

Premiers résultats des plongées de la campagne SUBPSO 1 dans la zone de collision des rides d'Entrecasteaux et de l'arc des Nouvelles-Hébrides

Jean-Yves COLLOT, Bernard PELLETIER, Jean BOULIN, Jacques DANIEL, Jean-Philippe EISSEN, Michael A. FISHER, H. Gary GREENE, Serge LALLEMAND et Michel MONZIER

Résumé — Les coupes géologiques réalisées à partir de sept plongées du *Nautilé* ont montré que le mur interne de la fosse des Nouvelles-Hébrides, en face de la ride Nord d'Entrecasteaux et du guyot Bougainville, est essentiellement constitué par des formations volcaniques et volcano-détritiques provenant probablement de l'arc. Ces formations, généralement inclinées vers la fosse, sont, au contact de la ride et du guyot, rebroussées vers le haut et pentées de 40 à 80° vers l'arc. A ces niveaux, les roches sont intensément fracturées et cisailées à l'exception de celles constituant le bourrelet qui surplombe le toit du guyot Bougainville. Le mur interne présente enfin une morphologie remarquable comprenant des loupes d'arrachement gravitaire, des chenaux d'érosion, des canyons et, localement, des marmites de géant. Ces figures confirment l'importance de l'érosion gravitaire le long du front de déformation. Aucune manifestation de sorties de fluides n'a été observée lors de ces plongées.

First results of dives during the SUBPSO 1 cruise in the collision zone between the d'Entrecasteaux Ridges and the New Hebrides island arc

Abstract — Geological cross-sections, constructed from observations and samples collected during seven dives of the French submersible *Nautilé*, reveal that the inner wall of the New Hebrides trench, in front of the North d'Entrecasteaux ridge and the Bougainville guyot, is primarily composed of volcanic and volcanoclastic rocks, most likely shed from the arc. Observations indicate that the bedding of the arc-slope rocks, which generally slopes trenchward in this collision zone, dips steeply (40-80°) arcward near the contact of the colliding features. In this particular area, arc-slope rocks are generally highly fractured and sheared, an exception being rocks forming the ridge east of the Bougainville guyot. Arc-slope rocks are deeply incised by erosional channels and show numerous fresh slump scars. These scars confirm the importance of mass wasting along the deformation front. No evidence for fluid venting, such as clams and mud volcanoes, was observed during the dives.

Abridged English Version — The d'Entrecasteaux Zone (DEZ) is a submarine mountain chain that extends from the northern New Caledonia ridge to the New Hebrides subduction zone (insert *Pl. I*). Close to the New Hebrides island arc, the DEZ encompasses the South d'Entrecasteaux chain (SDC), including the Bougainville guyot, and the North d'Entrecasteaux ridge (NDR) that enter the subduction zone ([1] to [3]). The DEZ has been colliding with the New Hebrides island arc at 9 cm/yr [4] since about 8-2 Ma ([5], [6]). The DEZ trends slightly oblique to the plate convergence direction of N76°E [7] so that it creeps northward along the trench at 2.5 cm/yr. Both the Wousi zone referring to the NDR collision zone area and the Bougainville zone referring to the Bougainville guyot collision area, previously mapped with Seabeam bathymetry [8], were explored by the *Nautilé* in march 1989, during the SUBPSO 1 cruise.

THE WOUSI ZONE (Dives 1 to 4; *Pl. I* and *II*). — West of the Wousi zone, the NDR is composed of MORB overlain by volcanoclastic rocks [9]. Detailed Seabeam data from this zone show that the oblique collision of the NDR has produced an asymmetric tectonic pattern across the arc slope [10]. This pattern is characterized by NNW verging thrust faults and N120°E trending strike-slip faults north of the NDR, by strong uplift (Wousi bank) above the NDR, and by E-W trending normal faults south of the ridge. Relatively high rock

Note présentée par Jean AUBOUIN.

velocities (3.0-3.5 km/sec.) derived from multichannel seismic data indicate that arc-slope rocks in the Wousi zone are lithified [11].

The upper part of the slope (dive 1) is primarily composed of brecciated basaltic to andesitic lavas interbedded with coarse to fine-grained volcanoclastic series. A few dips measured from the *Nautile* suggest that these series dip 20 to 40° toward NE. The observed lithologies and dips are similar to those known from the lower Miocene formations of western Espiritu Santo Island [12]. The toe of the arc slope was explored during dives 2, 3 and 4. Close to the proposed ODP sites DEZ 1 and DEZ 2, both the NDR and the toe of the arc slope are blanketed by greenish muds, and the deformation front is marked by a scarp of 1-2 m high and shows slightly indurated mudstones (dive 2). Along a north-facing scarp, 4 km east of the deformation front (dive 3), the arc slope shows a series of volcanoclastic breccias, greenish graywackes and beige tuffs. Farther north (dive 4), the toe of the arc slope shows reddish-brown, tuffaceous, clays or mudstones with a thick olive grey, calcareous, tuffaceous sandstones interlayer. Structurally, these series dip 20-40° toward the NE (dive 3) and 40-70° NE to E (dive 4). Well developed subvertical fractures, trending N110 to 140°E were observed during dives 3 and 4, and shearing that is parallel to the bedding was clearly revealed by dive 4. The lower arc slope has a rough morphology that includes slump scars, gullies and high relief ridges. Also evident under 5,000 m of water are canyons that show scour holes and flutes (dive 4) that are similar to features developed in stream valleys onshore.

THE BOUGAINVILLE ZONE (Dives 5 to 7; *Pl. I and II*). — The Bougainville guyot is an andesitic edifice topped by a 800 m thick carbonate platform that is tilted 4° arcward ([2], [8]). The guyot has indented the arc slope and created a ridge in the arc-slope rocks that towers 800 m over the guyot summit [3].

The summit platform of the guyot shows subhorizontal beds of massive coral limestones (dive 6). These beds may dip East along the southeast edge of the platform (dive 5). The contact zone between this platform and the arc slope forms a 400 m wide, flat-bottomed depression draped by sandy-muddy sediments. Along the SE flank of the guyot, the contact zone is formed by a 10 m-wide, flat-bottomed canyon covered with fine grained sediments. No macroscopic deformation was observed along this canyon. Three cross-sections were constructed across the arc slope in front of the Bougainville guyot. In the impact zone of the guyot (dives 5 and 6), the arc slope dips West 25-45° and shows a badland-like morphology with many slump scars and gullies. Both dives 5 and 6 reveal graywackes, tuffs, and white sandy limestones. Dive 5 shows more coarse interbedded material, whereas dive 6 shows synsedimentary folds that indicate that rocks deposited on a paleosurface dipping westward. Structurally, these cross-sections differ in that along dive 6, strata are monoclinical and dip 40 to 60° eastward with no macroscopic deformation, whereas on dive 5 strata are highly deformed, almost vertical in the lower part of the cross-section and tilted 10 to 20° eastward in the upper part of the section. Dive 7 was along a possible slump scar [3] north of the direct collision zone of the guyot. At this location, the arc slope dips 25° westward and is incised by gullies along which 20 to 40° southwestward dipping mudstones (tuffs?), volcanic breccias and brecciated lava flows outcrop sporadically.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS. — In the Wousi and Bougainville zones, the arc slope appears to be largely composed of volcanic and volcanoclastic rocks. Coarse material in the upper part of the slope becomes finer toward the deformation front. This lateral facies change together with the trenchward dip of seismic reflectors under the arc slope [2] and the similarity in lithologies between arc-slope rocks and those of Espiritu Santo Island suggest

that rocks forming the arc slope are arc foundation. However, arc-slope samples collected during the dives must be compared to other rocks dredged from the NDR and the Bougainville guyot before concluding that no tectonic accretion has occurred along the arc slope. Arc-slope rocks dip generally trenchward in this collision zone ([2], [11] and dive 7). However, close to the NDR and guyot, arc slope rocks dip arcward. In the Wousi zone, highly sheared rocks and N to NE tilted strata of the lower arc slope probably result from the lateral pressure of the NDR as it enters the subduction zone. Moreover, subvertical, N110-140°E trending fractures may correlate with the N120°E trending strike-slip faults interpreted from Seabeam data [10]. In front of the Bougainville guyot, major deformation are not observed in the arc-slope ridge east of the guyot (dive 6) but such deformation occurs in deeper levels of the arc slope (dive 5). This distribution of the deformation suggests that during the subduction of the guyot, the decollement migrated upward in the arc-slope rocks toward the top of the guyot. However, deformation of the deeper levels of the arc slope could be inherited from earlier tectonic phases, which would not have affected more recent upper levels. No fluid venting as evidenced by clam colonies, were found during these dives. Numerous fresh slump scars encountered along the deformation front confirm the importance of mass wasting in the collision zone.

INTRODUCTION. — Dans le Sud-Ouest Pacifique, la Zone d'Entrecasteaux (DEZ) forme une chaîne de montagnes sous-marines haute de 2 à 4 km, qui s'étend depuis l'extrémité nord de la Nouvelle-Calédonie jusqu'à l'arc des Nouvelles-Hébrides (encart *pl. I*). A proximité de l'île d'Espiritu Santo, la DEZ, orientée E-O, comprend au nord, une ride massive large de 40 km, la ride Nord d'Entrecasteaux (NDR) et au sud, la chaîne Sud d'Entrecasteaux (SDC) constituée par un alignement de monts sous-marins dont le guyot Bougainville est engagé dans la subduction ([1] à [3]) (*pl. I*). La DEZ entre en collision avec le mur interne de la fosse et subducte sous l'arc des Nouvelles-Hébrides, à une vitesse de 9 cm/an [4] depuis environ 8-2 Ma ([5], [6]). Son axe étant légèrement oblique à la direction de convergence des plaques N76°E [7], elle balaye le mur interne du Sud vers le Nord à une vitesse de l'ordre de 2,5 cm/an.

Les zones de collision de ces rides, *i.e.* la zone de Wousi au Nord et la zone de Bougainville au Sud (*pl. I*), déjà cartographiées par Seabeam [8], ont été étudiées par sept plongées *Nautilé*, lors de la campagne SUBPSO 1 réalisée en mars 1989.

LA ZONE DE WOUSI (plongées 1 à 4; *pl. I et II*). — 100 km à l'Ouest de la zone de Wousi, la NDR comprend des basaltes de type MORB surmontés par des formations volcano-détritiques [9]. Sur la base des données de Seabeam et de sismique réflexion, trois parties ont été reconnues dans cette zone [10]. Au Nord, la marge inférieure est structurée par des écaillages à vergence NNO et des lobes décalés par des failles décrochantes orientées N120°E. Au centre, la marge est soulevée et forme le banc de Wousi alors qu'au Sud, elle s'effondre le long d'accidents normaux transverses à l'arc. Au voisinage du front de déformation, les vitesses des ondes P (3,0 à 3,5 km/s) obtenues à partir des données de sismique multitrace [11] suggèrent que la marge est constituée par des roches relativement consolidées.

Le haut du mur interne. — Il est constitué de laves basaltiques à andésitiques massives souvent bréchifiées et de niveaux volcano-détritiques grossiers à fins (plongée 1). Les pendages mesurés suggèrent que la série pend vers le NE de 20 à 40°. La lithologie et les

pendages de cette série sont comparables à ceux des formations d'âge Miocène inférieur connues immédiatement plus à l'Est, sur l'île d'Espiritu Santo [12].

La base du mur interne. — Près des sites de forage DEZ 1 et 2 proposés à ODP, le toit de la NDR ainsi que la partie basse du mur interne sont recouverts de boue gris-vert. Le front de déformation est marqué par un ressaut de 1 à 2 m (plongée 2) le long duquel affleurent des boues indurées. Plus au Nord, le mur interne est constitué de brèches volcano-sédimentaires, de grauwackes verdâtres et de tufs calcaires beiges (plongée 3). Au droit du flanc nord de la NDR (plongée 4), la base du mur interne comprend une série gréseuse tufacée et carbonatée de couleur grise intercalée dans des séries argileuses tufacées rougeâtres. Ces séries sont inclinées de 20 à 40° vers le NE (plongée 3) et de 40 à 70° vers le NE à E (plongée 4). Elles sont affectées par une importante fracturation subverticale orientée N110 à 140°E ainsi que par des cisaillements souvent parallèles à la stratification (plongée 4).

La morphologie de la base du mur interne est remarquable; elle comprend des loupes d'arrachement gravitaire, des gouttières d'érosion, des canyons et, localement, des marmittes de géant (plongée 4). Bien qu'observée par 5 000 m de fond, elle évoque celle que présente, à terre, le lit d'un torrent.

LA ZONE DE BOUGAINVILLE (plongées 5 à 7; *pl. I et II*). — Le guyot Bougainville est un édifice andésitique coiffé par une plate-forme carbonatée épaisse de 800 m et inclinée de 4° vers l'Est ([2], [8]). A l'endroit où cette plate-forme est engagée dans la subduction, le mur interne présente un bourrelet de déformation [3] dans lequel les horizons sismiques sont pentés vers l'Est [2].

La plate-forme sommitale du guyot est constituée de calcaires récifaux massifs disposés en bancs sub-horizontaux (plongée 6). Ces bancs pourraient pendre légèrement vers l'Est sur le flanc de cette plate-forme (plongée 5).

La zone de contact entre le guyot et le mur interne est marquée, au niveau du sommet de la plate-forme (plongée 6) par un replat sub-horizontale, large de 400 m et drapé de sédiments argilo-sableux, tandis que le long du flanc SE du guyot (plongée 5), elle est caractérisée par un couloir à fond plat mais incliné, large de 10 m et rempli uniquement de sédiments fins. Aucun indice significatif d'une tectonique sub-actuelle n'y a été observé.

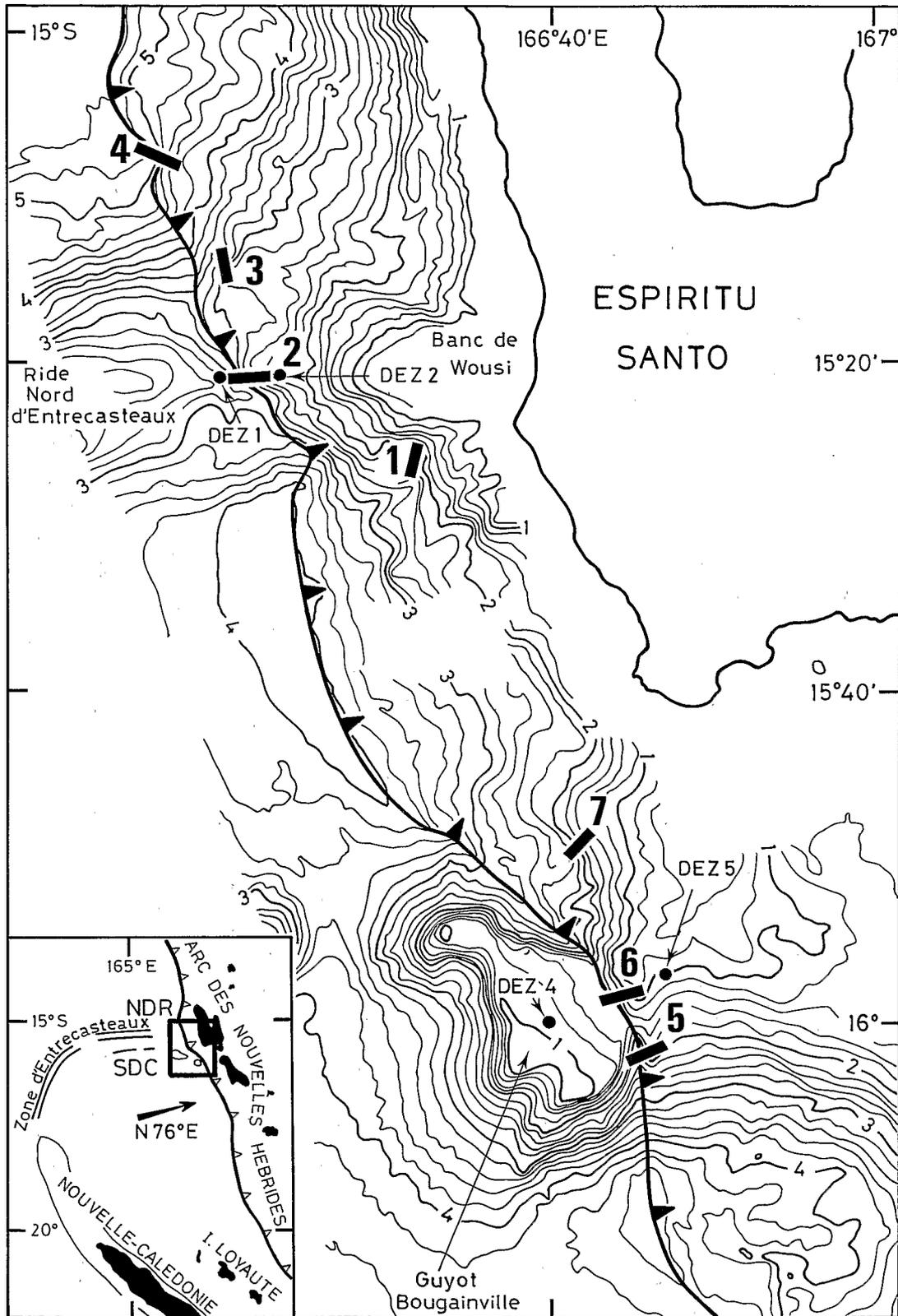
Le mur interne, en face du guyot, a fait l'objet de deux coupes : l'une (plongée 6) au droit de la plate-forme entre 1 650 et 900 m de profondeur et l'autre (plongée 5), 10 km plus au sud et plus profonde, entre 2 350 et 1 675 m. La pente du mur interne est forte (25 à 45°) et présente une morphologie de type « bad lands ». Les lithologies observées

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

Carte bathymétrique Seabeam (isobathes tous les 200 m) de la zone d'étude et localisation des plongées. DEZ 1 à 5 sont les sites de forage proposés à O.D.P. Encart : cadre géodynamique de la zone étudiée; NDR : Ride Nord d'Entrecasteaux, SDC : Chaîne Sud d'Entrecasteaux; la flèche indique la direction de convergence des plaques [7].

Seabeam bathymetric map of the study area and location of the dives (contour interval is 200 m). DEZ 1 to 5 are proposed O.D.P. drilling sites. Lower insert: geodynamic framework of the study area; NDR: North d'Entrecasteaux Ridge, SDC: South d'Entrecasteaux Chain; arrow indicates the plate convergence direction [7].



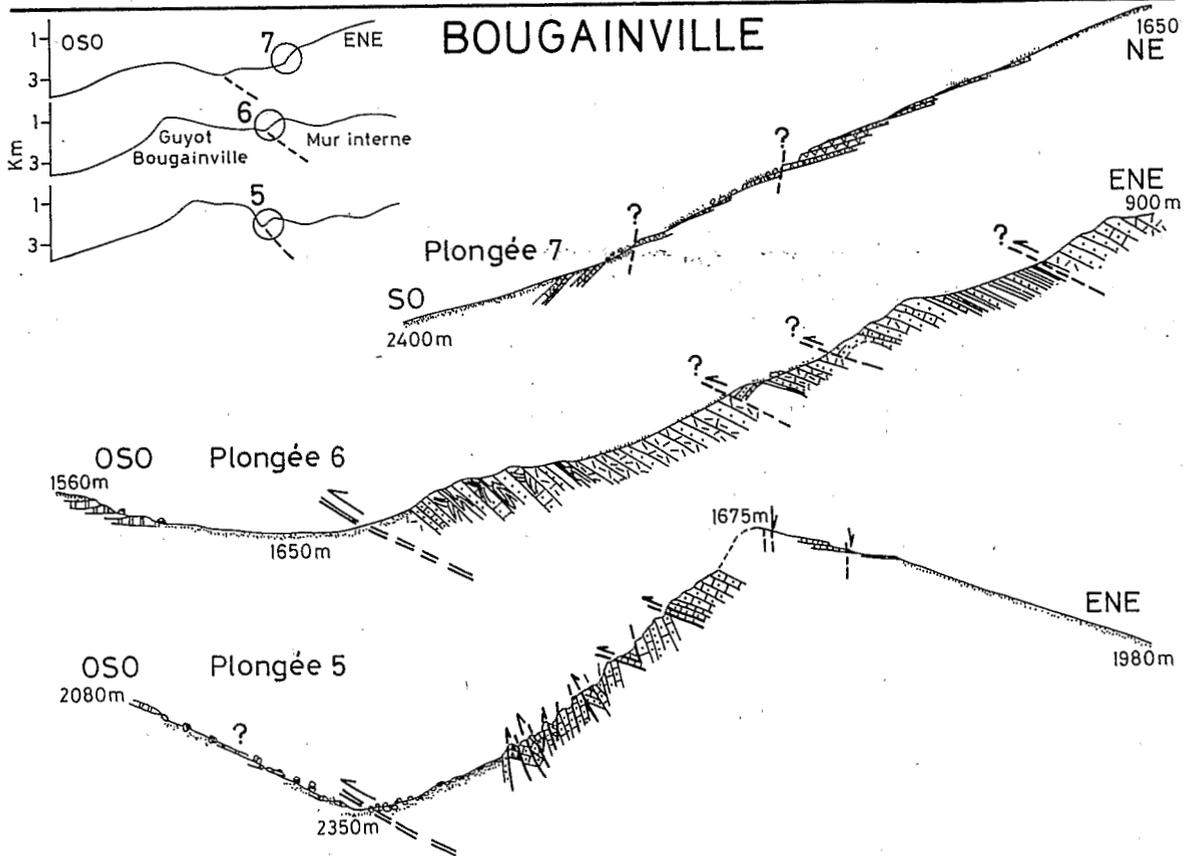
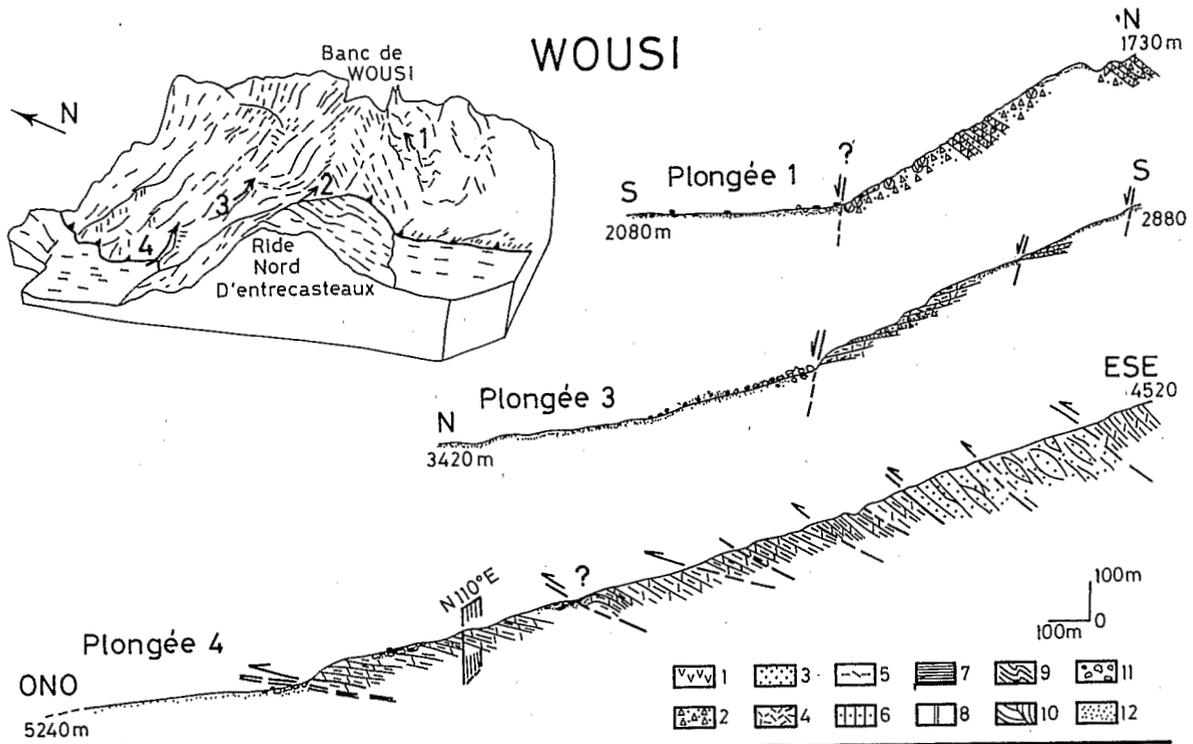


Planche II

Coupes géologiques dressées à partir des plongées. 1 : coulées de lave; 2 : brèches volcaniques; 3 : grès tufacés et grauwackes; 4 : tufs; 5 : argilites tufacées rougeâtres; 6 : calcaires gréseux blancs; 7 : argiles gréseuses; 8 : calcaires récifaux; 9 : plis syn-sédimentaires; 10 : stratifications entrecroisées; 11 : éboulis; 12 : sédiments fins actuels.

Geologic cross-sections constructed from the dives. 1: lava flows; 2: volcanic breccias; 3: tuffaceous sandstones and graywackes; 4: tuffs; 5: brownish tuffaceous clays or mudstones; 6: white silty limestones; 7: mudstones; 8: coral limestones; 9: synsedimentary folds; 10: cross stratifications; 11: scree; 12: recent fine-grained sediments.

sur les deux coupes sont très comparables. Il s'agit d'alternances de grauwackes, de tufs et de calcaires gréseux blancs. Des plis syn-sédimentaires à vergence SO témoignent d'un dépôt sur une paléosurface inclinée vers l'Ouest (plongée 6). A l'inverse de la lithologie, la structure diffère largement entre les deux coupes. Sur la plongée 6, l'ensemble de la série est monoclinale, penté de 40 à 60° vers l'Est. Aucun indice de déformation importante n'y a été observé, à l'exception de quelques pendages vers l'Ouest apparaissant à deux profondeurs distinctes et pouvant être rapportés à des plis hectométriques et interprétés aussi bien en termes de tectonique collisionnelle qu'en termes de glissement gravitaire. La plongée 5 a permis de mettre en évidence une intense déformation. Les bancs sont fortement pentés vers l'Est, parfois verticalisés dans la partie inférieure et faiblement inclinés de 10 à 20° dans la partie supérieure. La fracturation est omniprésente et compatible avec une compression $N50^\circ \pm 10^\circ E$ (failles décrochantes conguguées $N20^\circ E$ et $E-O$, fentes de tension $NE-SO$ et zones de cisaillement $NO-SE$). De plus, trois niveaux mylonitisés ont été observés.

Enfin, une dernière plongée (plongée 7) a été réalisée sur le mur interne au Nord de la zone d'impact du guyot, sur la cicatrice d'une loupe d'arrachement plurikilométrique [3]. La pente de 25° est drapée de boue et incisée par des gouttières d'érosion le long desquelles affleurent épisodiquement des boues indurées (tufs?) et des brèches de lave, pentées vers le SO de 20 à 40°.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS. — Le mur interne de la fosse apparaît largement constitué par des formations volcaniques et volcano-détritiques souvent fortement incisées par érosion. Le matériel détritique, grossier en haut de la pente, devient de plus en plus fin en se rapprochant du front de déformation. Cette évolution latérale de faciès, le pendage vers la fosse des horizons sismiques sous le mur interne [2] ainsi que l'analogie entre ces formations et celles connues sur l'île de Santo, suggèrent que ces formations proviennent de l'arc. Cependant une comparaison entre les roches draguées sur la NDR et le guyot Bougainville, et celles récoltées le long du front de déformation, devra être effectuée avant de conclure à l'absence d'accrétion tectonique le long de la marge.

Alors que dans cette zone de collision, les séries du mur interne sont généralement pentées vers la fosse ([2], [11] et plongée 7), elles sont redressées et pendent vers l'arc au voisinage direct de la NDR et du guyot Bougainville. Dans la zone de Wousi, le bas du mur interne est fortement déformé. Le basculement des séries vers le N à NE résulte probablement de la poussée latérale de la NDR entrant en subduction. De plus, les fractures sub-verticales orientées $N110$ à $140^\circ E$ rappellent les décrochements $N120^\circ E$ déduits de l'interprétation des données Seabeam [10]. En face du guyot Bougainville, les déformations majeures sont observées non pas sur le bourrelet surplombant la plateforme (plongée 6) mais dans des niveaux inférieurs de la marge (plongée 5). Cette

répartition des déformations suggère que, lors de l'engagement du guyot, le plan de subduction migre vers le haut dans les séries du mur interne pour atteindre finalement le niveau du toit du guyot, les niveaux inférieurs étant ainsi fortement déformés. Cependant, la déformation des niveaux inférieurs pourrait être héritée d'une tectonique antérieure à la pénétration du guyot Bougainville, l'ensemble de la série étant simplement redressé par l'engagement du guyot.

Aucune manifestation de sorties de fluides n'a été observée. Les nombreuses loupes d'arrachement observées le long du mur interne, ainsi que la fraîcheur de leurs cicatrices, confirment l'importance relative de l'érosion gravitaire dans ce contexte de collision.

Note remise le 13 septembre 1989, acceptée le 9 novembre 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J.-Y. COLLOT, J. DANIEL et R. V. BURNE, *Tectonophysics*, 112, 1985, p. 325-356.
- [2] M. A. FISHER, J.-Y. COLLOT et G. L. SMITH, *Geology*, 14, 1986, p. 951-954.
- [3] J.-Y. COLLOT et M. A. FISHER, *E.O.S.*, 69, 44, 1988, p. 1407.
- [4] B. PELLETIER et R. LOUAT, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 1989, p. 123-130.
- [5] J. CARNEY et S. MACFARLANE, *Tectonophysics*, 87, 1982, p. 147-175.
- [6] H. G. GREENE et coll., In H. G. GREENE et F. L. WONG éd., *Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series*, 8, 1988, p. 377-412.
- [7] B. L. ISACKS et coll., In *Earthquake Prediction and International Review*, A.G.U., 1981, p. 93-116.
- [8] J. DANIEL et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303, série II, 1986, p. 805-810.
- [9] P. MAILLET et coll., *Mar. Geol.*, 53, 1983, p. 179-197.
- [10] J.-Y. COLLOT et M. A. FISHER, *J. Geophys. Res.* (sous presse).
- [11] M. A. FISHER, J.-Y. COLLOT et E. GEIST, *J. Geophys. Res.* (sous presse).
- [12] D. I. J. MALLICK et D. GREENBAUM, *N. H. Geol. Surv. Reg. Rep.*, 1977, 84 p.

J.-Y. C., B. P., J. D., J.-P. E. et M. M. : ORSTOM, B. P. n° A5, Nouméa, Nouvelle-Calédonie;
 J. B. : Lab. Géol. Struct., Université de Marseille-III, Saint-Jérôme, 13397 Marseille;
 S. L. : Université Pierre-et-Marie-Curie, Lab. Géol. Struct., 4, place Jussieu, 75252 Paris;
 M. A. F. et H. G. G., U.S.G.S., 345, Middlefield Road, MS999, Menlo Park, CA 94025, U.S.A.