

La sismicité du Sud de la Nouvelle-Calédonie : implications structurales

Southern New Caledonia seismicity: structural implications

Marc Regnier^{a*}, Sabrina Van de Beuque^{a,b}, Catherine Baldassari^a, Guillaume Tribot Laspiere^c

^a Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

^b UBO, 29200 Brest, France ; c/o centre IRD de Nouméa, BP A5 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

^c IUP « Génie de l'environnement », université Paul-Sabatier, Toulouse, France

(Reçu le 1^{er} avril 1999, accepté après révision le 31 mai 1999)

Abstract — The seismicity of the southern part of New Caledonia stretches in a stripe pattern across the island, trending parallel to its western margin. The seismic activity is mainly concentrated in the peridotite domain and terminates, to the south, with a permanent swarm where the two largest earthquakes (mag 5.6 and 5.1) recorded in New Caledonia are located. This stripe of seismic activity is located at the boundary between two different domains characterized by different average elevations and gravity anomalies. The present-day seismicity is interpreted as the reactivation of a suture zone lying between the old Caledonian substratum and a domain of oceanic origin linked to the Loyalty Basin, accreted during the Eocene obduction. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

seismicity / obduction / New Caledonia

Résumé — La sismicité de la partie sud de la Nouvelle-Calédonie s'étend en une étroite bande en travers de l'île, orientée parallèlement à sa marge ouest. La zone sismique affecte principalement le domaine des péridotites et se termine au sud par un essaim permanent où sont localisés deux séismes de magnitude intermédiaire (mag 5,6 et 5,1). Cette bande de séismes sépare deux domaines structuraux différents, caractérisés par une élévation et des anomalies gravimétriques différentes. La sismicité actuelle est interprétée comme la réactivation d'une zone de suture entre le socle calédonien et un domaine d'origine océanique, accreté durant la phase d'obduction de l'Éocène. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

sismicité / obduction / Nouvelle-Calédonie

Abridged version

New Caledonia is considered as a stable area with very little seismic activity. Local earthquakes are usually felt with intensity no more than III or IV MKS. Regional intraplate earthquakes, west of the New Hebrides trench, are poorly located. Only a dozen events from the PDE (Preliminary Determination of Epicenter, USGS) catalogue have been located along the margins of New Caledonia in agreement with data from local IRD (ex ORSTOM) seismic stations. Among these events, two have a CMTS (Centroid Moment Tensor Solution) from Harvard (Dziewonski et al., 1981). They are only about 50 km from Nouméa, the capital city of New Caledonia and have magni-

tude of 5.6 and 5.1. We present here preliminary results on the seismicity of the southern half of New Caledonia recorded over a period of about 4 years by the IRD local seismic network.

Since the opening of the Tasman Sea, the geodynamic evolution of New Caledonia is characterized by a period of compressive tectonics evidenced in the Late Eocene by the obduction of the ophiolitic sheet over New Caledonia (Avias, 1967; Paris, 1981) and by oceanic crustal slices uplifted and partly overthrust at the boundary between the Norfolk ridge and the Loyalty basin (Auzende et al., submitted). It is followed, up to the Late Miocene, by large-scale motions along

Note présentée par Georges Pédro.

* Correspondance et tirés à part.
regnier@noumea.ird.nc



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx 20280 Ex : 1

the western margin of New Caledonia (Rigolot and Pelletier, 1988), and by periodic reactivations of an east-dipping subduction zone (Regnier, 1988; Lemenicier et al., 1998). The along strike position of the obduction front is very variable. In the southernmost part of the island, the overthrusting has reached the actual reef where peridotites have been drilled on the Amédé inlet (Cabioch et al., 1995) while in the Nouméa area, the stripe between the shore and the obduction front (Nouméa-Bourail unit, Cluzel et al., 1994) had undergone little deformation and no metamorphism (Campbell, 1984), which supports the idea that the overthrust did not reach that part of the west coast.

The locations presented were obtained essentially with data from the two permanent seismic stations DZM and NOUC in the Nouméa area (figure 2). The seismic events have magnitudes ranging from 1 to 3 and therefore were not recorded at more distant IRD stations in northern New Caledonia, Loyalty or Vanuatu islands. The seismic events were located using P and S wave readings from both stations together with minimizing the differences between computed and observed azimuths at stations as a function of the earthquake depth. This procedure allows the right epicenter and the earthquake depth to be identified when distances to stations are of the same order as the earthquake depth (figure 1). This technique was successfully tested on carry blasts. The earthquakes were generally located at shallow depths, within the top five kilometers, indicating that seismic activity is mainly concentrated at or around the surface contact between the ophiolitic sheet and the basement. The locations are presented in figure 2 together with mapped surface faults from Paris (1981).

On the seismicity map, one major trend shows N° 140 alignments of epicenters that stretch roughly across the southern part of the ranges down to the western coast, often parallel to surface mapped faults. Along strike, this seismic pattern terminates near longitude 166°30'E. This north-trending limit closely correlates with the location of rapid gravity anomaly variations (Collot et al., 1987) and a mean altitude drop southeast of that location. These coincident variations of several geophysical parameters probably indicate a structural boundary between two different geological domains. Nouméa area is roughly located on this boundary and seismic activity

spreads very close to the city, on both side of the obduction front.

The offshore seismic activity is quite low and is mainly scattered along the margins of New Caledonia. It is related to boundary faults where vertical motion of the island can be accommodated. One permanent swarm is located close to the two CMTS epicenters located in New Caledonia. The compatibility of these two independent data sets confirms the presence of an active seismic zone close to Nouméa. The depth of the largest events from this swarm has been estimated by body wave modelling (figure 3). For the synthetic computation, the focal solution from one of the CMTS has been used. A very good fit was found for a shallow depth of 2 km, quite close to the depth found when locating by travel times and azimuth modelling. The very shallow depth of this swarm, similar to that found for earthquakes in land, strongly suggests a common origin to both active seismic zones. They are obviously related to motions at the contact surface of the ophiolite sheet with the basement. The discontinuous pattern of the seismic activity together with the along-strike variation of the position of the obduction front allow the identification of several overthrust ophiolitic slabs rather than a continuous ophiolitic sheet (figure 4). Southeast of the NNE-trending structural boundary, one slab can be recognized up to the actual reef with seismic activity along its front and side edges. In this zone, the overthrust might have occurred on a different basement. The high positive gravity anomaly together with the mean low altitude in the southeastern part of New Caledonia suggest a substratum of oceanic origin, probably from the Loyalty basin. The transverse structural boundary would then be a segment of or related to the New Caledonia margin with the Loyalty basin before the Eocene obduction. The strip of seismicity is roughly parallel to the present-day western margin. This close relationship to the morphology of the ridge suggests that the seismicity could be also linked to the eastern pre-obduction margin, along the root zone of the ultramafic complex (figure 4). This margin would connect to the present-day eastern margin of the Norfolk ridge. Present-day seismicity reflects the reactivation of this suture zone by regional tectonics, mainly the extensional regime due to the lithospheric bulge of the Australian plate west of the New Hebrides trench (Dubois et al., 1975).

1. Introduction

La Nouvelle-Calédonie est habituellement considérée comme une zone stable, très peu sismique. Les séismes qui y sont ressentis proviennent en général de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides et sont distants au minimum de 250 km de la partie sud de l'île. Les séismes locaux, peu fréquents, sont ressentis principalement dans la moitié sud de l'île, grossièrement à l'est de 166°E de longitude (Louat et Baldassari, 1989). Leur intensité maximum n'excède jamais V ou VI. Les séismes régionaux superficiels situés à l'ouest de la fosse des Nouvelles-Hébrides et dont la localisation a pu être contrainte par

des données des stations IRD (ex Orstom), se concentrent au sud-est de la Nouvelle-Calédonie et interviennent probablement le long d'anciens accidents tectoniques réactivés par le bombement lithosphérique de la plaque australienne, en avant de la zone de subduction. Deux séismes localisés à l'intérieur du lagon sud de la Nouvelle-Calédonie ont vu leurs mécanismes publiés (CMTS catalogue de Harvard de 1977 à 1997 ; Dziewonski et al., 1981). Ce sont des solutions en faille normale (mb 5,6, séisme du 3 décembre 1990) et en décrochement (mb 5,1, séisme du 24 février 1991) avec, dans les deux cas, un axe des tensions orienté est-ouest, compatible avec l'orientation de l'extension due au bombement lithosphérique qui

affecte clairement l'extrémité sud-est de la Nouvelle-Calédonie (région de Yaté), ainsi que l'île des Pins (Dubois et al., 1975).

Depuis l'ouverture de la mer de Tasman au Crétacé supérieur, l'évolution tectonique de la Nouvelle-Calédonie est dominée par une phase compressive. Cette phase est marquée, à l'Éocène terminal, par l'obduction de la nappe ophiolitique sur le bâti calédonien (Avias, 1967 ; Paris, 1981) et par l'écaillage du plancher océanique du bassin des Loyauté le long de la ride de Norfolk (Auzende et al., soumis). Cette phase se poursuit jusqu'au Miocène supérieur par des mouvements le long de la bordure ouest-calédonienne (Rigolot et Pelletier, 1988), réactivant périodiquement une zone de subduction vers l'est (Regnier, 1988 ; Lemenicier et al., 1998). La nappe des péridotites, enracinée à l'est dans le bassin des Loyauté (Collot et al., 1987), est présente de façon discontinue sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Dans la partie sud de l'île, la nappe constitue l'unité structurale dominante. La bande littorale, entre le front et la côte ouest (unité de Nouméa-Bourail ; Cluzel et al., 1994), est caractérisée par une absence de métamorphisme régional (Campbell, 1984), qui indiquerait l'arrêt du charriage de la nappe au niveau du front actuel. Plus au sud, la nappe de péridotite a au moins atteint l'emplacement du récif moderne, où des péridotites ont été forées à 180 m de profondeur sur l'îlot Amédée (Cabiocch et al., 1995).

Nous présentons ici des résultats préliminaires sur la sismicité de la partie sud de la Nouvelle-Calédonie enregistrée de 1992 à 1996. Ces résultats ont été obtenus essentiellement à partir des données de deux stations sismologiques, DZM et NOUC, situées dans la région de Nouméa (figure 2). Les événements étudiés ont des magnitudes comprises entre 1 et 3 et n'ont pas été enregistrés par les autres stations sismologiques du réseau IRD.

2. Localisation

Pour une profondeur donnée du foyer, il y a deux solutions à la localisation d'un événement sismique, avec les lectures des phases P et S de deux stations. La bonne solution est celle pour laquelle les azimuts calculés et observés sont compatibles. En faisant varier la profondeur du foyer, on modifie la distance épacentrale aux stations, et donc la position relative des deux solutions (figure 1). Dans le cas de courtes distances épacentrales, ces variations d'azimut peuvent être importantes. On peut ainsi résoudre la profondeur du foyer en minimisant la différence entre azimuts observés et calculés. Dans notre étude, cette technique a été testée avec succès sur des tirs de carrière dont on connaissait précisément la localisation et la profondeur des sources. Pour ces tirs, les azimuts observés et vrais sont très peu différents, ce qui montre que les rais sismiques sont très peu déviés de leurs trajectoires théoriques. La localisation des tirs a aussi permis d'affiner le modèle de vitesse pour que les épacentres coïncident au mieux avec la zone de d'exploitation de la carrière. L'erreur finale sur les épacentres des tirs de carrière est de

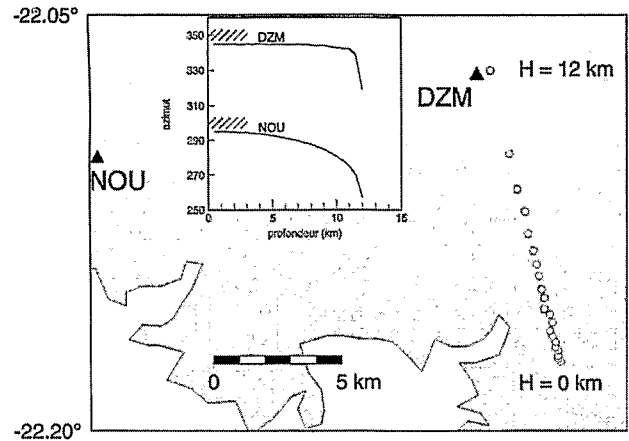


Figure 1. Variation de la position de l'épicentre d'un séisme (petits cercles blancs) en fonction de la profondeur du foyer pour une localisation avec deux stations seulement (triangles noirs, NOU et DZM). La profondeur varie de 0 à 12 km, avec un pas de 0,5 km. En insertion, courbes correspondantes de la variation de l'azimut de l'épicentre aux stations en fonction de la profondeur. Les valeurs observées de l'azimut avec une erreur de $\pm 2^\circ$ sont représentées par les bandes hachurées pour le domaine de profondeur où l'ajustement des azimuts est optimum. Pour ce séisme, des profondeurs très superficielles sont imposées par cette modélisation.

Movement of the epicenter of one event (small open circles) as a function of the earthquake depth when located with data from two stations only (black triangles, NOU and DZM). The earthquake depth varies from 0 to 12 km with 0.5 km increment. In insert, curves of corresponding variations of the back azimuth versus the depth, for both stations. The observed back azimuths, with an estimated $\pm 2^\circ$ error, are shown as hatched stripes over the depth domain where the agreement between observed and computed values is good.

l'ordre de quelques kilomètres. Les profondeurs trouvées sont très superficielles (≈ 2 km) et restent compatibles avec les profondeurs vraies. Ces tests ont donc montré que les effets de sites aux deux stations utilisées étaient négligeables et que l'on pouvait utiliser les azimuts pour contraindre la localisation des séismes proches. L'azimut de l'épicentre à la station est obtenu par ajustement par moindres carrés de la direction du mouvement horizontal du sol, normalement rectilinéaire dans une structure 1D, pendant le premier demi-cycle du sismogramme. L'azimut « observé » de la station à l'épicentre est simplement déduit du précédent en ajoutant 180° .

Les erreurs sur la position des tirs de carrière indiquent à peu près la précision des localisations des séismes dans cette étude préliminaire. Les tests effectués sur l'ensemble des événements ont aussi montré que le domaine de profondeur des foyers était restreint aux 15 premiers kilomètres. L'utilisation des azimuts observés dans la localisation a permis de contraindre les profondeurs des foyers aux 5 premiers kilomètres.

3. Résultats

La localisation des séismes est présentée sur la figure 2. Les failles représentées sur cette figure sont reprises de la carte géologique de la Nouvelle-Calédonie (Paris, 1981).

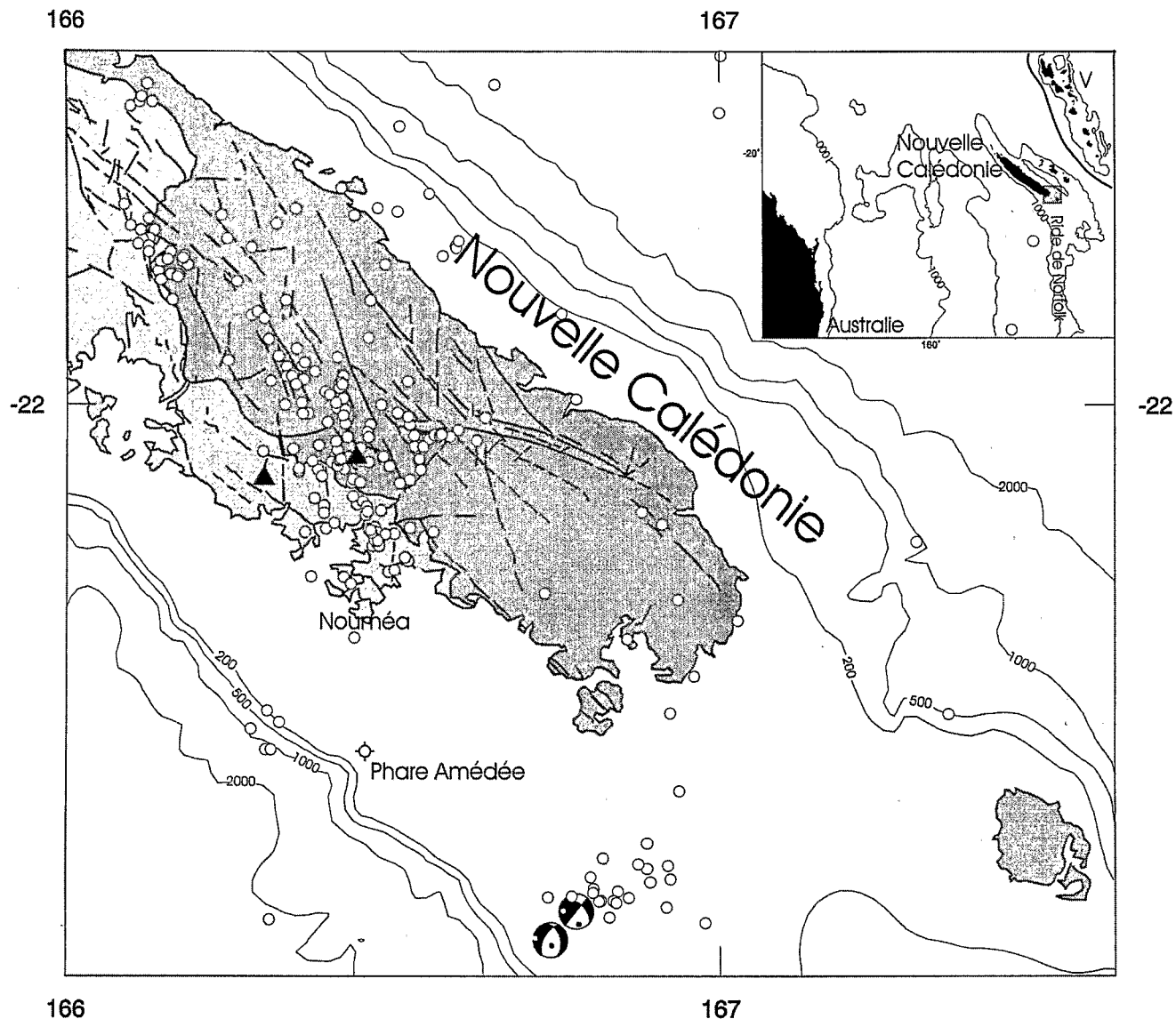


Figure 2. Carte de la sismicité enregistrée de 1992 à 1996 de la partie sud de la Nouvelle-Calédonie. Les stations sismologiques sont représentées par des triangles noirs. Les deux mécanismes au foyer sont tirés du catalogue des CMTS de Harvard. La zone en gris clair représente le substratum calédonien ; la zone en gris foncé, la nappe des péridotites. Les failles représentées en traits noirs sont tirées de la carte géologique de Paris (1981). Profondeurs des contours bathymétriques en mètres. En insertion, localisation de la zone d'étude en grisé. V pour Vanuatu.

Map of the seismicity recorded from 1992 to 1996 of the southern part of New Caledonia island. Seismic stations are shown by black triangles. The two focal mechanisms are from the Harvard CMTS catalogue. The light grey areas are the old Caledonian substratum; dark grey areas show the peridotite nappe. The surface mapped faults are from the geological map of Paris (1981). Bathymetry is in meters. In the insert, location of the study areas are shown in grey. V for Vanuatu.

À terre, les séismes sont distribués principalement dans le domaine de la nappe des péridotites et en plusieurs points le long du front de l'obduction. L'ensemble des épencentres forme une zone sismique étirée, globalement orientée N140°, affectant au sud une région située à la périphérie de Nouméa, en avant du front actuel de la nappe ophiolitique. Les épencentres sont pour la plupart localisés au sud de l'axe central. Ils s'organisent en courts segments à travers la partie sud de la chaîne, jusqu'à la côte ouest, segments qui coïncident souvent avec une faille. L'activité sismique disparaît le long d'une limite transverse vers 166°30'E. Cette limite coïncide avec une

zone à fort gradient de l'anomalie gravimétrique (Collot et al., 1987), au sud-est de laquelle on observe une baisse de l'altitude moyenne, associée à un maximum gravimétrique local. Ces variations cohérentes de plusieurs paramètres géophysiques indiquent très probablement la présence d'une limite structurale entre deux domaines différents.

Les erreurs sur les profondeurs déterminées dans cette étude ne permettent pas de préciser la position des foyers sismiques dans les structures géologiques superficielles connues. L'extension de la zone sismique, de part et d'autre du front, montre que les terrains sédimentaires sont

aussi affectés par cette activité sismique. Celle-ci n'est donc pas restreinte à la nappe ophiolitique ou à son contact basal avec le socle.

Une faible activité sismique est localisée dans le domaine marin autour de la Nouvelle-Calédonie. Cette activité s'étend principalement le long des marges est et ouest, indiquant probablement la présence de failles bordières accommodant les mouvements verticaux de l'île. Au sud de l'extrémité sud de l'île, à la latitude de l'île des Pins, on observe un essaim isolé et situé à proximité des deux seuls séismes de magnitude supérieure à 5, localisés en Nouvelle-Calédonie par le NEIC (National Earthquake Information Center) et dont les mécanismes ont été publiés par Harvard. La compatibilité de ces deux jeux de localisations indépendantes permet d'établir avec certitude l'existence de cette zone sismique à proximité immédiate de la Nouvelle-Calédonie et de sa capitale Nouméa. Cet essaim est aussi dans le prolongement de la zone sismique identifiée à terre avec une orientation N° 140. Les profondeurs calculées pour ce groupe de séismes varient entre 2 et 5 km. Les formes d'onde de deux de ces séismes ont pu être modélisées pour confirmer ces déterminations. Les profondeurs ainsi calculées (2 km) sont très proches de celles obtenues par ajustements des temps d'arrivée et des azimuts, qui s'établissent à 2,5 km. La figure 3 présente les sismogrammes observés et synthétiques des deux séismes enregistrés à la station DZM. Les sismogrammes synthé-

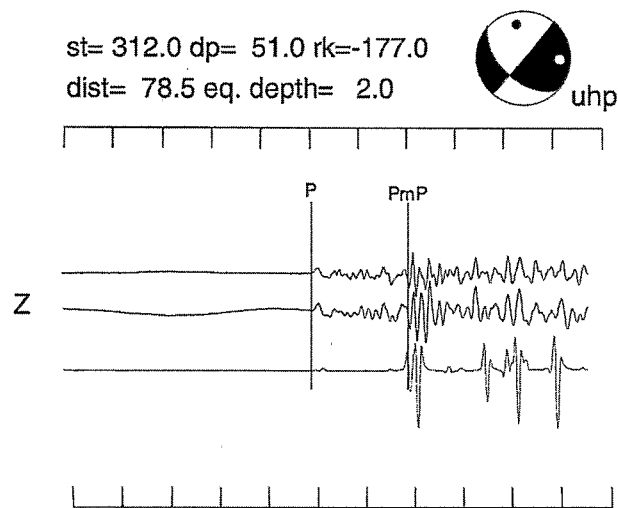


Figure 3. Détermination de la profondeur des séismes de l'essaim au sud de la Nouvelle-Calédonie par modélisation des ondes P de deux événements typiques (les deux traces supérieures, composante verticale) enregistrés à la station DZM. Le mécanisme CMTS de Harvard du séisme du 3 décembre 1990 (mb 5,6) a été utilisé pour calculer le sismogramme synthétique (la trace inférieure). Le meilleur ajustement des formes d'onde a été obtenu pour une profondeur du foyer de 2 km.

Depth determination by P-wave modelling of the earthquakes from the permanent swarm, south of the island. The two upper traces are vertical components of typical events from this area recorded at the station DZM. The Harvard CMTS focal solution of the 3 December 1990 earthquake (mb 5.6) has been used to compute the synthetic seismogram (lower trace). The best fit was found for a 2 km deep focus.

ques sont calculés avec un modèle simple de vitesse dérivé de celui utilisé par Regnier (1988) pour modéliser la structure profonde sous Nouméa. Nous n'avons pas déterminé de mécanisme pour ces séismes. Pour le calcul des synthétiques, nous avons utilisé la solution focale publiée par Harvard (CMTS) pour le séisme du 24 février 1991, localisé à proximité de l'essaim. Il y a globalement un très bon accord entre sismogrammes observés et calculés, en particulier dans les temps relatifs des différentes phases crustales (par exemple entre les phases PmP et P) qui imposent des contraintes très fortes dans la détermination de la profondeur. La profondeur très superficielle de ces séismes, leurs positions dans le prolongement des structures actives à terre, ainsi que l'orientation N° 132 d'un des plans nodaux du mécanisme décrochant (séisme du 24 février 1991) suggèrent fortement une nature et une origine identiques aux deux zones de sismicité localisées à terre et en mer.

4. Conclusions

La sismicité du Sud de la Nouvelle-Calédonie apparaît associée au front de la nappe de péridotites. La segmentation de l'activité sismique et les différentes positions du front de la nappe permettent d'identifier différents panneaux ophiolitiques, plutôt qu'une nappe continue (figure 4). On remarque qu'au sud-est de la limite structurale transverse, la nappe a atteint le récif et la marge ouest-

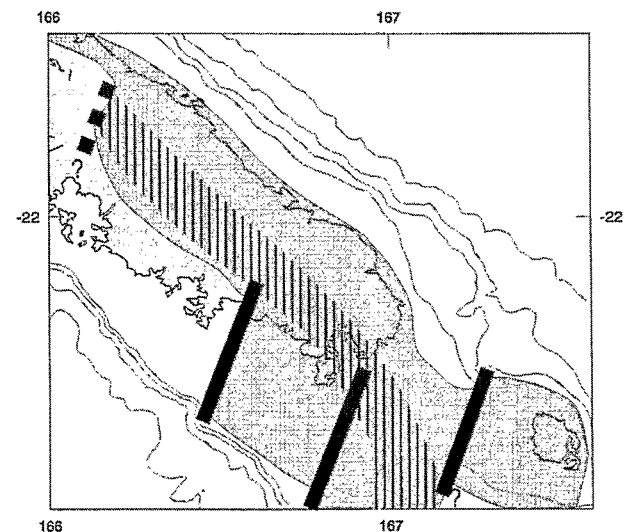


Figure 4. Schéma structural de la partie sud de la Nouvelle-Calédonie. La zone en gris foncé représente l'étendue de la nappe des péridotites. La zone hachurée marque la zone de suture entre le socle calédonien à l'ouest et le domaine d'origine océanique provenant du bassin des Loyauté. Les traits noirs épais marquent les limites entre des différents panneaux de péridotite.

Simplified structural sketch of the southern part of New Caledonia. The dark grey area shows the extend of the nappe of peridotite. The hatched area indicates the suture zone between the Caledonian substratum and the domain of oceanic origin linked to the Loyalty Basin. The thick black lines show the locations of boundaries between different ophiolitic slabs.

calédonienne. Il se pourrait donc que, dans cette zone, le charriage de la nappe se soit produit en partie sur un domaine de nature différente. Les fortes anomalies gravimétriques positives et la topographie en moyenne moins élevée dans la partie sud-est de la Nouvelle-Calédonie suggèrent que le substratum est d'origine océanique et faisait partie du bassin des Loyauté. La limite transverse vers 166°30'E représenterait alors un segment de l'ancienne marge du bloc calédonien avec le bassin des Loyauté. La bande de sismicité qui s'étend au travers du

Sud calédonien est globalement parallèle à la marge ouest. Ce parallélisme suggère que la bande de sismicité pourrait aussi être associée à la marge est, pré-obduction de la ride de Nouvelle-Calédonie, au contact de la zone d'enracinement de la nappe. Cette marge rejoindrait la marge est actuelle de la ride de Norfolk. La sismicité actuelle traduit la réactivation de cette zone de suture par le bombement lithosphérique de la plaque australienne, en avant de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides.

Remerciements. Nous remercions R. Decourt, L. Mollard et J.-P. Caminade pour leur maintenance des observatoires sismologiques en Nouvelle-Calédonie et à Vanuatu.

5. Références

- Avias J. 1967. Overthrust structure of the main ultrabasic New Caledonian massives, *Tectonophysics*, 4, 531–541
- Auzende J.-M., Van de Beuque S., Regnier M., Lafoy Y. et Symonds P. New evidence for the origin of New Caledonian Ophiolites. French-Australian Seismic Transect (FAUST), *Mar. Geol.* (soumis)
- Cabioch G., Join Y., Ihilly C., Laurent J.-L. et Ultramada D. 1995. Forages carottés sur l'îlot Amédée (octobre–novembre 1995), *Rapport de mission, Sciences de la Terre, Géologie-Géophysique*, Centre de Nouméa, 33, 14 p.
- Campbell H.J. 1984. Petrography and metamorphism of the Téremba Group (Permian to Lower Triassic) and the Baie de St. Vincent Group (Upper Triassic to Lower Triassic), New Caledonia, *J. Roy. Soc. New Zeal.*, 14, 335–348
- Cluzel D., Aitchison J., Clarke G., Meffre S. et Picard C. 1994. Point de vue sur l'évolution tectonique et géodynamique de la Nouvelle-Calédonie, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 319, série II, 683–690
- Collot J.-Y., Malahoff A., Recy J., Latham G. et Missègue F. 1987. Overthrust emplacement of New Caledonia ophiolite: geophysical evidence, *Tectonics*, 6, 3, 215–232
- Dubois J., Launay J. et Recy J., 1975. Some new evidence on lithospheric bulges close to island arcs, *Tectonophysics*, 24, 189–196
- Dziewonski A.M., Chou T.A. et Woodhouse J.H. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, 86, 2825–2852
- Lemennicier Y., Cluzel D. et Ménot R.-P. 1998. Geodynamic setting of Early Miocene granodioritic intrusives and associated epi/mesothermal gold deposits. Southeast New Caledonia, in: *STAR/SOPAC meeting 1998*, 25–26
- Louat R. et Baldassari C. 1989. Chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région Vanuatu Nouvelle-Calédonie (1729–1989), *Rapports scientifiques et techniques, Sciences de la Terre*, Orstom Nouméa, 1, 48 p.
- Paris J.-P. 1981. Géologie de la Nouvelle-Calédonie : un essai de synthèse, *Thèse, Mém. BRGM*, 113, 279 p., 1 carte HT
- Regnier M. 1988. Lateral variation of upper mantle structure beneath New Caledonia determined from P-wave receiver function: evidence for a fossil subduction zone, *Geophys. J.*, 95, 561–577
- Rigolot P. et Pelletier B. 1988. Tectonique compressive récente le long de la marge ouest de la Nouvelle-Calédonie : résultats de la campagne ZOE 400 du N/O Vauban (mars 1987), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 179–184