

MORPHOLOGIE ET SÉDIMENTOLOGIE DU CANYON SOUS-MARIN DE L'ONILAHY (SUD-OUEST DE MADAGASCAR)

René BATTISTINI*, Christian JOUANNIC**, L.A. MAUGÉ,
G. CASELLATO et E. VERNIER

* Directeur du Département de Géographie - Université d'Orléans,
45015 Orléans-Cedex

** Géologue de l'ORSTOM

RÉSUMÉ

L'Onilahy, l'un des plus importants fleuves du sud-ouest de Madagascar, se prolonge sur le talus continental malgache par un canyon sous-marin encaissé, méandriforme, bien visible encore à 2 600 m de profondeur, recevant sur sa rive droite deux affluents, eux-mêmes encaissés et de parcours sinueux. Une vallée sous-marine importante apparaît d'autre part en face de l'embouchure actuelle du Fiherenana, plus au nord.

L'origine la plus probable des divers canyons de la région de Tuléar est soit un creusement à l'air libre par les fleuves et cours d'eau au moment de la période régressive néogène, suivi d'une subsidence côtière plio-quadernaire, soit un creusement par les courants de turbidité qui balaient périodiquement le talweg principal.

Les premières centaines de mètres des versants de la partie interne du canyon sont marquées par la présence d'une sorte de « corniche », à la pente très raide, localement subverticale, haute de 100 à 250 m. L'effondrement de tout un compartiment de la pente continentale dans l'axe de l'Onilahy peut expliquer la présence de cette corniche. Une hypothèse peut-être plus séduisante serait d'y voir l'existence d'une série supérieure récifale ou subrécifale quadernaire ou plio-quadernaire.

ABSTRACT

The Onilahy, one of the most important rivers of the south-west of Madagascar (Indian Ocean), extends on the malagasy continental slope by a submarine

canyon, deep, meandering, still well visible at the depth of 2 600 meters, receiving on its right side two affluents, themselves deep and sinuous. Another important submarine valley appears in front of the present rivermouth of the Fiherenana (north of Onilahy).

The most probable origin of these canyons in the area of Tuléar is either an aërian digging by the rivers during the regressive neogene time, followed by a coastal plio-quadernary subsidence, or a digging by turbidity currents sweeping periodically the main talweg.

The first hundreds of meters of the both sides of the internal part of the canyon are characterised by a kind of steep, sometimes subvertical « cornice », high of 100 to 250 meters. The collapsing of a whole block of the continental slope in the axis of Onilahy may explain this presence. An hypothesis maybe better would be to see the existence of an upper reefal or subreefal quadernary or plio-quadernary layer.

РЕЗЮМЕ

Онилахы, одна из важнейших рек южно-западного Мадагаскара, продолжается, на мадагаскарском континентальном склоне, подводным извилистым каньоном с крутыми скатами, еще хорошо различимым на глубине 2600 м, и принимающим, с правой стороны, два притока, также с крутыми скатами и извилистым течением. Кроме того, значительная подводная долина открывается севернее, напротив современного устья Фихеренана.

Вернее всего что различные каньоны области Тулеар произошли от размыва, на открытом воздухе, реками и текучими водами, в регрессивный неогеновый период, с последующим береговым плио-четвертичным оседанием, или же вследствие размыва мутными потоками, периодически проходящими по всему главному тальвегу.

Первые сотни метров склонов внутренней части каньона отличаются присутствием как бы «карниза» с очень крутым, местами субвертикальным скатом, высотой в 100-250 м. Обвал целого участка континентального склона по направлению оси Онилахы может объяснить существование этого карниза. Согласно другой, может быть более привлекательной, гипотезе, здесь можно усмотреть существование верхней рифовой или подрифовой, четвертичной или плио-четвертичной серии.

INTRODUCTION

L'Onilahy est l'un des plus grands fleuves de Madagascar. Son bassin versant, de 32 000 km², couvre une grande partie du centre-sud de l'île. Son cours inférieur traverse en gorges, sur environ 70 km, un vaste plateau karstique façonné dans les calcaires marins tertiaires, avant de se jeter dans la baie de Saint-Augustin. Située par 23°34' de latitude sud, dans le sud-ouest de Madagascar, cette baie s'ouvre sur le canal de Mozambique, à 30 km au sud de la ville de Tuléar. Alors que les autres fleuves de l'ouest malgache ont tous des deltas, parfois de grande taille comme ceux du Mangoky ou de la Tsiribihina, l'Onilahy est le seul à ne pas en posséder : la raison en est l'absence de plate-forme continentale en face de son embouchure et surtout l'existence d'une vallée sous-marine, dont la tête pénètre à l'intérieur même de la baie de Saint-Augustin, dans l'exact prolongement de la vallée fluviale.

Le Service Hydrographique de la Marine a, le premier, mis en évidence l'existence de cette vallée sous-marine. La carte marine n° 6404, à 1/45 000, de la baie de Saint-Augustin et des abords de Tuléar donne une idée de l'allure générale de la vallée dans sa partie supérieure. La carte n° 4715, à 1/312 423, fournit aussi des indications sur son extension vers le large et sur le tracé approximatif du talweg. Ces documents ne donnent toutefois qu'une idée très vague du relief sous-marin et aucun renseignement sur la nature des fonds. Aussi, une mission de sondages et de prélèvements de sédiments a-t-elle été réalisée, en février 1973, dans ce secteur, par une équipe

associant des chercheurs de l'ORSTOM et de l'Université de Madagascar.

Du nord vers le sud, les travaux sur le terrain ont été étendus depuis l'embouchure du fleuve Fiherenana jusqu'au sud de Nosy-Vé, soit de 23°17' à 23°40' de latitude sud. Vers l'ouest, ils ont été menés jusqu'à 25 milles de la côte, soit 43°15' de longitude est.

La campagne a été effectuée à bord du Vauban, navire océanographique attaché au Centre ORSTOM de Nosy-Bé (Madagascar). Il s'agit d'un chalutier transformé de 25 m, équipé d'une sondeur Atlas Werke AN 658 A, d'un radar Atlas 2200 et d'un treuil de pêche muni de 1500 m de câble de 12 mm.

GÉNÉRALITÉS

Le cadre géologique

Le sud-ouest malgache correspond à la partie sud du bassin sédimentaire de Morondava. La série sédimentaire s'étend du Karroo (Carbonifère supérieur) à l'actuel. En surface, cette série présente une structure d'ensemble monoclinale vers l'ouest, avec des pendages moyens faibles pour les termes les plus récents (de l'ordre de cinq pour mille pour les calcaires marins tertiaires). Des remontées du socle rendent les structures moins régulières en profondeur (Besairie, 1953 ; Cliquet, 1957).

Dans la région de l'Onilahy, la couverture sédimentaire s'étend d'est en ouest sur 130 km de largeur, entre les terrains métamorphiques du socle précambrien malgache et le canal du Mozambique. A l'ouest, le tertiaire marin, notamment l'Eocène, affleure sur 50 km de largeur, formant le plateau calcaire mahafaly. Ce plateau se termine du côté de la mer par une falaise grossièrement rectiligne, haute d'une centaine de mètres, qui correspond à l'escarpement de la faille de Tuléar. Au niveau de la baie de Saint-Augustin, cet escarpement est actuellement remodelé en falaise marine vive (éperon de Barn-Hill). Plus vers le nord, il s'agit d'une falaise marine morte (âge quaternaire ancien probable), fossilisée par les alluvions du Fiherenana qui forment la plaine côtière de Tuléar, qu'elle domine.

Des forages, des tirs de sismique et le magnétisme aéroporté ont fourni la preuve de l'existence de la faille de Tuléar et permis de mesurer son rejet, qui est de 150 m depuis l'Eocène et de 1 200 m depuis le crétacé supérieur (Cliquet, 1957). Un changement de faciès s'observe de part et d'autre de la faille (passage vers l'ouest des faciès calcaires ou grésocalcaires de l'Eocène et du Crétacé supérieur à des

faciès essentiellement marneux, accompagné d'un épaississement des séries). Ainsi plus au nord, dans la région de Befandriana-Andavadoaka, l'Eocène est calcaire à Befandriana (située à l'est de la faille) et marneux à Andavadoaka ; il a y 625 m de Sénonien suprabasaltique à Befandriana et 1 083 m à Andavadoaka (Maugé, inédit). Un forage pétrolier, implanté près de Tuléar dans le delta actuel du Fiherenana, a fourni la coupe suivante jusqu'à 2 108 m de profondeur :

<i>Alluvions post-éocènes et actuelles</i>		159 m	
<i>Eocène</i>			
Lutétien : marnes vertes glauconieuses	141 m	}	744 m
Eocène inférieur : marnes à intercalations calcaires	603 m		
<i>Crétacé suprabasaltique</i>			
Maëstrichtien : marnes grises	360 m	}	1 143 m
Sénonien indifférencié : marnes grises, sableuses et micacées	783 m		
<i>Basaltes</i>			62 m

Ainsi, à la hauteur de Tuléar, l'Eocène du plateau calcaire ne peut guère être évalué à plus de 400 m d'épaisseur, alors que les dépôts correspondants approchent 750 m d'épaisseur dans le compartiment abaissé. De même, le Sénonien suprabasaltique, épais de 600 à 700 m sous les calcaires tertiaires, atteint 1 140 m sous la plaine côtière, avec passage latéral d'est en ouest des faciès calcaires aux faciès marneux.

En bordure de côte et sur le plateau continental adjacent se sont développées au cours du Quaternaire des formations coralliennes de types très variés : récif-barrière, récifs frangeants, récifs internes, îlots et bancs coralliens (Weydert, 1974a). En particulier le Grand Récif de Tuléar longe sur 18 km le rebord continental au nord de la baie de Saint-Augustin, s'étendant vers le nord jusqu'à la hauteur de la ville de Tuléar. Il est relayé au sud par la petite île corallienne de Nosy Tafara, puis le récif frangeant de Sarodrano, long lui-même de 6 km. Cette zone a été étudiée dans ses aspects biologiques et géologiques depuis 1963 par les chercheurs de l'UER des Sciences de la Mer et de l'Environnement du CU de Marseille-Luminy (Picard, 1963 à 1967, Pichon, 1964 à 1967, Blanc *et al.*, 1966, Weydert, 1968 à 1974...).

Le Grand Récif résulte de la soudure de cinq unités récifales originelles en un seul récif-barrière (Picard, 1967). Les formations récifales originelles se seraient édifiées au cours de la transgression tatsimienne (Pléistocène inférieur) sur les interfluves des vallons

déterminés par le réseau hydrographique néogène en bordure de la plaine côtière quaternaire ancienne (Weydert, 1974a). Morphologiquement, on distingue, au-delà de la zone des sillons et des éperons, la zone de la « dalle corallienne profonde » (« deep reef flat ») de -20 m à -45 m, recouverte d'importants dépôts d'éléments organiques libres (rhodolites), et dont la partie aval se termine par un ressaut qui domine le talus continental (Weydert, 1973b).

Il convient de rappeler ici que le sondage d'Andavadoaka, plus au nord, a traversé dans sa partie supérieure 250 m de Quaternaire récifal à dominante grésocalcaire.

Climatologie et Océanographie

Le sud ouest de Madagascar est caractérisé par un climat tropical de type semi-aride, avec un maximum humide unique de saison chaude, à caractère orageux ou cyclonique. C'est dans la région de Tuléar et le long de la plaine côtière mahafaly (située au sud de l'embouchure de l'Onilahy) que l'on observe les pluviosités les plus faibles de Madagascar (moins de 400 mm). Elles augmentent vers le nord-est, au fur et à mesure que l'on pénètre dans l'intérieur des terres (Battistini, 1964).

Au cours de l'année, la température moyenne mensuelle dans la région de Tuléar varie de 20° (juin et juillet) à 27,5° (janvier et février). La température moyenne annuelle est de 25,5° (Hervieu, 1968).

Les vents de sud-ouest prédominent nettement dans la région de Tuléar. Ces vents ont les caractères d'une brise marine assez forte, se levant dans le courant de la matinée et atteignant leur maximum d'intensité au milieu de l'après-midi (Pichon, 1964).

Cette brise de sud-ouest provoque une houle de même direction, courte mais forte, qui se superpose alors à une houle de sud beaucoup plus longue, d'origine océanique.

Les marées, dans la région de Tuléar, sont de type semi-diurne, d'une amplitude pouvant atteindre 3 m en période de vives eaux. Il s'ensuit de forts courants de marée, notamment entre le Grand Récif et le littoral, ainsi que dans les chenaux.

Hydrographie

Deux fleuves importants se jettent dans la mer dans la région étudiée : l'Onilahy au sud et le Fiherenana au nord.

L'Onilahy possède un bassin versant d'environ 32 000 km², dont les 2/3 sont situés dans le cristallin

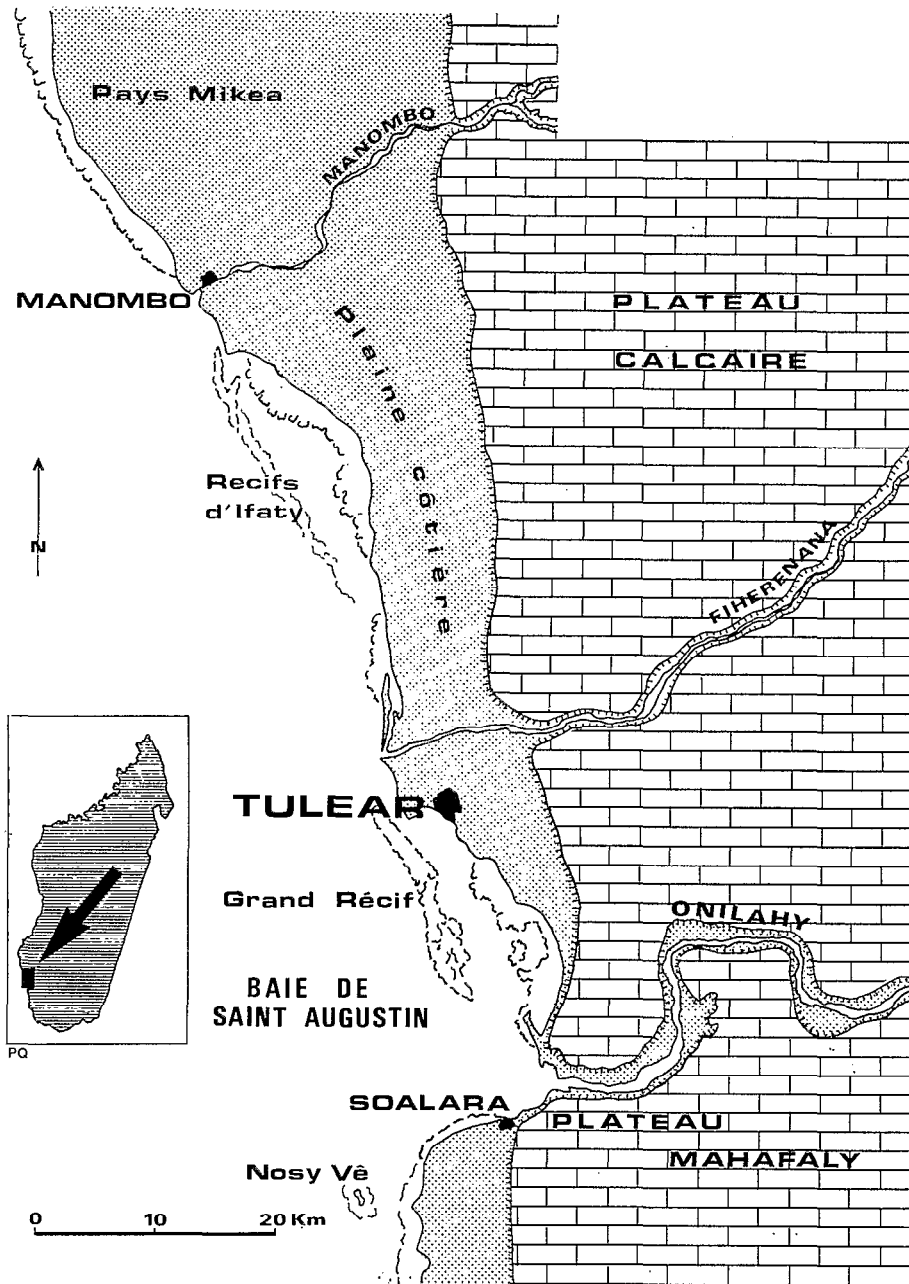


FIG. 1. — Croquis général de localisation.

et le 1/3 restant dans le sédimentaire. Le débit moyen mensuel du fleuve, observé sur une période de 5 ans à Tongobory (à 60 km de l'embouchure), varie de 45 m³/s en saison sèche et 378 m³/s en saison humide. Il peut atteindre 1 000 m³/s en période de crue et peut descendre à 25 m³/s en période d'étiage.

Le Fiherenana débouche en mer au nord de la ville de Tuléar. Son parcours se fait entièrement en terrain sédimentaire. Le bassin versant est de 6 600 km². Son cours inférieur est à sec une partie de l'année, avec un sous-écoulement dans les sables.

BATHYMÉTRIE

La carte bathymétrique

Environ 250 milles (1) d'enregistrements à l'échosondeur ont permis de dresser une carte bathymétrique à 1/100 000 en courbes de niveau équidistantes de 200 m. Cette carte, réduite, est donnée en figure 3 (h.t.).

Les routes suivies ont été tracées tout d'abord perpendiculairement à l'axe général de la vallée, indiqué par la carte marine du S. H n° 4715. Elles ont été successivement espacées d'un demi-mille vers la tête de la vallée, d'un mille à la hauteur du Grand Récif et de deux milles plus au large (fig. 2). Cinq profils supplémentaires ont été menés parallèlement à la face ouest du Grand Récif et deux autres parallèlement à l'axe général de la vallée.

Le positionnement au radar a été relativement malaisé au large en raison du faible nombre des amers caractéristiques sur la côte. Aussi, la précision du point ne peut-elle être estimée qu'à 1/4 de mille vers la tête de vallée, à 1/2 mille à la hauteur du Grand Récif et à 1 mille au-delà.

Morphologie

La vallée sous-marine de l'Onilahy a été reconnue jusqu'à la profondeur de 2 600 m, où elle apparaît encore distinctement dans le paysage sous-marin. L'axe de la vallée présente une direction générale WNW-ESE. Son parcours est toutefois sinueux.

Dans sa partie en amont, la vallée est étroite et relativement encaissée. Elle s'élargit vers l'aval, notamment à partir de la profondeur de 2 000 m, où elle montre des versants à pente douce. Les versants sud et nord présentent des pentes comparables : toutefois la topographie du versant nord se trouve

compliquée par la présence de deux talwegs affluents remarquables, à la hauteur de la moitié nord du Grand Récif.

Par ailleurs, les profils de sondage mettent en évidence l'existence, au nord du secteur étudié, d'une deuxième grande vallée sous-marine, en face du delta actuel du Fiherenana.

1. La tête de vallée

La tête de vallée débute devant le village de Saint-Augustin à l'embouchure même de l'Onilahy. Devant le village lui-même, la profondeur ne dépasse pas encore 100 m. Mais le talweg est déjà à -350 m dans le prolongement de l'éperon rocheux de Barn-Hill.

M. Pichon (1964), in litteris, signale que « l'un des problèmes les plus intéressants est sans doute celui de la prolongation de l'éperon rocheux de Barn-Hill et de ses rapports avec la falaise éocène au sud de l'Onilahy ». On peut penser en effet, à la lecture de la carte marine n° 6064, que cet éperon présente une prolongation sous-marine, barrant complètement la baie et créant ainsi à la tête de la vallée une dépression fermée en ombilic, dans laquelle existerait, d'après les renseignements obtenus par M. Pichon auprès du Service Hydrographique, une « vase ultra-molle », dont l'épaisseur serait considérable.

Les recherches effectuées en baie de Saint-Augustin n'ont pas permis de confirmer l'existence d'une telle dépression fermée : deux profils effectués dans le prolongement de la pointe de Barn-Hill montrent que l'éperon ne possède pas de prolongation sous-marine, à l'endroit du talweg.

La tête de vallée est étroite et présente des versants raides, sans contrepente. En outre, les versants sont très probablement rocheux et localement subverticaux, avec des irrégularités qui peuvent être dues à de gros blocs de roche éboulés, auxquels la drague s'est accrochée. On peut penser qu'à l'intérieur de la baie, la tête de vallée, rocheuse et escarpée, est en voie de comblement progressif par l'avancée du front de déversement des alluvions de l'Onilahy.

2. Les versants

Le rebord du plateau continental se situe entre 40 et 70 m dans la région considérée. Les versants de part et d'autre du talweg principal débutent presque toujours par une pente raide jusque vers 150 à 300 m de profondeur. Ceci s'observe tant sur le versant méridional (profils VIII, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX) que sur le versant septen-

(1) 1 mille marin = 1,852 kilomètre.

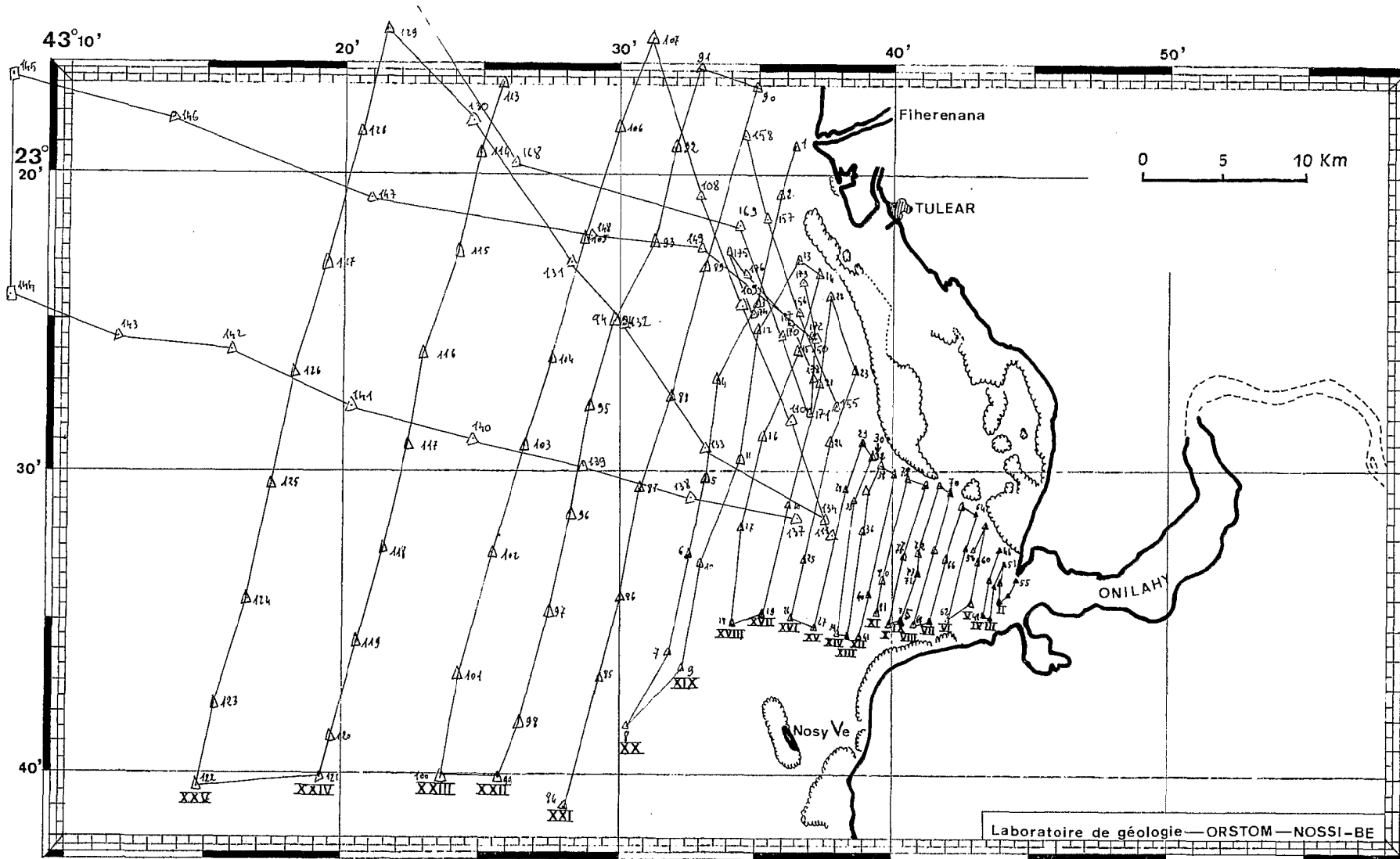


FIG. 2. — Canyon de Saint-Augustin. Carte des routes. En chiffres romains, (de II à XXV) les coupes transversales.

trional (profils VIII, IX, X, XI, XII, XV). Au-dessous la pente s'adoucit : elle demeure tout de même forte près de la tête de vallée, elle devient plus faible au-delà.

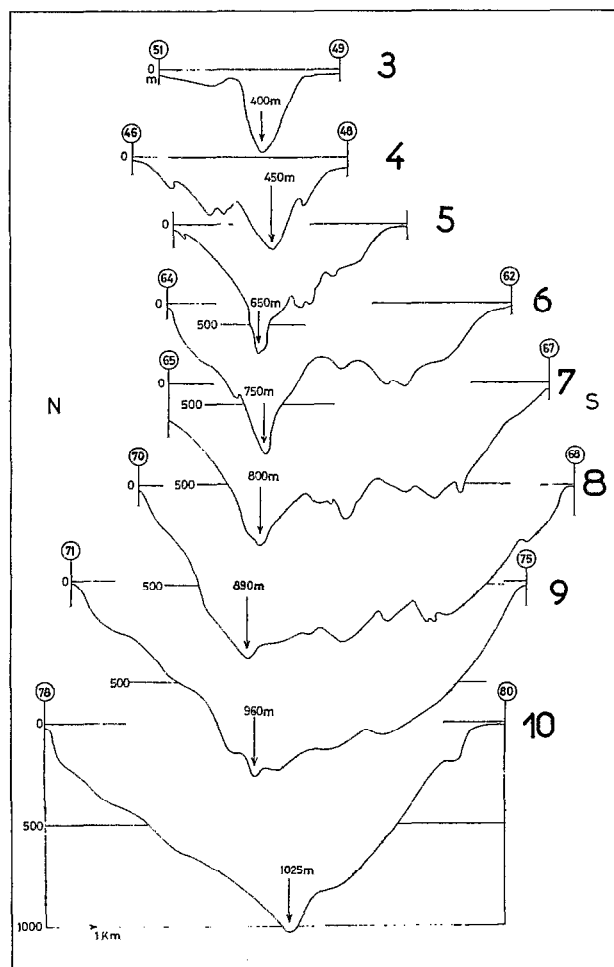


FIG. 4. — Profils transversaux n° 3 à 10.

1°. *Le versant sud.* L'orientation sud est en liaison avec l'extension du plateau continental des environs de Nosy-Vé. Le plateau est très étroit (1 mille environ) au niveau du village de Soalara, près de la tête de vallée, puis il s'élargit nettement devant le village d'Anakao en face duquel se trouve l'île sableuse de Nosy-Vé : le plateau atteint à cet endroit une largeur de 6 milles, soit une dizaine de kilomètres. Il se rétrécit à nouveau plus au sud, le long du littoral mahafaly.

La plate-forme continentale mahafaly se termine au nord (profils VIII à XIX) par une pente très raide, localement subverticale (profils X, XII, XIV, XVI), dont la base se situe entre 150 et 300 m de profondeur. L'aspect général est celui d'une « corniche » d'une hauteur de 100 à 250 m, surplombant la partie amont de la vallée sous-marine.

En dessous de cette corniche, la valeur moyenne de la pente est d'autant plus forte que l'on se trouve près de la tête de vallée. Dans la partie aval, on passe à un relief plus adouci et les pentes moyennes sont plus faibles. Ainsi, à proximité de la pointe de Barn-Hill, la valeur moyenne de la pente entre 200 et 400 m peut être estimée à 50 % (profils III et IV). A l'endroit où le talweg atteint l'isobathe de 1 000 m, la valeur moyenne de la pente entre 200 et 1 000 m n'est plus que de 30 %. Elle reste à peu près constante tant que le versant est orienté vers le nord, comprise entre 25 et 35 %. La pente présente un aspect souvent irrégulier dans le détail : de fréquents accidents du relief apparaissent sur les profils, tels que ruptures de pente, paliers et même contre-pentes. Certains de ces accidents peuvent avoir une origine structurale, mais la plupart semblent correspondre à une morphologie de ravins recoupée par les profils.

Au nord-ouest de Nosy-Vé, par contre, on n'observe plus de corniche dans les premières centaines de mètres. Au contraire le passage aux pentes supérieures de la vallée s'effectue de manière insensible, sans rupture de pente apparente. La valeur de la pente diminue très nettement : elle est de 6,5 % seulement de 200 à 800 m. Elle augmente de 800 à 1 800 m et atteint 18 %. Elle est de 13 % entre 1 800 et 2 400 m. Elle faiblit au-delà. La valeur moyenne de 200 à 2 400 m peut être estimée à 10 %. En outre, cette pente devient très régulière, notamment entre 200 et 800 m : le plateau de Nosy-Vé se prolonge au nord-ouest par une sorte de large éperon surplombant la vallée principale, qui atteint à cet endroit 2 200 à 2 500 m de profondeur.

2°. *Le versant nord.* Le versant nord de la vallée sous-marine prend tout d'abord une direction générale NW-SE, depuis la pointe de Barn-Hill jusqu'à la pointe nord du Grand Récif. Il prend au-delà une direction franchement nord-sud. Son regard s'infléchit donc progressivement du sud-ouest à l'ouest.

La pente de ce versant est dans son ensemble comparable à celle du versant sud quant aux valeurs et au relief de détail. Elle est toutefois affectée par deux talwegs remarquables, situés à la hauteur de la moitié nord du Grand Récif de Tuléar.

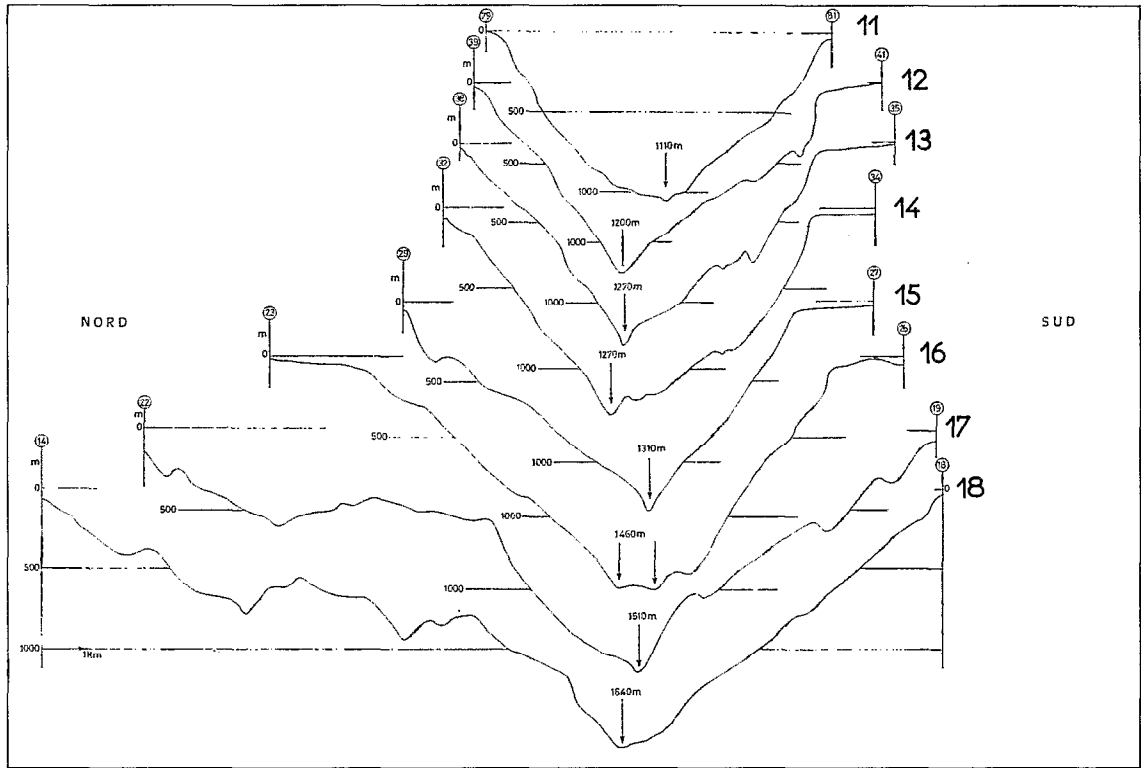


FIG. 5. — Profils transversaux n° 11 à 18.

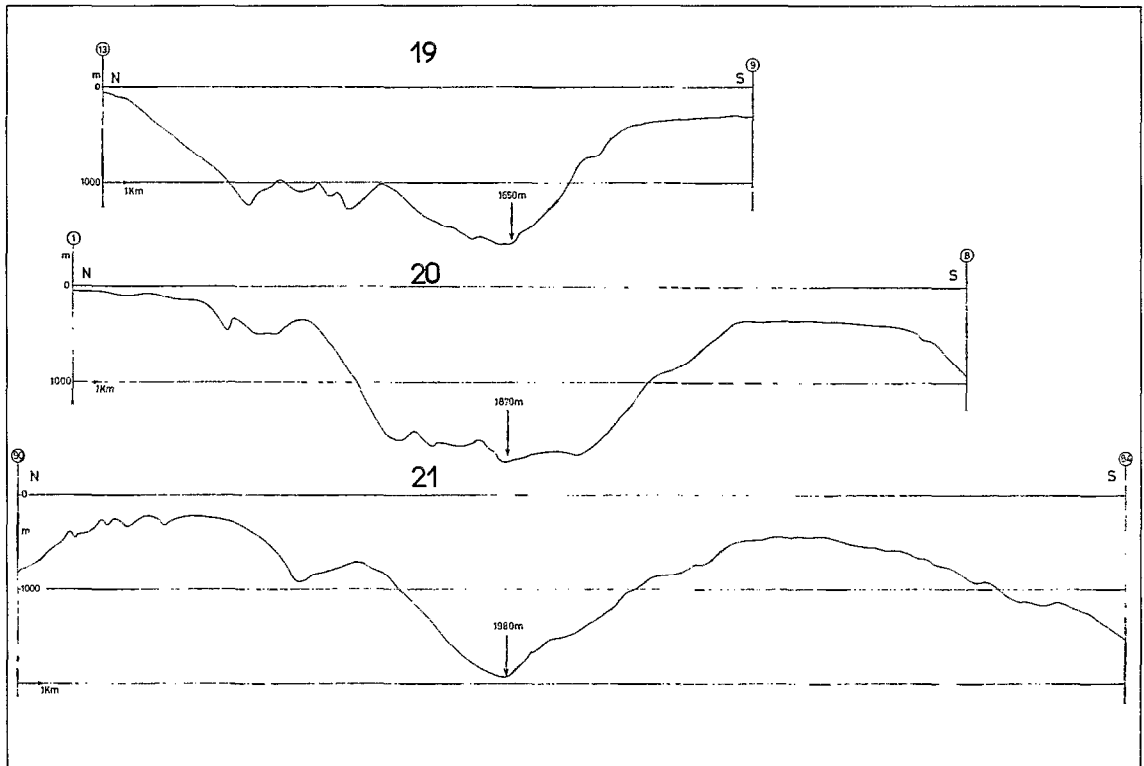


FIG. 6. — Profils transversaux n° 19 à 21.

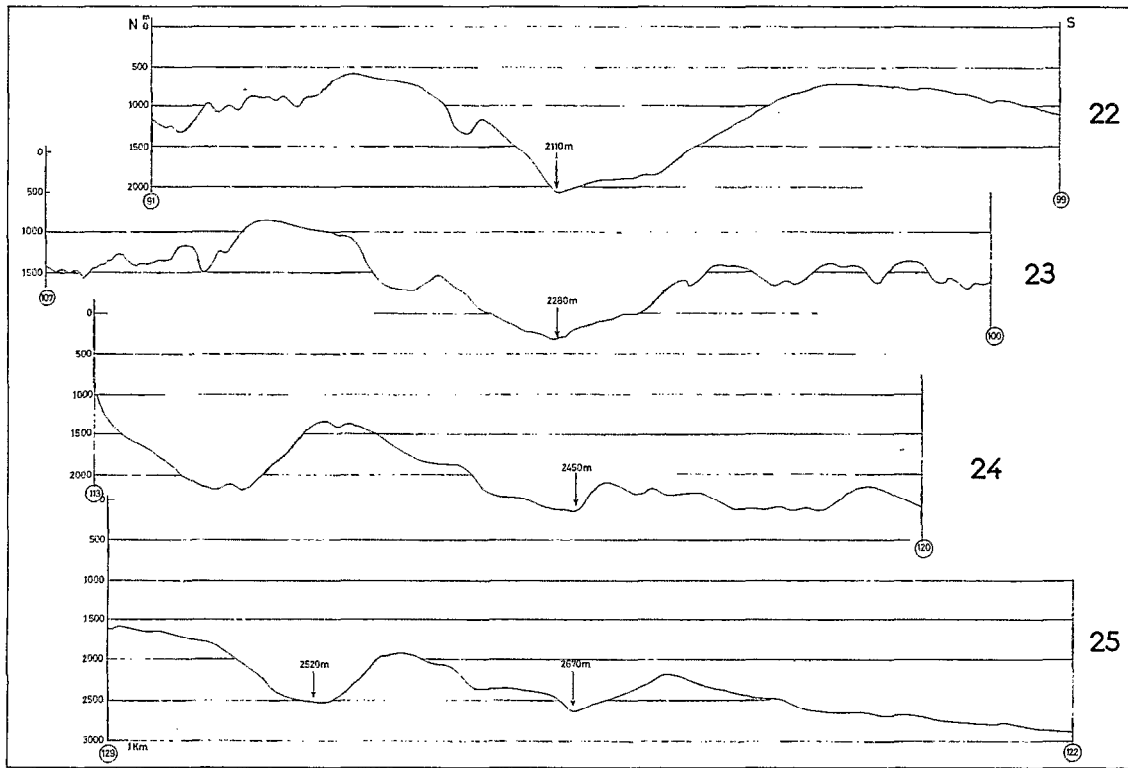


FIG. 7. — Profils transversaux n° 22 à 25.

Près de la tête de la vallée, la valeur moyenne de la pente dépasse 50 %. De Sarodrano à l'endroit où le Grand Récif change légèrement de direction, par 23°29' de latitude sud (il passe du NW-SE au NNW-SSE), la valeur moyenne de la pente oscille entre 25 et 40 %. Au niveau de la partie renflée du Grand Récif (au sud de la pointe Angèle), la pente n'est que de 13 % de 200 à 1 000 m, mais atteint 33 % de 1 000 à 1 800 m. Les deux talwegs remarquables sont séparés par un interfluve peu large (1 mille en moyenne), qui présente une pente de 10 % entre 400 et 1.600 m. A la latitude de Tuléar, enfin, un second interfluve, plus large (2,5 milles, soit 4,5 km) sépare le plus septentrional des talwegs précédents d'une vallée sous-marine importante, située à la latitude du delta du Fiherenana. Ce deuxième interfluve possède une pente qui peut être évaluée à 6 % entre 200 et 1 400 m : cette pente, régulière, est analogue à celle que l'on observe au nord-ouest de Nosy-Vé.

3. Les talwegs

On observe quatre talwegs principaux dans la région étudiée. Ce sont :

- le talweg de la vallée sous-marine de l'Onilahy,
- les deux talwegs affluents situés sur le versant nord du précédent, à la hauteur environ de Tuléar,
- enfin le talweg de la vallée sous-marine mise en évidence en face du delta du Fiherenana.

1. *Le talweg principal.* Le talweg de la vallée sous-marine de l'Onilahy présente une direction d'ensemble WNW-ESE. Toutefois son tracé n'est pas rectiligne : jusqu'à 2 600 m de profondeur, son parcours réel est de 55 km au lieu de 45 km en ligne directe. En fait, le caractère sinueux du parcours est d'autant plus net que l'on se trouve plus près de la tête de vallée. Jusque vers 1 700 m, le talweg décrit trois méandres successifs en forme de demi-cercle, d'amplitude sensiblement égale (environ 5,5 km de diamètre). De 1 700 à 2 400 m,

le talweg décrit une boucle beaucoup plus ample, de diamètre égal à 17 km.

La valeur moyenne de la pente du talweg peut être estimée à 4,7 % entre 50 et 2 600 m. Cette pente n'est en fait pas constante (fig. 8). Rapide de 50 à

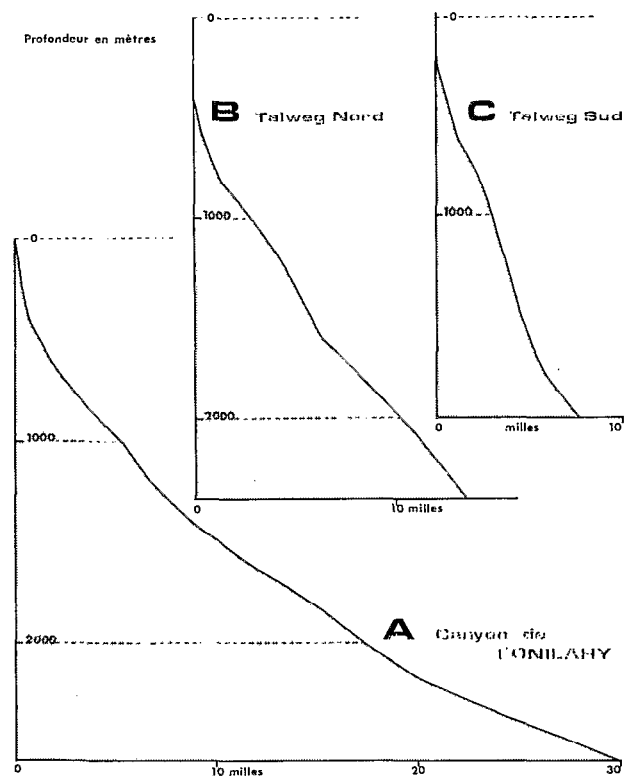


FIG. 8. — Profils en long.

400 m, où sa valeur est de 22 %, la pente s'adoucit peu à peu au-delà : sa valeur est de 8 % de 400 à 1 200 m, de 5 % de 1 200 à 2 200 m, de 2 % seulement de 2 200 à 2 600 m. On ne distingue cependant pas de palier bien net (les ruptures de pente que l'on observe sur le profil à 1 000 et 1 800 m peuvent être dues à la seule imprécision du positionnement).

Le fond de la vallée est toujours étroit et son allure générale en V est nettement marquée, même à 2 600 m de profondeur.

2. *Les talwegs affluents.* Le talweg principal reçoit, de son versant nord deux talwegs affluents, qui apparaissent nettement sur les profils d'écho-sondages, notamment vers les profondeurs moyennes comprises

entre 600 et 1 600 m. Ces deux talwegs secondaires sont situés respectivement à 23°26' et 23°24' de latitude sud, soit légèrement plus bas que la ville de Tuléar (23°21' sud).

(a) *Le talweg méridional (23°26' S).* Une coupe effectuée parallèlement au Grand Récif sur les fonds d'une centaine de mètres montre que le talweg méridional s'individualise par une dénivellation de l'ordre de 75 m. Entre 200 et 1 000 m de profondeur, la vallée est relativement large, en forme de V. Elle s'encaisse plus nettement entre 1 000 et 1 600 m. Son confluent avec le talweg principal se situe aux alentours de l'isobathe de 2 000 m.

L'axe général du talweg est tout d'abord est-ouest, puis devient NE-SW à partir de 1 500 m de profondeur. Son tracé est légèrement sinueux : il peut en effet être estimé à 13 km de l'isobathe de 200 m à son confluent, au lieu de 11,5 km en ligne directe.

La pente (fig. 8) est forte sur tout le parcours. Sa valeur est de 25 % de 200 à 600 m, de 12 % de 600 à 1 000 m, de 16,6 % de 1 000 à 1 800 m et enfin de 6,6 % de 1 000 à 2 000 m.

(b) *Le talweg septentrional (23°24' S).* Contrairement au précédent, le talweg septentrional n'apparaît pas sur le profil effectué parallèlement au Grand Récif dans les fonds de l'ordre de la centaine de mètres. Par contre, deux profils réalisés sur les fonds de 400 m mettent en évidence deux petites vallées séparées par un interfluve étroit. A 600 m enfin, on n'observe plus qu'une seule vallée, qui s'individualise de plus en plus nettement au fur et à mesure que l'on va vers le large, particulièrement entre 1 000 et 1 600 m. Son confluent avec le talweg principal se situe vers 2 400 m de profondeur.

L'axe de ce talweg est grossièrement ENE-WSW jusque vers l'isobathe de 1 800 m, à partir duquel il oblique franchement vers le SW. Son parcours est peu sinueux : on peut l'estimer à 24,8 km de 400 à 2 400 m au lieu de 24 km en ligne directe.

La valeur de la pente est successivement de 20 % de 400 à 800 m, 7 % de 800 à 1 200 m, de 11 % de 1 200 à 1 400 m, enfin de 6 % de 1 600 à 2 400 m.

3. *La vallée sous-marine située en face du delta du Fiherenana.* Une vallée sous-marine, dont l'importance peut être comparée à celle de l'Onilahy, se remarque dans le nord du secteur étudié.

Relativement rectiligne, du moins d'après nos profils d'écho-sondages, qui, à cet endroit, sont moins nombreux, cette vallée est orientée NE-SW. Les profils n'ont pas recoupé la tête de vallée, mais il

semble que celle-ci soit située approximativement dans l'axe de l'embouchure actuelle du Fiherenana.

Cette vallée montre un profil en V bien marqué. La pente est comparable sur les deux versants et peut être estimée à 12 % entre 200 et 1 600 m de profondeur.

On ne peut dire, à l'aide des seuls profils effectués, si cette vallée se jette dans le talweg de l'Onilahy. A 2 600 m de profondeur, les deux talwegs sont encore distants de 6 à 7 milles.

4. Conclusion de l'analyse morphologique

Les traits essentiels que l'on peut retenir de l'étude bathymétrique de la vallée sous-marine de l'Onilahy sont les suivants :

— la vallée principale présente un profil en V bien marqué, encore prononcé à 2 600 m de profondeur,

— les pentes des versants sont raides (25 à 35 %), au moins jusqu'à l'endroit où la vallée atteint la profondeur de 1 800 m : la vallée est profondément encaissée,

— son parcours est sinueux,

— elle reçoit, outre les nombreux ravins, deux vallées affluentes sur sa rive nord, qui présentent elles-mêmes un parcours sinueux et un profil en V.

Ces caractères morphologiques répondent aux critères énoncés par Shepard (1963) à propos de la définition des canyons sous-marins : il est donc possible d'appliquer à la vallée sous-marine de l'Onilahy le terme de canyon.

SÉDIMENTOLOGIE

L'étude sédimentologique du canyon sous-marin de l'Onilahy repose sur l'analyse de 48 carottes, de longueur généralement inférieure à un mètre, prélevées jusqu'à la profondeur maximum de 1 500 m et de 33 échantillons prélevés à la drague à roches sur les fonds à forte pente ou estimés durs, jusqu'à 425 m de profondeur. La répartition géographique des prélèvements est indiquée sur la figure 9 (h.t.). Les échantillons sont nombreux dans la région de la tête de canyon, inégalement répartis au-delà.

Trois opérations ont été effectuées sur chaque échantillon : les déterminations de la teneur en fraction fine (taille des particules inférieure à 40 microns) et de la teneur en calcaire et l'examen à la binoculaire. Chaque niveau distinct observé dans les carottes a fait l'objet de ces trois opérations. La teneur en fraction fine des sédiments permet de distinguer les

sables, les vases sableuses et les vases, suivant qu'elle est inférieure à 30 %, comprise entre 30 et 70 % ou supérieure à 70 %.

Ces diverses analyses ont permis de distinguer quatre zones sédimentaires principales :

— les zones récifales proprement dites, comprenant en particulier le Grand Récif de Tuléar au nord et les récifs frangeants de Sarodrano à l'est et de Soalara au sud. Nous ne reviendrons pas ici sur ces ensembles récifaux, qui ont été décrits de façon détaillée par les chercheurs du C.U. de Marseille-Luminy ;

— une frange intermédiaire de sables et de vases sableuses, au pied de la pente externe des récifs jusqu'à une profondeur variant entre 150 et 500 m. Ces sédiments résultent du mélange en proportions variables de sables organogènes relativement grossiers et d'apports terrigènes fins. A la partie supérieure de cette zone intermédiaire peut être rattaché le plateau de Nosy-Vé, entièrement recouvert de sables organogènes ;

— des vases molles, grisâtres, très pauvres en calcaire, recouvrant les deux versants du canyon : cette zone est de beaucoup la plus importante en superficie ;

— enfin des sables quartzeux en alternance avec des vases terrigènes dans le fond du talweg principal.

Vases sableuses organogènes et sables au pied des formations récifales

Picard (1967), puis Weydert (1973a, 1974b) ont décrit le début de la pente externe du Grand Récif de Tuléar du point de vue sédimentologique. Weydert en particulier (1974b) y distingue trois zones sédimentaires principales, en relation avec la topographie :

— de 0 à -20 m, la zone des sillons et des éperons, où les sédiments sont grossiers et proviennent des colonies voisines de Madreporaires,

— de -20 à -45 m, la zone de la dalle corallienne profonde, recouverte irrégulièrement par des nodules d'algues Mélobésiées mélangés à un sable à Foraminifères,

— au-delà, le début de la pente continentale, caractérisé par un mélange de vases sableuses grises, de nodules de Mélobésiées et de débris d'organismes provenant des faunes endogées des sédiments.

Il semble tout d'abord possible de rattacher à la zone des Mélobésiées l'ensemble du plateau de Nosy-Vé. Ce plateau, dont la profondeur varie de 15 à 40 m, est recouvert de sables beiges à roux, moyens à gros-

siers, organogènes. La teneur en fraction fine de ces sables est faible (1 à 7,5 %), celle en calcaire varie de 69,9 à 89 %. Ils sont constitués essentiellement de débris coquilliers, fréquemment usés et roulés, de tests de Foraminifères (Hétérostégines et Amphistégines surtout, de *Marginopora*, de *Milioles*, etc.), de débris de Bryozoaires et parfois d'algues calcaires. La fraction terrigène est peu représentée. Elle est constituée de grains de quartz fins à moyens. Le quartz peut être localement abondant et grossier, notamment au nord-est de Nosy-Vé (TD 24, 25, 26 et 31). Roux à incolore, il est fréquemment arrondi ou émoussé, rarement anguleux.

Au-delà de cette frange supérieure de sables organogènes, on observe, en accord avec Picard et Weydert, une zone de vases sableuses détritiques (devant le Grand Récif et le récif de Sarodrano au nord, en face de Soalara ainsi qu'au large de Nosy-Vé, au sud). La limite inférieure de cette zone de vases sableuses n'est pas franche : des matériaux organogènes, plus ou moins grossiers, sont souvent présents de façon notable vers 250 ou 300 m de profondeur et même parfois jusque vers 500 m.

Ainsi sur 18 échantillons dragués superficiellement entre -100 et -425 m :

— quatre présentent un faciès sableux, grossier, roux et sale, renfermant de nombreux blocs organogènes, dans lequel la teneur en fraction fine varie de 7 à 21 % et celle en calcaire de 71 à 84 % ;

— cinq ont un faciès terrigène franchement vaseux, comparable à celui que l'on trouve plus bas sur les deux versants du canyon (cf. paragraphe B) ;

— enfin, neuf montrent un faciès vaso-sableux mixte.

Les teneurs en fractions fines observées à l'intérieur de cette zone vaso-sableuse varient de 39 à 67 %, celles en calcaire de 24 à 69 %. La fraction grossière est essentiellement organogène et composée de matériaux analogues dans l'ensemble à ceux de la zone supérieure : débris coquilliers, encroûtements calcaires, débris d'algues calcaires et de Bryozoaires, tests de Foraminifères benthiques (Amphistégines et Hétérostégines principalement) et planctoniques (Globigérines), ainsi que quelques Ptéropodes. Elle contient en outre des matériaux terrigènes en petite quantité : grains de quartz fins à très fins et paillettes de micas, à la hauteur de la partie nord du Grand Récif ; grains de quartz moyens ou fins, devant le récif de Soalara. Au nord-est de Nosy-Vé, par 200 m de profondeur (TD 5), on observe même quelques grains de quartz grossiers, émoussés à ronds, légèrement roux.

Les faciès varient donc horizontalement : le mélange entre sables organogènes grossiers et vases terrigènes se fait dans des proportions très variables d'un point à un autre. Ils varient aussi dans le temps, comme le montrent quatre carottes prélevées entre 360 et 515 m de profondeur. Les apports de matériaux sableux organogènes ne se font pas d'une manière constante mais par à-coups : il y a alternance de niveaux de vases sableuses organogènes et de niveaux de vases terrigènes (qui, par ailleurs, caractérisent plus bas l'ensemble des versants du canyon). Ainsi dans la carotte T 18, prélevée par 430 m de fond devant Nosy Tafara, 4 cm de vases sableuses riches en matériaux sableux organogènes recouvrent des vases terrigènes. Au contraire, dans les carottes T 25, T 30 et T 35, respectivement 18 cm, 10 cm et 23 cm de ces vases terrigènes recouvrent des vases sableuses à apports benthiques de faible profondeur. On se situe là en fait à la limite d'influence des apports sableux organogènes.

Les vases terrigènes des versants du canyon

Les versants du canyon, hormis leur partie supérieure soumise à l'influence des apports sableux organogènes, sont recouverts par une vase terrigène molle et grisâtre.

Les prélèvements n'ont pas permis d'évaluer l'épaisseur totale des vases. Elle est au moins supérieure à la longueur totale du carottier Kullenberg (4 m), puisque celui-ci s'est enfoncé plusieurs fois jusqu'à la garde. Notons qu'un bloc de calcaire marneux, beige, a été recueilli à la base de la carotte T 18, longue de 47 cm. Il est cependant vraisemblable que l'on n'ait pas rencontré là le substratum rocheux, mais qu'il s'agisse plutôt d'un bloc éboulé, recouvert ensuite par les sédiments vaseux.

La teneur en fraction fine de ces vases varie dans la grande majorité des cas de 94 à 99 %. La teneur en calcaire est inférieure à 10 % au niveau de la tête du canyon et est comprise entre 10 et 20 % devant le Grand Récif et au large de Nosy-Vé. Ainsi ces vases sont très homogènes dans l'ensemble. Localement, toutefois, elles peuvent s'enrichir :

— en sables organogènes, provenant de niveaux moins profonds (cf. paragraphe A),

— en tests d'organismes planctoniques, vers le large (à l'ouest et au sud de Nosy-Vé, notamment),

— enfin, en sables terrigènes, devant la partie septentrionale du Grand Récif.

La fraction grossière de ces vases est représentée par des débris très fins de coquilles, d'Echinodermes

et surtout de Foraminifères planctoniques (*Globigérines*, *Rotaléides*, *Globorotalia*) et de Ptéropodes. En outre, les constituants terrigènes ne sont pas négligeables : grains de quartz fins ou très fins (en particulier devant la partie nord du Grand Récif); moyens (T 2, 3, 17, 27, 30, 31, 37) et même grossiers (T 36). On observe aussi des micas et des débris végétaux (tête du canyon et devant la partie nord du Grand Récif).

Les sédiments du talweg principal

Contrairement aux vases molles des versants, les sédiments du talweg de l'Onilahy apparaissent comme relativement durs. Sur 11 essais de carottage effectués dans le talweg, 5 furent infructueux (ogives abîmées). Mais aucun fragment de roches n'a été ramené, permettant de prouver l'existence d'éventuels fonds rocheux. Leur présence paraît néanmoins certaine, tout au moins à l'emplacement du dragage infructueux DT 21, réalisé dans le prolongement approximatif de Barn-Hill (cf. morphologie).

Six carottes, d'une longueur inférieure à un mètre, ont pu être prélevées au-dessus du talweg. On y observe l'alternance de sables quartzeux, de vases sableuses et de vases, sans que l'on puisse établir de correspondance entre les séries d'une carotte à l'autre. Les logs des carottes T 4, 5 et 21 mettent en évidence la netteté et la rapidité des variations verticales de faciès (fig. 10).

Le quartz constitue l'élément essentiel de la fraction grossière des sédiments du talweg. Sa taille varie du fin (il est alors anguleux, incolore) au grossier (il est alors émoussé, parfois arrondi, de couleur souvent rousse). Les micas et les débris végétaux sont d'autant plus abondants que la teneur en fraction fine du sédiment est élevée.

La taille des grains de quartz est indépendante de la distance qui sépare le lieu de prélèvement de l'embouchure de l'Onilahy : les grains de quartz les plus grossiers sont observés dans la carotte T 21, prélevée à -620 m ; les grains sont moins grossiers dans les carottes T 4 et T 5 prélevées dans le talweg, par 500 et 410 m de fond ; enfin, trois échantillons récoltés à l'embouchure même du fleuve, en face du village de Saint-Augustin, entre 30 et 85 m de profondeur, sont constitués par des sablons quartzo-micacés à végétaux.

Dans le talweg principal, les constituants organogènes, planctoniques ou benthiques, sont rares.

Interprétation

Les résultats précédents montrent que les matériaux sableux apportés par l'Onilahy à son embouchure

sont vraisemblablement entraînés le long du talweg du canyon sous-marin, malgré le caractère méandri-forme de ce dernier. Le mode de transport semble être celui des courants de turbidité, qui explique les alternances de sables relativement grossiers et de vases observées dans les carottes. Il serait certes intéressant de savoir jusqu'où peut être entraîné ce sable quartzeux : les moyens ne le permettraient pas au cours de cette campagne.

Par contre, les matériaux les plus fins apportés par le fleuve restent en suspension et viennent finalement se déposer sur les versants, où ils forment l'essentiel du sédiment. La présence de tests d'organismes planctoniques dans ces vases est normale, compte tenu de la profondeur. Les sédiments organogènes grossiers proviennent des niveaux supérieurs voisins (Grand Récif, récifs de Sarodrano, de Soalara, plateau de Nosy-Vé).

Quant aux matériaux terrigènes grossiers que l'on observe dans la partie supérieure des versants, il semble difficile de les faire provenir de l'Onilahy : les sables apportés par ce fleuve sont entraînés le long du talweg. Les sables terrigènes du versant méridional du canyon proviennent plus vraisemblablement du sud, entraînés par la dérive littorale le long du littoral mahafaly et s'en écartant en partie à la hauteur de Nosy-Vé, comme l'atteste le quartz relativement grossier et abondant que l'on observe sur le plateau continental du nord-est de l'île.

Le sable quartzeux trouvé sur le versant nord peut provenir de l'Onilahy, car il est essentiellement fin et peut être alors transporté assez longtemps en suspension comme les micas et végétaux. Les rares grains de quartz plus grossiers rencontrés dans la partie située au sud du Grand Récif peuvent être attribués à un démantèlement partiel de la flèche sableuse de Sarodrano. Dans le nord du secteur étudié, enfin, il semble que l'on puisse rattacher les sédiments terrigènes (quartz fin, micas et végétaux) au Fiherenana en période de crue : ainsi, Picard (1967) a mis en évidence une zone de vases noirâtres en relation avec ce fleuve, devant la passe nord de la rade de Tuléar.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le canyon de l'Onilahy est un très bel exemple de canyon sous-marin, classique par sa morphologie. La méandrisation des talwegs est connue dans de nombreux autres canyons au monde (San Lucas en Californie, canyon de Tokyo, etc.), et sur ce point, le canyon de l'Onilahy ne présente rien d'original.

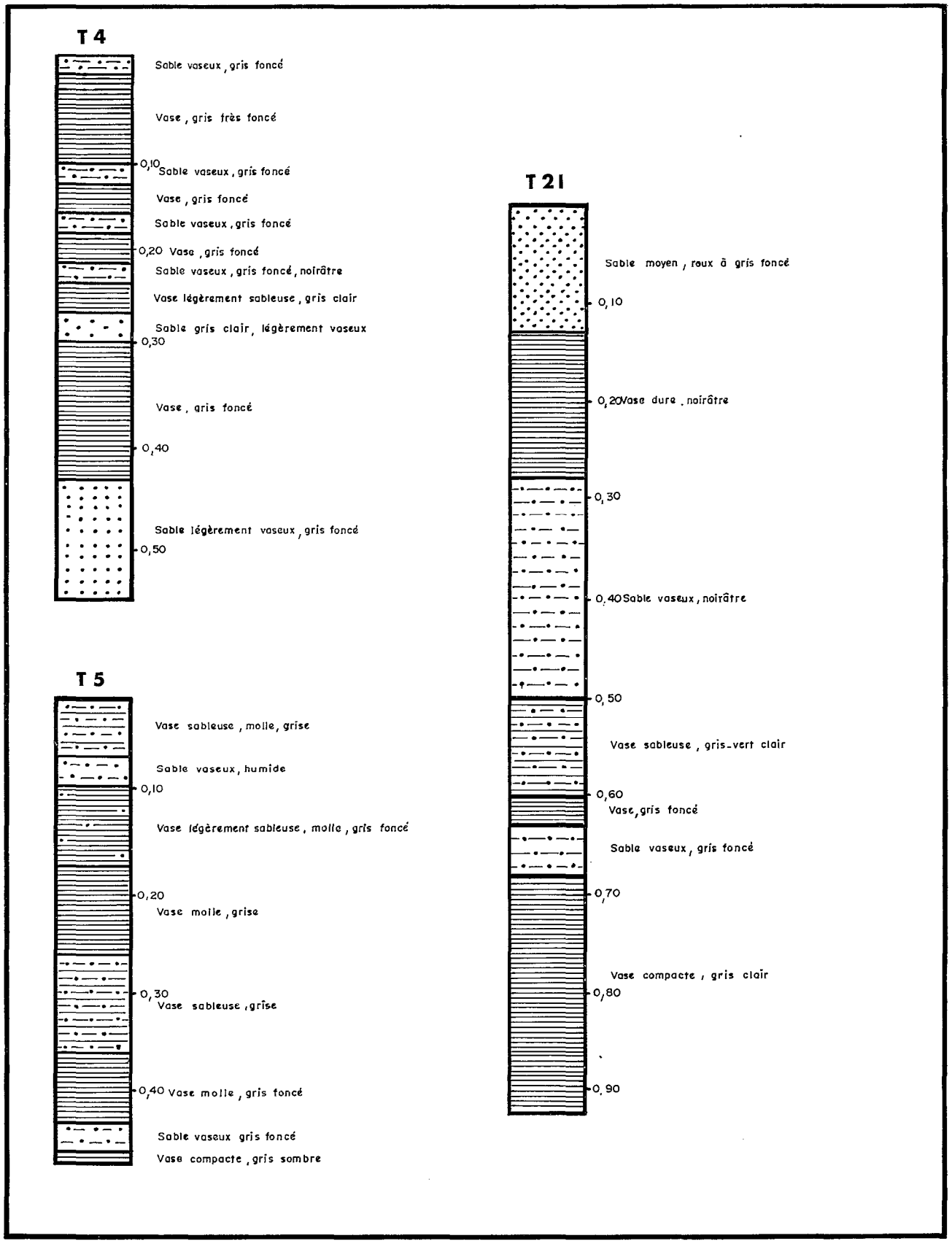


FIG. 10. — Logs des carottes T4, T5 et T21.

Il est fréquent aussi que des canyons, parmi les plus importants, soient situés juste en face de l'embouchure de grands fleuves : canyons du Congo, du Gange, de l'Indus, etc. Ce trait morphologique se retrouve également dans la correspondance assez nette existant entre l'embouchure du Fiherenana et la grande vallée sous-marine du nord du secteur considéré. De même, les deux talwegs affluents de droite du canyon de l'Onilahy semblent aboutir en amont, sur le Grand Récif, précisément aux endroits où Picard (1967) estime que les boucliers récifaux primitifs se sont anastomosés pour ne former, par la suite, qu'un récif-barrière unique (au niveau de la Grande Vasque d'une part, légèrement au nord de la pointe Angèle d'autre part) : ceci confirme l'hypothèse de Weydert (1974a), qui voit, dans la région de Tuléar, une relation étroite entre les têtes de canyons sous-marins et le réseau fluvial actuel, relation vraisemblablement héritée de l'époque régressive néogène. La morphologie de ravins, que l'on observe sur les versants sud et nord du canyon de l'Onilahy, s'explique aisément dans le cadre de cette hypothèse.

Les fleuves et cours d'eau seraient donc à l'origine des canyons et des ravins, soit par creusement à l'air libre suivi de subsidence, soit par creusement par des courants de turbidité provoqués par les matériaux apportés par ces fleuves. Le profil en « V » et l'encaissement souvent marqué du canyon principal, son tracé méandrique, l'existence de vallées affluentes, sont en faveur de l'hypothèse du creusement à l'air libre. Cette hypothèse peut s'appuyer sur l'existence démontrée d'une subsidence côtière, qui a fonctionné durant le Tertiaire et le Quaternaire. Depuis l'Eocène, la faille de Tuléar n'a joué que d'environ 150 m. Mais on peut admettre que la flexure est plus importante vers le large : on aurait affaire à un système de compartiments effondrés, séparés les uns des autres par des failles successives, dont les différents paliers observés sur les versants seraient les témoins morphologiques. Dans le cadre de cette hypothèse, le creusement des canyons aurait eu lieu lors de la grande régression néogène (fin Miocène et Pliocène) qui a marqué le sud-ouest de Madagascar : la subsidence observée serait plio-quaternaire. Cependant l'un des cosignataires (R. Battistini), sans nier le rôle directeur de la tectonique, ne se rallie pas à l'hypothèse d'un creusement à l'air libre, et pense que les courants de turbidité ont été l'agent essentiel ; l'existence d'un tracé méandrique n'est pas incompatible avec cette dernière hypothèse, pas plus que le profil en V du canyon.

L'étude des carottes prélevées dans l'axe du talweg principal montre la présence de turbidités. On peut

admettre au moins que de tels courants balayaient périodiquement le talweg et l'entretenaient ainsi, empêchant son comblement par la sédimentation actuelle.

Il reste à interpréter la pente très rapide, localement subverticale de la partie supérieure des versants, que l'on observe le long du Grand Récif au nord et devant la terminaison septentrionale du plateau mahafaly au sud : il y a là, en effet, une sorte de corniche, ayant sa base entre -150 et -300 m et que l'on retrouve de manière constante dans un grand nombre de profils. Deux hypothèses peuvent être avancées.

— La pente raide des premières centaines de mètres pourrait être attribuée au jeu d'une tectonique cassante, dans le cadre de la subsidence côtière : la partie interne du canyon correspondrait à un compartiment éocène effondré dans l'axe de l'Onilahy. A l'appui de cette hypothèse, notons la mise en évidence de traces de volcanisme près de Nosy-Vé (Maugé et Picard, inédit), sous la forme de blocs ou de bombes basaltiques (1). En outre, on aurait pu s'attendre a priori à ce que la direction générale de l'axe du canyon soit confondue avec celle de la plus grande pente (WSW) du talus continental du sud-ouest de Madagascar. Or, cette direction de l'axe du canyon est WNW dans son ensemble et même presque nord-ouest dans la partie amont du canyon : on peut voir dans la différence ainsi observée entre ces directions une influence de la tectonique.

— Cependant, aucun des nombreux dragages effectués sur la pente forte des premières centaines de mètres n'a ramené autre chose que des débris organogènes, souvent en grande abondance (algues encroûtantes, coraux, organismes divers plus ou moins agglomérés). Or, un tel début de pente continentale abrupt est connu en d'autres parties de Madagascar, par exemple dans le nord-ouest (Daniel *et al*, 1973) et dans le sud-ouest, au banc de l'Etoile (Battistini, 1964). Une seconde hypothèse, à laquelle se rallient deux cosignataires, R. Battistini et C. Jouannic, consisterait à l'attribuer à l'existence d'une série récifale, développée à la faveur de la subsidence côtière ainsi qu'au cours des diverses transgressions pleistocènes et dont les formations coralliennes superficielles (Grand Récif de Tuléar, récifs de Sarodrano, de Soalara, etc.), constitueraient le terme supérieur. Dans cette hypothèse, le « ressaut » aurait une origine

(1) R. Battistini considère ces blocs, qui sont toujours de petite taille, comme des blocs de lest, abandonnés en cet endroit par les navires, lorsque Nosy-Vé était la base principale du commerce européen sur la côte sud-ouest de Madagascar.

structurale et correspondrait à une épaisseur de 100 à 250 m de calcaires récifaux ou subrécifaux quaternaires ou plio-quaternaires, recouvrant les marnes et les marno-calcaires dans lesquels seraient façonnées les pentes inférieures du canyon, au relief plus mou.

Les 250 m de Quaternaire récifal trouvés dans le sondage d'Andavadoaka, quoique plus au nord, fournissent un argument en ce sens.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 26 juin 1975

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI (R.), 1959. — Observations sur les récifs coralliens du sud-ouest de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. de France*, 7^e série, tome I : 341-346.
- BATTISTINI (R.), 1964. — L'extrême-sud de Madagascar, étude géomorphologique, thèse d'Etat, Ed. Cujas, Paris, 636 p.
- BATTISTINI (R.), 1969. — Les relations entre rivages et plateforme continentale à Madagascar, Océan Indien. *Quaternaria* XII : 129-136.
- BATTISTINI (R.), 1972. — Chronologie du Quaternaire littoral de Madagascar. *Bull. Assoc. Sénégal. Et. Quat.*, n° 13, décembre : 23-30.
- BERTHOIS (L.), BATTISTINI (R.) et CROSNIER (A.), 1964. — Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau continental de l'extrême-sud de Madagascar. *Cahiers Océanographiques*, n° 7 (juillet-août), 511-527, et n° 8 (août-sept.) : 637-655.
- BESAIRE (H.), 1953. — Géologie de Madagascar. Le sud du bassin de Morondava. *Trav. Bur. Géol.*, n° 44, 93 p.
- BESAIRE (H.), 1954-55. — Le sondage de Tuléar, *Trav. Bur. Géol.*, n° 97.
- BLANC (J.J.), CHAMLEY (H.) et FROGET (C.), 1966. — Sédimentation paralique et récifale à Tuléar. *Rec. Trav. Stat. Mar.* Endoume, fasc. Hors série suppl. n° 5 : 25-69.
- BOSSER (J.) et HERVIEU (J.), 1958. — Notice sur la carte d'utilisation des sols de la plaine de Tuléar. Public. ORSTOM, Tananarive, *multigr.*, 34 p.
- BRESSON (Y.), 1959. — Note hydrologique sur les cours d'eau de la région semi-aride de Madagascar. *Mém. IRSM*, t. IX, série D : 35-73.
- CHAMLEY (H.), PAQUET (H.) et MILLOT (J.), 1967. — Minéraux argileux des sédiments marins littoraux et fluviaux de la région de Tuléar (Madagascar). *Bull. Serv. Carte Géol. Als-Lorr.*, 19, 3-4 : 191-204.
- CLIQUET (J.P.), 1957. — Tectonique profonde du sud du bassin de Morondava. C.R. confér. C.C.T.A. Tananarive, Serv. Géol. : 375-396.
- DANIEL (J.), DUPONT (J.), JOUANNIC (C.), 1973. — Marge continentale du Nord-Ouest de Madagascar : bathymétrie et sédimentologie. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, vol. V, n° 2 : 115-154.
- GRAVIER (N.), HARMELIN (J.G.), PICHON (M.), THOMASSIN (B.), VASSEUR (P.) et WEYDERT (P.), 1970. — Les récifs coralliens de Tuléar (Madagascar) : morphologie et bionomie de la pente externe. *C.R. Acad. Sc., Paris*, (série D), 270 : 1130-1133.
- HERVIEU (J.), 1968. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. *Mém. ORSTOM*, n° 24, Paris, 463 p.
- JOUANNIC (C.), 1972. — Contribution à l'étude bathymétrique et sédimentologique du plateau continental du Nord-Ouest de Madagascar : du cap St-Sébastien à la presqu'île d'Ampasindava. Thèse 3^e cycle, Paris VI, 82 p., *multigr.*
- MAUGE (L.A.), 1973. — Réflexion sur les structures littorales et récifales du sud-ouest de Madagascar. Station Marine de Tuléar, *multigr.*, 33 p.
- PICARD (J.) 1967. — Essai de classement des grands types de peuplements marins benthiques tropicaux, d'après les observations effectuées dans les parages de Tuléar (SW de Madagascar). *Rec. Trav. Stat. Mar.* Endoume, fasc. Hors série suppl. n° 6 : 3-24.
- PICHON (M.), 1964. — Contribution à l'étude de la répartition des Madréporaires sur le récif de Tuléar, Madagascar. *Rec. Trav. Stat. Mar.* Endoume, fasc. Hors série suppl. n° 2 : 79-203.
- SHEPARD (F.P.), 1963. — Submarine Geology. Harper's Geoscience Series, New York, 2nd edition.
- SOURDAT (M.), 1968. — Les formations sableuses de la région de Tuléar. Public. ORSTOM, Tananarive, *multigr.*, 39 p.
- WEYDERT (P.), 1968. — Relation entre les formations quaternaires et les ensembles récifaux de la baie de Tuléar (Madagascar). *C.R. Acad. Sc., Paris* (série D), 266 : 194-196.
- WEYDERT (P.), 1973a. — Morphologie et sédimentologie des formations récifales de la région de Tuléar (SW de Madagascar). Thèse d'Etat de Géologie, Marseille-Luminy, 726 p.
- WEYDERT (P.), 1973b. — Les formations récifales de la région de Tuléar (côte SW de Madagascar) : aperçu de leurs aspects morphologiques, sédimentologiques et de leur évolution. *Bull. ASEQUA*, Dakar, 37/38 : 57-83.
- WEYDERT (P.), 1974a. — Sur l'existence d'une topographie antécificale dans la région de Tuléar (côte SW de Madagascar) *Marine Géol.*, 16 : 1139-1145.
- WEYDERT (P.), 1974b. — Morphologie et sédimentologie de la pente externe de la partie nord du Grand Récif de Tuléar (SW de Madagascar). Nature et répartition des éléments organogènes libres. *Marine Géol.*, 17 : 299-337.

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPF THLJDOICGOUVWMNSZXKY

GAM-T-12
N° 60 073 DM1

Pour A2, A3, A4: ABERPF THLJDOICGOUVWMNSZXKY
zsaecmuvnwxirfkbbpqqjijt 7142385690

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

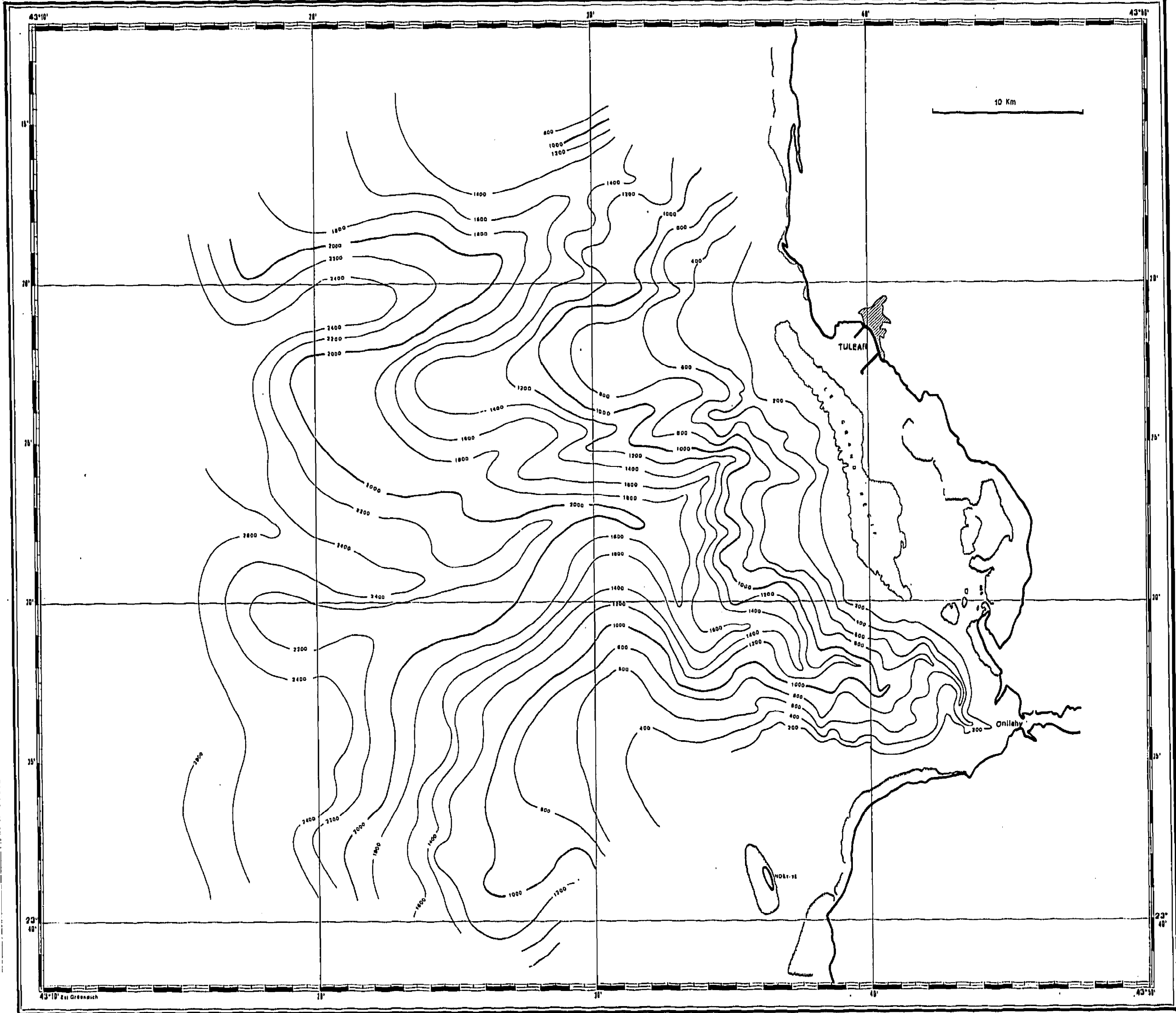


FIG. 3. — Essai de carte bathymétrique de la baie de St-Augustin.

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDGOUVWMSZXY
zsaecmuvnxirfkbbpqqjyt 7142385690
Pour A2A3A4: ABERPFTHLJDGOUVWMSZXY
zsaecmuvnxirfkbbpqqjyt 7142385690

GAM-T-12
N° 60 073 DM1

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

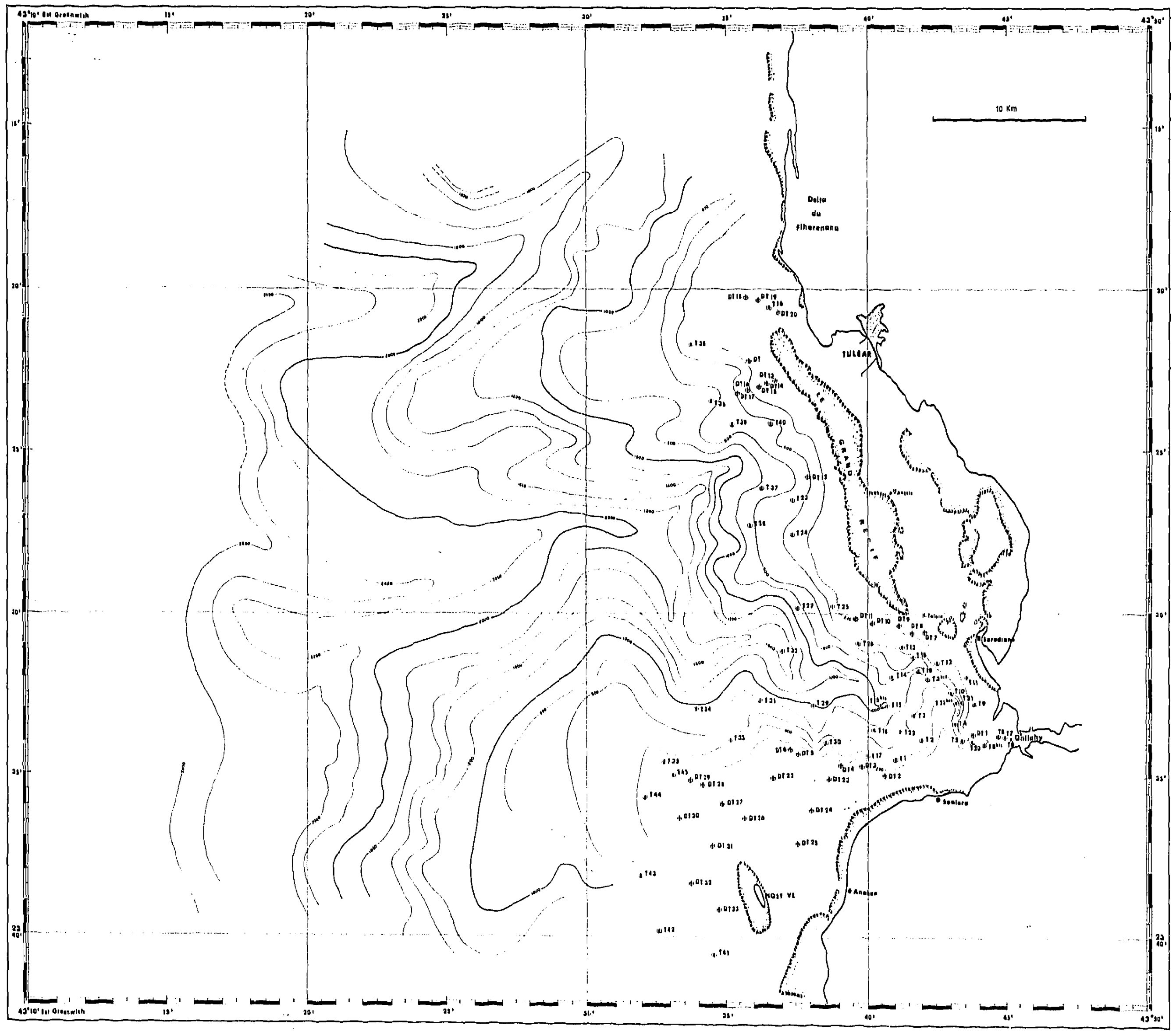


FIG. 9. — Carte de localisation des prélèvements