plus basse de la cuvette qui occupe l'ensemble de cette baie. Elle apparaît à la suite de l'accroissement progressif de la pente à partir des isobathes de 40 et 50 m (fig.11). Les flancs en restent cependant modérément inclinés : 4,3 % au maximum, au pied de la pointe Anjanozano. La partie centrale de cette dépression est occupée par un ombilic matérialisé sur la carte bathymétrique par la courbe des 60 m. Cet ombilic est toutefois peu important, la profondeur maximum atteinte étant de 63 m : large de 300 m, il s'allonge sur 4 km du NW au SE.

Il convient en outre de mentionner ici le petit ombilic de 74 m de profondeur que l'on observe dans la large gouttière qui prolonge la dépression d'Anjanozano jusqu'à la passe du Banc de 5 m. Situé par 13° 27' de latitude Sud, à 5 km au SE du Banc de 5 m, il s'individualise à partir des lignes de niveau de 50 à 60 m. Large de 200 m, il s'allonge sur 2 km du SE au SW.

b) Les hauts fonds

On observe d'autre part, s'élevant brusquement au-dessus du plateau, des hauts fonds de nature corallienne, du moins en surface. Isolés les uns des autres, ces hauts fonds restent à l'échelle du plateau, relativement rares.

La plupart d'entre eux possèdent des dimensions réduites. On les trouve surtout dans le fond des baies : les plus connus sont le Banc Kirota ou le Banc des Etuis en Baie d'Ambaro, le Banc de la Lanterne en Baie de Tsímipáika, le Banc de l'Héloïse ou le Banc du Touareg en Baie d'Ampasindava. Ces reliefs s'élèvent en moyenne de 5 à 10 m, parfois d'une vingtaine de mètres, et culminent souvent à quelques mètres seulement de la surface de l'eau. Ils existent aussi bien dans les zones à fonds plats que dans celles à fonds bosselés : au milieu des premières, les structures

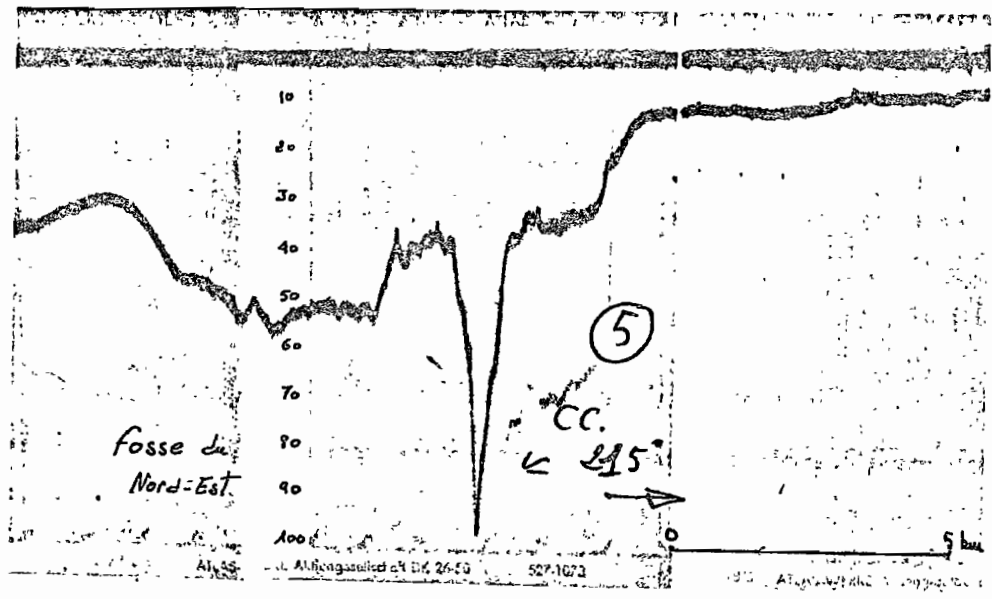
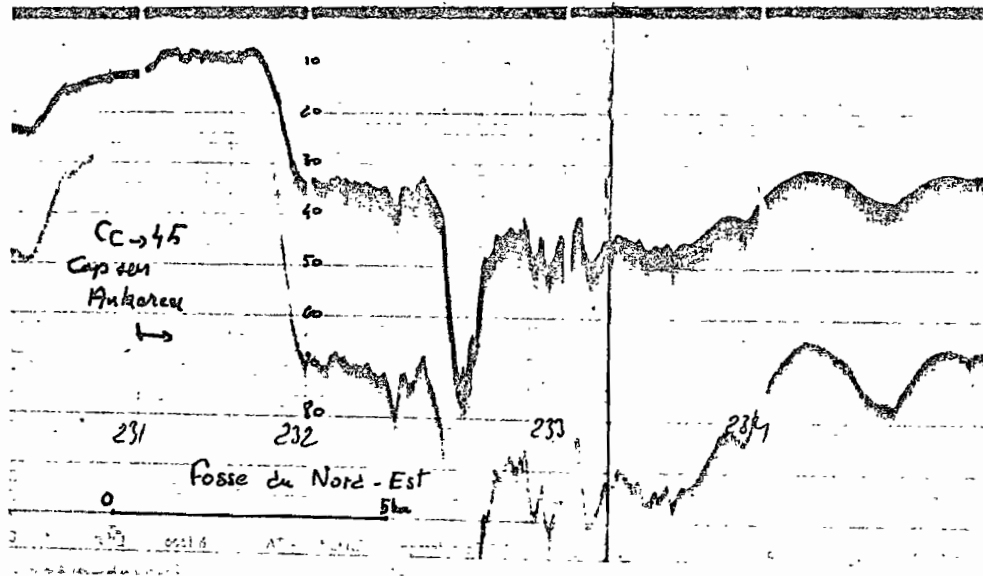


Fig. 13 : La fosse NE de Nosy Bé.

observées sur les échogrammes montrent qu'ils sont partiellement enfouis (fig.6 et 11).

Plusieurs hauts fonds possèdent des dimensions plus importantes. On les trouve essentiellement à l'Ouest des îles Mitsio : ce sont en particulier les Bancs de la Dives, du Castor ou d'Ankarea (fig.9). Ils se présentent sous la forme de dômes bien circonscrits, s'élevant brusquement d'une hauteur de 30 à 40 m au-dessus de fonds de 40 à 60 m. Leurs diamètres sont de l'ordre du demi-kilomètre. Ils peuvent prendre une allure plus trappue, comme le massif situé au NW de Nosy Lava, non loin du bourrelet externe du plateau. Ce massif, haut de 50 m, d'un diamètre de 2 km, domine des fonds de 70 m ; son sommet, situé à 20 m de la surface, est relativement plat.

Il y a enfin, à quelques milles au SW de Nosy Mananono dans la région du Cap St Sébastien, un relief plus important par son étendue, et qui ne semble pas être rattaché morphologiquement au bourrelet externe. Ce massif s'allonge sur environ 8 km du Nord au Sud : large d'environ 4 km, il s'élève au-dessus de fonds d'une cinquantaine de mètres. Le sommet, qui reste situé à des profondeurs de 20 à 30 m, présente un relief irrégulier, de type récifal : il est en particulier surmonté de petits pinacles coralliens.

II - LA BORDURE EXTERNE DU PLATEAU CONTINENTAL

La bordure externe du plateau continental est caractérisée par un relief très irrégulier qui l'oppose à la partie interne (fig.9 et 12). Ce relief prend des formes très diverses. Il est constitué pour les 2/3 de bancs d'allure massive, de nature récifale en surface, et dont l'ensemble forme une sorte de bourrelet discontinu disposé le long du rebord continental. Le sommet de ces divers bancs se situe, pour la plupart, entre 5 et 10 m de profondeur. Leur largeur varie de 2 à 13 km. On peut les suivre

parfois sans interruption sur 30 km.

Ces bancs ne sont cependant pas les seules formes du relief de la bordure externe du plateau : ils sont remplacés au NW de Nosy-Bé et dans le voisinage de la Presqu'île d'Ampasindava par des hauts fonds nombreux, mais de dimensions beaucoup plus restreintes. Ces reliefs sont séparés les uns des autres par des fonds plus réguliers, de l'ordre de 50 à 70m, qui s'apparentent aux formations mollement ondulées de la partie interne du plateau. Il n'y a plus alors à proprement parler de bourrelet externe : la distinction morphologique entre partie interne du plateau et partie externe devient ici moins évidente, et c'est plutôt à un type mixte que l'on a affaire.

La zone de bordure du plateau située à la hauteur des îles Mitsio, est caractérisée, outre la présence de nombreux hauts fonds, par celle de dunes hydrauliques bien développées.

D'autre part, des passes étroites et profondes entaillent le bourrelet externe : elles font ainsi communiquer la partie interne du plateau avec le rebord continental sans dénivellation notable.

Vers le large, le début de la retombée sur les grands fonds, qui marque la limite externe du plateau continental, se fait presque toujours de manière brutale. Elle se situe entre 13 et 110 m de profondeur suivant le type de relief qui affecte la zone de bordure du plateau à l'endroit considéré. Lorsqu'elle commence par une profondeur inférieure à 40 m, cette retombée se trouve curieusement affectée par une sorte de décrochement plus ou moins net, entre 45 et 70 m de profondeur (fig.9).

A - Les bancs coralliens

De nombreux bancs, caractérisés par leur allure massive, jalonnent le rebord continental. On peut citer parmi les plus importants : le Banc que l'on trouve à la hauteur du Cap St Sébastien, le Banc du Grand

Serpent, le Banc Vert, le Grand Banc de l'Entrée, le Banc de 5 m, le banc situé devant la Presqu'île d'Ampasindava.

Ces bancs présentent des dimensions et des formes variables. Ils sont le plus souvent allongés le long du rebord continental. C'est le cas du banc situé à la hauteur du Cap St Sébastien, que l'on peut suivre, dans la région considérée, sur 22 km du NE au SW ; sa largeur varie de 4 à 9 km. C'est le cas également du banc qui s'étale devant la Presqu'île d'Ampasindava sur 30 km depuis le Banc de 5 m jusqu'à la vallée du Sud de Nosy Iranja, avec une largeur moyenne de 6 km. Le Banc du Grand Serpent est de moindres dimensions : sa longueur est de 12 km, sa largeur de 2 km. Sa particularité est d'être parallèle au rebord de l'échancrure qui affecte la ligne du rebord continental au Nord de Nosy-Bé : il est allongé suivant une direction Est-Ouest.

Au contraire, le Grand Banc de l'Entrée se présente de façon beaucoup plus trappue, sous la forme d'une sorte de triangle équilatéral, de 12 km de côté. Le Banc Vert et le Banc de 5 m, de taille plus réduite, se présentent sans forme bien précise. Ces deux bancs sont respectivement longs de 8 et de 6,5 km et larges de 4 et de 2 km.

La nature corallienne de tous ces bancs, au moins superficielle, est soulignée par l'abondance des pinacles coralliens qui les surmontent. Ces pinacles ne dépassent que rarement la dizaine de mètres, mais sont dangereux car ils culminent souvent à moins de 10 m de la surface. C'est ainsi que l'on trouve une sonde de 5 m au Banc de 5 m (d'où son nom), des sondes de 7 à 9 m au Grand Banc de l'Entrée et au Banc Vert. Le banc situé devant la Presqu'île d'Ampasindava remonte également à 9 m sous la surface : il émerge même avec l'île de Nosy Iranja, dont le substratum correspond à une intrusion volcanique (basaltes).

B - Le type mixte

La région située au NW de Nosy-Bé est caractérisée du point

de vue morphologique par le type mixte défini plus haut : les hauts fonds sont nombreux, mais la plupart du temps isolés et de dimensions très restreintes. Cette région s'apparente aux zones à pinacles décrites par CUILCHER et al (1965) à propos du lagon de Mayotte. Elle rappelle en particulier le second type décrit par cet auteur, où les pinacles atteignent 30 à 35 m de hauteur. Ici, les pinacles s'élèvent jusqu'à 40 m de hauteur.

Bien individualisés, ces pinacles sont séparés par des fonds mollement ondulés qui descendent lentement depuis la côte NW de Nosy-Bé jusqu'à des profondeurs de 60 à 80 m. Ces fonds se relèvent légèrement à l'approche du rebord continental, formant ainsi des petites cuvettes au SW du Banc de la Tortue, s'évasant vers le large d'une part au NW le long du Banc des Pléiades, d'autre part au NE par l'intermédiaire de la passe qui sépare le Banc Vert du Banc de la Tortue.

Il arrive également que les pinacles soient reliés par des fonds de moindre importance, plus irréguliers : ils vont alors jusqu'à constituer de véritables bancs, d'allure toutefois moins massive que ceux qui ont été décrits précédemment. Le plus remarquable d'entre eux est le Banc des Pléiades, qui s'étale depuis le rebord continental jusqu'à la côte de Nosy-Bé, traversant ainsi toute la largeur du plateau. Les hauts fonds y sont nombreux ; les plus élevés culminent à 9 m de la surface ; ils sont reliés par des fonds de 30 m en moyenne, relativement irréguliers et également riches en pitons coralliens, mais de moindre importance (1 à 5 m de hauteur).

La région qui s'étend depuis le Sud du Banc de 5 m jusqu'à l'entrée de la Baie d'Ambavatoby, au Nord de la Presqu'île d'Ampasindava, offre de même les caractéristiques d'une zone à pinacles. Ceux-ci s'élèvent de 5 à 30 m au-dessus de fonds bosselés dont la profondeur se situe généralement entre 30 et 40 m. Là aussi, plusieurs pitons coralliens peuvent être reliés par des fonds de profondeur moyenne, de l'ordre de la vingtaine de mètres, comme par exemple au Sud du Banc de 5 m.

Il en est de même, enfin, de la région qui avoisine la côte Ouest de la Presqu'île d'Ampasindava. Les pinacles y sont toutefois plus souvent de taille réduite, de l'ordre de 5 m de haut, : ils n'apparaissent

donc que très peu sur la carte bathymétrique. Ces pinacles affectent une zone dépressionnaire en forme de gouttière, qui s'allonge du Nord au Sud entre le bourrelet externe proprement dit et le littoral de la Presqu'île d'Ampasindava. Cette gouttière s'approfondit progressivement vers le Nord et communique avec la vallée sous-marine du Banc de 5 m par des fonds de 70 m. Elle présente une forme en "V" relativement marquée à partir de la profondeur de 50 m.

C - Les dunes hydrauliques

La zone de bordure située à la latitude de l'Archipel des Mitsio se caractérise par une immersion moyenne plus importante, de l'ordre de 50 m, et surtout par la présence d'ondulations allongées parallèlement au rebord continental, c'est-à-dire NNE - SSW, et dont la régularité en forme et en taille montre qu'il s'agit de dunes hydrauliques. Affectées en effet de versants symétriques, ces dunes possèdent des dimensions comparables sur un même profil Est-Ouest, c'est-à-dire perpendiculaire au rebord continental. En moyenne, leur longueur d'onde est de l'ordre de 150 à 200 m, leur amplitude d'une dizaine de mètres (fig.9 et 12) : leur nombre varie de 5 à 8 sur un même profil. Elles sont souvent précédées et suivies à l'Est et à l'Ouest d'ondulations plus petites, plus irrégulières. Les plus grandes atteignent jusqu'à 250 m de longueur d'onde et 20 m de hauteur (fig.12) : on en dénombre alors 6, dont certaines sont séparées par des ondulations plus petites. De nombreux prélèvements montrent que ces dunes sont presque exclusivement constituées d'articles d'Halimeda.

La présence de ces dunes hydrauliques témoignent de l'importance des courants dans cette région : il s'agit très vraisemblablement de courants de marée, compte tenu de l'orientation de ces dunes. Signalons que des dunes hydrauliques encore plus importantes, constituées elles aussi d'articles d'Halimeda, ont été décrites dans la partie Nord du Banc du Leven, qui se situe à 45 milles environ au NW du Cap St Sébastien (DUPONT, thèse 3e cycle).

Outre ces dunes on note, dans la région considérée, de nombreux hauts fonds de nature corallienne, d'une dizaine de mètres de hauteur en moyenne, exceptionnellement de 20 m, auxquels s'ajoutent quelques massifs plus importants, ayant jusqu'à 50 m de hauteur et 1 km de largeur à la base. Ces derniers massifs présentent souvent un aspect tabulaire et sont eux-mêmes surmontés de petits pinacles coralliens.

Cette zone de bordure se réduit brusquement au Nord en formant un bourrelet dont la largeur varie de 1 à 2 km. Ce bourrelet s'allonge sur 10 km parallèlement au rebord continental, dont il reste séparé par 1 à 2 km de fonds irréguliers, situés aux environs de l'isobathe 100 m. D'une immersion toujours supérieure à 50 m, il présente tantôt l'aspect d'une arête, tantôt un aspect tabulaire. Il disparaît progressivement vers le Nord : c'est à cette latitude que les fonds ondulés de la zone interne du plateau atteignent le rebord continental.

Au Sud, la zone de bordure se réduit également brusquement à un bourrelet d'aspect tabulaire, d'une largeur de 1 km. Ce bourrelet, situé sur le rebord continental lui-même, se raccorde sans discontinuité au Banc du Grand Serpent pour prendre la direction Ouest-Est.

D - Les passes

Le bourrelet formé par les divers bancs situés le long du rebord continental n'est pas continu. Il disparaît sur 6 km à la latitude de Nosy Lava. Il est remplacé par une zone de pinacles au NW de Nosy-Bé, Les bancs eux-mêmes sont interrompus par 5 passes profondes, par l'intermédiaire desquelles les fonds de la partie interne du plateau semblent s'évaser vers le large. On observe ces passes du Nord au Sud : à la hauteur du Cap St Sébastien, entre le Banc du Grand Serpent et le Banc Vert, entre ce dernier et le Banc de la Tortue, entre le Grand Banc de l'Entrée et le Banc de 5 m, enfin à 5 km au Sud de Nosy Iranja.

1° A la hauteur du Cap St Sébastien

Par 12° 28' de latitude Sud existe une passe Est-Ouest à

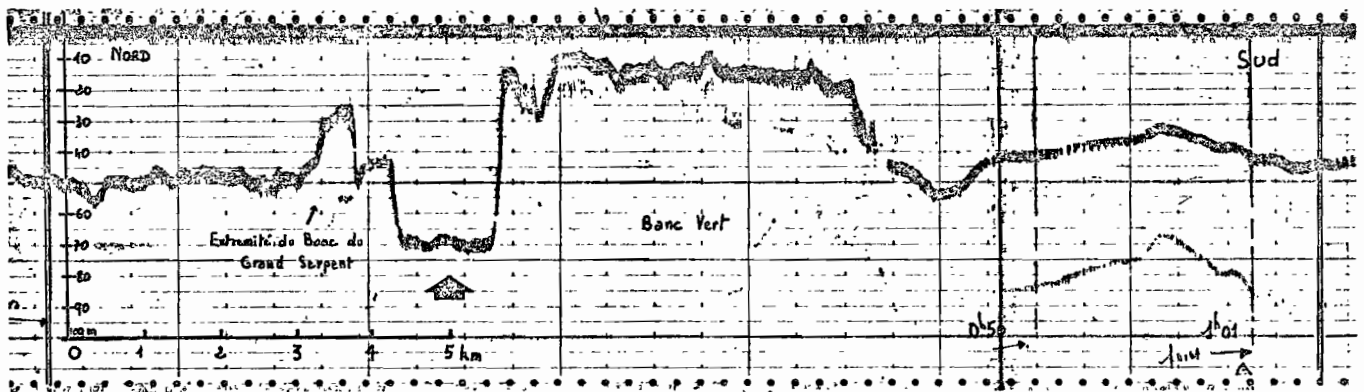
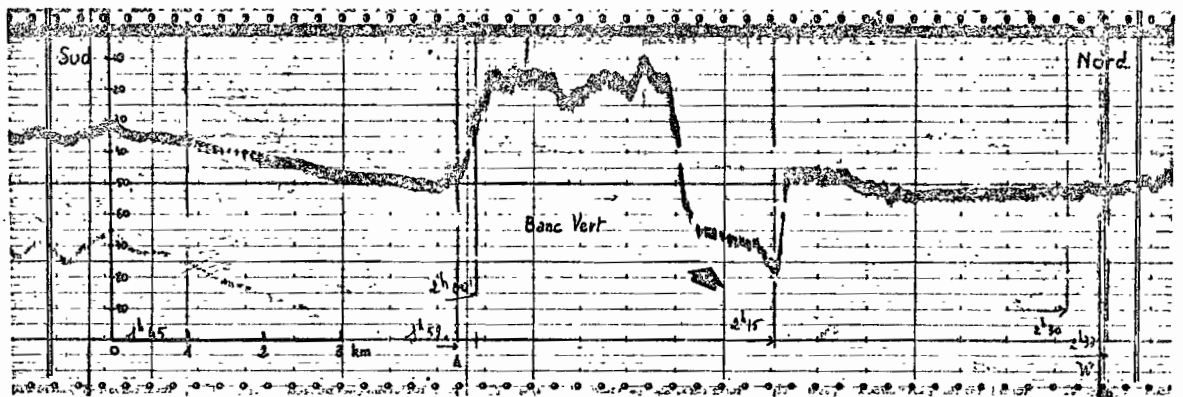
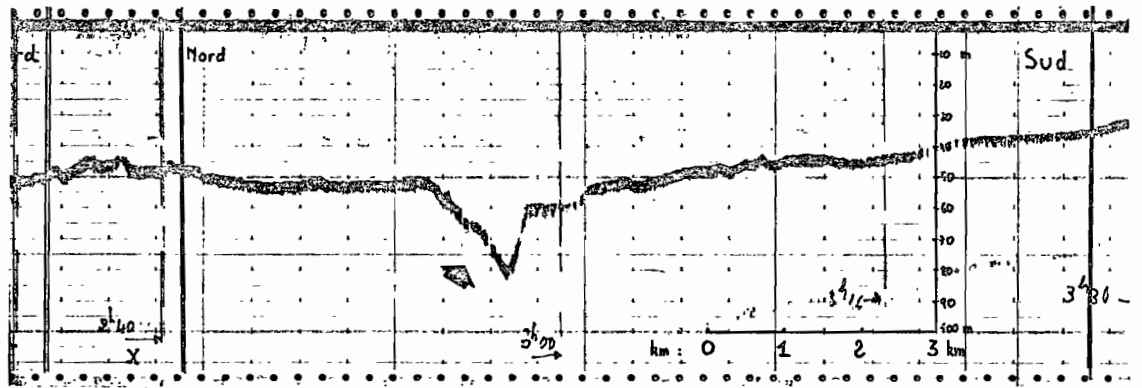


Fig. 14 : La passe du Grand Serpent. Les profils se succèdent d'Est en Ouest.

travers le banc qui s'étend à la hauteur du Cap St Sébastien. A cette latitude, en effet, d'une part le flanc occidental du bourrelet est entaillé par une vallée de 90 m de profondeur et d'autre part une dépression de 95 m affecte la partie interne du plateau au pied de ce bourrelet.

Nous n'avons pas de profils intermédiaires pour prouver la continuité de cette passe mais des arguments sédimentologiques seront en faveur de son existence.

2° Les passes du Grand Serpent et du Banc Vert

Au fond de l'échancrure qui affecte le tracé du rebord continental au Nord de Nosy-Bé se situent deux passes, de part et d'autre du Banc Vert (fig.14).

Celle du Nord s'encaisse entre les flancs des Bancs **Vert** et du Grand Serpent, caractérisée par des pentes de l'ordre de 30 %. Large de 500 m à 1 km, profonde de 70 m en moyenne, elle s'allonge sur 6 km d'Est en Ouest. Elle s'individualise dès la partie interne du plateau par une rupture de pente prononcée, aux environs de la ligne des 60 m, constituant la partie basse de la cuvette que l'on observe au SW des Mitsio (cf p.18).

Celle du Sud par contre est peu marquée : séparant le Banc Vert du Banc de la Tortue sur une largeur de 1,5 km, elle ne s'individualise qu'à 2 km de la limite externe du plateau, aux environs de la profondeur de 70 m. Cette passe semble être en relation non seulement avec la zone basse qui affecte la région à pinacles du NW de Nosy-Bé, mais aussi avec la cuvette qui se dessine autour de la fosse NE de Nosy-Bé.

3° La vallée sous-marine du Banc de 5 m

Le Grand Banc de l'Entrée et le Banc de 5 m sont séparés par une vallée sous-marine qui apparaît très nettement sur la carte bathymétrique : longue de 16 km, large de 2 km, bordée de flancs abrupts, parfois même en falaises dans les 30 premiers mètres, elle s'individualise dès l'isobathe de 60 m. à la limite de la partie interne du plateau. Orientée tout d'abord

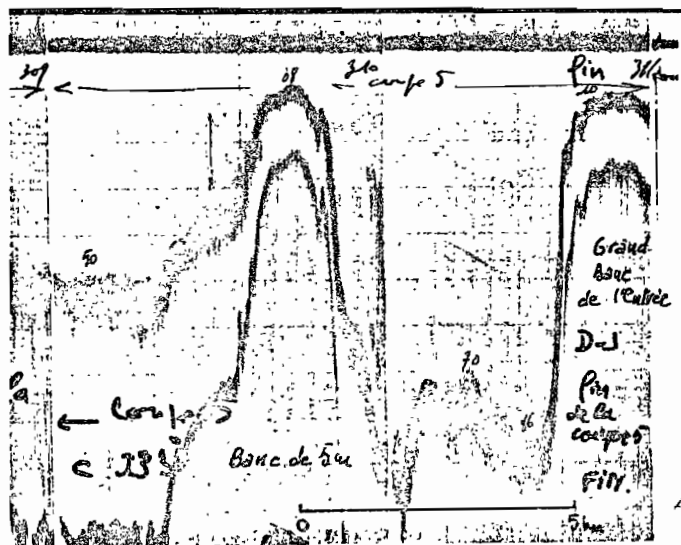
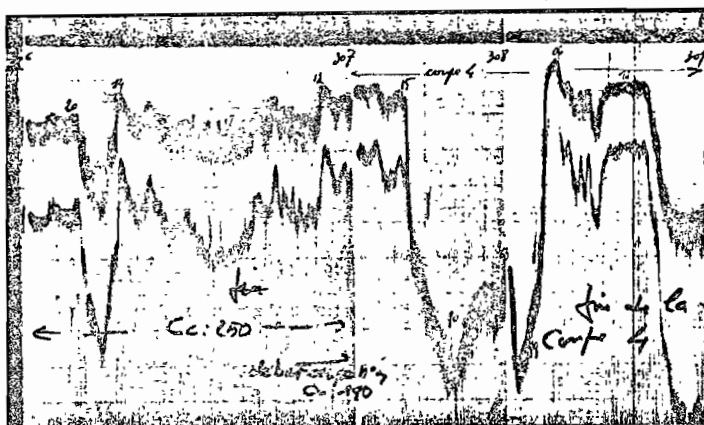


Fig. 15 : Vallée sous-marine du Banc de 5 m. Les profils se succèdent d'Est en Ouest.

NW - SE, elle est constituée de deux bras bien distincts de part et d'autre d'un haut fond coralligène (fig.15). Le cours de la vallée contourne alors le Banc de 5 m par le Nord et s'incurve pour prendre une direction NE - SW, qu'il garde jusqu'au rebord continental. Les talwegs des deux bras se réunissent définitivement à l'isobathe de 100 m, celle-ci pénétrant sur plus de 5 km sur le plateau ; la rupture de pente marquant l'amorce de la pente continentale n'a lieu qu'à 110 m.

4° La vallée du Sud de Nosy Iranja

A 5 km au Sud de Nosy Iranja, par 13° 38' de latitude, le bourrelet externe se trouve à nouveau interrompu par une passe étroite mais profonde (fig.16) : large de 200 à 500 m seulement, elle se dessine dès le milieu du plateau, aux environs de la profondeur de 30 m. Elle s'encaisse alors à travers le bourrelet externe, en s'approfondissant progressivement de 40 à 70 m, tandis que celui-ci remonte au contraire jusqu'à 9 m de la surface. Les flancs possèdent des pentes de l'ordre de 50 %. Son parcours, de 8 km, n'est pas rectiligne mais dessine deux demi-cercles presque symétriques, de convexité opposée. Le rebord continental accuse au débouché de cette passe, à l'isobathe de 70 m, un léger rentrant qui constitue la tête d'une vallée sous-marine sur la pente (DUPONT - thèse 3e cycle).

E - Le début de la retombée sur les grands fonds

La retombée sur les grands fonds débute à une profondeur variable en fonction du type de relief que l'on trouve sur la zone de bordure adjacente du plateau (fig.9 et 12). Cette profondeur se situe entre 13 et 30 m devant les bancs coralliens qui s'étendent à la latitude de Nosy-Bé ou de la Presqu'île d'Ampasindava ; elle n'est plus située qu'entre 35 et 60 m par contre devant le bourrelet de la région des îles Mitsio ou du Cap St Sébastien ; elle est de 70 à 80 m dans la zone où le bourrelet disparaît complètement à la hauteur de Nosy Lava ; elle varie de 90 à 110 m au débouché de la passe qui affecte le banc corallien à la latitude du Cap St

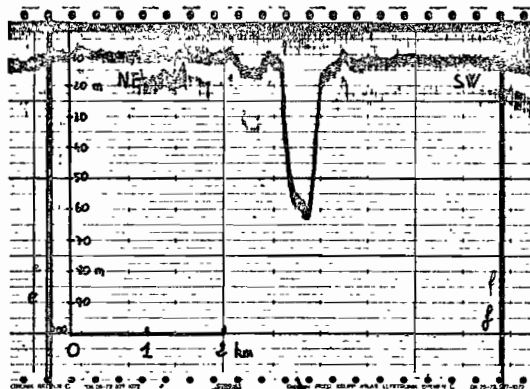
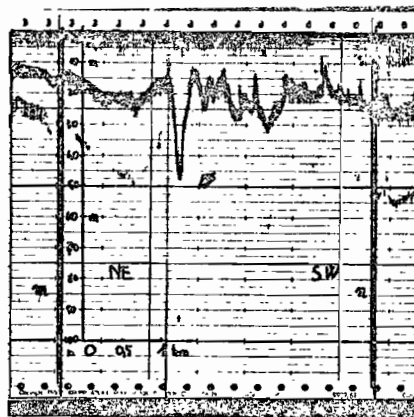
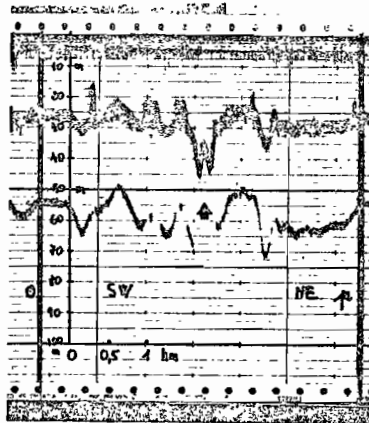


Fig. 16 : Vallée du sud de Nosy Iranja. Les profils se succèdent d'Est en Ouest.

Sébastien et immédiatement au Nord de la zone caractérisée par des dunes hydrauliques ; elle est enfin de 110 m au débouché de la vallée du Banc de 5 m.

La rupture de pente qui marque l'amorce du talus continental est très nette : devant les bancs coralliens, la pente prend des valeurs de l'ordre de 50 %. Ailleurs, elle reste toujours supérieure à 10 %. Lorsque le rebord continental est situé à des profondeurs inférieures à 40 m, on remarque sur tous les profils un décrochement plus ou moins net, de l'ordre de 100 à 150 m, entre 45 et 70 m de profondeur (fig.12). Ce décrochement se traduit par une pente plus douce sur 5 à 10 m de hauteur. La pente reprend au-dessous une valeur égale, souvent même supérieure à celle qu'elle présentait au-dessus. Les écho-sondages réalisés sur la pente continentale à la latitude des îles Radama montre que le décrochement peut atteindre jusqu'à 400 m de large.

III - INTERPRETATION

Trois traits marquants sont à retenir de l'étude bathymétrique et structurale de la région : les structures d'envoyage, la présence d'un bourrelet immergé le long du rebord continental, l'existence enfin de dépressions relativement bien marquées à la surface d'un plateau par ailleurs monotone.

A - Les structures d'envoyage

Les profils d'écho-sondages montrent que les formations ondulées disparaissent partiellement sous une couverture de sédiments qui se caractérise morphologiquement par des fonds plats et réguliers : il s'agit donc d'un phénomène d'envoyage. Cet envoyage est d'autant plus important que l'on se rapproche de l'embouchure des principaux fleuves actuels.

Le Nord de la Baie de Tsimipaika, également caractérisé par un type de reliefs à fonds plats, constitue cependant une exception ; il ne débouche pas en effet de fleuve important dans le voisinage. Mais on peut penser que le Sambirano se jetait à une autre époque, sans doute très récente, en Baie de Tsimipaika : la forme de croissance du delta est aussi prononcée vers le Nord que vers l'Ouest ; et l'on sait que ce n'est que depuis peu que le Sambirano débouche près d'Ambanja, au sortir des grès de l'Isalo (BATTISTINI, 1959) : autrefois, le Sambirano débouchait dans la plaine à 6 km plus au Nord. D'anciens lits empruntent encore en période de crues (par exemple en 1945) cet ancien débouché vers la Baie de Tsimipaika.

Il semble donc logique, en raison de la morphologie très régulière de ces formations de remplissage et de leurs relations géographiques avec les principaux fleuves côtiers actuels, de rattacher le phénomène d'ennoyage à l'alluvionnement fluvio-marin actuel, ou récent. Cet alluvionnement régularise une topographie irrégulière pré-existante dans les régions situées en bordure du littoral : ainsi la dépression de la Baie d'Ambaro est-elle en voie d'être colmatée dans sa partie méridionale, ou encore les pitons coralliens du fond des baies (Ambaro, Ampasindava) sont-ils en voie d'enfouissement.

Il appartient à l'étude sédimentologique de préciser le phénomène, et en particulier de déterminer la nature des différentes formations.

B - La barrière immergée

Divers auteurs se sont penchés sur le problème de l'origine du bourrelet externe que l'on observe le long du rebord continental du NW de Madagascar, et que nous qualifierons, à la suite de GUILCHER (1954), de "barrière immergée".

C'est en fait sur plus de 600 km que l'on peut la suivre, toujours en bordure même du plateau continental, depuis la pointe SW du Massif de Bobaomby (Extrême Nord de Madagascar), où elle émerge et se rattache

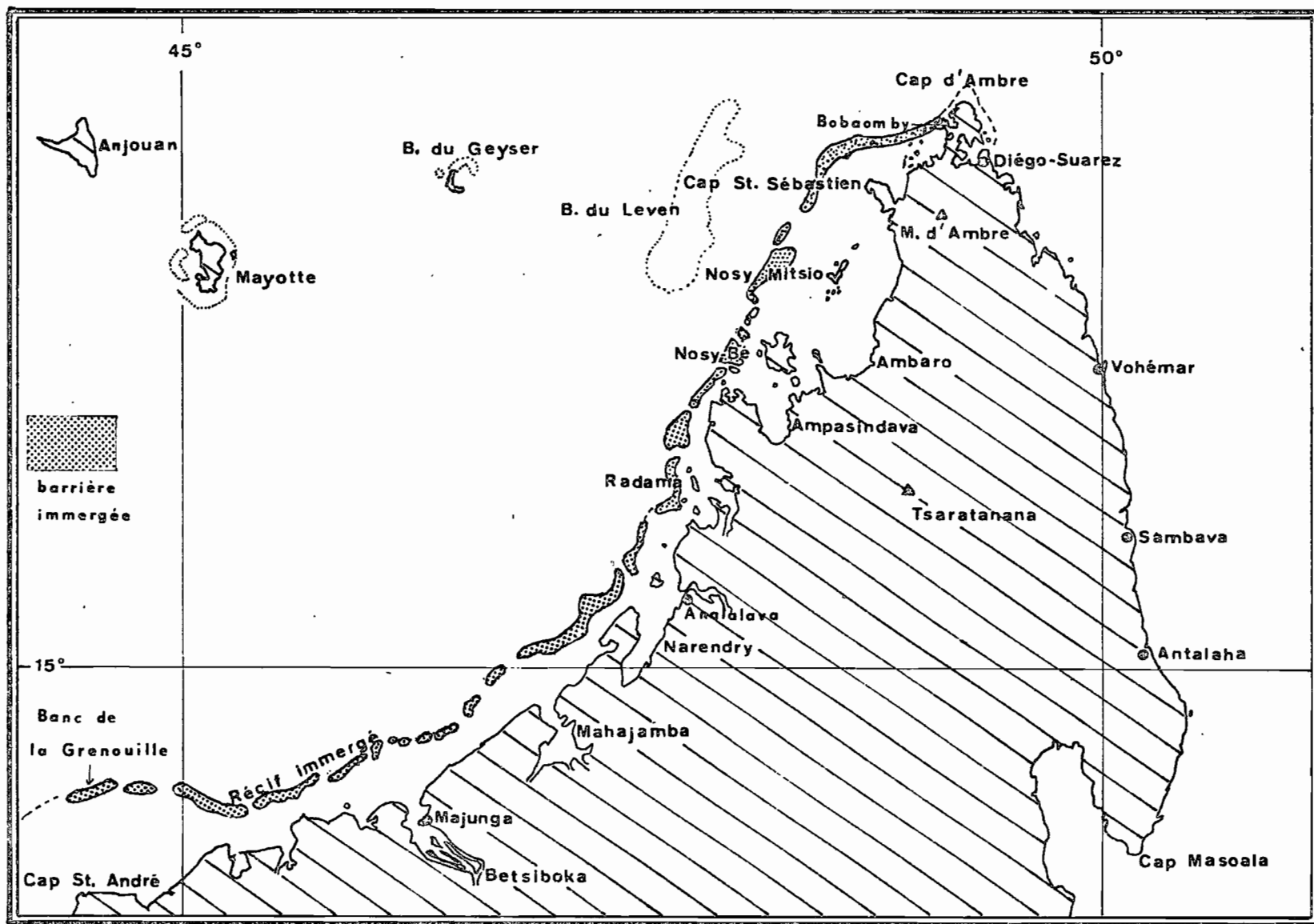


Fig.17 Extension de la barrière immergée le long du rebord continental

ainsi au continent malgache, jusqu'au Cap St André et même au-delà (Banc de Pracel, îles Barren...) : elle est seulement interrompue par des passes profondes analogues à celles qui ont été décrites ici (GUILCHER, 1956, 1958). Hormis l'Extrême Nord de Madagascar, cette barrière reste toujours immergée : la carte marine du S.H. n° 1441, du Cap St André au Cap d'Ambre, montre que la profondeur minimum des divers bancs qui constituent ce bourrelet, à l'exception de ceux situés à la latitude des Mitsio, peut varier de 0,1 m (devant les îles Radama : toutefois, cette profondeur très faible est exceptionnelle) à 12 m (en face du Cap St André) ; elle se situe généralement entre 5 et 10 m (fig.17).

Dans la région qui nous concerne, nous n'avons observé ou ramené, en plongée ou par dragage, même le long des flancs les plus abrupts, que des encroûtements d'algues calcaires, des débris coralliens ou des sables dont les constituants sont exclusivement d'origine organogène. Du corail vivant constitue, au moins en partie, les petits pinacles coralliens qui surmontent les bancs et leur confèrent une structure en "aiguilles". Il existe donc actuellement une activité corallienne certaine à la surface du bourrelet : elle reste toutefois faible. Ces observations s'accordent à celles des différents auteurs pour l'ensemble de la barrière immergée du NW de Madagascar (GUILCHER, 1954, 1956 ; DE SAINT OURS, 1970 ; BERTHOIS et CROSNIER, 1966).

BATTISTINI (1959) rappelle en ces termes les premières hypothèses : "... Dans une note à la Société Géologique de France, A. GUILCHER (1954) a posé le problème de l'origine de cette barrière immergée. M. BARRABE a pensé pouvoir expliquer la faible activité corallienne, et l'arrêt de l'édification de la barrière, par l'action des cendres volcaniques dues aux éruptions quaternaires de Nosy-Bé. Mais ainsi que le fait remarquer A. GUILCHER, cette explication n'est satisfaisante que pour le Nord, et ne permet pas de comprendre la profondeur de cette barrière, avec les mêmes caractères, jusqu'en face d'Analalava et de Majunga.

A. GUILCHER propose une autre explication. Il ne s'agirait pas d'un récif-barrière immergé, mais d'une cuesta, façonnée au cours d'une phase d'émersion dans les terrains plus récents que ceux constituant les cuestas émergées (par exemple dans de l'Aquitainien)...".

Reprenant cette seconde hypothèse, DE SAINT OURS dans sa thèse (1960) fait remarquer que l'allure accore de la barrière vers le large fait penser que la cuesta -si elle existe- se trouve en position inversée. Cet auteur voit plutôt dans l'à-pic extérieur du bourrelet "soit le résultat d'une faille récente, soit le fait d'un ancien récif-barrière très développé en corniche au bord du plateau continental".

Il ne faut pas exclure non plus l'éventualité d'un substratum de nature volcanique : les basaltes quaternaires de Nosy Iranja en montrent la possibilité.

Il nous semble pour notre part que, dans l'état actuel de nos connaissances, c'est l'hypothèse du récif-barrière qui explique le mieux les deux caractéristiques principales du bourrelet, à savoir à la fois son extension sur plus de 600 km et surtout sa position en permanence sur le rebord même du plateau continental.

La coïncidence serait en effet vraiment étonnante sur une distance aussi considérable entre la présence d'une cuesta appartenant au système sédimentaire du bassin de Majunga et celle d'une faille qui en aurait bordé rigoureusement le front, et qui, seule pourtant, pourrait expliquer, dans ce cas, la pente régulière et rapide qui caractérise l'amorce du talus continental (DE SAINT OURS, 1960). Ce serait a fortiori surprenant dans l'hypothèse d'un substratum de nature volcanique : les basaltes de Nosy Iranja doivent très vraisemblablement correspondre à un accident local.

C'est en particulier le récif-barrière qui, par sa grande souplesse d'adaptation à tout tracé irrégulier de son substrat, permet d'expliquer aisément l'orientation franchement marquée Est-Ouest du Banc du Grand Serpent le long de l'échancrure qui affecte le rebord continental au Nord de Nosy-Bé : rappelons en effet que ce banc s'allonge sur 12 km, alors que sa largeur, relativement constante, n'est que de 2 km.

C'est d'ailleurs à l'hypothèse du récif-barrière que BATTISTINI (1964) fait appel à propos du Banc de l'Etoile, situé en bordure de la plateforme continentale de l'Extrême Sud de Madagascar. Cet

auteur interprète ainsi en effet un bourrelet comparable à la limite externe du plateau, dont le prolongement vers le Nord, il est vrai, émerge à basse mer sous forme d'un platier corallien : il y voit une formation récifale reposant sur un socle précoralien à la profondeur de 120 m et s'élevant à l'endroit du profil à 20 m de la surface, alors qu'immédiatement en arrière les fonds retombent à 40 m. Des dragages effectués à l'endroit de ce profil n'avaient ramené que des débris coralliens et des agglomérats d'Algues calcaires.

Ajoutons en outre que l'existence de récifs de l'importance de la barrière immergée du NW de Madagascar ne saurait surprendre dans cette région du SW de l'Océan Indien : des formations coralliennes très développées sont connues sur les Bancs du Leven ou du Geysier, ainsi qu'aux îles Glorieuses ou Mayotte, pour ne citer que l'environnement immédiat.

Il reste cependant à expliquer la raison de l'immersion quasi-générale de ce récif barrière entre 5 et 10 m de profondeur, à l'exception de l'Extrême Nord où le récif se trouve au contraire soulevé jusqu'à 25 m au-dessus du niveau marin actuel.

Il est possible d'y voir tout d'abord le résultat d'un phénomène de subsidence, qui aurait alors affecté l'ensemble de la bordure du plateau continental du NW de Madagascar, du Cap St Sébastien au Cap St André. Cette subsidence pourrait être attribuée au jeu de la flexure continentale le long de cette côte, parallèlement à la grande ligne de fracture que DE SAINT OURS (1960) a mise en évidence depuis la rivière Loza (région d'Analalava) jusqu'au Mur de L'Ankarana, au pied de la Montagne d'Ambre (failles d'Ankaramy - Jangoa et de l'Ankarana, fig.4). Quant au soulèvement de la région de l'Extrême Nord, il peut être attribué à la mise en place du massif basaltique quaternaire de la Montagne d'Ambre (BATTISTINI, 1965).

Or des témoins de niveaux marins flandriens plus élevés qu'aujourd'hui ont été observés dans les îles Radama, situées au Sud de la Presqu'île d'Ampasindava (GUILCHER et al., 1958) : à la pointe NE de Nosy Kalakajoro (fig.19), l'île la plus septentrionale, un platier de corail mort s'observe à + 0,30 m par rapport au niveau marin actuel ; de même à

+ 0,35 m sur la plage NW de Berafia ; à + 0,40 m à Antany Mora ; dans cette dernière île enfin, des encoches marines superposées sont observées à + 0,50 m et + 2,40 m. La région des îles Radama ne semble donc pas avoir été affectée par un phénomène de subsidence au cours de la période flandrienne. D'autre part, ces îles ne sont distantes de la barrière immergée que de 6 km. Si l'on observe un banc corallien dont les parties les plus hautes ne se trouvent qu'à 0,1 m, 1,2 m, 3 m et 3,3 m dans les environs immédiats d'Antany Mora, le bourrelet situé à la hauteur de Berafia et de Nosy Kalakajoro, au Nord, se trouve immergé à au moins 6,6 m de la surface : cette profondeur est comparable à celle du bourrelet dans les environs de Nosy-Bé, au Nord, ou d'Analalava et de Majunga au Sud. On doit admettre alors que la subsidence n'a affecté que la seule zone de bordure du plateau ou qu'elle s'est manifestée à une époque antérieure au flandrien.

Dans le cadre de la première de ces deux hypothèses (un affaissement de la barrière corallienne durant la période flandrienne) on peut se demander pourquoi il n'existe pas de traces plus nettes de larges platiers coralliens, ne serait-ce que dans la région comprise entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava ; ces platiers se seraient formés à une époque antérieure à la manifestation de la subsidence, et devraient se retrouver aujourd'hui immergés. Or les profils d'écho-sondages révèlent un sommet de bourrelet pour le moins irrégulier, même si l'on fait abstraction des pinacles coralliens qui ont pu s'installer par la suite. Des massifs à la forme tabulaire existent bien dans la zone de bordure située à la latitude des Mitsio (cf p.29), mais ils sont très localisés, et de plus immergés à des profondeurs différentes et irrégulièrement répartis. Le seul phénomène de subsidence ne semble pas pouvoir expliquer cette constatation.

Les coraux, certes, peuvent vivre et croître en profondeur. La barrière récifale actuelle de Mayotte comporte des parties immergées à des profondeurs variables, où le corail est tout de même bien vivant (GUILCHER et al, 1965). Mais elle comporte essentiellement de larges platiers à fleur d'eau. Il en est de même du Banc de l'Étoile décrit par BATTISTINI dans l'Extrême Sud.

L'irrégularité générale du relief de la barrière immergée peut alors être attribuée à une érosion différentielle d'un récif-barrière

émergé lors d'une (ou de plusieurs) régressions marines. La reprise à l'époque flandrienne de l'édification de la barrière ne serait que faible. BERTHOIS et CROSNIER (1966) concluent à l'existence de conditions défavorables à une vie corallienne intense devant l'estuaire de la Betsiboka. Des variations locales des conditions écologiques sur la bordure externe du plateau peuvent expliquer le développement plus important de la barrière récifale devant Antany Mora.

On doit alors admettre que la barrière corallienne est au moins antérieure à la dernière régression importante connue, la régression anté-flandrienne. En fait ceci n'est pas incompatible avec les observations et les conclusions de BATTISTINI (1965) dans l'Extrême Nord de Madagascar : cet auteur y distingue deux récifs soulevés d'âge pleistocène (respectivement tatsimien et karimbolien). Ces récifs soulevés constituent le prolongement de la barrière immergée.

Il n'est pas impossible alors de voir l'établissement d'un récif frangeant le long du rebord continental malgache à une époque où le plateau pouvait être émergé. Ce récif frangeant serait devenu un récif barrière et se serait développé au cours de la transgression tatsimienne (Pléistocène ancien). Il aurait dans cette hypothèse subi une érosion aérienne au cours des grandes régressions quaternaires, dont celles mises en évidence le long du littoral malgache et qui ont précédé les époques transgressives karimbolienne et flandrienne. Au cours de ces dernières le récif a pu se développer dans des proportions qu'il est actuellement difficile de définir (au moins pour l'époque karimbolienne).

Il reste à interpréter le décrochement quasi-permanent que l'on note entre 45 et 70 m sur le tombant externe de la barrière immergée. BATTISTINI (1964), dans sa thèse sur l'Extrême Sud de Madagascar, observe sur deux profils un décrochement semblable sur la pente externe, à des profondeurs de 120 et 135 m : l'un de ces profils passe sur le prolongement immergé du Banc de l'Etoile. Cet auteur constate que cette profondeur correspond à celle de la rupture de pente qui marque la limite externe de la plateforme malgache à l'Est du Cap Ste Marie (cette profondeur est relativement constante : elle varie de 110 à 130 m). Il interprète alors le

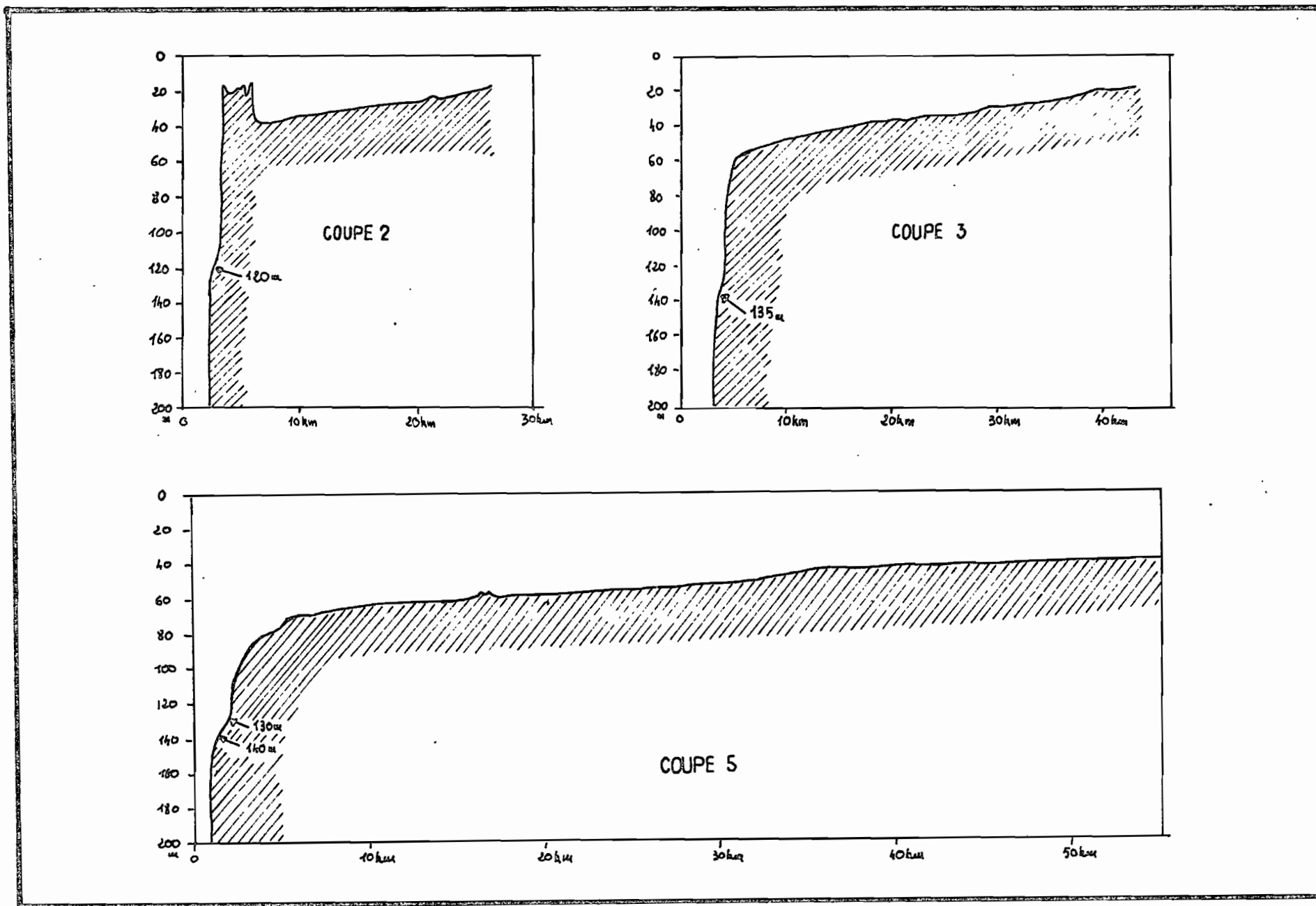


Fig. 18 : Restitution de profils du plateau continental de l'extrême Sud de Madagascar (d'après R. BATTISTINI, thèse)

décrochement comme la trace du contact entre la série corallienne et le socle précoralien, ce qui lui donne une formation récifale de 100 m à l'endroit du profil passant au-dessus du Banc de l'Etoile, et de l'ordre de 110 à 130 m à l'endroit où le récif forme un platier émergeant à marée basse.

Cette interprétation peut être reprise pour ce qui est de la barrière immergée du NW de Madagascar. On constate en effet que sur le profil où le plateau descend en pente régulière jusqu'au rebord continental sans être affecté par des reliefs coralliens, à la latitude de Nosy Lava, la retombée sur les grands fonds a lieu à 80 m de profondeur. Il n'est pas impossible alors d'y voir la présence du socle précoralien, enfoui sous au moins 3 m de sédiments meubles, l'étude par carottages nous le montrera. Le récif-barrière se serait installé au-dessus, c'est-à-dire à une cote de l'ordre de -80m par rapport au niveau marin actuel, les différences de profondeur du décrochement (de 45 à 70 m) pouvant être dues à un remplissage plus ou moins important par des débris organogènes tombés de la barrière récifale. Dans ce cas, les formations récifales du rebord continental du NW de Madagascar atteindraient une épaisseur voisine de 80 m.

Cette hypothèse n'a malheureusement pu être confirmée par dragages : effectués par une centaine de mètres, ces derniers n'ont ramené que des éboulis organogènes, masquant l'affleurement de l'éventuel socle précoralien. Elle n'explique pas d'autre part pourquoi le bourrelet corallien se serait toujours installé en retrait du rebord du socle précoralien. Elle explique mal enfin la présence de fonds irréguliers de 100 à 110 m, que l'on trouve sur 8 km, entre 12° 40' et 12° 45' de latitude, et qui séparent sur 1 à 2 km le bourrelet corallien du rebord continental (cf p.29). Ou alors il faut admettre un rebord précoralien irrégulier quant à la profondeur ou encore une épaisseur de dépôts meubles importante : mais dans l'un ou l'autre de ces cas, parler de la puissance de la formation corallienne ne signifie plus grand chose.

Une seconde hypothèse serait de voir dans le décrochement de la pente le témoin plus ou moins remblayé par des éboulis organogènes d'une plateforme d'abrasion marine formée au cours d'une des régressions

quaternaires sans qu'il soit possible de préciser laquelle. La largeur de cette plateforme peut atteindre 400 m au maximum dans la région des îles Radama (cf p. 32). Ceci supposerait un stationnement relativement long du niveau marin à une cote d'environ - 75 m par rapport au zéro actuel.

C - Le problème de l'origine des dépressions et des passes

La présence de dépressions nettement marquées à la surface du plateau, que ce soit sous la forme d'ombilics allongés dans la zone interne, ou de passes encaissées au travers du bourrelet externe, amène à se poser le problème de leur origine. Il est possible, a priori, d'invoquer trois causes différentes : il peut tout d'abord s'agir du résultat d'un façonnement sous-marin, qu'il soit dû à une absence localisée de dépôts, ou à un creusement dans des formations préexistantes ; il peut s'agir de traces d'un réseau hydrographique aujourd'hui ennoyé ; il peut s'agir enfin d'une morphologie d'origine tectonique.

1° L'hypothèse d'un façonnement sous-marin

Sauf dans le cas où les reliefs sont d'origine biogène -et c'est le cas, au moins en partie, de la zone de bordure externe du plateau-, la formation de dépressions par un façonnement sous-marin, que ce soit par une absence de dépôts dans un secteur bien précis, ou par un creusement dans des couches géologiques pré-existantes, doit être attribué à l'action de courants, qu'il s'agisse a priori de courants de turbidité, de marée ou généraux.

La pente faible du plateau interdit de penser à la formation spontanée de courants de turbidité à sa surface. Il est possible par contre d'évoquer le pouvoir érosif de courants comparables en face de l'embouchure des fleuves côtiers, en particulier lors de crues exceptionnelles. Mais

dans ce cas, il est permis de penser que ces creusements ou cette absence de dépôts, en chenaux par exemple, se manifesteraient tout d'abord devant les embouchures elles-mêmes. Or l'étude bathymétrique montre que çà n'est pas le cas : les fonds y sont parfaitement réguliers. Il semble donc difficile d'admettre cette hypothèse pour la formation de dépressions éloignées des embouchures. De plus cette hypothèse n'expliquerait pas non plus l'orientation NNE - SSW des ombilics que l'on trouve au pied du bourrelet externe à la latitude des Mitsio et du Cap St Sébastien.

Les courants de marées ne sont vraisemblablement pas négligeables dans la région. Le marnage, aux vives eaux, y est de l'ordre de 4 m. C'est à eux que l'on peut attribuer la formation de dunes hydrauliques dans la zone de bordure. Néanmoins, en l'absence d'autres mesures, celles qui ont été effectuées en Baie d'Ambaro (DANIEL, thèse 3e cycle) montrent qu'ils restent relativement faibles sur le fond non loin du littoral. Il semble difficile de leur attribuer un pouvoir d'érosion tel qu'ils aient pu creuser des dépressions aussi marquées que celles du NE de Nosy-Bé, où affleurent des bancs gréseux, (cf l'étude sédimentologique). Tout au plus est-il possible de les voir gêner la sédimentation actuelle dans le fond de ces dépressions : encore sont-ils insuffisants à empêcher l'alluvionnement récent à actuel de combler partiellement la partie Sud de la dépression de la Baie d'Ambaro.

La problématique est différente pour ce qui est de la barrière immergée, tout particulièrement dans le cadre de l'hypothèse du récif-barrière. En effet les passes sont des éléments constants et normaux des récifs-barrières, jouant le rôle de chenaux de marées, permettant à la mer de communiquer en fonction du rythme des marées avec le lagon situé à l'arrière du récif. L'hypothèse de la formation de telles passes au cours de la croissance du récif-barrière n'est donc pas à exclure a priori.

2° L'hypothèse d'un réseau hydrographique ennoyé

En fait, des ombilics et des passes semblables ont été décrits en de nombreux endroits du plateau de l'Ouest malgache par différents

auteurs tels que l'ingénieur-hydrographe FICHOT dès 1902, ou plus récemment GUILCHER (1956), BERTHOIS et CROSNIER (1964), BATTISTINI (1965), enfin HERVIEU (1968). Constatant que ces dépressions diverses se situent dans le prolongement des vallées terrestres actuelles, ces auteurs concluent à l'existence de traces de réseaux hydrographiques ennoyés, plus ou moins remblayés au fur et à mesure que l'on se rapproche de la partie interne du plateau.

Dans la région du plateau comprise entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava, il est également possible de corréliser les diverses dépressions entre elles et de les rattacher au réseau fluvial actuel (fig.19).

Ceci est particulièrement aisé au Sud de Nosy-Bé. BATTISTINI, dès 1959, s'aidant de la seule carte marine des environs de Nosy-Bé (n° 5264 du SH) rapprochait la dépression d'Anjanozano de la passe du Banc de 5 m. De fait, la présente étude bathymétrique montre que ces deux dépressions sont reliées par toute une zone basse allongée en forme de gouttière -ce qui n'apparaissait pas sur la carte marine-, dans laquelle on trouve plusieurs ombilics d'une profondeur supérieure à 60 m, profondeur qui peut être considérée comme anormalement grande en cette partie du plateau. Il est possible de voir dans cet ensemble dépressionnaire un prolongement aujourd'hui immergé et partiellement remblayé du Sambirano, le seul fleuve drainant un bassin versant important dans la région.

Dans le cadre de la même hypothèse, il est possible de voir dans la gouttière qui longe le NW de la Presqu'île d'Ampasindava et qui se jette dans la passe du Banc de 5 m un prolongement sous-marin des réseaux fluviaux issus des Baies d'Ambavatoby (BATTISTINI avait déjà pressenti en 1959 que celui-ci se prolongeait vers le Nord au ras de l'îlot d'Ankazoberavina) et de Kakambana. Quant à la passe du Sud de Nosy Iranja, elle peut être attribuée au réseau hydrographique du NW de la Presqu'île d'Ampasindava, par exemple à la rivière Baramahamay.

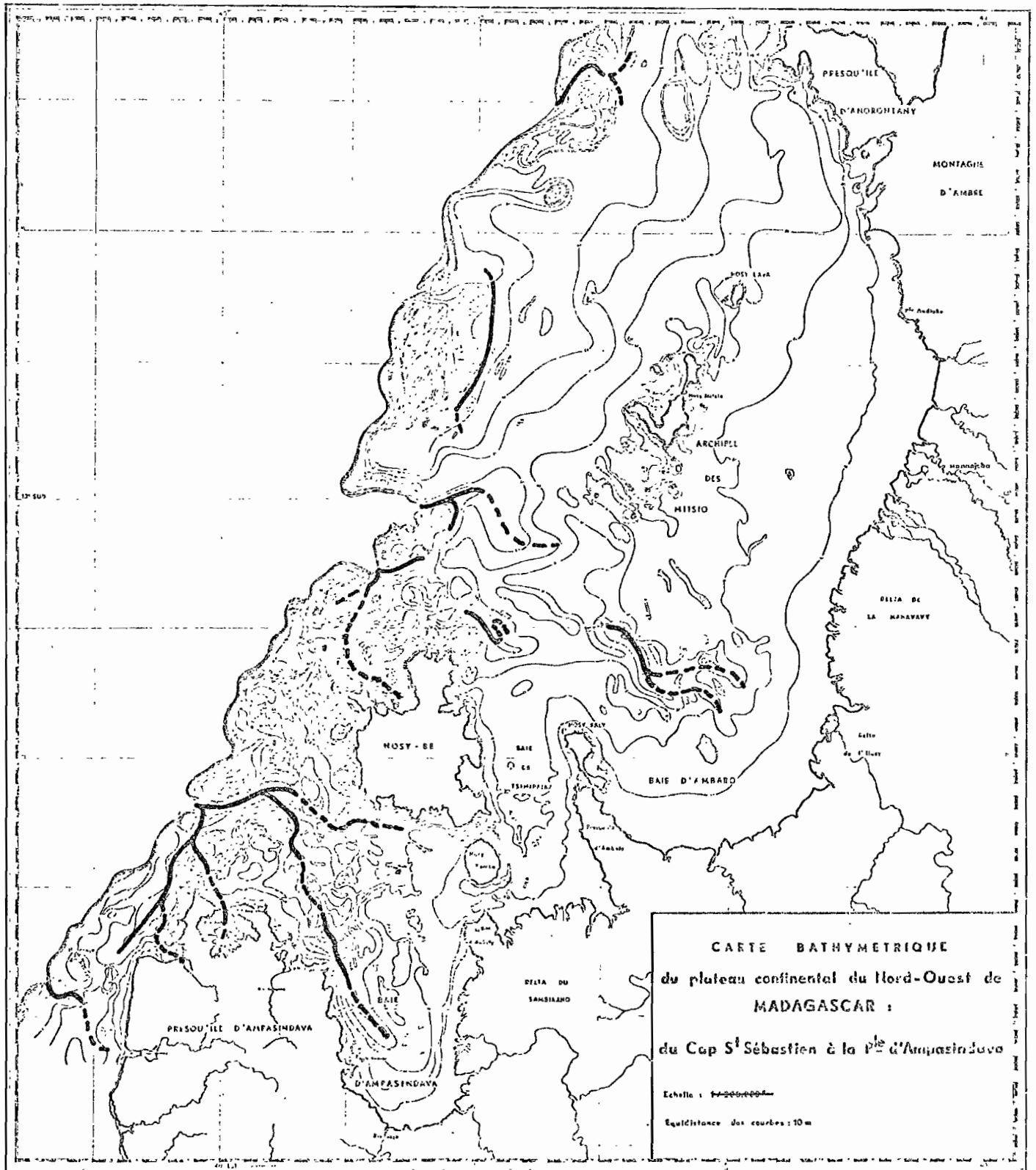


Fig 19 - Traces d'un réseau hydrographique envoyé

Les corrélations sont moins évidentes au Nord de Nosy-Bé : les raisons en sont l'élargissement considérable de la zone interne du plateau à cette latitude, un remblaiement important qui aurait complètement oblitéré le réseau sur de larges secteurs, enfin la facilité avec laquelle les fleuves côtiers peuvent changer de cours au débouché de la chaîne gréseuse de l'Isalo. Il est cependant permis de rapprocher les dépressions de la Baie d'Ambaro et du NE de Nosy-Bé des passes qui existent de part et d'autre du Banc Vert. Un tel réseau ancien pourrait être rattaché à l'actuel Ifasy ou même à l'ensemble Ifasy et Mahavavy. Il est possible également de relier la dépression de la Baie d'Ambaro à la dépression qui longe le pied du bourrelet externe au large de Nosy Mitsio : la fosse du NE de Nosy-Bé pourrait alors être le témoin d'un ancien lit vers le Nord du Sambirano, à une époque où ce fleuve aurait emprunté la Baie de Tsimipaika, ou encore au seul prolongement de son affluent principal, la Ramena, qui n'a été capté par le Sambirano que tardivement (DE SAINT OURS, 1960). Il semble enfin logique d'attribuer la passe qui traverse le bourrelet à la hauteur du Cap St Sébastien à un prolongement de la Mananjeba.

Il est possible d'avancer les arguments suivants en faveur de cette hypothèse :

- hormis donc la région située entre Nosy-Bé et le Cap St Sébastien, la correspondance entre vallées terrestres actuelles et dépressions à la surface du plateau est facile à mettre en évidence, non seulement au Sud de Nosy-Bé, mais dans de nombreux secteurs de l'Ouest malgache.
- la ramification de certaines de ces zones dépressionnaires, et l'existence d'un système d'affluents et de confluents : ainsi au Nord de la Presqu'île d'Ampasindava, le prolongement éventuel des rivières de la Baie d'Ambavatoby semble se jeter dans la gouttière en provenance de la Baie de Kakambana, gouttière qui se jette elle-même dans la passe du Banc de 5 m.
- la profil en "V" parfois très bien marqué de ces dépressions : ainsi la

fosse du NE de Nosy-Bé, la gouttière issue de la Baie de Kakambana, ou les parties surcreusées des dépressions situées le long du bourrelet externe de la région des Mitsio.

- la correspondance constante entre les passes qui traversent la barrière immergée et des vallées sous-marines, nettement marquées le plus souvent, sur la pente continentale (DUPONT, thèse 3e cycle). Que ces vallées sous-marines de la pente soient dues à d'anciennes vallées fluviales terrestres effondrées en même temps que la pente lors de la formation de celle-ci, ou qu'elles soient dues tout simplement à un creusement par des courants de turbidité qui supposent alors un apport considérable de matériaux, seule, l'hypothèse d'un débouché fluvial aérien à leur tête, par l'intermédiaire des passes du bourrelet, peut expliquer de façon satisfaisante le phénomène : l'étude sédimentologique à la fois du plateau et de la pente continentale nous fournira d'ailleurs la preuve que les diverses passes ont bien fonctionné comme tel.

Si les vallées sous-marines de la pente sont elles-mêmes d'anciennes vallées fluviales, l'âge du creusement des vallées à la surface du plateau remonte à une époque antérieure à celle de la formation de la pente (DUPONT, thèse 3e cycle). Elles ont pu être comblées et rajeunies au cours des différentes transgressions survenues postérieurement.

Si les vallées sous-marines de la pente ne sont dues qu'à des courants de turbidité, il devient plus spéculatif de parler de l'âge du creusement des dépressions à la surface du plateau. Néanmoins, compte tenu de la netteté avec laquelle les vallées sous-marines de la pente apparaissent dans la topographie, on peut penser que leur creusement a dû s'effectuer sur une durée assez longue, et il ne semble pas déraisonnable d'en voir le façonnement au moins à l'époque Pliocène. Les passes qui entaillent aujourd'hui la barrière immergée ont dû jouer le rôle de vallées fluviales terrestres avant de jouer éventuellement celui de chenaux de marée au cours des transgressions pléistocènes et flandrienne dans le cadre de l'hypothèse de l'établissement d'un récif-barrière sur le rebord continental.

3° L'hypothèse d'une origine tectonique

Il est à remarquer que l'orientation des dépressions dans la zone interne du plateau, NW - SE, correspond à celle très générale d'un système de fractures, dit "Mozambique" (cf Caractères Généraux), et dont le graben du Sambirano est une manifestation importante, dans le prolongement de la région de Nosy-Bé. DE SAINT OURS, dans sa thèse (1960), pense que la région allant de la Presqu'île d'Ampasindava à celle d'Ambato fait partie d'une importante zone de faiblesse tectonique orientée NW à NNW, située dans le prolongement du graben du Sambirano. Il n'est donc pas impossible que les zones dépressionnaires du plateau soient en relation avec cette zone d'effondrement, en raison de leur direction d'ensemble identique et de leur proximité géographique.

De même, les dépression qui s'allongent au pied du bourrelet externe à la latitude de Nosy Mitsio et du Cap St Sébastien peuvent résulter de failles parallèles au rebord continental : ces failles seraient à rapprocher du système "Côte Est" (cf Caractères Généraux), dont l'ensemble contribue dans le NW malgache à former une zone flexurée, le long du Canal de Mozambique.

Il est peu probable que l'on puisse expliquer par la seule hypothèse d'une origine tectonique la formation de dépressions aussi diversement distribuées sur l'ensemble du plateau de l'Ouest malgache. Néanmoins, localement, cette hypothèse n'est pas incompatible avec celle de réseaux hydrographiques ennoyés : les fleuves de la région de Nosy-Bé peuvent très bien avoir pris pour parcours ces éventuelles fractures.

S E D I M E N T O L O G I E

L'étude sédimentologique de l'ensemble du plateau continental compris entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava reprend les données de l'étude de la Baie d'Ambaro : elle en élargit le contexte, en particulier jusqu'aux formations récifales de la zone de bordure du plateau.

Elle comprend deux parties :

- l'étude de la répartition et de la nature des sédiments superficiels, dont l'élément principal est la carte sédimentologique au 1/200 000e.
- puis l'étude par carottages des sédiments en profondeur.

I - REPARTITION ET NATURE DES SEDIMENTS

La carte sédimentologique au 1/200 000e du plateau continental depuis le Cap St Sébastien jusqu'à la Presqu'île d'Ampasindava a été réalisée à partir de 1215 prélèvements, effectués en moyenne tous les milles marins dans la région de Nosy-Bé, tous les 2 milles en Baie d'Ambaro, tous les deux milles et demi à l'Ouest et au Nord des îles Mitsio.

Les différents faciès sont définis à partir des deux mêmes critères qu'en Baie d'Ambaro : ces deux critères se sont en effet révélés suffisants pour mettre en évidence dans cette baie les principaux phénomènes sédimentologiques (DANIEL, thèse 3e cycle). Ce sont :

- la teneur en fraction fine du sédiment (c'est-à-dire en éléments de taille inférieure à 40 microns), qui permet de distinguer sables, vases sableuses et vases ;
- la teneur en carbonates du sédiment, qui permet de faire la part en chaque point de l'interaction entre la sédimentation marine, essentiellement biogène et calcaire, et les apports terrigènes, dont sont exclus les carbonates sous forme solide (en effet, trois des principaux fleuves de la région, la Mahavavy, l'Ifasy et le Sambirano, ne traversent que des formations cristallophylliennes ou gréseuses (cf Caractères Généraux) ; seule la Mananjeba, au Nord, creuse son lit à travers les calcaires jurassiques de l'Ankarana, mais sur une distance très faible, et des échantillons prélevés dans son lit en aval de ces formations n'ont pas donné de traces de carbonates.

Nous reprendrons donc ici la même classification qu'en Baie d'Ambaro :

- les vases, caractérisées par une teneur en fraction fine supérieure à

70 %, se subdivisent en vases terrigènes et en vases calcaires suivant que la teneur en carbonates est inférieure ou supérieure à 10 % ;

- les vases sableuses, caractérisées par une teneur en fraction fine comprise entre 40 et 70 %, se subdivisent de même en vases sableuses terrigènes et vases sableuses calcaires suivant que la teneur en carbonates est inférieure ou supérieure à 10 % ;

- les sables, caractérisés par une teneur en fraction fine inférieure à 40 %, se subdivisent en sables quartzeux, en sables quartzo-calcaires, en sables calco-quartzeux et en sables calcaires, suivant leur teneur en carbonates, les limites adoptées pour celle-ci étant respectivement : 0 - 10 %, 10 - 40 %, 40 - 70 % et 70 - 100 % ;

- aux huit faciès précédents doit être enfin rajouté le faciès récifal, qui caractérise les régions coralliennes proprement dites.

La carte sédimentologique ainsi réalisée sur l'ensemble du plateau continental du Cap St Sébastien à la Presqu'île d'Ampasindava met en évidence la succession sédimentologique suivante, en allant du littoral vers le large, c'est-à-dire du SE vers le NW :

- des sables grossiers, quartzeux, très pauvres en organismes marins (0 à 10 % de carbonates), formant un estran relativement large, sur le front du delta des principaux fleuves côtiers.

- des formations vaseuses et vaso-sableuses réparties en 4 zones principales le long du littoral : l'une s'allonge jusqu'au Cap St Sébastien depuis les embouchures de la Mananjeba et de la Mahavavy, la seconde s'étale devant l'estuaire de l'Ifasy, la troisième occupe le Nord de la Baie de Tsimipaika, entre Nosy-Bé et Nosy Faly, enfin la dernière s'étend devant l'embouchure actuelle du Sambirano.

- des sables quartzo-coquilliers riches en Foraminifères occupent à eux seuls près de la moitié du plateau, et s'étendent principalement à l'Ouest et au Sud des Mitsio, ainsi qu'au Sud de Nosy-Bé.

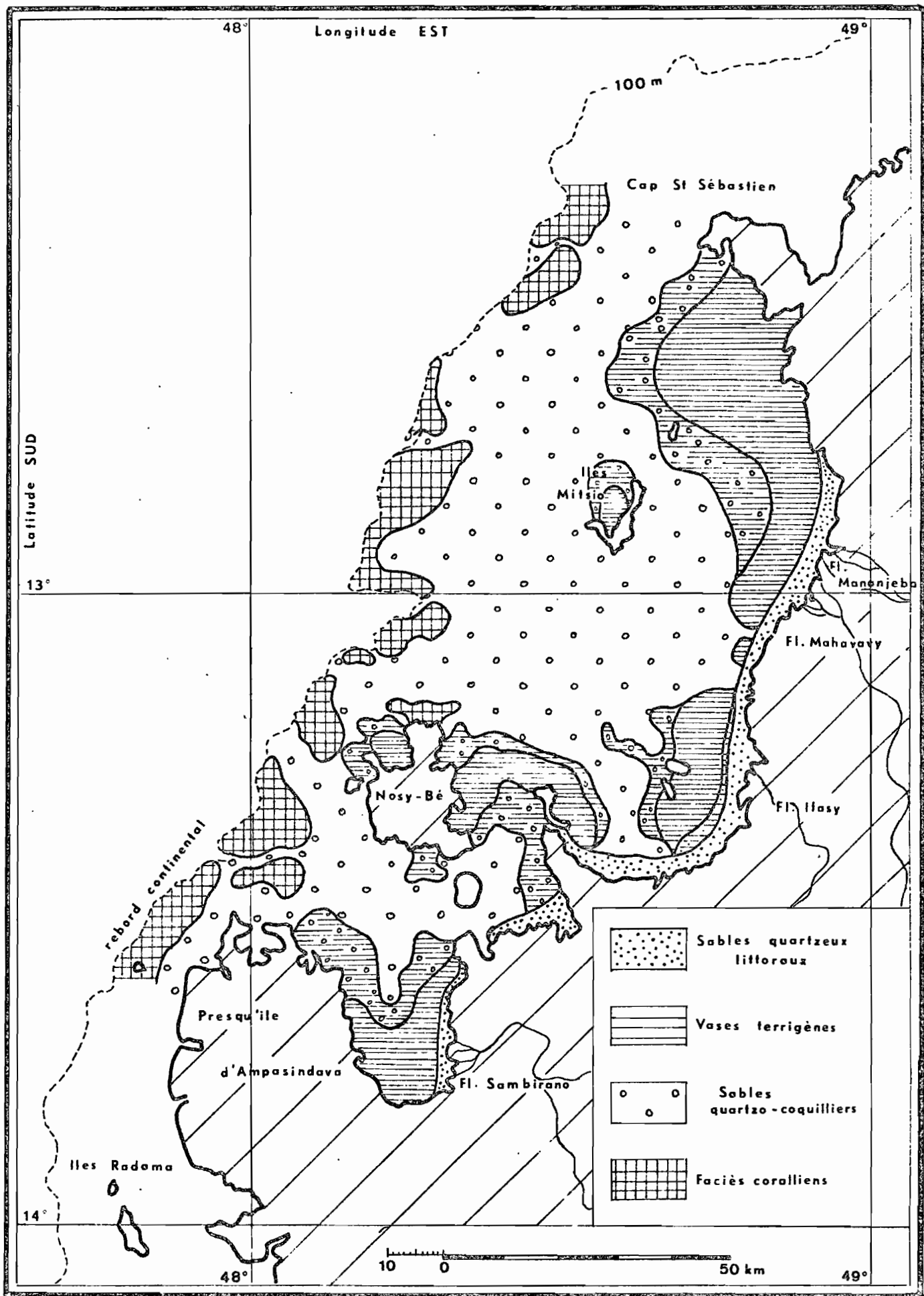


Fig. 20 : Carte sédimentologique schématique.

- enfin des formations récifales et des sables essentiellement organogènes dans la zone de bordure externe du plateau, ainsi que le long des côtes rocheuses de la région.

A - Les sables quartzeux de l'estran

Des sables essentiellement quartzeux forment l'estran sur la bordure externe de zones de mangroves, elles-mêmes largement développées sur le front des deltas des principaux fleuves côtiers. Ces sables s'étendent en une bande continue large de 1 à 2 km, depuis la pointe Andiako, qui marque la limite Nord du delta de la Mananjeba, jusqu'à la Presqu'île d'Ambato, en Baie d'Ambaro. Ils réapparaissent dans le fond de la Baie de Tsimipaika, où ils vont jusqu'à s'accumuler sur une largeur de 3 km près de l'enracinement de la Presqu'île d'Ambato. Ils se répartissent enfin le long de la côte orientale de la Baie d'Ampasindava, sur une largeur moyenne de 1 km, depuis la Montagne d'Ankify jusqu'à l'embouchure de la petite rivière Joja dans le fond de la baie.

Ces sables renferment moins de 10 % de carbonates. Les seuls débris organogènes visibles sont des coquilles de Mollusques, relativement grossières.

Le quartz est le constituant essentiel. Son usure est faible. Des micas, des feldspaths et quelques minéraux lourds, dont la hornblende verte est la plus fréquente, lui sont associés. Les analyses de minéraux lourds effectués ⁽¹⁾ sur des échantillons prélevés dans le lit de 4 principaux fleuves côtiers mettent en évidence de légères différences entre les apports de chacun de ces fleuves : alors que la Mahavavy et l'Ifasy sont caractérisés par une très grande prédominance de la hornblende verte (plus de 90 % de l'ensemble des minéraux lourds), la Mananjeba se distingue par sa richesse relative en épidote (de 20 à 30 %) et le Sambirano par un léger accroissement des teneurs en hypersthène (de 4 à 6 %) et du grenat (3 à 5 %).

(1) Les analyses de minéraux lourds ont été effectuées par le Laboratoire de Géologie de l'ORSTOM - Bondy - 93

Si ces prélèvements littoraux sont dans l'ensemble bien classés, il peut exister par contre des variations latérales importantes dans la taille des éléments (DANIEL, thèse 3e cycle) : les valeurs des médianes varient entre 0,2 et 0,5 mm en moyenne. L'on observe même par endroits des sédiments vaseux : ils restent toutefois localisés.

Ces sables d'estran sont relayés le long des côtes rocheuses (essentiellement le long des Presqu'îles d'Anorontany et d'Ampasindava) par des récifs frangeants : les sables quartzeux font place alors au faciès récifal et à des sables organogènes qui seront décrits plus loin.

B - Les formations vaseuses et vaso-sableuses

Les faciès vaseux et vaso-sableux sont caractérisés par l'importance de leur fraction fine, qui est supérieure à 40 %. Ces faciès se répartissent en 4 zones disposées essentiellement en bordure du littoral. Trois d'entre elles se situent à proximité des zones d'apports fluviaux actuels, dans la région Mahavavy - Mananjaba, devant l'Ifasy et devant le Sambirano. Ces formations sont essentiellement terrigènes au contact des sables quartzeux littoraux. Leur richesse en organismes croît vers le large. Les vases sont bordées à l'Ouest par des vases sableuses calcaires.

La quatrième zone vaseuse s'étend sur la moitié Nord de la Baie de Tsimipaika et entoure Nosy Faly d'une auréole large d'environ 5 km. Elle se distingue des trois zones précédentes par sa richesse relative en calcaires : 30 % en moyenne. Elle se charge d'organismes marins vers le Nord et le NE et passe progressivement à une vase sableuse calcaire au contact des sables.

Le fait important est que ces vases et les vases sableuses qui en constituent le terme de bordure correspondent aux formations de remplissage dont le relief se caractérise par des fonds plats et réguliers (cf Bathymétrie).

1° Les apports terrigènes

Les formations vaseuses et vaso-sableuses sont essentiellement terrigènes au contact des sables littoraux. La répartition des apports terrigènes traduit un grano classement vers le large : aux sables quartzeux littoraux succèdent des vases sableuses terrigènes puis des vases proprement dites.

Les vases sableuses terrigènes sont caractérisées par une fraction grossière encore relativement importante (de 30 à 60 %) qui correspond à un sablon essentiellement micacé. De nombreux débris végétaux et du quartz fin sont associés aux micas. La médiane de ce sablon est d'environ 0,1 mm. Ces vases sableuses n'ont été nettement mises en évidence que devant l'estuaire de l'Ifasy. Elles existent cependant, mais de façon très localisée, devant les estuaires de la Mahavavy et du Sambirano.

Au-delà de ce faciès, l'importance de la fraction grossière détritique diminue très vite : les vases terrigènes qui lui font suite n'en contiennent en moyenne que de 2 à 10 %. Cette fraction grossière terrigène est caractérisée par la prédominance des débris végétaux, sur lesquels sont agglomérés des paillettes de micas ; des quartz très fins leur sont associés. Ces constituants disparaissent peu à peu vers le large.

La fraction fine est essentiellement composée d'éléments argileux. L'analyse aux rayons X de ces minéraux ⁽¹⁾ montre que si la kaolinite est l'élément largement prédominant sur l'ensemble des faciès vaseux de la région (de 40 à 80 %), la montmorillonite, peu abondante, voire même parfois absente devant les embouchures des principaux fleuves côtiers (0 à 20 %), se développe dans le voisinage d'îles telles que Nosy-Bé, Nosy Faly ou Nosy Mitsio, où sa teneur peut atteindre jusqu'à 50 %. On peut y voir, en accord avec CHAMLEY (1969), l'influence du lessivage des roches volcaniques (basaltes et cendres volcaniques) qui constituent l'essentiel des affleurements rocheux dans ces îles. L'accroissement de l'importance de la montmorillonite se fait la plupart du temps aux dépens de celle de l'illite. Celle-ci reste cependant toujours présente : sa teneur varie de 20 à 50 %.

(1) L'analyse aux R X des minéraux argileux a été effectuée par les Laboratoires de Spectrographie de l'ORSTOM à Bondy (93) et de Géologie de l'ORSTOM à Tananarive.

Lorsque l'on arrive près de la limite d'extension des faciès fins vers le large, la fraction grossière terrigène réapparaît sous la forme de grains de quartz de taille moyenne, quelquefois en quantité importante : certains échantillons, prélevés dans les vases sableuses calcaires de bordure montrent que la fraction grossière reste de l'ordre de 40 à 50 % après décalcification, avec des médianes de 0,10 à 0,25 mm.

2° La sédimentation organogène

On retrouve du Nord au Sud les mêmes constituants organogènes. Ce sont essentiellement des tests très fins de Lamellibranches (en particulier de nombreuses Nucules), de Gastéropodes, d'Echinodermes, de Ptéropodes (en particulier du genre Creseis), d'Ostracodes et de Foraminifères de petite taille, dont les plus fréquents sont des Miliolidae, des Rotaliidae et des Textulariidae.

L'importance de la fraction organogène croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure des fleuves. Ceci apparaît très bien sur la carte de la répartition des teneurs en calcaire dans les formations vaseuses qui s'étendent au NE de Nosy Lava : les teneurs en calcaire se répartissent en zones concentriques de plus en plus riches vers le large depuis l'embouchure des fleuves Mahavavy et Mananjeba (fig. 21). Ce phénomène peut être attribué à une amélioration progressive des conditions écologiques vers le large (augmentation de la salinité, diminution de la turbidité, en particulier; sans doute aussi diminution de la vitesse de la sédimentation). L'accroissement du nombre d'organismes vers le large s'accompagne d'une augmentation de l'importance de la fraction grossière. C'est ainsi que si les vases terrigènes renferment en moyenne moins de 10 % de fraction grossière, les vases calcaires qui leur font suite en contiennent généralement entre 10 et 30 % : les constituants organogènes ont remplacé peu à peu les apports terrigènes grossiers (débris végétaux, micas, quartz fins).

Lorsque l'on arrive près de la limite d'extension des faciès fins vers le large, aux organismes précédents s'associent des

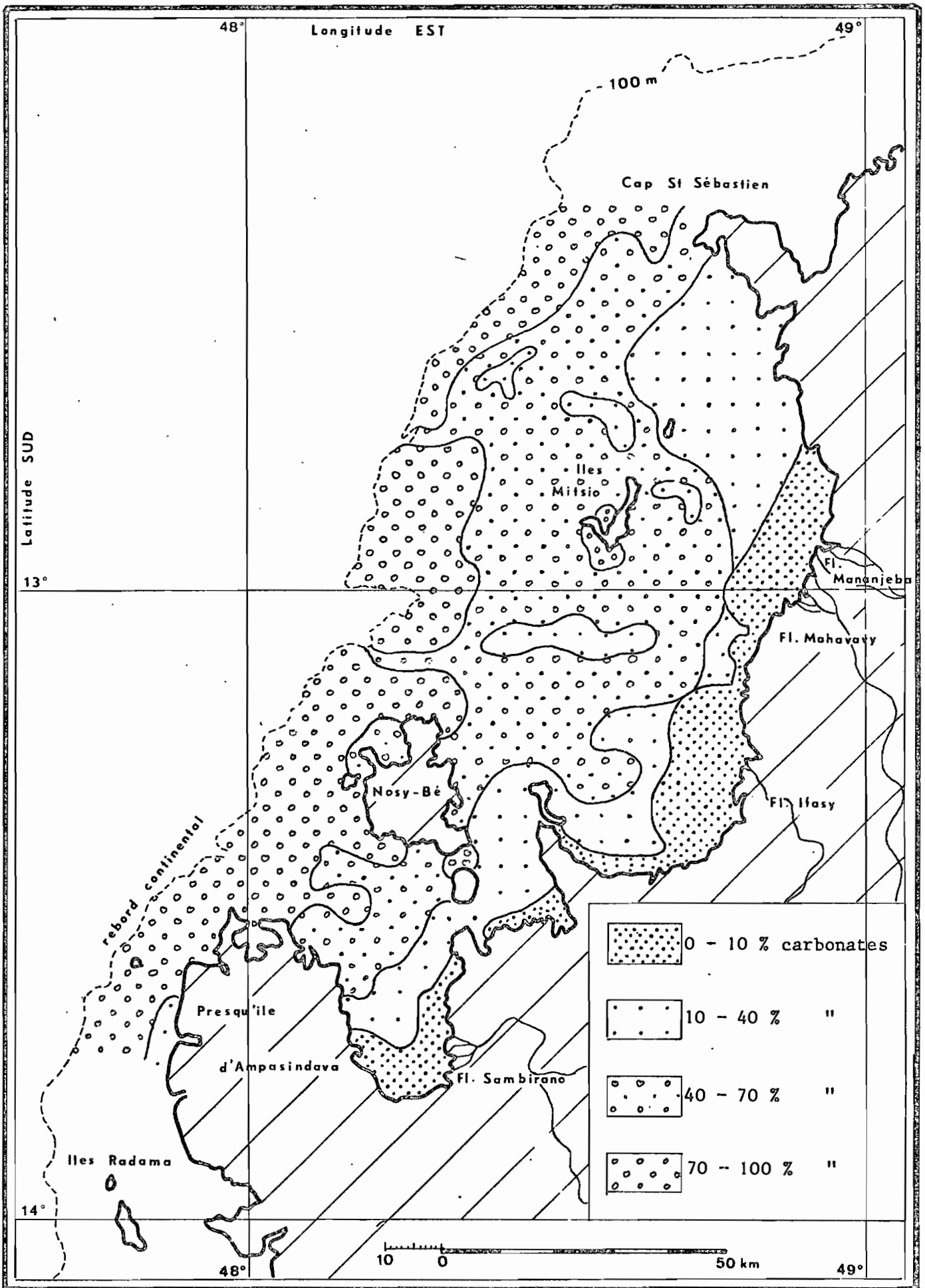


Fig. 21 : Répartition des teneurs en carbonates à la surface du plateau.

débris plus grossiers de Mollusques, de Bryozoaires et de Foraminifères de grande taille (en particulier des Operculines et des Peneroplidae du genre Marginopora), qui témoignent de la proximité du substrat sableux voisin. L'association de ces constituants organogènes, des dépôts fins argileux et fréquemment de sables terrigènes caractérise le faciès "vases sableuses calcaires".

3° Les vases des Baies de Befotaka et de Maribe

Il existe deux petites zones vaseuses particulières à l'abri des côtes septentrionales de Nosy-Bé, en Baie de Befotaka, et de Nosy Mitsio, en Baie de Maribe. Ces vases se distinguent par leur grande richesse en carbonates : de 48 à 65 % en Baie de Befotaka, et même de 50 à 93 % en Baie de Maribe. Leurs teneurs en éléments fins varient de 82 à 94 % pour la première, de 77 à 83 % pour la seconde. L'importance de la teneur en carbonates, notable même à l'intérieur de la fraction fine, peut s'expliquer par l'usure d'un matériel organogène important dans les environs -les côtes de Nosy-Bé et de Nosy Mitsio sont bordées de récifs frangeants- et par la position géographique de ces baies qui les met à l'abri des influences continentales. L'analyse aux R X des minéraux argileux montre la prédominance de la kaolinite ; l'illite est également abondante ; la montmorillonite est présente ; elle peut devenir abondante aux dépens de l'illite dans certains échantillons.

C - Les sables quartzo-coquilliers à Foraminifères

Les faciès sableux du plateau sont caractérisés par la prédominance de leur fraction grossière (plus de 60 %). Ils sont constitués par l'association de dépôts organogènes et de sables quartzeux en proportion variable, la teneur en carbonates pouvant varier de 10 à 100 %. Ils se différencient ainsi des sables quartzeux de l'estran dont l'importance de la fraction organogène ne dépasse pas 10 %.

De même que les formations vaseuses correspondent aux fonds plats et réguliers, ces sables quartzo coquilliers correspondent à la plus grande partie des formations ondulées qui recouvrent près de la moitié du plateau : on observe une exception à cette règle dans la moitié Ouest de la Baie d'Ampasindava, où les formations ondulées sont, tout au moins superficiellement, constituées par des vases sableuses calcaires.

Les sables quartzo coquilliers du plateau arrivent en trois endroits au contact des sables quartzeux de l'estran : par l'intermédiaire de deux couloirs entre les faciès fins en Baie d'Ambaro (DANIEL, thèse 3e cycle) et dans le fond de la Baie de Tsimipaika. Ils sont par contre séparés des sables littoraux qui se situent devant l'embouchure actuelle du Sambirano en Baie d'Ampasindava par une bande de vase continue.

1° La fraction terrigène

La fraction terrigène des sables du plateau est essentiellement quartzeuse. De même que pour l'estran, l'usure des grains est faible, Des feldspaths et des micas sont associés au quartz en faible quantité.

Le tableau n° I rassemble les mesures des teneurs en fraction fine et les valeurs des médianes de la fraction grossière des échantillons décalcifiés appartenant à deux radiales Est - Ouest situées respectivement au Nord et au Sud de l'Archipel des Mitsio. Ce tableau montre trois faits :

- la teneur en fraction fine des sables du plateau diminue notablement au-delà du faciès vases sableuses. Cette teneur en fraction fine se situe en moyenne pour l'ensemble du plateau entre 3 et 8 %.
- les médianes des fractions grossières ont des valeurs dispersées : la fraction quartzeuse ne fait pas l'objet d'un granoclassement.
- enfin la taille des grains de quartz (0,1 à 0,6 mm) est équivalente à celle des sables de l'estran (0,2 à 0,5 mm). Elle reste donc relativement grossière.

TABLEAU n° I

Radiale Nord			Radiale Sud		
Nos	% fraction fine	Médiane de la fraction grossière	Nos	% fraction fine	Médiane de la fraction grossière
1117	44	0,41 mm	770	20	0,60 Mm
826	21	0,47	685	30	0,23
823	27	0,24	753	25	0,65
867	32	0,17	658	21	0,28
874	16	0,19	657	62	0,15
873	9	0,21	769	60	0,19
948	5	0,37	686	28	0,225
949	19	0,33	754	8	0,63
958	12,5	0,20	659	13	0,54
950	8,5	0,29	767	7	0,165
966	38	0,17	725	39	0,21
959	9	0,40	755	5	0,47
962	15	0,10	662	3	0,46
963	12	0,30	765	4	0,18
974	9	0,30	724	5	0,23
975	7	0,11	764	4	0,30
979	2	0,18	663	2	0,30
1291	5	0,17	757	4	0,40
1286	5	0,28	729	3	0,60
1295	7	0,46	763	2	0,19
1108	7	0,22	758	3	0,26
			762	8	0,50
			730	7	0,15
			788	6	0,38
			805	5	0,11

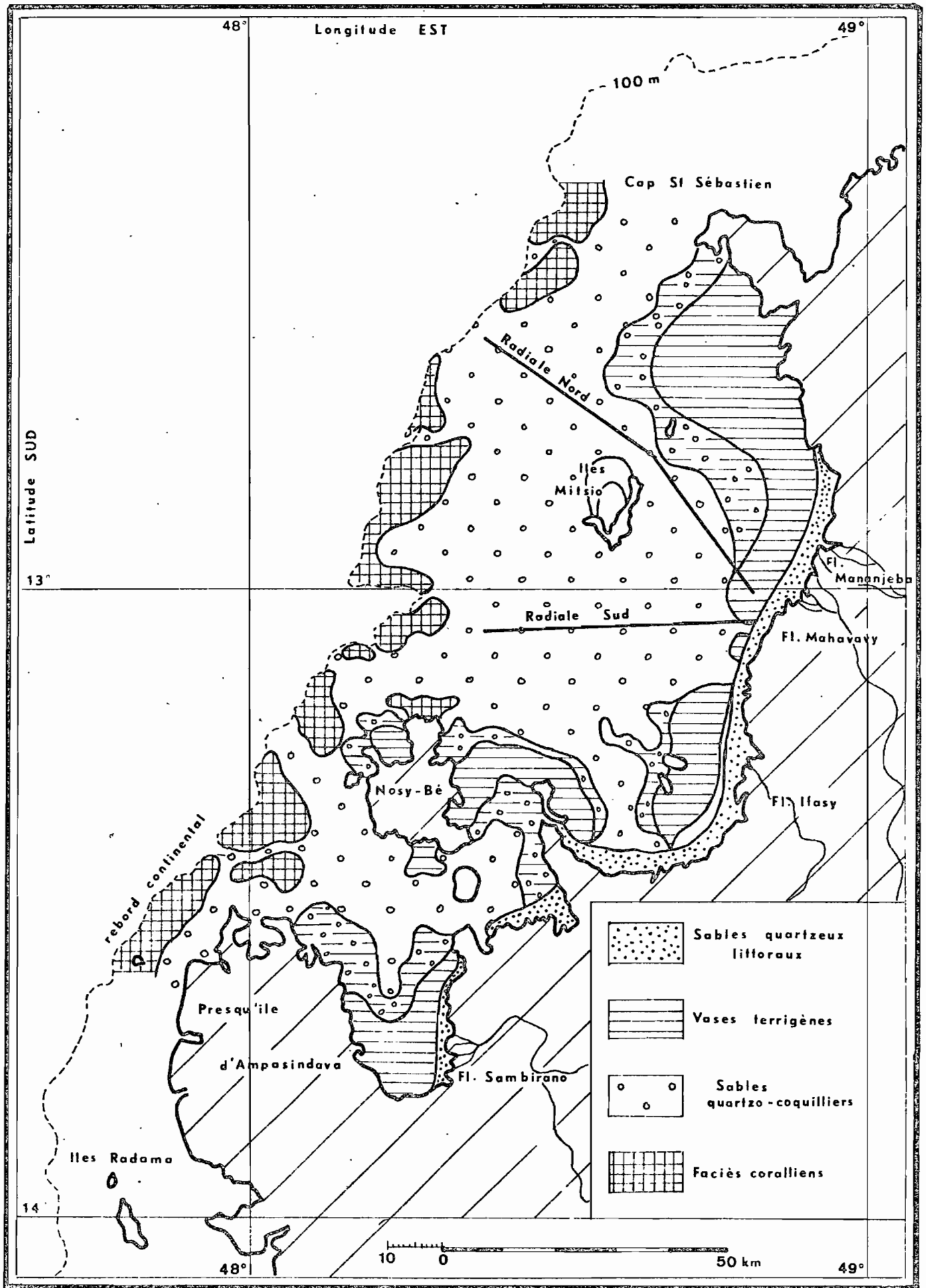


Fig. 22 : Position des radiales Nord et Sud mentionnées au tableau 1.

La fraction quartzeuse des sables du plateau reste visible -même si elle n'est plus alors très importante : elle est inférieure à 30 % jusqu'au pied du bourrelet externe et même jusqu'au rebord continental situé à la latitude de Nosy Lava. On en rencontre également à la hauteur du Cap St Sébastien, où les grains de quartz sont encore relativement grossiers, et même sur le platier externe du bourrelet au débouché de la passe présumée qui affecte celui-ci au niveau du Cap St Sébastien (cf bathymétrie). La fraction quartzeuse ne disparaît en fait qu'entre la côte NW de Nosy-Bé et le rebord continental.

2° La fraction organogène

Les sables du plateau sont caractérisés par l'accroissement progressif de l'importance de la fraction organogène vers le large, au fur et à mesure que l'on se rapproche des zones coralligènes. Ceci apparaît nettement sur la carte des teneurs en calcaire des sables du plateau dans la région des îles Mitsio. Les constituants essentiels de ces sables sont les débris de Mollusques et les Foraminifères. Il est en particulier possible de distinguer des grandes provinces à Foraminifères : le genre Marginopora domine nettement au SE des Mitsio, ainsi qu'au SE de Nosy-Bé ; le genre Operculina caractérise les sables du plateau situés à l'Ouest et au SW des Mitsio, ainsi qu'au SW de Nosy-Bé ; enfin le genre Rotalia est caractéristique des sables de la région du Cap St Sébastien. Des Milionellidae, des Textulariidae et des Alveolinidae, ainsi que de nombreux débris de Bryozoaires, d'Echinodermes, de Crustacés, enfin d'Algues Lithothamniées leur sont associés.

3° La vallée sous-marine du Banc de 5 m

La vallée sous-marine qui sépare le Banc de 5 m du Grand Banc de l'Entrée est caractérisée par une sédimentation particulière, qui consiste en un sablon très homogène de couleur gris-beige : la fraction fine y est négligeable (de l'ordre de 10 %), la fraction grossière reste toutefois composée d'éléments très fins. Bien que le quartz existe -il est fin et anguleux-, la teneur en carbonates reste très élevée : elle est

située entre 85 et 93 %. Les dépôts organogènes sont caractérisés par la minceur des tests d'animaux, qui annonce la proximité des grands fonds et de la sédimentation pélagique : les Globigérines et les Ptéropodes y sont relativement fréquents.

D - Le faciès récifal

Limité aux récifs frangeants le long des côtes rocheuses, ainsi qu'à quelques massifs isolés dans la zone interne du plateau, le faciès récifal prend une grande extension sur la bordure externe.

Il se caractérise par l'alternance d'une part de massifs coralliens proprement dits, constitués principalement de Madréporaires, d'Algues calcaires encroûtantes Mélobésiées, et d'autre part de larges plages de matériaux détritiques grossiers, blanchâtres, où l'on trouve les débris des précédents, associés à de très nombreux articles d'Halimeda -qui peuvent à eux seuls fournir le matériel nécessaire à la formation de dunes hydrauliques- ainsi qu'à des Mollusques, des Bryozoaires et des Foraminifères, dont les plus caractéristiques sont les genres Cycloclypeus et Amphistegina. Il faut citer également Rotalia calcar et le genre Heterostegina.

E - Interprétation

On retrouve sur l'ensemble du plateau continental compris entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava une répartition des faciès sédimentologiques identique à celle de la Baie d'Ambaro (DANIEL, thèse 3e cycle). Le seul élément nouveau est la présence de formations récifales bien développées au large, le long du rebord continental. Cette répartition se caractérise par l'existence de dépôts terrigènes grossiers, essentiellement quartzeux, situés au-delà de vases et de vases sableuses par rapport aux sources actuelles de la sédimentation terrigène.

On observe en effet immédiatement devant les embouchures des 4 principaux fleuves côtiers la succession suivante : des sédiments quartzeux littoraux, tout d'abord, dont la médiane varie en moyenne entre 0,2 et 0,5 mm ; des vases sableuses quartzo-micacées, dont la médiane de la fraction grossière est de l'ordre de 0,1 mm ; enfin des vases. Au-delà se trouvent des sables quartzo-coquilliers : la médiane de ces sables une fois décalcifiés oscille entre 0,1 et 0,6 mm. Ces dépôts terrigènes quartzeux sont donc à rapprocher des sables de l'estran par leur granulométrie : ils se trouvent en position anormale par rapport aux vases et aux vases sableuses terrigènes. Ces dépôts quartzeux sont présents sur une très grande étendue : on les rencontre jusqu'aux formations récifales du large et même jusqu'au rebord continental à la hauteur de Nosy Lava (cf p. 55).

Or la carte sédimentologique montre que ces sables quartzo-coquilliers du plateau sont complètement séparés, en Baie d'Ampasindava, des sables quartzeux de l'estran par une bande continue de sédiments vaseux. On n'observe dans les vases que peu d'éléments quartzeux : encore ceux-ci restent-ils fins (de taille inférieure à 0,1 mm), c'est-à-dire sans commune mesure avec ceux que l'on trouve plus loin dans les sables du plateau : les matériaux grossiers actuellement apportés par le Sambirano ne peuvent s'échapper de la zone littorale.

Il existe en Baie d'Ambaro entre les formations vaseuses périlittorales deux couloirs sableux par l'intermédiaire desquels les sables quartzo-coquilliers arrivent au contact des sables quartzeux de l'estran. Des mesures de courantométrie effectuées au-dessus de ces couloirs sableux montrent qu'il n'existe pas de courants qui soient capables de transporter une masse aussi considérable de matériaux quartzeux que celle que l'on trouve disséminée sur le plateau autour des îles Mitsio (DANIEL, thèse 3e cycle).

De même, dans le fond de la Baie de Tsimipaika, les sables quartzo-coquilliers sont au contact des sables quartzeux de l'estran. Cette Baie de Tsimipaika communique avec le large par les passes d'Ankify et du Lokobé de part et d'autre de Nosy Komba. Les sédiments superficiels

de la passe du Lokobé sont des sables essentiellement organogènes. Ceux de la passe d'Ankify sont par contre relativement quartzeux (81 à 98 % de fraction grossière, 21 à 33 % de teneur en carbonates). Les courants de marée sont évalués à 0,7 noeuds dans cette passe (DONGUY) ⁽¹⁾. Néanmoins leur vitesse diminue rapidement dès que l'on s'éloigne de cette passe. Ils ne peuvent donc expliquer à eux seuls la présence de sables quartzeux sur une étendue aussi grande que celle du plateau situé au Sud de Nosy-Bé. Cela n'expliquerait d'ailleurs pas non plus l'extension encore plus considérable de ces sables quartzeux dans la région des îles Mitsio.

Enfin et surtout, la correspondance qui existe entre les sables quartzo-coquilliers du plateau et les formations ondulées d'une part, entre les vases et les formations à fonds plats et réguliers d'autre part, montre que les sables quartzo-coquilliers plongent sous les vases périlittorales.

Il faut donc admettre que les sables quartzo-coquilliers du plateau sont anciens et que la sédimentation terrigène actuelle est relativement peu étendue : elle se limite à la zone périlittorale.

- Les sables actuellement apportés par les fleuves ne dépassent pas la zone littorale proprement dite : repris par la dérive littorale à l'embouchure de ces fleuves, ils s'accumulent en cordons sableux le long du front des deltas côtiers.

- Seuls les sédiments fins vont au-delà pour se déposer en vasières plus ou moins importantes dans la zone périlittorale, recouvrant imparfaitement encore des formations sableuses quartzo-coquillères pré-existantes.

Ceci est en accord avec les conclusions de BERTHOIS et CROSNIER (1966) dans leur étude au large de l'estuaire de la Betsiboka, ainsi qu'avec celles d'HERVIEU (1968) au large des principaux fleuves côtiers de l'Ouest malgache.

On peut voir dans les sables quartzo-coquilliers du plateau du NW malgache une nouvelle illustration de l'existence de sédiments reliques dont EMERY (1968) montre la présence sur les divers plateaux continentaux.

(1) Communication orale

II - ETUDE DES SEDIMENTS EN PROFONDEUR

31 carottes ont été prélevées au carottier à piston, type Kullenberg, d'une longueur maximum de 5 mètres, dans les faciès vaseux et vaso-sableux, de préférence en bordure de ces faciès (dans les vases sableuses) ou au-dessus des zones où le réflecteur sous-jacent est proche de la surface.

28 carottes ont été prélevées dans les faciès sableux, dont 5 dans les zones riches en dépôts organogènes.

A - Etude des carottes prélevées dans les faciès vaseux ----- et vaso-sableux -----

Les 31 carottes prélevées dans les faciès vaseux et vaso-sableux peuvent être classées en 5 types différents suivant les successions sédimentaires que l'on y observe. Il sera décrit une carotte représentative de chacun de ces types (fig. 41).

1° Le type V 68

La carotte V 68, longue de 4,45 m, a été prélevée par 49 m au NW de Nosy Lava, près de la limite d'extension maximum des formations vaseuses vers l'Ouest. Cette carotte présente un faciès vaseux homogène sur toute sa longueur, avec seulement un niveau vaso-sableux (63 % de fraction fine) de 5 cm, entre 0,95 et 1 m. Il y a augmentation régulière de la teneur en carbonates de bas en haut, accompagnée d'une diminution de la teneur en éléments fins : la première passe de 27 % à la base à 37 % au sommet, la seconde reste comprise entre 93 et 94 % de la base à 1 m,

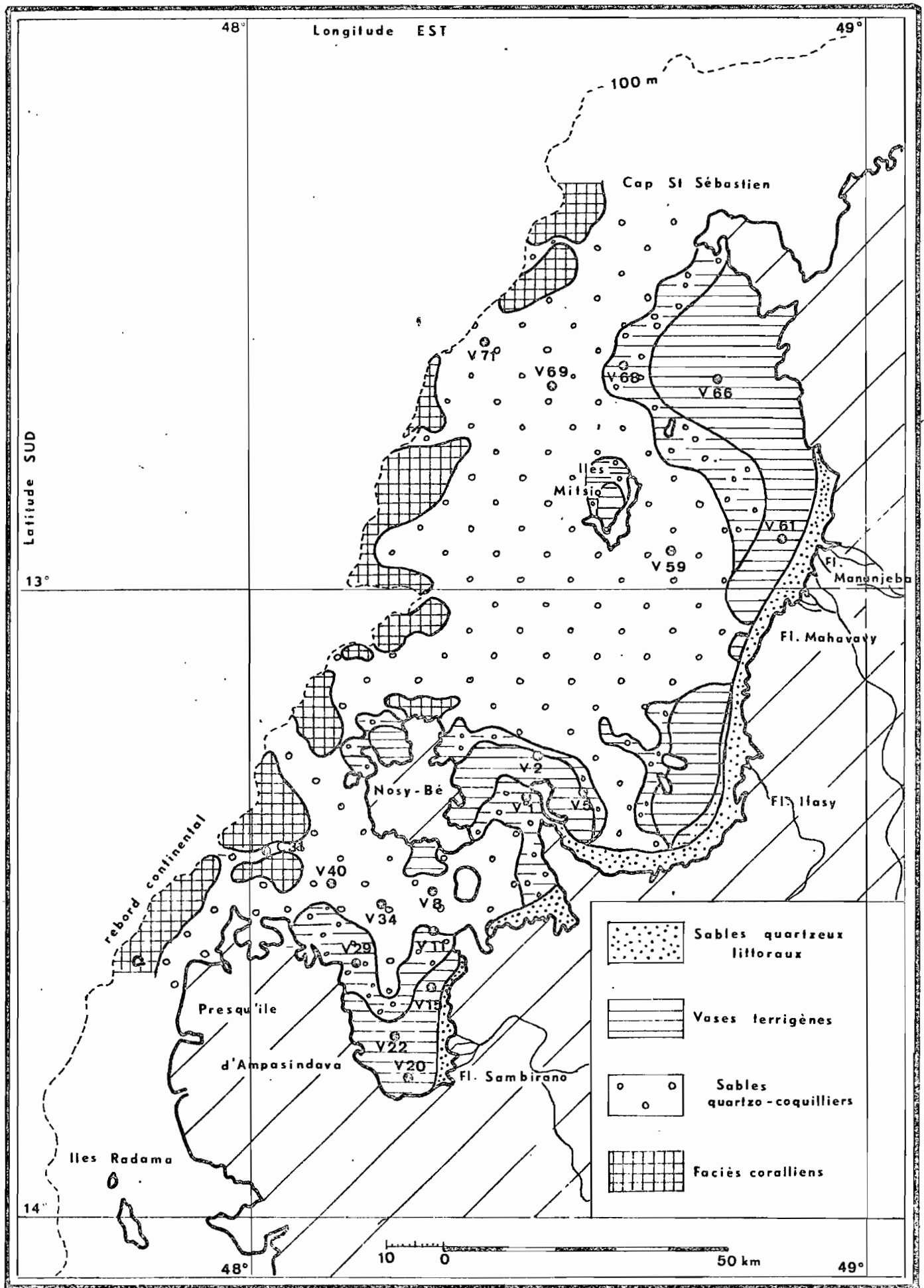


Fig. 23 : localisation des carottes-type.

puis prend une valeur de 87,5 % au-dessus du niveau vaso-sableux.

La fraction grossière est composée de débris très fins d'Echinodermes, d'Ostracodes, de Ptéropodes, de Lamellibranches et de Foraminifères (des Rotaliidae et des Miliolidae) et reste qualitativement la même tout le long : seule son importance varie. Du quartz fin est visible tout le long de la carotte.

On retrouve le même type de sédimentation fine et homogène dans le fond de la Baie d'Ampasindava (carottes V 18, V 19, et V 20). On peut également rapprocher de ce type les carottes V 21 et V 22, prélevées dans le centre de cette Baie d'Ampasindava. Toutefois ces 2 carottes montrent un net enrichissement en organismes vers le haut. Il en est de même de la carotte V 1, prélevée au NW de Nosy Faly (DANIEL, thèse 3e cycle).

2° Le type V 66

La carotte V 66, longue de 4,40 m, a été prélevée au Nord de Nosy Lava, au coeur des formations vaseuses du Nord, à l'Est donc de la V 68. Paradoxalement, elle est moins homogène que la V 68 et met en évidence la superposition d'un faciès fin classique recouvrant un sable quartzo-coquillier :

- de la base à 2,76 m

Sable grossier, grisâtre, quartzo-coquillier à Operculines. La fraction fine ne correspond qu'à 22 %, la teneur en carbonates oscille entre 8,5 et 13 %. Le quartz est abondant, grossier, anguleux à usé, incolore : il devient de plus en plus grossier vers la base. Les Operculines forment l'élément principal de la fraction organogène : elles sont accompagnées de Miliolles, de quelques Rotalidae, de débris de Bryozoaires et de débris de Mollusques de taille moyenne, ainsi que d'Echinodermes.

- de 2,76 m à 2 m

Il y a une très nette augmentation de la teneur en fraction

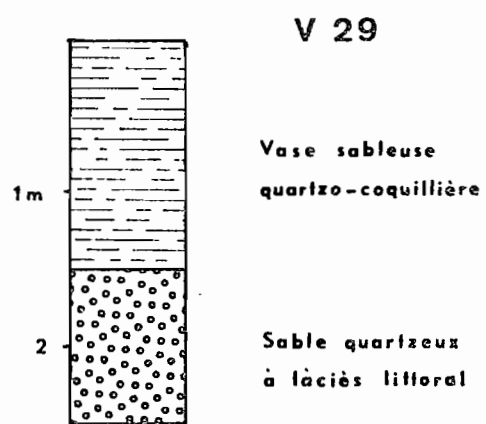
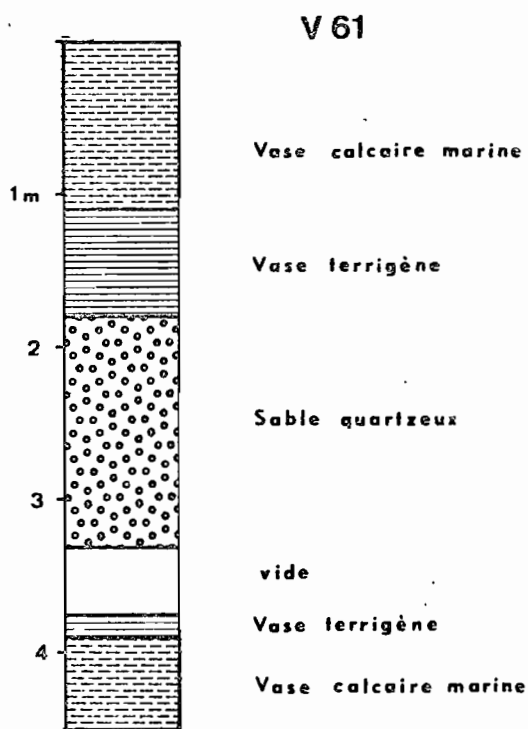
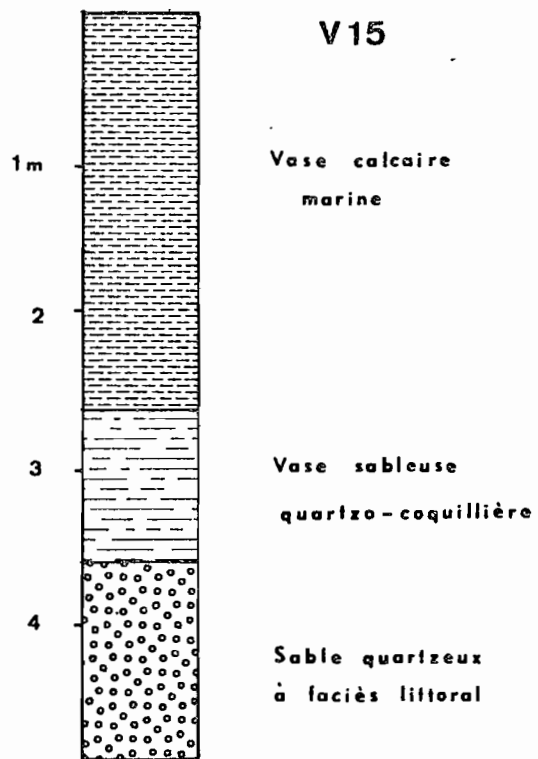
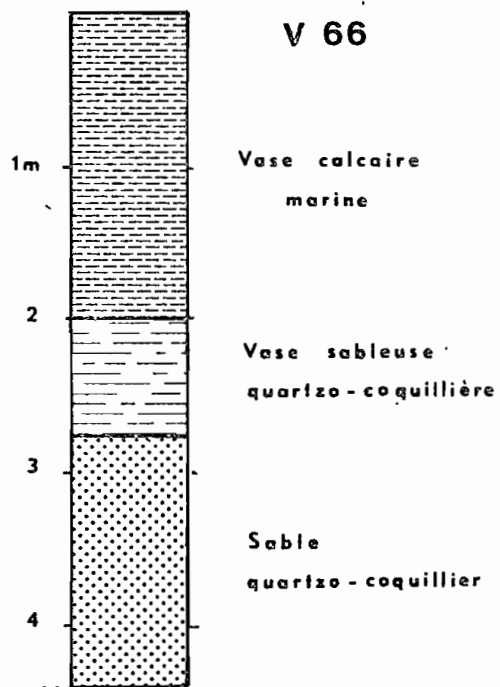


Fig. 24

fine qui prend une valeur de 69 %. Il s'agit donc d'une vase sableuse qui correspond à un faciès de transition : à du quartz moyen à grossier et des Foraminifères de taille moyenne (des Operculines) s'ajoutent les constituants habituels du faciès fin. La teneur en carbonates est de 22%.

- de 2 m au sommet

On retrouve un sédiment vaseux (90 % de fraction fine), relativement calcaire (25 %). La composition de la fraction grossière est celle du faciès fin. Du quartz fin est présent.

Dans cette carotte, le réflecteur sous-jacent est atteint sous 2,76 m de vases et vases sableuses : il s'agit d'un sable quartzo-coquillier analogue par sa composition à celui que l'on trouve sur de grandes étendues à la surface du plateau. La même succession se retrouve au Nord de Nosy Faly, dans la carotte V 2 (DANIEL, thèse 3e cycle).

3° Type V 15

La carotte V 15, longue de 4,90 m, a été prélevée en Baie d'Ampasindava, devant le delta du Sambirano, à 2 milles au SW de la Montagne d'Ankify.

- De la base à 3,60 m

Les dépôts sont sableux, quartzeux, grossiers, très pauvres en organismes marins. La teneur en fraction fine se situe entre 14 et 29 % celle en carbonates entre 0 et 6 %. Les grains de quartz varient du fin au très grossier -ils peuvent dépasser le centimètre-, les plus grossier d'entre eux étant généralement arrondis et mats. Ils sont accompagnés de feldspaths, de micas, de débris végétaux et de petits débris d'argile indurée. La fraction organogène se réduit à de très rares débris de coquilles de Mollusques, en particulier de Balanes, ainsi que, vers le haut, de quelques Foraminifères et Bryozoaires. Ce sable présente des caractères identiques à ceux des sables littoraux actuels.

- De 3,60 m à 2,60 m

Il s'agit d'une vase sableuse quartzo-coquillière : la

teneur en fraction fine est passée à 59 %, celle en carbonates à 14 %. Le quartz se présente encore en grains fins à moyens, accompagnés des mêmes constituants que précédemment. La fraction organogène, ici plus importante, se compose de débris de coquilles de Lamellibranches et de Gastéropodes, de Bryozoaires, d'Ostracodes, d'Echinodermes, de Crustacés.

- de 2,60 m au sommet

Le faciès est vaseux, homogène. La teneur en fraction fine croît de 79 à 89 %, celle en carbonates oscille entre 12 et 16 %, sauf dans les 20 cm superficiels, où elle atteint la valeur de 42 %. La fraction terrigène se réduit à de très petits quartz anguleux, à des débris végétaux, à des micas. La fraction organogène devient relativement abondante et correspond à celle que l'on trouve habituellement dans les faciès fins superficiels.

Il y a donc un passage assez bien marqué d'un sable au caractère littoral à une vase superficielle franchement marine par l'intermédiaire d'une vase sableuse quartzo-coquillière. Les carottes V 16 et V 17, situées en face de la partie du delta du Sambirano comprise entre la Montagne d'Ankify et le Massif du Sambirano présentent la même disposition. Les sables quartzeux littoraux y sont visibles respectivement à 1,60 m et 3,60 m de la surface du sédiment.

Il convient également de rapprocher de la V 15 la carotte V 5, décrite à propos de l'étude de la Baie d'Ambaro. Cette carotte V 5 de 4 m a été prélevée par 20 m de profondeur à l'Est de Nosy Faly. Elle montre au-dessous d'une sédimentation du type V 66 (c'est-à-dire vase marine surmontant une vase sableuse quartzo-coquillière) l'existence d'une formation à faciès deltaïque caractérisé par un sédiment sableux ou vaso-sableux ocre à jaunâtre, dont la fraction grossière, très pauvre en organismes, est essentiellement constituée de quartz et de granules argilo-quartzeux teintés d'oxydes de fer. Ce niveau, qui indique une diminution des influences marines (DANIEL, thèse 3e cycle) est à rapprocher du niveau à caractère littoral décrit à la base de la carotte V115.

4° Type V 61

La V 61, longue de 4,50 m, a été prélevée par 12 m de profondeur en face de l'embouchure actuelle de la Mananjeba. Cette carotte, également décrite à propos de la Baie d'Ambaro, montre l'intercalation dans une formation vaseuse franchement marine (vases à Ostracodes) de 2,80 m de sables quartzeux riches en débris végétaux et presque azoïque. On peut y voir soit la trace d'une oscillation du niveau marin, soit, vu sa position géographique, le résultat d'une variation du régime des fleuves, qu'il s'agisse d'un changement de cours ou d'une crue exceptionnelle (DANIEL, thèse 3e cycle).

5° Type V 29

La carotte V 29, longue de 2,50 m, a été prélevée par 53 m de fond dans la dépression d'Anjanozano.

- De la base à 1,50 m

On trouve un sédiment sableux grossier, quartzeux : la teneur en fraction fine varie de 21 à 31 %, celle en carbonates de 3 à 12 %. Essentiellement terrigène, le sédiment est formé surtout de quartz, très grossier, pouvant atteindre la dimension des graviers (de 2 à 3 cm) ; ce quartz est souvent rubéfié, usé, arrondi ; il peut être anguleux, il est alors incolore. Des feldspaths et quelques micas d'une part, des débris coquilliers assez grossiers, tout à fait semblables par leurs dimensions à ceux que l'on rencontre dans les faciès littoraux actuels d'autre part sont associés. Ces débris ont fait l'objet d'une datation au C^{14} , dont il sera question plus loin.

- De 1,50 m au sommet

Il s'agit de vases sableuses calcaires : la teneur en fraction fine oscille entre 47 et 59 %, et celle en carbonates entre 49 et 59 %. La fraction grossière est composée de quartz fin à moyen, devenant de moins en moins abondant vers le sommet, de micas et de nombreux débris d'organismes, parmi lesquels les Foraminifères (Operculines, Textu-

lariidae) sont les plus importants, associés à des Bryozoaires, des Ptéropodes et des débris de coquilles.

Cette carotte est très caractéristique de toute la région NW de la Baie d'Ampasindava, jusqu'à Nosy Kisimany : elle met en évidence de façon très nette l'existence d'un faciès littoral grossier, aujourd'hui recouvert par des dépôts vaso-sableux coquilliers. Elle correspond au type de sédimentation précédent (V 15) auquel il manque le niveau supérieur vaseux. 12 carottes appartiennent à ce type.

B - Etude des carottes prélevées dans les faciès sableux

Il est possible de distinguer 8 types différents de sédimentation à l'aide des 28 carottes prélevées dans les faciès sableux du plateau (fig. 18).

1° Type V 40

Longue de 3,80 m, la carotte V 40 a été prélevée au Nord, par 49 m de fond, dans la dépression allongée qui relie la dépression d'Anjanozano à la vallée sous-marine du Banc de 5 m.

- De la base à 1,10 m

On trouve des sables grossiers, roux en partie, dont la teneur en fraction fine décroît de bas en haut de 37 % à 3 %, et celle en carbonates, nulle à la base, ne dépasse jamais 4 %. Ces sables sont essentiellement composés de quartz, fins à la base -ils sont alors associés à de nombreux micas-, grossiers plus haut, allant jusqu'à atteindre le centimètre, souvent émoussés et rubéfiés, associés à de nombreux grains d'argile indurée, jaunâtres ou rougeâtres, rappelant la carapace sablo-argileuse (cf Caractères Généraux). La fraction organogène est inexistante à la base, et composée vers le haut de coquilles de Lamellibranches relati-

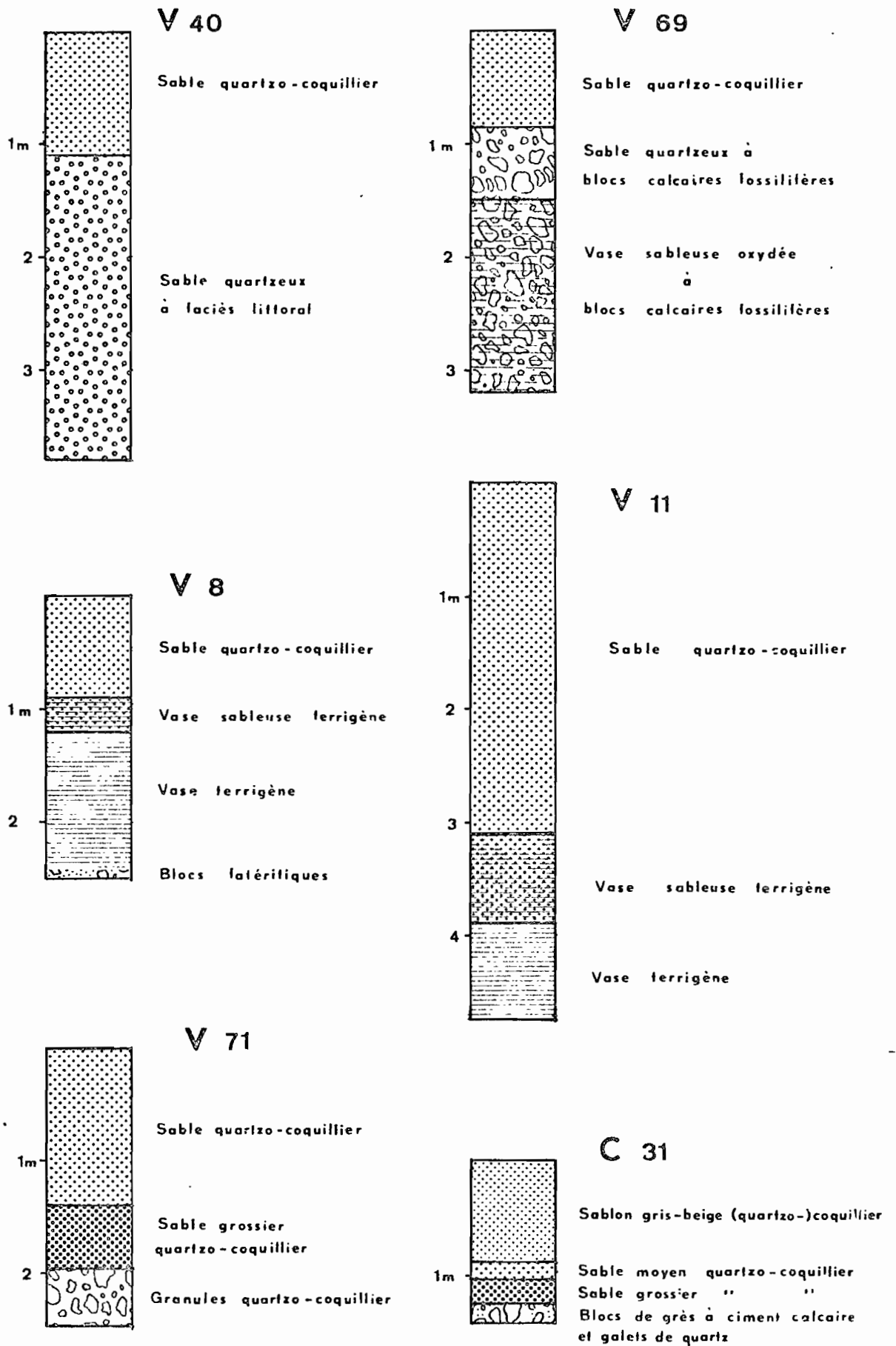


Fig. 25

vement grossiers (débris de plus de 2 cm) et qui, comme pour la V 29, ont fait l'objet d'une datation au C¹⁴.

- De 1,10 m au sommet

Les formations sableuses littorales précédentes sont recouvertes par 1,10 m de sables quartzo-coquilliers grisâtres à Operculines. Le quartz reste abondant et relativement grossier jusqu'en surface, anguleux et incolore. La fraction organogène, dont la teneur varie entre 27 et 48 %, est caractérisée par l'abondance des Operculines, associées à quelques débris coralliens, à de nombreux Bryozoaires et à des débris de coquilles, roulées et en partie encroûtées.

On retrouve le même niveau sableux à caractère littoral sous 1,10 m également de sédiments quartzo-coquilliers dans la carotte V 46, prélevée à 2 milles au SW de Nosy Tanga (côte SW de Nosy-Bé) par 45 m de fond. Les carottes V 3 et V 4 prélevées au Nord de Nosy Faly correspondent également au type V 40, ainsi que les carottes V 56, V 62 (DANIEL, thèse 3e cycle) et V 65 dans la région des îles Mitsio.

2° Type V 11

La carotte V 11, longue de 4,75 m, a été prélevée par 21 m à 2 milles à l'Ouest de la Montagne d'Ankify.

- De la base à 3,90 m

Il s'agit d'une vase essentiellement terrigène, de couleur grise : la teneur en fraction fine est de 97 %, celle en carbonates nulle. Pas de débris d'organismes. La fraction terrigène sableuse, très réduite, comprend des débris végétaux, des micas et quelques quartz très fins.

- De 3,90 m à 3,10 m

On trouve une vase sableuse terrigène micacée, où la teneur en fraction fine est de 54 %, celle en carbonates voisine de 1 %. La fraction organogène se limite à quelques débris d'un Gastéropode spécial, de la famille des Architectonicidae, déjà rencontré à propos des vases sableuses

terrigenes situées devant l'Ifasy (DANIEL, thèse 3e cycle). La fraction terrigène sableuse renferme essentiellement des débris végétaux et des micas, accompagnés de quartz très fin, en faible quantité.

- De 3,10 m au sommet

Il s'agit de sables fins quartzo-micacés à coquilles et Foraminifères. La fraction fine oscille entre 31 et 21 %, celle en carbonates croît de 3 à 40 % de bas en haut. La fraction sableuse terrigène est composée de quartz très fins à moyens (ces derniers restent peu nombreux), de micas, et de quelques débris végétaux, qui disparaissent vers le sommet. La fraction organogène croît considérablement au fur et à mesure que l'on remonte dans la carotte : elle est constituée principalement de débris de Mollusques, de Ptéropodes, d'Echinodermes, d'Ostracodes et de Foraminifères (en particulier des Operculines et Marginopora).

Des sables quartzo-coquilliers reposent donc sur des vases terrigènes, mais il est permis de penser que celles-ci sont littorales, ou qu'il s'agit de vases de mangroves, en raison tout particulièrement de la rareté anormale des débris organogènes : le faciès littoral peut donc consister en dépôts plus complexes et plus variés que les seuls sables quartzeux grossiers.

On retrouve les mêmes caractères dans l'ensemble du secteur correspondant aux vases sableuses superficielles situées à l'Ouest de la Montagne d'Ankify (carottes V 13 et V 14) ainsi que devant la passe d'Ankify (carotte V 10).

3° Type V 8

La carotte V 8, longue de 2,50 m, a été prélevée par 20 m de fond à 2 milles à l'Ouest de Nosy Komba, dans la zone des sables calco-quartzeux.

- De la base à 1,20 m

On trouve des vases terrigènes, oxydées dans leur ensemble,

dans lesquelles la fraction organogène est pratiquement inexistante : il n'a été aperçu de très rares débris coquilliers que vers 1,50 m. La teneur en fraction fine varie de 67 à 77 %, celle en carbonates est nulle. La fraction sableuse terrigène est classique : débris végétaux, micas, quartz très fins. Tout à fait à la base, on observe de gros blocs latéritiques, anguleux, rappelant le faciès de la carapace argileuse que l'on voit dans la région de la Mahavavy et de la Presqu'île d'Ambato (BESAIRIE, 1934). De même que pour la V 11, ces vases ne contiennent pas les constituants organogènes habituels des vases marines, même en faible quantité. On peut considérer ce faciès comme littoral ou deltaïque.

- De 1,20 m à 0,90 m

Il s'agit d'une vase sableuse (fraction fine : 46 %) dans laquelle les éléments grossiers sont constitués par du quartz, fin à moyen, quelquefois roux, sinon incolore, des débris végétaux, des débris d'argile indurée, auxquels sont associés quelques débris de Foraminifères (Marginopora, Operculine) et de petits bivalves (la teneur en carbonates est de 3 %).

- De 0,90 m à la surface

Le faciès devient franchement sableux, quartzo-coquillier. La teneur en fraction fine est de 30 %, celle en carbonates oscille entre 38 et 56 %. Le quartz est fin à moyen, anguleux : les débris organogènes, abondants, sont composés de Foraminifères (Marginopora, Operculines), de débris de Mollusques, de Bryozoaires, d'Echinodermes.

La carotte V 8 est caractéristique de la région située entre Tany Kely, Nosy Komba et Nosy-Bé : les carottes V6, V7 et V9 présentent les mêmes caractères, le sédiment littoral ou deltaïque sous-jacent pouvant être toutefois non pas une vase mais un sable quartzueux plus ou moins roux. Le faciès marin quartzo-coquillier recouvre ces niveaux littoraux sur respectivement 2,40 m, 1,60 m et 1,50 m.

4° Type V 34

La carotte V 34, longue de 3,40 m, a été prélevée par 47 m

de fond à mi-chemin environ entre l'îlot de Tany Kely et la Presqu'île d'Ampasindava. Elle présente une intercalation de 1,80 m de vases plus ou moins sableuses (la fraction fine varie de 59 à 81 %), quartzo-micacés, riches en débris végétaux, mais par contre très pauvres en organismes marins (de rares tests d'Ostracodes et de petits Foraminifères : la teneur en carbonates est de 3 %), entre deux niveaux sableux quartzo-coquilliers à Operculines. Ceci montre la possibilité de variation latérale du faciès sableux classique.

5° Type V 59

La carotte V 59, longue de 4,08 m, prélevée par 14 m de profondeur à l'Est de Nosy Mitsio, a été décrite à propos de la Baie d'Ambaro. Elle présente une intercalation d'un niveau terrigène et azoïque de 60 cm au milieu de sables quartzo-coquilliers à Foraminifères. Ce niveau terrigène peut être attribué aux mêmes phénomènes que ceux invoqués pour la carotte V 61 (DANIEL, thèse 3e cycle).

6° Type V 69

La carotte V 69, longue de 3,20 m, a été prélevée par 55 m au NW de Nosy Lava, à mi-chemin environ entre cette île et le rebord continental.

- De 3,20 m à 1,50 m

On observe des sables plus ou moins vaseux (la fraction fine diminue régulièrement de la base vers le haut, de 39 à 29 %), où l'on trouve, enrobés dans une gange argileuse de couleur rousse assez vive, des quartz fins à très fins mais abondants, associés à de nombreux micas et à de gros blocs calcaires de couleur jaunâtre, de deux types : les uns sont azoïques, les autres s'effritent facilement et sont constitués d'agglomérats de Foraminifères (des Operculines surtout, mais aussi des Rotaliidae), de Bryozoaires, de débris coquilliers divers ; ces débris coquilliers se retrouvent à l'état libre dans le sédiment, brisés, rubéfiés :

ils proviennent de la désagrégation des blocs. Ces organismes sont semblables à ceux que l'on rencontre actuellement à la surface du plateau. Certains autres organismes cependant, dont des Ostracodes, apparaissent à l'état libre sans porter de trace d'altération ni de rubéfaction : ils semblent s'être déposés en même temps que le sédiment lui-même.

- De 2,50 m à 0,85 m

Le faciès est le même qu'au dessous : le sable quartzueux devient seulement plus grossier : le quartz est très abondant, fin à grossier, incolore à roux, anguleux à usé ; les micas sont communs, associés à des blocs de calcaires blancs-jaunâtes riches en Foraminifères, dont les tests sont souvent remplis de glauconie, et en débris d'organismes divers.

L'analyse au microscope polarisant des blocs calcaires fossilifères montre que les débris d'organismes sont cimentés par de la calcite microcristalline, dans laquelle on rencontre des grains très fins de quartz anguleux. Cette calcite est plus ou moins imprégnée d'oxydes de fer. Quant aux blocs azoïques, ils sont analogues aux galets de micrites de la V 64 (DANIEL, thèse 3e cycle).

- De 0,85 m à la surface

Il s'agit du faciès quartzo-coquillier classique. La fraction fine oscille entre 26 et 37 %, la teneur en carbonates entre 47 et 59 %. Ces sables sont composés de quartz incolore, abondant, fin à grossier, anguleux à quelquefois usé, associé à de nombreux débris coquilliers plus ou moins grossiers, dont de grosses huitres, ainsi qu'à de nombreux Foraminifères (surtout des Operculines, aussi des Rotaliidae et des Miliolae).

Il est possible de reprendre à propos des niveaux inférieurs de cette carotte V 69 le même raisonnement que celui qui a été suivi à propos de la V 64 (DANIEL, thèse 3e cycle). Ceci est évident pour les galets de micrites, qui possèdent les mêmes caractères dans la V 64 et dans la V 69. Les agrégats d'organismes, quant à eux, n'ont pu se former qu'à l'air libre, par conséquent à la faveur d'une émergence. Ces agrégats

auraient ensuite été repris par un mouvement transgressif de la mer et déposés sous forme de galets en association avec des matériaux quartzo-micacés et quelques organismes marins. De tels agrégats n'ont été observés nulle part ailleurs dans la région. D'autre part la similitude des organismes que l'on trouve dans les agglomérats avec ceux que l'on trouve actuellement à la surface du plateau exclut qu'il s'agisse de débris calcaires jurassiques ou crétacés, dont on connaît des affleurements dans l'arrière pays. D'ailleurs, la facilité avec laquelle les galets s'effritent indique que le transport n'a pas pu être long. On doit donc admettre que ces divers galets se sont formés sur le plateau lui-même, non loin de leur dépôt final.

7° Type V 71

La carotte V 71 est différente par la nature de ses constituants des carottes précédentes. Il s'agit d'une sédimentation entièrement sableuse, voire granuleuse, en relation, semble-t-il, avec les zones coralliennes voisines. La V 71 a en effet été prélevée non loin du rebord continental, à l'Ouest de Nosy Lava, où les sables quartzo-coquilliers atteignent la bordure du plateau. Longue de 2,45 m, la profondeur de prélèvement est de 75 m.

La carotte V 71 montre un affinement progressif de ses constituants de la base vers le sommet, bien que ceux-ci restent qualitativement les mêmes de bas en haut :

- De la base à 1,95 m

On trouve de véritables granules mélangés à un sable très grossier, composés de quartz grossier, souvent usé, incolore, en quantité moyenne, de très nombreux débris d'Algues calcaires (essentiellement des articles d'Halimeda) abîmés, grisâtres, de nombreux Foraminifères, souvent usés ou roulés eux aussi (en particulier des Operculines et des Amphistégines), de nombreux débris de Bryozoaires et quelques débris coralliens. La teneur en fraction fine est de 6,5 %, celle en carbonates de 76 %

- De 1,95 m à 0,90 m

Il s'agit d'un sable grossier, bien classé, où le quartz anguleux à usé, fin à grossier, est abondant, mélangé à nouveau à des Operculines, des Amphistégines, des débris de Bryozoaires ou d'Algues calcaires, ces derniers étant toutefois de taille plus réduite que dans le niveau sous-jacent. La fraction fine varie de 93 à 97 %, celle en carbonates est de 62 %.

- De 0,90 m au sommet

On trouve un sable relativement fin, où le quartz est toujours présent -il l'est jusqu'en surface- mais n'est plus que de taille fine à moyenne, associé à de très nombreux Foraminifères (surtout des Amphistégines, également des Operculines, des Miliolles, des Textulariidae, des Hétérostégines, quelques Globigérines), à des Bryozoaires en nombre moyen, enfin à quelques petits débris d'Algues calcaires. La fraction fine est de 10 %, la teneur en carbonates oscille entre 69 et 78 %.

8° Type C 31

La carotte C 31, enfin, longue de 1,45 m seulement, offre la particularité d'avoir été prélevée dans la vallée du Banc de 5 m, par 92 m de profondeur.

- De la base à 1,27 m

On trouve des gros blocs (de 3 à 4 cm) de grès à ciment calcaire, à apparence de débris de beach-rock, associés à des galets de quartz arrondis (de 1 à 2 cm), à un sable quartzueux relativement grossier et à quelques débris coquilliers et coralliens.

- De 1,27 à 1,05 m

Il s'agit d'un sédiment grossier quartzo-coquillier : le quartz est grossier (jusqu'à 4 mm) usé et arrondi, associé à de nombreux débris coquilliers, ainsi qu'à des débris de Madréporaires, d'Echinodermes et à des Foraminifères.

- De 1,05 m à 0,90 m

Le sédiment est sableux, de couleur gris-beige : le sable est moyen, composé de nombreux grains de quartz moyens, associés à des débris coralliens, des Foraminifères et des débris coquilliers.

- De 0,90 m au sommet

Il s'agit d'un sablon gris-beige, où le quartz s'amenuise en allant vers le sommet. Les constituants organogènes, qui forment ici l'essentiel du sable sont les mêmes que précédemment, mais très affinés également.

C - Interprétation

L'étude des carottes en Baie d'Ambaro aboutit à la définition d'une série-type complète, composée de 3 niveaux principaux, qui sont :

- un niveau superficiel de vases
- un niveau intermédiaire de sédiments quartzo-coquillier à Foraminifères
- un niveau terrigène à faciès littoral ou deltaïque.

L'analyse des 59 carottes prélevées sur l'ensemble du plateau depuis le Cap St Sébastien jusqu'à la Presqu'île d'Ampasindava montre qu'il est possible de rattacher chacune d'entre elles à ce schéma ou tout au moins à une partie de ce schéma. Elle en confirme donc la validité, même si l'on observe plusieurs exemples de variations latérales de faciès. Nous reprendrons ici chacun de ces trois niveaux.

1° Les vases actuelles

La carte sédimentologique montre qu'il se dépose actuellement des faciès vaseux dans les zones périlittorales; Il en résulte l'envoyage progressif de reliefs préexistants, que l'on ne retrouve plus dans ces zones qu'à l'état de réflecteur sous-jacent sur les enregistrements d'écho-sondage.

L'importance du recouvrement varie rapidement, même sur de faibles distances. Les vases régularisent en effet le relief en comblant tout d'abord les dépressions. Le sommet des ondulations n'est recouvert que dans les zones les plus proches des embouchures des fleuves. L'épaisseur de ces vases peut dépasser 5 m (la longueur du carottier) aussi bien en Baie d'Ampasindava (V 18, V 19, V 20...) que près de Nosy Faly (V 1) ou qu'au Nord de Nosy Lava (V 68). Cette carotte V 68 montre d'autre part que les formations vaseuses peuvent être encore relativement importantes assez loin de leur limite d'extension géographique. Par contre, la V 66, pourtant prélevée au NE de Nosy Lava, c'est-à-dire plus près du littoral, ne contient que 2 m de vases superficielles : cette carotte a été prélevée au-dessus du sommet d'une ondulation du réflecteur bien visible sur le profil d'écho-sondage correspondant.

Cette sédimentation vaseuse est homogène dans de nombreux cas. Elle se caractérise par une faible importance de sa fraction grossière terrigène, constituée de débris végétaux, de micas et de quartz très fins, de taille inférieure à 0,1 mm, et par un pourcentage variable de sa fraction organogène. Celle-ci est constituée d'organismes spécifiques, tels en particulier que les Ostracodes, les Ptéropodes ou des Lamellibranches à test fin. L'importance de cette fraction organogène non seulement augmente vers le large pour ce qui est des sédiments les plus superficiels (cf l'étude de la répartition et de la nature des sédiments) mais elle peut varier en profondeur. Ceci traduit des variations des conditions écologiques non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. C'est ainsi que l'on trouve parfois des passées un peu plus sableuses, dues seulement à une augmentation du nombre des organismes (par exemple dans la V 1, près de Nosy Faly) et que souvent on assiste à un accroissement

marqué de la fraction organogène vers le sommet (V 22, V 21, V 1 en particulier) : ce dernier trait peut correspondre à un éloignement progressif du rivage, ou au moins des sources de l'alluvionnement, qui se traduit par un ralentissement de la sédimentation.

Les vases marines actuelles peuvent enfin renfermer des intercalations du style de la V 61, où l'on voit 2,80 m de sables quartzeux roux, très pauvres en organismes, à faciès deltaïque, au milieu d'une série vaseuse dont les caractères sont ceux des vases marines superficielles. De telles variations soudaines de faciès s'expliquent assez bien par la manifestation de crues violentes, ou par le changement de cours des fleuves, ce qui arrive fréquemment dans cette région à deltas.

2° Le niveau intermédiaire quartzo-coquillier

à Foraminifères

Le faciès quartzo-coquillier à Foraminifères constitue le niveau le plus fréquemment trouvé dans les carottes du plateau. Il affleure tout d'abord sur près de la moitié du plateau continental (cf répartition et étude des sédiments), sous la forme de sables relativement grossiers, affectés d'un relief bosselé. On le retrouve d'autre part constamment sous les vases dans les carottes des zones périlittorales (sauf dans le cas où l'épaisseur des vases superficielles est supérieure à 5 m). Il se présente alors sous la forme de vases sableuses quartzo-coquillières à Foraminifères au contact de ces vases ; il peut passer en profondeur à un faciès nettement sableux (V 66, V 2) ou non (V 5, V 15, V 29)

L'épaisseur de ce niveau quartzo-coquillier est variable : elle peut atteindre 4,08 m dans la V 59 à l'Est des Mitsio, 3,10 m dans la V 11 dans le NE de la Baie d'Ampasindava ; elle est en moyenne de 1 m à 1,50 m. Elle n'est que de 0,12 m dans la V 65 à 5 km de Nosy Lava.

Le niveau intermédiaire de la série-type se caractérise essentiellement par un mélange de matériaux quartzeux et de dépôts organogènes, dont les plus fréquents sont des débris de Mollusques et des

Foraminifères. Ce mélange se fait dans des proportions relativement constantes sur toute l'épaisseur de ce niveau, c'est-à-dire sur 1 à 4 m. Un mélange aussi régulier, surtout dans le cas des Foraminifères, animaux non fouisseurs, sur une telle épaisseur amène à conclure à la simultanéité des dépôts quartzeux et organogènes. Comme l'on sait, à la suite de l'étude de la répartition des faciès, que les dépôts terrigènes de ces sables quartzo-coquilliers ne peuvent être actuels, la fraction organogène ne l'est pas non plus.

En outre, l'absence d'un accroissement marqué de l'importance de cette fraction organogène en surface, comme cela devrait être le cas au-dessus de sédiments anciens dans l'hypothèse d'une sédimentation organogène actuelle active, montre que la sédimentation organogène actuelle sur le plateau est donc dans l'ensemble très faible et négligeable. Ceci est visible dans les carottes du type V 40, V 8 et V 34, et apparaît même dans le cas d'une carotte telle que la V 71, prélevée près du rebord continental, à la latitude de Nosy Lava, pourtant non loin des formations récifales : la fraction terrigène grossière garde la même importance de bas en haut dans la carotte.

Par conséquent, sauf dans le voisinage immédiat de certaines zones coralligènes (au NW de Nosy-Bé, ou au Sud des îles Mitsio par exemple), l'enrichissement en carbonates des sédiments vers le large, qui apparaît sur la carte sédimentologique, doit être attribué non pas à une sédimentation organogène actuelle plus active en allant vers le large, mais plutôt à une amélioration progressive des conditions écologiques vers le large au moment du dépôt des sables quartzo-coquilliers.

Il convient enfin de rappeler que le niveau quartzo-coquillier à Foraminifères peut être affecté par des variations locales de faciès : la carotte V 59 montre une intercalation de 60 cm de sables azoïques, roux, que l'on peut interpréter de la même façon que ceux de la V 61 (ces sables résulteraient de crues exceptionnelles, ou du changement soudain et provisoire du cours d'un fleuve, en l'occurrence vraisemblablement la Mahavay). La carotte V 34 montre d'autre part une intercalation de 1,80 m de vases dont la grande pauvreté en organismes marins

peut faire penser à l'établissement également provisoire de conditions littorales ou deltaïques.

3° Les niveaux terrigènes de la base

Des niveaux essentiellement terrigènes, le plus souvent grossiers et quartzeux, caractérisent la base de nombreuses carottes (36 carottes sur 59). On trouve ces niveaux terrigènes de base aussi bien dans la région des îles Mitsio (V 62, V 56, V 65...) ou de Nosy Faly (V 3, V 4, V 5), qu'au Sud de Nosy-Bé, où ils sont particulièrement bien représentés (29 carottes sur 46).

L'épaisseur de ce niveau de base est variable : elle peut atteindre 3,40 m avec la V 65 au NW de Nosy Lava, 2,70 m avec la V 40 au Sud de Nosy-Bé. Ces valeurs restent un minimum, la limite inférieure de ce niveau n'ayant jamais été atteinte.

Ces niveaux terrigènes se présentent le plus souvent sous la forme d'un sable essentiellement quartzeux, grossier, souvent hétérométrique. La taille des grains de quartz dépasse dans plusieurs cas le centimètre, ce qui est considérable : ainsi dans la V 40, ou dans la C 31, prélevée dans la vallée du Banc des 5 m. Elle atteint même 2 à 3 cm dans la V 29, prélevée dans la dépression d'Anjanozano : le quartz est alors à l'état de galet arrondi et rubéfié. La couleur générale de ces sables varie du blanc au roux. Aux quartz sont fréquemment associés des débris d'argile indurée ou des blocs argilo-quartzeux, qui rappellent la carapace argilo-sableuse que l'on trouve dans les régions côtières, en arrière des deltas (BESAIRIE, 1934) : ainsi dans les carottes V 15, V 8, V 40, V 5... Ces sables, enfin, sont pauvres en carbonates : les débris d'organismes que l'on y trouve sont essentiellement des coquilles grossières de Lamellibranches et de Gastéropodes, ce qui traduit une influence marine certaine. Ils peuvent être parfois complètement azoïques : ainsi la V 5 ou la V 64. Ces sables rappellent donc par leurs caractères le faciès deltaïque (absence totale d'organismes, hétérométrie marquée dans certains cas)

ou la faciès littoral (influence marine très fréquente).

Les sables quartzeux contiennent parfois des intercalations de vases, souvent oxydées, très pauvres en carbonates, où l'on ne trouve pas les constituants spécifiques des vases marines superficielles. L'alternance irrégulière de ces sables quartzeux et de ces vases rappellent le faciès deltaïque tel que GUILCHER et BERTHOIS (1956) le décrivent dans le delta de la Mahavavy. Il arrive que le niveau terrigène de base soit constitué uniquement de ces vases · ainsi la V 8, ou la V 11, dans laquelle elles sont épaisses de 80 cm.

Qu'il s'agisse de faciès deltaïques ou littoraux, ces niveaux terrigènes de base traduisent un abaissement relatif important du niveau marin : on en trouve en effet jusqu'à - 57 m par rapport au niveau marin actuel (dans la V 29). D'autre part, on peut déduire de la présence de quartz très grossier dans un sédiment que ce sédiment s'est déposé non loin de l'embouchure d'un fleuve, ou en position littorale : or, on en trouve à la base de la C 31, prélevée par 92 m de profondeur, dans la vallée du Banc de 5 m. A ces galets de quartz sont d'ailleurs associés des débris également assez grossiers d'un beach-rock. On peut donc admettre l'émersion du plateau continental dans son ensemble.

Dans le cadre de cette hypothèse d'une émersion générale du plateau, la répartition des sédiments, tant en profondeur qu'en surface, s'explique aisément. En effet, l'étude sédimentologique de surface montre que les sédiments terrigènes grossiers ne peuvent s'éloigner de la zone littorale. On peut alors interpréter leur présence sur l'ensemble du plateau continental par le déplacement progressif d'une ligne de rivage au cours de la remontée du niveau marin. Il se dépose alors d'abord des sables littoraux, puis des sables quartzo-coquilliers, dont les éléments s'affinent vers le haut au fur et à mesure de l'éloignement du rivage (la V 71 en est un bon exemple). Ces sédiments transgressifs quartzo-coquilliers sont aujourd'hui à leur tour recouverts partiellement par des sédiments fins récents à actuels.

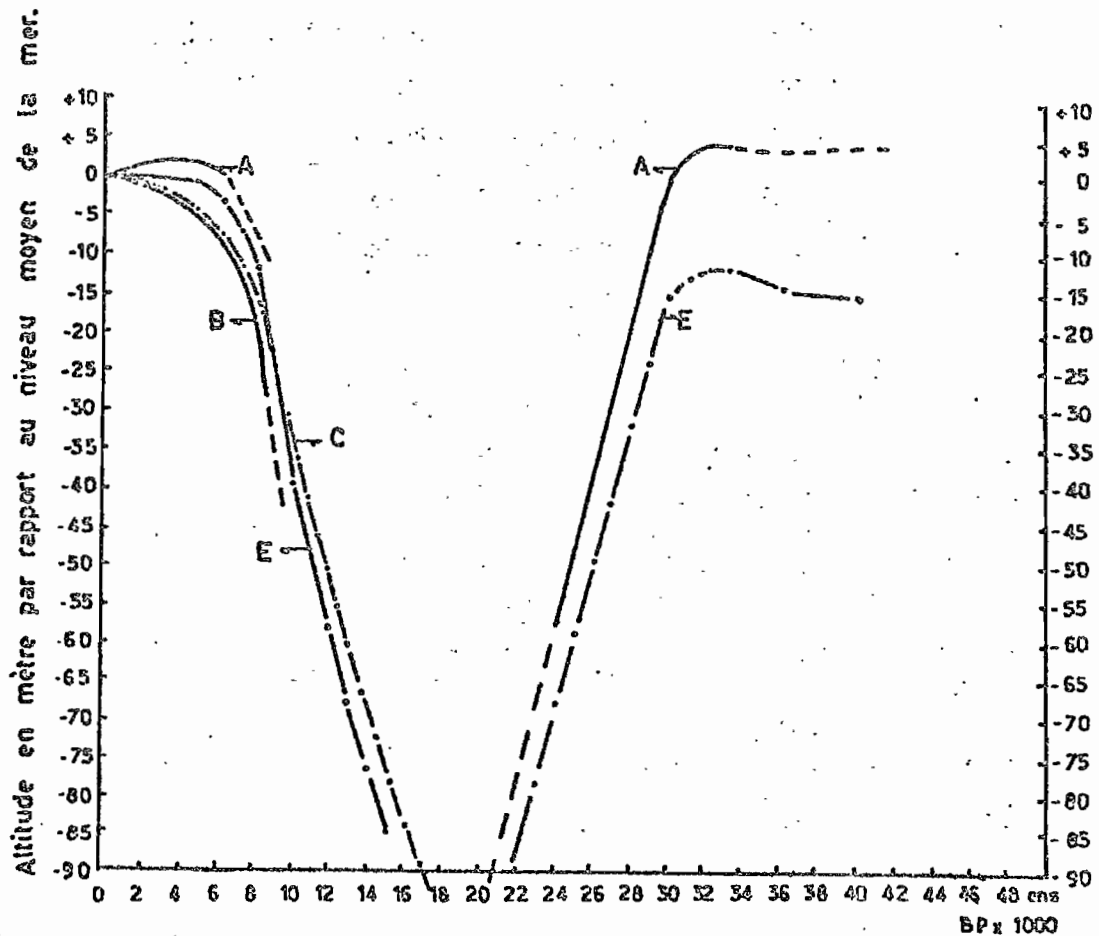
L'absence générale de dépôts vaseux au-dessus des sables quartzo-coquilliers de la moitié Ouest du plateau peut s'expliquer par une configuration des premiers rivages telle que les courants les entraînaient au loin -aujourd'hui ces sédiments fins se déposent dans de larges baies- ou par une remontée suffisamment rapide du niveau marin pour qu'ils n'aient pas le temps de s'accumuler en une zone, ou encore par des variations climatiques entraînant des changements dans l'altération et l'érosion de l'arrière pays -ces divers processus pouvant éventuellement agir simultanément-.

Deux mesures d'âge absolu au Carbone 14 ⁽¹⁾ ont été effectués sur des débris coquilliers recueillis dans les niveaux sableux à caractère littoral de la base des carottes V 40 et V 29. Ces deux mesures prouvent l'âge flandrien des dépôts transgressifs.

Des débris grossiers de coquilles de Lamellibranches recueillis tout d'abord à 2,80 m sous la surface du sédiment dans la carotte V 40, elle-même prélevée par 49 m de profondeur au milieu environ de la dépression allongée qui relie celle d'Anjanozano à la vallée du Banc de 5 m, sont datées de 10 520 ans BP \pm 130.

Cette datation s'éloigne légèrement de la courbe du niveau de la mer de SHEPARD (1964) et CURRAY (1965) : sur cette courbe, en effet, à l'âge de 10 520 ans correspond la profondeur de 40 m. Certes, on peut admettre, à la suite des travaux de BATTISTINI en particulier (1959, 1965, 1970), que la région de Nosy-Bé est affectée par une subsidence locale, en relation vraisemblablement avec les grandes failles subméridiennes de l'Ankarana et du delta du Sambirano, ainsi et surtout qu'avec la construction récente du Massif volcanique de la Montagne d'Ambre. Cet auteur s'appuie sur l'absence de traces de hauts niveaux marins quaternaires dans cette région. Mais l'ampleur de cette subsidence reste à préciser. Et l'on peut penser qu'elle n'est pas très importante, au moins en ce qui concerne la période flandrienne : l'immersion moyenne de la barrière corallienne du rebord continental est sensiblement la même dans la région de Nosy-Bé qu'ailleurs.

(1) Ces mesures ont été effectuées sous la direction de M. FONTES, au Laboratoire de Géologie dynamique de la Faculté des Sciences de PARIS VI.



Chronodiagramme (d'après H. Faure et P. Elouard 1967)

- A : Courbe de la variation moyenne du niveau marin relative au continent ouest africain.
- B : Courbe du changement relatif du niveau de la mer du Nord (S. Jørgensen 1965).
- C : Courbe moyenne du niveau de la mer (Shepard 1964 Curray 1965).
- E : Courbe eustatique hypothétique et provisoire calculée pour un mouvement positif épigénétique moyen de 0,50m pour 1000 ans de la région considérée.

En fait le décalage qui existe entre la profondeur à laquelle les débris coquilliers ont été réellement prélevés et celle théorique déduite de la courbe de SHEPARD et CURRAY en fonction de leur âge peut être dû en grande partie à l'imprécision qui peut exister sur la profondeur exacte du dépôt au moment où il s'est mis en place. En effet, si l'on se réfère au littoral actuel, les sables quartzeux de l'estran sont caractérisés sur leur front externe par une pente relativement forte qui amène à proximité l'isobathe de 10 m, et même parfois (devant le Sambirano) celui de 20 m. Il n'est donc pas exclu que sables quartzeux et débris coquilliers, quoique de caractères littoraux, puissent être remaniés au moment de leur dépôt et être entraînés à quelques mètres de profondeur sur la pente externe de l'estran.

La seconde mesure d'âge absolu au C^{14} a été effectuée sur d'autres débris de coquilles de Lamellibranches, recueillis cette fois à 1,90 m de la surface du sédiment dans la carotte V 29 : cette carotte a été prélevée par 55 m de profondeur dans la dépression d'Anjanozano. Ces débris coquilliers sont datés de 7 920 ans BP \pm 80.

Cette mesure confirme bien l'âge flandrien des dépôts transgressifs, et c'est là le fait le plus important. Par contre cette mesure ne s'accorde pas du tout avec la courbe de SHEPARD et CURRAY. Cela peut être expliqué par la position de l'échantillon au fond de la dépression d'Anjanozano : les débris coquilliers, ainsi que les sables peuvent provenir de zones situées plus haut en position littorale, sur les flancs de la dépression.

La mise en évidence de la régression antéflandrienne et de la transgression qui a suivi s'accorde bien avec celle de réseaux hydrographiques ennoyés. Les observations faites sur la carotte C 31, prélevée dans la vallée du Banc de 5 m, par 92 m de profondeur, (en particulier la présence de galets de quartz à la base) prouvent que cette vallée a bien été empruntée par le lit d'un fleuve à l'époque du maximum de la régression. De même la présence de matériaux quartzeux sur le platier externe qui affecte la barrière immergée à la hauteur du Cap St Sébastien montre, qu'à la faveur de la dernière grande régression un fleuve a dû

traverser à cet endroit la barrière récifale. Il a pu amener sur le rebord externe des sédiments terrigènes grossiers : on explique mal autrement la présence à cet endroit du plateau de ces matériaux quartzeux, qui, s'ils ne constituent pas une fraction importante du sédiment, n'en sont pas moins remarquables par leur taille et leur nombre.

CONCLUSION GENERALE

L'étude bathymétrique du plateau continental du NW de Madagascar compris entre le Cap St Sébastien et la Presqu'île d'Ampasindava conduit à distinguer deux grandes unités morphologiques, d'importance très inégale :

- une partie interne, formant les 4/5 de l'ensemble du plateau, constituée de reliefs mollement ondulés, aujourd'hui en voie de régularisation par un colmatage vaseux flandrien à actuel dans les zones périlittorales ;
- une zone de bordure, caractérisée par l'existence d'un bourrelet discontinu, constamment immergé sous au moins 5 ou 10 m d'eau et dont on peut attribuer l'origine à un récif-barrière qui se serait développé le long du rebord continental à la faveur des grandes transgressions quaternaires.

A ces deux grandes unités morphologiques se superpose un système de dépressions allongées dans la partie interne du plateau, et de passes au travers du bourrelet externe, qui constituent les traces d'un ancien réseau hydrographique aujourd'hui ennoyé. On peut penser que ce réseau date au moins du Pliocène. L'étude sédimentologique montre qu'il a dû rejouer lors de la grande régression anteflandrienne.

L'étude sédimentologique montre que les sédiments terrigènes actuellement apportés sur la plateforme continentale du NW de Madagascar ne dépassent pas la zone périlittorale : les sédiments grossiers, essentiellement quartzeux, se déposent le long du littoral ; les sédiments fins se déposent au-delà, sur la partie la plus interne du plateau continental, en bandes discontinues, plus ou moins larges, au-dessus de formations sableuses quartzo-coquillières préexistantes.

Ces dernières affleurent très largement dans la partie centrale du plateau continental. Elles recouvrent elles-mêmes des sables quartzeux à caractère littoral ou deltaïque accusé.

Ces caractères généraux conduisent à admettre qu'il y a eu émergence du plateau continental malgache de l'ordre de la centaine de mètres, émergence que l'on peut rattacher à la grande régression anté-flandrienne à la suite de deux mesures d'âge absolu au C¹⁴.

Cette étude confirme donc l'ensemble des conclusions formulées en Baie d'Ambaro. Elle constitue d'autre part le point de départ d'une étude comparable de la pente continentale adjacente.

B I B L I O G R A P H I E

=====
=====

- AMOUREUX (L) - 1961 - Quelques observations de base concernant les méthodes granulométriques.
Com. Inter. Explo. Sc. Mer Méditerranée, Monaco
Vol. XVI fasc. 3 pp.705 - 710
- ANGOT (M) - GERARD (R) - 1966 - Hydrologie et phytoplancton de l'eau de surface en Avril 1965 à Nosy-Bé
Cahiers ORSTOM - Série Océanographie - Vol. IV n°1
- ANTHOINE (R) - 1953 - 1954 - Cours d'Hydrographie - Service Central Hydrographique Ecole d'application-13, rue Université
PARIS VII
- ASENSIO (I) - CAILLEUX (A) - 1959 - Morphoscopie des sables de Madagascar.
Le Naturaliste Malgache - t XI - fasc 1-2 pp.9-18
- AUBERT de la RUE (E) - 1960 - A propos des enclaves calcaires des volcans insulaires de l'Océan Indien.
C. R. Sommaire de la Soc. Géol. de France
- BADER (R.G) - 1962 - Some experimental studies with organic compounds and minerals - Occ. Publ. n°1 Narragansett Mad. Lab. Univer. Rhode Island.
- BARRABE (L) - 1929 - Contribution à l'étude stratigraphique et pétrographique de la partie médiane des Pays Sakalava.
Mémoires Soc. Géol. France - Nelle série-5- mém.12 - 269 p.10pl.
- BASSE (E) - 1949 - Histoire géologique de Madagascar.
Mém. I.R.S.M. série D. t1. pp 1.68
- BATTISTINI (R) - 1957 - Note préliminaire sur le niveau marin de 3 mètres et les série dunaires de l'extrême sud de Madagascar.
Bull. Soc. Géol. de France. 6e série, t.VII, p.83-90

- BATTISTINI (R) - 1958 a - Structure et géomorphologie du littoral Karimbola (extrême sud de Madagascar)
Mémoires I.R.S.M. t. II série F pp. 1-77
- BATTISTINI (R) - 1958 b - Note sur l'existence d'encoches fossiles de corrosion marine dans la baie des Galions (extrême sud de Madagascar) et sur les variations récentes du niveau de la mer
Mémoires I. R.S.M. t.II série F pp.79-87
- BATTISTINI (R) - 1959 a - Les divisions du Plioquaternaire du Sud de Madagascar. C. R. Ac. Sciences t.CCXLVII pp.992-993
- BATTISTINI (R) - 1959 b - Description géomorphologique de Nosy Bé, du delta du Sambirano et de la Baie d'Ampasindava.
Mémoires I.R.S.M. tome III série F pp. 121-343
- BATTISTINI (R) - 1960 - Le Quaternaire littoral de Madagascar. Pan Indian Ocean Science Congress - Karachi Section F pp. 57-61
- BATTISTINI (R) - 1964 a - L'extrême sud de Madagascar. Etude géomorphologique Thèse . Laboratoire de Géographie Université de Madagascar.
 2 tomes. Ed. Cujas PARIS
- BATTISTINI (R) - 1964 b - Note préliminaire sur le Quaternaire littoral de l'extrême nord de Madagascar.
C.R. de la semaine Géologique - Service géologique Malgache Tananarive. pp. 9-12
- BATTISTINI (R) - 1964 c - Une reconnaissance aérienne des îles BARREN (côte ouest de Madagascar).
Revue de Géographie n°5 Université de Madagascar
- BATTISTINI (R) - 1965 - Problèmes géomorphologiques de l'extrême nord de Madagascar.
Revue de géographie n°7 - Faculté des Lettres - Université de Madagascar
- BATTISTINI (R) - 1968 - Sur l'inexistence de hauts stationnements marins quaternaires.
C.R. Sommaire. Soc. Géol. de France - fasc.2 pp.46-48
- BATTISTINI (R) - 1969 a - Le Quaternaire du littoral kényan entre Mombasa et Malindi.
Bull. Ass. française Et. Quaternaire - 3 - pp. 229-238
- BATTISTINI (R) - 1969 b - Les recherches françaises récentes sur le Quaternaire de Madagascar et de l'Afrique Orientale.
Bull. Ass. Sénégal. Et Quaternaire Ouest Afric. DAKAR n°22 pp.125-127

- BATTISTINI (R) - 1970 - Etat des connaissances sur les variations du niveau marin de Madagascar depuis 10 000 ans.
Semaine géologique 1970 - Service géologique malgache
Tananarive.
- BATTISTINI (R) - GUILCHER (A) - MAREC (M) - 1970 - Morphologie et formations quaternaires du littoral occidental de Madagascar entre Maintirano et le Cap St André.
Revue de Géographie n°16 - Faculté des Lettres - Université de Madagascar.
- BELLAICHE (G) - 1965 - Contribution à l'étude de la sédimentation actuelle dans le golfe de Fréjus - Thèse 3e cycle - Faculté des Sciences
PARIS.
- BELLAICHE (G) - 1968 - Applications des méthodes radioactives à l'étude des transits sédimentaires - Cas du golfe de Fréjus
Cahiers Océano. CCOEC - XX. 10 pp.879 - 884
- BELLAICHE (G) - 1970 - Géologie sous-marine de la marge continentale au large du Massif des Maures (Var - FRANCE) et de la plaine abyssale ligure.
Revue Géo. phy. et de Géol. dyn. (2) vol.XII fasc. 5
pp. 403 - 440
- BELLAICHE (G) - VERGNAUD-GRAZZINI (C) - GLANGEAUD (L) - 1969 - Les épisodes de la transgression flandrienne dans le golfe de Fréjus.
C. R. Ac. Sc. PARIS t.268 pp. 2765 - 2770
- BERGGREN (W.A) - 1968 - Micropaleontology and the Pliocene / Pleistocene boundary in a deep-sea core from the south-central north Atlantic.
Gionale di Geologia (2) XXXV fasc.II pp. 291-311
- BERNARD (F) - LECAL (J) - 1950 - Etude des sédiments marins au large d'Alger - I. teneur en azote et carbone organique
Bull. Inst. Océano. Monaco n°963
- BERTHOIS (L) - 1946 - Recherches sur les sédiments du plateau continental atlantique.
Ann. Inst. Océano. Monaco t.XXIII fasc. 1
- BERTHOIS (L) - 1969 - Océanographie sédimentologique
Centre de documentation Universitaire

- BERTHOIS (L) - 1955 - Etude lithologique des sédiments récoltés par le "Président Théodore Tissier" en rade de Brest et en Manche (campagne 1949)
Rev. Trav. Inst. Pêches maritimes t.19 fasc. 4
- BERTHOIS (L) - 1964 - Techniques d'études estuariennes. C.D.U.Edit. PARIS
- BERTHOIS (L) - 1965 - Essai de corrélation entre la sédimentation actuelle sur le bord externe des plateformes continentales et la dynamique fluviale.
 Progress in Oceanography - Vol. 3 pp. 49-62
- BERTHOIS (L) - GUILCHER (A) - 1956 - La plaine d'Ambilobé (Madagascar). Etude morphologique et sédimentologique.
Rev. Géomorph. dynamique. VIIe année. n° 3-4 pp. 33-52
- BERTHOIS (L) - BRENOT (R) - 1962 - Bathymétrie du secteur atlantique du Banc Porcupine (ouest de l'Irlande) au Cap Finisterre (Espagne).
Rev. trav. Inst. Pêches Maritimes. t.26 fasc. 2 pp.219-246
- BERTHOIS (L) - BRENOT (R) - AILLOUD (P) - 1965 - Essai d'interprétation morphologique et tectonique des levés bathymétriques exécutés dans la partie Sud-Est du golfe de Gascogne.
Rev. Trav. Inst. Pêches Maritimes. t 29 fasc.3 pp.321-342
- BERTHOIS (L) - CROSNIER (A) - 1965 - La sédimentation dans l'estuaire de la Betsiboka et sur le plateau continental au large de l'estuaire.
C. R. Ac. Sc. Gr 9 - t.261 - n°18
- BERTHOIS (L) - CROSNIER (A) - 1966 - Etude dynamique de la sédimentation au large de l'estuaire de la Betsiboka.
Cahiers ORSTOM - Série Océanographie. Vol.IV n°2 pp.49-130
- BERTHOIS (L) - BATTISTINI (R) - CROSNIER (A) - 1964 - Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar.
Cahiers Océano. CCOEC - XVI - 7 et 8
- BERTHOIS (L) - BATTISTINI (R) - 1969 - Etude sédimentologique de l'île EUROPA
Revue de géographie n°15 - Faculté des Lettres - Université de Madagascar.
- BESAIRIE (H) - 1936 - Recherches géologiques à Madagascar. La géologie du Nord-Ouest - Mémoire de l'Académie malgache - fasc.XXI - Tananarive.
- BESAIRIE (H) - 1952 - Géologie du Bassin de Majunga. Série travaux du Service Géologique n°38 - Tananarive.

- BESAIRIE (H) - 1964 - La géochronologie à Madagascar en 1964. Service géologique de Madagascar - Rapport annuel - pp. 23-25.
- BESAIRIE (H) - 1965 - La géologie de la Province de Diégo-Suarez - Documentation du Bureau géologique n°171 - Service géologique - Tananarive.
- BISCAYE (P,E) - 1964 - Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. Geochemistry technical report 8 - Thèse Yale University - Department of geology
- BOILLOT (G) - 1964 - Géologie de la Manche occidentale - Fonds rocheux, dépôts quaternaires, sédiments actuels. Ann. Inst. Océanographique - T XLII fasc. 1.
- BOILLOT (G) - Travaux pratiques de pétrographie sédimentaire. C.D.U. PARIS.
- BORDOWSKI(O,K) - 1965 - Accumulation and tranformation of organic substances in marine sediments. Marine Geology - Vol. 3 - n° 1/2
- BOURCART (J) - 1941 - Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. Bull. Soc. Géol. de France - XI pp. 117-153
- BOURCART (J) - 1958 - Problèmes de géologie sous-marine Coll. Evolution des sciences - Masson et Cie Edit. PARIS.
- BOURCART (J) - 1965 - Les canyons sous-marins de l'extrémité orientale des Pyrénées. Progress in Oceanography - Vol. 3 pp. 63-69
- BOURCART (J) - FRANCIS-BOEUF (C) - 1942 - La vase - 67 p. Activ. Scient. et Industr. n° 927. Hermann Edit. PARIS
- BOUYASSE (P) - LECLAIRE (L) - CAULET (J.P.) - 1965 - Prospection sédimentologique de la marge continentale nord-africaine. Cahiers Océanogra. CCOEC - XVII - N°7

- BOUYASSE (P) - VANNEY (J.R.) - 1966 a - La baie de la Vilaine Etude sédimentologique et morphologique.
Cahiers Océanogra. CCOEC - XVIII - n° 4
- BOUYASSE (P) et al. - 1966 b - Recherches du BRGM sur le plateau continental Premiers résultats sédimentologiques, micropaléontologiques et géochimiques.
Bull. du BRGM n° 5
- BRAJNIKOV (B) - FRANCIS-BOEUF (C) - ROMANOVSKY (V) - 1943 -
Techniques d'étude des sédiments -
Activ. Scient. et Industr. Hermann Edit. PARIS.
- CAILLEUX (A) - 1943 - Distinction des sables marins et fluviatiles
Bull. Soc. Géol. de France 5e série - t.13 - pp. 125-138
- CALLAME (B) - 1968 - Contribution à l'étude des potentiels d'oxyde, réduction dans les sédiments marins.
Cahiers Océanogra. CCOEC - XX - n° 4
- CATTALA (L.Rév.p.) - 1954 - Etude de la gravité à Madagascar.
Mémoires I.R.S.M. - série D - t. VI - pp. 1 à 33
- CAULET (J.P) - 1968 - Sur les accumulations de Bryozoaires dans les sables organogènes grossiers du précontinent algérien.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t. 266 - série D - n° 5
- CHAMLEY (H) - 1963 - Contribution à l'étude minéralogique et sédimentologique de vases méditerranéennes.
Rec. Trav. Sta. mar. Endoume - Bull.29 - fasc. 44 - pp.91-94
- 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 fluviatiles de la région de Tuléar (Madagascar).
Bull. Serv. Carte Géol. Als-Lorr. 19 - 3 - 4 - pp.191-204
- CHARLOT (G) - BEZIER (D) - 1955 - Analyse quantitative minérale.
MASSON et Cie Edit. PARIS.
- COLLINS (A.C) - 1958 - Foraminifera - Great Barrier reef expedition 1928-1929
Scientific reports - Vol.VI n°6 - British Museum - LONDON

- CORBIERRE (G) - MARIAGE (G) - 1968 - Méthodes d'analyse rapide des roches et des minéraux silicatés.
Rev. Géogr. phys. et géol. dyn. Vol. X - fasc. 5
- DANIEL (J) - 1970 - Etude de la répartition de quelques facteurs géochimiques dans les sédiments de la baie d'Ambaro.
 ORSTOM - rapport interne non publié.
- DANIEL (J) - DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - 1970 a - Etude de la relation entre le carbone organique et l'azote dans les sédiments de la baie d'Ambaro.
 ORSTOM - Nosy Bé Madagascar. Doc. n°16 multigr.
- DANIEL (J) - DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - 1970 b - 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.
 Semaine géologique 1970 - Service géologique malgache.
 Tananarive.
- 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 VIIIe Inter. Sedimentological congress.
 Heidelberg.
- DANIEL (J) - DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - Relations Madagascar - Archipel des Comores (N-E du Canal de Mozambique). Sur la nature volcanique du Banc du Leven. (en préparation)
- DANIEL (J) - DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - Reconnaissance bathymétrique entre Madagascar et l'archipel des Comores (N-E du Canal de Mozambique) (en préparation)
- DANIEL (J) - DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - Reconnaissance bathymétrique et sédimentologique d'une portion de la marge continentale au sud-est de Madagascar (en préparation)
- DEBYSER (J) - 1952 a - Variation du pH dans l'épaisseur d'une vase fluviomarine.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t.234 (7) - pp. 741-743
- DEBYSER (J) - 1952 b - Le pH de la pellicule superficielle d'une vase fluviomarine
C. R. Ac. Sc. PARIS - t. 234 - pp. 864-867
- DEBYSER (J) - 1957 - Note sur un procédé de préparation des plaques minces dans les sédiments fins actuels
Rev. Inst. Fr. Pétrole - vol.12 - n°4 - pp. 489-492

- DEBYSER (J) - 1961 - Contribution à l'étude géochimique des vases marines. Inst. Fr. du Pétrole - Division Sédimentologie - Réf. 6005 - 249 p Edit. Technip PARIS
- DECARY (R) - 1927 - Les vallées immergées de la côte nord-ouest de Madagascar.
C. R. Sommaire Soc. Géol. de France - 4e série - t.27
- DULEMBA (J.C) - 1963 - Méthodes d'analyse des carbonates dans les sédiments.
Rev. Géomorph. dynamique - XIV - pp. 62-71
- DUPONT (J) - JOUANNIC (C) - 1967 - Bathymétrie et sédimentologie du plateau continental des environs de Nosy Bé - ORSTOM rapport interne non publié.
- EMERY (K.O) - 1968 - Relict sediments on continental shelves of world.
Am. Ass. of Petro. Geologists Bull. vol.52 n°3 - pp.445-464
- EMERY (K.O) - RITTENBERG (S.G) - 1952 - Early diagenesis of california basin sediments in relation to origin of oil.
Am. Ass. Petrol. Geologists Bull. vol.36 n°5 - pp.735-806
- EMERY (K.O) et al. - 1969 - Geological structure and some water characteristics of the east China Sea and Yellow sea.
Reprinted from Technical Bull. ECAFE - vol. 2 - pp. 3-43
- ERICSON (D.B) - EWING (M) - WOLLIN (G) - 1963 - Pliocene - Pleistocene boundary in deep-sea sediments.
Science - vol. 139 - n°3556 - pp. 727-737
- ERICSON (D.B) - WOLLIN (G) - 1968 - Pleistocene climates and chronology in deep-sea sediments.
Science - vol. 162 - pp. 1227-1234
- ERICSON (D.B) - WOLLIN (G) - 1970 - Pleistocene climates in the Atlantic and Pacific Oceans : a comparison based on deep-sea sediments.
Science - vol. 167 - pp. 1483-1485
- Essai de nomenclature des roches sédimentaires - 1961
Edition Technip PARIS.
- FAURE (H) - ELOUARD (P) - 1967 - Schéma des variations du niveau de l'Océan Atlantique sur la côte de l'ouest de l'Afrique depuis 40 000 ans
C. R. Ac. Sc. PARIS - t.265 - série D - pp. 784-787

- FICHOT (E) - 1902 - Les côtes de Madagascar.
Rev. mar. Coloniale. PARIS - t.153 - pp. 1017-1036
- FLOWER (M.F.J) - STRONG (D.F) - 1969 - The significance of sandstone inclusions in lavas of the Comores Archipelago.
Earth an Planetary Science Letters - 7 - pp. 47-50
 North - Holland Publishing comp. Amsterdam.
- FOURMARIER (P) - 1967 - Esquisse géologique de Madagascar - ses relations avec le continent africain.
Ac. Roy. des Sciences d'outre-mer - Bull. des scéances (2)
 pp. 290-322
- FRANCIS-BOEUF (C) - 1947 - Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaires.
Ann. Inst. Océano. 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 - Madagascar. Doc. n°15 - multigr.
- FURON (R) - 1949 - Notes sur la paléogéographie de Madagascar.
Mémoires I R S M - série D - t. I - 2
- GINSBURG (R.N) - 1953 - Beach rock in south Florida.
Journal of sedimentary Petrology - vol.23 n°2 - pp.85-92
- GLANGEAUD (L) - 1941 - Evolution morphologique et dynamique des estuaires.
Bull. Ann. Géogra. Franc. - pp. 95-103
- GLANGEAUD (L) - 1963 - L'expérience et la recherche opérationnelle dans les Sciences de la Terre et de la Nature.
 Revue de synthèse - n° 29-31 - Albin Michel Edit.
- GLANGEAUD (L) - 1968 - Les méthodes de la géodynamique et leurs applications aux structures de la Méditerranée occidentale.
Rev. géog. phys. et géol. dynamique - vol. X fasc. 2
- GLANGEAUD (L) - GANDIL (G) - 1939 - Phénomènes dynamiques intervenant dans le triage granulométrique des sables sur la dune et la plage du Pyla (Arcachon).
C. R. Ac. Sc. PARIS - t. 209 - pp. 893-895

- GLANGEAUD (L) - PRUVOST (P) - ROUTHIER (P) - 1960 - L'écorce terrestre
Introduction à la géologie.
Sté Nouvelle de l'Encyclopédie française - LAROUSSE Edit.
- GLANGEAUD (L) - BELLAICHE (G) - GENESSEAU (M) - PAUTOT (G) - 1968 -
Phénomènes péliculaires et épidermiques du rech BOURCART et de
la mer hémipérienne.
C. R. Ac. Sc. PARIS - série D - t. 267 - n°13
- GROVEL (A.P) - 1970 - Etude d'un estuaire dans son environnement.
Le Blavet maritime et la région de Lorient. Thèse. Trav. Labo.
Géol. marine Faculté des Sciences de NANTES.
- GUILCHER (A) - 1953 - Essai sur la zonation et la distribution des formes
littorales de dissolution du calcaire.
Ann. Géogr. t. LXII n° 331 - pp. 161-172 - pl. VII et VIII
- GUILCHER (A) - 1954 a - Morphologie littorale et sous-marine.
Presses Universitaires de France - Edit.
- GUILCHER (A) - 1954 b - Les récifs coralliens du nord-ouest de Madagascar.
Bull. Ass. Géogr. France n° 245-246
- GUILCHER (A) - 1956 - Etude géomorphologique des récifs coralliens du
nord-ouest de Madagascar.
Ann. Inst. océanographique t. XXXIII - fasc. 2 . 136 p
- GUILCHER (A) - 1958 - Mise au point sur la géomorphologie des récifs
coralliens de Madagascar et dépendances.
Mémoires I.R.S.M. t.II - série F - p. 89-115
- GUILCHER (A) - 1959 - Mise au point : origine et dépôt de la vase marine
peu profonde.
L'information Géographique 23e année - n°1 - pp.17-22
- GUILCHER (A) - 1961 - Le "beach-rock" ou grès de plage
Ann. Géogr. n° 378 - pp. 113 - 125
- GUILCHER (A) - 1963 - Continental shelf and slope (continental margin).
The sea - vol. 3 - pp. 281-311 - MN Hill Edit.
- GUILCHER (A) - BERTHOIS (L) - BATTISTINI (R) - FOURMANOIR (P) - 1958 -
Les récifs coralliens des îles Radama et de la baie Ramanetaka (côte
nord-ouest de Madagascar), étude géomorphologique et sédimentolo-
gique.
Mémoires I.R.S.M. - t.II - série F - pp.117-199

- GUILCHER (A) - BERTHOIS (L) - LE CALVEZ (Y) - BATTISTINI (R) - CROSNIER (A)
 Les récifs coralliens et le lagon de l'île Mayotte. - 1965 -
Mémoires ORSTOM n° 11 - 210 p
- GUILCHER (A) - 1971 - Mayotte barrier reef and lagoon, Comoro islands, as
 compared with other barrier reefs, atolls and lagoons in the world.
Symp. zool. Soc. London. n° 28 pp.65-86
- HEIRTZLER (J.R) - BURROUGHS (R.H) - 1971 - Madagascar's paleoposition : New
 Data from the Mozambique Channel.
 Science - vol. 174 - n° 4008 - pp.488-490
- HERLAND (J.F) - 1856 - Essais sur la géologie de Nosy-Bé
Rev. Coloniale - t.XV (2) - pp.309-363
- HERVIEU (J) - 1964 - Sur les caractéristiques texturales et minéralogiques
 des sédiments récents et des sols alluviaux dans le delta du
 Mangoky (sud-ouest de Madagascar).
 - Actes du Colloque de DACCA
 - Recherches sur la zone tropicale humide - UNESCO PARIS
- HERVIEU (J) - 1968 - Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu
 tropical. Mémoires ORSTOM n°24-463 p.
- HILL (M.N) - 1963 - The sea - Vol.3 - The earth beneath the sea.
 Interscience publishers - John Wiley and Sons - NEW-YORK - LONDON
- JOUANNIC (C) - 1969 - Etude bathymétrique et sédimentologique du plateau
 continental de Nosy Faly à Nosy Mitsio.
 ORSTOM - rapport interne non publié.
- KARCHE 5J.P) - 1970 - Etude **pétrographique** et **chimique** de la série volcanique
 de l'Anorontany et des îles Mitsio (nord de Madagascar).
Semaine géologique - Service géologique malgache -
 Tananarive.
- KRAUSE (D.C) - KANAIEV (V.F) - 1970 - Sondage par écho avec faisceau étroit en
 géomorphologie marine.
Revue Hydro. Internationale - Vol. XLVII n°1
- LACROIX (A) - 1923 - Minéralogie de Madagascar.
 CHALLANEL - PARIS - 3 vol.
- LACROIX (A) - 1933 - Constitution lithologique de Nosy Mitsio (Nord de
 Madagascar) : conséquences à en tirer.
Bull. Soc. Géol. France - 5e série - t.3 - p.107-124
- LAFOND (L.R) - 1957 - Aperçu sur la sédimentologie de l'estuaire de la
 Betsiboka (Madagascar).
Rev. Inst. fr. Pétrole - XII - n° 4 - pp.425-431

- LAFOND (L.R) - 1967 - Etudes littorales et estuariennes en zone inter-tropicale humide. 3 vol. Thèse Faculté des Sciences d'ORSAY
Université de PARIS
- LALOU (C) - 1957 - Formation expérimentale des carbonates dans le milieu marin.
Rev. géogr. phys. géol. dynamique - vol. 1 - fasc.2-pp.93-98
- LAUNAY (J) - 1971 - La sédimentation en baie de Dumbéa (côte ouest - Nlle Calédonie).
ORSTOM - Nouméa - Nlle Calédonie.
- LAUNAY (J) - RECY (J) - 1971 - Variations relatives du niveau de la mer et néo-tectonique en Nouvelle Calédonie au Pléistocène supérieur et à l'Holocène.
ORSTOM - Nouméa - Nlle Calédonie.
- LECLAIRE (L) - 1968 a - Détermination du degré d'oxydation d'un sédiment par l'étude de l'état du fer.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t.266 - série D - n° 5
- LECLAIRE (L) - 1968 b - Contribution à l'étude des sédiments marins non consolidés. Bases d'une nouvelle classification.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t.266 - série D - n°6 - pp.563-565
- LECLAIRE (L) - 1968 c - Contribution à l'étude de la relation entre le carbone et l'azote de la matière organique contenue dans les boues et les vases du plateau continental algérien.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t.266 - série D - n° 20
- LECLAIRE (L) - 1968 d - Contribution à l'étude géomorphologique de la marge continentale algérienne. Note de présentation de cartes topographiques du plateau continental nord-africain.
Cahiers Océanogr. CCOEC - t. XX - fasc.6 - pp.451-521
- LECLAIRE (L) - 1970 - La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléare. (précontinent algérien) Thèse 3 vol.
Faculté des Sciences de PARIS
- LEPORE (N) - 1962 - Determinazione del carbonio organico e dei carbonati in sedimenti marini.
Inst. Speriment. Talassogr. Trieste. Publ. n° 398

- LISON (L) - 1958 - Statistique appliquée à la biologie expérimentale.
Gauthier-Villars Edit. PARIS
- LUCAS (J) - CAMEZ (T) - MILLOT (G) - 1959 - Détermination pratique aux rayons X des minéraux argileux simples et interstratifiés.
Bull. Serv. Carte. géol. Als-Lorr. t.12 - fasc.2 - pp.21 à 31
- MINICACCI (J) - 1938 - L'archipel des Comores.
Annales de Géographie - t. XLVII - pp. 279-290
- MARTIN (L) - 1969 a - Datation au 14 C de 6 tourbes de mangrove obtenues dans des carottes et de 2 nodules d'algues calcaires .
- ASEQUA - Bull. n° 25
- C. R. Ac. Sc. PARIS t. 269 - pp. 1925-1927
- MARTIN (L) - 1969 b - Introduction à l'étude géologique du plateau continental ivoirien - Premiers résultats.
ORSTOM - Centre de Recherches Océanographiques - Côte d'Ivoire, Doc. Sc. n° 34
- MASCLE (J.R) - 1968 - Contribution à l'étude de la marge continentale et de la plaine abyssale au large de Toulon. Thèse 3e cycle.
Faculté des Sciences de PARIS.
- MASSE (J.P) - 1968 - Contribution à l'étude des sédiments actuels du plateau continental de la région de Dakar.
Lab. Géol. Fac. Sciences - Université de Dakar. Rapport n°23
- MASSE (J.P) - 1970 - Contribution à l'étude des sédiments bio-clastiques actuels du complexe récifal de l'île de Nossi Bé (Nord-ouest de Madagascar).
Rec. Trav. Sta. mar. Endoume - fasc. hors série - supplé.n°10
- MILLOT (G) - 1964 - Géologie des argiles.
Masson et Cie PARIS - 499 p
- MINAS (M) - 1964 - Etude de la répartition de quelques facteurs géochimiques dans les sédiments de l'étang de Berre.
Rec. Trav. Stat. mar. Endoume. fasc. 48 - n° 32
- MINAS (M) - 1965 a - La substance organique et le calcaire dans deux types de vasières littorales de la région de Tuléar.
Rec. Trav. Stat. mar. Endoume. fasc. hors série - supplé. n°4

- MINAS (M) - 1965 b - Distribution verticale de la matière organique et de la fraction calcaire dans les sédiments de l'étang de Berre.
Rec. trav. Stat. mar. Endoume fasc. 53 n°37
- MOORE (H.B) - 1958 - Ecology
John Wiley and Sons Inc. New-York
- MURRAY (J) - 1884 - Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. Challenger - 1873-1876 - Zoology. Vol. IX - Plates
- NALOVIC (L.J) et al. - 1968 - Les méthodes d'analyses des sols et des eaux utilisées au laboratoire du Centre d'Adiopodoumé.
ORSTOM - Centre d'Adiopodoumé - Côte d'Ivoire.
- NESTEROFF (W.D) - 1954 - Sur la formation des grès de plage ou "beach-rock" en Mer Rouge.
C. R. Ac. Sc. t. 238 - pp. 2547-2548
- NESTEROFF (W.D) - 1961 - Apport et néogénèse dans la formation des argiles des grands fonds marins.
Colloque Internat. du CNRS - n°105 - pp. 149-159
- NESTEROFF (W.D) - 1965 - Recherches sur les sédiments marins actuels de la région d'Antibes.
Ann. Inst. Océanographique - t. XLIII - fasc.1 - 136 p
- NESTEROFF (W.D) - HINTERLECHNER (A) - SABATIER (G) - 1958 - Sur la composition de quelques vases méditerranéennes.
Bull. Soc. Fr. de Minéralogie et Cristallographie. t.81
pp.72-73
- OKUDA (T) - 1964 - Some problems for the determination of organic carbon in marine sediments.
Bol. Inst. Oceanogr. Universidad de Oriente
Cumana - Venezuela - vol. III - n°1 - 2
- OTTMANN (F) - 1965 - Introduction à la géologie marine et littorale.
Masson et Cie Edit. PARIS
- OTTMANN (F) - OTTMANN (J.M) - 1960 - Estudo da Barra das Jangades.
Part. IV : Estudos dos sedimentos.
Trab. des Inst. Biol. mar. e oceanogr. Universidade do Recife
Vol. II n°1

- OTTMANN (F) - OTTMANN (J.M) - 1961 - Sur le rapport C/N dans les sédiments littoraux.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t. 252 - n°15
- 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
- PASSEGA (R) - 1963 - Analyses granulométriques : outil géologique pratique.
Rev. de l'Inst. Fr. Pétrole - Vol. 18 n°11
- PAUTOT (G) - 1966 - Cours de navigation à l'usage des élèves océanographes. Lab. géol. dyn. Villefranche/Mer. Faculté des Sciences de PARIS
- PAUTOT (G) - 1969 a - Etude géodynamique de la marge continentale au large de l'Esterel - Thèse - 2 vol. Faculté des Sciences de PARIS.
- PAUTOT (G) - 1969 b - Prélèvements d'échantillons par carottages et traitement.
Cahiers Océano. CCOEC - XXI - n°1
- FERRIER de la BATHIE (H) - 1927 - Fossiles du Quaternaire du Bassin de Majunga.
Bull. Ac. Malgache - Nelle série - t.IX - pp. 87-89
- 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.
Cahiers ORSTOM - Série Océanogr. Vol. V - n°2
- PLANTE (R) - 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).
Annales Univ. Madagascar. n°8 pp. 245-253
- RAVET (J) - 1948 - Atlas climatologique de Madagascar.
Publ. Serv. Météo de Madagascar. n°10 - Tananarive
- RAVET (J) - 1949 - Statistique du vent au sol à Madagascar, aux Comores et à la Réunion.
Publ. Serv. Météo. de Madagascar. n°17 - Tananarive

- RITTENBERG (S.C) - EMERY (K.O) - ORR (W.L) - 1955 - Regeneration of nutrients in sediments of marine basins.
Deep Sea Res. Vol. 3 - n°1 - pp. 23-45
- ROUSSEAU - - 1965 - Sur une loi d'association des faciès granulométriques des fractions grossières et fines d'un sédiment sableux.
C. R. Ac. Sc. PARIS - Gr. 9 - t. 261 - n°18
- SAINT OURS (J. de) - 1956 - Prospection de la province pétrographique d'Ampasindava.
Trav. Bur. Géologique n°75 - Tananarive
- SAINT OURS (J. de) - 1960 - Etudes géologiques dans l'extrême nord de Madagascar et l'Archipel des Comores.
 Thèse - 262 p - service géologique - Tananarive
- SALOMON - - 1962 - Soil chemistry : a tool for the analysis of marine sediments. Occ. paper n°1 - Narragansett - Mad. Lab.
 University of Rhode Island.
- SCHLEE (J) - 1966 - A modified Woods Hole rapid sediment analyzer.
Journal of Sed. Petrology - vol.36 - n°2 - pp. 403-413
- SEGALEN (P) - 1956 a - Notice sur la carte pédologique au 1/50 000ème des plaines d'Ambilobé.
Mémoires I.R.S.M. - série D - t. VII- pp. 1.182
- SEGALEN (P) - 1956 b - Etude des sols de la plaine du Bas-Sambirano.
Mémoires I.R.S.M. - série D - t.VII - pp. 375-401
- SEGALEN (P) - 1964 - Le fer dans les sols.
 ORSTCM - Initiations - Doc. Tech. n°4
- SHEPARD (F.P) - 1963 - Submarine Geology (2e édit.)
 Harper's Geoscience Series NEW-YORK
- SWIFT (D.J.P) - STANLEY (D.J) - CURRAY (J.R) - 1971 - Relict sediments on continental shelves : a reconsideration
 Journal of Geology - vol. 79 - n°3 - pp. 322-346
- VANNEY (J.R) - 1964 - Morphologie sous-marine du Mor Bras
Cahiers Océanogr. CCOEC - XVI - n°7

- VANNEY (J.R) - 1965 - Etude sédimentologique du Mor Bras - Bretagne.
Marine Geology - Vol. 3- n°3 - pp. 195-219
- VATAN (A) - 1967 - Manuel de sédimentologie.
Edit. Technip PARIS
- VELAIN (C) - 1876 - Etude microscopique des roches volcaniques de Nosy Bé.
C. R. Ac. Sc. PARIS - t. 83 - pp. 1205-1208
- VERGER (F) - 1963 - Les techniques d'analyse granulométrique.
Mémoires et Doc. C N R S - t. IX - fasc. 1
- VOGEL (A.I) - 1961 - A text-book of quantitative analysis.
Longnavs Edit. LONDON
- VOINOVITCH (I.A) - DEBRAS-GUEDON (J) - LOUVRIER (J) - 1962 -
L'analyse des silicates.
Hermann Edit.
- WEYDERT (P) - 1969 - Nouvelle méthode de détermination de la sphéricité des sédiments meubles.
Sedimentology - 13 - pp. 71-83

CARTES CONSULTÉES

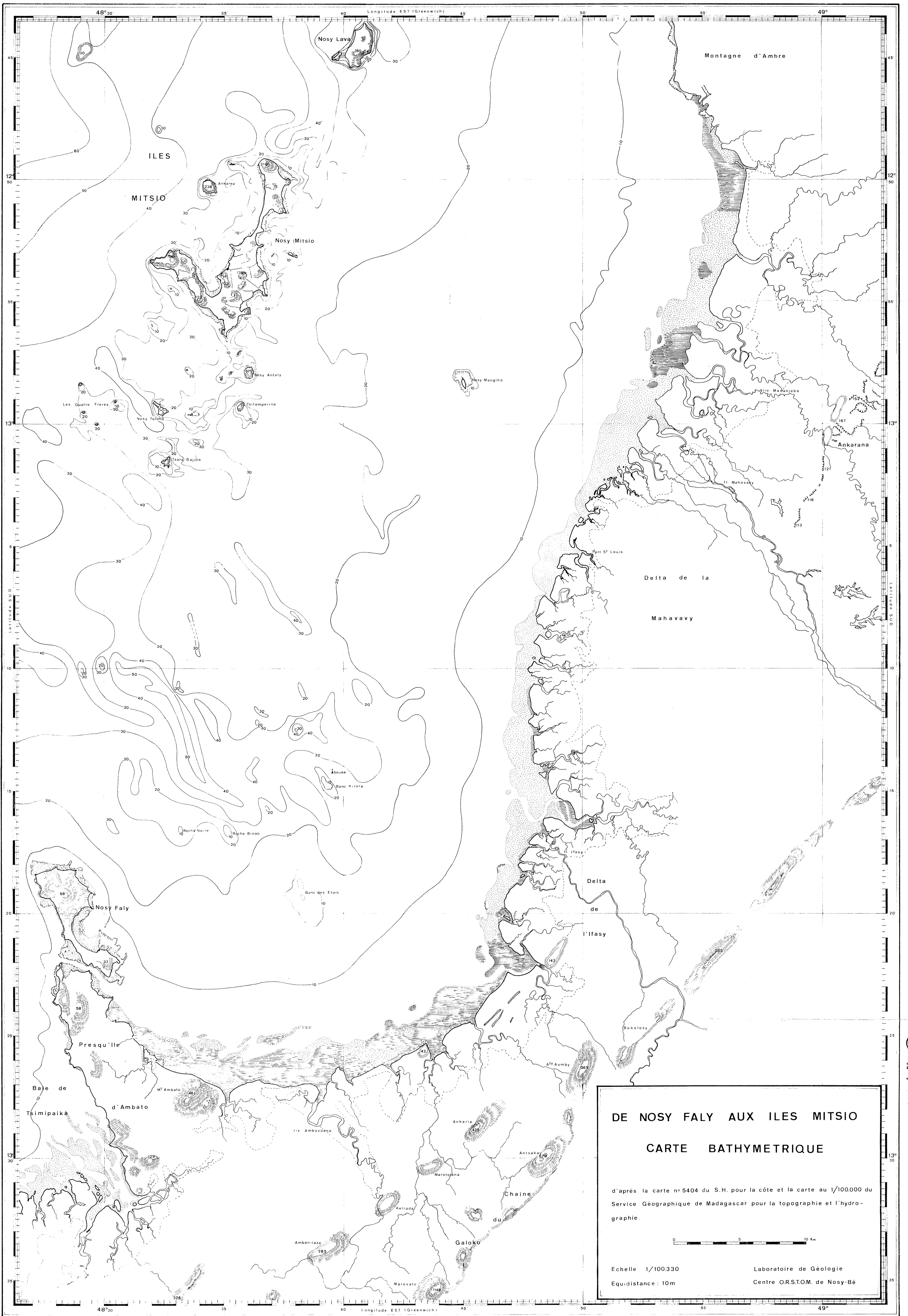
=====

A - Cartes du Service Hydrographique de la Marine

- 1441 - Cap St André à la baie d'Antongil
- 5339 - De Majunga à Nossi Bé
- 5561 - De Nossi Bé à la baie de Diégo-Suarez
- 4451 - Du Cap Voailava au Cap St Sébastien
- 4462 - Du Cap St Sébastien à la rivière Sahinana
- 5404 - De la rivière Sahinana à la Pointe d'Andemby
- 5264 - De la Pointe d'Andemby à la Pointe d'Angadoka
- 4379 - De la baie d'Ampasindava à Nosy Saba
- 5983 - Archipel des Comores
- 6237 - Ile Mayotte

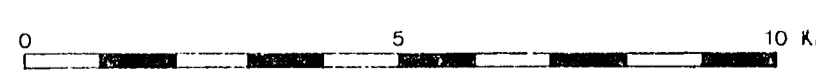
B - Cartes Géologiques

- Carte géologique de l'Afrique - 1/5 000 000e - feuille n°9
1963 - UNESCO - PARIS
- Cartes géologiques de Madagascar - 1/500 000e 1956
Service géologique malgache. Tananarive.
 - feuille n° 1 - Comores et Diégo-Suarez
 - feuille n° 2 - Majunga
 - feuille n° 3 - Antalaha
- Cartes géologiques de Madagascar - 1/200 000e 1948 à 1965
Service géologique malgache. Tananarive.
 - feuille de Diégo-Suarez - (1965)
 - feuille d'Ambilobé - (1957)
 - feuille Andavakoeva - (1948)
 - feuille Ambanja - (1957)
 - feuille Ambanja-Tsaratanana - (1965)
- Cartes géologiques de Madagascar - 1/100 000e 1963
Service géologique malgache. Tananarive.
 - feuilles : 30 U. V - 31 T. U - 32 U. V - 36 Q. R -



**DE NOSY FALY AUX ILES MITSIO
CARTE BATHYMETRIQUE**

d'après la carte n° 5404 du S.H. pour la côte et la carte au 1/100000 du Service Géographique de Madagascar pour la topographie et l'hydrographie.

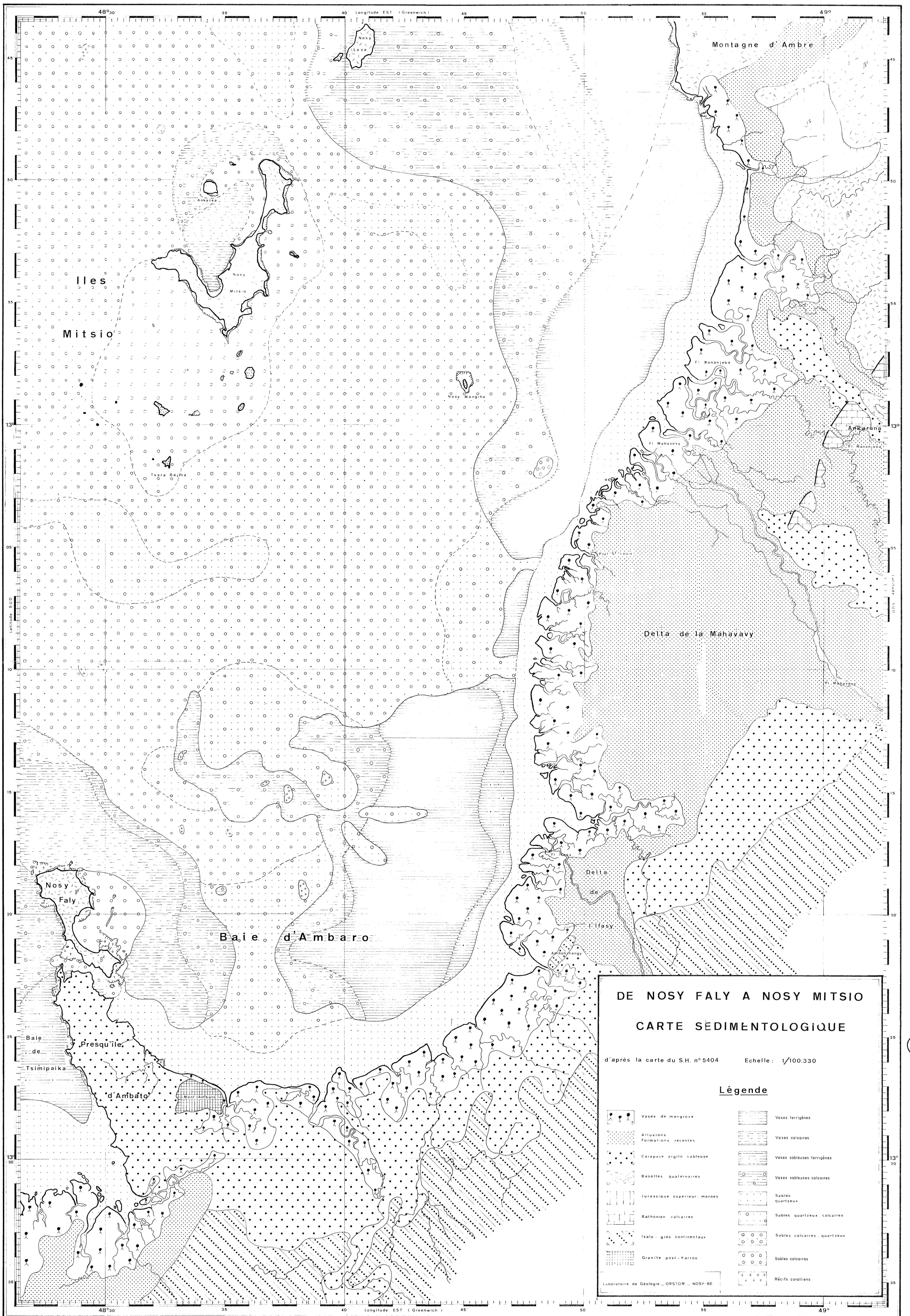


Echelle 1/100.330
Equidistance : 10m

Laboratoire de Géologie
Centre ORSTOM de Nosy-Bé

BIBLIOTHEQUE
S.C.D.-2
P.R.S.T.O.M.

27 AVR. 1972
11.204 ex 1
D6
JOU



DE NOSY FALY A NOSY MITSIO
CARTE SÉDIMENTOLOGIQUE

d'après la carte du S.H. n°5404 Echelle: 1/100.330

Légende

	Vases de mangrove		Vases ferrugines
	Alluvions récentes		Vases calcaires
	Carapace argilo sableuse		Vases sableux ferrugines
	Basaltes quaternaires		Vases sableux calcaires
	Jurassique supérieur marnes		Sables quartzeux
	Bathonien calcaires		Sables quartzeux calcaires
	Isalo gres continentaux		Sables calcaires quartzeux
	Granite post-Karoo		Sables calcaires
	Récifs coralliens		

Laboratoire de Géologie - ORSTOM - NOSY BE

BIBLIOTHÈQUE
S.C.D.-2
O.R.S.T.O.M.

27 AVR. 1972
11.304 ex 1
D6
JOU