

CAMPAGNE HYDROAMSTERDAM :  
 ETUDE DE LA DORSALE SUD-EST DE L'OCEAN INDIEN

P. Beuzart\*, P. Cambon\*, M.P. Caprais\*, L. Dosso\*\*, C. Douchement+, J. Etoubleau\*,  
 G. Floc'h\*, R. Hébert\*\* et J.P. Mazé\*.

\* Département DERO/GM, IFREMER Centre de Brest, BP 70, 29263 PLOUZANE  
 \*\* CNRS GIS Océanologie et Géodynamique, 6 avenue Le Gorgeu, 29287 BREST CEDEX  
 + Boursier CNEXO - Laboratoire écosystème marin, U.B.O., 6 avenue Le Gorgeu,  
 29287 BREST CEDEX

### I. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA CAMPAGNE

L'océan Indien est comparable à l'océan Atlantique Nord, dans le sens où il est entièrement bordé de marges passives si l'on excepte la fosse de Java. Ainsi, les fonds de cet océan recèlent tous les témoins de son évolution depuis sa création.

Les trois plaques majeures Afrique, Antarctique et Australie-Inde qui s'écartent les unes des autres depuis la fin de la révolution Crétacée (89 Ma) ont permis à l'océan Indien de s'étendre suivant trois dorsales qui se joignent actuellement au point triple de Rodriguez (25.5N, 70E).

Ces dorsales dessinent un Y inversé et forment le squelette de cet océan ; elles ont marqué de leur empreinte le grain structural du socle océanique. Les autres grandes structures de la partie orientale de l'océan sont Ninetyeast Ridge, Broken Ridge et Kerguelen Plateau qui s'interrompent toutes trois au niveau du massif anormal de St Paul-Amsterdam limité par deux grandes zones de fractures qui relient ces trois structures entre elles.

La dorsale Sud-Est Indienne correspond à la frontière des plaques Antarctique et Australie-Inde. Elle naît au point triple de Rodriguez puis, par décalage en

échelons, arrive jusqu'au massif St Paul-Amsterdam qu'elle traverse ; enfin, elle se trouve en position médiane entre Broken Ridge et l'Australie d'une part, le plateau de Kerguelen et l'Antarctique d'autre part.

### II. OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE

L'océan Indien présente l'avantage de s'être développé sur une source profonde unique qui a nourri trois dorsales à vitesses d'expansion très différentes. Les mouvements relatifs des plaques qui animent ces dorsales le long de leurs axes d'accrétion ont des directions variées par rapport aux orientations moyennes de ces axes et les vitesses montrent de fortes variations suivant les branches considérées.

L'étude de la dorsale Sud-Est Indienne (SEIR) entre le point triple de Rodriguez et le massif de St Paul-Amsterdam a semblé intéressante à deux titres :

- la vitesse d'expansion moyenne de cette dorsale se situe entre 5,5 cm/an et 6,5 cm/an, ce qui fournit un point de comparaison entre la dorsale Atlantique lente et la dorsale Pacifique rapide.
- dans la partie étudiée, elle débute sur un point triple stable dans un creux topographique jusqu'à un massif ayant une profondeur anormale, puisqu'il est surplombé par les îles de St

Paul et d'Amsterdam.

Pour caractériser l'activité de cette dorsale à l'âge 0, il fallait connaître le contexte géomorphologique local par une reconnaissance bathymétrique, sismique, magnétique et gravimétrique, puis réaliser une série de prélèvements représentatifs de l'évolution géochimique et de l'activité hydrothermale dans la vallée axiale au long des 1500 km de cette branche de dorsale, grâce à une dizaine de stations comportant dragages, prélèvements d'eau et photographies du fond.

### III. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

La campagne HYDRO-AMSTERDAM du N.O. Jean Charcot peut se découper en quatre parties, bien qu'elle ne comportât qu'un seul leg du 24 février 1984 au 28 mars 1984, avec départ et retour au port de la Réunion.

Première partie : 9 jours. Les deux premiers jours ont servi à faire un levé bathymétrique, gravimétrique et magnétique au large du volcan actif de la Réunion. Nous étions alors associés à l'équipe scientifique de l'Observatoire Volcanologique du piton de la Fournaise. Ce levé a permis de dresser à bord la bathymétrie de l'extension sous-marine du massif de la Fournaise. Puis en sept jours, suivant un grand profil coupant la dorsale Sud-Ouest Indienne, nous avons rejoint la dorsale Sud-Est Indienne au niveau de la boîte Seabeam réalisée pendant la campagne Rodriguez I.

Deuxième partie : 6 jours. Une reconnaissance rapide de 1500 km de la dorsale Sud-Est Indienne suivant 20 profils en dents de scie a permis de préciser la position de l'axe de la dorsale et la morphologie de la vallée axiale, et de localiser les différentes zones de fracture. Un arrêt de 9 heures sur l'île de St Paul a été effectué pour prélever en 8 sites différents échantillons de basalte insulaire (OIB) pour avoir un pôle géochimique représentant le massif

de St Paul-Amsterdam.

Troisième partie : 12 jours. La collecte des échantillons dans l'axe de la dorsale a été réalisée en 10 stations (voir tableau en annexe). En général, nous faisons une reconnaissance Seabeam pendant la nuit pour préciser le cadre morphologique de l'axe de la dorsale, là où elle avait été identifiée pendant la deuxième partie. La journée commençait par une drague à roche (DR) puis une palanquée de bouteille GO-FLO (HY), enfin, un trait de caméra ponctuelle (CP).

Les stations ont été régulièrement réparties sur chacune des portions de dorsale délimitées par des zones de fractures, en commençant à l'Est du Massif St Paul-Amsterdam, puis sur le flanc et sur le massif lui-même, enfin dans chacun des compartiments.

Quatrième partie : 5 jours. Le grand profil retour vers la Réunion, parallèle au profil aller, a bénéficié de conditions météorologiques favorables grâce aux Alizés, ce qui nous a laissé le temps de réaliser une dernière station avec seulement une caméra ponctuelle sur la zone sous-marine du Massif de la Fournaise.

### IV. RESULTATS PRELIMINAIRES

Les flancs de la vallée axiale ont tendance à devenir moins pentés lorsqu'on s'éloigne du point triple, donc d'un point de vue morphologique, la vallée axiale est moins marquée. Parallèlement, la profondeur du plancher de la dorsale diminue de 3800 à 2100 m entre les stations ST10, proche du point triple, et ST03, sous le massif St Paul-Amsterdam ; ensuite, cette profondeur augmente à l'est du massif, entre ST03 et ST01.

Les analyses des échantillons des roches draguées pendant les 10 stations ont montré une relation très étroite entre les caractéristiques morpho-structurales de la dorsale et les données géochimiques. On voit apparaître la

contribution de différentes sources mantelliques suivant que l'on se trouve sur un segment de "dorsale normale" ou sur le segment contigu au nord du massif de St Paul-Amsterdam, ou encore sur cette grande structure qui relie Broken Ridge au Plateau de Kerguelen (Dosso et al., 1988).

Il est à remarquer que chaque drague a rapporté de nombreux échantillons de basalte frais, à l'exception de la drague DR8 située sur le flanc d'un édifice volcanique qui n'a donné que quelques morceaux de basalte très altéré.

Pour les prélèvements d'eau qui se sont opérés à l'aide de bouteilles GO-FLO dans la tranche des 0 à 1000 m au dessus du fond, les analyses du Manganèse faites à bord ont indiqué des teneurs anormales en Mn, particulièrement pour HY10 et HY11. La répartition verticale de ces anomalies était difficilement explicable à bord et c'est à terre, lors des analyses du méthane, qu'un mauvais fonctionnement des bouteilles a été mis en évidence. Dans le tableau des stations, la présence des palanquées (HY) n'est donc là que pour mémoire.

Enfin, les photographies du fond sont d'une qualité aléatoire, du fait d'un état médiocre des batteries. Néanmoins, certaines vues sont très bonnes, et précisent le contexte local du plancher de la zone axiale.

En conclusion, les résultats sont bons bien que nous ayons été pénalisés par le matériel. Il est à souligner l'excellente ambiance à bord et je tiens à remercier les officiers et l'équipage du N.O. Jean Charcot pour la réalisation de cette campagne.

## V. PUBLICATIONS

- P. Beuzart, J.F. Lenat, R. Schlich et J.P. Mazé. Carte morphostructurale : Bathymétrie de l'extension sous-marine du massif de la Fournaise - Ile de la Réunion - Echelle 1/50.000. CNEXO (1985).
- L. Dosso, H. Bougault, P. Beuzart, J.Y. Calvez and J.L. Joron. The geochemical structure of the South-East Indian Ridge. Earth and Planetary Science Letters, p. 47-59 (1988).
- R. Hébert. Petrology of a South-East Indian Ridge segment between 28° and 41°S and the origin of St Paul Island, Indian Ocean : I. Mineralogy and major and minor elements chemistry. Ofioliti, p. 357-391 (1987).
- J.F. Lenat, P. Vincent, P. Bachelery, P. Beuzart, J. Coudray, L. Montaggion, R. Schlich. Seabeam mapping of the off-shore continuation of an active basaltic volcano : Piton de la Fournaise (Réunion island, Indian Ocean). Journal of Volcanology and Geothermal Research (1988).

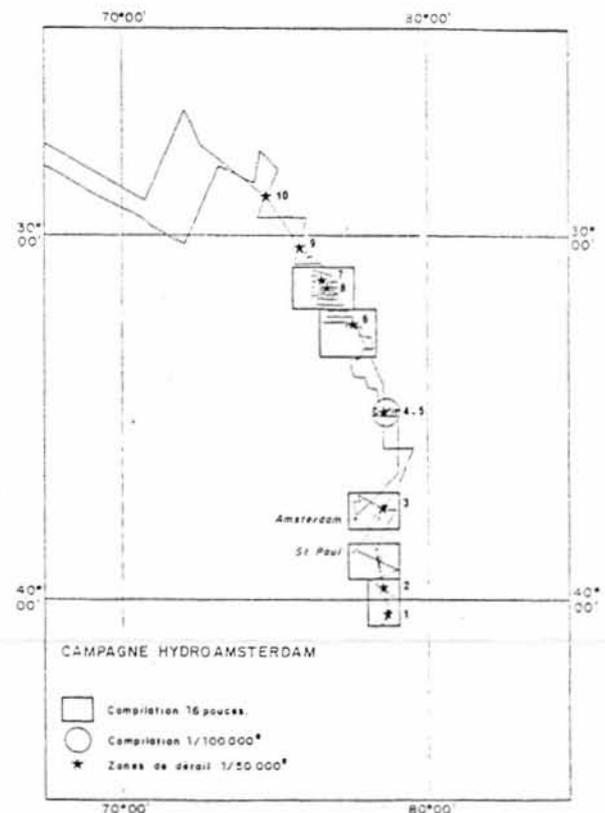


Fig. 1 : Plan de position et des stations de la campagne

Tableau des prélèvements de la campagne HYDROAMSTERDAM

Dredged samples

| Station | Type                 | Latitude | Longitude | Depth<br>(m) | Description of the samples                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------|----------------------|----------|-----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                      | S        | E         |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ST01    | DR01<br>HY01         | 40.34*   | 78.65*    | 3190         | Fresh glassy pillow fragments, Mn crust less than 10 mm and some sediment in cracks. Olivine and plagioclase phyric basalts (Samples 01-1, 01-4). Angular fragments of massive flows and dikes. Mn crust is less than 7 mm. Very little occurrence of sediments. Fine to medium grained plagioclase basalts (Sample 01-5).                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ST02    | DR02                 | 39.68*   | 78.48*    | 2450         | Fresh glassy pillow fragments with radial fractures. Mn crust is less than 7 mm and some fossiliferous sediment is present. Olivine and plagioclase phyric basalts (Sample 02-1). Some vesicles are visible.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ST03    | DR03<br>HY02<br>CP01 | 37.55*   | 78.43*    | 1750         | Fresh glass or pillow fragments with glassy rim 1 cm thick. Mn crust is less than 1 mm and some hydroxide-rich sediments under a Mn crust. Some palagonitization of the glass. Empty vesicles from 1-5 mm in diameter occupying 5% of the total volume. Olivine and plagioclase-phyric basalts (Sample 03-1). Plagioclase and augite phyric basalts (Sample 03-2) and plagioclase-phyric andesite (Sample 03-10).                                                                                                                                                                                               |
| ST04    | DR04<br>HY03<br>CP02 | 34.91*   | 78.67*    | 3100         | Fresh glass and pillow crust is less than 3 mm and some pink sediments are present. Some very small vesicles (less than 0.3 mm) are observed in the spherulitic zone. Plagioclase phyric basalts (Sample 04-2), plagioclase and olivine phyric basalts (Samples 04-8, 04-10, 04-36, 04-43 some containing xenoliths and xenocrysts). Angular fragments of massive thick flows or dolerite. Mn crust is less than 1 mm thick and some pink sediments are present. Alteration halos are 1 to 4 cm large inside fragments. Plagioclase-augite or plagioclase-augite-olivine phyric basalts. They are fine grained. |
| ST05    | DR05<br>HY04         | 34.96*   | 78.54*    | 2800         | Nearly whole pillow, numerous glass fragments and pillow fragments. Mn crust is less than 1 mm thick and no sediment was recovered. Glassy margins up to 6 mm thick. Very well developed spherulites on fresh cuttings are observed. Olivine (spinel) phyric basalts (Samples 05-1 and 05-4) Plagioclase and olivine phyric basalts (Sample 05-3).                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ST06    | DR06<br>HY05<br>CP03 | 32.51*   | 77.43*    | 3040         | Fresh pillow fragments and numerous glassy material. Mn crust is less than 1 mm and no sediment was recovered. Glassy margins up to 1 cm thick with some palagonitization. Well developed radial fractures without alteration halos. Olivine and plagioclase (some augite) phyric basalts. (Samples 06-8, 06-17 olivine xenocrysts and plagioclase-olivine glomerocrysts are observed).                                                                                                                                                                                                                         |

|      |                              |        |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------|--------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ST07 | DR07<br>HY06<br>CP04         | 31.26* | 76.50* | 3050 | Fresh pillow fragments glassy material. Mn crust less than 2 mm thick (or totally absent) some palagonitization. Aphyric basalts (Sample 07-9). These samples contain abundant plagioclase and olivine xenocrysts.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ST08 | DR08<br>CP05<br>HY07<br>HY08 | 31.50* | 76.59* | 3330 | Altered basalt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ST09 | DR09<br>HY09<br>CP06<br>HY10 | 30.33* | 75.76* | 3310 | Glassy slabs and numerous glassy fragments. Mn crust and sediment are absent. The thickness of the glass may reach 2 cm. Plagioclase (olivine) phyrlic basalts (Samples 09-7 and 09-8). These rocks contain abundant zoned or corroded plagioclase.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ST10 | DR10<br>HY11                 | 28.90* | 74.67* | 3420 | Glassy slabs and glassy pillow fragments. Mn crust is less than 1 mm or absent and 1 mm thick. Layered palagonitic alteration is observed. The glassy margin is up to 3 cm thick. Aphyric basalts (Sample 10-1), plagioclase and olivine phyrlic basalts (Samples 10-21 and 10-22). Angular fragments with Mn coating up to 3 mm thick. Cuttings show alteration halos up to 3 cm inward the fragments. Plagioclase and olivine (some clinopyroxene) phyrlic basalts. Megacrysts and xenocrysts (up to 7 mm long) are zoned or partly resorbed (Sample 10-14). |
| ST11 | CP07                         | 21.33* | 56.00* | 1460 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

#### St-Paul Island samples

|              |          |          |  |                                                                                                                                                                                                             |
|--------------|----------|----------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SP-1         | 38°43.1' | 77°30.2' |  | Chilled margin of a 40 cm large dike of slightly phyrlic basaltic material. Fresh glass was recovered containing a few plagioclase microphenocrysts. The rock is mostly hyaline and vesicular.              |
| SP-2<br>SP-3 | 38°43.1' | 77°30.2' |  | Massive basaltic flow cut by SP-1 dike. The rock is plagioclase-olivine- and augite-phyric. The texture is microlitic porphyritic and vesicular. Some ilmenite and magnetite is observed in the groundmass. |
| SP-4         | 38°43.1' | 77°30.2' |  | Andesitic basaltic vesicular massive flow. The rock is slightly plagioclase- and augite-phyric and the texture is cryptocrystalline microporphyritic.                                                       |
| SP-5         | 38°43'   | 77°30.1' |  | Basaltic massive and vesicular flow. The sample is plagioclase-augite-olivine- and ilmenite-phyric and the texture is microlitic porphyritic.                                                               |
| SP-6         | 38°42.8' | 77°30'   |  | Pillowed basaltic flow. The sample is plagioclase- and augite-phyric and the texture is vesicular and cryptocrystalline microlitic and hyaline at the margin.                                               |
| SP-8         | 38°42.7' | 66°30'   |  | Basaltic massive flow. The rock is medium grained and contain plagioclase, augite and smectitized olivine. The texture is doleritic.                                                                        |