

## Signification géodynamique des calcaires de plate-forme en cours de subduction sous l'arc des Nouvelles-Hébrides (sud-ouest de l'Océan Pacifique)

LUCIEN MONTAGGIONI, Jacques BUTTERLIN, Georgette GLAÇON, Jean-Yves COLLOT, Michel MONZIER, Bernard PELLETIER, Jean BOULIN, Serge LALLEMAND, Jacques DANIEL, Gérard FAURE, Agnès LAURIAT-RAGE, Marie-Thérèse VÈNEC-PEYRÉ, Alphonse BLONDEAU, Pierre LOZOUET, Jean VACELET et Jean-François BABINOT

*Résumé* — L'analyse de carbonates issus de la fosse des Nouvelles-Hébrides a permis de reconnaître trois périodes favorables au développement de plates-formes (Éocène supérieur, Oligocène supérieur-Miocène inférieur, Mio-Pliocène-Quaternaire) contrôlé par l'eustatisme et la tectonique.

### Geodynamical significance of platform carbonates subducting beneath the New-Hebrides island arc (South-West Pacific)

*Abstract* — The analysis of carbonates from New Hebrides Trench shows that three main episodes of shallow water carbonate deposition occurred during Late Eocene, Late Oligocene-Early Miocene, Mio-Pliocene-Quaternary, controlled by eustatism and tectonics.

*Abridged English Version* — INTRODUCTION. — The SUBPSO 1 dives allowed ancient platform carbonates, locally with hemipelagic carbonates ([1], [2]), on the slopes of the New-Hebrides (NH) Trench (Fig. 1) to be collected. Additional samples come from 2 dredging cruises (SEAPSO 1, MUSORSTOM 6).

FACIES AND BIOSTRATIGRAPHY. — 1. *Carbonates from the Bougainville seamount.* — Along the southern flank, collection of well-preserved to altered, grainstones or packstones [3], with corals and benthic foraminiferal assemblages of Late Oligocene-Early Miocene, Miocene-Early Pliocene. Along the eastern flank, collection of partially altered to well preserved, reef [4] material, containing Mid-Miocene to Mio-Pliocene foraminifera, and locally exhibiting macroborings infilled with Pliocene planktonic foraminiferal-Pteropod mudstones [3]. The presence of dissolved Pteropod shells indicates that the associated reef exposures have moved downward to an environment close to the aragonite compensation depth (ACD). — 2. *Carbonates from the eastern slope of the New-Hebrides trench.* — At base, collection of sandstones rich in Late Eocene-Early Oligocene benthic foraminifera, undatable forereef carbonates enclosing post-Middle Miocene *Globorotalia* oozes; they unconformably overlie mixed carbonates containing Oligocene nannofossils [5] and Late Eocene-Early Miocene reef foraminifera, thereby indicating reworking during Miocene or later. Upward, collection of nannofossil-bearing sandstones of Late Early Pliocene [6], deep forereef mudstones [7] of Pliocene age, then Early Miocene rhodolite packstones, totally devoid of coral grains. — 3. *Carbonates from the eastern flank of the loyalty ridge.* — At base, sampling of altered, reef carbonates containing Eocene-Miocene-Pliocene foraminifera, and Mio-Pliocene rhodolites. At top, collection of Early Miocene to Plio-Pleistocene shore-deposited material, mixed with Plio-Pleistocene pelagic sediments.

PLATFORM DEVELOPMENT, DIAGENESIS AND TECTONICS. — 1. *Late diagenesis.* — The alteration, *i.e.* partial or total solution of aragonite elements, neomorphism of metastable carbonate

Note présentée par Jean DERCOURT.

components, intragranular precipitation of sparry calcite, affects platform and hemipelagic carbonates, irrespective of depth, limit of the local ACD [8] and age of deposition. This strongly suggests that diagenesis is non-marine. — 2. *Platform development*. — The platforms initiated at least during Early Oligocene, along volcanic chains ([13], [14]). They developed until Plio-Pleistocene, interrupted by hiatus in Early Oligocene, Mid-Miocene and Plio-Pleistocene times. The earlier hiatus is ascribed to the low sea stands [15], dated about 35 Ma ([11], [12]), in disagreement with Haq *et al.* curves [23]. The second hiatus, well documented in the Pacific ocean ([11], [16] to [22]), is related to a global sea retreat [23]. During the Mid-Late Miocene, rhodolite-covered bottoms flourished, probably indicating a sea surface cooling ([15], [25]). Reef recolonization occurred in Pliocene, in relation to a sea level rise [26]. The later hiatus is partly ascribed to an uplift of the Australian-Indian plate subducting under the NH arc [27], which occurred between 2.2 and 0.5 Ma — tectonics. In addition to uplift, the platforms have mainly undergone subsidence motions, at rates of 200-300 to 500-900 m/Ma since the Late-Miocene.

CONCLUSIONS. — The Bougainville seamount is overtopped by shallow-water carbonates of Late Oligocene age or older. The eastern flank of the NH trench exhibits Oligocene platform carbonates, reworking Late Eocene reef deposits. The platform development occurred from Late Eocene to Plio-Pleistocene, interrupted by major low sea stands or tectonic uplift. Subsidence is operating since the Late Miocene.

INTRODUCTION. — Quatre plongées SUBPSOI du *Nautilé* ([1], [2]) ont mis en évidence, dans les murs externe et interne de la fosse des Nouvelles-Hébrides, des calcaires de plate-forme, localement associés à des calcaires hémipélagiques (*fig. 1*) : au sommet et sur le flanc oriental du guyot de Bougainville (plongées 5 et 6); sur le flanc oriental de la ride des Loyauté (plongées 8 et 12); sur le flanc oriental de la fosse des Nouvelles-Hébrides (plongées 5 et 6). Ces prélèvements ont été complétés par des dragages sur le flanc sud du guyot de Bougainville (SEAPSOI, 1985) et au large des Iles Loyauté (MUSORSTOM 6, 1989). L'objet de la présente Note est de discuter les conditions de la mise en place et de l'évolution diagenétique et structurale de ces carbonates.

A. FACIOLOGIE ET BIOSTRATIGRAPHIE. — 1. *Les calcaires du guyot de Bougainville*. — *Ceux du flanc sud*. — Entre -3 650 et -3 320 m, ont été dragués des packstones [3] de pente récifale [4], à *Cycloclypeus* sp., *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) sp. cf. *L. (N) verbeeki*, de l'Oligocène supérieur-Miocène inférieur et des fragments du Scléactiniaire *Platygyra daedalea*, qui vit actuellement entre 0 et -15 m. Ce matériel est très diagenétisé. Entre -2 800 et -2 300 m, ont été dragués un calcaire récifal à foraminifères d'âge Miocène-Pliocène inférieur (*Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *rutteni*), une brèche volcanique à *Lepidocyclina* (*Eulepidina*) cf. *planata*, de l'Oligocène supérieur-Miocène inférieur et un fragment du Scléactiniaire *Leptastrea*, d'âge Oligocène à Actuel. Entre -2 100 et -1 800 m, ont été dragués des grainstones [3] à corallines et des packstones de pente récifale [4], affectés par une diagenèse modérée. — *Ceux du flanc oriental*. A -2 295 et à -2 082 m (plongée 5), ont été récoltés des fragments de Scléactiniaires, d'âge indéterminé. A -2 084 m (plongée 5), ont été récoltés des grainstones et wackestones [3] de platier récifal [4] partiellement diagenétisés, qui renferment les foraminifères *Planorbullinella larvata* et *Sphaerogypsina* sp., d'âge Miocène moyen à Actuel. A -1 676 m (plongée 6), au pied d'entablements caractéristiques d'un front récifal [4], des blocs

éboulés, non diagénétisés, ont livré *Cycloclypeus* sp., *Operculina* sp. cf. *complanata*, du Mio-Pliocène. Ils présentent des bioperforations colmatées par des mudstones [3] hémipélagiques à *Sphaeroidinella dehiscens*, *Globorotalia tumida* et *Globigerinoides extremus* dont l'association est caractéristique du Pliocène. Ces mudstones renferment des coquilles bien conservées de Ptéropodes à paroi aragonitique prismatique (*Limacina* sp.), avec quelques vestiges d'espèces déroulées, moins résistantes à la dissolution [5]. L'association de blocs d'origine récifale et de mudstones hémipélagiques indique clairement que les récifs considérés ont été entraînés dans un domaine sédimentaire dont la profondeur était proche de la profondeur de compensation de l'aragonite (ACD).

2. *Les calcaires du flanc oriental de la fosse des Nouvelles-Hébrides.* — Sur la transversale du guyot de Bougainville, à - 2 327 m (plongée 5), a été récolté un grès volcanoclastique, à *Nummulites subglobosus*, d'âge Éocène supérieur (Priabonien) à Oligocène inférieur. A - 2 059 m (plongée 5) ont été récoltés des calcaires de pente récifale [4] non datés. Ces calcaires présentent des cavités colmatées par des sédiments hémipélagiques à *Globorotalia tosaensis* dextres et à *G. tumida* senestres d'âge post-Pliocène inférieur et reposent par contact tectonique sur des niveaux à nannofossiles de l'Oligocène (zone NP 21) [5] et à foraminifères récifaux (*Spiroclypeus vermicularis*, *Asterocyclina praecipua*, de l'Éocène supérieur; *Spiroclypeus margaritatus*, du Chattien-Burdigalien), ce qui peut être considérée comme le résultat d'un remaniement d'âge Oligo-Miocène ou plus récent. A - 1 905 m (plongée 5), ont été récoltés des grès à nannofossiles du Pliocène inférieur terminal et du Pléistocène (NN21) [6]. A - 1 620 m (plongée 6), ont été rencontrés des mudstones d'avant-récif [7] piégeant des nannofossiles du Miocène supérieur-Pliocène inférieur [6] et l'association à *Globorotalia spiralo-coniques* (? *G. margaritae*) et à *Sphaeroidinella* (? *S. immatura*) dont l'âge est plutôt Pliocène. De - 1 240 m (plongée 6), a été remonté un packstone à rhodolithes, du Miocène inférieur, renfermant *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *sumatrensis*, *Spiroclypeus* sp. cf. *S. tidoenganensis*, *Heterostegina* sp. et *Miogypsina* sp., en l'absence de tout élément corallien.

3. *Les calcaires du flanc oriental de la ride des Loyauté.* — A - 4 656 m (plongée 12), ont été prélevés des calcaires de front récifal [4] très diagénétisés, riches en foraminifères variés (*Halkyardia* sp., Éocène-Oligocène; *Operculina* sp. cf. *complanata*, *Amphistegina* sp., Aquitani-Pliocène), ce qui témoigne de remaniements en milieu néritique. A - 4 482 m (plongée 8), a été prélevée une rhodolithe à corallines et bryozoaires, probablement issue des calcaires algaires en place entre - 4 300 et - 3 700 m. Les éléments coralliens font totalement défaut, même à l'état de moules. A - 4 363 m (plongée 8), a été observé un banc interstratifié avec des volcanites, fait de grainstones fortement diagénétisés, à corallines, bryozoaires, victoriellinés et rhodolithes, piégeant les foraminifères *Cycloclypeus* sp., *Heterostegina depressa* et *Amphistegina* sp. du Mio-Pliocène. Entre - 800 et - 340 m, ont été dragués des calcaires de front récifal [4]. A - 800 m, un grainstone à corallines, *Halimeda*, rares foraminifères planctoniques (*Globigerinoides* sp.) et ptéropodes (*Creseis*) contient une faune littorale d'âge Plio-Quaternaire à *Cycloclypeus* sp. cf. *carpenteri*, et bivalves *Trachycardium* et *Lima* (*L.*) *lima*. A - 340 m, un packstone/grainstone d'aspect frais a livré des gastéropodes *Triphoridae*, *Marginellidae*, *Pyramidellidae*, et un bivalve *Chlamys* sp. A - 502 m, ont été dragués des packstones/wackestones de pente récifale [4]. Ces roches, non diagénétisées, ont livré *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *sumatrensis*, *L. (N) parva* et *Cycloclypeus annulatus* (Miocène inférieur) et comportent des cavités colmatées par une boue à *Sphaeroidinella* sp., *Orbulina*, *Globigerinoides* sp., *Globigerinella* et *Globorotalia* « scituliformes », du Plio-Quaternaire.

A -490 m, a été draguée une roche relativement altérée, faite de l'association d'un wackestone de type corallal à *Cycloclypeus* sp., *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) sp., *L. (Eulepidina)* sp. et *Amphistegina* sp., d'âge Oligocène supérieur-Miocène inférieur, et d'un mudstone hémipélagique à *Orbulina universa*, *Pulleniatina* sp., *Globigerinoides* sp. et *Sphaeroidinella* sp., d'âge post-Miocène supérieur. Cette roche résulte manifestement d'un mélange, réalisé à la suite de l'éboulement du matériel benthique déjà induré, dans une boue hémipélagique. Son altération est postérieure à la constitution du mélange et à sa lithification.

B. ÉDIFICATION, ÉVOLUTION DIAGÉNÉTIQUE ET STRUCTURALE. — 1. *Diagenèse*. — Il s'agit d'une diagenèse tardive qui se manifeste par dissolution et calcitisation des composants aragonitiques, et par précipitation intergranulaire de sparites calcitiques, à la fois dans les calcaires de plate-forme et les calcaires hémipélagiques associés. Cette diagenèse affecte des roches actuellement situés vers -490 m, profondeur nettement inférieure à l'ACD qui se situe, dans ces régions, autour de -1 100 m [8], tandis que d'autres calcaires, entre 1 600 et plus de 4 000 m de profondeur, ne présentent aucun indice d'altération. Par ailleurs, des roches récifales du Plio-Pléistocène sont intensément diagénétisées, alors que d'autres, d'âge Éocène-Oligocène, sont encore bien conservées. Force est donc d'admettre que la diagenèse tardive n'a dépendu ni de la profondeur de dépôt des calcaires, ni de la durée présumée de leur maintien en milieu marin. Elle s'est essentiellement développée hors du milieu marin en zone météorique, suite à des émerSIONS.

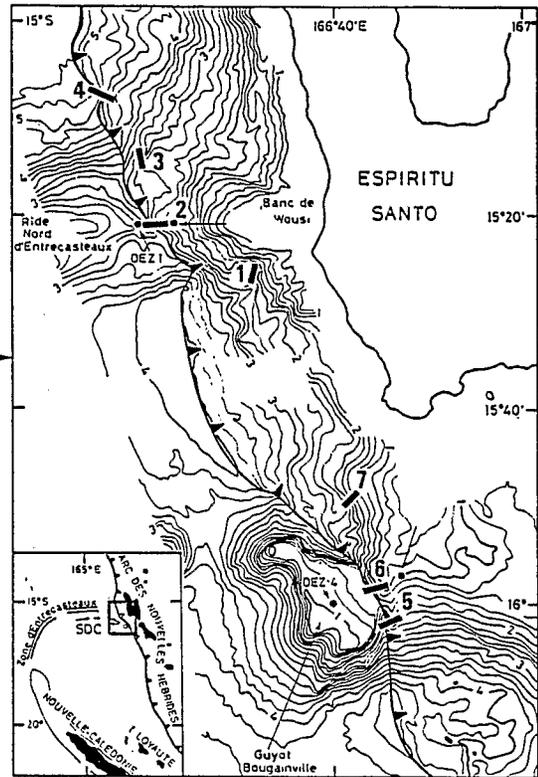
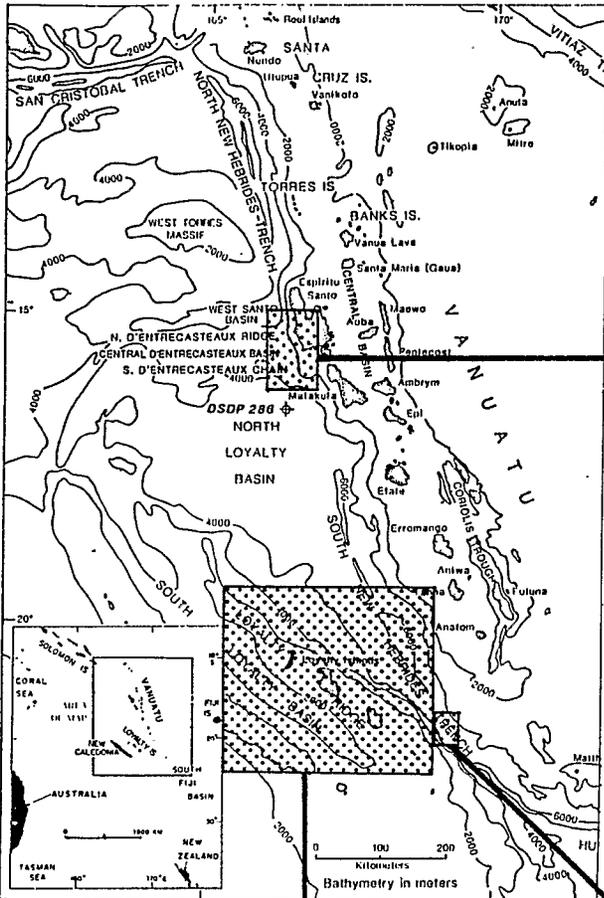
2. *Édification des plates-formes*. — Elle aurait (fig. 2) commencé, au moins, depuis l'Oligocène inférieur (Zone Tc), avec l'installation de récifs coralliens, en bordure d'alignements volcaniques embryonnaires ([13], [14]). Elle se serait prolongée, de façon discontinue, jusqu'à la fin du Pliocène et au Pléistocène, ayant été interrompue, comme dans d'autres secteurs de l'Océan Pacifique ([9] à [12]), pendant l'Oligocène inférieur, le Miocène moyen et le Plio-Pléistocène. *L'interruption de l'Oligocène inférieur* explique la diagenèse intense affectant les calcaires d'âge Éocène terminal-Oligocène inférieur du secteur d'Entrecasteaux et leur remaniement dans les formations d'âge Oligo-Miocène; elle peut être rapportée à l'émerSION corrélée avec la discontinuité reconnue dans les atolls des Marshall [11] et datée d'environ 35 Ma [12]. Elle pourrait résulter d'un abaissement glacio-eustatique de grande ampleur [15], ce qui semble infirmer l'existence du haut niveau marin évoqué par Haq et coll. [23]. *L'interruption du Miocène moyen* (Zones Tf1, N8) à *la fin du Miocène supérieur* (Zones Tf3, N18) explique la diagenèse intense qu'on subit les calcaires d'âge Oligocène supérieur-Miocène inférieur du guyot de Bougainville. Elle explique aussi que les dépôts néritiques et hémipélagiques d'âge Plio-Quaternaire de la région ne remanient aucun débris récifal du Miocène moyen-supérieur, alors que ces mêmes dépôts comportent des *débris-flows* issus d'édifices récifaux d'âge

#### EXPLICATIONS DES PLANCHES

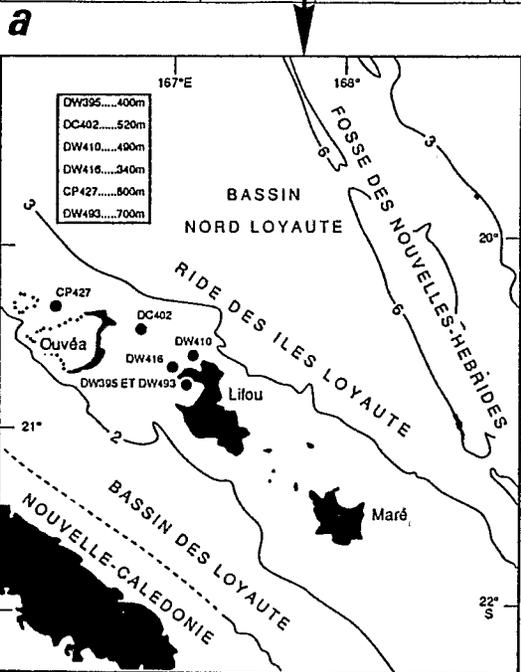
##### Planche I

Cartes bathymétriques des zones d'étude, localisation des plongées et des dragages. (a) îles des Nouvelles Hébrides (Vanuatu) et des Loyauté et structures marines environnantes; (b) carte bathymétrique (isobathes tous les 200 m) et localisation des plongées 1 à 7; (c) cadre géodynamique des îles Loyauté et localisation des dragages; (d) localisation des plongées 8, 9, 11 et 12; isobathes tous les 100 m; NH = Nouvelles-Hébrides.

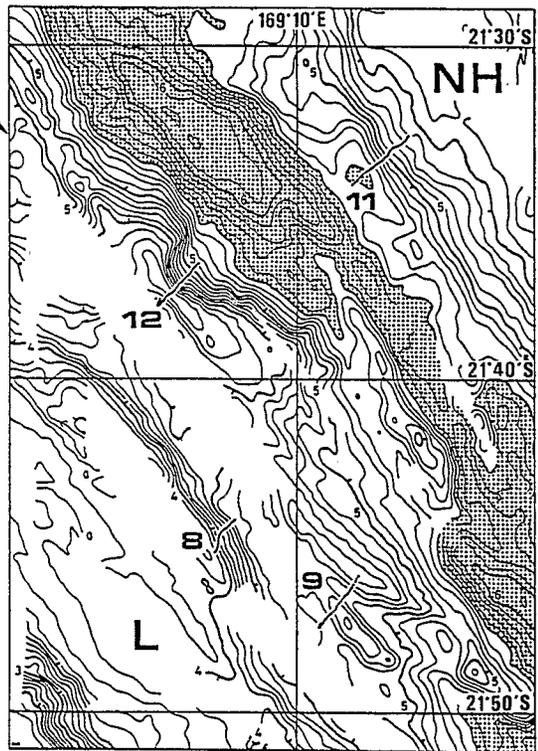
*Bathymetric maps of the studied areas, location of dives and dredgings. (a) New-Hebrides (Vanuatu) and Loyalty islands, and main submarine morphological structures; (b) bathymetric map (contour interval is 200 m) and location of the dives 1 to 7; (c) Geodynamic framework of the Loyalty islands and location of the dredgings; (d) location of the dives 8, 9, 11 and 12, contour interval is 100 m. NH = New-Hebrides.*



*b*

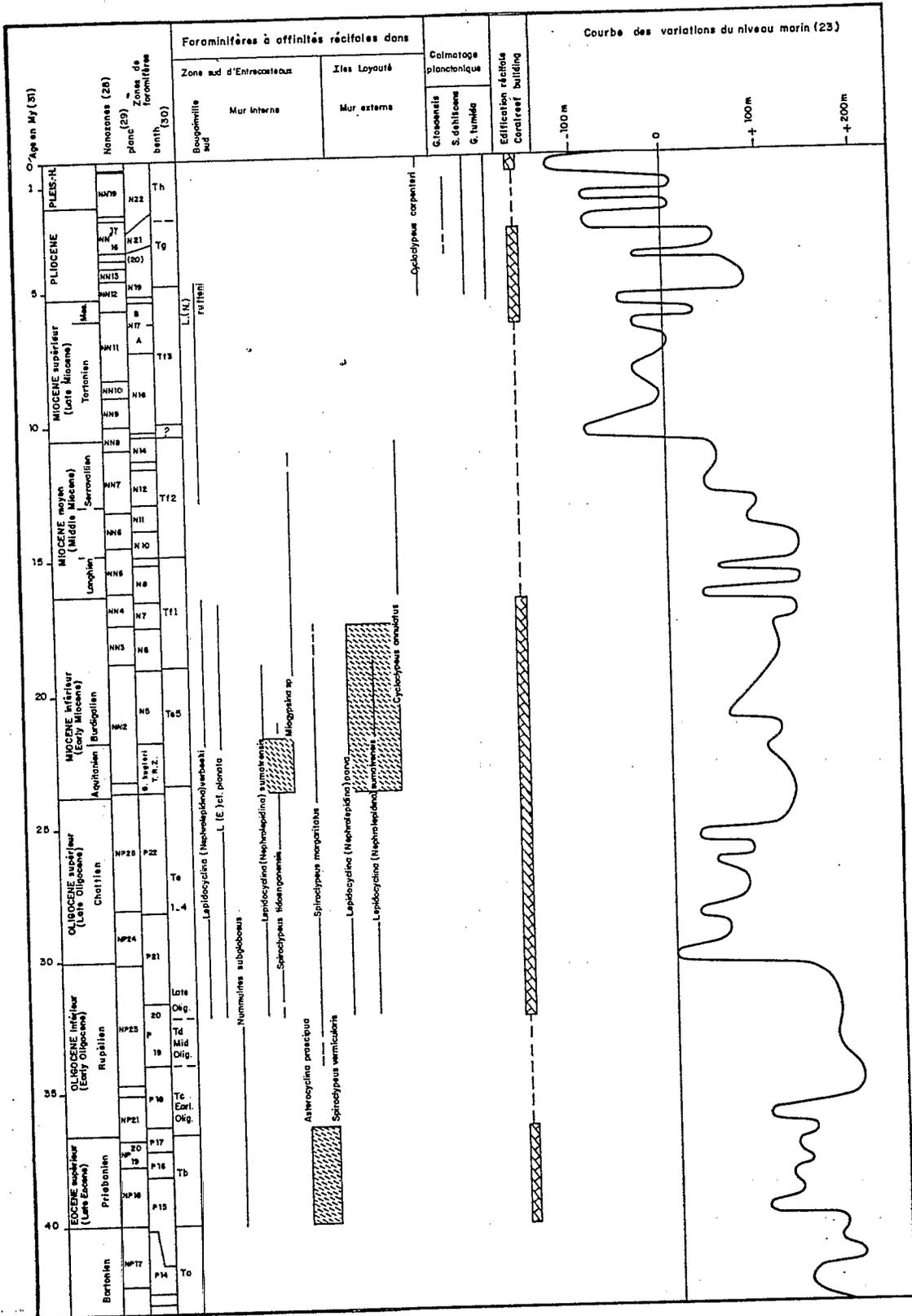


*c*



*d*

PLANCHE II / PLATE II



## Planche II

Histoire des plates-formes carbonatées subductant sous l'arc des Nouvelles-Hébrides. Chronostratigraphie : biozones de nanofossiles [29], de foraminifères planctoniques [30] et benthiques [31], corrélés aux âges magnétiques [32]; courbe de variations du niveau marin [23].

*History of the carbonate platform subducting beneath the New-Hebrides island arc. Chronostratigraphy: nanozones [29], planktonic and benthic foraminiferal zones [30] and [31] calibrated on a paleomagnetic time-scale [32]; sea level curve [23].*

Éocène supérieur-Miocène basal et d'âge Mio-Pliocène. Ce hiatus, connu dans l'ensemble de l'Océan Pacifique tropical ([11], [16] à [22]), peut être rapporté au retrait eustatique qu'enregistre la courbe de Haq et coll. [23] pour le Miocène moyen-supérieur. Au Mio-Pliocène, dans le secteur des Loyauté, s'individualisent des fonds coralligènes, au sens de Pérès [24], riches en rhodolithes. Ces faciès sont probablement à rapprocher des niveaux à rhodolithes décrits sur certaines îles de l'Océan Pacifique tropical [25], où ils sont considérés comme les indicateurs d'un refroidissement des eaux océaniques superficielles, intervenu au cours du Miocène moyen-supérieur ([15], [25]). L'édification récifale reprend pendant le Pliocène, suite probablement à une remontée eustatique [26]. *L'interruption survenue pendant le Plio-Pléistocène* explique la présence de figures de diagenèse météorique, à la fois dans les formations récifales du Pliocène et dans les sédiments planctoniques qui, au moins à partir du Pliocène inférieur, ont colmaté ces formations. Cette interruption peut être rapportée à une émergence qui serait, dans le secteur d'Entrecasteaux-Loyauté, d'origine tectonique et liée au bombement actif que présente, à l'avant de l'arc des Nouvelles-Hébrides, la plaque Australo-Indienne en cours de subduction [27]. Elle serait intervenue lorsque le guyot de Bougainville eut atteint le faite de ce bombement, entre -2,2 et -0,5 Ma [27].

3. *Évolution structurale.* — Elle se manifeste à la fois par la surrection de la ride des Loyauté-Chaîne d'Entrecasteaux et par la subsidence des calcaires du guyot de Bougainville et du flanc oriental de la ride des Loyauté. Cette subsidence explique que : (1) les calcaires récifaux d'âge Mio-Pliocène du guyot de Bougainville aient été observés autour de -1 676 m, en milieu actuellement hémipélagique et au-dessous de l'ACD. Ce guyot s'est ainsi enfoncé depuis le Miocène supérieur à une vitesse moyenne de 200 à 300 m/Ma, franchissant l'ACD vers la limite Pliocène inférieur-supérieur; (2) plus au Sud, le flanc oriental de la ride des Loyauté s'est enfoncé depuis le Miocène supérieur à une vitesse moyenne de 500 à 900 m/Ma. De même que sa surrection au Plio-Pléistocène, la subsidence récente du guyot de Bougainville est, à l'évidence, une conséquence de cette subduction.

CONCLUSIONS. — Le guyot de Bougainville et la ride des Loyauté portent des calcaires de plate-forme d'âge Oligocène supérieur ou plus ancien. Le flanc oriental de la fosse présente aussi des calcaires de plate-forme d'âge Oligocène, qui en remanient d'autres de l'Éocène supérieur. L'édification de ces plates-formes s'est poursuivie de l'Éocène supérieur au Plio-Pléistocène, a été interrompue pendant l'Oligocène inférieur et le Miocène moyen-supérieur, en relation avec des changements climatiques, puis pendant le Plio-Pléistocène, suite à une surrection tectonique. Cette surrection d'âge Plio-Pléistocène et la subsidence ayant affecté, depuis le Miocène supérieur, l'ensemble ride d'Entrecasteaux-flanc oriental des Loyauté, doivent être rapportées à la subduction toujours active de la plaque Australo-Indienne sous la plaque Pacifique au niveau de la fosse des Nouvelles-Hébrides.

Note remise le 3 décembre 1990, acceptée après révision le 25 juin 1991.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J.-Y. COLLOT, B. PELLETIER, J. BOULIN, J. DANIEL, J.-P. EISSEN, M. A. FISHER, H. G. GREENE, S. LALLEMAND et M. MONZIER, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 1947-1954.
- [2] M. MONZIER, J. BOULIN, J.-Y. COLLOT, J. DANIEL, S. LALLEMAND et B. PELLETIER, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 2069-2076.
- [3] Termes de la classification des roches carbonatées par R. J. DUNHAM, *Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Mem 1, 1962, p. 108-121.
- [4] La diagnose des diverses zones récifales repose sur la texture de la roche et la nature des associations biodétritiques : pente externe récifale (5-20 m environ) : scléracrinaires et algues corallinacées branchues (dominants), chlorophycées, *Halimeda* et bryozoaires (abondants), grands foraminifères discoïdes, foraminifères agglutinants; front récifal/platier externe : scléracrinaires, algues corallinacées encroûtantes, bryozoaires, foraminifères encroûtants (Homotrématinés, Victoriellinés), gastéropodes Vermétidés (abondants); platier au sens large : scléracrinaires, alcyonaires (spicules), mollusques, foraminifères ubiquistes (dont Amphistégines, Miliolés), échinides; arrière-récif : scléracrinaires, mollusques, corallinacées graciles, Miliolidés.
- [5] J. RAMPAL, *Thèse*, Univ. Aix-Marseille, 1975, n° C.N.R.S.-A.O. 11 932.
- [6] C. MULLER, Communication personnelle.
- [7] Zone d'avant-récif, caractérisée par des mudstones riches en spicules d'éponges : Triaenes (Tetractinellides), Sterraster (Tetractinellides (Geodiidae), Hexactinellides); profondeur de dépôt : au moins 200 m.
- [8] W. H. BERGER, *Deep Sea Res.*, 25, 1978, p. 448-452.
- [9] S. O. SCHLANGER, M. O. GARCIA, B. H. KEATING, J. J. NAUGHTON, W. W. SAGER, J. A. HAGGERTY et J. A. PHILPOTTS, *J. Geophys. Res.*, 89, B13, 1984, p. 11261-11272.
- [10] S. O. SCHLANGER, *S. E. P. M. spec. Publ.*, 32, 1981, p. 209-226.
- [11] S. O. SCHLANGER et I. PREMOLI-SILVA, *Geology*, 14, 1986, p. 392-395.
- [12] A. H. SALLER et R. R. B. KOEPNICK, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 102, 1990, p. 381-390.
- [13] D. GREENBAUM, D. I. J. MALLICK et R. D. RADFORD, *New-Hebrides Geol. Surv. Rep.*, 1975, 46 p.
- [14] P. MAILLET, M. MONZIER, M. SELO et D. STORZER, *Mar. Geol.*, 53, 1983, p. 179-197.
- [15] C. SANCETTA in J. R. HEITZLER éd., *Contributions in Oceanography*, Amer. Geophys. Union, Washington, D.C., 1987, p. 1363-1375.
- [16] K. R. LUDWIG, R. B. HALLEY, K. R. SIMMONS et Z. E. PETERMAN, *Geology*, 16, 1988, p. 173-177.
- [17] T. C. MOORE Jr, T. S. LOUTIT et S. M. GREENLEE, *Paleoceanography*, 2, 1987, p. 625-637.
- [18] J. M. LINCOLN et S. O. SCHLANGER, *Geology*, 15, 1987, p. 454-457.
- [19] J. COUDRAY, Éditions Singer-Polignac, 8, 1976, p. 1-272.
- [20] L. F. MONTAGGIONI, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 1591-1598.
- [21] J. N. CARNEY, A. MACFARLANE et D. I. J. MALLICK, in A. E. M. NAIRN, F. G. STEHLI et S. UYEDA éd., *The Ocean basins and margins*, 7A, The Pacific Ocean, 1985, p. 683-718.
- [22] C. J. PIGRAM, P. J. DAVIES, D. A. FEARY, P. A. SYMONDS et G. C. H. CHAPRONIÈRE, Communication personnelle.
- [23] B. U. HAQ, J. HARDENBOLD et P. R. VAIL, *Science*, 235, 1987, p. 1156-1167.
- [24] J. M. PERES, *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 5, 1967, p. 449-533.
- [25] F. G. BOURROUILH-LE JAN et L. C. HOTTINGER, *Sedimentary Geology*, 60, 1988, p. 355-367.
- [26] D. M. AISSAOUI, D. F. MCNEIL et J. L. KIRSCHVINK, *Earth Planetary Sci. Lett.*, 97, 1990, p. 102-112.
- [27] J. C. DUBOIS, C. DE PLUS, M. DIAMENT, J. DANIEL et J.-Y. COLLOT, *Tectonophysics*, 149, 1988, p. 111-119.
- [28] E. MARTINI, in A. FARINACCI éd., *Proceed. II Plankt. Conf.*, Roma, (1970), 1971, p. 739-785.
- [29] W. H. BLOW, in P. BRONNIMANN et H. H. RENZ éd., *Proceed Intern. Conf. Planktonic Microfossils*, Geneva, 1967, 1969, p. 199-421.
- [30] C. G. ADAMS, in N. EKEBE et R. TSUCHI éd., Univ. Tokyo Press, 1-6, p. 47-67.
- [31] W. A. BERGGREN, D. V. KENT et J. A. VAN COUVERING, in N. J. SNELLING éd., *Geol. Soc. Blackwell Sc. Publ. Oxford*, Mém. 10, p. 211-253.
- [32] H. G. GREENE, A. MACFARLANE et F. L. WONG, *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources*, Houston, Texas, 1988, p. 1-25.

L. M., G. G. et J.-F. B. : U.R.A. n° 1208, Université de Provence, 13331 Marseille 3; J. Bu. : I.P.G. de Paris, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05; J. Bo. : Géologie structurale, Université Aix-Marseille-III, Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 13 et Institut de Géodynamique, U.R.A. n° 1279, Nice-Sophia Antipolis; J.-Y. C., M. M., B. P. et J. D. : ORSTOM, B. P. A 5, Nouméa, Nouvelle Calédonie; S. L. : Géologie structurale, Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris; A. B. : 44, rue d'Aumale, 60500 Chantilly; G. F. : U.R.A. n° 1355, U.S.T.L., place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier 5; A. L.-R., M.-T. V.-P. et P. L. : M.N.H.N., 8, rue Buffon, 75005 Paris; J. V. : Station marine d'Endoume, 13007 Marseille.