

Alignements volcaniques dans les Iles Australes : Analyse et interprétation de données SEASAT et Seabeam

Nicolas BAUDRY, Ulrich VON STACKELBERG et Jacques RÉCY

Résumé — Le transit du navire océanographique d'Allemagne Fédérale *Sonne* à travers l'archipel des Iles Australes a permis de faire une reconnaissance bathymétrique de deux monts sous-marins. Ces monts avaient été préalablement détectés et localisés par l'interprétation des mesures du satellite altimétrique SEASAT, et nous discutons la précision de la localisation. Associés aux données bathymétriques existantes, ces monts révèlent l'existence d'un alignement de hauts-fonds qui intersecte la partie ouest de l'archipel des Australes. Nous interprétons cette structure comme la trace du passage de la lithosphère sur un point chaud durant la période Crétacé supérieur-Eocène, et discutons les conséquences de cette hypothèse.

Volcanic trends in the Austral archipelago: Analysis and interpretation of SEASAT and Seabeam data

Abstract — During the transit of the West German R/V *Sonne* in the Austral archipelago, a Seabeam bathymetric survey was conducted over two seamounts previously detected and located using SEASAT data. We discuss the accuracy of the predicted location. Associated with charted shelves, these seamounts underline a linear bathymetric feature unknown until now which intersects the western part of the Austral archipelago. This feature is interpreted as the trace of a Late Cretaceous-Eocene hot spot and we discuss the implications of this hypothesis.

Abridged English Version — The Austral archipelago (Fig. 1) consists of recent volcanic islands and seamounts with ages varying from 0 to 12 M.a. This volcanic chain is classically interpreted as a trace of the hot spot located at the MacDonald volcano. The age of the crust, as deduced from magnetic anomalies (Fig. 1) varies from 40 M.a. near MacDonald to more than 70 M.a. in the west of the archipelago. Discrepancies exist between data and the classical model of a hot spot volcanic chain: 1. For some islands, the radiometric ages are too young in the pattern of MacDonald hot spot activity [1]. For instance, on Rurutu volcanism took place 12 M.a. ago and more recently, during the Pleistocene. 2. The morphology of the Austral archipelago consists of two parallel chains [2]. Some of the large guyots in the east of the archipelago (Simone, Annie, and Président Thiers guyots) have large summit plateaus with depths in the range of 1,200-1,600 m ([3], [4]). These depths, since they are assumed to be related to the subsidence of the lithosphere, are too great to be associated with volcanic features created by the MacDonald hot spot. Judging by the classical rate of subsidence, these features would be much older. 3. Recent studies of the mechanical behavior of the lithosphere ([5], [6], [7]) pointed out that the real elastic thickness of the lithosphere is very low (5-15 km) compared with theoretical values deduced from the age of the lithosphere at the time of loading [8]. Such a thinning of the equivalent elastic lithosphere reported for other intraplate volcanic chains was interpreted as the consequence of a thermal rejuvenation ([9], [10]). But the thinning for the Austral region (about 20 km) is considerable compared to other chains (e.g. 6 km thinning for the Hawaiian chain [10]).

In order to better constrain the geodynamical evolution of this area, we have analysed in previous studies the short wavelength signal of SEASAT altimeter data over the Southern Cook and Austral Islands area ([11], [12], [13], [15]). We developed a method of analysing SEASAT altimeter profiles in order to detect and precisely locate uncharted seamounts

Note présentée par Jean AUBOUIN.

ORSTOM Fonds Documentaire
71 N° : 25063 ex 1
Cote : B
Date : 880630

[11]. Our accuracy in pinpointing seamount locations was estimated to be about 15 km, and indications of the size and shape regularity of seamounts were also given. Ten new uncharted seamounts were detected in the area, and eight were located with 15 km accuracy. These seamounts are represented in Figure 1 (S1 to S10). Some of them (S3, S4, S5 and S7) lie on the northwest extension of charted shelves [14]. These seamounts and the charted shelves form a long bathymetric feature oriented N150°E, which intersects the west part of the Austral archipelago (*Fig. 1*). On the SEASAT tracks, this bathymetric feature corresponds to a continuous positive anomaly of the geoid with an amplitude and width of 1 m and 200 km respectively [15]. In order to test the accuracy in locating uncharted seamounts, we conducted a Seabeam survey of seamounts S6, S5 and S2 during the SEAPSO V cruise onboard the *R/V J.-Charcot* (January 1986) ([12], [13]) and they were found within 15 km of the predicted location. The Seabeam data also confirmed the size and shape estimations of the seamounts (*see* [12] and [13] for details). A second test of the SEASAT bathymetric predictions was carried out during a recent transit cruise by the West German *R/V Sonne* (SO-48 cruise, February 1987). A Seabeam survey of seamounts S7 and S3 was then conducted with two goals: (i) to record marine data in order to further confirm the reliability of SEASAT data for precise location of uncharted seamounts, and (ii) to confirm the existence of the linear topographic feature oriented N150°E. This short paper gives the results of this transit cruise.

Figures 2 and 3 display the Seabeam data over seamounts S7 and S3. The summit of S7 is at a depth of 2,160 m. The predicted location of the seamount (point P, *Fig. 2*) is about 2 km to the northwest of the exact seamount location. The large circle represents the 15 km uncertainty on the predicted location. Seabeam data over S3 (*Fig. 3*) show that the difference between the predicted location (point P, *Fig. 3*) and the real position of the summit is about 10 km. Summit S3 lies at 420 m below sea level. Flank rift zones appear to be well developed and are probably related to the growth of the seamount [16]. As previously observed over seamounts S6, S5 and S2 during the SEAPSO cruise, the predicted heights of S7 and S3 (1,500 m and 2,100 m respectively) are below those observed. This is due to the choice of the mean slope of the seamounts during computation of theoretical geoid anomalies (*see* a more detailed discussion in [13]).

The Seabeam data collected by the *R/V Sonne* provide a second positive test of the accuracy in predicting seamount locations. Mislocation of the summit is less than 15 km. We also confirm the existence of seamounts S7 and S3, the north part of the long topographic feature. In order to explain the origin of this feature, several hypotheses have been proposed and are discussed in a more detailed paper [15]. The most likely one seems to be the surficial trace of a hot spot during the Late Cretaceous-Eocene. Therefore, at least one thermal event occurred before the MacDonald hot spot became active. Consequently, the high thermal rejuvenation in the area would be a result of several thermal events. The large abnormally deep guyots mentioned above could also have been created by pre-Oligocene volcanism [10]. Recent volcanism must be responsible for the creation of small volcanic cones identified on the summit plateaus of these guyots [4].

INTRODUCTION. — L'archipel des Iles Australes (*fig. 1*) est interprété classiquement comme ayant été mis en place durant les douze derniers millions d'années par l'activité d'un point chaud situé actuellement sous le volcan actif MacDonald. Les structures volcaniques sont donc très récentes par rapport à la croûte océanique dont l'âge, déduit

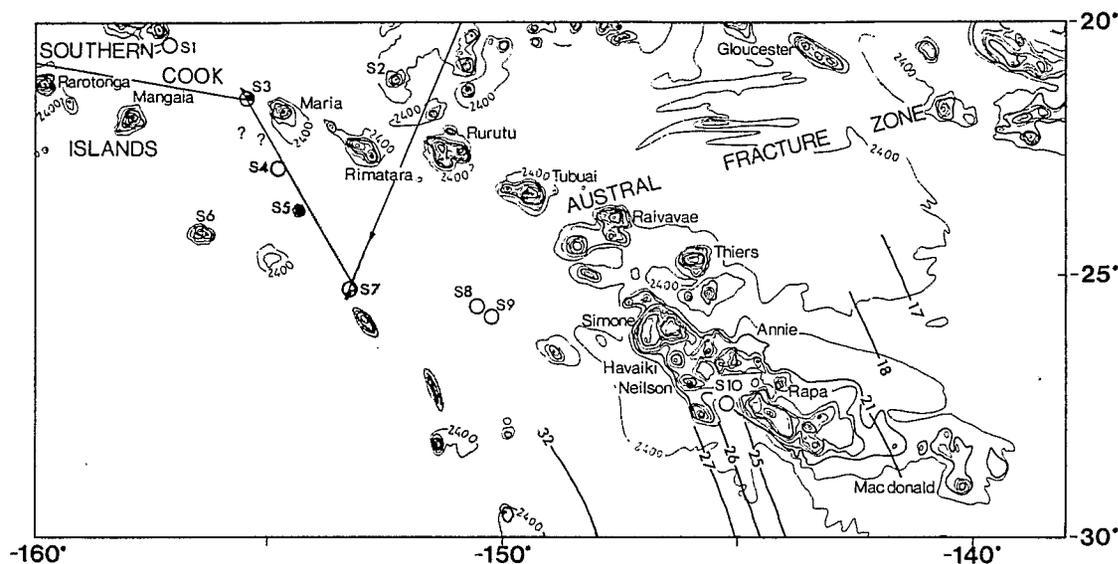


Fig. 1. — Bathymétrie de l'archipel des Iles Australes [14]. Dix monts sous-marins non cartographiés (S1 à S10) ont été localisés par l'analyse des mesures altimétriques SEASAT [11]. Certains de ces monts sous-marins prolongent vers le nord un alignement de hauts-fonds, souligné par le figuré pointillé, dont la signification est discutée dans le texte. La route suivie par le *N/O Sonne* est indiquée en trait plein. Profondeurs en brasses.

Fig. 1. — Bathymetry of the Austral archipelago [14]. Ten uncharted seamounts (S1 to S10) were previously located using SEASAT altimeter data [11]. Four of these seamounts lie on the north extension of some bathymetric features (see text). Solid line marks the track of the *R/V Sonne*. Bathymetry in fathoms.

des anomalies magnétiques (fig. 1), varie de 40 M.a. au niveau de MacDonald à plus de 70 M.a. dans l'ouest de l'archipel. Toutefois cette chaîne présente certaines divergences par rapport au modèle simple de chaîne volcanique intraocéanique :

1° Les datations K-Ar sont, pour certaines îles, incompatibles avec une croissance régulière de l'âge des structures en s'éloignant de MacDonald [1]. On observe par exemple un volcanisme Pléistocène à Rurutu.

2° La morphologie générale de l'archipel semble présenter deux chaînes [2] : une chaîne nord, de Président Thiers à Maria, se prolongeant par les Iles Cook du Sud, et une chaîne sud, de MacDonald au guyot Simone. De plus, la partie est des Australes comporte des guyots aux surfaces sommitales très développées, tels les guyots Simone, Annie, ou Président Thiers, dont les profondeurs des plateaux sont comprises entre 1 200 et 1 600 m ([3], [4]). La profondeur de ces plateaux, témoin de la subsidence due au refroidissement de la lithosphère, ne peut être expliquée si l'on suppose que ces structures ont été créées par le point chaud MacDonald. Il est nécessaire de leur attribuer un âge beaucoup plus ancien.

3° Les études récentes du comportement mécanique de la lithosphère dans cette région donnent des valeurs de l'épaisseur élastique équivalente très faibles ([5], [6], [7]). Ces valeurs, de l'ordre de 5 à 15 km, sont de 20 km environ plus faibles que les valeurs théoriques déduites de l'âge de la croûte au moment de la mise en place des surcharges [8] et correspondent à un rajeunissement de la lithosphère très important, de l'ordre de 30-60 M.a.

Un amincissement de l'épaisseur de la lithosphère mécanique, associé à l'existence de vastes bombements lithosphériques, se retrouve pour toutes les chaînes volcaniques du Pacifique. Ces phénomènes sont interprétés ([9], [10]) comme l'effet d'un réchauffement

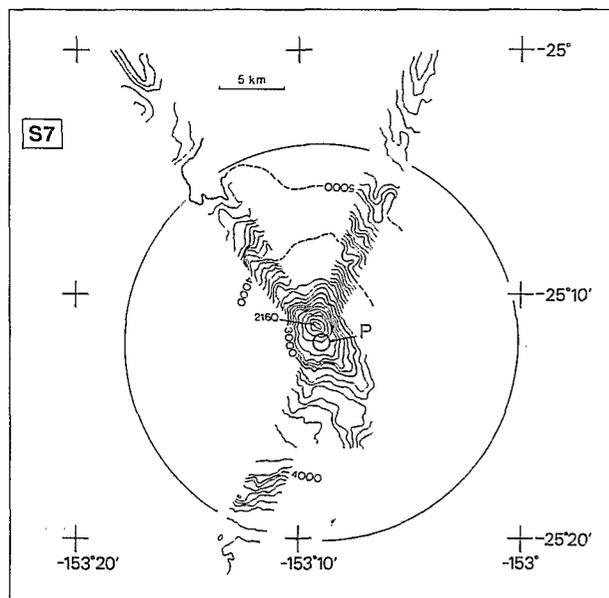


Fig. 2

Fig. 2. — Bathymétrie Seabeam du mont sous-marin S7. Le point P indique la position du sommet du mont prévue par l'analyse des données SEASAT. Le cercle centré sur P figure les 15 km de précision de la méthode de localisation. Profondeurs en mètres, projection Mercator.

Fig. 2. — Seabeam bathymetric survey of the seamount S7. P point is the predicted location of the seamount summit as computed using SEASAT data. The circle shows the 15 km accuracy of the location method. Contours in meters, Mercator projection.

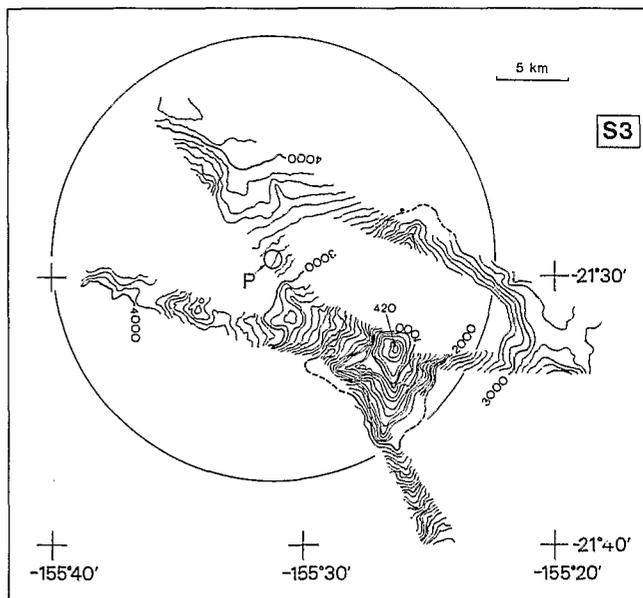


Fig. 3

Fig. 3. — Même figure que 2 pour le mont sous-marin S3.

Fig. 3. — Same as Figure 2 for the seamount S3.

régional de la lithosphère. La mise en place des structures volcaniques est alors associée à un affaiblissement mécanique de la lithosphère, qui se traduit par une diminution de l'épaisseur élastique équivalente. Mais pourquoi un amincissement aussi important pour les Australes, alors qu'il n'est que de 6 km [10] pour la chaîne de Hawaï?

Afin de tenter de mieux comprendre l'évolution de cette partie du Pacifique très insuffisamment reconnue par les moyens bathymétriques classiques, nous avons, au cours de plusieurs études, analysé les courtes longueurs d'onde du géoïde altimétrique SEASAT. Les courtes longueurs d'onde du géoïde sont en effet fortement corrélées avec la structure superficielle de la lithosphère, en particulier avec la bathymétrie et sa compensation isostasique.

Nous avons, dans un premier temps, développé une méthode de localisation de monts sous-marins non cartographiés dont la précision est estimée à 15 km [11]. L'analyse des profils SEASAT a également permis une évaluation de la taille et de la forme des monts [11]. Dix monts sous-marins (fig. 1, S1 à S10) ont été ainsi détectés dans la zone. Tous ont été localisés avec une précision de 15 km, exceptés S1 et S4 qui n'ont été détectés que sur un profil SEASAT, et dont la précision de localisation est de l'ordre de 40 km. Au cours de la campagne SEAPSO V du *N/O J.-Charcot* (janvier 1986), nous avons effectué des levées bathymétriques Seabeam sur trois de ces monts : S6, S5 et S2. Nous avons ainsi pu confirmer la précision de 15 km sur la localisation des monts, et éprouver les évaluations faites de la taille et de la forme des monts ([12], [13]).

Lorsque l'on associe la répartition de ces dix monts sous-marins aux données bathymétriques existantes [14] de nouvelles directions structurales apparaissent (fig. 1). Ainsi les

monts S3, S4, S5 et S7 se situent dans le prolongement nord de hauts-fonds cartographiés, l'ensemble formant un alignement de plus de 1 000 km, orienté N 150° E. Au sud de la latitude -25° , ces structures topographiques se traduisent sur le géoïde par une anomalie positive continue de 1 m d'amplitude et de 200 km environ de largeur que l'on peut suivre sur tous les profils SEASAT descendants, orientés NE-SW [15]. Au nord de -25° , cette signature est partiellement masquée par le bombement lithosphérique, auquel se superposent les anomalies de courtes longueurs d'onde des monts sous-marins.

Avant d'avancer des hypothèses sur l'origine de cet alignement de hauts-fonds, et son rapport avec l'activité du point chaud MacDonal, il convient donc de s'assurer de l'existence des monts sous-marins localisés sur le prolongement nord des structures topographiques connues. Comme nous l'avons vu, S5 a été cartographié durant la campagne SEAPSO V. Au cours du transit de Papeete à Suva du *Sonne*, navire océanographique d'Allemagne Fédérale, en février 1987 (campagne SO-48), une cartographie Seabeam a été réalisée sur S7 et S3. Cette opération avait pour but : 1° de confirmer l'existence de ces monts et donc de l'extension nord de la ligne de hauts-fonds, et 2° d'éprouver, par un second jeu de mesures, la précision sur la localisation des monts.

L'objet de cette Note est de décrire les résultats obtenus durant le transit du *N/O Sonne*, et de présenter une hypothèse, qui sera développée plus en détail dans [15], sur l'origine de l'alignement N 150° E.

RÉSULTATS. — La figure 2 montre la cartographie Seabeam partielle réalisée sur S7. Le sommet du volcan ($-2 160$ m) a été localisé à moins de 2 km au nord de la position prévue par l'analyse des profils altimétriques (Point P). La précision de 15 km sur la position prédite du sommet du volcan est matérialisée par le grand cercle centré sur P. Quoique très incomplète, la bathymétrie montre que le volcan a une forme allongée, de grand axe orienté N 145° E.

La couverture Seabeam de S3 (fig. 3) est plus complète. L'erreur de localisation du sommet du volcan par rapport à la position prédite (Point P) est d'environ 10 km. Du sommet du volcan (-420 m) partent vers le sud et l'ouest des zones de rifts bien développées. Ces rifts, bien décrits pour les volcans de la chaîne d'Hawaï, sont probablement liés à un volcanisme fissural jouant un rôle prépondérant dans la croissance des volcans sous-marins [16].

Comme ce fut le cas pour les volcans S6, S5 et S2 ([12], [13]), les hauteurs réelles des volcans sont sensiblement plus grandes que les hauteurs prédites lors de l'étude théorique (2 100 m pour S3 et 1 500 m pour S7). Les valeurs réelles des pentes sont également beaucoup plus fortes que les pentes du modèles de volcan ayant servi au calcul des anomalies théoriques du géoïde. Les deux faits sont liés et proviennent d'un ajustement insuffisant entre la forme réelle des monts et la forme du modèle (voir une discussion plus détaillée de ces points dans [13]).

DISCUSSION. — Les données collectées par le *N/O Sonne* complètent celles obtenues durant la croisière SEAPSO V. Elles constituent un second test positif sur la fiabilité et la précision de la technique de localisation des monts sous-marins précédemment développée [11]. L'existence, maintenant confirmée, des monts S7, S5 et S3 permet donc de prolonger vers le nord un alignement de structures topographiques d'origine probablement volcanique. Bien entendu, il n'existe pour l'instant aucun argument permettant d'affirmer que ces structures sont génétiquement liées. En particulier, la localisation de S3 rend son appartenance à la chaîne nord des Australes très probable. De même la chaîne sud des Australes peut se prolonger vers l'ouest par S9, S8 et S7. Quelque soit la faible quantité

de données marines dont nous disposons, les anomalies du géoïde permettent de confirmer, au moins jusqu'au volcan S7, la continuité de la structure [15]. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour rendre compte de cet alignement, parmi lesquelles un saut ou une anomalie de fonctionnement de la dorsale Pacifique-Farallon, une trace du point triple Pacifique-Farallon-Aluk, ou un volcanisme associé au passage de la lithosphère au-dessus d'un point chaud entre le Crétacé supérieur et l'Éocène. C'est cette dernière hypothèse qui nous semble la plus probable. Le principal argument en est la quasi-parfaite copolarité entre la structure et les différentes chaînes volcaniques mises en place à cette époque sur la plaque Pacifique [15]. Un ou plusieurs événements thermiques importants auraient donc eu lieu avant le passage de la lithosphère au-dessus du point chaud MacDonald. Cette remontée successive des isothermes peut alors expliquer la très faible épaisseur de la lithosphère mécanique dont nous avons parlé, qui aurait enregistré au moins deux épisodes de réchauffement.

Dans l'est de l'archipel, les grands guyots anormalement profonds pourraient également avoir été créés par l'activité d'un point chaud Éocène sur une lithosphère alors très jeune, créant une facturation ou une direction préférentielle d'affaiblissement de la lithosphère [10]. La trace du point chaud MacDonald aurait, par la suite, été déviée le long de ces structures, provoquant une deuxième phase de volcanisme comme en témoigne le développement de cônes volcaniques sur les plateaux sommitaux de ces guyots [4].

Note reçue le 30 novembre 1987, acceptée le 13 janvier 1988.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. L. TURNER et R. D. JARRARD, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 12, 1982, p. 187-220.
- [2] R. D. JARRARD et D. A. CLAGUE, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 15, 1977, p. 57-76.
- [3] H. W. MENARD, *Marine Geology of the Pacific*, McGraw-Hill, New York, 1964, p. 71.
- [4] R. H. JOHNSON et A. MALAHOFF, *J. Geophys. Res.*, 76, 1971, p. 3282-3290.
- [5] M. MCNUTT et H. W. MENARD, *J. Geophys. Res.*, 83, 1978, p. 1206-1212.
- [6] K. LAMBECK, *Earth Planet. Sci. Letters*, 55, 1981, p. 482-496.
- [7] S. CALMANT et A. CAZENAVE, *Earth Planet. Sci. Letters*, 77, 1986, p. 187-202.
- [8] A. B. WATTS, J. H. BODINE et N. M. RIBE, *Nature*, 283, 1980, p. 532-537.
- [9] R. S. DETRICK et S. T. CROUGH, *J. Geophys. Res.*, 83, 1978, p. 1236-1244.
- [10] H. W. MENARD et M. MCNUTT, *J. Geophys. Res.*, 87, 1982, p. 8570-8580.
- [11] N. BAUDRY, M. DIAMENT et Y. ALBOUY, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 89, 1987, p. 869-888.
- [12] B. PONTOISE, N. BAUDRY, M. DIAMENT, J. AUBOUIN, R. BLANCHET, J. BUTSCHER, P. CHOTIN, J. DUPONT, J.-P. EISSEN, J. FERRIERE, R. HERZER, A. LAPOUILLE, R. LOUAT, L. D'OZOUVILLE, B. PELLETIER, S. SOAKAI et A. STEVENSON, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 303, série II, 1986, p. 563-568.
- [13] N. BAUDRY et M. DIAMENT, dans *Seamounts, Islands and Atolls*, AGU Monograph, R. BATIZA, G. BOEHLERT, P. FRYER et B. KEATING éd., 1987 (sous presse).
- [14] J. MAMMERICKX, R. N. ANDERSON, H. W. MENARD et S. M. SMITH, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86, 1980, p. 111-118.
- [15] M. DIAMENT et N. BAUDRY, *Earth Planet. Sci. Letters*, 85, 1987, p. 427-438.
- [16] R. S. FISKE et E. D. JACKSON, *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 329, 1972, p. 299-326.

N. B. : Laboratoire de Géophysique, U.A. du C.N.R.S. n° 730, Bât. n° 509,
 Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex,
 et O.R.S.T.O.M., B.P. n° A 5, Nouméa Cedex, Nouvelle Calédonie;
 U. V. S. : Federal Institute of Geosciences and Natural Resources,
 Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51, Federal Republic of Germany;
 J. R. : O.R.S.T.O.M., B.P. n° A 5, Nouméa Cedex, Nouvelle Calédonie.