

CAMPAGNE POP 1 :
PROCESSUS D'EXTENSION DANS LE BASSIN ARRIERE ARC D'OKINAWA

J.-C. Sibuet*, J. Letouzey, F. Barbier, J. Charvet, J.-P. Foucher,
 T.W.C. Hilde, M. Kimura, C. Ling-Yun, B. Marsset,
 C. Muller et J.-F. Stéphan.

(*) IFREMER Centre de Brest, BP 70, 29263 Plouzané, France.

I. DESCRIPTIF TECHNIQUE DE LA CAMPAGNE

La campagne POP 1 s'est déroulée sur le N/O Jean Charcot, dans le bassin arrière-arc d'Okinawa. Elle a débuté le 22 septembre 1984 à Nagasaki (Japon) et s'est terminée le 16 octobre 1984 à Taipei (Taiwan) (Fig. 1).

La reconnaissance générale du bassin a été réalisée en utilisant les techniques suivantes : Seabeam, 3,5 kHz, gravimétrie, magnétométrie et sismique monotrAce analogique avec 2 canons TWG. Les travaux en station ont permis de réaliser 4 dragages, 31 carottages Kullenberg avec tube de 4,5 m instrumenté avec 7 sondes de mesures de température, 4 caméras ponctuelles équipées de la multisonde ME (Table 1).

II. OBJECTIFS ET METHODES

Le bassin d'Okinawa est un bassin arrière-arc formé par extension crustale au sein même de la lithosphère continentale de la marge de la mer de Chine orientale, en arrière du système arc-fosse des Ryukyu. Il s'étend de l'île japonaise de Kyushu à l'île de Taïwan. D'une largeur de 60 à 100 km au Sud-Ouest et atteignant 2300 m de profondeur, le bassin s'élargit vers le Nord-Est pour atteindre une largeur maximum de 230 km (Fig. 1).

Les premiers mouvements d'extension sont d'âge miocène, comme l'atteste la présence de Miocène supérieur marin dans les

forages du Nord du bassin d'Okinawa. Ces premiers mouvements correspondent à un changement important dans la direction de la plaque Philippines par rapport à la plaque Eurasienne (Le Pichon et al., 1986). Le volcanisme miocène existe dans l'arc des Ryukyu mais n'a jamais été mis en évidence sur la bordure occidentale du bassin, à l'exception des affleurements des îles de Danjyo situées à une centaine de kilomètres au Sud-Ouest du Japon. Pour l'essentiel, le bassin d'Okinawa aurait donc été formé par extension au sein de la lithosphère continentale à l'Ouest de l'arc volcanique miocène (Sibuet et al., 1987). Il constituerait le seul exemple de bassin arrière-arc s'ouvrant en domaine continental à un stade aussi précoce d'évolution. Après un arrêt de l'activité tectonique de quelques millions d'années, deux phases d'extension plus récentes ont été mises en évidence : l'une pléistocène inférieur de 2 à 0,5 ma, l'autre actuelle (Kimura, 1985 ; Letouzey et Kimura, 1985).

Dans la partie sud du bassin d'Okinawa, de fortes accumulations sédimentaires se mettent en place simultanément à la formation du bassin mais masquent la nature du substratum supposé de nature océanique, d'après les données magnétiques (Lee et al., 1980 ; Kimura, 1985). Dans la partie centrale du bassin, en arrière de l'île d'Okinawa où affleurent des terrains paléozoïques à récents, se trouve une zone où l'on observe de larges blocs basculés à

substratum continental, comparables à ceux observés sur les marges stables anciennes. Ces blocs sont bordés par des failles encore actives (1500 à 2000 m de rejets cumulés). La série sédimentaire préservée lors de la subsidence du bassin a fidèlement enregistré les mouvements tectoniques : failles normales et basculements liés à l'extension. Les failles normales, pour la plupart, sont encore actives et apparentes dans la morphologie. Dans l'axe du bassin, les rares intrusions volcaniques observées localement constituent probablement le début de création d'une croûte océanique. Dans la partie nord du bassin, aucune trace de volcanisme n'a été mise en évidence et les données de sismique réfraction suggèrent que la croûte est de nature continentale amincie.

Les objectifs de la campagne POP 1 étaient les suivants :

- définition de l'ensemble du système géologique et structural ;
 - étude de détail dans la zone centrale du bassin afin de définir la géométrie des séries sédimentaires affectées par l'extension et de reconstituer l'histoire de la formation du bassin. Ces données, accompagnées de mesures de flux de chaleur, sont critiques pour l'étalonnage des modèles thermomécaniques actuellement développés pour les bassins en extension.
- réalisation de dragages dans la partie où le domaine océanique se met en place, afin de caractériser le volcanisme au stade d'initiation de l'ouverture océanique.

III. PRINCIPAUX RESULTATS

Les processus de l'extension actuelle dans le bassin d'Okinawa se traduisent par la présence d'un réseau diffus de failles normales, orientées N040-N060 dans l'ensemble de la partie nord du bassin et par un système de

dépressions linéaires, sub-parallèles, en échelon, orientées N090 dans la partie sud et centrale du bassin (Fig. 2). Dans le Nord, la déformation actuelle est marquée par l'existence de failles normales à très faible rejet vertical (de l'ordre de quelques mètres) visibles sur les enregistrements du sondeur de vase (3,5 kHz) (Fig. 3). Dans le Sud, la déformation se traduit par un réseau de dépressions dont la distribution spatiale est caractéristique d'un système en échelon. Ces dépressions, pouvant atteindre une longueur de 100 km, présentent parfois des intrusions volcaniques axiales de plusieurs dizaines de kilomètres de longueur et de quelques centaines de mètres de hauteur. Aucune faille transformante n'a été mise en évidence entre ces dépressions. Ce système de dépressions en échelon se termine au Nord-Ouest de l'île d'Okinawa par un système de rides parallèles orientées N075-N080 appelé zone VAMP (Volcanic Arc-rift Migration Phenomenon) (Sibuet et al., 1987).

La zone VAMP, située à environ 100 km au Nord-Ouest de l'île d'Okinawa, représente une zone de transition entre la zone à croûte continentale amincie de la partie nord du bassin d'Okinawa et la zone à dépressions allongées en échelon de la partie sud du bassin, où les intrusions volcaniques pourraient être le témoin d'un domaine océanique naissant. La zone VAMP correspond également à la zone de transition entre le volcanisme d'arc dont l'activité décroît depuis le Sud du Japon pour s'éteindre au Nord-Est de la zone VAMP, et le volcanisme arrière-arc de la partie sud du bassin. Cette zone est caractérisée par une série de rides volcaniques sub-parallèles allongées selon une direction N075-N080 et par de nombreux monts sous-marins répartis de façon aléatoire (voir carte Seabeam de détail publiée dans l'Atlas et

dans Sibuet et al., 1987). Des basaltes frais, de composition intermédiaire entre les basaltes d'arc volcanique et les MORB (Sibuet et al., 1986), ont été dragués sur de telles rides. La modélisation des anomalies magnétiques ne permet pas de choisir entre un modèle de type intrusif ou de type accréation océanique (Davagnier et al., 1987). Cependant, la topographie générale en cuvette de la zone VAMP suggère plutôt la présence d'une croûte continentale amincie, avec un facteur d'extension augmentant vers le centre du bassin. La zone VAMP correspondrait donc plutôt à un bassin continental subsident où le volcanisme intrusif se mettrait en place le long de zones de faiblesse orientées N075-N080 suivant un mécanisme qui peut être spécifique du stade précédent l'ouverture océanique proprement dite.

Selon Molnar et Atwater (1978), l'arc volcanique serait une ligne de faiblesse le long de laquelle les processus d'extension pourraient s'initier. Sur la figure 4, on peut observer le contraste de morphologie entre les structures volcaniques allongées du bassin arrière-arc et le volcanisme d'arc caractérisé par les volcans de forme irrégulière. La taille de ces volcans décroît de l'île de Kyushu en direction de la zone VAMP. Le diamètre du dernier volcan actif de l'arc n'est que d'une dizaine de kilomètres. Ce volcan se trouve à environ 50 km à l'Est-Nord-Est de la zone VAMP. La migration progressive de la zone VAMP vers le Nord-Est s'effectuerait simultanément avec une décroissance de l'activité du volcanisme d'arc.

Le long du profil de flux de chaleur obtenu perpendiculairement à la partie sud du bassin d'Okinawa (Fig. 1), six valeurs présentent une augmentation

régulière du flux de chaleur de 32 à 231 mW/m² sur une distance de 30 km en partant de l'axe. Ces valeurs peuvent être expliquées par l'existence d'une circulation hydrothermale dans la série sédimentaire, les faibles valeurs de flux étant localisées en dessus du courant descendant, les fortes valeurs en dessus du courant ascendant. La circulation serait contrainte par le pendage du substratum en direction de l'axe du bassin. Il faut également supposer l'existence soit de sédiments à forte anisotropie en perméabilité, soit de failles associées au fonctionnement néotectonique du système (Genthon et al., soumis).

IV. REFERENCES

- Davagnier M., Marsset B., Sibuet J.-C., Letouzey J. et Foucher J.-P. (1987). Mécanismes actuels d'extension dans le bassin d'Okinawa. Bull. Soc. Géol. Fr., 8, 3, pp. 525-531.
- Eguchi T. et Uyeda S. (1983). Seismotectonics of the Okinawa Trough and Ryukyu Arc. Mem. Geol. Soc. China, 5, pp. 189-210.
- Genthon P., Rabinowicz M., Foucher J.-P. et Sibuet J.-C. (soumis). Large scale hydrothermal circulation in the Okinawa basin inferred from heat flow measurements. J. Geophys. Res.
- Kimura M. (1985). Back-arc rifting in the Okinawa Trough. Marine and Petroleum Geology, 2, pp. 227-239.
- Lee C.S., Shor G.G., Bibee L.D., Lu R.S. et Hilde T. (1980). Okinawa Trough : origin of a back-arc basin. Mar. Geol., 35, pp. 219-241.
- Le Pichon X., Huchon P. et Barrier E. (1986). Pangea, geoid and the evolution of the western margin of the Pacific Ocean. Proc. OJI internat. Seminar on the formation of ocean margins, Tokyo (Japan), Nov. 21-23, 1983.
- Letouzey J. et Kimura M. (1985). Okinawa Trough genesis :

- structure and evolution of a back-arc basin developed in a continent. *Marine and Petroleum Geology*, 2, pp. 111-130.
- Molnar P. and Atwater T. (1978). Inter-arc spreading and cordilleran tectonics as alternates related to the age of subducted oceanic lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 41, pp. 330-340.
- Sibuet J.-C., Letouzey J., Marsset B., Davagnier M., Foucher J.-P., Bougault H., Dosso L., Maury R. and Joron J.-L. (1986). Tectonic evolution and volcanism of the Okinawa Trough. In : *Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore, August 17-22, 1986 (Abstract).
- Sibuet J.-C., Letouzey J., Barbier F., Charvet J., Foucher J.-P., Hilde T.W.C., Kimura M., Ling-Yun C., Marsset B., Muller C. et Stéphan J.-F. (1987). Tectonics in the Okinawa Trough : constraints on back-arc basin models of formation and evolution. *J. Geophys. Res.*, 92, pp. 14041-14063.

V. ENGLISH ABRIDGED VERSION

The Okinawa Trough, lying to the East of China, is a back-arc basin formed by extension within continental lithosphere behind the Ryukyu trench-arc system. Middle to late Miocene uplift, associated with normal faulting of the initially adjacent Ryukyu non volcanic arc and the Taiwan-Sinzi folded belt, corresponds to the first rifting phase. The timing of rifting is supported by the presence of marine sediments of corresponding age drilled in the northern Okinawa Trough. The rifting occurred after a major early Miocene change in the motion of the Philippine plate with respect to Eurasia and ceased during the Pliocene. A second rifting phase started about 2 My ago, at the Plio-Pleistocene boundary and has continued until the present time. It has proceeded to a more advanced stage in the

middle and southern Okinawa Trough than it has farther North. Detailed bathymetric (Seabeam), seismic reflection, and magnetics data collected during the POP 1 cruise of the R/V Jean Charcot reveal the principal features of the extensional processes. The back-arc spreading phase started very recently in the southern and middle Okinawa Trough, as exemplified by several en échelon and, in some cases, overlapping active, central grabens oriented N70°E-N80°E. Some of these depressions are intruded by volcanic ridges of fresh back-arc basalt with associated large magnetic anomalies. Transform faults between these en échelon active rifts are not obvious. We suggest that the major part of the southern Okinawa Trough is underlain by a thinned continental crust and that except for the system of en échelon rifts of the southern Okinawa Trough, the back-arc basin oceanic domain is limited to a width of a few tens of kilometers or less in the axial portion of the trough. The system of axial back-arc volcanic ridges that occur in the rifts ends at the latitude of Okinawa Island whereas active volcanoes in the Ryukyu arc occur only North of Okinawa Island. We refer to this transition between active arc and back-arc volcanism as the volcanic arc-rift migration phenomenon (VAMP). Globally, back-arc volcanism propagated from the southern Okinawa Trough to the Okinawa VAMP area. Rifting continues to occur in the northern Okinawa Trough but is not yet accompanied by associated volcanism. The Okinawa VAMP area is characterized by a series of parallel basaltic ridges oriented N75°E with associated linear magnetic anomalies characteristic of dyke intrusions. We suggest that the formation of the back-arc oceanic domain took place along the axial back-arc extensional zone trending N75°E and that this zone presently ends at the

southern extremity of the active volcanic chain. The initial phase of formation of back-arc basin oceanic crust is non-steady state and is characterized by the lack of a developed fracture zone pattern. The termination of the VAMP area in the direction of the volcanic zone of the arc is consistent with the suggestion of Molonar and Atwater that the volcanic arc is a fundamental line of weakness which determines where initial back-arc spreading occurs. Apparently, back-arc extension initially occurred within the continental lithosphere located in the southernmost portion of the region and then moved northward. This migration was accompanied by the shutting down of volcanic activity along the abandoned portions of the arc. It is this transfer of volcanism that we call the VAMP process. Thus arc and back-arc basin volcanism seem to be associated in such a manner that spreading tends to migrate simultaneously with a cessation in volcanic activity along the arc. This interplay of arc and back-arc activity is probably linked to changes in the parameters of plate convergence. Since the plate motion in the Phillipine sea is oblique to the trench at least in the southern part of the Okinawa Trough, we suggest that the oblique resisting force applied to the edge of the overriding plate engenders the development of en échelon extensional features within and behind the arc. The motion of the Ryukyu platelet with respect to Eurasia is consequently an extensional strike-slip motion trending roughly parallel to the Okinawa Trough.

V. LISTE DES PUBLICATIONS ISSUES DE LA CAMPAGNE

1. Publications

Davagnier M., Marsset B., Sibuet J.-C., Letouzey J. et Foucher J.-P., 1987. Mécanismes actuels d'extension dans le bassin d'Okinawa. Bull. Soc. Géol. de

France, 8, p. 525-531.
 Genthon P., Rabinowicz M., Foucher J.-P. et Sibuet J.-C., soumis. Large scale hydrothermal circulation in the Okinawa basin inferred from heat-flow measurements. J. Geophys. Res.
 Letouzey J., sous presse. Tectonic and geologic maps of East Asia. Explanatory notes. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.
 Sibuet J.-C., Letouzey J., Barbier F., Charvet J., Foucher J.-P., Hilde T.W.C., Kimura M., Ling-Yun C., Marsset B., Muller C. et Stéphane J.-F., 1987.
 Yamano M., Uyeda S., Foucher J.-P. et Sibuet J.-C., in press. Heat-flow anomaly in the middle Okinawa Trough. Tectonophysics.
 Yamano M., Uyeda S., Kinoshita H. et Hilde T.W.C., 1986. Report on Delp 1984 cruises in the Middle Okinawa Trough, Part A : Heat flow measurements. Bull. Earthquake Res. Institute, University of Tokyo, v. 61, p. 251-267.
 Yamano M. et Uyeda S., sous presse. Geophysics, Heat flow. Ocean Basins and Margins series, Nairn K.E. (ed.), Plenum Press.
 Yamano M. et Uyeda S., sous presse. Regional studies : Heat flow in the Western Pacific. Handbook in Marine Heat Flow, S. Uyeda (ed.), CRC Canada.

2. Thèses

Davagnier M., 1985. Mise en forme des données de géophysique marine. Application aux processus initiaux de formation de la croûte océanique dans le bassin arrière-arc d'Okinawa (campagne POP 1). Diplôme d'Ingénieur de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.
 Marsset B., 1987. Etude géologique et géophysique du bassin d'Okinawa. Thèse 3ème Cycle, Université de Bretagne Occidentale.
 Yamano M., 1988. Heat flow in the Okinawa Trough. University of Tokyo. Ph.D.

des campagnes POP 1 et 2, ESTASE et SINKO.

Simplified bathymetric map of the Okinawa Trough with the POP 1 and 2, ESTASE and SINKO cruises tracklines and stations.

Figure 2 : Carte structurale du bassin d'Okinawa établie à partir de toutes les données sismiques disponibles (Letouzey et Kimura, 1985, et données POP 1). 1) volcanisme d'arc actuel ; 2) axe de la fosse ; 3) failles normales ; 4) mur interne et prisme d'accrétion, ceinture plissée Taiwan-Sinzi ; 5) hauts structuraux.

Structural map of the Okinawa Trough established from available seismic data (Letouzey and Kimura, 1985, and POP 1 seismic data). 1) present-day arc volcanism ; 2) trench axis ; 3) normal faults ; 4) trench slope and accretionary complex, Taiwan-Sinzi folded belt ; 5) structural highs.

Figure 3 : Failles normales, subsidence et intrusion d'une ride volcanique le long d'une dépression de la partie sud du bassin d'Okinawa sur les enregistrements de 3,5 kHz.

Normal faulting, subsidence and intrusion of a basaltic ridge along a depression of the southern Okinawa Trough illustrated on 3.5 kHz records.

Figure 4 : Carte structurale générale de la zone de subduction et du bassin arrière-arc des Ryukyu. Le volcanisme d'arc et les axes de dépressions topographiques du bassin arrière-arc sont figurés en noir. Les courbes de profondeur du plan de Bénihoff (Eguchi et Uyeda, 1983) montrent que le volcanisme d'arc et du bassin arrière-arc est localisé dans une bande située à 80-150 km en dessus du plan de Bénihoff.

Simplified structural map of the Okinawa region showing the position of the trench, the present-day arc volcanism and the axes of depressions of the central

and southern Okinawa Trough. Arc and back-arc volcanism is located 80 to 150 km above the Wadati-Bénihoff zone (Eguchi and Uyeda, 1983).

| Station N° | Latitude N | Longitude E | Profondeur m | Longueur carotte m | Flux Y/N |
|---------------|---------------|----------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| 1 KF1 | 30 20.225 | 128 13.165 | 620 | 1.2 | Y |
| 2 KF2 | 30 17.346 | 128 18.065 | 664 | 1.5 | N |
| 3 KF3 | 30 15.103 | 128 24.084 | 890 | .5 | N |
| 4 KF2B | 30 15.965 | 128 16.608 | 670 | 3.0 | Y |
| 5 KF3B | 30 15.542 | 128 24.445 | 845 | 3.4 | Y |
| 6 KF4 | 30 12.832 | 128 26.206 | 884 | .1 | Y |
| .7 KF5 | 30 10.380 | 128 33.045 | 900 | .8 | Y |
| 8 DR1 | 30 04.0 | 128 31.0 | 1580 | | |
| 9 KF6 | 27 35.174 | 127 01.581 | 1618 | 4.1 | Y |
| 10 DR2 | 27 34.354 | 126 59.953 | 1580 | | |
| 11 P1 | 27 34.8 | 127 01.2 | 1630 | | |
| 12 P2 | 27 34.387 | 127 00.746 | 1010 | | |
| 13 KF7 | 27 27.448 | 127 07.357 | 1570 | 4.5 | Y |
| 14 KF8 | 27 25.978 | 127 08.928 | 1410 | 2.9 | Y |
| 15 KF9 | 27 24.907 | 127 10.356 | 1390 | 4.05 | Y |
| 16 KF10 | 27 40.893 | 126 59.276 | 1490 | 1.65 | Y |
| 17 KF11 | 27 55.111 | 126 55.049 | 1190 | 4.1 | Y |
| 18 KF12 | 27 52.045 | 126 59.116 | 1225 | 4.5 | Y |
| 19 KF13 | 27 47.945 | 127 04.346 | 1330 | 3.6 | Y |
| 20 KF14 | 27 01.776 | 126 33.686 | 1840 | 2.0 | Y |
| 21 KF15 | 26 57.215 | 126 39.030 | 1750 | 4.0 | Y |
| 22 DR3 | 27 01.87 | 126 37.56 | 1800 | | |
| 23 KF16 | 25 17.518 | 124 56.888 | 2240 | 4.3 | Y |
| 24 KF17 | 25 16.466 | 124 55.722 | 2220 | .5 | N |
| 25 KF18 | 25 18.732 | 124 54.744 | 2135 | 3.9 | N |
| 26 P3 | 25 16.088 | 124 53.717 | 2200 | | |
| 27 KF19 | 25 18.015 | 124 54.142 | 2160 | 4.5 | N |
| 28 KF20 | 25 20.277 | 124 53.240 | 2135 | 4.5 | N |
| 29 KF21 | 25 22.574 | 124 53.518 | 2130 | 2.6 | Y |
| 30 KF22 | 25 20.318 | 124 53.690 | 2150 | 4.2 | Y |
| 31 KF23 | 25 25.253 | 124 52.587 | 2120 | 4.2 | Y |
| 32 KF24 | 25 27.0 | 124 54.0 | 2108 | 4.2 | Y |
| 33 KF25 | 25 29.883 | 124 52.489 | 2075 | 3.3 | Y |
| 34 KF26 | 25 31.013 | 124 50.495 | 2080 | 3.05 | Y |
| 35 KF27 | 25 31.807 | 124 50.395 | 2080 | 4.45 | Y |
| 36 KF28 | 25 38.425 | 124 49.035 | 2050 | 3.88 | Y |
| 37 KF29 | 25 43.0 | 124 47.0 | 2015 | 3.9 | Y |
| 38 DR4 | 25 14.068 | 124 24.405 | 2250 | | |
| 39 P4 | 25 15.9 | 124 25.2 | 2102 | | |

KF : carottages Kullenberg avec mesures de flux de chaleur
DR : dragages
P : caméras ponctuelles

Table 1 : liste des prélèvements de la campagne POP 1.
Stations list of the POP 1 cruise.

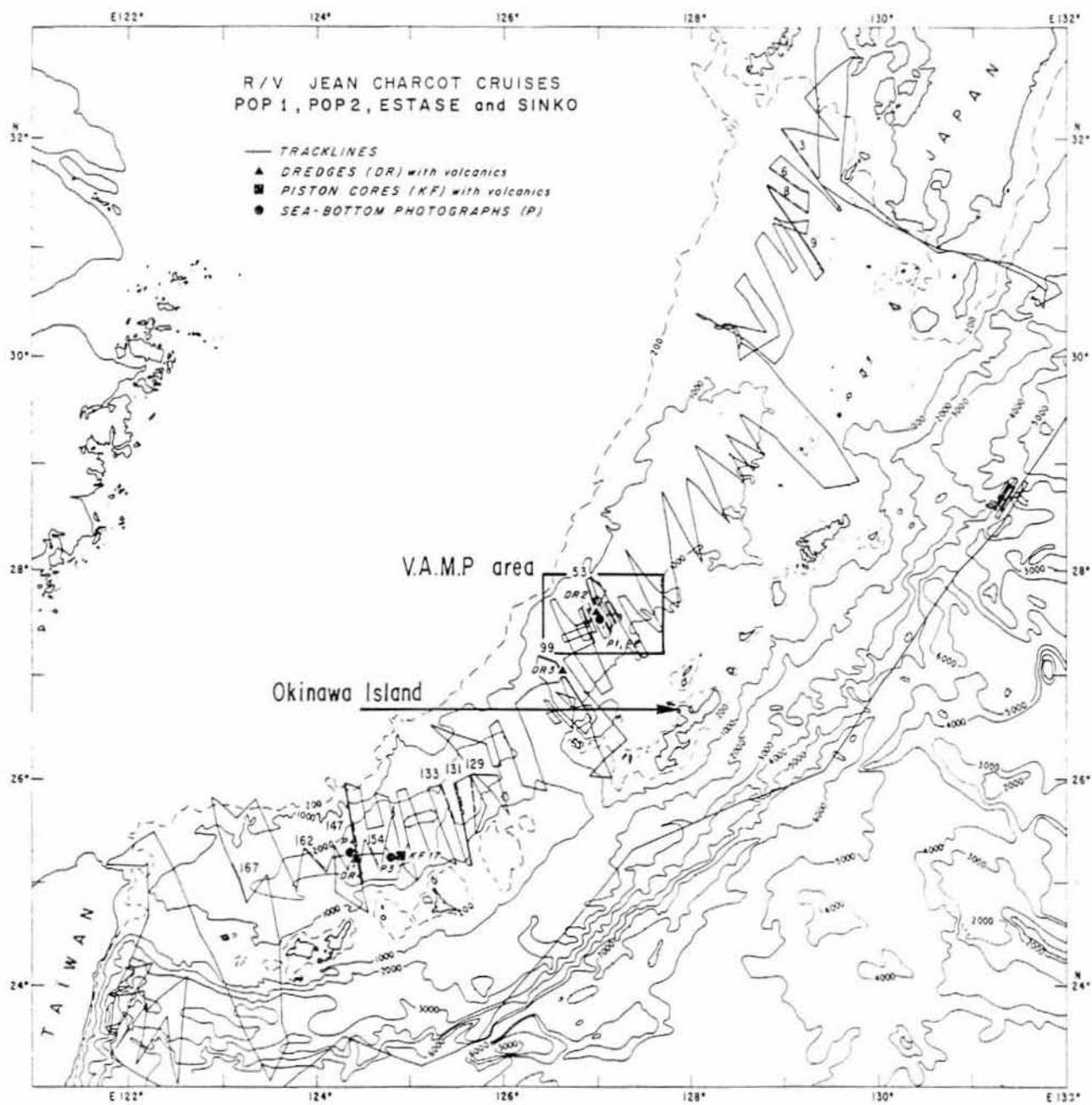


Figure 1 : Sibuet et al

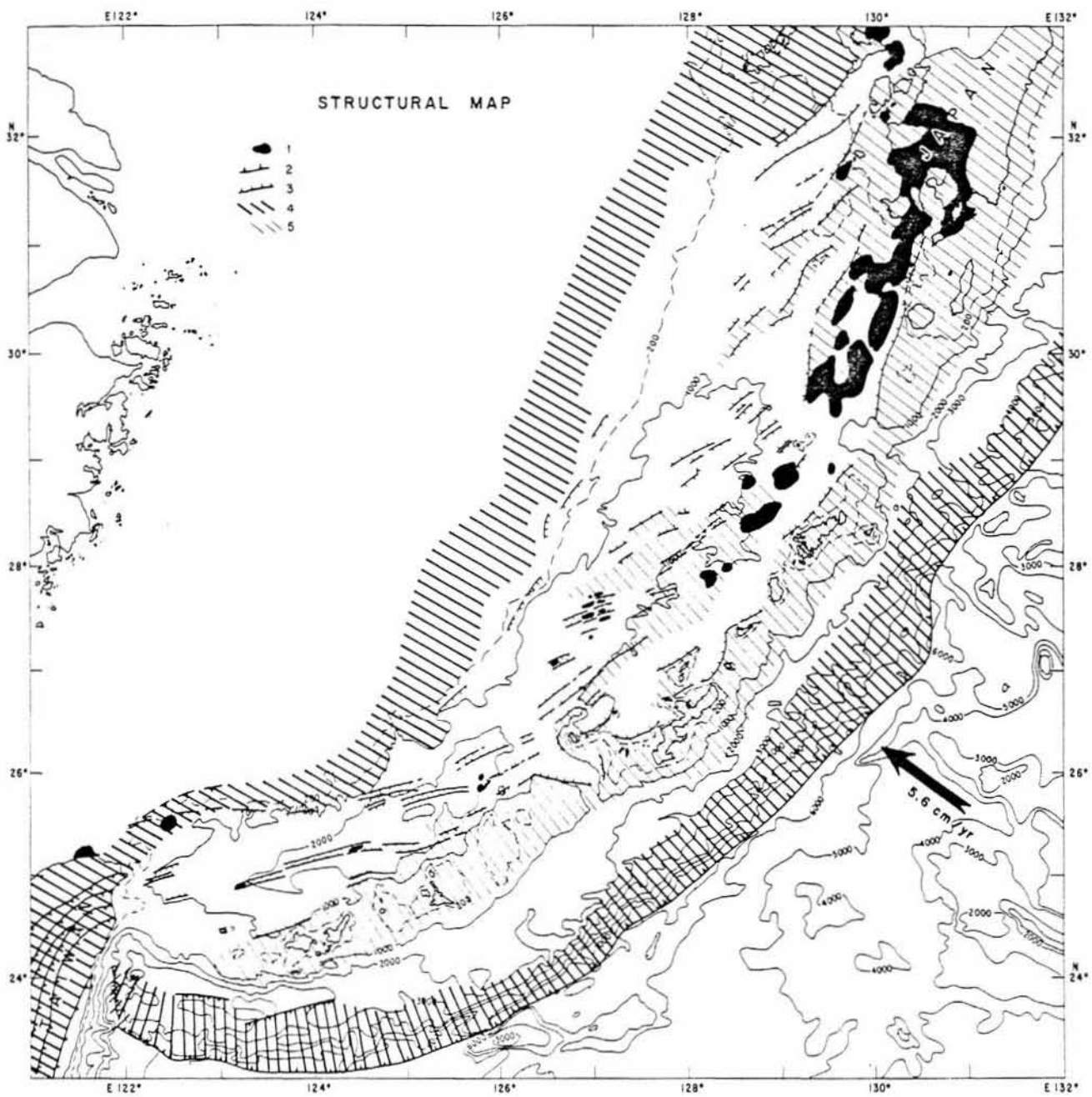


Figure 2 : Sibuet et al

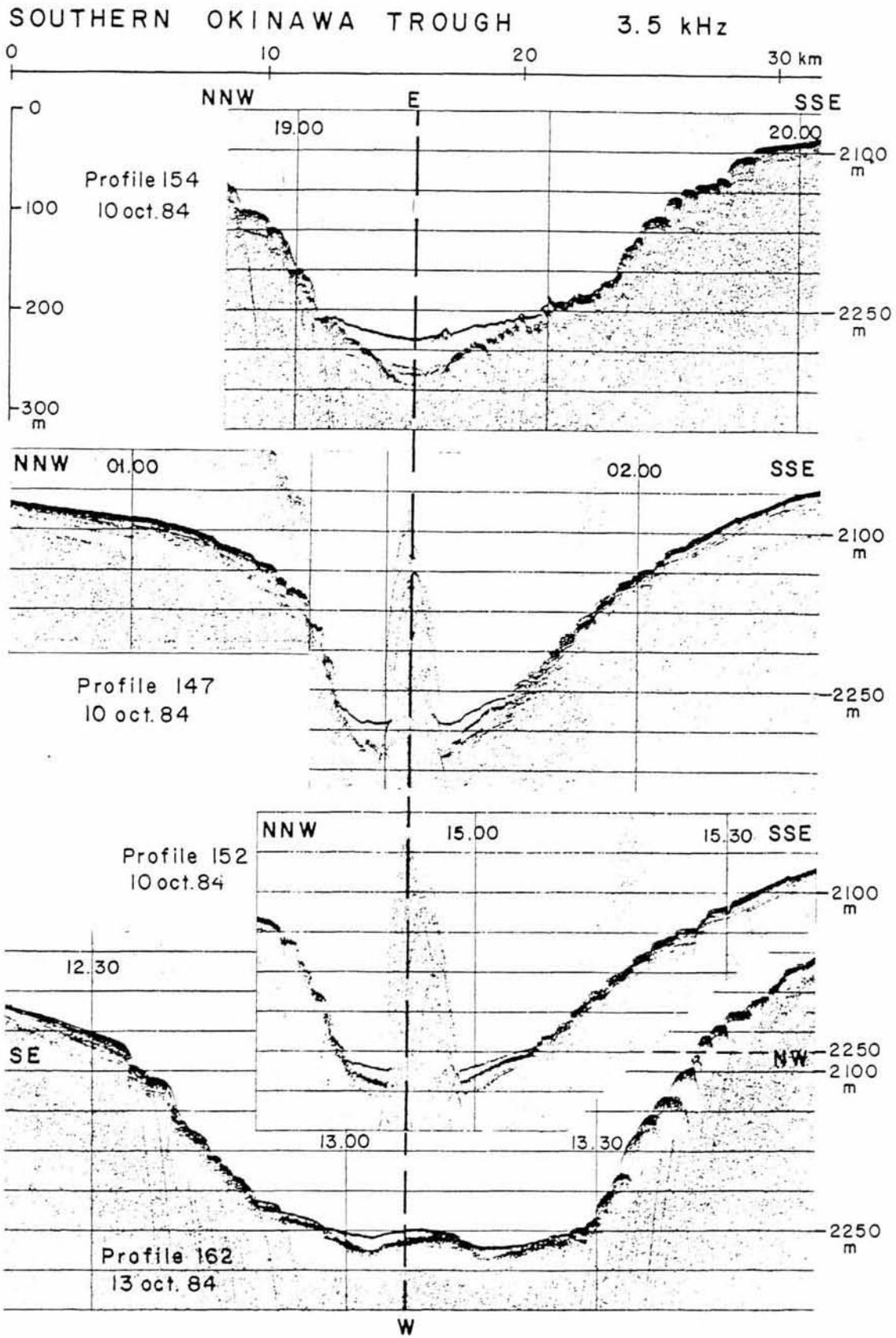


Figure 3 : Sibuet et al

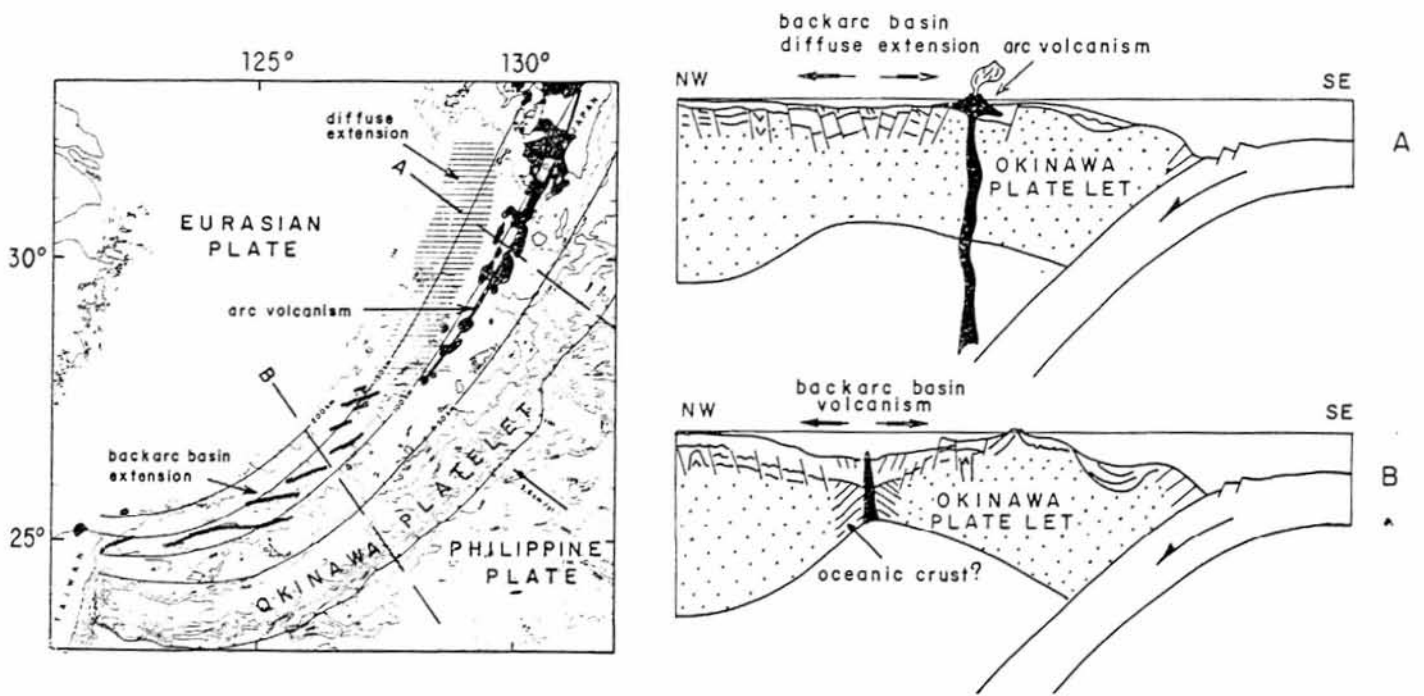


Figure 4 : Sibuet et al