

CAMPAGNE KRAKATAU :  
EXTENSION-SUBDUCTION DE LA MARGE CONTINENTALE  
ENTRE JAVA ET SUMATRA

Equipe scientifique du projet Krakatau <sup>1</sup>

I. INTRODUCTION

A. L'arc de la Sonde

L'arc insulaire de la Sonde qui s'étire sur plus de 5000 km de l'île de Sumba à l'Est à la Birmanie au Nord-Ouest peut être divisé en plusieurs provinces naturelles(11) : Java, détroit de la Sonde, Sumatra, Nicobar-Andaman et Birmanie.

Ces provinces naturelles correspondent aussi à des discontinuités majeures dans la morphologie et bathymétrie de la zone avant-arc (10) et dans la position relative des éléments constitutifs de la marge continentale (9), fosse, ride et bassin avant-arc. Elles correspondent aussi à des différences majeures dans la longueur et la pente du plan de subduction, dans la sismicité et dans la direction de convergence des plaques (5).

L'activité volcanique présente aussi des particularités d'une province à l'autre et notamment au niveau du détroit de la Sonde où siège

le Krakatau.(2)

Le détroit de la Sonde représente une province de transition entre Java et Sumatra caractérisée par la présence d'un profond détroit, l'absence de ride avant-arc, la présence d'un rentrant au niveau de la fosse (1,3,10). Le changement d'orientation de plus de 30° des îles de Java et de Sumatra crée au niveau du détroit un changement dans la direction de convergence à la frontière des plaques Océan Indien-Eurasie.

B. Le projet Krakatau

L'objectif principal du projet Krakatau est d'étudier la réponse d'un arc insulaire aux variations des paramètres de subduction : angle et vitesse de convergence, quantité de sédiments accrétés et à analyser les mécanismes conduisant à son éventuelle segmentation.

L'arc de la Sonde se prête bien à ces études car d'une part sa courbure crée une augmentation progressive de l'obliquité de la convergence

<sup>1</sup> - Vincent Renard (IFREMER), Nicolas Chamot-Rooke (ENS), Christine Deplus (IPGP), Michel Diament (Paris XI), Jacques Dubois (IPGP), Philippe Huchon (ENS), Derk Jongsma (Vrije Univ. Amsterdam), Michel Larue (ORSTOM), Patrick Rigolot (ORSTOM), Michel Voisset (IFREMER), Hery Harjono (GRDC-LIPI), Idwan Suhardi (BPPT), Purnomo Kridoharto (MGI), Sugiarta Wirasantosa (LGPN), Sidharta Surmano (LGPN), Mulyana Widjajanegara (MGI), Hilman Soekartadiredja (BPPT), Basrie Ganie (BPPT) and Sugito (SURTA-ABRI).

d'Est en Ouest, et d'autre part le rapprochement des sources sédimentaires du Bengale crée une augmentation progressive de la quantité de sédiments disponibles à l'axe de la fosse au niveau de la plaque océanique.

Le projet s'est fixé comme objectif prioritaires les zones relais de cet arc insulaire que sont le détroit de la Sonde et la mer d'Andaman.

C'est à la zone du détroit de la Sonde que s'est adressée la campagne Krakatau du Jean Charcot de janvier 1985. La Mer d'Andaman sera étudiée au cours des premières campagnes de la nouvelle flotte de recherche indonésienne.

## II. LA CAMPAGNE KRAKATAU

### A. objectifs

Une des différences entre les provinces de Java et de Sumatra est la présence d'un grand accident décrochant, la faille de Semangko ou Central Sumatra fault (CSF) qui sillonne toute l'île de Sumatra dans son grand axe (2), voir Figure 1.

C'est le long de cette faille que le mouvement d'ouverture de la Mer d'Andaman se transforme en partie ou en tout. En tout, si la plaque Burma que crée l'ouverture de la mer d'Andaman se comporte de façon monolithique et le mouvement se transmet intégralement au niveau du détroit de la Sonde. En partie, si la plaque Burma formée par l'arc insulaire au niveau des îles d'Andaman et de Nicobar et de la partie mobile de Sumatra située entre la CSF et la ride avant-arc est étirée soit par déformation soit par mou-

vements de blocs le long de failles (9,12). Dans ce dernier cas, seulement une partie des 460 km de déplacement créé par l'ouverture de la Mer d'Andaman sera accommodée au niveau du détroit de la Sonde. L'hypothèse de départ de la campagne a été de supposer que la modification des éléments structuraux au large du détroit de la Sonde était effectivement due à la transformation d'une partie du mouvement le long de la faille de Semangko en un pull-apart au niveau du détroit et d'une extension diffuse au niveau du prisme d'accrétion au Sud du détroit (1). Un des buts recherchés était de quantifier l'extension ce qui donnerait la proportion d'ouverture de la mer d'Andaman transformée au niveau du détroit d'une part et absorbée par la partie mobile de Sumatra d'autre part.

L'autre but était d'étudier la réponse des structures superficielles et profondes à une telle extension dans un contexte de subduction.

### B. données nouvelles

La campagne s'est déroulée du 3 au 22 janvier et du 24 janvier au 3 février 1985. Une panne de compresseur n'a pas permis de bien couvrir la partie peu profonde et peu accidentée de la zone avant-arc. Deux longs profils perpendiculaires à la fosse ont été acquis pour mettre en évidence les anomalies magnétiques et le grain structural de la plaque océanique et d'étudier sa flexure.

Le sonar latéral de grands fonds SAR mis en oeuvre pour la première fois n'a pas pu être manoeuvré de façon adéquate pour obtenir une cou-

verture suffisante. Il a toutefois montré la complexité de la morphologie du prisme d'accrétion.

### III. LA MARGE CONTINENTALE AU SUD DU DETROIT DE LA SONDE

#### A. Morphologie et structure

La morphologie de la marge continentale à l'aplomb du détroit de la Sonde est caractérisée par un rentrant de l'axe de la fosse (une trentaine de km par rapport à un arc reliant les axes de la fosse à l'Est et à l'Ouest) et par la présence sur la pente d'une zone déprimée par rapport à la pente située à l'Est ou à l'Ouest. Cette zone déprimée est occupée en son centre par un système assez régulier de rides parallèles à l'axe de la fosse relayées sur leur flancs par des petits bassins suspendus. Ce dispositif se situe entre 5000 et 2500 mètres de profondeur. La figure 2 représente une série de profils parallèles à la marge. Elle illustre bien la présence de cette dépression occupée en son centre par un léger bombement bordé de part et d'autre par des petits bassins sédimentaires. Cette zone déprimée ne semble pas être le siège d'une érosion importante, aucun canyon ne la sillonne. La sismique montre que les rides sont formées par des plis chevauchants. Une dizaine d'écaillés parallèles peut être identifiée. L'ensemble est relativement bien organisé. A l'Est de la zone, le bas de pente est chaotique, peut être en relation avec la présence de structures sur la plaque océanique formant une

chaîne alignée avec l'île Christmas. A l'Ouest de la zone déprimée, la pente du prisme est plus forte et les petits bassins suspendus absents.

En amont, en-dessous de 2500 m, se situe une zone légèrement pentue là où l'on s'attendrait à trouver la ride d'avant-arc et le bassin marginal. Plus en amont, se développe une vallée bordée de murs d'orientation NS qui correspond à un graben (3,4). L'analyse de la stratigraphie sismique met en évidence une extension NW-SW liée au jeu dextre de la faille de Semangko(3) et qui explique l'ouverture du détroit avec un déplacement résultant de 70 km maximum. L'ouverture s'est probablement produite en deux phases majeures : la première anté-pliocène, contemporaine du rifting de la mer d'Andaman, la seconde Pliocène orientée NW-SE. Les sédiments récents et la sismicité superficielle (8) montrent que le régime distensif est toujours actif.

#### B. Structure profonde

##### 1. sismique

La croûte océanique peut être suivie sous la fosse où l'épaisseur des sédiments atteint 2 km. Au niveau du rentrant à l'aplomb de la zone déprimée la profondeur du socle dépasse 8 km et le remplissage des séries récentes est maximum alors qu'à l'Est et à l'Ouest le socle est moins profond (7.5km). Le rentrant paraît ainsi créer un nouveau dépôt-centre.

Au niveau du prisme et en amont la sismique n'a pu atteindre le socle acoustique.

##### 2. gravimétrie

La gravimétrie confirme l'ap-

profondissement du socle au niveau du rentrant de la fosse que borde une anomalie de bas de pente fortement concave. Une forte diminution des anomalies correspondant à la zone déprimée indique un déficit de masse dû à un amincissement de la couverture ou un approfondissement du socle sous la pente (Figure 3).

L'anomalie positive associée à la ride avant-arc est absente et remplacée par une large anomalie négative couvrant à la fois la zone où se trouvent normalement la ride et le bassin d'avant arc mais qui sont absents ici. Seule la ride la plus amont du système d'écailles et qui se situe à 2500 mètres pourrait correspondre de par sa position à une ride d'avant-arc. Par contre, il n'existe aucune indication d'un bassin avant-arc qui puisse expliquer l'anomalie négative. La transition vers la pente de Sumatra est marquée par un très fort gradient des anomalies d'orientation N340 qui réduit à zéro l'anomalie négative de haut de pente à l'aplomb de la terminaison Est de Sumatra. Quelques dizaines de kilomètres plus à l'Ouest, l'anomalie associée au bassin avant-arc de Sumatra se recreuse rapidement. Il semble donc d'après ces observations que ce soit l'absence d'une ride avant-arc plus que tout autre cause qui constitue la plus grande divergence par rapport à la marge normale de Java ou de Sumatra. L'absence de ride expliquerait à son tour l'absence de bassin où seraient piégés les sédiments.

### 3. magnétisme

Les anomalies magnétiques ap-

près correction par une méthode nouvelle (7) de la dérive diurne ont des amplitudes d'une centaine de nT. Le trait le plus marquant est la présence d'un dipôle allongé au N300 parallèle à la ride la plus élevée observée sur le prisme d'accrétion. Elle pourrait correspondre à une faille et à d'éventuelles intrusions dans la croûte océanique sous-jacente. La zone du graben est marquée par de fortes anomalies négatives. Les anomalies sur la plaque océanique confirment des linéations d'orientation E-O et de zones de fractures N-S dont une nouvellement mise en évidence au cours de la campagne et intersectant la fosse à l'Ouest de la zone étudiée(4).

## IV. DISCUSSION

A. Mouvement le long de CSF  
En fonction de l'analyse des documents sismiques seulement 10 % des 460 km d'ouverture post-Pliocène de la mer d'Andaman peuvent être absorbés au niveau du détroit de la Sonde. Plusieurs travaux ont montré l'existence de décrochements dans la zone avant-arc de Sumatra(9) le long desquels le reste du mouvement peut être accommodé. Le peu d'activité sismique de la faille de Semangko (8) est peut-être une indication du rôle important joué par les failles du domaine d'avant-arc.

### B. Extension

#### 1. graben Krakatau

La quantité d'extension estimée au niveau du détroit de la Sonde conduit à une fermeture complète du détroit avant extension(3). Le volcan Krakatau est en dehors de la zone d'ouverture et aucun volca-

nisme associé au graben n'a été mis en évidence, les structures s'y trouvant étant interprétées comme des blocs ayant subi une rotation au cours de l'extension. Un flux de chaleur élevé a été mesuré à l'axe du graben suggérant la mise en place d'intrusions localisées à l'axe du graben (13).

### 2. le prisme

La dépression de la zone située à l'aplomb du détroit est expliquée par la propagation de l'extension dans le prisme d'accrétion. Le déficit de matière lié à l'extension a provoqué un affaissement de l'ensemble des éléments structuraux de la marge accompagné d'une avance du front d'accrétion, de création d'un creux au niveau de la fosse suivi d'un remplissage turbiditique. La présence des nombreux bassins suspendus et l'absence de canyons sont des indications d'une zone en dépression. Les caractéristiques normales du prisme tant à l'Est qu'à l'Ouest soulignent le caractère unique de la zone à l'aplomb du détroit. Que la zone n'ait pas été comblée et les pentes rétablies à leur valeur normale, suggère que l'extension s'est poursuivie jusqu'à une date récente ou est toujours en cours ce que l'ouverture de mer d'Andaman permet de penser. En fait si l'ouverture de la mer d'Andaman se poursuit encore quelques millions d'années, le prisme pourrait être étiré et s'affaïsser davantage si la quantité de sédiments disponibles au niveau de la plaque océanique ne varie pas.

### 3. le socle

En réponse à la diminution de la charge, le socle océanique sous le prisme d'accrétion et sous le graben aurait tendance à remonter. Cependant les dimensions relativement réduites de la zone ne semblent pas permettre un ajustement local et le déséquilibre persiste comme l'indique les anomalies gravimétriques.

L'anomalie magnétique parallèle à la zone d'avant-arc pourrait indiquer un accident de socle mais un traitement plus approfondi des anomalies est nécessaire.

## V. CONCLUSION

L'hypothèse (1) d'extension dans le détroit de la Sonde ainsi que dans le prisme d'accrétion en réponse à l'ouverture de la mer d'Andaman semble bien confirmée.

La faille de Semangko se termine au détroit de la Sonde dans un bassin en pull-apart à flanc ouest unique et à flanc est formé par une segmentation et rotation de blocs. L'extension se propage dans le prisme jusqu'au plan de subduction.

Des données de sismique multi-traces et de réfraction seraient nécessaires pour situer le socle et quantifier le processus d'extension.

Une étude morphologique détaillée de l'avant-arc de Sumatra et de Nicobar permettra de compléter les études sur les mécanismes de la convergence oblique.

## VI. Abridged english version

The Krakatau project has been launched as a regional study along the Indonesian island arc aiming at understanding the response of an island arc

and of its fore-arc to an increased obliquity in the convergence along its subducting border. Along the Sunda island arc, convergence varies from near-to-normal along Java to increasingly oblique along Sumatra, and to near-to-tangent along the Andaman-Nicobar ridge.

As a result of this increased obliquity, it has been assumed (1,5) that the fore-arc region has been mobilized, as a whole as a series of segmented units with a resulting strike-slip motion parallel to the island-arc.

Krakatau '85 was the first phase of the Krakatau project (4). Its objective was to study the structure and morphology around Strait Sunda where the convergence varies by more than 30° as one moves from western Java to South Sumatra.

Seabeam and seismics data show the presence of a NS graben in the upper part of the margin and of a relatively depressed area in its lower part. The graben is interpreted (3) as the result of a pull-apart basin initiated in Miocene time in response to a displacement along the Central Sumatra Fault. The displacement, several tens of kms long, represents only a small percentage of the 460 kms of opening of the Andaman Sea. The remainder must have been accommodated through segmentation or extension of the fore-arc between Sunda Strait and the Nicobar-Andaman ridge.

The depressed lower margin is made of a series of imbricated thrusts typical of accreted prisms were it not for transverse faults cutting the depressed area into a series

of blocks. This structure together with the absence of a fore-arc ridge is interpreted as a half-graben resulting from an extensional regime in the fore-arc region.

Magnetics and gravity data reflect major discontinuities of the morphology across Strait Sunda as one goes from Java to Sumatra fore-arcs.

The large gravimetric and magnetic anomalies are very likely related to crustal discontinuities and, in the absence of deep seismic profiles, will be used to model the structure of the crust.

Further cruises are planned on the fore-arc of Sumatra and of the Andaman-Nicobar ridge as a continuation of the project.

## Références

- (1) P. Huchon et X. Le Pichon - Sunda Strait and Centra Sumatra fault, *GEOLOGY*, v.12, p.-668-672., november 1984.
- (2) M.T. ZEN - Krakatau and the tectonic importance of Strait Sunda, *Buletin Jurusan Geologi*, v12, 1983.
- (3) O. Lassal, Ph. Huchon et H. Harjono - Extension crustale dans le détroit de la Sonde (Indonésie). Données de la sismique réflexion (campagne Krakatau). CRAS sous presse (soumis nov 1988).
- (4) V. Renard et al.- Krakatau 85 Cruise report, 85pages, 1985.
- (5) T.J. Fitch - Plate convergence, transcurrents faults, and internal deformation adjacent to Southeast Asia and the Western Pacific, vol. 77, N.23, p.4432-4460, august 10, 1972.
- (6) P. Rigolot - Etude morphologique et structurale de la fosse de Java au Sud du détroit de la Sonde et comparaison avec d'autres zones de subduction. Rapport de DEA, GIS UBO-IFREMER 15 juin 1985.
- (7) S. Seguret - Magnétisme : Filtrage des perturbations diurnes par dérive externe trigonométrique, Mastère spécialisé, ENSMP, Fontainebleau, Centre de Géostatistique, 1987.
- (8) H. Harjono, M. Diament, J. Dubois et M. Larue - Sismicité du détroit de la Sonde (Indonésie) : présentation des résultats d'un réseau local, CRAS sous presse (accepté 2 juin 1988)
- (9) G.F. Moore, J.R. Curray and D.G. MOORE, D.E. Karig - Variations in Geologic Structure along the Sunda Fore-Arc, Northeastern Indian Ocean, p. 145-160, *Geophysical Monograph* 23, American Geophysical Union 1980.
- (10) J. Mammerickx, R.L. Fisher, F.J. Emmel, and S.M. Smith - Bathymetric Chart of the East and Southeast Asian Seas. *Geol. Soc. Am. Publ.*, Map chart Ser., MC-17, 1977.
- (11) T.S.M. Ranneff - Segmentation of island arcs and application to petroleum geology, *J.Petrol. Geol.*, 1, p. 35-53, 1979.
- (12) D.E. Karig, M.B. Lawrence, G.F. Moore and J.R. Curray - Structural framework of the fore arc basin, NW Sumatra, *J.Geol. Soc. London*, vol. 137, - p. 77-91, 1980
- (13) M. Larue et J.P. Foucher (en préparation)

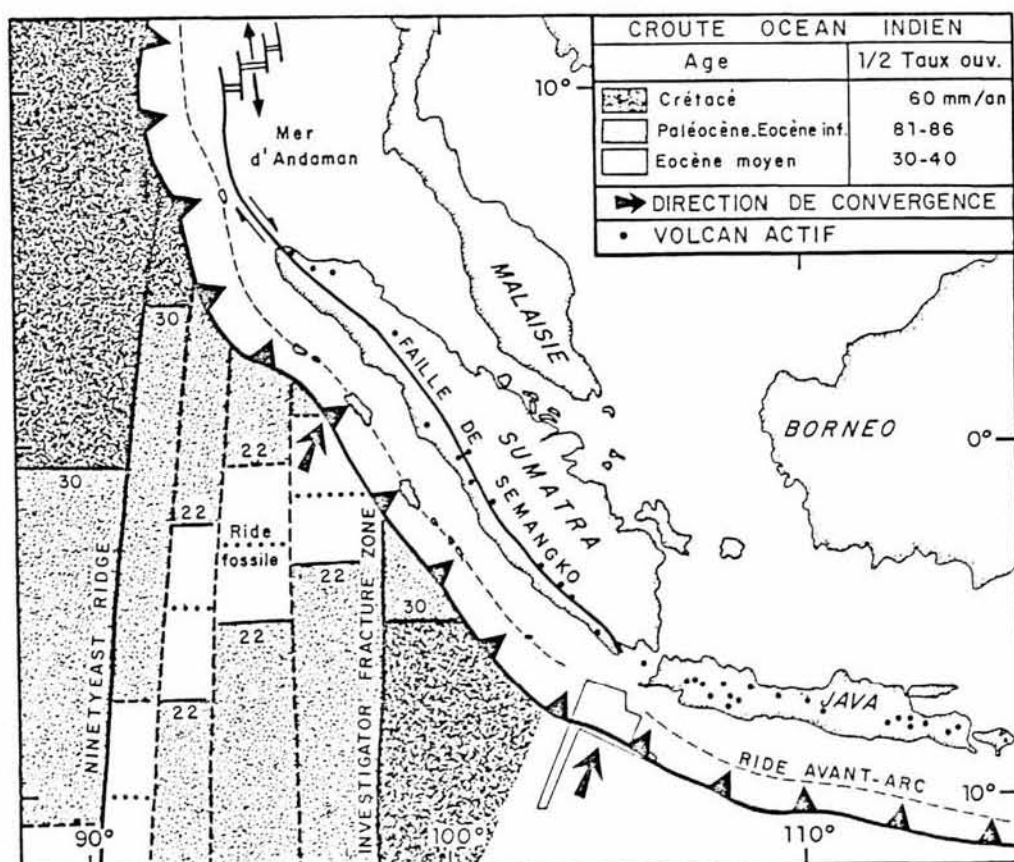


FIGURE 1.

La figure illustre les structures majeures de la zone concernée par le projet Krakatau : le détroit de la Sonde situé entre les îles de Java et de Sumatra et occupé en son centre par le volcan Krakatau ; la faille de Semangko qui sillonne Sumatra mais ne se retrouve pas sur Java au-delà du détroit ; la ride avant-arc discontinue au large du détroit ; la mer d'Andaman. La zone de travail de la campagne Krakatau est figurée en trait fin. Le plan des routes est figuré en pointillé sur la figure 3. Les paramètres de la plaque océanique et de sa convergence vers l'archipel indonésien, ainsi que les volcans actifs les plus importants sont indiqués.



E . V # 14

PROFILS EPC

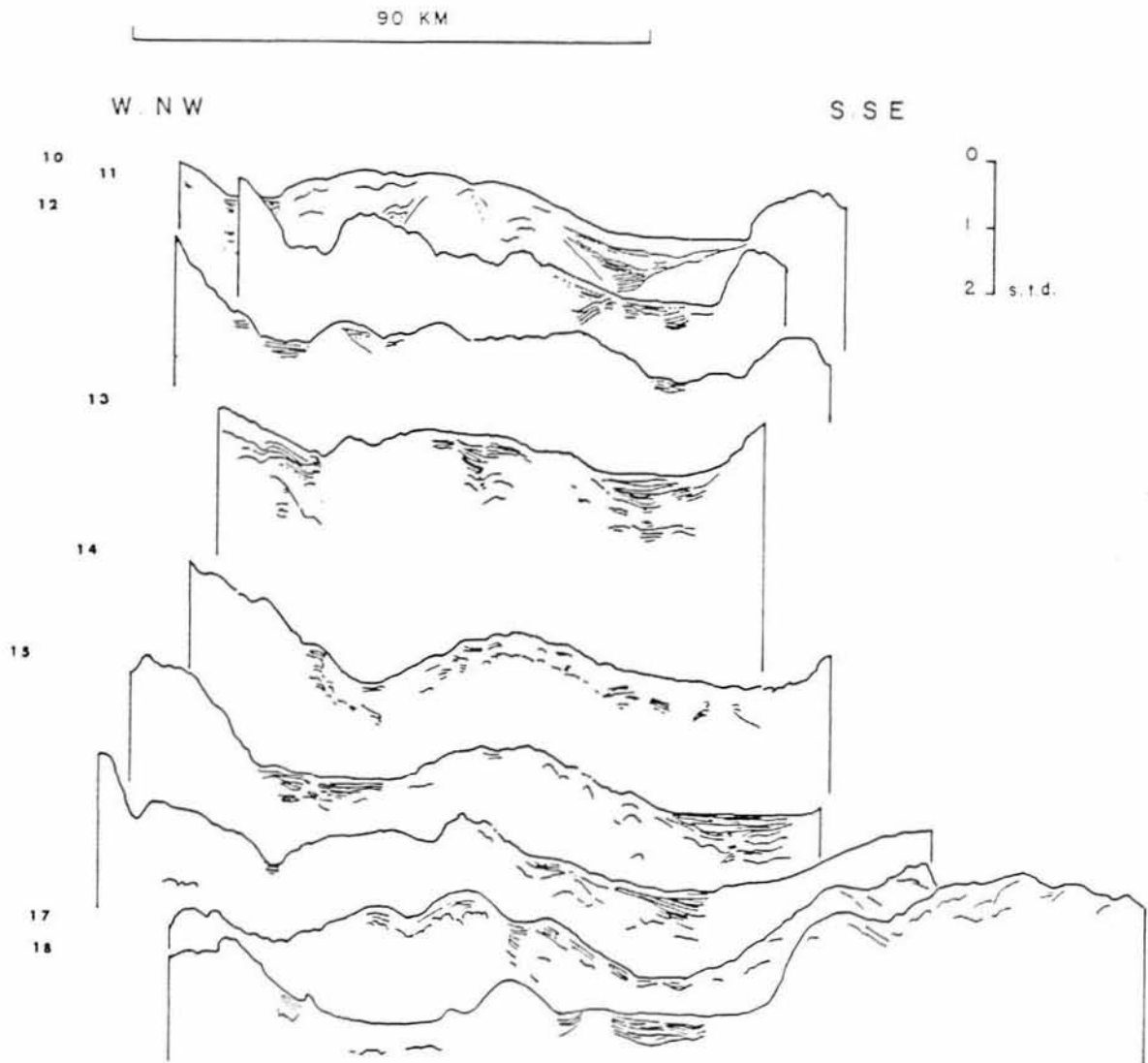
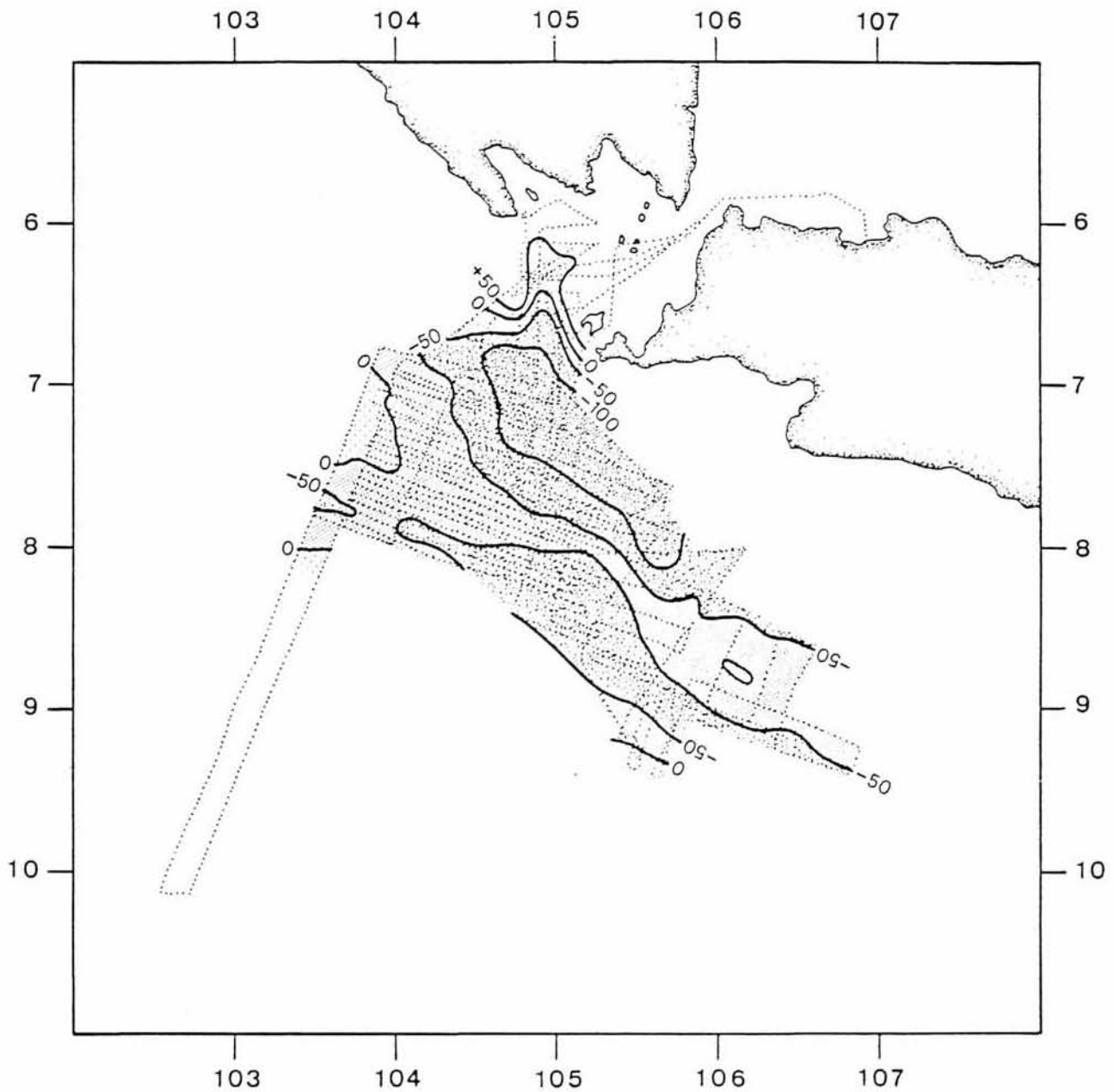


FIGURE 2.

Série de coupes sismiques parallèles à la pente correspondant à neuf profils successifs de la figure 3 situés à mi-pente environ. Les sections sont classées de haut en bas par ordre de profondeur croissante. L'exagération verticale est de 14. La présence d'un bombement situé au milieu d'une zone centrale déprimée et bordée de bassins suspendus est clairement visible. L'épaisseur des sédiments déposés dans ces bassins peut atteindre la seconde de temps double. La structure même des masses accrétées est masquée par les nombreuses diffractions. Dans la partie basse du prisme (non illustrée), les structures deviennent plus chaotiques mais la dépression subsiste.



**FIGURE 3.**

La figure illustre l'anomalie gravimétrique négative de large amplitude située au débouché du détroit de la Sonde et le fort gradient parallèlement à la marge vers Sumatra. Cette anomalie à l'air libre n'est pas associée à un bassin avant-arc qui n'a pas été trouvé dans cette zone contrairement aux zones correspondantes au large de Java et de Sumatra. La figure illustre également la forte diminution d'amplitude et la convexité vers le détroit de l'anomalie positive dans la zone de bas de pente située au Sud du détroit. En pointillé le tracé des routes de la campagne.