

CAMPAGNE NANHAI :
ETUDE STRUCTURALE DE L'OUVERTURE DE LA MER DE CHINE

G. Pautot+, C. Rangin*, A. Briais°, P. Beuzart+, G. Lericolais+,
X. Mathieu°, J. Wu++, S. Han++, H. Li++, Y. Lu++, et J. Zhao++

- (+) Ifremer Brest, DERO/GM, B.P. 70, 29263 Plouzané cédex
- (*) Université de Paris 6, Département de Géologie structurale, 4, place Jussieu, 75252 Paris cédex 05
- (°) Institut de Physique du Globe, Laboratoire de Tectonique et Mécanique de la Lithosphère, Université de Paris 6, 4, place Jussieu, 75252 Paris cédex 05
- (°°) Université de Bretagne Occidentale, Océanologie et Géodynamique, 6 avenue Le Gorgeu, 29283 Brest cédex
- (++) First Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography, P.o. box 98, Qingdao, China

I. INTRODUCTION

La campagne Nanhai a été définie dans le cadre de la coopération franco-chinoise entre l'Ifremer et le NBO (National Bureau of Oceanography). Le NBO a désigné des scientifiques de son Premier Institut de Qingdao pour ce premier programme de collaboration océanographique. Une réunion à Pékin (novembre 1984) a permis d'établir un protocole d'accord de coopération : équipes mixtes et équilibrées, partage des données, études en laboratoire partagées, publications communes.

La campagne s'est déroulée du 17 février au 6 mars 1985 en mer de Chine méridionale de Manille à Manille. L'équipe scientifique était mixte, franco-chinoise, et du côté français appartenait à quatre laboratoires différents.

L'objectif défini en commun était l'étude structurale de la partie axiale de la dorsale s'étendant au centre du bassin. Pour cette étude, on a utilisé, pour la première fois dans cette zone, le sondeur multifaisceaux Seabeam. Simultanément ont été employés : la sismique monotrace continue, le

gravimètre et le magnétomètre. Le nouveau sonar latéral SAR a été mis en oeuvre sur une zone d'étude détaillée. 3 dragages de roches et 2 carottages de sédiment ont enfin été réalisés.

II. OBJECTIFS

La mer de Chine méridionale est un bassin marginal bordé au Nord par la marge chinoise, à l'Ouest par l'Indochine, au Sud par Bornéo et à l'Est par les îles Philippines et Taiwan. Cette mer est plus vaste que le bassin occidental de la Méditerranée (1400 x 1400 km). Sur ses bordures nord et ouest, la marge continentale est passive avec une épaisse couverture sédimentaire ; la marge continentale méridionale est actuellement de type passif mais aurait fonctionné en marge active (1) ; à l'Est, la subduction du bassin de la mer de Chine sous l'archipel des Philippines est active avec passage récent à la collision au niveau de Taiwan (2).

Les études antérieures ont été surtout l'oeuvre de D. Hayes et de B. Taylor (3) (4). Les mesures de géophysique marine ont permis de définir l'extension des marges et

un domaine océanique central. Le domaine océanique a été caractérisé par l'épaisseur de sa croûte, par son flux géothermique, par ses anomalies magnétiques. D'après les anomalies magnétiques, l'âge de cette croûte océanique irait de l'Oligocène terminal au Miocène moyen. L'orientation des anomalies magnétiques détectées dans le bassin est E-W et elles sont symétriques par rapport à un relief linéaire axial de même orientation EW et portant des volcans arrivant parfois à l'affleurement : les Scarborough Seamounts. Dans le coin SW du bassin des anomalies magnétiques discrètes sont orientées NE-SW (5) mais leur âge n'a pu être déterminé. Le modèle couramment admis est une ouverture par expansion océanique orientée NS au cours de l'époque située entre les anomalies magnétiques 11 et 5e soit entre 32 et 17 Ma (4) pour la partie orientale du bassin. Le coin SW présente une anomalie d'orientation non expliquée et un âge inconnu.

Méthodes

Pour comprendre les relations entre la partie océanique axiale orientale et le coin SW, nous avons décidé de balayer les 1000 km de l'axe du bassin par de longs profils obliques sécants.

Le long de ces profils l'analyse structurale et la détermination du "grain océanique" sont rendus possibles par l'utilisation simultanée du Seabeam et de la sismique continue. Des reliefs sont présents sur 100 km de part et d'autre de l'axe de la dorsale et au delà c'est le domaine des plaines bathyales sur lesquelles le Seabeam est impuissant. Dans la portion la plus récente de la dorsale, la sédimentation est à dominante hémipélagique et elle drapait les blocs crustaux sans les enfouir, ce qui a permis d'analyser la morphologie du substratum sous son voile sédimentaire.

Analyse structurale

Les premiers grands profils exploratoires ont montré une orientation moyenne constante N50°N des flancs de la dorsale sur toute sa longueur et sur près de 180 km de largeur. L'axe de la dorsale est clairement indiqué par le regard axial des failles normales le long desquelles s'effectue le basculement symétrique des blocs. Sur le segment situé entre les longitudes 116° et 118°E, l'axe est masqué par les coulées provenant de la chaîne des volcans Scarborough. Cependant, dans cette zone centrale, on met en évidence, en bordure de ces volcans axiaux, des directions conjuguées N50°E et N140°E. L'axe de la dorsale est souligné par un minimum gravimétrique. Des anomalies magnétiques orientées également N50°E ont été suivies de part et d'autre de l'axe. Dans le coin SW du bassin, les anomalies détectées correspondent bien avec le modèle 6-5d (6), comme dans la partie NE du bassin. Un premier résultat important est donc la continuité d'un même type de dorsale entre les longitudes 113° et 119°E, soit sur environ 900 km de longueur, avec une largeur moyenne constante d'environ 150 km et une orientation homogène N50°E.

Cependant cette dorsale n'est pas constituée d'un seul élément rectiligne mais de trois segments majeurs contigus :

- le segment oriental qui entre obliquement en subduction dans la fosse de Manille présente des orientations homogènes avec un relief volcanique axial allongé et un autre massif volcanique bordant son flanc nord en contact avec la fosse. Ce segment est peu affecté par le mouvement de subduction. Au Nord et au Sud de ce segment orienté N50°E, et à 80 km de l'axe, on observe des structures allongées et orientées N80°E à EW.

- le segment SW est rectiligne sans zone de fracture majeure. La limite NW de ce segment est mal définie car les apports sédimentaires provenant du continent asiatique ont ennoyé les reliefs du socle et il est difficile d'en déterminer les orientations. La limite SE par contre a pu être suivie jusqu'à la marge de Bornéo. Les blocs continentaux basculés, avec des discordances stratigraphiques caractéristiques, viennent en pied de marge en contact avec des blocs de nature océanique. Les blocs continentaux ont une orientation moyenne proche de celle de la croûte océanique : $N65^{\circ}E$, et on n'a pas observé de directions EW.

- entre ces deux segments parallèles s'intercale un segment plus complexe entre les longitudes 116° et $118^{\circ}E$. Ce segment est constitué de lanières de dorsale orientées $N50^{\circ}E$ mais décalées les unes par rapport aux autres par des zones de fracture à jeu senestre. La résultante de ces décalages successifs en gradins est une orientation virtuelle EW du segment. Les massifs volcaniques présentent les deux directions conjuguées et sont disposés préférentiellement à la jonction axe-zone de fracture.

Deux zones ont été étudiées de manière détaillée à la jonction N et S du segment SW avec le segment central portant les volcans Scarborough. La "boîte" N ne montre que des directions $N50^{\circ}E$ et surtout $N140^{\circ}E$ sur lesquelles s'établissent des reliefs volcaniques. La "boîte" S montre le passage des directions $N50^{\circ}E$ axiales aux directions $N80^{\circ}E$ externes, de manière graduelle.

III. RESULTATS

- Sédimentologie

Sur la "boîte" N, deux carottes ont été prélevées. La carotte KS01 a été prélevée dans la plaine (4260 m) sur le dos d'un relief océanique (4170 m) orienté $N50^{\circ}E$. La carotte obtenue mesure 710 cm.

La carotte est homogène et constituée de vase d'argiles grisâtre, à organismes siliceux. La dissolution des carbonates est poussée, ne laissant que quelques rares nannofossiles. Un âge quaternaire supérieur est attribué à la carotte. La partie grossière comprend (M. Hoffert, com. pers.) : des agrégats argileux, des micronodules vers la base, des verres volcaniques vacuolaires, du gypse en rosette, des quartz "bleus". On note des variations importantes de la proportion des différents minéraux argileux le long de la carotte et surtout sur le rapport smectite/illite : variations climatiques ou influence volcanique ?

La carotte KS02 a été prélevée sur un mont de la chaîne Scarborough à proximité du dragage DR02. Le carottage était situé à 1940 m de profondeur. Un arrachement important de 4 tonnes a été noté. Une carotte de 45 cm a été obtenue. Ce sédiment doit surmonter directement le basalte car le tube ne s'est enfoncé que d'un mètre. C'est un sédiment sombre induré passant à des sables biogènes clairs. Des croûtes de manganèse interstratifiées représentent des hiatus sédimentaires (hardgrounds). Les nannofossiles sont communs en surface, puis dilués en profondeur par les verres volcaniques. L'assemblage vers la base est typique de la zone à nannoplancton NN11a (Miocène supérieur) : (C. Müller, com. pers.).

- Pétrologie

Trois dragages de roches ont été réalisés sur la même boîte N sur trois volcans différents.

Le dragage DR01 a été effectué sur le flanc d'un massif volcanique orienté $N140^{\circ}E$ et entre 3850 m et 3000 m de profondeur. 50 kg de blocs de nature basaltique avec d'épais encroûtements de manganèse ont été prélevés. Ces roches présentent une grande variété de composition allant des basaltes

alcalins à olivine vers des trachybasaltes plus fractionnés.

Le dragage DR02 a été réalisé sur une structure volcanique allongée N130°E. Le prélèvement a eu lieu vers le sommet à 2900 m de profondeur. Un fragment arraché de basalte palagonitisé et recouvert de manganèse a été prélevé. C'est également un basalte alcalin à olivine mais très peu évolué.

Le dragage DR03 a été réalisé sur un massif volcanique important appartenant à l'alignement des Scarborough entre 3800 et 4000 m de profondeur. Des fragments de basalte et d'encroûtements ont été arrachés. Ce sont des trachybasaltes évolués.

- Imagerie du fond

Un traict de sonar latéral SAR a été réalisé dans le bassin et sur le volcan allongé central (Hu die Feng). Dans la plaine le sonar ne montre aucune structure particulière (ni affleurement, ni érosion), mais le sondeur 3,5 kHz associé montre une sédimentation litée dans les parties profondes, et homogène sur les parties plus hautes. Sur le volcan allongé, on voit à la base de grandes coulées lobées et les pillow-lavas sont affleurants sur la partie supérieure de la pente. A mi-pente, une falaise de 30 m de hauteur est orientée N120°E et parallèle à la fois aux isobathes et à la crête du volcan. Cette falaise est disséquée par des fissures orientées N45°E dans le sens de la pente. Ces structures (failles, fissures) suggèrent que le volcan s'est mis en place le long d'une zone de fracture.

- Cinématique

Notre étude apporte une donnée nouvelle importante : la fin de l'ouverture de la mer de Chine méridionale (entre 20 et 15 Ma) s'est effectuée sous une extension orientée NW-SE. Le volcanisme axial s'est manifesté préférentiellement à la jonction

de l'axe fossile de dorsale-zone de fracture et à la fin du phénomène d'extension ou même plus tardivement. D'après d'une part la largeur constante de la croûte océanique créée au cours de cette dernière phase et tout le long des 1000 km de dorsale, et d'autre part la datation des anomalies magnétiques, il semble que le phénomène d'ouverture ait été synchrone dans tout le bassin. En bordure externe de cette zone axiale homogène dans la partie orientale du bassin, la campagne a mis en évidence des directions structurales orientées N80°E à EW, qui sont en accord avec les anomalies magnétiques du bassin (3) (4). P. Tapponnier (7) pense que ces orientations magnétiques EW du bassin sont artificielles et dues à un coulissage généralisé de blocs le long de zones de fracture orientées N140°E, suivant le modèle observé sur le segment central de la dorsale. Cette hypothèse d'une seule phase d'ouverture, orientée NW-SE pour tout le bassin, est mise en relation avec les mouvements différentiels des blocs de la Sonde, d'Indochine et de Chine le long des grandes failles du Fleuve Rouge et de Wang Chao. Le moteur de cette ouverture serait donc les déformations intracontinentales. Si l'on accepte les anomalies magnétiques et nos observations structurales, on doit admettre un changement d'orientation des contraintes d'extension. Le bassin au pied de la marge chinoise et le bassin situé au nord de Palawan auraient été constitués par extension NS. Le moteur de cette extension serait la subduction du Pacifique au Sud (1). Le changement d'orientation de l'extension devenant NW-SE et l'arrêt de l'ouverture, pourraient être une conséquence de la rotation de l'arc philippin vers le Nord.

Bibliographie

(1) Holloway N., 1982. The A.A.P.G. Bull., 66, 9, 1355-1383.

(2) Stéphan J.F., R. Blanchet, C. Rangin, B. Pelletier, J. Letouzey and C. Müller, 1986. *Tectonophysics*, 125, 245-268.

(3) Taylor B. and D. Hayes, 1980. in *The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands*, *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 23, ed. by D. Hayes, 89-104, AGU Washington.

(4) Taylor B. and D. Hayes, 1983. in *The tectonic and geologic evolution of southeast Asian seas and islands : Part 2*, *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 27, ed. by D. Hayes, 23-56, AGU Washington.

(5) Bowin C., R. Lu, C. Lee and H. Schouten, 1978. *The A.A.P.G. Bull.*, 62, 1645-1672.

(6) Patriat P., 1983. *Thèse d'Etat*, Univer. Paris VI.

(7) Tapponnier P., G. Peltzer, A. Le Dain, R. Armijo, 1982. *Geology*, 10, 611-616.

IV. SUMMARY

We use observations from the 1985 R.V. Charcot cruise Nanhai to document NW-SE spreading in the 150-200 km wide region of the South China Sea (SCS), along the 1000 km long axial ridge. The data include Seabeam and single channel seismic profiles, completed by magnetic and gravity anomalies. Two detailed surveyed boxes were performed on both sides of the ridge to illustrate the structural fabric. A fine scale structural survey of the flank of a seamount with a side-scan sonar is also presented, as well as dredges and cores results. Interpretations imply that the last stage of spreading in the SCS basin was oriented NW-SE, and in the central area the created oceanic crust is dissected by numerous transform faults trending NW-SE. The alcaic lavas forming the Scarborough seamount chain are injected along N140°E trending transform faults and are dated 11-6 My. They were probably emplaced at the end of

the spreading, and after its cessation. We conclude to the structural continuity and same accretion timing of the axial ridge throughout SCS. Along the edges of the surveyed area rift structures with different orientation (N80°E) were also depicted. We present two alternative kinematic interpretations for the evolution of the basin. One involves the extrusion of Sundaland along large strike-slip faults in response to the India-Asia collision. Rifts trending NE-SW are created at the tips of those faults by Tertiary left lateral motion along them, and the oceanic spreading follows the same structural directions. The second interpretation implies a 20° to 30° counterclockwise rotation of the rift axis, with a general kinematic reorganisation around 20 My.

V. PUBLICATIONS ISSUES DE LA CAMPAGNE

Equipe scientifique franco-chinoise Nanhai, 1985. "Campagne Nanhai". Rapport préliminaire de bord, 92 p. (G. Pautot, chef de mission).

Pautot G., C. Rangin, A. Briaies, P. Tapponnier, P. Beuzart, G. Lericolais, X. Mathieu, J. Wu, S. Han, H. Li, Y. Lu, J. Zhao, 1986. "Spreading direction in the central south China sea". *Nature*, vol. 321, 8 May 1986, 150-154.

Briaies A., P. Tapponnier et G. Pautot, 1986. Evidence for NW-SE spreading in the South China sea. A.G.U. Fall Meeting, dec., San Francisco.

Pautot G., C. Rangin, A. Briaies, P. Tapponnier, P. Beuzart, G. Lericolais, X. Mathieu, J. Wu, S. Han, H. Li, Y. Lu et J. Zhao, 1986. "La dorsale fossile de la mer de Chine méridionale : analyse morphostructurale". *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 303, sér. II, n° 6, 481-486.

Briais A., P. Tapponnier, G. Pautot et C. Rangin, 1987. "NW-SE spreading in the South China Sea", E.U.G. IV, Strasbourg.

Pautot G., 1987. "Une dorsale sauteuse en mer de Chine ?". La Recherche, n° 187, avril 1987, vol. 18, 518-520.

A. Briais, P. Tapponnier, P. Patriat, R. Lacassin, H. Leloup, U. Shaerer, D. Zhong, K. Wang, 1988. "The Tertiary opening of the South China Sea and other extensional basins of the Sunda shelf : a consequence of the collision between India and Asia". Int. Symposium "Geodynamic evolution of the Eastern Eurasian Margin", Paris, 13-20 sept. 1988, abstract, p. 33.

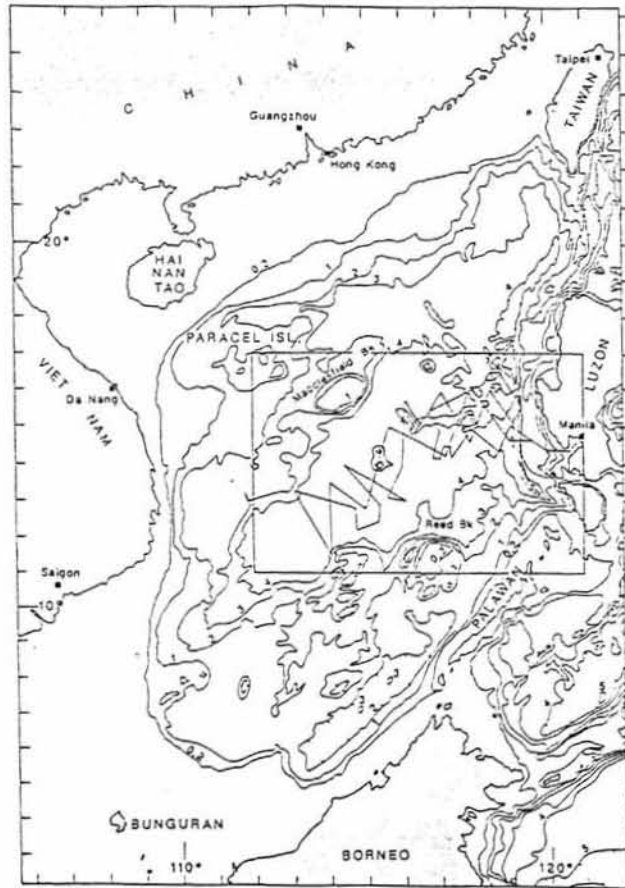
Taylor B. and C. Rangin, 1988. "Tertiary right-lateral pull-apart basins along the Asian-Pacific margin : constraints on the propagating extrusion model of indo-asian tectonics". Int. Symposium "Geodynamic evolution of the Eastern Eurasian Margin", Paris, 13-20 Sept. 1988, abstract, p. 100.

Pautot G., C. Rangin, A. Briais, J. Wu, S. Han, H. Li, Y. Lu, J. Zhao, 1989. "The axial ridge of the South China Sea : a Seabeam and geophysical survey". Oceanologica Acta, in press.

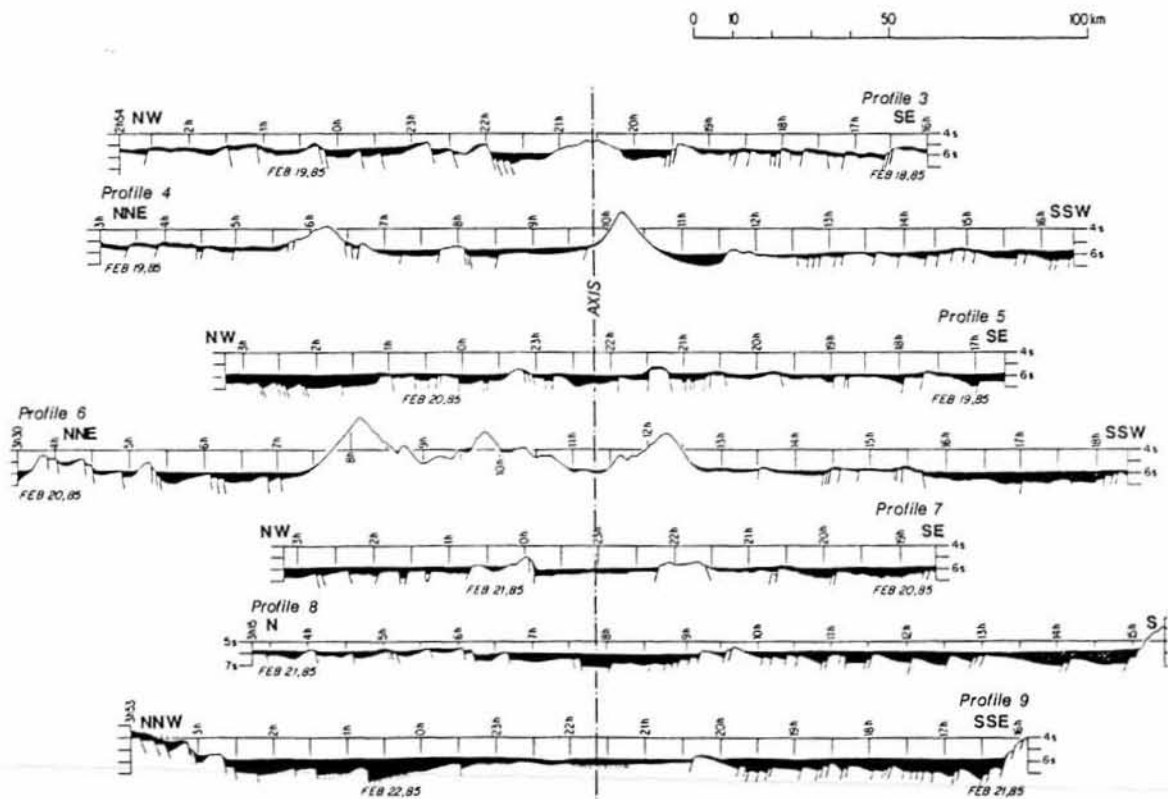
Briais A., P. Tapponnier, G. Pautot, 1989. "Constraints of Seabeam data on crustal fabrics and seafloor spreading in the South China Sea". Submitted.

Hékinian R., P. Bonté, G. Pautot, D. Jacques, L. Labeyrie, N. Nikkelsen, J.L. Reyss, 1989. "Volcanics from the South China Sea ridge system". Oceanologica Acta, in press.

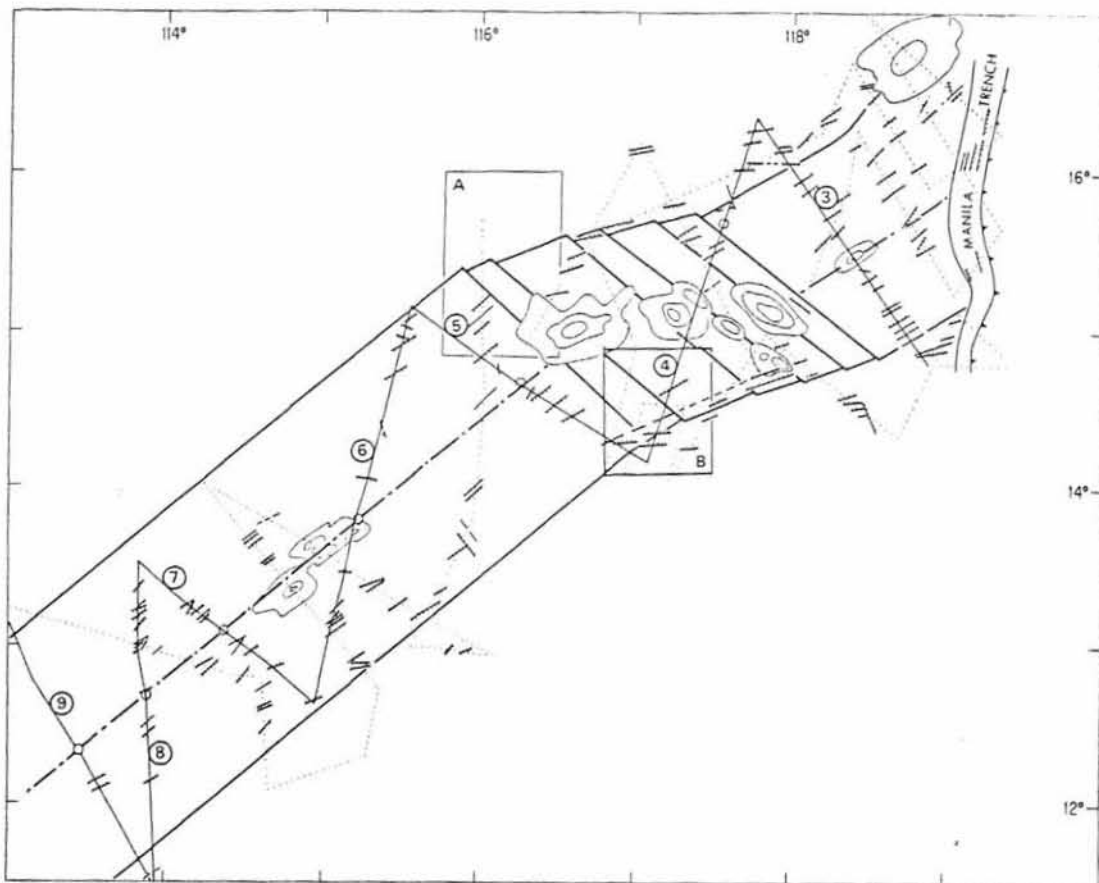
Pautot G. et C. Rangin, 1989. "Subduction of the South China Sea axial ridge below Luzon (Philippines)". E. P. S. L., 92, 57-69.



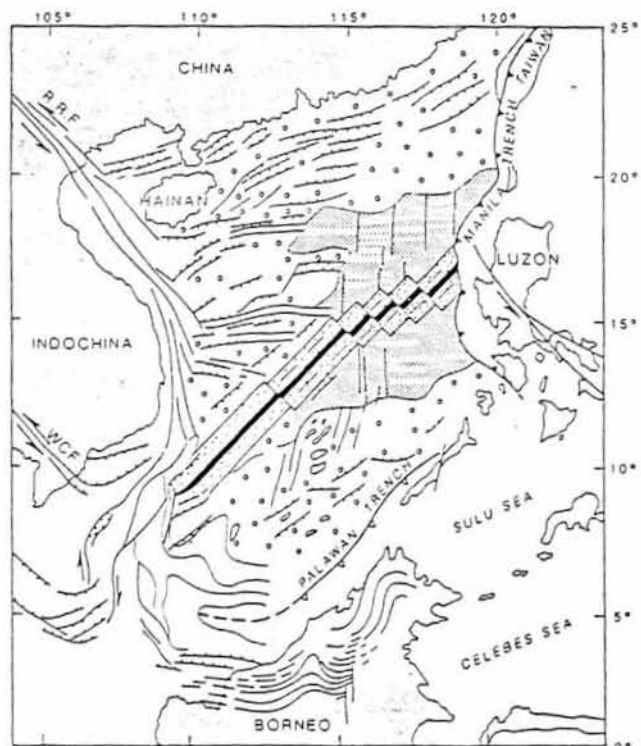
Bathymetric map of the South China Sea showing the ship tracks of Nanhai cruise.



Interpreted single channel seismic profiles across the axial ridge. Sediments covering acoustic basement are shown in black. Vertical scale in seconds (two way travel time).



Structural sketch map of the South China Sea axial ridge. Strike and dip of major faults derived from combined analysis of Seabeam and seismic reflection records. Dotted lines are ship tracks. Boxes A and B are the northern and southern study areas.



Interpretation of the history of the South China Sea presented in tectonic sketch map. Sketched continental margins of the basin (open circles) are affected by both E-W and NE-SW trending normal faults.
RRF : Red River Fault, WCF : Wang Chao Fault.