

Plongées en submersible dans les canyons méditerranéens : principaux résultats de la campagne CYALIGURE

par le groupe CYALIGURE

GILBERT BELLAICHE *, JEAN-PIERRE REHAULT *, JEAN-RENÉ VANNEY **

JEAN-MARIE AUZENDE ***, FRANCIS COURMES ****, FRANCE IRR ***** et FRANÇOIS ROURE *****

Mots clés. — Canyon marin. Oligocène sup. (Messinien). Quaternaire marin. Sédimentation pélagique (Hémipélagique). Slumping. Croûte océanique.

Mer Méditerranée Ouest (Provence - Corse).

Résumé. — Les observations réalisées en submersible révèlent le rôle important joué par les glissements et les courants sous-marins, au cours du Quaternaire dans le modelé des canyons sous-marins. Les canyons situés au large de la Provence, creusés dans d'épaisses formations marines grése-conglomératiques d'âge fini-oligocène, ont connu depuis le Messinien jusqu'au Quaternaire, plusieurs cycles de sédimentation, diagenèse et érosion qui conduisent à les considérer comme des structures polygéniques complexes. Les canyons corses explorés apparaissent, dans leur cours supérieur, entaillés soit dans le socle cristallin soit dans des formations volcaniques. Dans leur partie moyenne ils sont creusés dans des formations sédimentaires d'âge quaternaire alors que dans leur partie inférieure ils mettent à nu des sédiments du Miocène moyen à supérieur. Les importantes anomalies magnétiques positives linéaires NW-SE du Sud-Ouest de la Corse correspondent à des basaltes métamorphisés de faciès « schistes verts » témoignant d'une croûte typiquement océanique. Observations et prélèvements ont montré que la sédimentation quaternaire est de nature essentiellement hémipélagique dans les canyons corses alors que les canyons provençaux ont été le siège pendant cette période d'un important remplissage détritico terrigène de type turbidites mis en place principalement au cours des phases glaciaires. Les marges provençale et corse ainsi explorées apparaissent asymétriques tant du point de vue structural que sédimentaire.

Principal results of submersible dives in the mediterranean canyons (« CYALIGURE » cruise)

Abstract. — The observations carried out during the « Cyaligure » submersible cruise emphasize the shaping action of the submarine currents and slidings during the Quaternary. The canyons located off the french Riviera (Provence), cut in late Oligocene detrital formations, have been the locus of several phases of in-filling, lithification and cutting phenomena throughout the Messinian epoch up to now. Consequently they can be considered as complex polygenetic structures. The canyons located off SW Corsica appear to be directly cut, in their upper course either in the crystalline basement or in volcanic lava formations. In their median part, they are cut in quaternary sediments and in their lower part in middle or late Miocene sedimentary units. The strong linear NW-SE magnetic anomalies, lying on the south-western corsican margin, correspond with dredged metamorphic basalts whose the « greenschist facies » appears to be very significant of a typical oceanic crust. Observations and sampling show that, in the explored corsican canyons, the Quaternary sedimentation is purely of hemipelagic nature, whereas the Provence canyons are in-filled with terrigenous turbidites (*s.l.*) assumed to be principally deposited during the ice epochs. So, these two opposite margins appear to be very asymmetrical both from structural and sedimentary points of view.

INTRODUCTION.

La campagne de plongées en submersibles « CYALIGURE » (septembre-octobre 1977) consistait en une exploration géologique de deux canyons de la marge provençale (canyons de Saint-Tropez et de Pampelonne) et deux canyons de la marge corse (canyons des Moines et de Valinco). Son but essentiel était, à la suite de la campagne précédente (Groupe Estocade, 1977, 1978), d'acquies de nouvelles données dans ces domaines profonds et escarpés où les moyens océanographiques de surface ne permettaient plus de progresser de façon significative. Nous exposons ci-dessous les principaux résultats qui se dégagent actuellement du dépouillement des informations recueillies pendant cette campagne.

I. — MORPHOLOGIE.

Les campagnes de plongées, nécessitant une excellente connaissance de la morphologie des secteurs

à explorer, conduisent le plus souvent à une amélioration sensible des cartes bathymétriques existantes. L'établissement de documents cartographiques fait donc partie intégrante des résultats qui en découlent.

Pour ce qui nous concerne, nous avons réalisé des levés bathymétriques systématiques en sondage 12 kc des divers sites de plongées (fig. 1 et fig. 2, pl. I et pl. II). Deux sortes de cartes bathymétriques

* Lab. de géodynamique sous-marine, Univ. P.-et-M.-Curie, C.N.R.S., E.R.A. 605, 06230 Villefranche-sur-Mer.

** Lab. de géologie dynamique, Univ. P.-et-M.-Curie, C.N.R.S., E.R.A. 605, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05. Contribution du groupe d'étude de la Marge Continentale N° 109.

*** Centre océanologique de Bretagne, B.P. 337, 29273 Brest Cedex. Contribution du COB N° 649.

**** S.N.E.A. (P), 26, avenue des Lilas, 64001 Pau Cedex.

***** Univ. de Nice, Parc Valrose, 06034 Nice Cedex.

***** Lab. de géologie structurale, Univ. P.-et-M.-Curie, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

Note déposée le 17 avril 1979, présentée à la séance du 11 décembre 1978, manuscrit définitif reçu le 21 mai 1979.

ont été dessinées à bord au fur et à mesure de l'acquisition des données : a) des cartes générales au 1/25 000 et au 1/20 000, établies à partir de systèmes de navigation variés (Loran C, Motorola, satellites, radar) et précisant la morphologie d'ensemble des canyons ; b) des cartes de détail au 1/10 000 couvrant les secteurs de plongées et offrant l'avantage d'être établies à partir d'une navigation extrêmement précise par réseau de transpondeurs acoustiques mouillés sur le fond.

Malgré l'emploi d'un sondeur à pinceau large, la morphologie des canyons apparaît dans l'ensemble beaucoup plus accidentée que ne le laissent prévoir les documents existants. A grande échelle, une des caractéristiques de cette morphologie est la présence de nombreux ravins aux pentes très accusées entaillant les versants de ces vallées sous-marines. Les profils transversaux et longitudinaux des canyons mettent en évidence des dénivellations et ruptures de pente importantes. Il a pu être vérifié, comme l'a montré la campagne Estocade, que ces dénivellations ont pour origine des accumulations sédimentaires sous forme de chaos de blocs qui forment de véritables « verrous » suivis à l'aval par des zones de surcreusement comportant des types de modelés caractéristiques de l'action de courants.

Ces relevés bathymétriques mettent également nettement en évidence le contrôle structural de ces canyons déjà invoqué par de nombreux auteurs à la suite de J. Bourcart. Remarquons que ce contrôle est particulièrement net pour les canyons du Sud-Ouest de la Corse dont le cours NW-SE est parallèle aux directions de fortes anomalies magnétiques positives. Dans le détail cette influence structurale se fait surtout sentir dans la partie proximale du canyon des Moines (pl. II, B) où les très nombreux profils bathymétriques traduisent un relief particulièrement tourmenté. Ce canyon est affecté par des barres transverses et son axe est parsemé de pointements associés à des dépressions. Malgré la densité des profils réalisés, seule une couverture par sondages multifaisceaux (« sea-beam ») pourrait

fidèlement traduire la morphologie réelle de ce secteur. Placé dans son contexte structural, un tel style morphologique évoque un paysage d'origine volcanique récemment effondré, ou rajeuni et remodelé par des phénomènes d'érosion, ce que les plongées ont par la suite permis de vérifier directement.

A une échelle encore plus grande, les observations directes nous renseignent sur la microtopographie de détail des secteurs de plongées. Ces observations nous ont conduit notamment à établir une répartition et une hiérarchisation des principaux types de modelés rencontrés en fonction de la nature des processus mis en jeu, à savoir principalement la gravité et les érosions par les courants. Nous nous contenterons de passer en revue ces différents types de modelés, leur description détaillée faisant l'objet de travaux en cours de publication par ailleurs [Vanney *et al.*, 1979].

a) *Les modelés de gravité.* Les mouvements de masse des matériaux affectent aussi bien les terrains sédimentaires peu cohérents et de granulométrie fine que les assises plus grossières et mieux cimentées. Ces processus gravitaires engendrent trois principaux types de modelés qui sont les *éboulements* : déjà signalés au pied des versants des canyons de Saint-Tropez et des Stoechades, ils ont également été observés en détail dans le canyon des Moines. *Les glissements* : ils engendrent une topographie confuse, formée par une multitude de croupes convexes et de ruptures de pente. *Les chaos* : présents sur le fond du canyon des Moines tout comme celui des Stoechades et dans une moindre mesure dans le canyon de Saint-Tropez ; ils offrent un relief très bouleversé où se distribuent confusément des éléments de morphologie très variée et bien définis (blocs volumineux, buttes crénelées, pavements et nids de pierres).

b) *Les modelés d'érosion par courants.* L'action locale des courants se manifeste par des affouillements au pied des parois et autour des blocs, ainsi que par des élévations coniques semblables aux

PL. I.

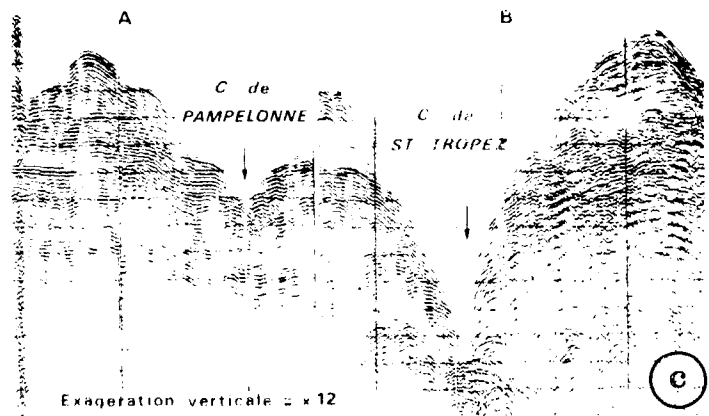
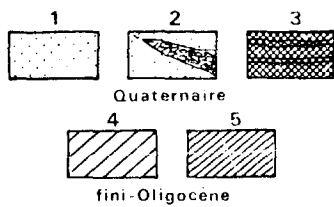
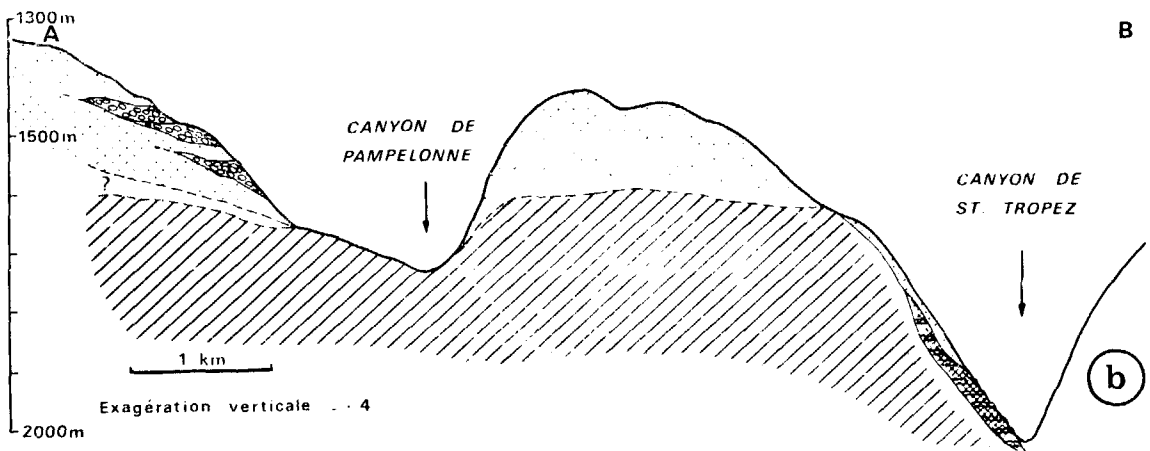
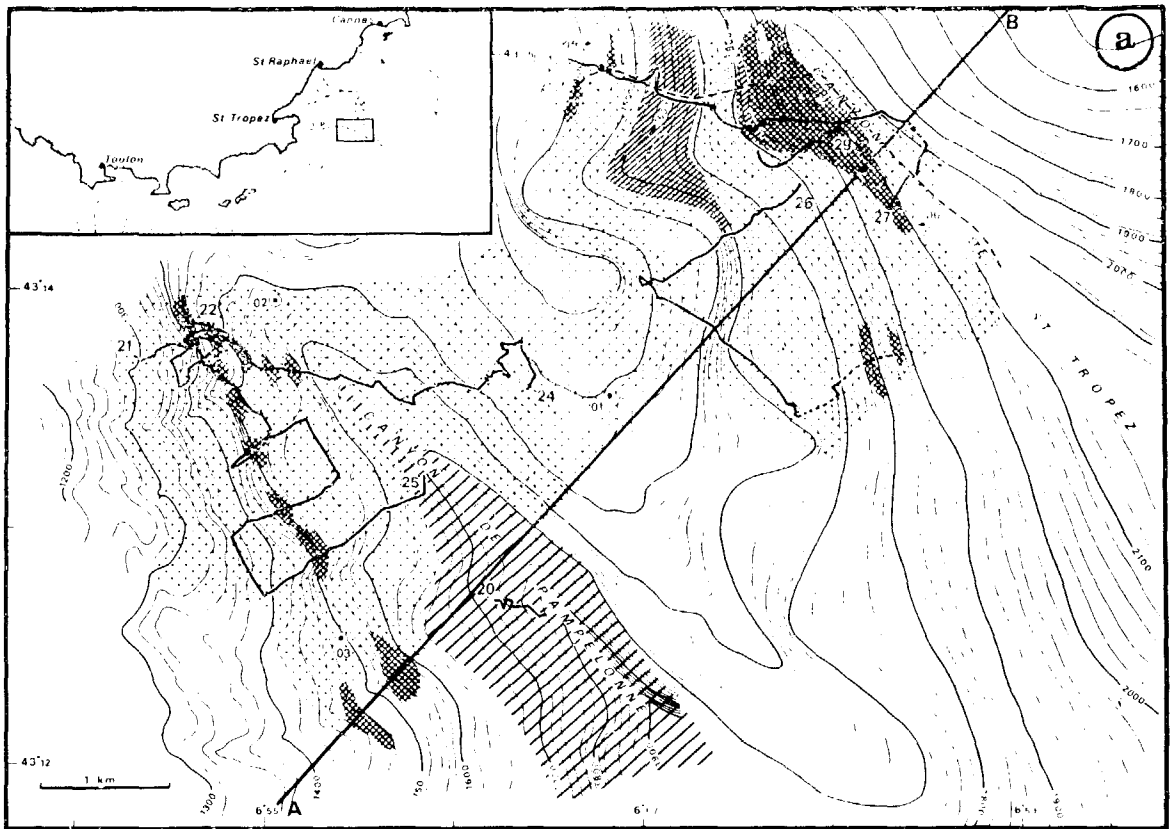
a) Morphologie des canyons de Pampelonne et de Saint-Tropez et essai de représentation cartographique des différentes formations géologiques, à partir de la sismique continue et des plongées. Les courbes bathymétriques proviennent des levés effectués pendant les campagnes Estocade et Cyaligure. Les trajets parcourus en plongées sont figurés ainsi que les principaux sites de prélèvements. (En pointillés : trajet effectué pendant la campagne Estocade.)

b) Coupe interprétative passant par la ligne AB correspondant au profil sismique représenté en c. La surface topographique a été dessinée à partir des levés bathymétriques effectués pendant la campagne Cyaligure.

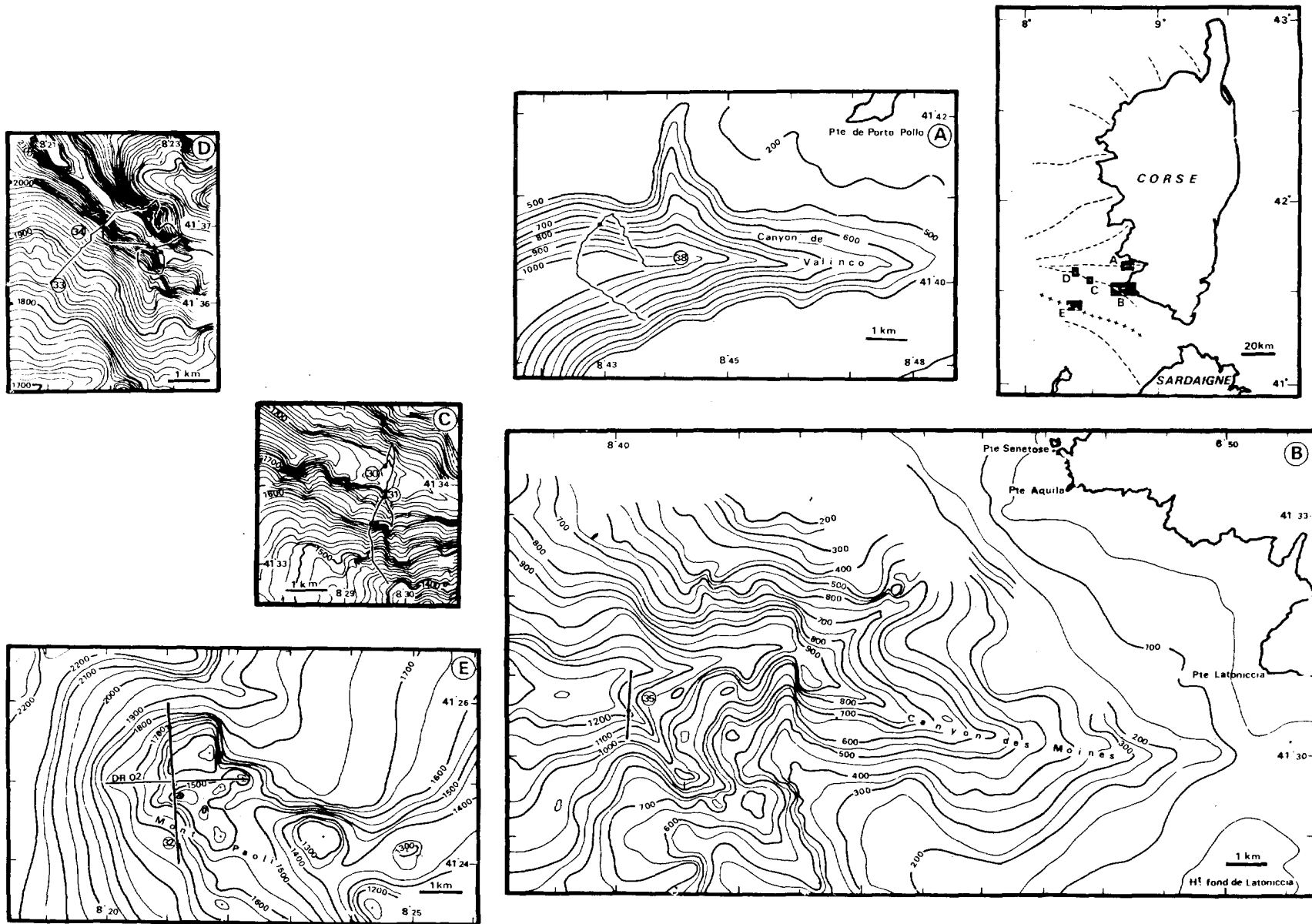
1 : sédiments hémipélagiques quaternaires ; 2 : lentilles de matériel détritique grossier d'âge quaternaire (« fluxo-turbidites ») chenalissant les sédiments hémipélagiques ; 3 : restes d'un ancien remplissage grésopélimitique quaternaire (turbidites) dans le canyon de Saint-Tropez ; 4 : socle acoustique fini-oligocène ; 5 : réapparition probable de la formation fini-oligocène sous le remplissage grésopélimitique quaternaire.

c) Profil de sismique continue le long de la coupe AB, levé par M. Labarbario (Thèse de 3^e Cycle en cours).

RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE CYALIGURE



Pl. I. — Légende ci-contre.



PL. II. — Localisation des sites de plongées effectuées dans le secteur Sud-Ouest Corse. Les trajets suivis en plongées et les principaux sites de prélèvements sont reportés sur les cartes bathymétriques établies au cours de la campagne (seuls les sites D et C ont bénéficié de la navigation par transpondeurs acoustiques).

« demoiselles coiffées » parfois observées dans les chaos. A une autre échelle, les deux formes d'érosion suivantes méritent d'être mentionnées. *Les gradins* : ils apparaissent sur les versants les plus abrupts où affleurent les niveaux résistants. Leur couronnement est fréquemment indenté par des « reculées ». Le dégagement de ces formes a probablement été guidé par des dislocations, telles les failles panaméennes, ou par des contrastes de résistance des roches à l'affleurement. *Les ravins*, modelés de dissection à profil aigu qui s'évasent graduellement vers l'aval et vers l'amont comme un appareil torrentiel. Ces modelés peuvent aboutir à la formation de parois remarquablement abruptes, véritables « murs de vase » dénotant une cohésion surprenante pour un matériel pélimitique sur des pentes aussi raides. Ce type de modelé, que l'on rencontre d'ailleurs de plus en plus en morphologie sous-marine en raison du développement des techniques d'écho-sondage multifaisceaux, évoque les formes subaériennes creusées par les eaux de ruissellement concentrées et connues sous les noms de « mauvaises terres » ou de « roubines » (bad lands).

Soulignons cependant que du point de vue génétique, et à quelques exceptions près (gradins et reculées affectant les formations fini-oligocènes, chaos de blocs), les morphologies observées dans ces canyons affectant des formations profondes d'âge quaternaire, paraissent devoir leur origine à des agents exclusivement sous-marins. Leur analogie formelle avec les modelés typiquement aériens ne relève que d'un phénomène classique de convergence.

Une telle ressemblance illustre bien l'une des difficultés que rencontre le géomorphologue sous-marin dans sa recherche de l'origine des modelés observés par grands fonds. Cet embarras se traduit au niveau des concepts utilisés pour définir les paysages observés : ceux-ci, inspirés des formes analogues reconnues à terre, présentent le défaut d'impliquer une interprétation génétique. Le développement des explorations par plongées en submersibles fera tôt ou tard ressortir la nécessité d'établir de nouvelles nomenclatures spécifiquement sous-marines.

Les modelés sous-marins énumérés ci-dessus constituent les modelés de surface actuellement visibles. Mais il est apparu évident, que dans de nombreux cas, ceux-ci dérivent directement du façonnement de structures primitivement tectoniques *parfois encore nettement reconnaissables*. Citons en particulier certaines failles récentes NW-SE dans le canyon des Moines ou encore les failles nord-sud qui découpent les rides NW-SE correspondant à des anomalies magnétiques de même direction, au point d'individualiser des éperons de nature volcanique, comme le « mont Paoli ».

II. - STRATIGRAPHIE ET STRUCTURE.

Les programmes de plongées ont été établis en fonction de coupes de sismique réflexion continue particulièrement nettes. Un des principaux buts recherché était d'identifier directement à partir des observations et des prélèvements les différentes formations ainsi enregistrées dans les canyons provençaux et les canyons du Sud-Ouest de la Corse.

1) *Canyons provençaux.*

La première partie de la campagne consistait, dans le canyon de Pampelonne, à étudier les niveaux sédimentaires affleurant au-dessus du réflecteur acoustique situé à 1 640 m et identifié dans le canyon des Stoechades comme le toit de la série fini-oligocène.

Les observations faites permettent de caractériser quatre ensembles : a) au voisinage du talweg, vers 1 640 m de profondeur les parois du canyon laissent apparaître dans un environnement de vase récente, un banc épais de grès très tendres qui n'a pu être prélevé ; b) au-dessus de ce niveau et jusqu'à 1 530 m, un recouvrement de vase fluide sur des pentes variant de 20 à 70° masque les formations sous-jacentes ; c) à partir de 1 530 m et jusqu'à 1 444 m, la paroi, toujours très raide, est faite d'une alternance de couches de vase et de bancs de grès et de poudingues subhorizontaux ou à léger pendage vers le Nord-Est. Les bancs de grès, dans l'ensemble fins et micacés, ont une épaisseur d'ordre centimétrique à métrique et ont livré une microfaune *quaternaire* caractéristique à *Globorotalia inflata* et *Globorotalia truncatulinoides*. Les bancs de poudingues, de 15 à 20 m d'épaisseur, comportent des éléments de nature le plus souvent cristalline, pouvant atteindre 30 cm de diamètre ; d) enfin, au-dessus de 1 444 m et jusqu'à 1 290 m, le fond ne présente plus d'affleurement visible. Le versant est uniformément tapissé de sédiments vaseux et entaillé par de très profonds chenaux d'érosion laissant entrevoir les « murs » de vase déjà signalés.

Ainsi, dans ce canyon, une grande partie de la série affleurante au-dessus du réflecteur acoustique supposé fini-oligocène, est constituée par des formations sédimentaires quaternaires au-dessus de la cote — 1 531 m. Seule la base, entre 1 640 et 1 531 m, reste non datée. Deux hypothèses peuvent être envisagées quant à l'épaisseur de la série néogène : a) le matériel quaternaire reconnu ne représente qu'un colmatage, en ce cas la série néogène pourrait constituer l'essentiel du substratum avec une épaisseur maximale de 350 m ; b) ce matériel quaternaire représente une véritable assise géologique constituant une couverture d'environ 240 m d'épaisseur ; alors seule la base pourrait correspondre au Néogène qui apparaîtrait ainsi réduit à une centaine de

mètres d'épaisseur. Des profils sismiques plus performants devraient permettre de choisir entre ces deux hypothèses mais dans les deux cas l'épaisseur du Néogène est relativement très réduite. D'autre part, l'existence de Pliocène ayant été démontrée dans le canyon des Stoechades (et affleurant largement ailleurs sur la marge provençale) il en résulte que c'est surtout la série miocène qui serait absente ou réduite à l'état de lambeaux.

La deuxième partie de cette campagne de plongées dans les canyons provençaux avait pour but de vérifier le long du versant sud-ouest du canyon de Saint-Tropez l'appartenance à l'Oligocène terminal de la série stratigraphique grés-pélimitique et conglomératique affleurant en paroi abrupte sur une hauteur de plus de 700 m, qui avait été seulement observée pendant la campagne Estocade. Plusieurs ensembles sédimentaires ont pu y être distingués pendant les plongées 26, 29 et surtout 27 :

— depuis le fond du canyon (2 160 m) jusqu'à 1 815 m, une formation stratifiée de bancs sub-horizontaux généralement de grès mais parfois de poudingues, en partie masquée par un recouvrement de vase récente ;

— entre 1 815 et 1 682 m, la paroi est sédimentée, de pente assez variable et sans affleurement visible ;

— entre 1 682 et 1 556 m, une falaise subverticale constituée d'une formation massive de poudingues, d'une puissance minimale de 130 m et dont la base s'ennoie sous la vase récente ;

— de 1 556 à 1 322 m, les fonds toujours très inclinés sont constitués de vase compacte qui, à travers la pellicule superficielle de vase fluide, affleure par endroits sous forme de murs de vase analogues à ceux observés dans les niveaux supérieurs de la paroi du canyon de Pampelonne.

Les bancs gréseux, prélevés sur une hauteur de plus de 250 m à différents niveaux ont livré une microfaune caractéristique du Quaternaire (à *Globorotalia truncatulinoides* et à *G. inflata*).

Ces plongées ont donc révélé les reliquats d'un remplissage détritique quaternaire d'une puissance minimale de 250 m. Sur les enregistrements de sismique continue, cette formation lithifiée malgré son âge récent, est indiscernable du socle acoustique fini-oligocène (pl. I c). En effet, outre le fait qu'elle en présente les mêmes caractéristiques acoustiques, son épaisseur est très réduite. D'autre part, son faciès, voisin des formations détritiques fini-oligocènes fait, qu'en l'absence de prélèvements, elle est passée inaperçue pendant la campagne Estocade. Cependant il n'en demeure pas moins possible que la formation massive de poudingues, de plus de 130 m de hauteur (1 682-1 556), non échantillonnée, pourrait appartenir à la partie supérieure de la série détritique fini-oligocène affleurant à travers le remplissage

détritique quaternaire et le recouvrement sédimentaire récent. Remarquons toutefois que cette falaise n'a pas été observée au cours de la plongée 26, du fait probablement de l'importance de l'envasement récent.

D'un point de vue très général, ces plongées entreprises dans les canyons provençaux suggèrent un schéma structural qui tend à confirmer dans ses grandes lignes celui proposé précédemment (Groupe Estocade, 1977, 1978). En particulier la réduction ou l'absence de la série miocène résulte probablement d'une érosion intense, sur la marge, de cette couverture pendant la période d'assèchement messinienne qui serait responsable également du creusement initial des canyons. Elles établissent en outre de façon claire l'importance et l'ampleur jusque-là insoupçonnées des phases de sédimentation, lithification et érosion quaternaires dans l'évolution de ces canyons. La dernière période de creusement quaternaire a été notamment suffisamment efficace pour éroder, sur plusieurs centaines de mètres cette formation détritique comprenant des bancs conglomératiques de plusieurs mètres d'épaisseur.

Il résulte donc de cette campagne que les canyons peuvent être considérés comme des structures poly-géniques complexes issues d'une succession de phases de remblaiement, de diagenèse et de (re)creusement intervenues depuis leur creusement initial (au Messinien, en ce qui concerne la Méditerranée) jusqu'à l'époque actuelle.

2) Canyons corses.

Le dépouillement des plongées effectuées dans les canyons du Sud-Ouest de la Corse n'étant pas aussi avancé que celui des canyons provençaux nous nous bornerons ici à en énumérer les résultats essentiels.

Les enregistrements sismiques effectués dans le canyon des Moines [Genesseaux *et al.*, 1974 ; Genesseaux et Rehault, 1975] montrent, entaillé par le fond de cette vallée sous-marine, par 1 700 m de profondeur, un réflecteur acoustique très net supposé d'âge fini-miocène. Sur les flancs, ce réflecteur est recouvert par une unité sédimentaire transparente épaisse de 200 à 300 m et attribuée au Plio-Quaternaire.

Les plongées 30 et 31 effectuées dans ce canyon entre 1 700 et 1 400 m de fond n'ont pas permis de mettre en évidence d'autres formations que des sédiments d'âge quaternaire (la microfaune contenue dans les échantillons prélevés contient *Orbulina universa* D'ORB., *Globigerina bulloides* D'ORB., *G. dutertrei* D'ORB., *G. pachyderma* (EHRENBERG), *G. quinqueloba* NATLAND, *Globigerinoides ruber* (D'ORB.), *G. sacculifer* (BRADY), *Hastigerina aequilateralis* (BRADY), *Globorotalia inflata* (D'ORB.), *G. scitula* (BRADY), *G. truncatulinoides* (D'ORB.)).

Par contre les plongées 33 et 34 effectuées dans le

canyon entre 2 150 et 1 840 m de fond ont révélé la présence de deux formations différentes.

De 2 100 à 2 020 m : un escarpement de 80 m de haut et de direction générale NW-SE constitué d'une marne blanchâtre finement stratifiée se débitant en plaquettes (photogr. 1). La fraîcheur des cassures, qu'atteste l'absence de revêtement de manganèse, ainsi que l'abondance au pied de l'affleurement d'innombrables plaquettes formant un éboulis, indique à l'évidence un dégagement très récent de l'affleurement, vraisemblablement d'ordre tectonique. L'analyse microtectonique des plaquettes recueillies au sommet de cette formation montre un réseau de fractures et des stries qui révèlent nettement un régime tectonique en distension.

Ces plaquettes renferment une microfaune de Foraminifères caractéristiques d'un milieu de mer ouverte : une dalle plus gréseuse située dans la partie inférieure de la série s'est révélée assez riche avec, pour les formes planctoniques les plus caractéristiques : *Orbulina bilobata* (D'ORB.), *O. universa* (D'ORB.), *O. suturalias* BRÖNNIMANN, *Globigerinoides sacculifer* (BRADY), *G. trilobus* REUSS, *Globorotalia obesa* BOLLI, *G. menardii* (D'ORB.), *Globoquadrina allispira* CUSHMAN et JARVIS, *G. dehiscens* CHAPMAN, PARR et COLLINS ; cette microfaune présente des affinités avec celle des marnes du Miocène moyen connues plus à l'Est sur le plateau des Bouches de Bonifacio [Genesseeux *et al.*, 1977]¹.

Dans la partie supérieure de la série, une plaquette marneuse a fourni une microfaune moins diversifiée essentiellement constituée de *Globorotalia menardii*, de *Globorotalia margaritae* et *Globigerinoides obliquus extremus* BOLLI et BERMUDEZ. Il pourrait s'agir d'une microfaune fini-miocène dans laquelle nous avons également remarqué la présence d'un *Globorotalia truncatulinoides*.

L'étude des nannofossiles, faite par C. Muller dans l'échantillon de marnes, date la nannoflore recueillie du Miocène, probablement supérieur. Les espèces sont les suivantes : *Cyclococcolithus leptoporus*, *C. macintyral*, *C. rotula*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*, *Pontosphaera* sp., *Reliculofenestra pseudumbilica*, *Discolithina japonica*, *Scyphosphaera conica*, *S. kamplneri*, *Sphenolithus abies*, *Reticulofenestra* sp. (très petite). Les caractères de cette association et la petite taille de certaines espèces indiquent un milieu peu profond et par certains côtés confiné, assez compatible avec le Messinien. Il semblerait donc que l'escarpement observé puisse représenter, sur 80 m d'épaisseur, la série allant du Miocène moyen au Messinien.

L'unité supérieure entre 2 040 m et 1 840 m est entièrement formée de sédiments hémipélagiques homogènes, d'âge quaternaire, dont la caractéristique essentielle est de présenter de très importantes traces d'affouillements sous forme de sillons, *perpen-*

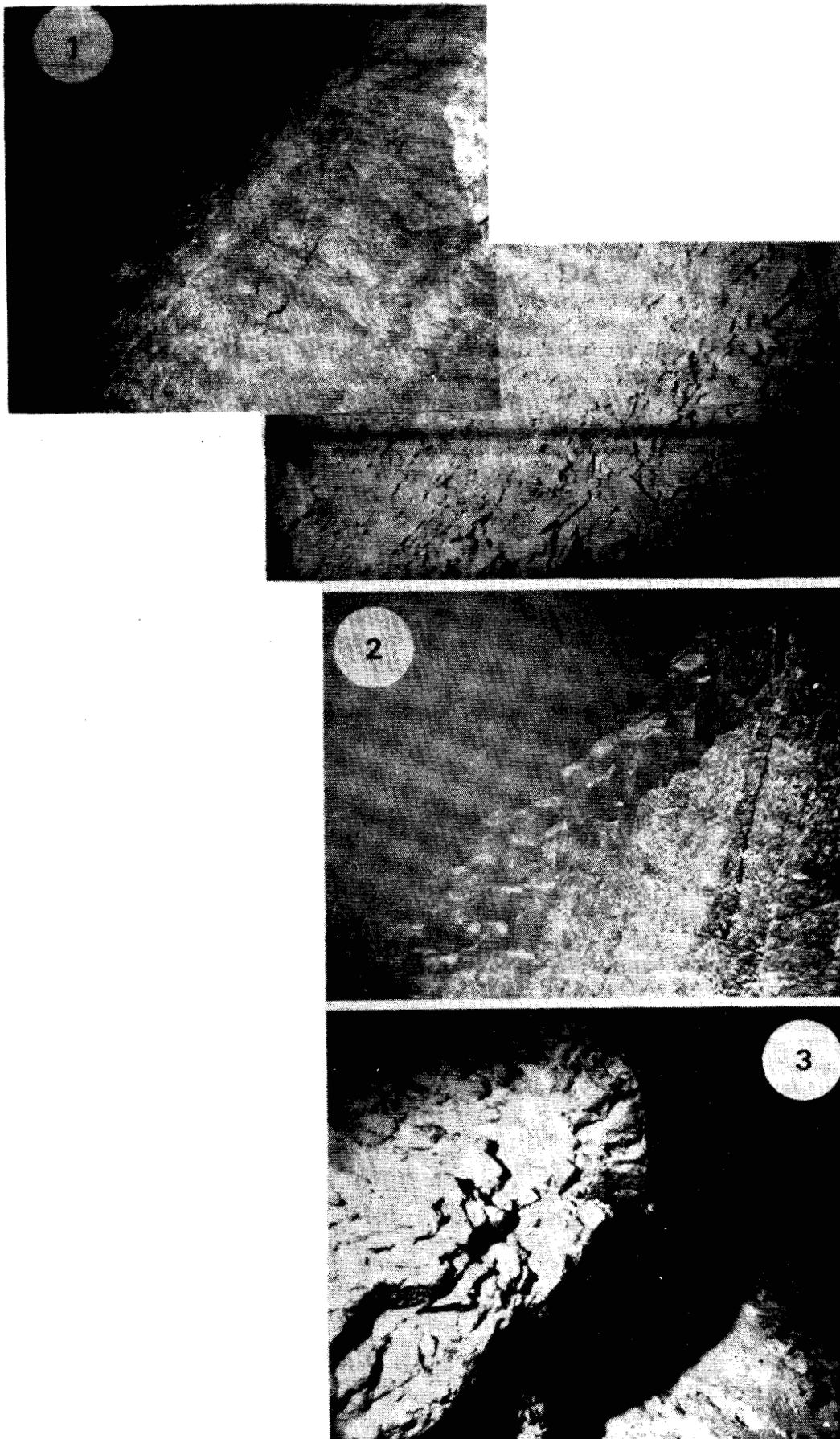
diculaires à l'axe du canyon et dont l'origine reste à préciser.

Les plongées effectuées dans les parties proximales des canyons des Moines (35) et de Valinco (38) entre 800 m et 1 200 m de fond montrent que ces vallées sous-marines sont directement creusées soit dans des formations volcaniques pour la première soit dans le socle cristallin pour la seconde. Les formations volcaniques observées et prélevées dans le canyon des Moines sont représentées par des laves en orgues basaltiques (photogr. 2) : il s'agit d'une lave de type basaltique très riche en plagioclases (plagioclasite) caractérisée par une très forte teneur en alumine (> 20 %). Cette lave a très probablement été émise sous l'eau comme l'attestent d'une part la présence de certains minéraux comme la céladonite et d'autre part l'existence de formes d'épanchement de type pillow-lavas (photogr. 3). L'observation directe d'orgues par des fonds excédant 1 000 m implique une mise à l'affleurement de parties profondes de la coulée soit par érosion (le (re)creusement des canyons étant postérieur au volcanisme) soit par fracturation récente. Ces mouvements néotectoniques paraissent d'ailleurs confirmés par l'observation de stries affectant les formations volcaniques (photogr. 4).

Un site de prélèvement très voisin a fourni une lave différenciée ($\text{SiO}_2 > 61\%$) également épanchée en milieu sous-marin dont la genèse pourrait résulter d'une différenciation magmatique des plagioclasites. L'interprétation précise de ce type de volcanisme est actuellement en cours d'étude.

Aussi bien dans le canyon de Valinco que dans le canyon des Moines, les sédiments surmontant directement le socle (quand ils existent) sont constitués de marnes bleutées ou de vases hémipélagiques ocre-beige, d'âge quaternaire.

Nous avons pu montrer également au cours de cette campagne, grâce à un dragage suivi d'une plongée, qu'il existe au Sud-Ouest de la Corse un type de volcanisme de caractère différent du précédent et assez exceptionnel pour la Méditerranée : ainsi le dragage Cyalig. 77-DR. 02 effectué sur le sommet du « Mont Paoli », terminaison nord-occidentale d'une ride morphologique NW-SE coïncidant avec une anomalie magnétique linéaire de même direction, a permis de recueillir un basalte *métamorphisé* de nature très probablement tholéitique. La paragenèse des minéraux de métamorphisme (chlorites, albite, épidote et actinote) indique que le métamorphisme est du type « schistes verts ». La plongée 32 effectuée sur le même site a permis d'observer directement la formation volcanique correspondante sous forme d'un affleurement noirâtre à aspect bréchique, ou à débit en boules, sur une trentaine de mètres d'épaisseur, au sein d'un sédiment hémipélagique. Là encore, l'action de la tectonique est évidente. Elle se manifeste notamment



PHOTOGR. 1 : affleurement, dans le fond du canyon des Moines (2 020 m), d'une épaisse série marneuse finement stratifiée d'âge miocène moyen à supérieur, se débitant en plaquettes.

PHOTOGR. 2 : affleurement d'orgues basaltiques dans le fond du canyon des Moines (1 200 m).

PHOTOGR. 3 : forme d'épanchement volcanique évoquant les pillow-lavas (canyon des Moines, 1 200 m).

par des cassures de direction méridienne affectant la couverture sédimentaire et par le basculement de grandes dalles sédimentaires d'âge quaternaire.

Le basalte prélevé est donc en place et la nature de son métamorphisme témoignerait d'un environnement *océanique* à flux thermique élevé à faible profondeur. Il pourrait donc être considéré, compte tenu de son contexte morpho-structural, comme le premier témoin pétrologique d'une croûte typiquement océanique en Méditerranée (article sous presse).

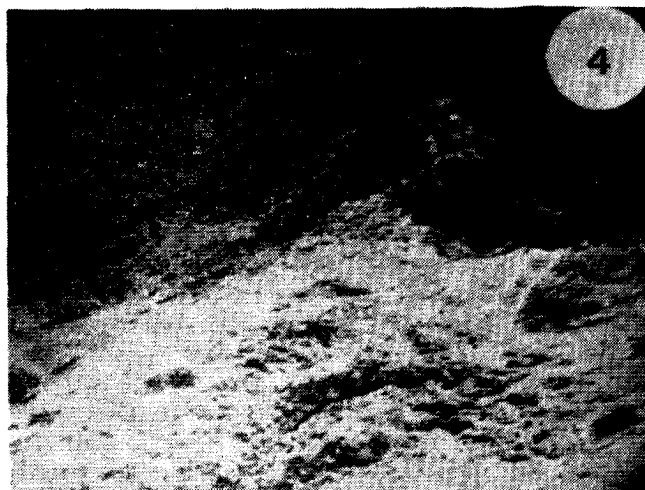
L'âge de cette lave n'a pu être déterminé en raison notamment de son état d'altération. Cependant, les enregistrements de sismique continue paraissent indiquer que le volcanisme du Sud-Ouest de la Corse, responsable des fortes anomalies magnétiques observées dans la région, serait d'âge antémessinien [Genesseaux *et al.*, 1974 ; Genesseaux et Rehault, 1975].

III. — CARACTÉRISTIQUES DE LA SÉDIMENTATION QUATÉNAIRE ET DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE.

La sédimentation quaternaire et récente des canyons corses étudiés apparaît, sur toute leur longueur, si l'on excepte le cas particulier des chaos de blocs dont l'âge précis reste d'ailleurs encore à définir, de type essentiellement hémipélagique. Les seuls niveaux repères observés dans l'épaisseur de cette formation sont constitués par des strates de sédiments consolidés (photogr. 5) dont la signification, qui paraît être en liaison étroite avec les phases climatiques du Quaternaire, fait l'objet de travaux en cours.

Au contraire, les formations sédimentaires quaternaires des canyons provençaux sont de nature très hétérogène et semblent témoigner de conditions dynamiques de mise en place liées à la position géographique, à la bathymétrie et probablement aux périodes climatiques. Les plongées effectuées dans ces canyons ont intéressé des secteurs géographiques différents dont la comparaison, du point de vue de la sédimentation, peut être tentée. Ces secteurs sont soit très proches des zones d'apports continentaux (plongées 20, 21, 22, 25 sur le versant sud-ouest du canyon de Pampelonne) soit beaucoup plus éloignées (plongées 27 et 29 dans la partie distale du canyon de Saint-Tropez) ou encore isolés par rapport à ces apports continentaux directs (fractions des plongées 24 et 26 à l'interfluve des canyons de Saint-Tropez et Pampelonne).

a) Les formations sédimentaires quaternaires observées entre 1 545 m et 1 290 m sur le versant sud-ouest du canyon de Pampelonne sont, rappelons-le, essentiellement constituées par une vase homogène de nature hémipélagique mais comportant plusieurs



PHOTOGR. 4 : stries témoignant de mouvements tectoniques récents (canyon des Moines, 1 200 m).

PHOTOGR. 5 : couche de sédiment quaternaire induré au sein d'une sédimentation hémipélagique (versant sud du canyon des Moines, 1 600 m).

PHOTOGR. 6 : formation lenticulaire de matériel détritique grossier quaternaire (conglomérats à la base, grès fins au sommet) au sein d'une sédimentation hémipélagique (paroi sud-ouest du canyon de Pampelonne, 1 450 m).

affleurements en bancs subhorizontaux de matériel détritique plus ou moins grossier depuis des grès terrigènes fins, jusqu'à des conglomérats à très gros blocs. L'hétérogénéité de cette sédimentation peut d'ailleurs être discernée sur les enregistrements de sismique continue malgré leur faible pouvoir de résolution. Ces affleurements, qui dans certains cas ont pu être suivis latéralement en plongées, offrent la particularité de se présenter sous forme lenticulaire (photogr. 6). L'examen direct détaillé des relations entre les sédiments hémipélagiques et ces lentilles fait apparaître nettement des contacts de nature érosive. On serait en présence de chenaux d'érosion provoqués par l'arrivée massive de matériel terrigène grossier en provenance du massif des Maures, vraisemblablement par suite de mécanismes sous-marins proches des avalanches. L'ensemble des sédiments affleurants sur ce versant, a été daté, comme nous l'avons vu, du Quaternaire. Cependant, leurs mécanismes de mise en place, bien qu'ils soient récents, ne paraissent pas actuels, d'une part en raison de l'absence, le long du littoral, de matériel mobilisable et/ou d'agents de transport susceptibles de fournir qualitativement et quantitativement des éléments de cette importance, et d'autre part par le fait que même les bancs les plus récents (vers — 1 444 m) sont interstratifiés dans les sédiments hémipélagiques et n'apparaissent jamais qu'en coupes à la faveur d'escarpements. Il en résulte que la genèse de ces chenaux et de leur matériel de remplissage, que l'on pourrait rapprocher des séquences de type fluxo-turbidites, serait liée à des conditions différentes de la période climatique tempérée actuelle, remontant probablement aux *phases glaciaires du Quaternaire*. Les énormes quantités de matériel continental charriées à la côte durant ces périodes devaient s'accumuler en position de déséquilibre le long du rebord du plateau continental par suite des régressions eustatiques. Les simples processus de gravité auraient alors suffi à les acheminer jusqu'à ces fonds de l'ordre de 1 500 m.

b) Le devenir de ce matériel plus en aval est encore inconnu dans ce même canyon mais peut être indirectement déduit des plongées 27 et 29 effectuées dans les parties distales du canyon de Saint-Tropez : il s'agirait en la circonstance de la formation quaternaire grésopélagique colmatant les parois de ce canyon. Celle-ci n'est pas sans évoquer de par la rythmicité des bancs qui la composent, leur granulométrie et leur épaisseur, les séries de type turbidite.

Il semblerait donc que l'on puisse discerner le long du cours des canyons, des variations de faciès des dépôts liés aux courants de turbidité, en rapport avec l'éloignement des sources d'apports détritiques terrigènes. Il faut cependant noter que même au-delà de 2 000 m, il subsiste encore des bancs de conglomérats parfois très épais. Si certains d'entre eux,

d'aspect plus massif, peuvent être attribués, en l'absence de prélèvements, à des réapparitions du socle fini-oligocène sous-jacent à travers les formations quaternaires, d'autres nettement plus stratifiés doivent être attribuables à des dépôts quaternaires. Ceci a été vérifié dans le canyon des Stoechades où le ciment de certains conglomérats prélevés en place par près de 2 300 m de profondeur, a livré une faune *typiquement quaternaire* [Groupe Estocade, 1977].

c) Contrastant avec cette sédimentation hétérogène, les plongées effectuées sur l'interfluve séparant les canyons de Saint-Tropez et de Pampelonne, ont montré qu'au-dessus de la surface de discontinuité messinienne, la sédimentation quaternaire était, et très probablement sur toute son épaisseur, beaucoup plus homogène et de nature hémipélagique. Il ne s'agit pas là d'un simple placage pelliculaire comme le confirment les coupes de sismique continue et les observations directes faites en profondeur à la faveur des intenses ravinements qui affectent cette série.

On voit donc l'intérêt des submersibles en tant qu'outils susceptibles de permettre l'observation directe, et sur de fortes épaisseurs grâce à la structure polygénique des canyons, des formations sédimentaires caractéristiques de ces vallées sous-marines, de définir leur faciès et de suivre leur évolution temporo-spatiale. Soulignons au passage la nouveauté de cette approche du phénomène sédimentaire : en effet A. Bouma et T. Nilsen [1978] écrivaient : « *no direct observations exist on transport of large volumes of sediment through canyons, although we know that this takes place because of the widespread distribution of deep sea sands* ». De telles études, irréalisables à partir des seuls moyens de surface, où la sismique continue haute résolution et les carottages se révèlent inopérants dès que les dépôts deviennent grossiers et les pentes abruptes, semblent de nature à tester directement la validité de certains modèles de sédimentation marine proposés par les sédimentologues de terrain à partir des seules formations émergées supposées équivalentes. Signalons à cet égard, l'étroite similitude de nos observations avec certaines de ces reconstitutions [Stanley, 1975 ; Bouma et Nilsen, 1978].

CONCLUSIONS.

Les plongées en submersibles mettent donc en évidence une certaine dissymétrie des marges provençale et corse ainsi explorées, caractérisée par des différences d'ordre structural et sédimentaire : citons en particulier l'absence de volcanisme à l'affleurement sur la marge provençale alors qu'il est très répandu sur la marge corse, l'affleurement sur la marge provençale d'une très épaisse formation

marine détritique d'âge fini-oligocène alors que les formations les plus anciennes, entaillées par les canyons corses explorés, sont d'âge miocène moyen à supérieur, les caractéristiques très différentes de la sédimentation quaternaire, de type exclusivement hémipélagique en Corse, de type flysch en Provence. Des caractères communs subsistent néanmoins tels la rareté relative à l'affleurement des formations néogènes, le (re)creusement quaternaire des canyons, l'importance des phénomènes de glissement, l'évidence de forts courants sous-marins récents et actuels et la présence de chaos de blocs dans l'axe de ces vallées sous-marines.

Remerciements. Nous remercions le C.N.E.X.O., qui a mis à notre disposition les moyens nécessaires

à la réalisation de cette campagne, ainsi que le Commandant et l'équipage du « *Le Suroit* » et l'équipe entourant la soucoupe « *Cyana* » pour leur coopération. MM. G. Masele, P. Boivin, C. Robin et M^{me} C. Muller ont participé, chacun dans sa spécialité, à l'étude des échantillons prélevés. M. G. Boillot a bien voulu lire et critiquer le manuscrit.

1. Les nombreux tests corrodés ou recristallisés, de même que la présence de quelques *Globorotalia margaritae* BOLLÉ et BERMEDEZ (âge fini-miocène ? et pliocène inférieur) et de *Globorotalia inflata* (D'ORB.), *Globigerina pachyderma* (EHRENBERG), *G. truncatulinoides* (D'ORB.) (âge quaternaire) posent cependant le problème des remaniements (toutes les précautions ayant été prises par ailleurs pour éviter les pollutions lors du traitement des échantillons). Mais ce matériel néogène, même s'il a été repris au Quaternaire, ne peut provenir d'une source éloignée.

Références

- BOUMA A. et NILSEN T. (1978). — Turbidite facies and deep sea fans — with examples from Kodiak island — Alaska Offshore technology conference, p. 559-570.
- GROUPE ESTOCADE (1977). — Étude par submersible des canyons des Stoechades et de Saint-Tropez. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 284, p. 1631-1634.
- GROUPE ESTOCADE (1978). — Messinian subaerial erosion of the Stoechade and Saint-Tropez canyons — a submersible study. *Marine Geol.* 27, p. 247-269.
- GENNESSEUX M., AZENDE J. M., OLIVET J. L. et BAYER R. (1974). — Les orientations structurales et magnétiques sous-marines au Sud de la Corse et la dérive corso-sarde. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 278, p. 2003-2006.
- GENNESSEUX M. et REHAULT J. P. (1975). — La marge continentale corse. *Bull. Soc. géol. France*, (7), XVII, n° 4, p. 505-518.
- GENNESSEUX M., BIZON G., GLAÇON G. et MULLER C. (1977). — Un affleurement de marnes bathyales serravalliennes sur le plateau occidental des Bouches de Bonifacio (Corse). *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 284, p. 2459-2462.
- STANLEY D. J. (1975). — Submarine canyon and slope sedimentation (gres d'Annot) in the french maritim Alps, IX^e Congr. Internation. Sédim., Nice, 129 p.
- VANNEY J. R., BELLAÏCHE G., COUMES F. et IRR F. (1979). — Types de modèles observés par submersible dans les canyons méditerranéens au cours de la campagne Cyaligure. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 288, p. 735-738.