

CAMPAGNES RODRIGUEZ 1 ET 2 :  
 LE POINT TRIPLE DE RODRIGUEZ ET LES DORSALES DE L'OCEAN INDIEN

 R. Schlich\*, G. Ball\*, M. Blanck\*, D. Boulanger\*, M.O. Boulanger\*,  
 A. Bulot\*, B. Cantin\*, M. Doucouré\*, J. Durand\*, M. Munschy\*,  
 L. Parson\*, P. Patriat\*, J.Y. Royer\*, M. Schaming\*, J.D. Tissot\*,  
 E. Verneau\* et H. Whitechurch\*

\* Institut de Physique du Globe, Laboratoire de Géophysique Marine, 5 rue René Descartes, 67084 STRASBOURG Cedex, France

\* Institut de Physique du Globe, Laboratoire de Géophysique Marine, 4 place Jussieu, 75252 PARIS Cedex 05, France

\* Institut of Oceanographic Sciences Deacon Laboratory, Goldaming, Wormley, United Kingdom

\* Institut de Géologie, Laboratoire de Pétrologie, 1 rue Blessig, 67084 STRASBOURG Cedex

L'océan Indien est caractérisé, dans sa phase actuelle d'expansion, par un système de trois dorsales océaniques qui convergent en un point triple situé au sud-est de l'île de la Réunion, à environ 900 km de l'île de Rodriguez (Fig. 1).

La dorsale est-indienne sépare l'Australie de l'Antarctique ; elle passe à proximité des îles Amsterdam et Saint-Paul et rejoint à l'est les îles Macquarie. La dorsale est-indienne est une dorsale à taux d'ouverture intermédiaire ; le taux varie de 6,0 cm/an à proximité du point triple de Rodriguez à 7,4 cm/an au niveau des îles Macquarie. La direction de l'axe de la dorsale évolue de N137° à N094° entre le point triple et les îles Macquarie (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11).

La dorsale centrale-indienne, prolongée au nord de l'équateur par la dorsale de Carlsberg, sépare l'Afrique de l'Inde. La dorsale centrale-indienne est caractérisée par un taux d'ouverture relativement faible ; le taux varie de 5 cm/an à proximité du point triple de Rodriguez à 3,6 cm/an plus au nord au niveau de l'équateur. La direction de l'axe de la dorsale

évolue de N149° à N142° entre le point triple et l'équateur (12), (8), (9), (10).

La dorsale ouest-indienne sépare l'Antarctique de l'Afrique ; elle s'étend vers le sud-ouest au nord des îles Crozet, passe à proximité des îles Marion et Prince Edouard et rejoint au sud-ouest de l'Afrique le point triple de Bouvet. La dorsale ouest-indienne est une dorsale lente ; le taux d'ouverture varie de 1,2 cm/an à proximité du point triple de Rodriguez à 2,0 cm/an plus au sud. La direction de l'axe de la dorsale évolue de N090° à N135° entre le point triple de Rodriguez et le point triple de Bouvet (13), (14), (7), (15), (8), (16), (9), (10), (17).

Le point triple de Rodriguez a été décrit pour la première fois en 1971 par McKenzie et Sclater. Tapscott et al. (8) ont analysé à partir de données géophysiques conventionnelles (bathymétrie, magnétisme) la structure des trois dorsales de l'océan Indien à l'approche du point triple de Rodriguez qu'ils localisent alors, à 5 km près, par 25°40'S et 70°06'E. Ils concluent qu'il s'agit d'une jonction stable de type RRR. En partant de ce résultat, Patriat et Courtillot (18) montrent que

pour une expansion symétrique et orthogonale la dorsale est-indienne séparant l'Inde et l'Antarctique devrait voir sa longueur diminuer à un taux d'environ 1,5 cm/an. L'identification de séquences complètes d'anomalies magnétiques (34 à 1) dans les différents compartiments de la dorsale est-indienne (7) n'est pas compatible avec cette conclusion. Tapscott et al. (8) justifient cependant leur proposition en invoquant une expansion oblique et asymétrique pour les dorsales centrale-indienne et ouest-indienne ou des sauts de dorsale à proximité immédiate du point triple. Patriat et Courtillot (18) montrent que l'expansion oblique et asymétrique est directement responsable des changements de direction de la trace du point triple sur les plaques antarctique et africaine.

#### I. LES CAMPAGNES "RODRIGUEZ"

Les campagnes "Rodriguez", retenues par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) dans le cadre du Tour du Monde du N.O. Jean Charcot, se sont déroulées en 1984 dans l'océan Indien. Deux campagnes ont été réalisées, elles se situent au début du grand périple de quatre ans entrepris par le Jean Charcot.

La première campagne, Rodriguez 1, a débuté le 14 janvier 1984 au départ de Colombo et s'est achevée le 16 février 1984 à l'île de la Réunion. Cette campagne intéresse l'étude de la dorsale est-indienne et du point triple de Rodriguez avec une valorisation de transit dans le bassin Indien Central. La deuxième campagne, Rodriguez 2, a débuté à la Réunion le 3 avril 1984 pour se terminer à Singapour le 7 mai 1984. Cette deuxième campagne intéresse essentiellement l'étude de la dorsale ouest-indienne et de la dorsale centrale-indienne, la localisation de la trace du point triple sur la plaque antarctique et comporte une

valorisation de transit dans le bassin de Wharton (Fig. 2).

Au total le N.O. Jean Charcot a réalisé, au cours de cette double campagne de 67 jours, 27.000 km de profils bathymétriques Seabeam, gravimétriques et magnétiques, dont environ 12.000 km de profils associés à la cartographie détaillée de la zone du point triple de Rodriguez et d'un segment de la zone axiale des trois dorsales associées (Fig. 3, 4, 5, 6). Des prises de vue sous-marines (3 traits de caméra) et six dragages ont été réalisés à proximité du point triple de Rodriguez et à l'axe des dorsales est-indienne et ouest-indienne. Des sondages de sismique-réflexion monotrAce à l'aide d'un canon à eau ont été effectués au cours des transits dans le bassin Indien Central (7.700 km) et dans le bassin de Wharton (2.800 km).

Les zones étudiées, appelées également "boîtes" représentent chacune une surface rectangulaire dont les cotés font entre 70 à 90 km. La boîte du point triple est centrée sur 25°30'S et 70°00'E, elle recouvre la zone axiale des trois dorsales à proximité du point triple (3.600 km de profils pour une superficie d'environ 7.200 km<sup>2</sup>). La boîte est-indienne, située à 440 km du point triple, est centrée sur 27°40'S et 73°40'E (3.300 km de profils pour une superficie d'environ 7.300 km<sup>2</sup>). La boîte centrale-indienne, située à 410 km du point triple, est centrée sur 21°55'S et 69°05'E (2.200 km de profils pour une superficie d'environ 5.200 km<sup>2</sup>). La boîte ouest-indienne, située à 420 km du point triple, est centrée sur 27°25'S et 66°20'E (3.000 km de profils pour une superficie d'environ 7.900 km<sup>2</sup>).

Les participants aux campagnes Rodriguez appartiennent à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (laboratoire de géophysique marine et laboratoire de géochimie), à l'Institut de Physique du Globe de Paris

(laboratoire de géophysique marine), à l'Institut de Géologie de Strasbourg et à l'Institute of Oceanographic Sciences de Wormley (Grande Bretagne). La liste des participants est donnée ci-dessous :

Rodriguez 1 : G. Ball, A. Bulot, D. Boulanger, M. Munsch, J.Y. Royer, M. Schaming, R. Schlich (chef de mission), J.D. Tissot, H. Whitechurch.

Rodriguez 2 : M. Blanck, M.O. Boulanger, B. Cantin, M. Doucouré, J. Durand, M. Munsch, L. Parson, P. Patriat, J.Y. Royer, R. Schlich (chef de mission), J.D. Tissot, E. Verneau.

## II. OBJECTIFS ET METHODES

Les campagnes Rodriguez du N.O. Jean Charcot ont eu pour objectifs scientifiques l'étude du point triple de Rodriguez et d'un segment de la zone axiale des dorsales est-indienne, centrale-indienne et ouest-indienne. Il s'agissait en particulier de décrire la structure de cette jonction remarquable de trois frontières de plaques, de déterminer son évolution au cours du temps, de comparer ces données à celles recueillies à l'axe des trois dorsales de l'océan Indien dans des compartiments bien définis afin de caractériser le phénomène de l'accrétion océanique. Plusieurs directions de recherche ont été définies et concernent plus spécifiquement :

- la structure de la zone axiale des trois dorsales de l'océan Indien ;
- la structure et l'évolution du point triple de Rodriguez ;
- la localisation de la trace du point triple de Rodriguez sur les différentes plaques ;
- la pétrologie et la géochimie des basaltes prélevés à l'axe des dorsales de l'océan Indien et à proximité du point triple de Rodriguez.

Pour atteindre ces objectifs on a sélectionné, à partir des schémas structuraux connus, quatre zones d'étude ou boîte : la première est associée au point triple de Rodriguez et recouvre un court segment (20 à 40 km) de chacune des trois dorsales, les trois autres sont associées à chacune des trois dorsales et recouvrent un segment axial d'environ 90 km de longueur, marqué le plus souvent en bordure de boîte par une faille transformante ; ces segments sont situés à environ 400 km du point triple. Les profils géophysiques (bathymétrie, gravimétrie, magnétisme) ont été réalisés essentiellement dans une direction perpendiculaire à l'axe des dorsales ; leur espacement est compris entre 2 et 5 km selon la complexité des structures étudiées et la profondeur moyenne. Quelques lignes traversières ont été réalisées dans chacune des boîtes afin de pouvoir contrôler, et le cas échéant parfaire, la localisation des profils. Les prélèvements de roches et les prises de vue sous-marines ont été positionnés en fonction des résultats géophysiques ; leur nombre est resté petit car la priorité avait été donnée aux travaux de cartographie Seabeam.

Le N.O. Jean Charcot est équipé d'un sondeur bathymétrique à faisceaux multiples étroits extrêmement performant qui fournit, en temps réel, sur une largeur représentant environ trois quarts de l'épaisseur de la tranche d'eau, un contourage du fond le long de la route suivie par le navire. Les bandes Seabeam ainsi réalisées ont été ajustées les unes par rapport aux autres de sorte à établir un document cartographique de la zone couverte. Les points de croisement ont permis de vérifier la précision du document et de corriger la navigation originale. La précision du système TRANSIT est de l'ordre du kilomètre ; après correction la précision finale de la navigation a été estimée à environ 300 m (19),

(20). Les erreurs relatives de profondeur sont probablement inférieures à 20 m. Les mesures du champ de gravité ont été faites à l'aide d'un gravimètre BODEN SEAWERK KSS 30 placé sur une plateforme gyro-stabilisée. La précision de l'appareil est de l'ordre de 1 mgal ; les mesures sont effectuées toutes les 30 secondes et filtrées sur une durée de trois minutes. Après avoir effectué la correction d'Eötvös qui tient compte du déplacement du navire à la surface de la Terre, on a calculé, à partir du champ de référence proposé par Moritz (21), l'anomalie gravimétrique à l'air libre. La dérive du gravimètre sur toute la durée des deux campagnes s'est avérée négligeable (environ 2 mgal/mois). La précision finale de l'anomalie gravimétrique à l'air libre est de l'ordre de 2,5 mgal en adoptant la navigation corrigée (20). Les mesures de l'intensité du champ magnétique terrestre ont été faites à l'aide d'un magnétomètre à protons GEOMETRICS 801 trainé à 250 m derrière le navire. La précision de l'appareil est de l'ordre de 1 nT ; les mesures sont effectuées toutes les 6 secondes et moyennées sur une durée de 1 minute. L'anomalie magnétique a été déterminée par élimination du champ magnétique régional calculé à partir de l'IGRF 1980 (22). Les variations transitoires du champ magnétique terrestre (origine externe) ont été partiellement éliminées en utilisant la méthode de Sander et Mrazek (23) qui calcule la fonction temporelle harmonique prenant le mieux en compte les différences de champ aux points de croisement. La précision finale de l'anomalie magnétique calculée est de l'ordre de 6 nT (19), (20).

### III RESULTATS SCIENTIFIQUES

Le premier travail a consisté à établir pour les différentes zones étudiées des documents cartographiques précis rassemblant l'ensemble des données géophysiques recueillies (bathy-

métrie, gravimétrie et magnétisme). Ces cartes, dessinées au 1/100.000 seront éditées au format A3 dans un atlas consacré au Tour du Monde du Jean Charcot (Volume 2). Les résultats scientifiques proprement dits, à savoir l'interprétation des documents cartographiques et l'analyse des échantillons prélevés ont fait ou feront encore l'objet de publications dans des revues spécialisées et seront rassemblés dans un mémoire consacré au Tour du Monde du Jean Charcot (Volume 3).

#### 1. Travaux cartographiques

Toutes les cartes bathymétriques, gravimétriques et magnétiques ont été tracées en projection Mercator sur la base de l'ellipsoïde WGS 72 (24). Les cartes bathymétriques résultent de la juxtaposition des bandes Seabeam après recalage de la navigation. Les valeurs ont été lissées sur cinq cycles Seabeam et les isobathes ont été dessinées tous les 50 m. Les cartes ont été établies au 1/100.000 à la latitude du centre de la boîte, soit 25°30'S pour le point triple, 27°40'S pour la dorsale est-indienne, 21°50'S pour la dorsale centrale-indienne et 27°20'S pour la dorsale ouest-indienne. C'est à partir de ces documents qu'ont été réalisées par réduction photographique, les cartes bathymétriques au 1/200.000 en couleur.

Pour les cartes gravimétriques et magnétiques on a défini, pour chacune des zones étudiées, des grilles 100x100 de la valeur de l'anomalie gravimétrique à l'air libre et de l'anomalie de l'intensité du champ magnétique total. Les vides ont été remplis par simple interpolation linéaire et les cartes ont été tracées à l'aide du logiciel CARTOLAB (25), (26). Les isocourbes ont été dessinées tous les 2 mgal pour l'anomalie gravimétrique et tous les 20 nT pour l'anomalie magnétique.



## 2. Structure et fonctionnement des dorsales de l'océan Indien

La zone axiale des dorsales de l'océan Indien est marquée par une vallée axiale d'autant plus encaissée et profonde que le taux d'expansion est faible. La vallée axiale n'est pas en équilibre isostatique, mais est le siège d'un déficit de densité compris entre 0,1 et 0,8 g/cm<sup>3</sup> pour des taux d'expansion variant entre 3 et 1 cm/an ; ce résultat a été interprété comme la conséquence de la présence de réservoirs magmatiques crustaux dont la densité est estimée à 2,7 g/cm<sup>3</sup>. L'axe d'un même segment de dorsale se subdivise en unités dont la longueur varie entre 10 et 50 km ; ces unités correspondraient à l'expression superficielle d'un ensemble de chambres magmatiques à comportement unitaire. Les flancs des dorsales apparaissent en équilibre isostatique régional et leur rigidité en flexion varie en fonction du taux d'expansion. L'accrétion à l'axe des dorsales n'est pas uniforme à l'échelle d'un segment, elle l'est pour les unités reconnues le long des différents segments. A cette échelle l'accrétion est symétrique, discontinue et périodique. La périodicité est liée au taux d'expansion ; elle varie entre 0,3 et 0,5 Ma pour des taux de 3 cm/an et entre 1,0 et 1,6 Ma pour des taux de 1 cm/an ; cette périodicité semble correspondre à un fonctionnement en alternance de la zone néovolcanique, qui se déplace latéralement sur le plancher interne et des zones tectoniques actives situées de part et d'autre (19), (27), (20), (11), (28). Des périodicités d'environ 40.000 et 270.000 ans ont été mises en évidence par Sauter (29) et Sauter et al. (30) pour les failles synthétiques cartographiées sur les flancs de la dorsale est-indienne.

## 3. Structure et évolution du point triple de Rodriguez

L'examen de la carte bathymétrique au 1/100.000 (Fig. 7) et de la carte morphotectonique (Fig. 8) permet de situer le point triple de Rodriguez dans une zone de 50 km<sup>2</sup> centrée sur 25°32'S et 70°02'E. Les traits majeurs caractérisant les trois dorsales à proximité du point triple apparaissent clairement sur ces documents. La vallée axiale de la dorsale centrale-indienne est orientée N152°, elle prolonge celle de la dorsale est-indienne orientée N140° avec un léger changement de direction et un décalage de 5 km vers le nord-est. La dorsale ouest-indienne n'est exprimée que par deux déchirures profondes de direction N067° et distantes de 7 km. La trace du point triple sur la plaque antarctique (T1) est soulignée par un relief exceptionnel de direction N055°. La trace du point triple sur la plaque africaine (T2) est également bien marquée ; elle a pour direction N077°. La trace du point triple sur la plaque indo-australienne (T3) est peu marquée et correspond à une zone diffuse large d'environ 5 km. Le triangle des vitesses, construit à partir des directions et des taux d'expansion mesurés à l'axe des dorsales est-indienne et centrale-indienne, permet de calculer une direction et un taux d'expansion pour la dorsale ouest-indienne. Le résultat obtenu diffère de plus de 10° des directions effectivement observées. Le point triple de Rodriguez est instable et correspondrait dans ces conditions à une jonction du type RRF. L'axe de la dorsale centrale-indienne se décale par rapport à l'axe de la dorsale est-indienne à un taux de 0,14 cm/an. Des sauts périodiques (1 Ma) du point triple vers le nord-ouest reconstituent la jonction en redonnant à la dorsale est-indienne sa longueur initiale ; ces sauts

périodiques expliquent l'importance et la répétitivité des reliefs affectant la dorsale ouest-indienne (31), (32), (33), (20), (28), (34). La trace du point triple de Rodriguez sur la plaque antarctique est marquée par une succession d'escarpements régulièrement espacés probablement liés aux réajustements périodiques qui affectent le point triple de Rodriguez et qui correspondraient à des phases volcano-tectoniques remarquables (35).

#### 4. Pétrologie et géochimie des basaltes des dorsales de l'océan Indien

Les prélèvements effectués au cours des campagnes Rodriguez sont peu nombreux. Six dragages ont été réalisés, quatre dans la zone du point triple, un à l'axe de la dorsale est-indienne à environ 400 km du point triple et un à l'axe de la dorsale ouest-indienne également à 400 km du point triple. Cet échantillonnage a été complété par les prélèvements effectués en 1980 à l'axe de la dorsale centrale-indienne (MD 23) et en 1983 à l'axe de la dorsale est-indienne (MD 37).

Les basaltes recueillis à l'axe des dorsales est-indienne et centrale-indienne présentent des caractéristiques comparables qui indiquent le rôle prépondérant de la cristallisation fractionnée basse pression par rapport au processus de fusion. L'homogénéité de leur composition chimique suggère l'existence de chambres magmatiques de taille importante et stables dans le temps. Les basaltes dragués à l'axe de la dorsale ouest-indienne sont très primitifs et très peu différenciés, ce qui implique un transit très court entre la zone de fusion partielle et le lieu d'extrusion et pose le problème de la taille des réservoirs magmatiques sous cette dorsale.

L'ensemble des échantillons présente des valeurs  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  élevées et des faibles valeurs  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  et

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  par rapport aux MORB atlantique et pacifique. On retrouve l'anomalie DUPAL dans tous les échantillons dragués. Les réservoirs mantellaires sous les dorsales de l'océan Indien résultent au niveau isotopique d'un mélange entre trois composants : manteau déprimé type MORB, manteau enrichi type OIB et "sédiments recyclés" il y a 2000 Ma (36), (37), (38).

#### REFERENCES

- (1) Schlich, R. et Patriat, P., 1967. Profils magnétiques sur la dorsale médioocéanique "Indo-Pacifique". *Ann. de Géophys.*, vol.23, p. 629-633.
- (2) Le Pichon, X. et Heirtzler, J.R., 1968. Magnetic anomalies in the Indian Ocean and sea-floor spreading. *J. Geophys. Res.*, vol.73, p.2101-2117.
- (3) Schlich, R. et Patriat, P., 1971a. Anomalies magnétiques de la branche est de la dorsale médio-indienne entre les îles Amsterdam et Kerguelen. *C. R. Acad. Sci., Paris*, vol.272, p. 773-776.
- (4) McKenzie, D.P. et Sclater, J.G., 1971. The evolution of the Indian Ocean since the Late Cretaceous. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, vol.25, p. 437-528.
- (5) Weissel, J.F. et Hayes, D.E., 1972. Magnetic anomalies in the Southeast Indian Ocean. In: *Antarctic Oceanology II: The Australian-New Zealand Sector*, Antarctic Ser., vol.19, Hayes, D.E., ed., AGU, Washington D.C., p. 165-196.
- (6) Sclater, J.G. et Fisher, R.L., 1974. Evolution of the east-central Indian Ocean with emphasis on the tectonic setting of the Ninetyeast Ridge. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.85, p. 683-702.
- (7) Schlich, R., 1975. Structure et âge de l'océan Indien occidental. In: *Mém. hors-série, Soc. Géol. de France*, n°6, p. 1-103.
- (8) Tapscott, C.R., Patriat, P., Fisher, R.L., Sclater, J.G., Hoskins, H. et Parsons, B., 1980. The Indian Ocean Triple Junction. *J. Geophys. Res.*, vol.85, p. 4723-4739.

- (9) Schlich, R., 1982. The Indian Ocean: aseismic ridges, spreading centers and oceanic basins. In: The Ocean Basins and Margins, vol.6, the Indian Ocean, Nairn, A.E.M., and Stehli, F.G. (eds), New York Plenum Press, p. 51-147.
- (10) Patriat, P., 1987. Reconstitution de l'évolution du système de dorsales de l'océan Indien par les méthodes de la cinématique des plaques. Mém. hors-série, T.A.A.F., 308 p.
- (11) Royer, J.Y., et Schlich, R., 1988. The Southeast Indian Ridge between the Rodriguez Triple Junction and the Amsterdam and Saint-Paul islands: detailed kinematics for the past 20 Ma. J. Geophys. Res., vol.93, p. 13524-13550.
- (12) Fisher, R.L., Sclater, J.G. et McKenzie, D.P., 1971. Evolution of the Central Indian Ridge, Western Indian Ocean. Geol. Soc. Amer. Bull., vol.82, p. 553-562.
- (13) Bergh, H.W., 1971. Sea-floor spreading in the Southwest Indian Ocean. J. Geophys. Res., vol.76, p. 6276-6282.
- (14) Schlich, R. et Patriat, P., 1971b. Mise en évidence d'anomalies magnétiques axiales sur la branche ouest de la dorsale médio-indienne. C. R. Acad. Sci., Paris, vol.272, p. 700-703.
- (15) Sclater, J.G., Bowin, C., Hey, R., Hoskins, H., Peirce, J., Phillips, J. et Tapscott, C., 1976. The Bouvet Triple Junction. J. Geophys. Res., vol.81, p. 1857-1869.
- (16) Sclater, J.G., Fisher, R.L., Patriat, P., Tapscott, C., et Parsons, B. 1981. Eocene to recent development of the Southwest Indian Ridge, a consequence of the evolution of the Indian Ocean Triple Junction. Geophys. J. R. Astr. Soc., vol.64, p. 587-604.
- (17) Royer, J.Y., Patriat, P., Bergh, H.W. and Scotese, C.R., 1988. Evolution of the Southwest Indian Ridge from the Late Cretaceous (anomaly 34) to the Middle Eocene (anomaly 20). Tectonophysics, vol.155, p. 235-260.
- (18) Patriat, P. et Courtillot, V., 1984. On the stability of triple junctions and its relation to episodicity in spreading. Tectonics, vol.3, p. 317-332.
- (19) Verneau, E., 1984. Levé bathymétrique Seabeam à l'axe de la dorsale est-indienne (océan Indien). Rapport de stage présenté pour l'obtention du DEA de Géophysique Interne, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 70 p.
- (20) Munsch, M., 1987. Etude géophysique détaillée du point triple de Rodriguez et de la zone axiale des trois dorsales associées (océan Indien). Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 250 p.
- (21) Moritz, H., 1984. Geodetic reference system 1980. Bull. Géodésique, vol.58, p.388-398.
- (22) Peddie, N.W., 1982. International geomagnetic reference field 1980: a report by IAGA Division I, Working Group 1. Geophys. J. R. Astr. Soc., vol.68, p. 265-268.
- (23) Sander, E.L. et Mrazek, C.P., 1982. Regression technique to remove temporal variation from geomagnetic survey data. Geophysics, vol.47, p. 1437-1443.
- (24) Schlich, R., Munsch, M. et Blanck, M., 1988. Cartes bathymétriques, gravimétriques et magnétiques au 1/200.000 et 1/100.000 du point triple de Rodriguez et de la zone axiale des trois dorsales associées (océan Indien). Editées conjointement par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Paris et l'Institut de Physique du Globe, Strasbourg.
- (25) Mallet, J.L., 1974. Présentation d'un ensemble de méthodes et techniques de la cartographie automatique numérique. Sciences de la Terre, Série Informatique Géologique, Nancy, mémoire 4, 171 p.
- (26) Mallet, J.L., de Beaucourt, F., et Savary, R., 1976. Programmes de cartographie automatique: présentation de la bibliothèque CARTOLAB. Sciences de la Terre, Série Informatique Géologique, Nancy, mémoire 7, 184 p.

- (27) Royer, J.Y., 1985. Evolution cinématique détaillée de la dorsale est-indienne entre le point triple de Rodriguez et les îles Saint-Paul et Amsterdam. Thèse de Doctorat (géophysique marine), Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 213 p.
- (28) Munsch, M. et Schlich, R., 1988. Etude géophysique des dorsales de l'océan Indien dans la région du point triple de Rodriguez. Actes du Colloque sur la Recherche Française dans les Terres Australes, C.N.F.R.A., vol.59, (sous presse).
- (29) Sauter, D., 1988. Utilisation du traitement d'images en géologie structurale. Recherches méthodologiques et applications multiscalaires. Thèse de Doctorat (géologie), Université Louis Pasteur, Strasbourg I (25 novembre 1988).
- (30) Sauter, D., Humler, E., Munsch, M., Whitechurch, H. et Schlich, R., 1989. Etude d'une image Seabeam de la dorsale est-indienne à 27°40'S (océan Indien) : 1. Traitement et analyse de l'image. Bulletin des Sciences Géologiques, Strasbourg, vol.41.2, p. 207-217.
- (31) Schlich, R., Munsch, M., Montigny, R., et Whitechurch, H., 1985. Proposal for oceanic drilling at the Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean). Dans : Schlich, R., and Munsch, M. (eds.), French proposals for oceanic drilling in the Indian and Southern Oceans, ODP France, vol.1, IPG Strasbourg, p. 1-37.
- (32) Dabas, M., 1985. Interprétation des photographies sous-marines prises sur le point triple de Rodriguez lors de la campagne du N/O Jean Charcot. Rapport de stage présenté pour l'obtention du DEA de Géophysique Interne, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 82 p.
- (33) Schlich, R., Munsch, M., Marthelot, J.M., Royer, J.Y. et Schaming, M., 1987. Les campagnes du N.O. Jean Charcot sur le point triple de Rodriguez (océan Indien) : premiers résultats. Bull. Soc. Géol. France, vol.8, p. 693-697.
- (34) Munsch, M., et Schlich, R., 1989. The Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean): structure and evolution for the past million year. Mar. Geophys. Res., (sous presse).
- (35) Patriat, P. et Parson, L.M., 1989. A survey of the Indian Ocean Triple Junction trace within the antarctic plate. Implication for the junction evolution since 15 Ma. Mar. Geophys. Res., (sous presse).
- (36) Michard, A., Montigny, R. et Schlich, R., 1986. Geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction and the Southeast Indian Ridge. Earth Planet. Sci. Lett., vol.78, p. 104-114.
- (37) Humler E. et Whitechurch, H., 1988. Petrology of basalts from the Central Indian Ridge (lat. 25°23'S, long. 70°04'E) : estimates of frequencies and fractional volumes of magma injections in a two layered reservoir. Earth Planet. Sci. Lett., vol.88, p. 169-181.
- (38) Humler, E., Sauter, D., Munsch, M., Whitechurch, H., Schlich, R., et Ruhland, M., 1988. Etude d'une image Seabeam de la dorsale est-indienne à 27°40'S (océan Indien) -2- Interprétation géodynamique. Bulletin des Sciences Géologiques, Strasbourg, vol.41.2, p. 219-232.

#### IV ABRIDGED ENGLISH VERSION

The Indian Ocean is dominated by a system of three spreading ridges which join at the Rodriguez Triple Junction located at 25°30'S and 70°E. The Southwest Indian Ridge which stretches from the Rodriguez Triple Junction to the Bouvet Triple Junction south of Africa is a typical slow spreading ridge (0.6 to 1.0 cm/yr half spreading rate). To the north, the Central Indian Ridge, although faster, remains a relatively slow spreading ridge (2.5 to 1.8 cm/yr half spreading rate). The Southeast Indian Ridge which extends from the Rodriguez Triple Junction to the islands of Amsterdam, Saint-Paul and Macquarie is characterized by an intermediate spreading rate (3.0 to 3.7 cm/yr half spreading rate).



Numerous oceanographic cruises were devoted during the two last decades to the study of this ridge system. The main results of this international effort have been reviewed by Schlich in 1982.

The Rodriguez cruises were planned by Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) in 1984 at the very beginning of the R.V. Jean Charcot round the world travel. The first cruise started on 14 January 1984 from Colombo and ended at Reunion Island on 16 February 1984. The second cruise left Reunion Island on 3 April 1984 and was completed in Singapour on 7 May 1984. The program included a detailed Seabeam, gravimetric and magnetic survey of the Rodriguez Triple Junction over an area of about 7,200 km<sup>2</sup> and similar surveys of an axial segment of each of the three associated spreading ridges. The two cruises together total 27,000 km of profils.

The scientific objectives of the Rodriguez cruises based upon detailed bathymetric, gravimetric and magnetic mapping of the surveyed areas, can be summarized as follow :

- structure of the three Indian Ocean ridges and accretion processes ;
- structure and evolution of the Rodriguez Triple Junction ;
- evolution of the Rodriguez Triple Junction traces within the different plates ;
- Petrology and geochemistry of the basalts at the Indian Ocean ridges close to the Rodriguez Triple Junction.

The Indian Ocean ridge axes are marked by an axial valley as deep and embanked as the spreading rate is low. The axial valley is not in isostatic equilibrium, but corresponds to a low-density zone (negative density contrast of 0.4 to 0.8 g.cm<sup>-3</sup> for a spreading half rate of 1 cm/yr and 0.1 to 0.3 g.cm<sup>-3</sup> for a spreading half rate of 3 cm/yr). The ridge segments are divided into 10 to 50 km long

accretionary units ; these units are the superficial expression of a group of magma chambers with the same behaviour. The ridge flanks are in regional isostatic equilibrium and the flexural rigidity evolves with the spreading half rate: 50 10<sup>17</sup> N.m for a spreading half rate of 1 cm/yr and 4 10<sup>17</sup> N.m for a spreading half rate of 3 cm/yr. The oceanic accretion appears symmetric, discontinuous and periodic (1 to 1.6 Ma for a spreading half rate of 1 cm/yr and 0.3 to 0.5 Ma for a spreading half rate of 3 cm/yr). The Rodriguez Triple Junction is not a stable ridge-ridge-ridge junction: the Central and Southeast Indian ridges axis are progressively displaced at a velocity of 0.14 cm/yr. The triple junction is restored by periodic jumps (1 Ma) which form en-echelon deep-valleys on the Southwest Indian Ridge.

#### V LISTE DES TRAVAUX ISSUS DES CAMPAGNES RODRIGUEZ

##### 1. Publications dans des revues de niveau international

- Michard, A., Montigny, R. et Schlich, R., 1986. Geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction and the Southeast Indian Ridge. Earth Planet. Sci. Lett., vol.78, p. 104-114.
- Schlich, R., Munsch, M., Marthelot, J.M., Royer, J.Y. et Schaming, M., 1987. Les campagnes du N.O. Jean Charcot sur le point triple de Rodriguez (océan Indien): premiers résultats. Bull. Soc. Géol. France, vol.8, p. 693-697.
- Humler E. et Whitechurch, H., 1988. Petrology of basalts from the Central Indian Ridge (lat. 25°23'S, long. 70°04'E) : estimates of frequencies and fractional volumes of magma injections in a two layered reservoir. Earth Planet. Sci. Lett., vol.88, p. 169-181.
- Royer, J.Y., et Schlich, R., 1988. The Southeast Indian Ridge between the Rodriguez Triple Junction and the Amsterdam and Saint-Paul islands: detailed kinematics for the past 20 Ma. J. Geophys. Res., vol.93, p. 13524-13550.

Munsch, M., et Schlich, R., 1989. The Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean): structure and evolution for the past million year. *Mar. Geophys. Res.*, (sous presse).

Patriat, P. et Parson, L.M., 1989. A survey of the Indian Ocean Triple Junction trace within the Antarctic plate. Implication for the junction evolution since 15 Ma. *Mar. Geophys. Res.*, (sous presse).

## 2. Publications dans des revues à diffusion limitée

Schlich, R., Munsch, M., Montigny, R., et Whitechurch, H., 1985. Proposal for oceanic drilling at the Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean). Dans : Schlich, R., and Munsch, M. (eds.), *French proposals for oceanic drilling in the Indian and Southern Oceans*, ODP France, vol.1, IPG Strasbourg, p. 1-37.

Schlich, R., 1987. Etude géologique et géophysique du point triple de Rodriguez. Rapport scientifique final : contrat IFREMER n° 88.1.410040

Humler, E., Sauter, D., Munsch, M., Whitechurch, H., Schlich, R., et Ruhland, M., 1988. Etude d'une image Seabeam de la dorsale est-indienne à 27°40'S (océan Indien) -2- Interprétation géodynamique. *Bulletin des Sciences Géologiques*, Strasbourg, vol.41.2, p. 219-232.

Munsch, M. et Schlich, R., 1988. Etude géophysique des dorsales de l'océan Indien dans la région du point triple de Rodriguez. Actes du Colloque sur la Recherche Française dans les Terres Australes, C.N.F.R.A., vol.59, (sous presse).

Sauter, D., Humler, E., Munsch, M., Whitechurch, H., Schlich, R., et Ruhland, M., 1988. Etude d'une image Seabeam de la dorsale est-indienne à 27°40'S (océan Indien) -1- Traitement et analyse de l'image. *Bulletin des Sciences Géologiques*, Strasbourg, vol.41.2, p. 207-217.

Schlich, R., Munsch, M. et Blanck, M., 1988. Cartes bathymétriques, gravimétriques et magnétiques au 1/200.000 et 1/100.000 du point triple de Rodriguez et de la zone axiale des trois dorsales associées (océan Indien). Editées conjointement par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Paris et l'Institut de Physique du Globe, Strasbourg.

## 3. Communications présentées à des congrès internationaux

Schlich, R., Munsch, M., Royer, J.Y., Schaming, M., Marthelot, J.M. et Whitechurch, H., 1984. Seabeam survey of the Indian Ocean Triple Junction. *American Geophysical Union, Cincinnati*, mai 1984. *EOS Trans. Amer. Geophys. Union*, vol.65, p. 439.

Montigny, R., Michard, A., et Schlich, R., 1985. Isotope geochemistry of the mantle beneath the Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean). 3ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, avril 1985. *Terra Cognita*, vol.5, p. 181-182.

Munsch, M., Schlich, R., Marthelot, J.M., et Royer, J.Y., 1985. Structure and evolution of the Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean). 3ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, avril 1985. *Terra Cognita*, vol.5, p. 178-179.

Patriat, P. et Parson, L.M., 1985. Characteristics of the trace of the Indian Ocean Triple Junction on the Antarctic plate and possible relationships between episodicity and accretion phenomena. 3ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, avril 1985. *Terra Cognita*, vol.5.

Royer, J.Y., Schlich, R., et Munsch, M., 1985. The Southeast Indian Ridge between the Rodriguez Triple Junction and the Amsterdam and Saint-Paul islands. 3ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, avril 1985. *Terra Cognita*, vol.5, p. 179.

Munsch, M., Whitechurch, H., Schlich, R. et Humler, E., 1987. Periodicity of the oceanic accretion at the Indian Ocean ridges deduced from gravity. 4ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, avril 1987. Terra Cognita, vol.2-3, p. 139.

Munsch, M. et Schlich, R., 1987. Periodicity of the oceanic accretion at the Indian Ocean ridges - bathymetric and magnetic evidences. XIX Assemblée Générale de l'UGGI, Vancouver, août 1987.

Munsch, M., Schlich, R., Whitechurch, H., Sauter, D. et Humler, E., 1989. The Indian Ocean spreading ridges close to the Rodriguez Triple Junction: Geophysical studies. 5ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, mars 1989.

Parson, L.M., Patriat, P., Mitchell, N. et Searle, R., 1989. A Gloria survey of the Southwest Indian Ridge between 65°E and 70°E (triple junction): Ridge axis segmentation and triple junction trace geometry. 5ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, mars 1989.

Sauter, D., Humler, E., Munsch, M., Whitechurch, H. et Schlich, R., 1989. The Southeast Indian Ridge at 27°40'S: Structural evolution deduced from processing of a Seabeam image. 5ème réunion de l'Union Européenne des Géosciences, Strasbourg, mars 1989.

#### 4. Communications présentées à des colloques nationaux

Munsch, M., Marthelot, J.M., Royer, J.Y., Schaming, M. et Schlich, R., 1984. Structure et évolution du point triple de Rodriguez (océan Indien): interprétation préliminaire des données Seabeam. Séance spécialisée de la Société Géologique de France "Nouvelles Recherches en Géologie Océanique", Paris, décembre 1984.

Patriat, P. et Parson, L.M., 1984. Caractéristiques de la trace du point triple de l'océan Indien sur la plaque antarctique et relations éventuelles avec l'épisodicité des phénomènes d'accrétion. Séance spécialisée de la Société Géologique de France "Nouvelles Recherches en Géologie Océanique", Paris, décembre 1984.

Schlich, R., Patriat, P., Bulot, A., Doucouré, M., Munsch, M., Parson, L., Royer, J.Y., Schaming, M., Verneau, E. et Whitechurch, H., 1984. Le N.O. Jean Charcot dans l'océan Indien: les campagnes Rodriguez. Séance spécialisée de la Société Géologique de France "Nouvelles Recherches en Géologie Océanique", Paris, décembre 1984.

Munsch, M. et Schlich, R., 1987. Les dorsales océaniques de l'océan Indien. Colloque sur la Recherche Française dans les Terres Australes et à partir des navires qui les desservent, Strasbourg, septembre 1987.

Sauter, D., Humler, E., Munsch, M., Whitechurch, H., Schlich, R., et Ruhland, M., 1988. Etude d'une image Seabeam de la dorsale est-indienne à 27°40'S (océan Indien) - Traitement et interprétation géodynamique. 113ème Congr. Nat. Soc. Sav., Strasbourg, avril 1988. CTHS (ed.), p. 128.

#### 5. Thèses portant partiellement ou totalement sur les données des campagnes Rodriguez

Royer, J.Y., 1985. Evolution cinématique détaillée de la dorsale est-indienne entre le point triple de Rodriguez et les îles Saint Paul et Amsterdam. Thèse de Doctorat (géophysique marine), Université Louis Pasteur, Strasbourg I (19 décembre 1985).

Munsch, M., 1987. Etude géophysique détaillée du point triple de Rodriguez et de la zone axiale des trois dorsales associées (océan Indien). Thèse de Doctorat (géophysique marine), Université Louis Pasteur, Strasbourg I (2 février 1987).

Munschy, M., 1987. Etude géophysique détaillée du point triple de Rodriguez et de la zone axiale des trois dorsales associées (océan Indien). Thèse de Doctorat (géophysique marine), Université Louis Pasteur, Strasbourg I (2 février 1987).  
Sauter, D., 1989. Utilisation du traitement d'images en géologie structurale. Recherches méthodologiques et applications multiscalaires. Thèse de Doctorat (géologie), Université Louis Pasteur, Strasbourg I (25 novembre 1989).  
Humler E., 1989. Dynamique des chambres magmatiques dans l'océan Indien. Thèse de Doctorat (géologie), Université Louis Pasteur, Strasbourg I.

#### LEGENDE DES FIGURES

Figure 1 : Le système de dorsale de l'océan Indien ; zones de fracture et linéations magnétiques.

Figure 2 : Les campagnes Rodriguez 1 (JC 02) et Rodriguez 2 (JC 03) du N.O. Jean Charcot.

Figure 3 : Routes du N.O. Jean Charcot dans la boîte de la dorsale est-indienne et localisation des dragages et des prises de vue sous-marines.

Figure 4 : Routes du N.O. Jean Charcot dans la boîte de la dorsale centrale-indienne.

Figure 5 : Routes du N.O. Jean Charcot dans la boîte de la dorsale ouest-indienne et localisation des dragages.

Figure 6 : Routes du N.O. Jean Charcot dans la boîte du point triple de Rodriguez et localisation des dragages et des prises de vue sous-marines.

Figure 7 : Carte bathymétrique simplifiée du point triple de Rodriguez.

Figure 8 : Carte morphotectonique du point triple de Rodriguez.



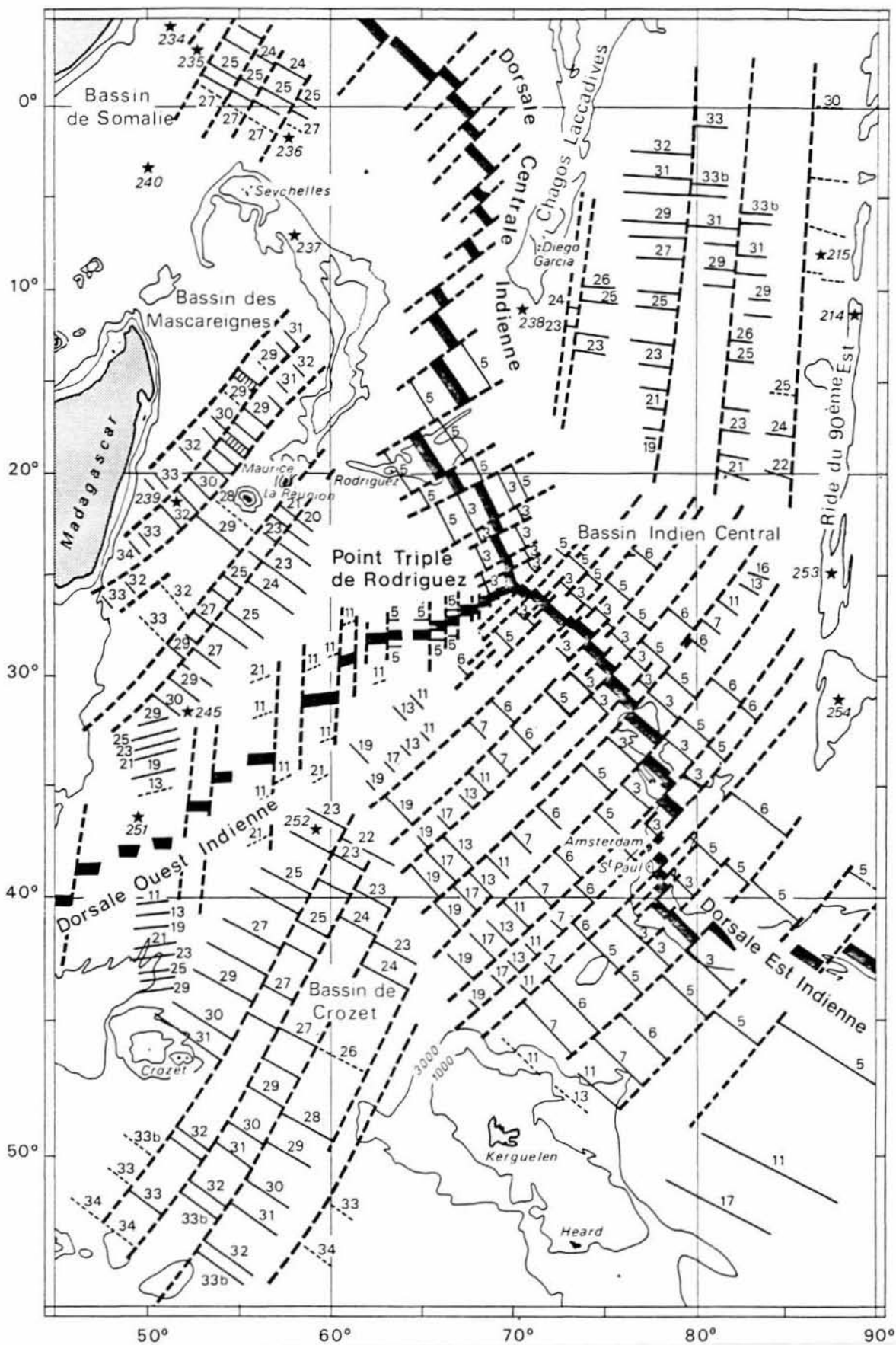


Figure 1.

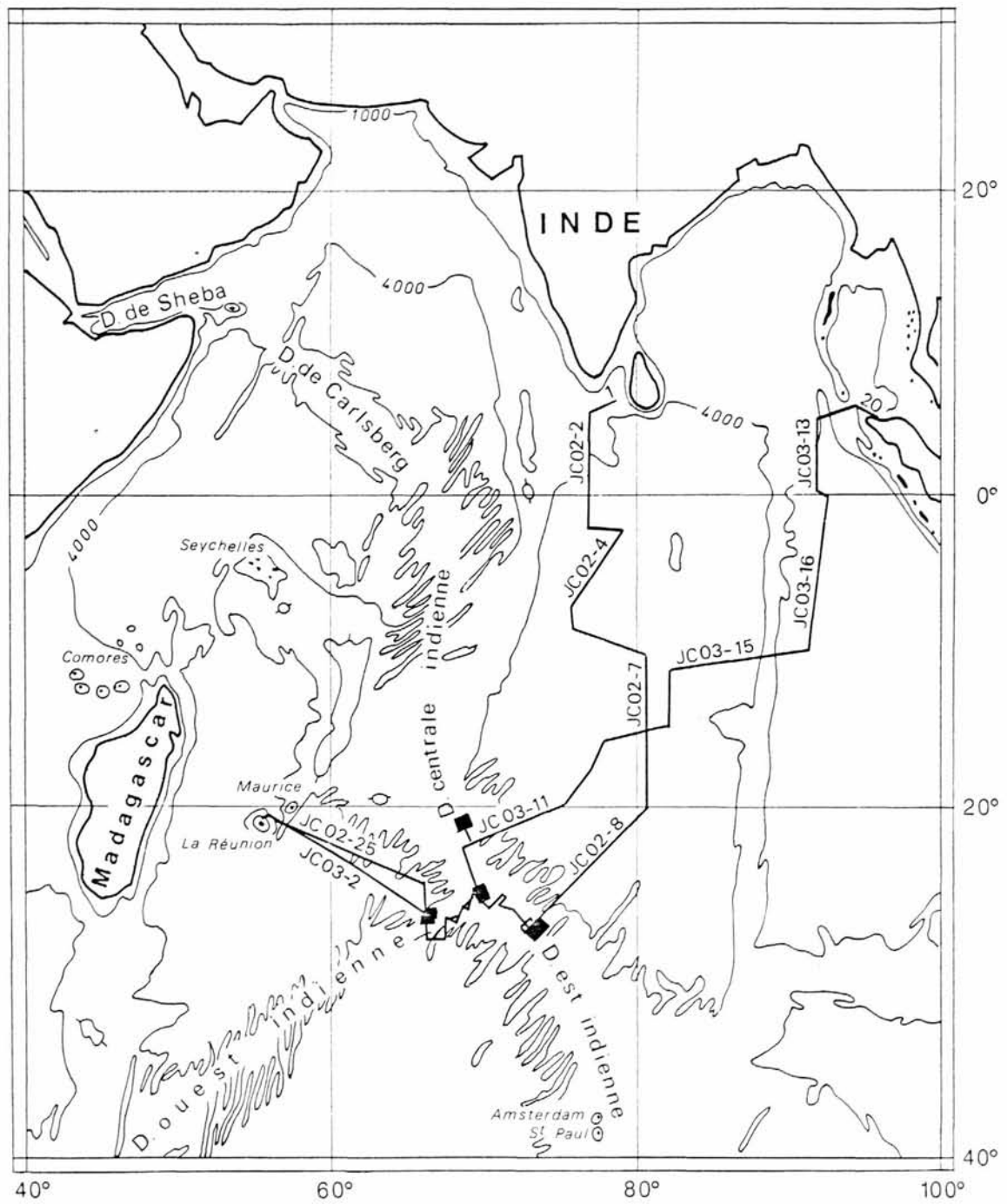


Figure 2

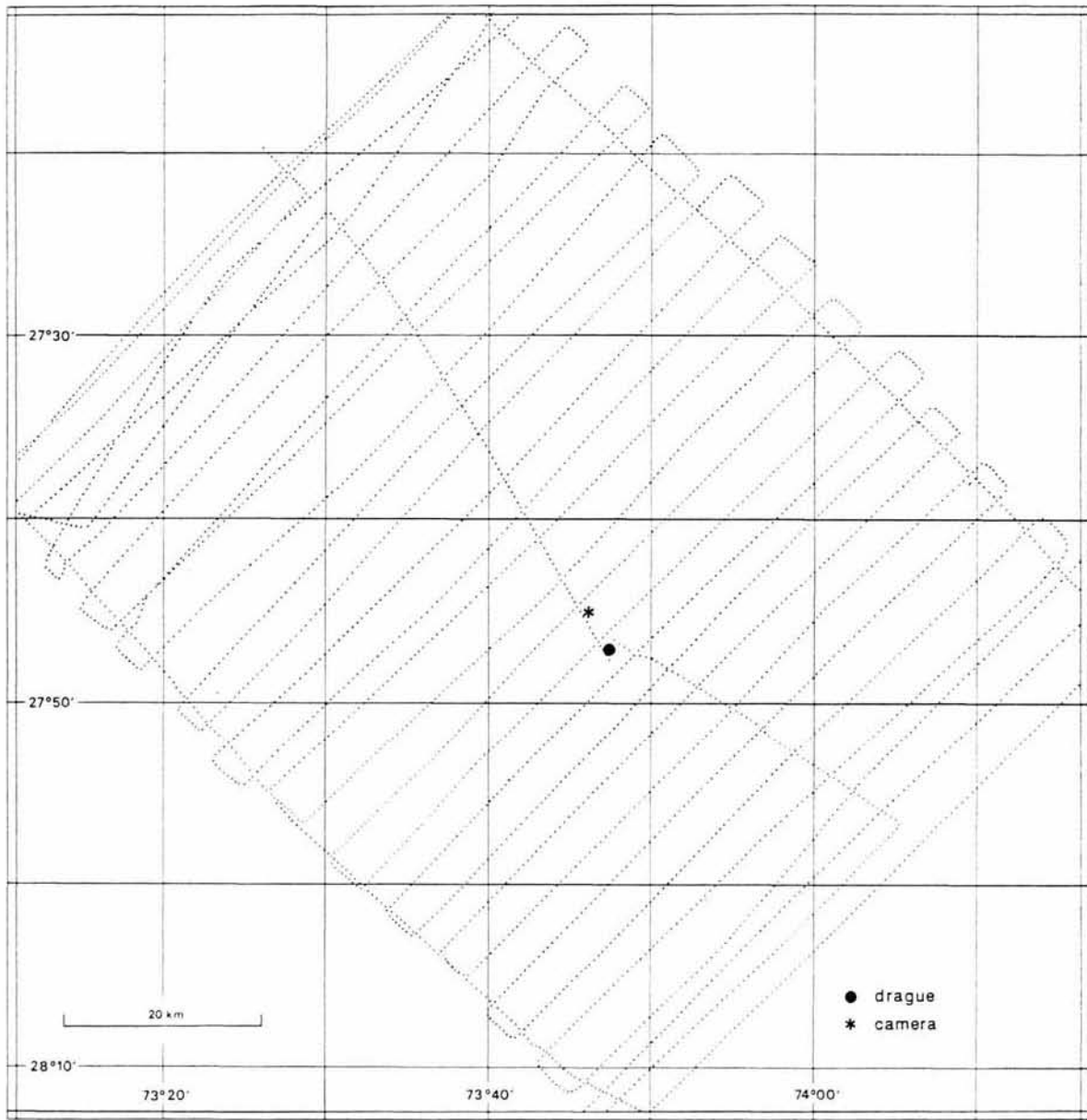


Figure 3.

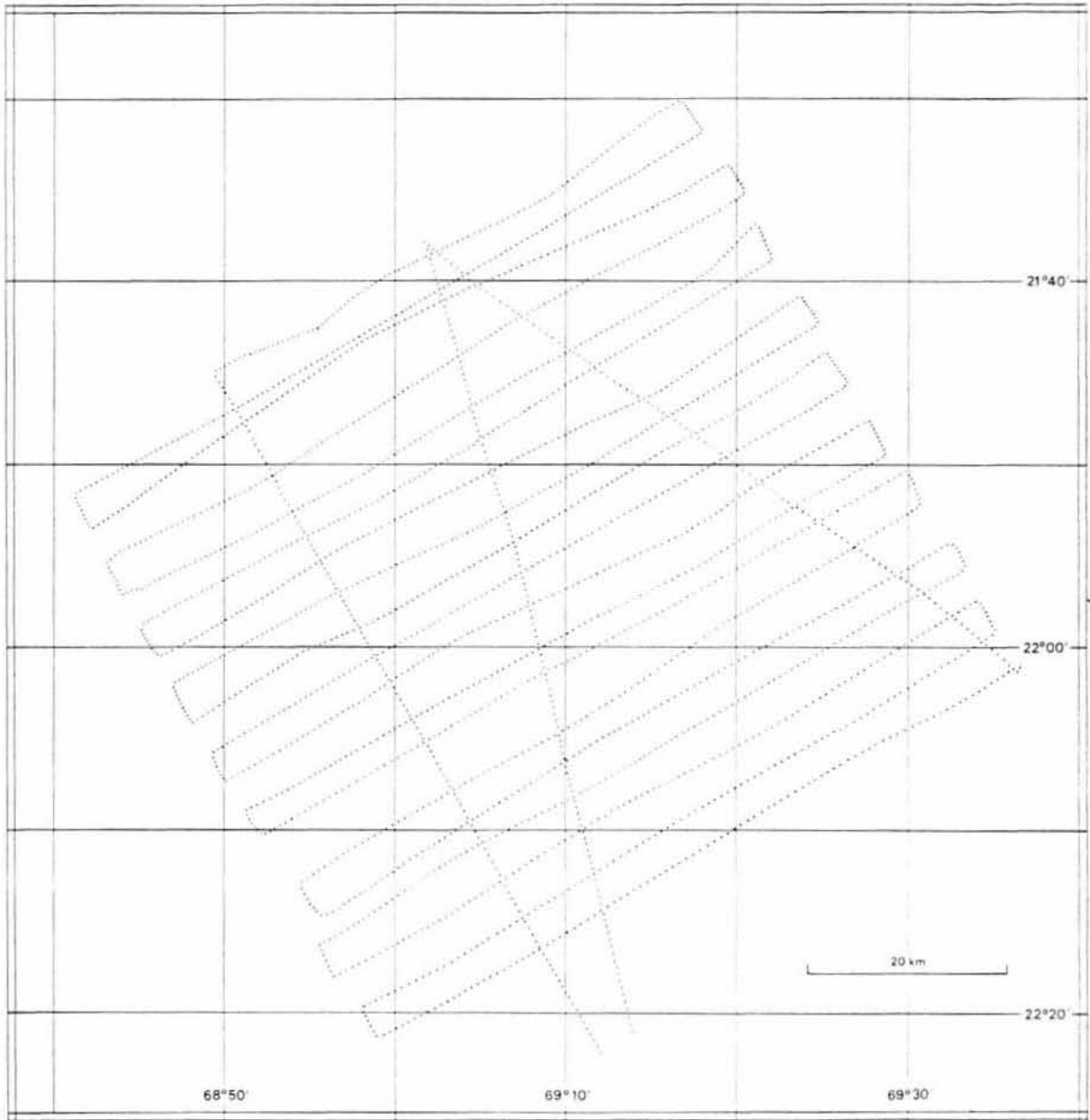


Figure 4.





Figure 5.

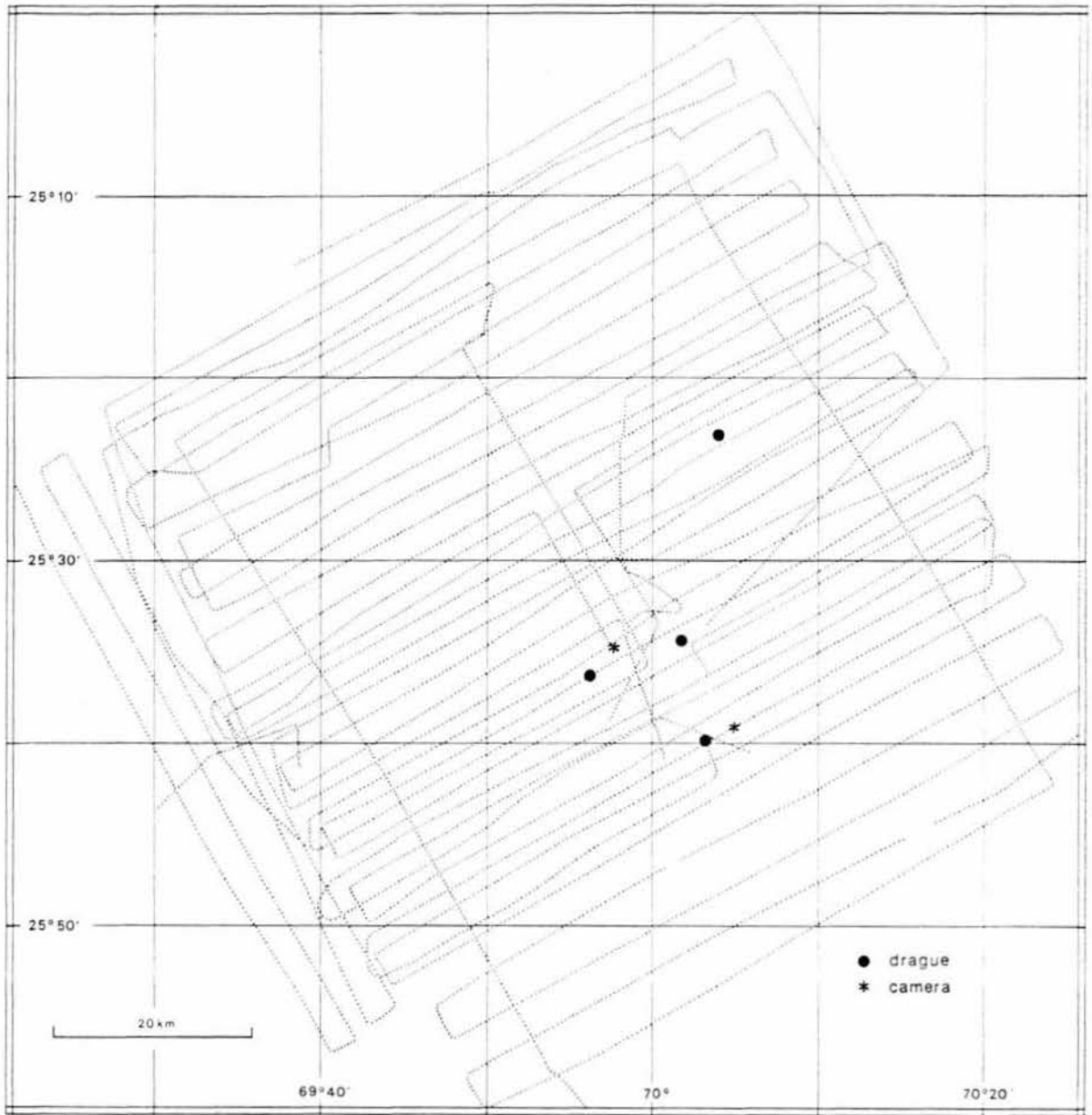


Figure 6.

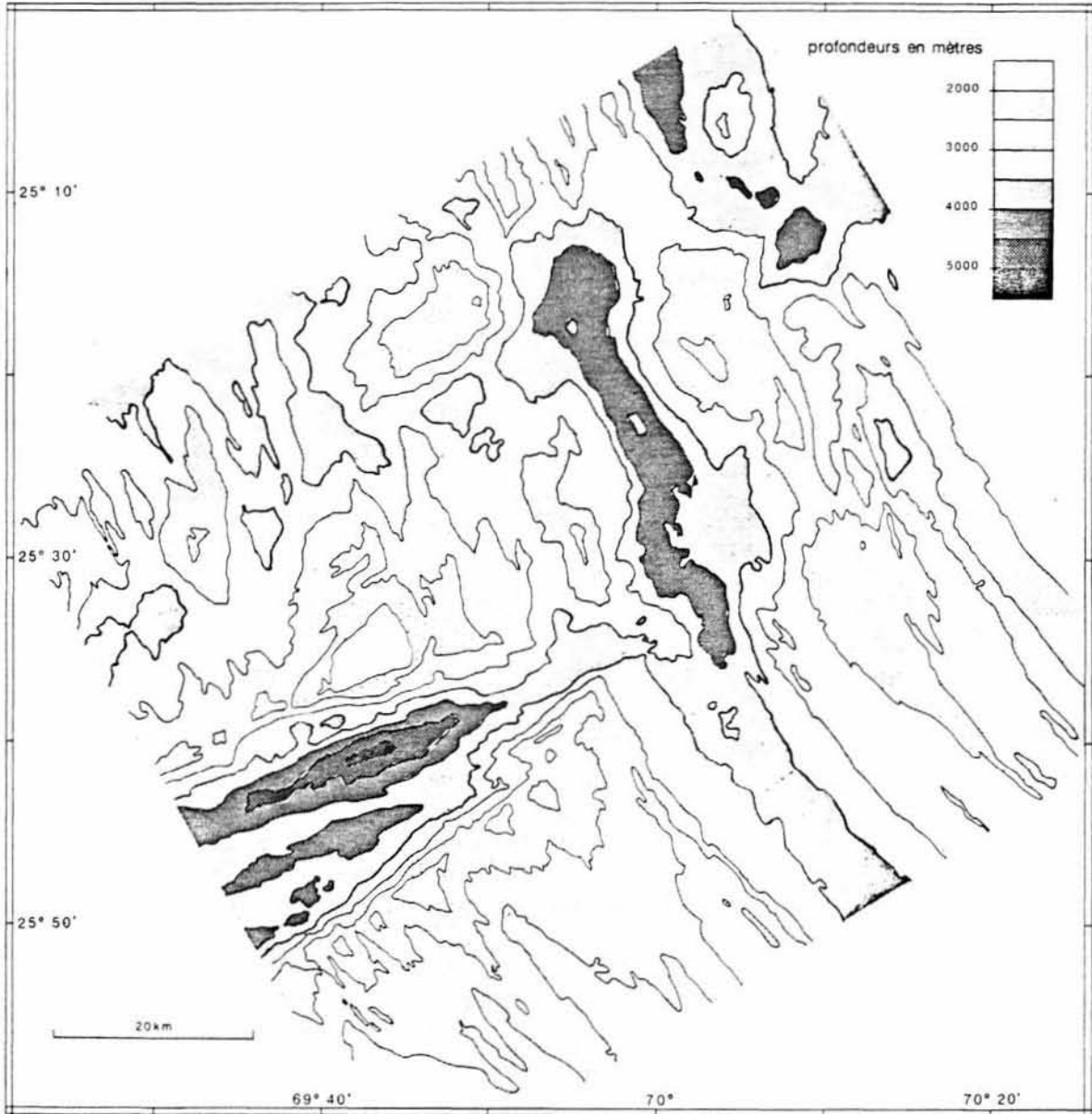


Figure 7.

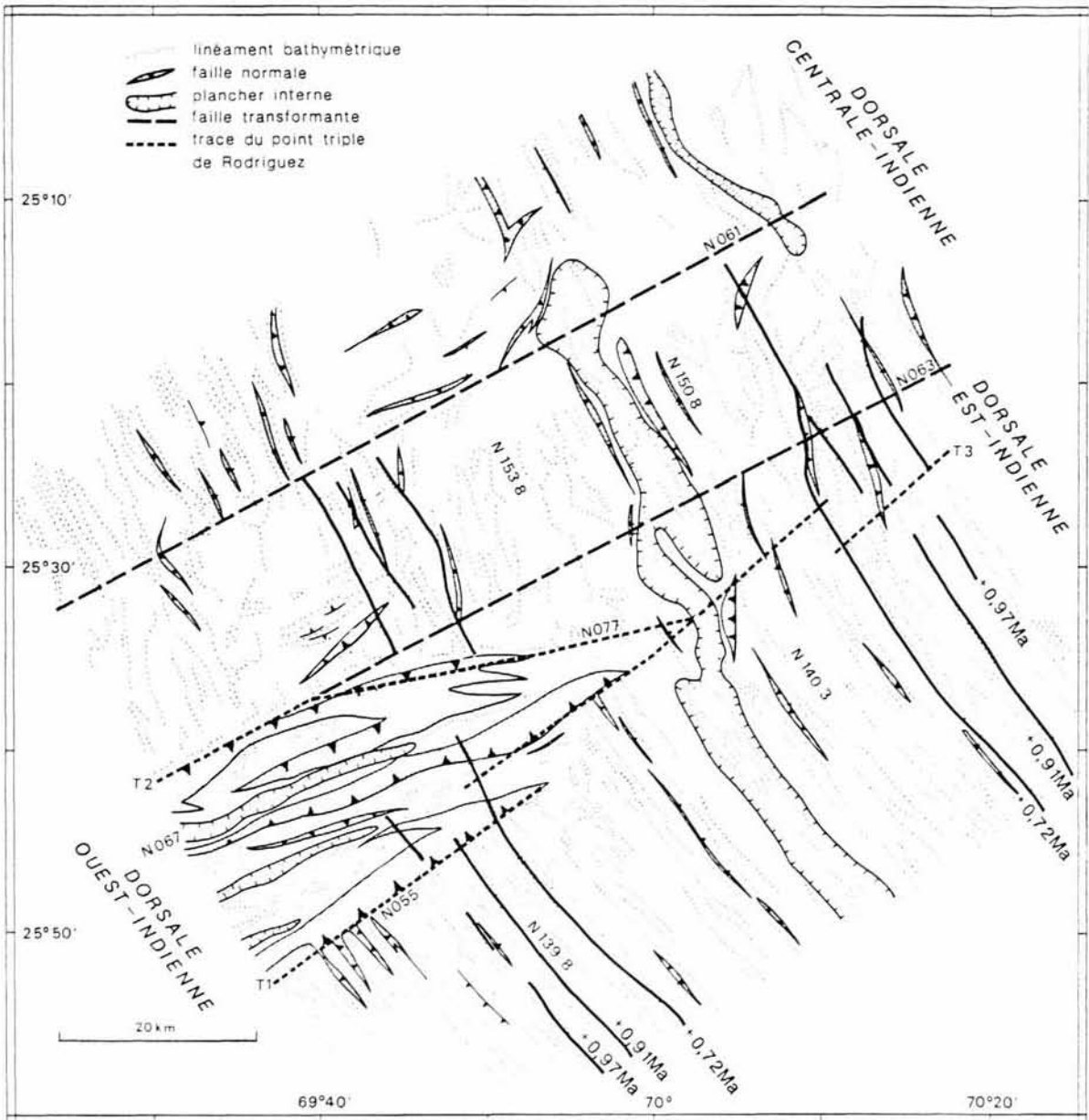


Figure 8.