

Premiers résultats des plongées *Nautile* de la campagne SUBPSO I sur la zone de collision « ride des Loyauté arc des Nouvelles-Hébrides » (Sud-Ouest Pacifique)

Michel MONZIER, Jean BOULIN, Jean-Yves COLLOT, Jacques DANIEL, Serge LALLEMAND
et Bernard PELLETIER

Résumé — Quatre plongées, réalisées sur la zone de collision « ride des Loyauté/arc des Nouvelles-Hébrides », ont permis d'observer : (1) sur la ride des Loyauté, en mur externe de la fosse, des formations volcano-détritiques basaltiques et rhyolitiques, coiffées par des calcaires récifaux, le tout intensément fracturé; (2) sur le flanc occidental de l'arc néo-hébridais, en mur interne de la fosse, une série volcano-détritique andésitique. A l'approche de la fosse, des failles normales ont découpé la ride des Loyauté, amenant les calcaires récifaux jusqu'à des profondeurs de plus de 4000 m. Enfin, la présence inhabituelle de plis déjetés vers le SW sur le mur externe, 1000 m au-dessus de la fosse, a été confirmée; ils semblent s'être développés aux dépens de matériel de la partie inférieure du flanc de la ride.

First results of SUBPSO I dives in the collision zone "Loyalty islands ridge/New Hebrides island arc" (South West Pacific)

Abstract — Four dives were conducted over the collision zone "Loyalty ridge/New Hebrides arc". On the Loyalty ridge, basaltic and rhyolitic breccias overlain by reef limestones were observed. An andesitic volcanoclastic sequence outcrops on the western flank of the New Hebrides arc. Near the trench, the Loyalty ridge has been sliced by normal faults along which the reef limestones collapsed of at least 4,000 m. The unusual existence of SW verging anticlines on the outer wall, 1,000 m above the trench, was confirmed. These folds affect rocks of the lower part of the ridge flank.

Abridged English Version — REGIONAL SETTING. — The Loyalty islands ridge (Pl. I, A and B), massive and with significant crustal root [1], supports volcanic edifices. Uplift of the ridge due to the bulge of the indo-australian plate before the New Hebrides subduction zone [2] created the Loyalty islands which are mainly composed of plio-pleistocene reef limestones [3]. Minor outcrops of alkali basalts dated of 9-11 Ma also exist on one of these islands [4]. A thin and discontinuous volcano-sedimentary sequence covers the submerged part of the ridge and the eastern adjacent oceanic basins ([5], [6]).

The indo-australian plate, which supports the Loyalty ridge, underthrusts the southern New Hebrides arc in a N75°E azimuth at a rate of 12 cm/year [7]. Near 21°40'S, a collision between a salient of the Loyalty ridge and the New Hebrides arc recently began and still amplifies [8]. In this area (Pl. I, C) the trench, unusually shallow, has been shifted 20 km towards the NE with respect to its supposed initial position and the inner wall has been uplifted (500-1,000 m). Seabeam data suggest that: (1) E-W left-lateral strike-slip faults affect the trench and the inner wall and cross-cut the NW-SE normal faults developed on the salient of the ridge; (2) folds and thrusts verging towards the SW may have locally developed on the outer wall [8].

The LNH (Loyalty/New Hebrides) collision seems to play a major role in the present-day evolution of the junction between the New Hebrides subduction and the north Fiji basin spreading axis (Pl. I, D). A wide E-W left-lateral transform zone would be developing in front of the collision, and the Matthew-Hunter microplate including the southern part of the

Note présentée par Jean AUBOUIN.

0249-6313/89/03092069 \$ 2.00 © Académie des Sciences

New Hebrides arc would be warping and going to be incorporated to the indo-australian plate ([7], [8], [9]).

THE DIVES. — Four dives were conducted by the *Nautile* in March 1989 on the LNH collision zone (*Fig.* and *Pl. II*) including three dives on the Loyalty ridge and one dive on the New Hebrides arc.

Two dives (Nos. 8 and 12) located respectively along a normal fault scarp and a large slump scar [8] indicated that the Loyalty ridge is primarily composed of fine and coarse-grained volcanic breccias including basaltic and rhyolitic elements. These breccias are affected by an unorganized fracturation and do not exhibit any clear stratification. Algae reef limestones with a thick Fe-Mn coating overly the breccias at different depths; their thickness can reach 100 m. The nature of these limestones and their occurrence at great depths (3,700-4,300 m) confirm the amplitude of the vertical offsets which have occurred at the edge of the ridge near the trench. Their occurrences at different depths suggest that several normal faults exist along the scarps.

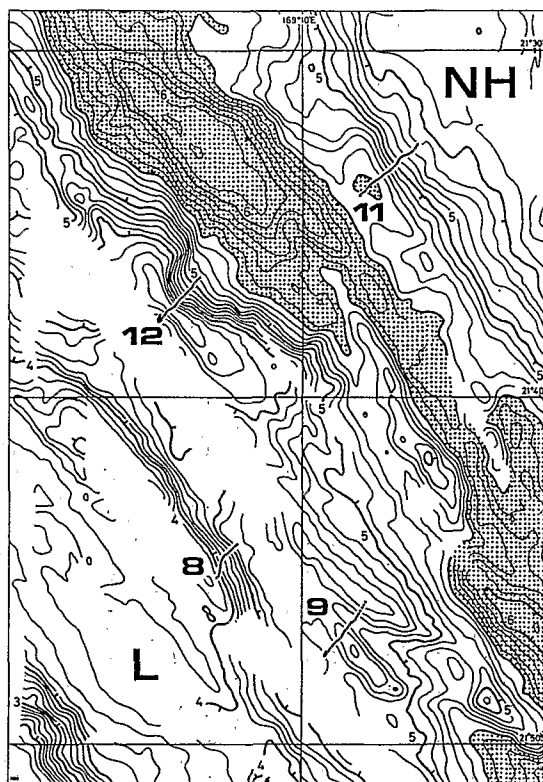
One dive (No. 9) was devoted to the study of a zone on the outer wall, which was interpreted, on the basis of morphological evidences, as a succession of folds and thrusts verging towards the SW [8]. Two formations have been recognized. The first one consists of volcanic breccias similar to those observed during dives Nos. 8 and 12; it outcrops on the steep and eroded SW flanks of the antiforms. The second formation which overlies the breccias, largely outcrops and is composed of soft and bedded white deposits. A few pieces of soft and white limestones, trapped below the *Nautile* and recovered at the surface at the end of the dive, could derive from this second formation. Dips of bedding measured in this white formation follow the topography, which indicates that the antiforms are SW verging anticlines. A NE dipping thrust fault probably emerges at the base of the SW flank of each anticline.

The objective of *the last dive (No. 11)* was to study the western flank of the New Hebrides arc just above the subducted part of the Loyalty ridge [8]. At the base of the cross-section, flat and white beds containing small black pebbles have been observed along the flanks of a metric graben developed on a wide terrace which could be the top of a Loyalty block. Above this terrace a volcano-sedimentary sequence is primarily composed of tuffs and andesitic breccias with elements ranging from 5 to 40 cm. This sequence is clearly different from those observed during the other dives. It presents an horizontal stratification and no evidence of thrust has been observed.

CONCLUSIONS. — The discovery of a basaltic and rhyolitic volcanoclastic sequence topped by thick reef limestones on the previously unsampled Loyalty ridge is one of the major results. Moreover, the occurrence of these limestones at great depths (3,700-4,300 m) emphasizes the great importance of vertical displacements which have affected the ridge in the vicinity of the New Hebrides trench. The western flank of the New Hebrides arc above the subducted part of the Loyalty ridge is composed of andesitic volcanoclastics. The unusual existence of SW verging folds on the outer wall, 10 km in front of the trench and 1 km above it, has been confirmed. These folds which affect rocks of the subducting plate most likely result from compressional tectonics related to the collision rather than gravitational tectonics.

CONTEXTE GÉODYNAMIQUE. — Dans le Sud-Ouest Pacifique, la ride des Loyauté, portée par la plaque indo-australienne, s'étend sur plus de 1 000 km, parallèlement à la Nouvelle-Calédonie et à la ride de Norfolk (*pl. I, A et B*). Son histoire et sa nature sont très mal connues. Massive et bien compensée [1], elle supporte plusieurs gros édifices volcaniques. Le bombement de la plaque indo-australienne à l'approche de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides a provoqué l'émersion des parties sommitales de ces édifices, donnant naissance aux îles Loyauté [2]. Ces îles sont essentiellement constituées par des calcaires récifaux d'âge Plio-Pléistocène [3]; les rares affleurements connus de volcanites ont fourni des basaltes alcalins âgés de 9-11 Ma [4]. Une série volcano-sédimentaire peu épaisse et irrégulière, provenant probablement des édifices volcaniques, recouvre la ride et les bassins océaniques qui la bordent à l'Est ([5], [6]).

La plaque indo-australienne plonge sous l'arc sud des Nouvelles-Hébrides à une vitesse moyenne de 12 cm/an selon une direction N75°E [7]. Vers 21°40'S, la ride des Loyauté forme un saillant obtus qui est entré récemment en collision avec le mur interne de l'arc néo-hébridais [8]; compte tenu de la géométrie des structures en présence et de la direction de convergence des plaques, le phénomène de collision tend à s'amplifier. Au droit de la collision (*pl. I, C*), la fosse, anormalement peu profonde, a été déportée d'une vingtaine de kilomètres vers le NE par rapport à son tracé initial supposé et le mur interne semble



Localisation des plongées sur un fond bathymétrique levé au sondeur multifaisceaux; isobathes tous les 100 m, courbes maîtresses en kilomètres; la zone où la profondeur excède 5 500 m est soulignée par de petits points. Cet extrait de carte correspond à la partie centrale de la planche I (C).

Detailed map showing the precise location of the dives; contour interval is 100 m, main contours are in kilometers; dotted area is below 5,500 m. This map corresponds to the central part of the Plate I (C).

avoir été soulevé de 500 à 1 000 m. La cartographie Seabeam suggère que de nombreux décrochements E-W senestres affectent la fosse et le mur interne et recourent les accidents normaux NW-SE du saillant des Loyauté. Sur le mur externe, au pied de la ride des Loyauté, un ensemble peu étendu de rides et de dépressions est interprété, d'après les données Seabeam, comme une succession de plis et chevauchements à vergence SW [8].

La collision LNH (pour Loyauté/Nouvelles-Hébrides) semble contrôler l'évolution de la jonction entre la subduction néo-hébridaise et l'axe d'expansion du bassin nord-fidjien (*pl. I, D*). Une large zone transformante E-W, senestre, serait en cours de formation au droit de cette collision tandis que la microplaque de Matthew-Hunter, comprenant le tronçon méridional de l'arc des Nouvelles-Hébrides, se déformerait et tendrait à devenir solidaire de la plaque indo-australienne ([7], [8], [9]).

DESCRIPTION DES PLONGÉES. — Sur la zone LNH, quatre plongées profondes ont été effectuées en mars 1989 à bord du *Nautilus* (*fig. et pl. II*) : trois sur le saillant des Loyauté (mur externe; plongées n^{os} 8, 9 et 12) et une sur l'arc néo-hébridais (mur interne; plongée n^o 11).

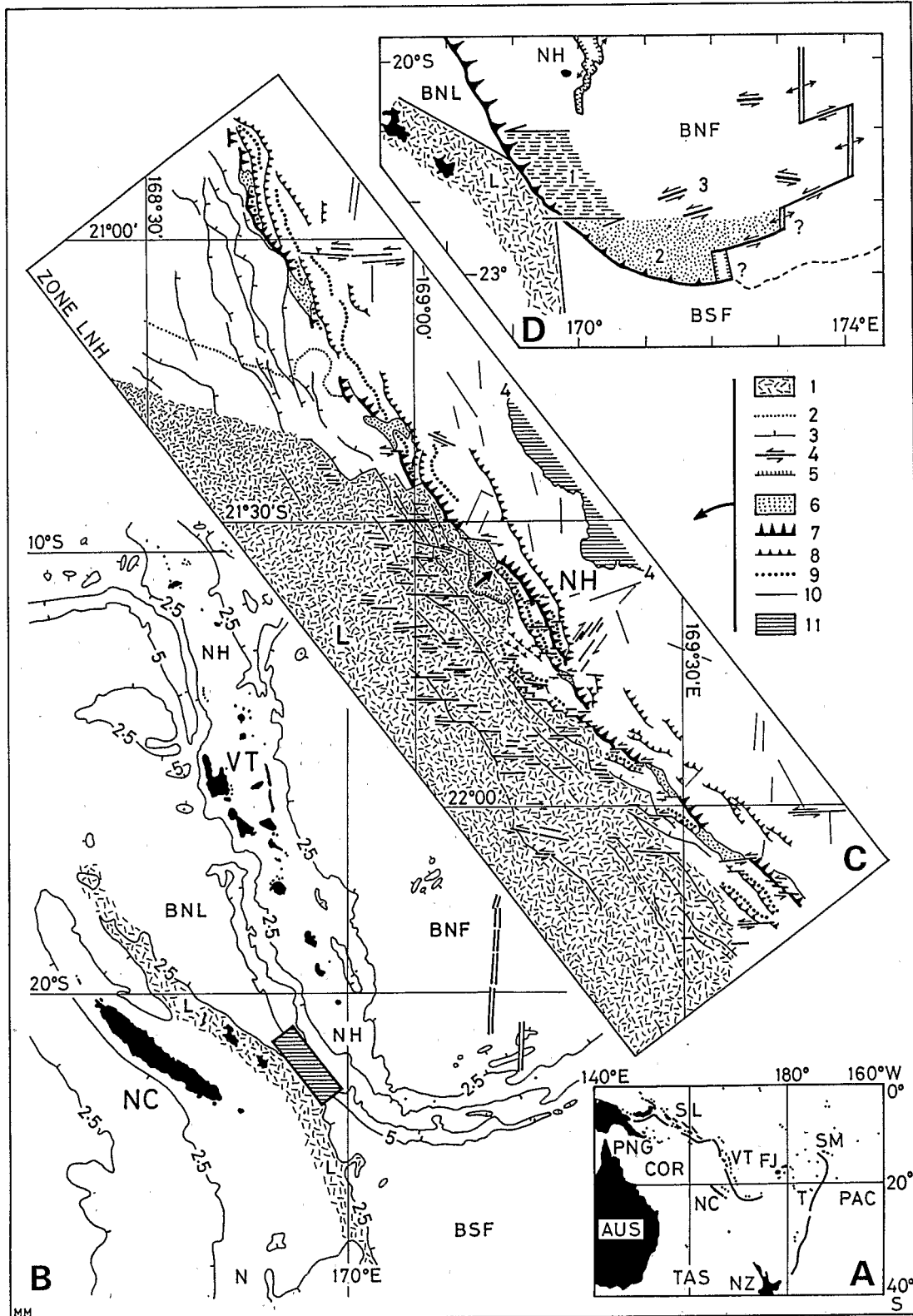
La plongée n^o 8, effectuée sur le flanc de la ride des Loyauté, le long d'un probable escarpement de faille normale haut de 900 m [8], a permis de reconnaître deux formations. La première est constituée par des brèches polygéniques à éléments volcaniques (basaltes, rhyolites) et calcaires, millimétriques à décimétriques, et par des brèches palagonitiques

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

(A) Le Pacifique Sud-Ouest : PAC=Océan Pacifique; COR=Mer du Corail; TAS=Mer de Tasman; AUS=Australie; PNG=Papouasie Nouvelle-Guinée; SL=Salomon; VT=Vanuatu; NC=Nouvelle-Calédonie; FJ=Fidji; SM=Samoa; T=Tonga; NZ=Nouvelle-Zélande. (B) La région « Nouvelle-Calédonie/Nouvelles-Hébrides » : NC=Nouvelle-Calédonie; N=ride de Norfolk; L=ride des Loyauté (figuré en tiretés); NH=arc des Nouvelles-Hébrides; VT=Vanuatu; BNL=bassin nord-Loyauté; BNF=bassin nord-fidjien; BSF=bassin sud-fidjien. Les isobathes 2,5 et 5 km sont reportés ainsi que l'axe d'expansion du BNF; la zone de collision LNH (pour Loyauté/Nouvelles-Hébrides) levée en détail au sondeur multifaisceaux lors de la campagne SEAPSOI est hachurée. (C) La collision LNH : (1) ride des Loyauté; (2) limite inférieure du flanc de la ride; (3) faille normale; (4) décrochement; (5) cicatrice de glissement en masse; (6) petit bassin sédimentaire du fond de fosse; (7) chevauchement principal en fond de fosse sud des Nouvelles-Hébrides; (8) chevauchement; (9) axe antiformal; (10) accident sur le mur interne; (11) partie du mur interne où la profondeur est inférieure à 4 000 m. (D) La collision LNH, facteur essentiel de l'évolution géodynamique actuelle de la jonction entre la subduction des NH et l'axe d'expansion du BNF : (1) zone transformante E-W senestre; (2) microplaque de Matthew-Hunter; (3) décrochements senestres actifs (mécanismes focaux) au nord de cette microplaque.

(A) *The South West Pacific*: PAC=*Pacific Ocean*; COR=*Coral Sea*; TAS=*Tasman Sea*; AUS=*Australia*; PNG=*Papua New Guinea*; SL=*Solomon*; VT=*Vanuatu*; NC=*New Caledonia*; FJ=*Fiji*; SM=*Samoa*; T=*Tonga*; NZ=*New Zealand*. (B) *The New Caledonia/New Hebrides area*: NC=*New Caledonia*; N=*Norfolk ridge*; L=*Loyalty ridge (stippled)*; NH=*New Hebrides arc*; VT=*Vanuatu*; BNL=*north Loyalty basin*; BNF=*north Fiji basin*; BSF=*south Fiji basin*. 2.5 and 5 km contours and the spreading axis of the BNF are reported; the LNH (Loyalty/New Hebrides) collision zone mapped from Seabeam (SEAPSOI cruise) is hachured. (C) *The LNH collision*: (1) *Loyalty ridge*; (2) *lower boundary of the flank of the ridge*; (3) *normal fault*; (4) *strike-slip fault*; (5) *slump scar*; (6) *small sedimentary basin at the axis of the trench*; (7) *main thrust at the deepest part of the New Hebrides trench*; (8) *thrust fault*; (9) *antiform axis*; (10) *fault on the inner wall*; (11) *part of the inner wall shallower than 4,000 m*. (D) *The LNH collision and the regional geodynamics*: (1) *E-W left-lateral transform zone*; (2) *Matthew-Hunter microplate*; (3) *left-lateral strike-slip faults from focal mechanism solutions*.



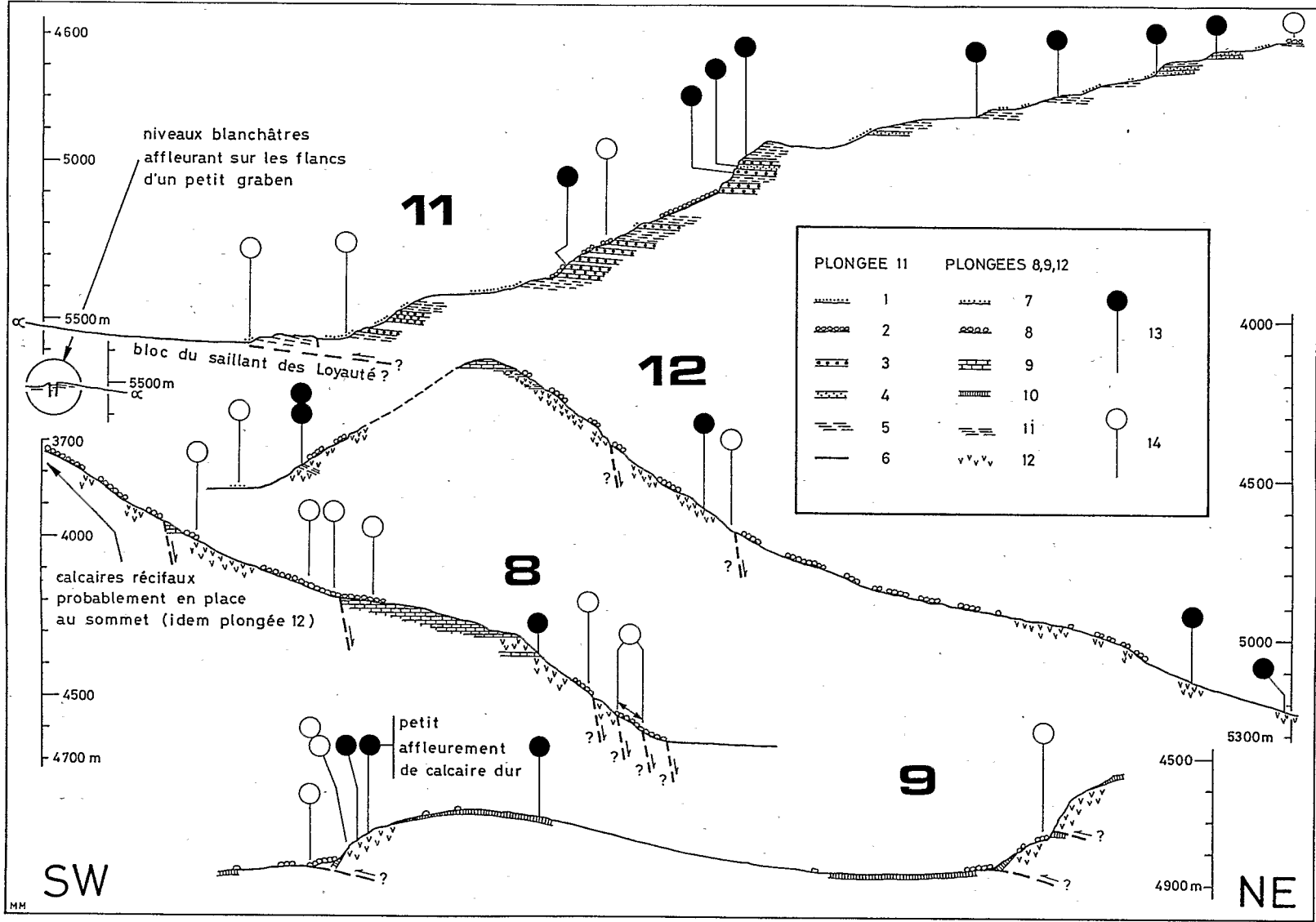


Planche II

Coupes réalisées à partir des plongées (voir localisation sur la figure). *Plongée n° 11* (mur interne) : (1) petits blocs isolés; (2) éboulis; (3) brèches à éléments andésitiques grossiers; (4) brèches à éléments andésitiques moyens; (5) tufs de couleur crème; (6) niveau de cendres noires. *Plongées n°s 8, 9 et 12* (mur externe) : (7) petits blocs isolés; (8) chaos rocheux, éboulis; (9) calcaires récifaux; (10) calcaires peu indurés; (11) hyaloclastites fines et litées; (12) brèches à éléments volcaniques, brèches palagonitiques, brèches polygéniques; (13) échantillon pris en place; (14) échantillon pris dans un éboulis.

Geologic cross-sections constructed from the dives (see location on Figure). Dive No. 11 (inner wall): (1) isolated small blocks; (2) screes; (3) breccias with coarse-grained andesitic elements; (4) breccias with andesitic elements of medium size; (5) beige tuffs; (6) black ash level; Dives Nos. 8, 9 and 12 (outer wall): (7) isolated small blocks; (8) block fields, screes; (9) reef limestones; (10) soft limestones; (11) fine-grained and bedded hyaloclastites; (12) volcanic and polygenic breccias; (13) rock sampled in situ; (14) rock sampled in screes or block fields.

fines. Ces roches ne présentent aucune stratification visible; elles sont fracturées de manière anarchique et forment à l'affleurement des chaos de blocs métriques à décamétriques légèrement encroûtés. La seconde formation correspond à des calcaires récifaux algaires fortement encroûtés, subhorizontaux et atteignant une centaine de mètres d'épaisseur au maximum. Observés à plusieurs reprises, ils reposent normalement sur la formation précédente, et affleurent sous forme de grosses dalles décamétriques et de blocs métriques, souvent légèrement basculés. La nature récifale de ces calcaires ainsi que leur présence à différentes profondeurs entre 3 700 et 4 300 m confirment l'ampleur des mouvements verticaux ayant affecté la ride et suggèrent l'existence de plusieurs failles normales le long de l'escarpement reconnu.

La plongée n° 12 avait pour cible une cicatrice d'arrachement, haute de 1 100 m, affectant le front du saillant des Loyauté [8]. Des brèches volcaniques monotones à éléments centimétriques, comparables à celles précédemment décrites, affleurent, présentant localement des intercalations métriques de hyaloclastites claires, fines et litées. Ces formations volcano-détritiques sont coiffées par des calcaires similaires à ceux reconnus lors de la plongée n° 8.

La plongée n° 9 avait pour objectif la reconnaissance d'une zone du mur externe interprétée, sur des critères morphologiques, comme un ensemble de plis et chevauchements à vergence SW [8]. Deux formations ont été observées. La première est constituée de brèches comparables à celles décrites lors des plongées n°s 8 et 12; elle affleure sur les flancs SW, raides et érodés, des deux antiformes reconnus. La seconde correspond à des dépôts blancs, tendres et lités, qui reposent sur la formation précédente et affleurent largement. Le seul indice relatif à la nature de ces dépôts consiste en quelques débris de calcaire blanc peu induré, piégés dans les infrastructures du *Nautilé*. Les pendages relevés sur cette seconde formation confirment qu'il s'agit bien d'anticlinaux déjetés vers le SW, nettement plus dissymétriques que ne le laissait prévoir la carte Seabeam. Des chevauchements à pendage NE pourraient émerger au pied des flancs SW de chaque anticlinal.

La plongée n° 11 s'est déroulée sur le mur interne de la fosse. A l'extrémité SW de la coupe, des niveaux blanchâtres, sub-horizontaux, contenant des clastes sombres centimétriques à décimétriques, ont été observés sur les flancs d'un graben métrique affectant un large replat qui pourrait correspondre au toit d'un bloc du saillant des Loyauté engagé sous le mur interne [8]. Au-dessus de ce replat, une pente irrégulière comprenant plusieurs ressauts érodés expose une série volcano-détritique composée d'alternances de tufs et de brèches à éléments andésitiques de taille moyenne (5 à 10 cm) à grossière (10 à

30-40 cm). Ces formations, nettement distinctes de celles observées durant les plongées n^{os} 8, 9 et 12, sont généralement subhorizontales; aucun indice de chevauchement n'a été noté.

CONCLUSIONS. — Les données recueillies au cours de ces quatre plongées permettent d'ores et déjà : (1) de montrer pour la première fois que la ride des Loyauté est constituée d'une série volcano-détritique basaltique et rhyolitique coiffée d'une épaisse couverture de calcaires récifaux fortement encroûtés; (2) de souligner, avec la découverte de calcaires récifaux à des profondeurs de 3 700-4 300 m, l'ampleur des mouvements verticaux qui ont affecté cette ride à l'approche de la fosse; (3) de constater sur le flanc occidental de l'arc néo-hébridais la présence d'une formation volcano-détritique andésitique qui semble surmonter un bloc du saillant des Loyauté engagé sous le mur interne; (4) de confirmer l'existence de plis déjetés vers le SW sur le mur externe, une dizaine de kilomètres en avant de la fosse et près de 1 000 m au-dessus de celle-ci; leur cœur est fait de matériel volcano-détritique appartenant à la série des Loyauté et leur enveloppe de calcaires peu indurés, qui pourraient représenter l'équivalent, latéral et plus profond, des calcaires récifaux recouvrant la ride; ces plis ont été reconnus dans une zone peu escarpée, en position latérale par rapport à un bloc très massif du saillant des Loyauté; leur formation, difficilement imputable à des phénomènes gravitaires, semble plutôt résulter de la compression plus ou moins décrochante liée à la collision en cours.

Note remise le 10 novembre 1989, acceptée le 16 novembre 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J.-Y. COLLOT, F. MISSEGUE et A. MALAHOFF, in Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique, *Travaux et documents de l'ORSTOM*, Paris, n° 147, 1982, p. 549-564.
- [2] J. DUBOIS, J. LAUNAY et J. RECY, *Tectonophysics*, 24, 1974, p. 133-150.
- [3] J. P. CHEVALIER, in *Biology and geology of coral reefs*, O. A. JONES et R. ENDEAN éd., 1, 1973, Academic Press, New York, p. 143-167.
- [4] J. C. BAUBRON, J. H. GUILLON et J. RECY, *Bull. B.R.G.M.*, 2^e série, section IV, n° 3, 1976, p. 165-175
- [5] G. H. PACKHAM, *Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.*, 6, n° 2/3, 1975, p. 50-51.
- [6] J. K. WEISSEL, A. B. WATTS et A. LAPOUILLE, *Tectonophysics*, 87, 1982, p. 243-251.
- [7] B. PELLETIER et R. LOUAT, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 1989, p. 123-130.
- [8] M. MONZIER, J. DANIEL et P. MAILLET, *Oceanologica Acta* (soumis).
- [9] P. MAILLET, M. MONZIER, J.-Ph. EISSEN et R. LOUAT, *Tectonophysics*, 165, 1989, p. 251-268.

M. M., J.-Y. C., J. D. et B. P. : UR 1 F, ORSTOM, B. P. n° A 5, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie;
G.D.R., Genèse et Évolution des Domaines océaniques;

J. B. : Laboratoire de Géologie structurale, Université de Marseille-III, Saint-Jérôme, 13397 Marseille;

S. L. : Laboratoire de Géologie structurale, Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris.