

Étude d'un essaim de séismes dans le Sud du Vanuatu (SO-Pacifique) par un réseau de stations sismologiques sous-marines (OBS)

Rémy LOUAT, Cliff FROHLICH, Philippe CHARVIS, Yann HELLO, Paul McPHERSON †, Yosio NAKAMURA et Bernard PONTOISE

Résumé — La sismicité superficielle du Sud du Vanuatu se caractérise par un essaim permanent de séismes entouré de zones calmes. Deux réseaux de stations sismologiques mouillées sur cet essaim montrent que le milieu au-dessus de la plaque plongeante est aiséismique et que les séismes sont localisés dans une couche de 3 km d'épaisseur au sommet de cette plaque. L'essaim de séismes résulte d'abord de la perturbation du mouvement de convergence apporté par un ensemble de failles normales affectant le sommet de la plaque plongeante, et ensuite, du jeu de ces failles.

Seismological study of a seismic cluster in Southern Vanuatu (SW Pacific) by an OBS network

Abstract — The shallow seismicity in Southern Vanuatu consists of a permanent swarm of earthquakes surrounded by quiet zones. Two OBS networks operated above the swarm show that the domain above the downgoing plate is aseismic and that nearly all the foci lie within a 3 km thick layer in the uppermost part of the subducted plate. This peculiar seismicity is caused primarily by the subduction of scarps and secondarily by relative motion along those scarps.

Abridged English Version — I. INTRODUCTION. — The shallow earthquakes resulting from thrusting motion recorded during a 20 year window are unevenly distributed along the length of the New Hebrides subduction zone (Fig. 1). Quiet zones (dashed area) alternate with permanent clusters of foci. The understanding of these irregularities is important for the study of the shallow earthquakes with large magnitude ([1], [2]). This paper deals with a seismic cluster marked at 20°S in Figure 1 by a rectangle. Focal mechanisms on the area ([3] to [9]) show that the thrusting motion is perpendicular to the trench at the level of the cluster. In order to get more information, two OBS networks were dropped on the cluster during the EVA 13 cruise. The OBS location of the second network gave better results which are given in Figure 2. The OBS used for EVA 13 were designed by the University of Texas at Austin [10]. Two types of OBS operated: one records the three components of the ground motion on a digital cartridge and the other the Z component analogically. The second type of OBS was designed 15 years ago. A seismic swarm (numbered 1 and 2) located below each network has been recorded.

II. RESULTS. — As all S minus P time measured from both swarms of events are greater than two seconds, no earthquake is shallower than 10 km below any OBS. The domain above the plunging plate is therefore considered as aseismic.

Swarm number 1. — Forty earthquakes located around 20.05°S-168.70°E have been recorded (Fig. 3-1). Except for the foci localized by numbers giving the depth, events are within the dashed area. The locations have to be considered as statistical ones. The depth of the epicenters located near OBS 03 is well established (16 km) because it derives directly from the S minus P and the velocity model [11].

Swarm number 2. — The sixty events recorded from this swarm (Fig. 3-2) are accurately localized because four OBS have recorded part of the sequence. The S-P time measured

Note présentée par Xavier LE PICHON.

on the OBS 25, which was the only digital one, was the parameter with the greatest weight. Epicenters are roughly distributed along a N50°E trending line. The depths increase slightly eastwards from 19 to 24 km. This pattern and the first motions recorded on the OBS 24 and 25 are compatible with the nearvertical nodal plane of focal mechanism solution 8 in Figure 2.

III. INTERPRETATION. — On a cross-section (*Fig. 4*) we have plotted the ISC seismic foci, the events localized by the OBS and the top of the downgoing lithosphere. The foci localized by the OBS are in a 3 km-thick band on the top of the lithosphere.

Considering focal mechanism 8, a normal fault transverse to the arc with an oblique component is associated to swarm 2. In the Figure 5, we have mapped the normal faults of the downgoing plate [12] and the active surfaces associated with the two largest events reported in the area (Nov. 1972, $M_s=7.0$; Aug. 1976, $M_s=6.9$). Swarm 2 coincides with the boundary between the two active zones. The fault associated with the second swarm separates two compartments on the top of the downgoing lithosphere, the southern one subsides by a loading effect of the arc which is, in the south, morphologically closer to the trench.

IV. CONCLUDING REMARKS. — The earthquakes associated with the cluster at 20°S are concentrated in a thin layer in the upper part of the downgoing lithosphere. The permanent seismicity is interpreted as the result of the subduction of normal-fault induced scarps. The slope of the interplate boundary is steeper at the place where the scarps plunge, thus the strength which opposes the interplate motion creates localized accumulation of stresses translated by permanent seismicity. The main contribution of the two OBS networks was to show that the seismicity is related to the upper part of the plunging plate and to evidence a transverse fault. The seismicity of this fault was ignored by the regional seismic network.

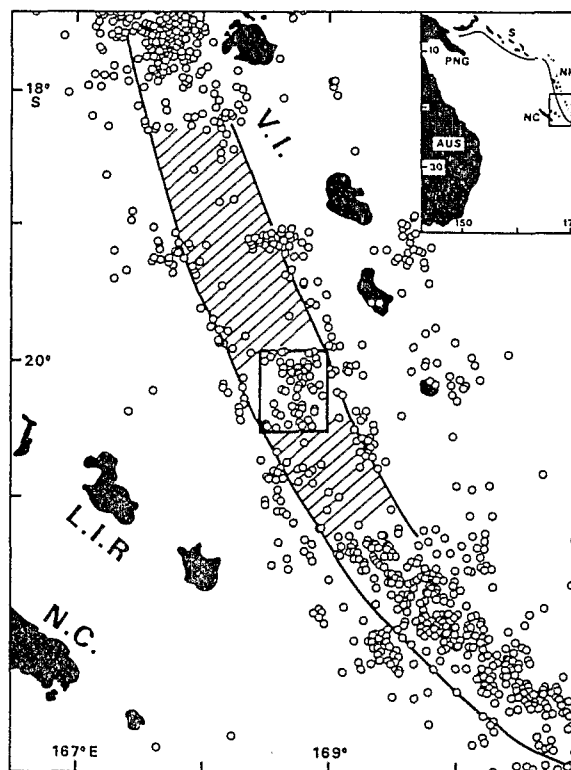
I. INTRODUCTION. — La subduction de la plaque australienne sous l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides s'accompagne d'une forte sismicité superficielle (*fig. 1*). Sur une fenêtre de 20 années, la distribution longitudinale des séismes superficiels donnée par l'I.S.C. entre la fosse et l'arc est loin d'être uniforme. Des zones dites calmes (hachurées) et des zones où la sismicité est plus intense alternent le long de la fosse. La compréhension des mécanismes à l'origine de ces zones calmes et actives est reconnue comme fondamentale pour l'étude des forts séismes superficiels ([1], [2]). Cette Note a pour objet l'essai de séismes à 20°S marqué par un rectangle sur la figure 1.

II. L'ESSAIM A 20° SUD. — Nous pouvons voir, sur la figure 2, les mécanismes focaux provenant de l'essai ([3] à [9]). Si, dans le Sud les mécanismes 1 et 8 sont liés à des mouvements différentiels le long de l'arc, au niveau de l'essai, nous trouvons une faille normale en avant de la fosse (mécanisme 6) et entre la fosse et l'arc des mécanismes de chevauchement. L'essai de séismes à 20°S n'est donc pas le résultat d'une perturbation majeure du mouvement de subduction. Pour avoir plus de précision sur cet essai de séismes, nous avons déployé durant la campagne EVA 13 (août-septembre 1986) deux réseaux de stations sous-marines (OBS). La configuration du second réseau est indiquée par les cercles noirs sur la figure 2.

III. LES RÉSEAUX D'OBS EVA 13. — Les OBS utilisés ont été développés par l'Université du Texas [10]. Deux types d'OBS ont été utilisés lors de la campagne EVA 13. Le premier enregistre la composante verticale sur bande magnétique analogique, le second, utilisé

Fig. 1. — Sismicité superficielle du Sud Vanuatu vue par au moins 20 stations (Bulletin du Centre sismologique international, I.S.C., 1964-1982). La fosse est indiquée par le trait à gauche de la zone hachurée. Les zones calmes sont soulignées par des hachures. N.C. : Nouvelle-Calédonie; L.I.R. : Ride des Loyauté; V.I. : Iles du Vanuatu. Le rectangle délimite la zone étudiée par les OBS.

Fig. 1. — Map showing shallow seismicity of the Southern Vanuatu. Epicenters (circles) occurred between 1964 and 1982, and were located by I.S.C. using 20 or more stations. The thick line on the left is the trench. The lighter lines between active areas delineate quiet zones. N.C.: New-Caledonia; L.I.R.: Loyalty Islands Ridge; V.I.: Vanuatu Islands. The rectangle marks the area studied by OBS networks.



pour la première fois en sismologie, enregistre sur cartouche numérique les trois composantes échantillonnées à 40 Hz du mouvement du sol. Le premier réseau (OBS 1 à 13) n'a pas fonctionné correctement. Le second réseau (OBS 14 à 25) a donné des résultats plus satisfaisants après modification des paramètres programmables. Une crise sismique (essaim 1 et 2) localisée sous chaque réseau d'OBS a pu être enregistrée.

IV. RÉSULTATS OBTENUS. — Aucun enregistrement de microséisme très proche d'un OBS, n'a montré une différence de temps séparant l'arrivée de l'onde P et S (S-P) inférieure à 2 s. Les foyers sismiques détectés sont donc à une profondeur supérieure à 10 km sous les OBS. On peut donc conclure que le prisme d'accrétion est asismique.

L'essai numéro 1. — Un essaim de 40 séismes a été mis en évidence autour du point 20,05°S-168,70°E. Excepté pour les foyers localisés par des chiffres qui indiquent la profondeur des foyers, les résultats de la figure 3-1 sont à prendre dans un sens statistique. Les foyers sont dans la zone grisée et leur profondeur est comprise entre 16 et 19 km. La profondeur des foyers près de l'OBS 3 est le résultat le mieux établi : 16 km. Cette valeur est déduite de la mesure de l'intervalle de temps S-P sur l'OBS 3 et du modèle de vitesse [11]. L'incertitude sur la profondeur est proche de 1 km puisque l'erreur de mesure sur le temps S-P est inférieure à 0,1 s sur les OBS numériques.

L'essai numéro 2. — Les 60 séismes constituant ce second essaim sont mieux localisés (fig. 3-2) puisque 4 OBS (21, 22, 24 et 25) ont enregistré une partie des événements sismiques. Sur ces 4 OBS, seul l'OBS 25 est numérique, le temps S-P sur cet OBS a été le paramètre auquel on a donné le plus de poids. Sur la figure 3-2, on voit les épicentres grossièrement s'aligner sur une droite de direction N50°E et la profondeur augmenter près de l'OBS 25. Toutes les ondes P provenant de l'essaim sont impulsives et polarisées

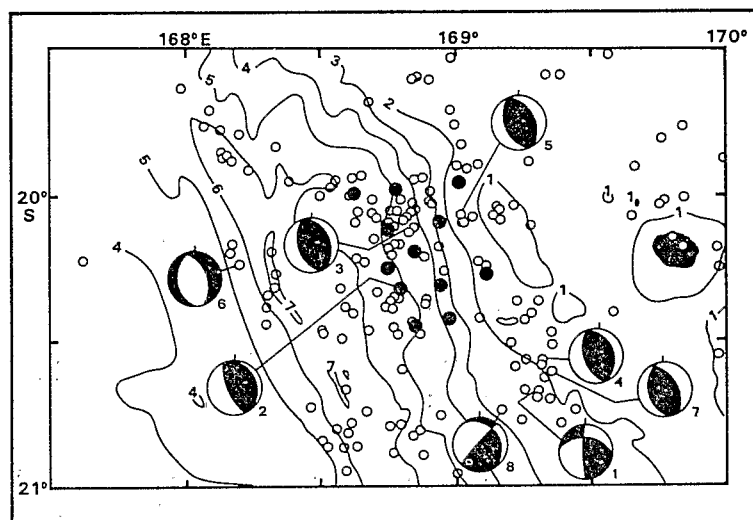


Fig. 2. — Carte de l'essai à 20° Sud. La profondeur des contours est en kilomètres. Les séismes sont ceux de la figure 1. Les mécanismes focaux sont référencés par des chiffres (1 [3]; 2 [4] et [9]; 3 [5] et [9]; 4 [4]; 5 [6]; 6, 7 [7]; 8 [8]). Les cercles pleins donnent la position des OBS du second réseau.

Fig. 2. — Map showing the seismicity of the cluster at 20°S. Depth contours are in kilometers. Seismicity is as in Figure 1. Focal mechanisms are referenced by numbers (1 [3]; 2 [4] et [9]; 3: [5] et [9]; 4 [4]; 5 [6]; 6, 7 [7]; 8 [8]). Black circles are station locations of the second OBS network.

négativement sur l'OBS 25, alors que les signaux sur l'OBS 24 sont émergents comme si les directions foyers-OBS étaient dans un plan de faille. Le second essaim est compatible avec une faille similaire à celle que montre le mécanisme focal numéro 8 au bas de la figure 2.

V. INTERPRÉTATION. — Nous avons reporté sur une coupe perpendiculaire à l'arc les séismes de la figure 2 sur l'essai à 20°S (fig. 4). Tenant compte de toutes les données disponibles, nous avons tracé le sommet de la plaque plongeante, cette courbe est reportée dans l'encadré avec les séismes bien localisés par les OBS. Les séismes sont à l'intérieur d'une couche de 3 km d'épaisseur au sommet de la plaque plongeante. En bas de l'encadré un séisme se distingue des autres, il est à 15 km à l'intérieur de la plaque qui plonge. L'épaisseur de la croûte de la plaque plongeante pouvant être estimée à 16 km [11], ce foyer est associé à une rupture au bas de la croûte.

Au vu du mécanisme numéro 8 (fig. 2), nous interprétons les séismes du second essaim par la présence d'une faille normale et décrochante transverse à l'arc. Une approche régionale nous permet de la situer dans le contexte tectonique du Sud des Nouvelles-Hébrides. Sur la figure 5, on a dessiné sur l'essai à 20°S les zones actives des deux principaux séismes qui ont affecté la zone : celui du 2 novembre 1972 ($M_s=7,0$) et celui du 2 août 1976 ($M_s=6,9$). La zone active du premier séisme est bien délimitée par la séquence des précurseurs (zone hachurée) qui s'est développée en septembre et octobre 1972. Les épencentres de l'essai 2 coïncident avec la limite séparant les zones actives des séismes de 1972 et 1976. La faille associée à l'essai 2 pourrait donc séparer deux compartiments ayant chacun leur sismicité propre. Le compartiment sud s'enfoncerait sous l'effet de charge de l'arc qui morphologiquement semble plus proche de la fosse dans la partie méridionale de l'arc des Nouvelles-Hébrides.

Pour tenir compte de la forme concave des courbes de niveau du mur interne de l'arc, on a tracé, sur la figure 5, parallèlement à ces courbes, une ligne de failles normales appartenant à la plaque plongeante. Dans le haut de la figure, cette ligne (F.L.) est dans

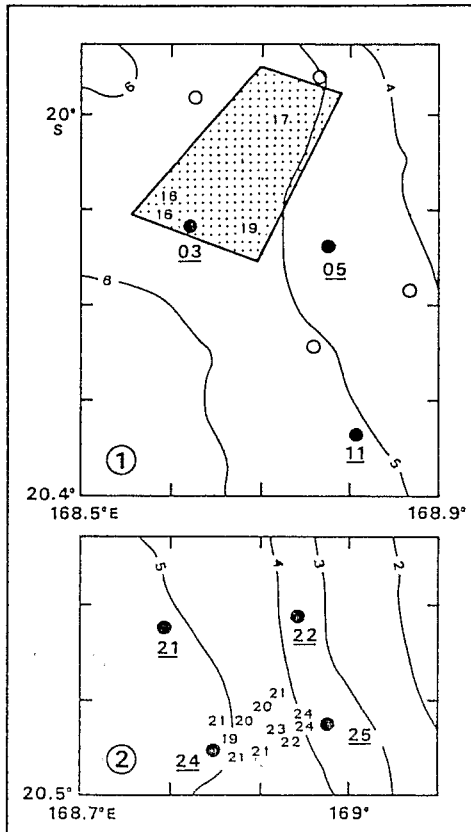


Fig. 3

Fig. 3. — Carte des épicentres des essaims 1 et 2. La zone grise représente l'aire dans laquelle l'essaim 1 s'est produit. Les chiffres indiquent la position et la profondeur des séismes localisés. Les points noirs représentent les OBS utilisés pour l'étude des essaims 1 et 2. Les cercles indiquent la position des autres OBS. Les numéros de ces OBS sont soulignés.

Fig. 3. — Map of epicenters from swarm 1 and 2. Shaded area shows the geographic extent of the swarm 1. Numbers without underlines indicate the location and depth computed for some events. Filled circles are OBS stations operating at the time of the swarms, open circles are others OBS. Underlined numbers are OBS stations numbers.

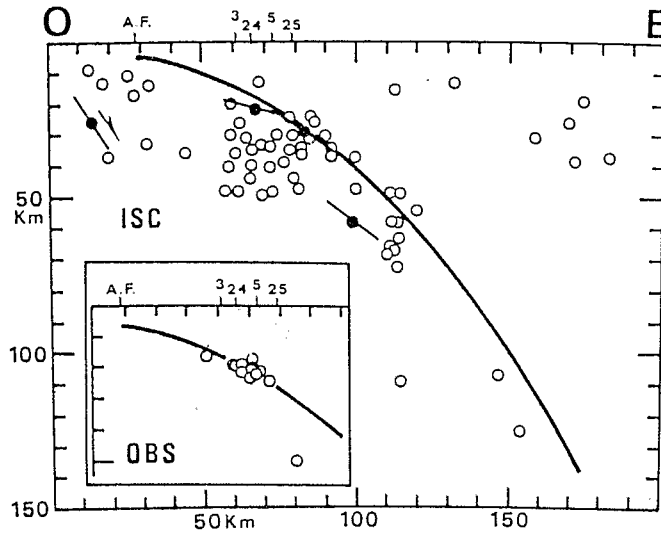


Fig. 4

Fig. 4. — Coupe transversale de la sismicité donnée par l'ISC et les OBS sur l'essaim à 20°S. Les cercles pleins et les droites sont les foyers et les plans de failles donnés par les mécanismes focaux. Le sommet de la lithosphère plongeante est indiqué par le trait plein. La position des OBS est donnée par leur numéro, l'axe de la fosse est indiqué par A.F.

Fig. 4. — Cross section on the cluster showing seismicity located by the OBS network (inset) and the ISC. Filled circles and line segments display foci and fault dips as given by focal mechanisms. The thick line shows the inferred top of subducted plate. OBS station locations are indicated by their number and A.F. is the location of the trench axis.

le prolongement d'une faille bordière de la ride des Loyauté qui coupe la fosse à 20°S [12]. Plus bas, elle devient N-S, nous l'associons aux précurseurs du séisme de 1972 qui sont à l'Ouest de la zone active qui lui est liée. L'essaim de séismes numéro 1 est localisé au point d'intersection des failles normales N-S et de la faille F.L.

VI. CONCLUSION. — L'essaim à 20°S apparaît donc comme :

1. une zone où le prisme d'accrétion est asismique;
2. une zone où le sommet de la plaque plongeante est perturbé par des failles normales.

Le mouvement de subduction n'est pas modifié mais les irrégularités du contact plaque-arc, introduisent un supplément de contraintes qui se traduit par une sismicité spécifique.

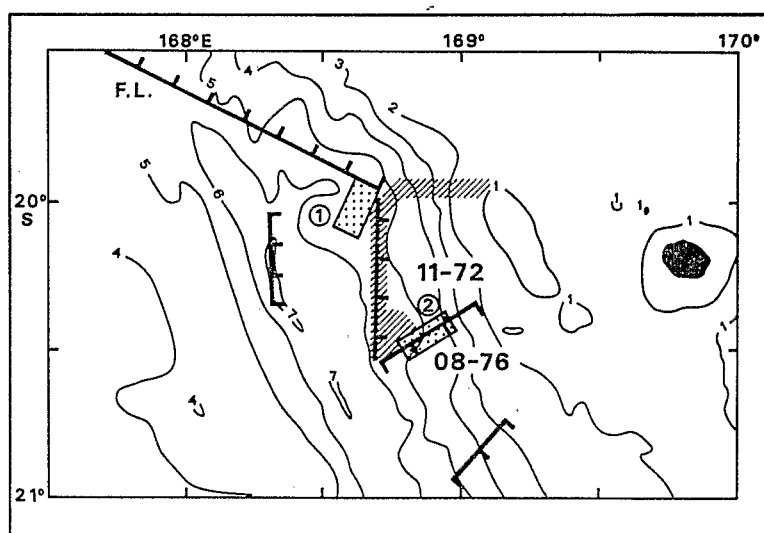


Fig. 5. — Interprétation structurale de l'essaim à 20°S. Les lignes épaisses sont les failles normales. Les zones grisées correspondent aux essaims 1 et 2. La zone hachurée recouvre les précurseurs du séisme de novembre 1972. Les zones actives des séismes de novembre 1972 et août 1976 sont indiquées par 11-1972 et 08-1976.

Fig. 5. — Structural map of the cluster near 20°S. Thick lines are normal faults. Shaded areas are swarms 1 and 2. Hashed areas are locations of the November 1972 $M_s=7.0$ foreshocks. The numbers 11-1972 and 08-1976 show the active zones of the November 1972 and August 1976 events, respectively.

L'apport principal des OBS à l'étude tectonique d'une zone sismiquement active séparant deux zones calmes a été de mettre en évidence à cet endroit une faille transverse à l'arc (essaim 2).

Nous remercions l'équipage du *N/O Coriolis* pour sa coopération et Roger Foy, Alain Grzeszczyk, François Jamet et Patrick Rigolot pour leur participation à la campagne EVA 13.

P.M. est décédé en février 1989.

Note remise le 30 janvier 1989, acceptée après révision le 2 mai 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. WYSS et coll., *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1983, p. 219-236.
- [2] R. E. HABERMANN, *J. Geophys. Res.*, 89, 1984, p. 5891-5903.
- [3] T. JOHNSON et P. MOLNAR, *J. Geophys. Res.*, 77, 1972, p. 5000-5032.
- [4] G. PASCAL et coll., *J. Geophys. Res.*, 83, 1978, p. 4957-4973.
- [5] E. COUDERT et coll., *J. Geophys. Res.*, 86, 1981, p. 5905-5925.
- [6] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 33, 1983, p. 243-249.
- [7] A. M. DZIEWONSKI et J. H. WOODHOUSE, *J. Geophys. Res.*, 88, 1983, p. 3247-3271.
- [8] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 33, 1983, p. 76-90.
- [9] D. L. CHINN et B. L. ISACKS, *Tectonics*, 2, n° 6, 1983, p. 529-563.
- [10] Y. NAKAMURA et coll., *Geophysics*, 52, n° 12, 1987, p. 1601-1611.
- [11] A. K. IBRAHIM et coll., *J. Geophys. Res.*, 85, 1980, p. 253-266.
- [12] J. DANIEL, *Trav. Doc. ORSTOM*, 147, 1982, p. 39-60.

R. L. : Centre ORSTOM, B.P. n° 45, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie;
 P. C., Y. H. et B. P. : ORSTOM, C.E.R.O.V., Laboratoire de Géodynamique sous-marine,
 B.P. n° 48, 06230 Villefranche-sur-Mer;
 C. F., P. M. et Y. N. : Institute for Geophysics, The University of Texas at Austin,
 8701 Mopac Boulevard, Austin, Tx, 78759-8345, U.S.A.