

Structure profonde de la transition arc insulaire-bassin marginal dans le nord des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu, Pacifique sud-ouest)

Françoise SAGE et Philippe CHARVIS

Résumé — Trois profils de sismique réfraction ont été réalisés dans la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides. Les modèles obtenus sur la terminaison occidentale du bassin Nord-Fidjien et dans l'axe des fossés arrière-arc présentent une loi de vitesse typique d'une croûte océanique récente mais recouverte par une couverture sédimentaire épaisse. Au contraire, le modèle obtenu à l'ouest des fossés met en évidence une croûte épaissie d'arc insulaire.

La structure profonde et la signature magnétique de cette zone montrent que les fossés arrière-arc sont installés sur la croûte océanique du bassin Nord-Fidjien. Le passage entre l'arc et le domaine océanique se fait brutalement sur une distance inférieure à 50 km.

Deep structure of the transition zone between the island arc and the marginal basin in the northern New Hebrides arc (Vanuatu, south-west Pacific)

Abstract — Three seismic refraction lines were shot in the New Hebrides back-arc area. Two lines located on the eastern border of the North-Fiji basin and in the middle of the back-arc trough zone exhibit a velocity structure typical of a young oceanic crust covered with a thick sedimentary pile. On the contrary, the line shot west of the trough area shows a thickened crust typical of the island arc.

The deep structure and the magnetic pattern of the back-arc trough zone show that it lies mainly on the North-Fiji basin oceanic crust. The transition between the island arc domain and the oceanic domain is sharp, less than 50 km wide.

Abridged English Version — The northern and southern New Hebrides back-arc zones are characterized by troughs that developed under N25°-N45° extensional stresses [1]. No trough exists in the central New Hebrides back-arc zone in front of the collision of the d'Entrecasteaux ridge with the island arc (Fig. 1) ([1]-[3]).

Three seismic refraction lines were shot in the northern back-arc zone, using 4 to 5 digital OBS and a 1,000 cubic-inches air-gun triggered about every 100 m (Fig. 2). Line 1 lies on the western border of the North-Fiji basin (NFB), line 2 is located in the middle of the back-arc trough zone and line 3 lies in the Torres Santa-Cruz sedimentary basin which tops the island arc (Fig. 1). Velocities in the uppermost sedimentary layers (unit a1) are inferred from a previous study in this area [4]. This paper presents ray-tracing models for the three new lines.

THE NORTH-FIJI BASIN (Fig. 3a). — The model exhibits a typical young oceanic crust covered by thick (up to 1.5 km) sedimentary series. The layer 2 (4.5 to 5.7 km/s) is 1.0 km thick and reaches locally 2.3 km. Lateral variation of velocities in this layer should be related to variation of fracturation, porosity or chemical composition [5]. The layer 3 (6.3-7.0 km/s) is 4 to 6 km thick, as deduced from OBS 1 and 5 first arrivals beyond 35-40 km (Fig. 2a) and reflection from the Moho on other OBS. The crustal thickness varies from 6 to 8 km.

THE NORTHERN BACK-ARC TROUGHS (Fig. 3b). — The velocity structure of this zone is very similar to that of the NFB; however, the sedimentary cover and the layer 2 are thicker (2 to 3 km and 1.5 to 2.7 km respectively) (Fig. 2b). Although our model is not well constrained for deep structure, it appears that the Moho is at least 9 km deep.

Note présentée par Jean DERCOURT.

0764-4450/91/03130041 \$ 2.00 © Académie des Sciences

THE TORRES SANTA-CRUZ SEDIMENTARY BASIN (*Fig. 3 c*). — This zone is characterized by a very thick sedimentary cover reaching 5 km that correlates with a post Lower Miocene sedimentation [7]. This sedimentary cover overlies a single basement layer with a velocity increasing from 5.6 to 6.7 km/s. The thickness of this layer, based on reflected waves from the Moho (*Fig. 2 c*), is 8 to 11 km thick. The crust is thickened (14 km thick) with a velocity structure similar to that observed in continental crust.

The volcanic islands of the arc are the main source of sediments. This explains the thinning of the sedimentary cover from 5 km on the arc to 1 km in the NFB further east.

The model obtained for line 2 proves that the back-arc troughs developed on the oceanic crust of the NFB. N130° magnetic lineations, typical of the magnetic pattern of the oldest part of the NFB, are observed in the back-arc trough zone east of 167°40'E [1]. Despite the numerous volcanoes observed in this back-arc area there is no evidence of important volcanic flows. It suggests that these volcanoes probably mainly related to the recent extension episode. The transition between the 8 km thick NFB oceanic crust and the 14 km thick island arc crust is located between the western limit of the NFB magnetic pattern (167°40'E) and the line 3 (167°15'). This transition is less than 50 km wide. The Vot Tande graben (*Fig. 1*) is probably part of the island arc.

The deep structure of the southern New Hebrides back-arc troughs ([6], [8]), suggests that these troughs, as the northern troughs, are located on the western border of the NFB.

INTRODUCTION. — Les domaines nord et sud de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides sont caractérisés par la présence de fossés d'extension. La direction des fossés du nord, voisine de N-S, est oblique par rapport à l'axe de la fosse orienté N150° alors que les fossés du sud sont globalement parallèles à cette direction. Dans les deux cas, les directions d'extension N25-N45° déterminées à partir des mécanismes au foyer et des analyses morpho-structurales indiquent que la structuration des fossés n'est pas directement associée à la subduction, la convergence des plaques se faisant selon une direction N70°, mais est plutôt associée à une tectonique extensive diffuse affectant aussi la moitié occidentale du bassin Nord-Fidjien (BNF) [1]. Dans la partie centrale de l'arc, entre 13,5 et 17,5°S, la subduction d'un important relief asismique, la ride d'Entrecasteaux, crée des contraintes en compression et prévient la formation de fossés à l'arrière de l'arc ([1]-[3]).

Les laves draguées dans les fossés présentent en général les mêmes caractéristiques pétrographiques que les laves de l'arc [3]. Néanmoins, les linéations magnétiques N135°, caractérisant le domaine occidental ancien du BNF, sont observées sans discontinuité dans la zone des fossés arrière-arc du nord, suggérant que ces derniers sont installés sur la croûte océanique du BNF [1].

L'interprétation des données de sismique réfraction, recueillies lors de la campagne EVA 13 en 1986 à bord du *N/O Coriolis*, nous a permis de déterminer la structure de la croûte sous les fossés arrière-arc et ainsi d'étudier la transition entre la croûte de l'arc et celle du bassin marginal. L'appartenance du substratum des fossés au domaine du bassin marginal ou de l'arc a ainsi pu être établie.

LES DONNÉES. — Trois profils de 110 à 120 km ont été réalisés à l'aide d'un canon à air de 16 l avec une équidistance des tirs de l'ordre de 100 m (*fig. 1*). Quatre ou cinq stations sismiques sous-marines numériques (OBS) étaient disposées le long de chaque profil (*fig. 1*).

Le profil 1 est situé à l'est des fossés, sur la bordure occidentale du BNF, le profil 2 dans la partie axiale des fossés du nord et le profil 3 immédiatement à l'ouest des fossés, sur le bassin sédimentaire des Torres Santa-Cruz qui s'est développé au sommet de l'arc insulaire (*fig. 1*).

MODÉLISATION DES DONNÉES. — Chaque modèle, basé sur des tracés de rais, rend compte des temps d'arrivées observés sur les enregistrements de tous les OBS disposés sur le profil correspondant (*fig. 2*). Chaque unité modélisée est donc contrainte par un grand nombre de temps d'arrivée et se trouve de plus observée sous des angles différents sur chaque OBS disposé le long du profil.

Les unités définies pour chacun des modèles (*fig. 3*) sont caractérisées par la vitesse des ondes P dans le milieu, qui croît selon un gradient vertical. Leur numérotation ($a_1, a_2, \dots, b_1, \dots$) est fonction des intervalles de vitesse calculés pour chaque unité. Les unités a_1 à a_4 correspondent aux séries sédimentaires et volcano-sédimentaires de l'arc. La vitesse de l'unité a_1 (1,6-2,45 km/s), non observée sur la plupart de nos profils, a été choisie en fonction de résultats antérieurs obtenus dans le bassin sédimentaire de Torres Santa-Cruz [4]. L'épaisseur de cette couche est calculée à partir de l'ordonnée à l'origine de la phase a_2 et de la profondeur d'eau. Les unités b_1, b_2 et c correspondent à la croûte d'origine magmatique.

Nous allons décrire les résultats obtenus sur le BNF (profil 1) puis dans la zone des fossés arrière-arc (profil 2) et enfin sur le bassin de Torres Santa-Cruz (profil 3).

PROFIL 1. — Structure profonde du bassin Nord-Fidjien (*fig. 3 a*).

Unité a_1 : 1,6-2,4 km/s. — Cette unité est plus épaisse au sud du profil, où elle atteint 1,5 km, qu'au nord, où les dépôts sont confinés dans de petites dépressions.

Unité a_2 : 3,0-3,5 km/s. — Cette unité, probablement constituée de sédiments consolidés, semble n'exister que dans la moitié nord du profil à partir du kilomètre 48 où son épaisseur varie de 0 à 1,4 km. Dans ce secteur il semble qu'elle participe à la formation des reliefs.

Unité b_1 : 4,5 à 5,7 km/s. — Les vitesses observées dans la partie nord de cette unité (5,1 à 5,7 km/s) ainsi que son épaisseur (jusqu'à 2,3 km) sont caractéristiques de la couche 2 océanique. Elle passe, vers le sud du profil, à une couche de vitesse 4,5-4,9 km/s moins typique. Cette variation de vitesse peut être associée à une différence du degré de fracturation, de porosité ou de composition chimique des roches [5].

Unité b_2 : 6,3 à 7,0 km/s. — Cette gamme de vitesses correspond à celle observée dans la couche 3 de la croûte océanique. Sur les OBS 1 et 5, les premières arrivées, observées respectivement au-delà de 30 et 35 km, correspondent dans notre modèle à des ondes réfractées dans le manteau supérieur (*fig. 2 a*). Le Moho se trouve alors entre 9 et 10 km de profondeur pour une vitesse sous-jacente de 7,8 km/s. Ce résultat est très proche de celui obtenu plus au Sud sur le BNF [6].

La loi de vitesse dans la croûte du BNF est typique de celle d'une croûte océanique mais avec une couverture sédimentaire relativement épaisse (1,5 km au maximum) qui s'explique facilement par la proximité de l'arc. Ces sédiments reposent sur un socle océanique caractéristique comportant : une couche 2 (4,5-5,7 km/s) dont l'épaisseur moyenne est de 1,5 km avec un maximum de 2,3 km et une couche 3 de 4 à 6 km d'épaisseur. La profondeur du Moho varie donc entre 9 et 11 km le long du profil.

PROFIL 2. — Structure profonde de la zone des fossés arrière-arc (*fig. 3 b*).

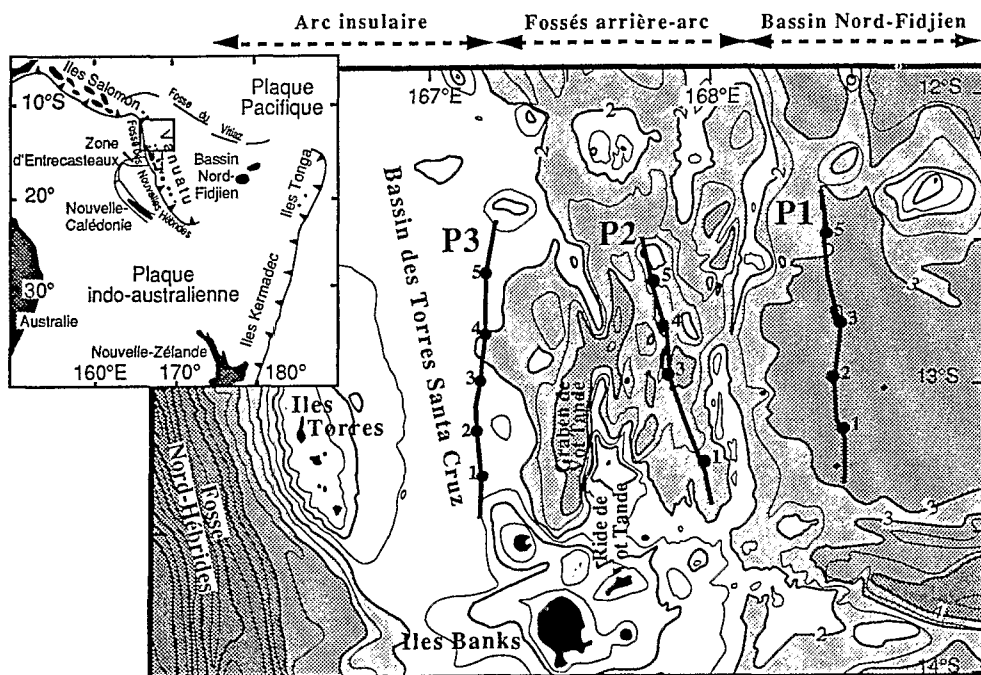


Fig. 1. — Carte bathymétrique du domaine nord de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides. L'équidistance des courbes est de 500 m. En encart : position de la zone étudiée dans le Pacifique sud-ouest. Les trois profils de sismique réfraction sont représentés en traits plein et la position des OBS par des points.

Fig. 1. — Bathymetric map of the northern New Hebrides island arc. Contours are 500 m interval. An insert shows the location of the study area in the south-west Pacific. The three seismic refraction lines are outlined by bold lines and OBS locations by filled circles.

Unité a_1 : 1,6 à 2,2 km/s. — L'épaisseur de cette unité, correspondant à des sédiments peu consolidés, varie considérablement le long du profil entre 0 et 1,8 km. Ces sédiments sont accumulés essentiellement dans deux dépressions situés entre 40 et 76 km (fig. 3 b) qui correspondent à des grabens allongés suivant un axe voisin de N-S et recoupés obliquement par le profil (fig. 1) [1].

Unités a_2 et a_3 : 2,5 à 2,9 et 3,5 à 4,4 km/s. — Ces deux unités qui correspondent à des sédiments consolidés forment les reliefs délimitant les grabens. La géométrie relativement complexe de cette unité suggère que la tectonique l'a affectée. La forme très dissymétrique du toit de cette unité, en particulier aux kilomètres 42 et 62 (fig. 3 b), évoque la géométrie de blocs basculés recoupés par le profil (fig. 1). Cette interprétation est en accord avec les interprétations antérieures basées sur l'analyse de données bathymétriques multi-faisceaux et de sismique réflexion ([1], [2]).

Unité b_1 : 4,7 à 5,5 km/s. — La vitesse obtenue pour cette unité est tout à fait comparable à celle obtenue pour l'unité b_1 dans le BNF qui a été interprétée comme la couche 2 océanique. Son épaisseur varie entre 1,5 à 2,7 km le long du profil, à l'exception de la partie nord où elle atteint localement 4 km. A cet endroit, l'absence de couverture sédimentaire ainsi que l'épaississement considérable de cette unité dont la vitesse est caractéristique de roches « basaltiques » suggère fortement la présence d'un édifice volcanique.

Unité b_2 : 6,4 à 7,0 km/s. — La profondeur de son toit est relativement constante dans la moitié sud du profil où elle varie entre 6,5 et 7,0 km. Elle remonte ensuite

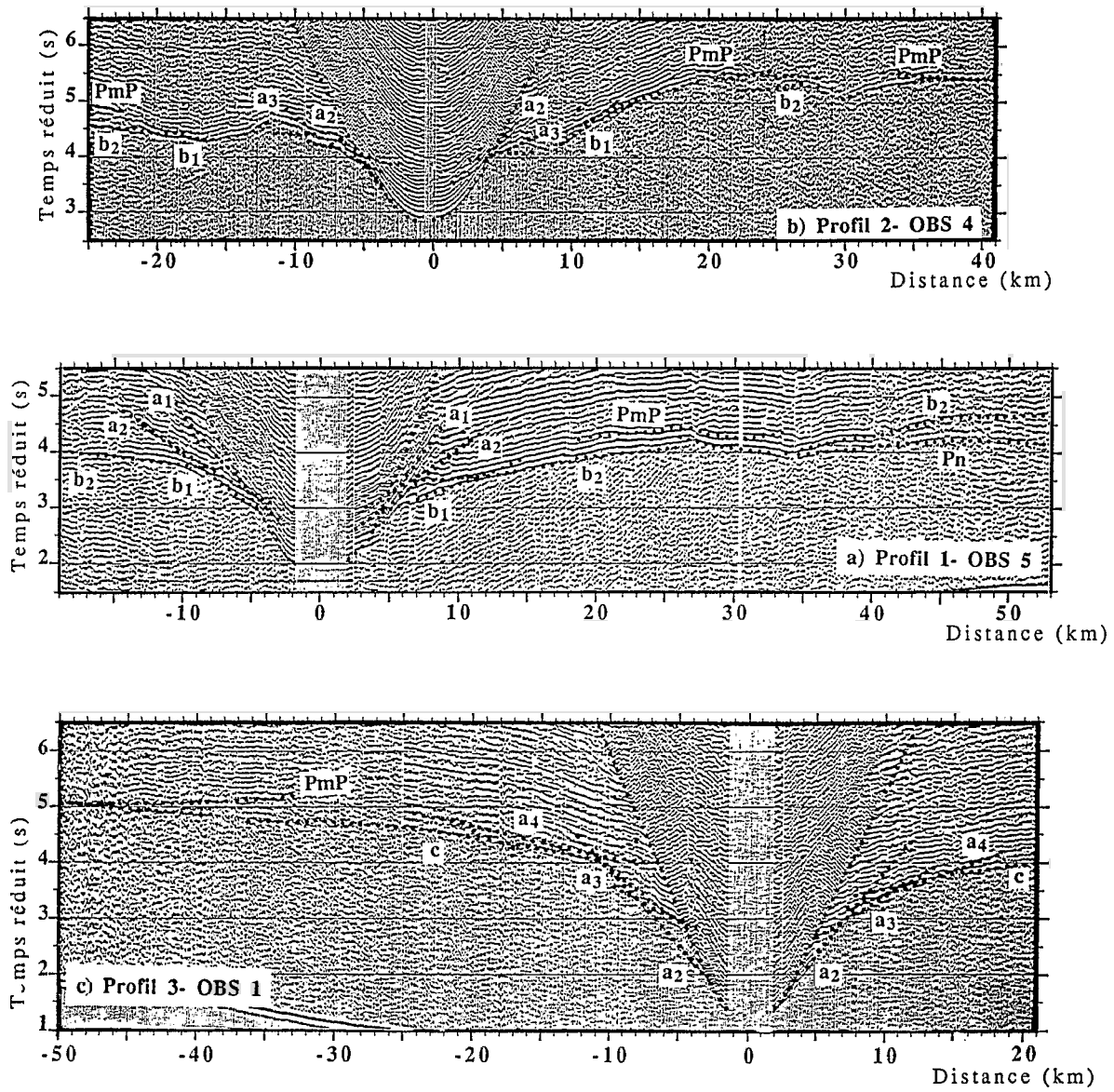


Fig. 2. — Exemples de données utilisées pour cette étude. Les temps d'arrivée calculés par tracé de rais sont représentés par des points noirs. (a) Profil 1, OBS 5; (b) Profil 2, OBS 4; (c) Profil 3, OBS 1. La vitesse de réduction utilisée est de 8 km/s.

Fig. 2. — Examples of data used in this study. Black dots are computed traveltimes deduced from raytracing. (a) Line 1, OBS 5; (b) Line 2, OBS 4; (c) Line 3, OBS 1. Sections are reduced on velocity of 8 km/s.

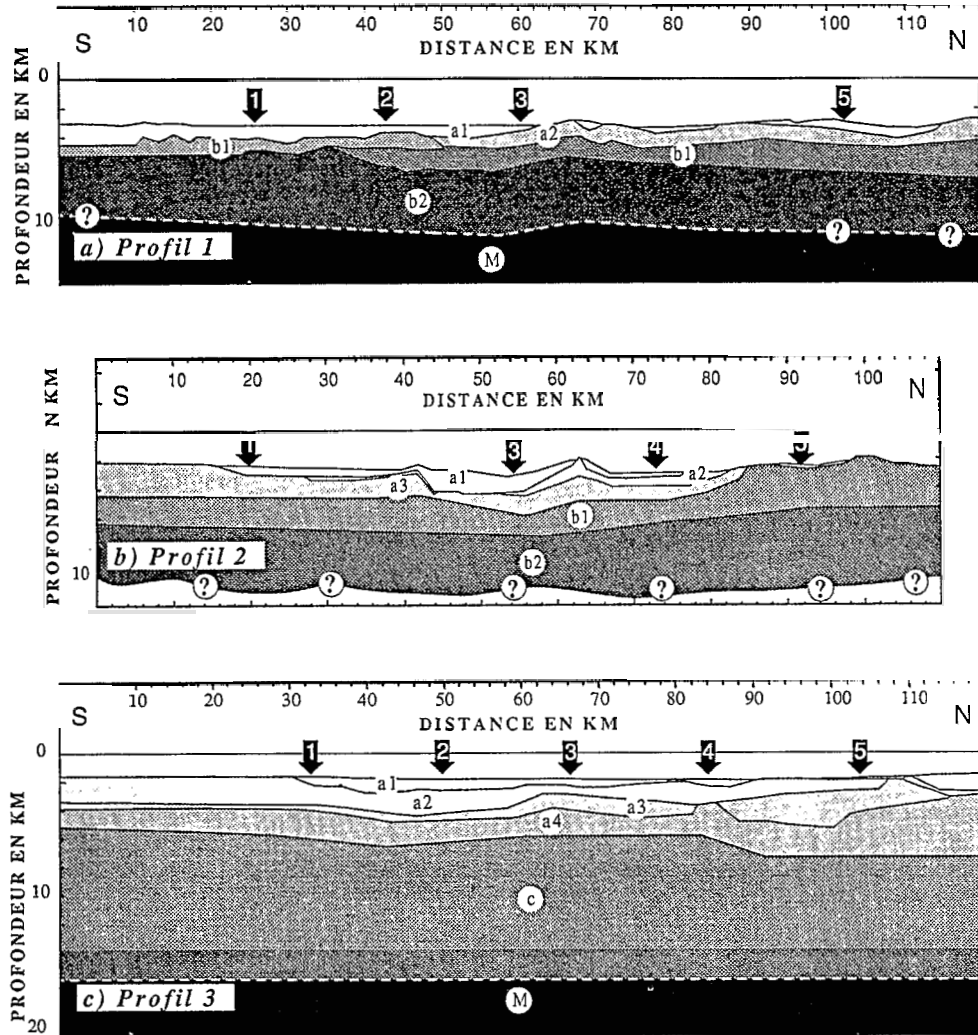


Fig. 3. — Les trois modèles de structure profonde obtenus sur le BNF (a), les fossés arrière-arc (b) et l'arc insulaire (c). La position des OBS est indiquée par des flèches. Un pointillé blanc indique la position du Moho.

Fig. 3. — The three models obtained for the North-Fiji basin (a), the back-arc troughs (b) and the island arc (c). OBS locations are indicated by arrows. The Moho is outlined by a white dashed line.

progressivement jusqu'à une profondeur de 5 km au nord du profil. La vitesse dans cette unité est identique à celle de la couche 3 de la croûte océanique du BNF. La morphologie très complexe des interfaces définies sur ce profil influence considérablement la géométrie des arrivées (*fig. 2 b* et *3 b*). Les arrivées les plus lointaines peuvent être interprétées comme des arrivées provenant soit de la partie profonde de la croûte, soit du manteau supérieur. Cependant, si l'on veut rendre compte des temps d'arrivée observés au-delà de 35-40 km, il faut placer le Moho à une profondeur supérieure à 9 km.

La loi de vitesse obtenue dans ce modèle est donc peu différente de celle obtenue sur le profil 1 localisé sur la croûte du BNF.

PROFIL 3. — Structure profonde du bassin de Torres Santa-Cruz.

Unité a_1 : 1,7 à 2,2 km/s. — Cette couche dont l'épaisseur varie entre 0 et 1 km est probablement constituée de matériel volcano-sédimentaire peu consolidé, provenant des îles volcaniques voisines.

Unités a_2 et a_3 : 2,2 à 3,0 et 3,0 à 4,0 km/s. — Ces deux unités, dont l'épaisseur varie entre 1,9 et 3,2 km, possèdent des vitesses caractéristiques de sédiments consolidés.

Unité a_4 : 4,5 à 4,9 km/s. — Les vitesses obtenues dans cette unité sont élevées pour un milieu sédimentaire. Cependant, la confrontation de notre modèle avec un profil de sismique réflexion existant dans cette zone, permet d'assimiler l'unité a_4 aux sédiments les plus anciens du bassin, riches en volcanites et d'âge Miocène inférieur [7]. L'épaisseur totale de sédiments atteint ainsi 6 km.

Unité c : 5,6 à 6,7 km/s. — Cette unité est caractérisée par des vitesses typiques de croûte continentale. On observe clairement une réflexion grand angle à la base de cette unité qui nous permet d'évaluer son épaisseur qui varie entre 8 et 11 km le long du profil (*fig. 2 c*). En l'absence d'onde réfractée dans le milieu sous-jacent, nous ne pouvons en déterminer la vitesse. Néanmoins, nous interprétons cette interface, dont la profondeur est voisine de 16 km, comme la base de la croûte.

INTERPRÉTATION. — *La couverture sédimentaire* : son épaisseur varie de manière importante d'un profil à l'autre : de 4-6 km d'épaisseur sur l'arc, elle passe à 2-3 km dans les fossés et à 1-1,5 km sur le BNF. L'épaisseur sédimentaire décroît avec l'éloignement de l'arc, ce dernier représentant la source principale de sédiments. Les fossés jouent de plus le rôle de piège à sédiments accentuant ainsi la différence de taux de sédimentation avec le BNF à l'est.

Nature de la croûte sous les fossés : la loi de vitesse dans la croûte est identique pour les fossés arrière-arc et pour le BNF. Les fossés sont donc installés, au moins au niveau du profil 2 (*fig. 1*), sur la croûte océanique du bassin marginal comme cela était déjà suggéré par la présence de linéations magnétiques N130° caractéristiques de la partie la plus ancienne du BNF [1].

Cependant, la couche 2 est plus épaisse au niveau des fossés (1,5 à 2,7 km) que sur le bassin marginal (1,0 à 2,3 km). La présence des linéations magnétiques océaniques implique que l'épaisseur plus importante de la couche 2 dans les fossés soit originelle et non en relation avec un volcanisme postérieur à la genèse de la croûte. Il est donc probable que le volcanisme d'arc bien caractérisé dans les fossés par de nombreux édifices ([1]-[3]) soit très ponctuel et n'ait pas donné lieu à des épanchements importants.

La comparaison entre la profondeur du Moho sous la bordure du BNF (9 à 11 km) et l'épaisseur minimale obtenue sous les fossés arrière-arc (9 km), permet d'exclure un amincissement important de la croûte sous les fossés.

Transition entre la croûte d'arc et la croûte océanique. — Cette transition s'effectue entre les profils 2 et 3 (fig. 3) où l'on passe d'une croûte océanique typique dans les fossés au voisinage de 168°E à une croûte d'arc épaissie sous le bassin de Torres Santa-Cruz à 167°E. Par ailleurs il existe à 167°40' une limite qui sépare :

— deux zones présentant des styles d'extension différents, caractérisés à l'est par un ensemble de horsts et de grabens de très courte longueur d'onde (environ 10 km de large) et à l'ouest un graben plus large (30 km) et plus profond (3 km), le graben de Vot Tande [1];

— les linéations magnétiques N135°E caractéristiques du BNF à l'est, des anomalies nettement désorganisées souvent circulaires et corrélées avec des édifices volcaniques sous-marins à l'ouest [1].

Ces deux observations permettent de localiser la limite entre la croûte océanique et la croûte d'arc insulaire au voisinage de 167°40'E. Dans ce cas la plus grande partie des fossés est installée sur la croûte du BNF, alors que le graben de Vot Tande se trouverait sur la bordure est de l'arc. La ride de Vot Tande pourrait marquer la limite entre le domaine océanique et l'arc.

CONCLUSION. — Alors que la morphologie et le volcanisme suggèrent que la zone des fossés arrière-arc fait partie intégrante de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides [3], la structure profonde de cette zone et sa signature magnétique, nous montrent qu'elle est installée, en grande partie, sur la croûte océanique du BNF. Le volcanisme d'arc insulaire observé dans cette zone [3] est lié à la tectonique en extension mais les émissions sont ponctuelles et la quantité de lave émise reste faible. Aucun phénomène plutonique n'altère la structure originelle de la croûte.

L'épaisseur de la croûte est évaluée entre 6 et 8 km sous le BNF et les fossés arrière-arc puis passe à 14 km sous l'arc sur une distance inférieure à 50 km.

La structure de la croûte sous les fossés arrière-arc du sud des Nouvelles-Hébrides ([6], [8]) suggère qu'ils se trouvent bien dans la même position structurale que les fossés du nord, installés sur la bordure occidentale du bassin marginal.

Note remise le 30 octobre 1990, acceptée après révision le 13 mai 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. CHARVIS et B. PELLETIER, *Tectonophysics*, 170, 1989, p. 259-277.
- [2] J. RÉCY, B. PELLETIER, P. CHARVIS, M. GÉRARD, M. C. MONJARET et P. MAILLET, *Oceanologica Acta*, 10, 1990, p. 165-182.
- [3] M. C. MONJARET, *Thèse*, Université de Bretagne occidentale, Brest, 1989, 490 p.
- [4] M. L. HOLMES, *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series*, H. G. GREENE et F. L. WONG éd., 8, 1988, p. 163-176.
- [5] P. SPUDICH et J. ORCUTT, *J. Geophys. Res.*, 85, 1980, p. B3:1409-1433.
- [6] B. PONTOISE, G. V. LATHAM et A. B. K. IBRAHIM, Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique, *Travaux et documents de l'ORSTOM*, 147, 1982, p. 79-90.
- [7] H. R. KATZ, *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series*, H. G. GREENE et F. L. WONG éd., 8, 1988, p. 93-122.
- [8] J. Y. COLLOT et A. MALAHOFF, Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique, *Travaux et documents de l'ORSTOM*, 147, 1982, p. 91-109.

ORSTOM, Laboratoire de Géodynamique sous-marine, B.P. n° 48, 06230 Villefranche-sur-Mer.