

Carte Sea-Beam
Baie des Anges
Éventail sédimentaire
Érosion régressive
Seabeam mapping
Baie des Anges
Deep-sea fan
Regressive erosion

Cadre morphologique de la Baie des Anges (Nice-Côte d'Azur) : modèle d'instabilité de pente continentale

G. Pautot

Centre Océanologique de Bretagne, B.P. n° 337, 29273 Brest Cedex.

Reçu le 19/9/80, révisé le 18/12/80, accepté le 22/12/80.

RÉSUMÉ

— Une nouvelle carte bathymétrique de la Baie des Anges au large de Nice-Côte d'Azur a été réalisée avec un sondeur multifaisceaux Sea-Beam. Grâce aux faisceaux étroits de ce nouveau système et une aide à la navigation de type radioélectrique, sept cartes à l'échelle du 1/10 000 ont été établies avec une équidistance des isobathes de 10 m. Le montage de ces cartes est présenté ici.

L'analyse morphologique de cette carte met en évidence les grandes unités de cette région : deux canyons actifs (Var et Paillon), deux rides sédimentaires prolongeant le Cap d'Antibes et le Cap Ferrat, un éventail sédimentaire côtier et un appareil deltaïque fossile. Tout ce domaine semble actuellement soumis à un processus d'érosion se manifestant principalement par des transports gravitaires. —

Oceanol. Acta, 1981, 4, 2, 203-211.

ABSTRACT

Morphologic framework of the Baie des Anges (Nice-Côte d'Azur):
instability model of continental slope

— A revised bathymetric chart of the Baie des Anges of Nice-Côte d'Azur has been produced using the Sea-Beam multibeam echo-sounder. The narrow beams of this new system and precision radionavigation techniques have resulted in seven charts at a scale of 1/10 000 with a contour intervals of 10 m.

The analysis of these charts delineates the principal morphologic units of the region: two active canyons (the Var and the Paillon), two sedimentary ridges extending from Cape Antibes and Cape Ferrat, a coastal sediment fan and a fossil deltaic system. The entire area appears to be undergoing erosion at present, principally by gravity mass movements. —

Oceanol. Acta, 1981, 4, 2, 203-211.

INTRODUCTION

La Baie des Anges, au large de Nice, présente une morphologie particulière de marge continentale avec absence de plateau, pente extrêmement abrupte et ravinée et présence de fonds atteignant 2000 m à une vingtaine de kilomètres seulement du rivage.

Cette zone a été cartographiée par Bourcart *et al.* (1960), puis par le Musée Océanographique de Monaco (1969). Ces cartes soulignent les structures majeures de cette marge continentale, soit de l'Ouest à l'Est :

- un relief allongé dans une direction NW-SE et prolongeant vers le large le Cap d'Antibes;
- le canyon du Var qui subit un changement de cours à 90° dans son parcours amont;

- un édifice deltaïque côtier déchéqueté correspondant à l'embouchure du Var;
- le canyon du Paillon qui, après une boucle, montre un trajet NS jusqu'à sa confluence avec le canyon du Var à des profondeurs de 1 700 m;
- un relief d'orientation NS dans le prolongement du Cap Ferrat.

LA CATASTROPHE DU 16 OCTOBRE 1979

La Baie des Angès a été le siège, le 16 octobre 1979 vers 14h, d'un raz de marée de plusieurs mètres qui submergea le littoral. Les oscillations consécutives durèrent plus de 4 heures et affectèrent la bande côtière sur un front de 100 km. Au même moment un remblai artificiel de 300 m de longueur, sur la plate-forme sous-marine du delta du Var, disparut sous la mer en quelques minutes. Aucun tremblement de terre n'a été enregistré à l'Observatoire de Monaco.

A 17h45 TU et 22h TU respectivement, deux câbles téléphoniques italiens – Gênes-Baléares et Gênes-Sassari (Sardaigne) – furent sectionnés à environ 80 et 110 km de Nice. Ces faits ont été interprétés comme étant dus à des mouvements gravitaires importants du sol sous-marin de la Baie des Angès (Gennesseaux *et al.*, 1980).

CARTOGRAPHIE DE LA BAIE DES ANGES

Dans le cadre de ses études sur les marges continentales (dossier aménagement et sécurité des ouvrages), le CNEXO a décidé de réaliser la cartographie de cette zone grâce au sondeur multifaisceaux Sea-Beam qui équipe le navire océanographique « Jean Charcot » (Renard, Allenou, 1979). Du 20 au 23 novembre 1979, un levé complet de la Baie des Angès au Sea-Beam a été réalisé. Une soixantaine de profils ont permis une cartographie jusqu'à l'approche des isobathes 200 m (le Sea-Beam n'est pas opérationnel par faibles profondeurs). La navigation a été effectuée avec un système radioélectrique : le Trispondeur, qui permet une position instantanée du navire meilleure que 10 m. Sept cartes au 1/10 000 ont été ainsi réalisées avec une équidistance des isobathes de 10 m (fig. 1).

Une première comparaison de la carte obtenue à l'aide du Sea-Beam et des cartes précédentes réalisées avec un sondeur classique grand angle souligne les pentes réelles plus accentuées des flancs des canyons, la forme en U (vallée en « auge ») des fonds de canyon, l'asymétrie des reliefs prolongeant les caps d'Antibes et Ferrat, le détail festonné de l'éventail sédimentaire côtier du Var, etc.

L'excellente précision de la navigation et les performances du système Sea-Beam font que le modelé des reliefs obtenu sur cette nouvelle carte peut difficilement être comparé à celui des cartes précédentes. Cependant l'analyse de cette carte jointe à des travaux antérieurs permet de mieux comprendre la nature et l'histoire des différentes unités morphologiques composant ce paysage de la Baie des Angès (fig. 2).

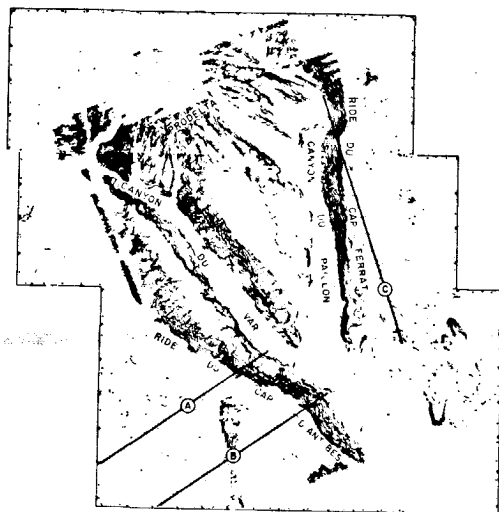


Figure 2
Dénomination des principales structures et position des profils sismiques.

Map showing names of principal structural features of area shown in Figure 1 and location of seismic reflection profiles.

LA RIDE DU CAP D'ANTIBES

Le relief orienté NW-SE et prolongeant le Cap d'Antibes est asymétrique avec le flanc oriental escarpé par rapport à l'autre flanc; sa terminaison méridionale est échancrée par de vastes cirques. Le sommet du relief va s'approfondissant et s'amincissant vers le large jusqu'à constituer une ligne de crête. Dans sa partie terminale cette ligne de crête à 1 170 m domine des fonds de 1 700 à 1 800 m.

Le contact du flanc oriental de cette structure avec le thalweg du canyon du Var est franc et abrupt, évoquant une origine vraisemblablement érosive. Les portions les plus escarpées de ce flanc (au nord et au sud de la carte) montrent des formes générales arquées et lisses. La partie médiane du flanc montre un modelé plus raviné : les isobathes dessinent une succession de vallées et reliefs perpendiculaires à la pente.

La nature de ce relief est sédimentaire, comme le soulignent la sismique continue, les carottages et les forages. Une série de profils de sismique continue a été réalisée perpendiculairement à cette ride (Pautot, 1968; fig. 3). Elle montre que cette ride est constituée d'une accumulation de sédiments sur un substratum relativement plan dans une direction EW et qui paraît venir à l'affleurement au niveau du thalweg du canyon du Var. Cette accumulation sédimentaire peut atteindre 1 seconde temps double d'épaisseur, soit environ 1 000 m. La partie supérieure des sédiments est litée, et la partie inférieure transparente. Un forage effectué en 1970 sur le sommet de ce relief (Pautot, 1971) a prélevé sous 40 m de sédiment une carotte de vase terrigène à nannoplanton de couleur gris-beige et d'âge Quaternaire. Des dragages et traits de traîka réalisés par Gennesseaux (1966) suggèrent que la partie transparente de la masse

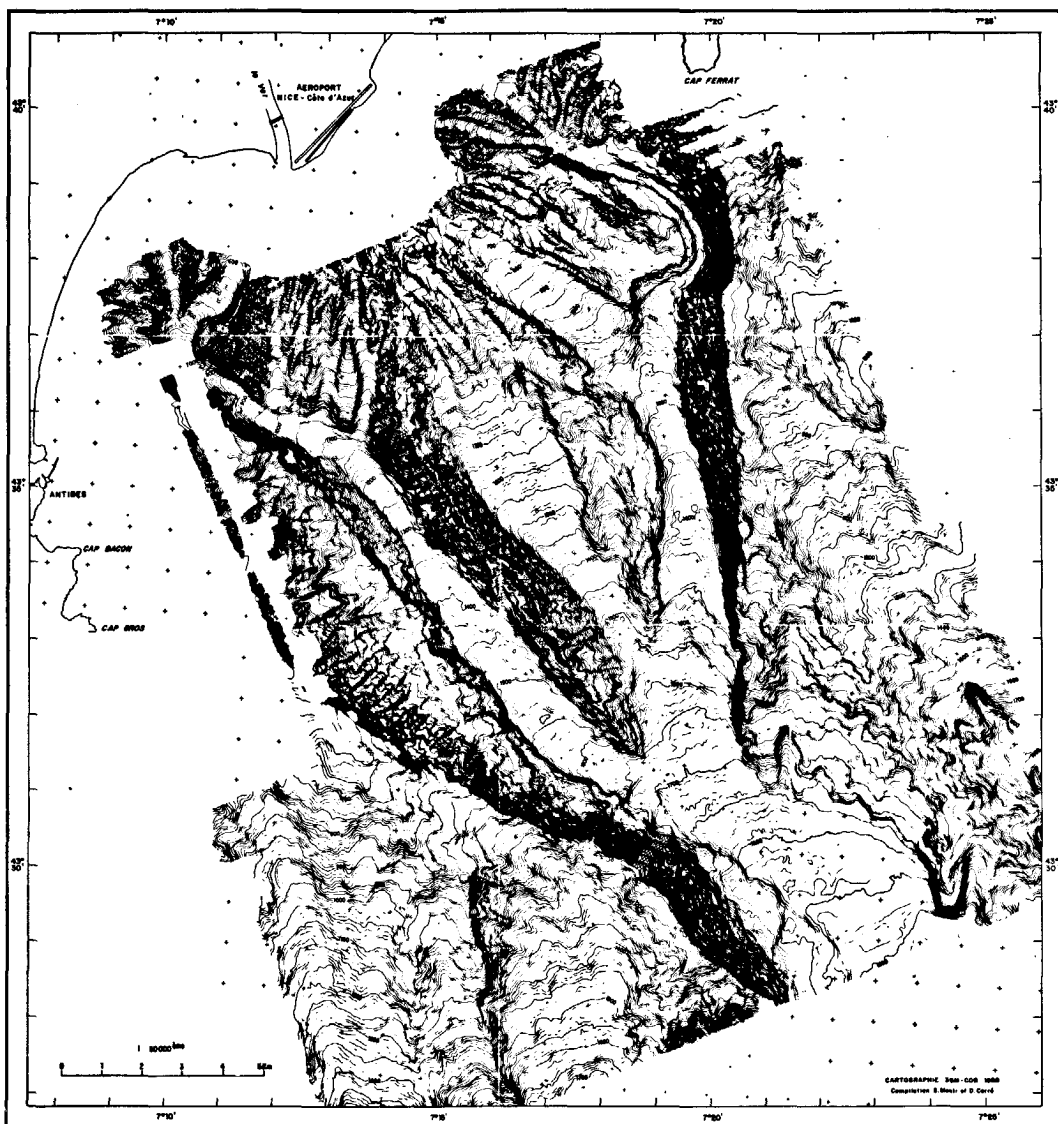


Figure 1
 Carte bathymétrique de la Baie des Anges réalisée avec le N.O. « Jean Charcot » porteur du sondeur multifaisceaux Sea-Beam. La cartographie originale a été réalisée au 1/10 000. L'intervalle entre isobathes est de 10 m. Aide à la navigation : système radiométrique Triposondeur (cette carte est en cours de publication par le CNEXO à l'échelle de 1/25 000). Complément de la carte par S. Monti et D. Carré.

Reduction of bathymetric chart of the Baie des Anges based on multi-beam echo-sounding data collected with the R.V. "Jean Charcot" using satellite and radio-electric navigation (triosondeur). Contour interval: 10 m. Data compilation by S. Monti and D. Carré. Map at scale of 1/25 000 in press (CNEXO).

LE CANYON SOUS-MARIN DU VAR

Le canyon du Var présente un cours NE-SW à sa partie frontale puis, après un changement de direction brutal, il se dirige vers le SE. Le fond du canyon présente une forme en auge. Sa pente est de 12 % dans sa partie amont et jusqu'à 1 000 m de profondeur, passe ensuite à 6 % puis à 2 % à partir de son confluent avec le canyon du Paillon (fig. 4).

Le fond du canyon présente un resserrement vers 1 300 m de profondeur, puis s'élargit graduellement jusqu'à sa confluence. L'analyse morphologique détaillée du thalweg du canyon montre à l'échelle de la dizaine de mètres des incisions érosives sur les bordures du lit du canyon et un bourrelet d'accumulation central. Des cuvettes d'une dizaine de mètres de profondeur sont également discernables. Il faut enfin noter, en aval de la confluence des deux canyons et sur le flanc occidental du canyon du Var, une succession de banquettes étagées et présentant des rejets de l'ordre de la cinquantaine de mètres. Il est impossible, à l'analyse de la carte, de lever le doute sur une origine érosive ou dépositionnelle de ces banquettes, mais la vigueur des bordures renforce la première hypothèse.

Des photographies ont été effectuées par M. Genesseeux (1966) dans le lit du canyon du Var. Elles montrent de grandes surfaces couvertes de galets dressés par affouillement, des ripple-marks abondants; le passage d'un courant de turbidité a également été enregistré. Ce canyon paraît être très actif. Un forage effectué en 1970 (Pautot, 1971) dans le lit du canyon du Var, en aval de sa confluence et par 1 890 m de fond (à proximité des banquettes), s'est achevé sur un substratum rocheux n'ayant pu être prélevé et recouvert d'une fine couche de sédiment : 1,40 m.

Figure 3
 Profils de sismique continue (source : canon à air). (A) Profil perpendiculaire à la ride du Cap d'Antibes (SW-NE). Le canyon du Var est à l'extrême droite du profil. I. : série litée d'âge Quaternaire. II. : série transparente d'âge Plio-Quaternaire. III. : substratum acoustique. L'intervalle entre chaque trait horizontal représente 50 ms temps double soit environ 37,5 m dans l'eau et 50 m dans le sédiment. (B) Profil perpendiculaire à la ride du Cap d'Antibes et montrant le même type de formation. (C) Profil longitudinal (NS) sur la ride du Cap Ferrat [mêmes caractéristiques que (A)].

sédimentaire représenterait des marnes d'âge Pliocène. Un carottage a prélevé au pied du relief une marne gris-bleu rigide et d'âge Pliocène (Pautot, 1969). Le relief prolongeant le Cap d'Antibes est donc une accumulation sédimentaire puissante d'âge Plio-Quaternaire (0-6 M.A.) due vraisemblablement aux sédiments du Var. Cette ride sédimentaire est érodée sur son flanc oriental par le canyon du Var. L'érosion au pied du relief peut entraîner une instabilité des pentes et des mouvements gravitaires dirigés vers le canyon. D'après la carte, ces phénomènes pourraient se manifester à deux échelles : à l'échelle hectométrique par la succession de ravins et à l'échelle kilométrique par de grandes failles listriques. L'aspect asymétrique et raviné de cette ride sédimentaire suggère que le processus actuel dominant est de nature érosive.

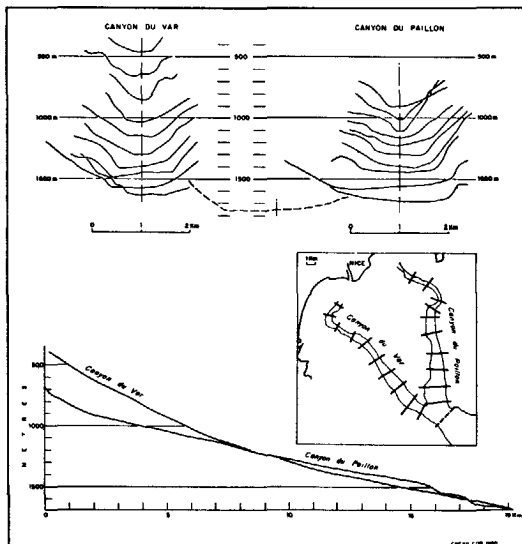


Figure 4
 Profils bathymétriques longitudinaux et transversaux des canyons du Var et du Paillon.
 Bathymetric profiles along and across the canyons of the Var and Paillon.

Le substratum rocheux paraissant affleurer dans le lit inférieur du Var, et visible sur les profils sismiques, est interprété comme la surface d'érosion pontienne. Cette dernière est l'équivalent latéral des dépôts d'évaporites dans les parties profondes du bassin. Elle a pu être entaillée dans des poudingues oligocène (Roure *et al.*, 1978; Bellaïche *et al.*, 1978) ou par continuité avec le Cap d'Antibes dans du calcaire jurassique (dolomies grises bathoniennes en gros bancs (Pautot, 1968)).

LE PRISME SÉDIMENTAIRE CENTRAL

Entre le canyon du Var et celui du Paillon, on distingue un domaine de forme triangulaire, dont un sommet dirigé vers l'aval constitue la confluence des deux canyons. Ce domaine peut être subdivisé en deux unités : un éventail sédimentaire côtier extrêmement déchiqueté et constitué d'une vingtaine de petites vallées, et une succession de quatre accumulations sédimentaires linéaires bordant trois larges vallées en auge.

L'éventail côtier est bien individualisé jusqu'à 800 m de profondeur. Il est constitué en surface de vases riches en eau, extrêmement thixotropiques. L'analyse géotechnique de carottes prélevées dans cette zone (Pautot, 1969) montre que ce sédiment est hétérogène, instable et remanié. Ces qualités sont déduites de l'observation, et du fait que le sédiment ne montre pas le phénomène de « diagenèse précoce » (début d'induration dans les premiers mètres superficiels) qui caractérise les sédiments de la région.

Cet éventail sédimentaire côtier est constitué dans sa partie superficielle de sédiments fins argileux provenant du Var, et d'âge Quaternaire. Il repose sur une seconde unité plus massive. Les accumulations sédimentaires de cette unité présentent des reliefs plus accusés et le matériau paraît plus induré. Des dragages réalisés sur ces reliefs sédimentaires constituant le flanc est du canyon Entre ces reliefs allongés à corps marneux se dessinent de du Var ont rapporté des marnes d'âge Pliocène (Gennesseaux, Calvez, 1960).

larges vallées en auge (largeur d'environ 2 km), dont le fond se révèle extrêmement plat sur une coupe transversale. La vallée centrale présente une indentation médiane des isobathes, qui suggère un glissement en masse de l'accumulation sédimentaire de la vallée. Cette unité pourrait représenter le reliquat d'un vaste système deltaïque d'âge Plio-Quaternaire dont les vallées centrales sont à présent fossiles et dont seules les vallées latérales (Var et Paillon) sont aujourd'hui fonctionnelles. Si cette interprétation est correcte, on assisterait au cours du Pléistocène à une érosion régressive d'un vaste appareil deltaïque.

L'éventail sédimentaire côtier avec ses nombreuses incisions et ses sédiments instables semble également en voie de régression, d'autant plus que le Var se jette à présent directement dans son canyon en évitant l'éventail bordier. Le Var ne peut donc « nourrir » son éventail deltaïque.

LE CANYON SOUS-MARIN DU PAILLON

Le canyon du Paillon borde le flanc oriental du domaine précédent. La particularité de ce canyon se manifeste dans sa partie amont qui dessine une boucle dans laquelle la largeur du thalweg est très réduite : de l'ordre de 200 m. Ensuite le canyon s'écoule dans une direction NS jusqu'à sa confluence avec le canyon du Var en s'appuyant sur son flanc oriental, à un relief important appelé « accident » du Cap Ferrat. Le fond du canyon est en U sans formes érosive ou d'accumulation importantes.

LA RIDE DU CAP FERRAT

Le relief orienté NS et prolongeant le Cap Ferrat a une morphologie comparable à la ride sédimentaire du Cap d'Antibes. Un profil sismique NS effectué sur cette structure [Pautot, 1969 (fig. 3)] montre une accumulation sédimentaire comparable à celle décrite précédemment sur la structure du Cap d'Antibes. Cette couverture sédimentaire plio-quaternaire présente une épaisseur de l'ordre de 800 m à proximité du Cap Ferrat et va s'amincissant vers le Sud, pour disparaître après la convergence des deux canyons.

Le substratum portant cette couverture sédimentaire montre une pente générale vers le Sud, mais moins accentuée que le toit de la couverture sédimentaire. Il semble affleurer dans le canyon du Var après sa confluence. Il serait donc de même nature que le substratum décrit sous la ride du Cap d'Antibes.

L'accumulation sédimentaire du Cap Ferrat est acoustiquement comparable à celle du Cap d'Antibes mais sa puissance est moindre. Cette observation est à mettre en relation avec la circulation générale des masses d'eau superficielle qui porte à l'Ouest dans cette zone. Les sédiments en suspension délivrés par le Var sont transportés préférentiellement vers le Cap d'Antibes. D'autre part, cette ride étant comme celle du Cap d'Antibes une forme résiduelle d'une vaste accumulation sédimentaire, on peut penser qu'à une époque donnée l'érosion ait été plus intense à ce niveau.

CONCLUSION

L'analyse géomorphologique de cette nouvelle carte bathymétrique a permis de mettre en évidence des caractères nouveaux des sols sous-marins de la Baie des Angés :

- forme en auge des thalwegs des canyons;
- vallées sous-marines fossiles;
- détail de l'éventail sédimentaire côtier;
- morphologie des pentes escarpées;
- formes d'érosion sous-marine variées.

Ce cadre morphologique permet de proposer un modèle de formation de la Baie des Angés avec les étapes suivantes:

Au cours du *Miocène*, on assiste à l'érosion du substratum de ce qui deviendra la Baie des Angés. Cette

phase d'érosion pontienne est contemporaine ou légèrement antérieure au phénomène de subsidence généralisée de cette région. Cette subsidence de la marge serait induite par l'approfondissement du bassin par déficit thermique.

Au *Pliocène* et durant une *partie du Quaternaire*, l'érosion aérienne importante du domaine alpin et provençal conduit à l'édification d'un delta sous-marin puissant. Ce delta devait constituer un prisme sédimentaire dont la puissance dépassait 1 000 m d'épaisseur et s'étendant en un vaste ensemble de la ride du Cap d'Antibes à la ride du Cap Ferrat.

Au *Pléistocène* ou plus tôt dans le Quaternaire, on assiste à un ralentissement de la sédimentation. Les processus érosifs dominant et ravinent le paysage deltaïque antérieur.

D'anciennes vallées sous-marines deviennent fossiles comme dans le prisme central. L'accumulation sédimentaire dans leur lit peut être affectée de glissements en masse occasionnels. Ces glissements ravinent la base des pentes, ce qui favorisera les éboulements latéraux et en tête de canyon, d'où la pérennité du phénomène d'érosion régressive.

A l'époque actuelle, seuls les canyons du Var et du Paillon sont des vecteurs actifs. Le canyon du Var est d'ailleurs le principal agent d'évacuation des sédiments vers le large, car le canyon du Paillon montre deux ruptures de pente significatives au niveau de sa convergence avec le canyon du Var. Cette observation du canyon du Paillon en position de « vallée suspendue » suggère une phase actuelle de « fossilisation » de ce canyon. Par contre, au niveau de la convergence des deux canyons, le Var semble avoir érodé jusqu'au substratum en entaillant même celui-ci (banquettes observées).

Cette érosion régressive affecte également l'éventail sédimentaire côtier qui est miné à sa base au niveau des vallées actives et fossiles et qui n'est plus nourri par les sédiments du Var.

Remerciements

S. Monti et D. Carré ont réalisé le montage et la compilation de la carte « Seabeam ». M. Genesseeux, A. Mauffret et S. Grimaud ont participé à la campagne de levés. Cette campagne de cartographie a été réalisée par le N.O. « Jean Charcot » commandé par G. Paquet. N. Guillo a effectué la frappe du manuscrit.

RÉFÉRENCES

Bellaiche G., Coumes F., Irr F., Roure F., Vanney J. R., 1978. Structure des canyons sous-marins provençaux. Sédimentation, diagenèse et érosion pendant le Quaternaire, *C. R. Acad. Sci. Paris*, sér. D, **286**, 1779.

Bourcart J., Genesseeux M., Klimek F., 1960. Écoulements profonds de sables et de galets dans la grande vallée sous-marine de Nice, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **250**, 3761-3765.

Genesseeux M., 1966. Prospection photographique des canyons sous-marins du Var et du Paillon (Alpes Maritimes) au moyen de la troïka, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, **8**, 1, 3-38.

Genesseeux M., Le Calvez Y., 1960. Affleurement sous-marin de vases pliocènes dans la Baie des Anges (Nice), *C. R. Acad. Sci. Paris*, **251**, 2064-2066.

Genesseeux M., Mauffret A., Pautot G., 1980. Les glissements sous-marins de la pente continentale niçoise et la rupture de câbles en mer Ligure (Méditerranée occidentale), *C. R. Acad. Sci. Paris*, sér. D, **290**, 959.

Musée Océanographique de Monaco, 1969. Carte bathymétrique de la mer Ligure entre les côtes de Provence et de Corse, échelle 1/50 000.

Pautot G., 1968. Étude géodynamique de la pente continentale au large de Cannes et Antibes, *Bull. Soc. géol. Fr.*, sér. 7, **10**, 253-260.

Pautot G., 1969. Étude géodynamique de la marge continentale au large de l'Estérel, *Thèse Doct., Univ. Paris*.

Pautot G., 1971. Résultats de la campagne de flexo-électro-carottage en Méditerranée nord-occidentale, Publ. CNEXO, Série : résultats des campagnes à la mer, n° 2, 1971, 516 p.

Renard V., Allenou J. P., 1979. Sea-Beam, multi-beam echo-sounding in "Jean Charcot"; description, evaluation and first results, *Inter. Hydrogr. Rev. Monaco*, **LVI**, 1, January 1979, 35-67.

Roure F., Monti S., Le Lann A., 1978. Campagne Estocade submersible Cyana, 4-26 août 1976, Publ. CNEXO, série : résultats des campagnes à la mer, n° 14.

Géologie des marges continentales/Geology of continental margins

- O. Eldholm, L. Montadert, *The main types of passive margins: an introduction.*
- J. A. Grow, R. E. Sheridan, *Structure and evolution of the US Atlantic continental margin.*
- K. Hinz, H. Dostmann, J. Fritsch, *The continental margin of Morocco: seismic sequences, structural elements and the geological development.*
- M. Talwani, J. Mutter, O. Eldholm, *The initiation of opening of the Norwegian Sea.*
- J. Hardenbol, P. R. Vail, J. Ferrer, *Interpreting paleoenvironments, subsidence history and sea-level changes of passive margins from seismic and biostratigraphy.*
- J. S. Schlee, L. F. Jansa, *The paleoenvironment and development of the eastern North-American continental margin.*
- T. S. Loutit, J. P. Kennett, *Australasian Cenozoic sedimentary cycles, global sea level changes and the deep-sea sedimentary record.*
- J. Thiede, *Late Mesozoic and Cenozoic sedimentation along oceanic island margins: analog to continental margins.*
- S. W. Petters, *Paleoenvironments of the Gulf of Guinea.*
- A. W. Bally, D. Bernoulli, G. A. Davis, L. Montadert, *Listric normal faults.*
- D. A. Falvey, M. F. Middleton, *Passive continental margins: evidence for a prebreakup deep crustal metamorphic subsidence mechanism.*
- R. Meissner, *Passive margin development. A consequence of specific convection patterns in a variable viscosity upper mantle.*
- C. E. Keen, C. Beaumont, R. Boutilier, *Preliminary results from a thermo-mechanical model for the evolution of Atlantic-type continental margins.*
- R. T. Buffler, F. J. Shaub, R. Huerta, A. B. Ibrahim, J. S. Watkins, *A model for the early evolution of the Gulf of Mexico Basin.*
- J. C. Crowell, *Juncture of San Andreas transform system and Gulf of California rift.*
- A. B. Watts, M. S. Steckler, *Subsidence and tectonics of Atlantic-type continental margins.*
- J. R. Cochran, *Simple models of diffuse extension and the pre-seafloor spreading development of the continental margin of the Northeastern Gulf of Aden.*
- E. V. Artyushkov, *Mechanism of formation of active margins.*
- R. von Huene, *Introduction to papers presented at the Geology of continental margins symposium (active margins section), International Geological Congress, Paris 1980.*
- M. G. Langseth, R. von Huene, N. Nasu, H. Okada, *Subsidence of the Japan Trench forearc region of Northern Honshu.*
- G. deV. Klein, K. Kobayashi, *Geological summary of the Shikoku Basin and northwestern Philippine Sea, Leg 58, DSDP/IPOD drilling results.*
- J. S. Watkins, J. C. Moore, T. H. Shipley, S. B. Bachman, F. W. Beghtel, A. Butt, B. M. Didyk, J. K. Leggett, N. Lundberg, K. J. McMillen, N. Niitsuma, L. E. Shepherd, J. F. Stephan, H. Stradner, *Accretion, underplating, subduction and tectonic evolution Middle America Trench, Southern Mexico: results from DSDP Leg 66.*
- Y. Ida, *Thermal circulation of partial melt and volcanism behind trenches.*
- E. V. Artyushkov, *Physical origin of crustal movements on passive margins.*
- E. Honza, *Subduction and accretion in the Japan Trench.*
- R. C. Speed, *Geology of Barbados: implications for an accretionary origin.*
- M. C. Blake Jr., A. S. Jayko, D. G. Howell, *Geology of a subduction complex in the Franciscan assemblage of Northern California.*
- X. Le Pichon, P. Huchon, J. Angelier, N. Lybéris, J. Boulin, D. Bureau, J.-P. Cadet, J. Dercourt, G. Glaçon, H. Got, D. Karig, J. Mascle, L.-E. Ricou, F. Thiébaud, *Active tectonics in the Hellenic Trench.*
- J. Aubouin, R. Blanchet, *Subduction and tectonics: discussion on the results of the IPOD program in active margins.*
- J. Aubouin, R. von Huene, J. Azema, G. Blackinton, J. A. Carter, W. T. Coulbourn, D. S. Cowan, J. A. Curiale, C. A. Dengo, R. W. Faas, W. Harrison, R. Hesse, D. M. Hussong, J. W. Ladd, N. Muzylov, T. Shiki, P. R. Thompson, J. Westberg, *A summary of Deep Sea Drilling Project Leg 67. Shipboard results from the Mid-America Trench transect off Guatemala.*
- R. B. Scott, L. Kroenke, *Periodicity of remnant arcs and back-arc basins of the South Philippine Sea.*
- R. von Huene, S. Uyeda, *A summary of results from the IPOD transects across the Japan, Mariana, and Middle-America convergent margins.*
- D. M. Hussong, S. Uyeda, *Tectonics in the Mariana arc: results of recent studies, including DSDP Leg 60.*

COLLOQUE C₄

Géologie des océans/Geology of oceans

- R. C. Searle, A. S. Laughton, *Fine-scale sonar study of tectonics and volcanism on the Reykjanes Ridge.*
- C. Rangin, J. Francheteau, *Fine scale morphological and structural analysis of the East Pacific Rise, 21°N (Rita project).*
- C. R. B. Lister, *Rock and water histories during sub-oceanic hydrothermal events.*
- D. S. Cronan, S. P. Varnavas, *Hydrothermal and dissolution related geochemical variations in sediments from an East Pacific Rise fracture zone at 9°S.*
- J. B. Corliss, J. A. Baross, S. E. Hoffman, *Submarine hydrothermal systems: a probable site for the origin of life.*
- B. U. Haq, *Paleogene paleoceanography: Early Cenozoic oceans revisited.*
- M. A. Arthur, H. C. Jenkyns, *Phosphorites and paleoceanography.*
- B. Tissot, R. Pelet, *Sources and fate of organic matter in ocean sediments.*
- M. Silberman, *Biosiliceous sedimentation, radiolarite periods and silica budget fluctuations.*
- H. Chamley, *Long-term trends in clay deposition in the ocean.*
- J. M. Gieskes, J. R. Lawrence, *Geochemical significance of diagenetic reactions in ocean sediments: an evaluation of interstitial water data.*
- K. J. Hsü, *Origin of geochemical anomaly at Cretaceous-Tertiary boundary. Asteroid or cometary impact?*
- P. Vogt, C. Bernero, L. Kovacs, P. Taylor, *Structure and plate tectonic evolution of the marine Arctic as revealed by aeromagnetism.*
- W. W. Hay, *Sedimentological and geochemical trends resulting from the breakup of Pangaea.*
- W. H. Berger, E. Vincent, *Chemostratigraphy and biostratigraphic correlation exercises in systemic stratigraphy.*