

Les îles Amsterdam et Saint-Paul

par Sonia Doucet ⁽¹⁾, André Giret ⁽²⁾, Dominique Weis ⁽¹⁾, James SCOATES ⁽¹⁾

(1) ULB, Lab. Géochimie, av. F.D.Roosevelt, 50, CP 160/02, 1050 Bruxelles, Belgique

(2) UJM, Fac. Sciences, Lab. Géologie, CNRS UMR 6524, 23 rue du Docteur Paul Michelon, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, France

(d'après l'article publié dans *Géologues*, 2003, n°137, pp. 10-15)

Généralités sur les îles Amsterdam et Saint-Paul

La proximité de la ride est-indienne confère aux îles Amsterdam et Saint-Paul un rôle privilégié dans l'étude du manteau fertile de ce domaine océanique. Situées entre 37°52' et 38°43' de latitude Sud à 77°30' de longitude Est, ces îles volcaniques sont les points émergents d'un vaste plateau volcanique sous marin (250 km x 200 km), qui s'est construit il y a moins de 5 Ma (e. g. Royer & Schlich, 1988) grâce à l'activité d'un panache mantellique, comme le suggèrent les rapports isotopiques de l'Hélium particulièrement élevés dans cette région (Graham *et al.*, 1999). En dehors de l'Islande, des Açores et de l'île Bouvet dans l'océan Atlantique, une telle coïncidence "île océanique-zone d'accrétion de croûte océanique" est aujourd'hui relativement rare bien qu'elle représente typiquement la situation ancienne de nombreuses îles océaniques comme par exemple il y a 40 Ma celle de l'archipel de Kerguelen, aujourd'hui situé à 1 200 km des îles Amsterdam et Saint Paul.

Les premières descriptions pétrographiques des basaltes des îles Amsterdam et Saint-Paul ont été délivrées à l'issue des explorations géologiques de Hochstetter (1866), Velain (1878), Philippi (1909) et Reinisch (1909). Ce n'est que dans les années soixante dix qu'elles sont succédées par des travaux plus détaillés qui apporteront de nouvelles informations pétrographiques (Girod *et al.*, 1971; Gunn *et al.*, 1971, 1975), paléomagnétiques (Watkins et Nougier, 1973), géochimiques et isotopiques (Hedge *et al.*, 1973; Watkins *et al.*, 1975). Deux synthèses de ces travaux ont été publiées, l'une par Upton en 1977, l'autre par Nougier en 1982. Depuis lors, un intérêt croissant pour la reconnaissance géochimique (Dupré & Allègre, 1983; Hamelin *et al.*, 1985/86; Dosso *et al.*, 1988, Michard *et al.*, 1986) et géophysique (Royer & Schlich, 1988; Conder *et al.*, 2000; Scheirer *et al.*, 2000) de ces îles, de leur plateau et de la portion de dorsale indienne où elles se trouvent, répondent à un besoin de comprendre les processus d'accrétion crustale en un tel contexte d'interaction ride-point chaud.

Les données bathymétriques (Fischer, 1966; Berthois *et al.*, 1969; Conder *et al.*, 2000) et les anomalies magnétiques (Schlich & Patriat, 1971; Schlich, 1975) autour des îles montrent que les îles Saint Paul et Amsterdam se trouvent sur la bordure occidentale de la ride sud-est indienne qui est décalée par une faille transformante NE-SO passant entre les deux îles (figure 1). Une dépression NO-SE correspond

à la ride active tandis que des hauts-fonds situés à l'est des îles, à - 645m pour Amsterdam et - 450m pour Saint Paul, représenteraient des semelles volcaniques décalées au cours de l'expansion océanique.

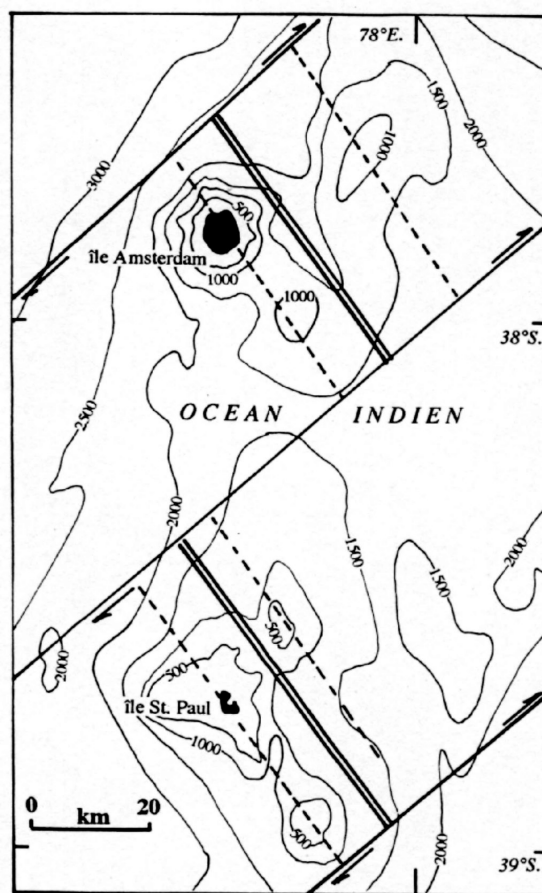


Figure 1

cadre géodynamique des îles St. Paul et Amsterdam
Détail du plateau d'Amsterdam - St. Paul. Lignes doubles: axe de la ride Est-Indienne. Lignes pleines: failles transformantes. Tiretés: lignes de crête de la dorsale océanique. (d'après Nougier, 1982).

Géologie de l'île d'Amsterdam (37°50'S, 77°34'E)

L'île d'Amsterdam (figure 2) forme une ellipse de 58 km² dont les axes sont respectivement de 9,8 et 7,4 km. Elle est presque totalement entourée de falaises de 30 à 60 m d'altitude dues à l'érosion marine. Seule une étroite échancrure au nord, La Cale, permet un accès maritime. C'est là que la station scientifique Martin du Viviers a été établie. La partie occidentale de l'île est entaillée par de très hautes falaises, 600-700 m, qui témoignent des rejets verticaux de deux failles

orientées respectivement N20 et N330. Le point culminant de l'île, 881 m, se trouve sur les lèvres de la caldéra sommitale du volcan de la Dives (figure 2).

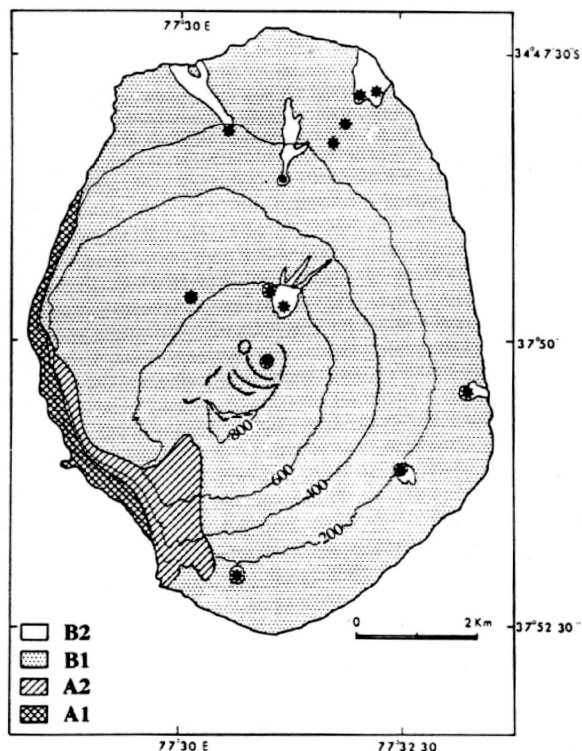


Figure 1

cadre géodynamique des îles St. Paul et Amsterdam

Détail du plateau d'Amsterdam - St. Paul. Lignes doubles: axe de la ride Est-Indienne. Lignes pleines: failles transformantes. Tirets: lignes de crête de la dorsale océanique. (d'après Nougier, 1982).

L'édification de l'île s'est effectuée en deux étapes principales. La première étape conduit à l'édification du paléovolcan Fernand dont l'expression en surface qui atteignait 44 km² est aujourd'hui réduite à moins de 3 km², au Sud-ouest de l'île, soit à 5% de la surface actuelle de l'île Saint Paul. La paléocaldéra devait atteindre 2 km de diamètre et ses vestiges forment le rempart du Pignon et le mont du Fernand. La structure du paléovolcan est visible dans les falaises sud-ouest. Une unité inférieure, disséquée par de nombreux filons d'orientations très variées, est coiffée par des brèches qui marquent le passage à l'unité supérieure.

Les données magnétostratigraphiques (Watkins et Nougier, 1973) montrent que le volcan s'est édifié il y a moins de 100 000 ans, au cours de l'époque Brunhes.

La seconde étape est l'édification du néovolcan de La Dives qui témoigne d'une migration de 2 km vers l'Est - Nord Est de l'activité magmatique. Les pentes du volcan s'accroissent progressivement de 15° vers la base à 30° au sommet. Une caldéra elliptique de 1,5 km de grand axe coiffe le volcan. C'est à partir de là que la plupart des laves se sont épanchées, d'abord vers l'Ouest, puis vers le Nord. Les coulées sont minces et certaines atteignent 3 km de long. Elles

sont de type pahoehoe et les tunnels de laves sont fréquents.

En l'absence de datation absolue fiable, la comparaison de ces produits volcaniques avec ceux du Piton de la Fournaise à la Réunion, qui se sont mis en place dans un environnement tectonique comparable, permet d'estimer l'âge de ces laves à quelques dizaines de milliers d'années.

Les failles occidentales sont vraisemblablement plus récentes. Le dernier épisode volcanique est marqué par la formation d'une quinzaine d'appareils adventifs principaux et d'une dizaine d'appareils secondaires, répartis sur toute l'île. Du sommet à la base, il s'agit de cônes scoriacés, de petites coulées de type aa, et de fontaines de laves. Le plus récent est le cratère Dumas (Photo 1), au nord-est de l'île, que l'on peut estimer à moins de 100 ans d'après ses caractères morphologiques et pétrographiques.



Photo 1 (cl. A. Giret)

Cônes volcaniques adventifs (spatter cones), sur l'île d'Amsterdam

Les basaltes de l'île d'Amsterdam ont des compositions variant des tholéïtes à olivine et hypersthène aux tholéïtes à quartz normatif. Ils sont généralement porphyriques et contiennent des phénocristaux d'olivine ou d'olivine+plagioclase. La différenciation magmatique est attribuée essentiellement au fractionnement du plagioclase. Dans chacune des deux premières étapes volcaniques principales, on observe une évolution de la composition minéralogique depuis des roches riches en phénocristaux de plagioclase vers des roches riches en olivine.

Géologie de l'île Saint Paul (38°42'S, 77°32'E)

L'île Saint-Paul est située à 100 km au sud de l'île d'Amsterdam (figure 1). Son volcan initial s'étendait sur 12 km². Une faille NO-SE a provoqué l'effondrement d'une grande partie Nord-ouest de l'édifice. L'île présente depuis lors une forme triangulaire de 6,5 km², avec un cratère circulaire de 1800 m de diamètre et de 300 m d'altitude, tronqué par la faille (figure 3, Photo 2)). Le lac de cratère, qui atteint 80 m de profondeur et 1 000 m de diamètre (Bogdanov *et al.*, 1967), est ouvert sur l'océan par un cordon de galets qui laisse une passe de 0,8 à 2,5 m de

profondeur selon que la marée est basse ou haute. L'île est entourée de falaises de 30 à 50 m de hauteur dues à l'érosion marine, et le seul accès est la passe du cratère (Photo 3). Le volcan a des pentes de 7° vers l'extérieur et de 45° vers le cratère central. Sur la rive nord du lac de cratère, les ruines d'une conserverie de langoustes témoignent d'une ancienne activité humaine.



Photo 2 (cl. A. Giret)
Ile Saint Paul vue d'hélicoptère

Comme Amsterdam, l'île Saint-Paul s'est édifiée au cours de deux étapes magmatiques principales et les produits de cette activité sont recouverts localement par des appareils scoriacés tardifs. La première étape conduit à la formation d'un paléovolcan que l'on peut observer sur la côte Est de l'île, grâce à la coupe partielle que les failles ont provoquée. Les horizons de cet ancien volcan sont recouverts par les produits du néovolcan.

Dans la partie Nord de l'île, une rupture de pente indique en surface les limites de l'ancien volcan, qui occupe un septième de l'île actuelle. Les niveaux observables sont constitués de strates jaunes friables, de ponces et tufs basaltiques (Gunn *et al.*, 1975) recouverts d'un conglomérat. La pente de ces niveaux est variable et elle peut atteindre 30°. Une faille visible a provoqué l'effondrement de la majeure partie de l'édifice dont le centre est immergé au nord de la Roche Quille. Des filonnets rhyolitiques ont été décrits par Velain (1878) dans l'îlot du Milieu; ils semblent être limités à cet endroit. La seconde étape volcanique est la formation du néovolcan, 700 m au Sud du précédent. Ce néovolcan est constitué d'une alternance rythmique de coulées basaltiques et de niveau de cendres et scories. Les filons nourriciers du cône sommital traversent le paléovolcan.

Le volcanisme se termine par la projection de cendres formant des lits de 40 cm limités au flanc sud-ouest et par la construction de cônes scoriacés ou de boursofflements le long de fissures radiaires. Les manifestations volcaniques actuelles se limitent à des fumerolles que l'on observe sur les rives du lac de cratère et à plus grande altitude, sur le rebord Ouest du cratère. L'évent le plus actif livrait une vapeur à 104°C contenant 10% de CO₂ en 1874, mais d'autres mesures, faites en 1972, donnent une température de 80 à 85°C et la présence unique de vapeur d'eau.

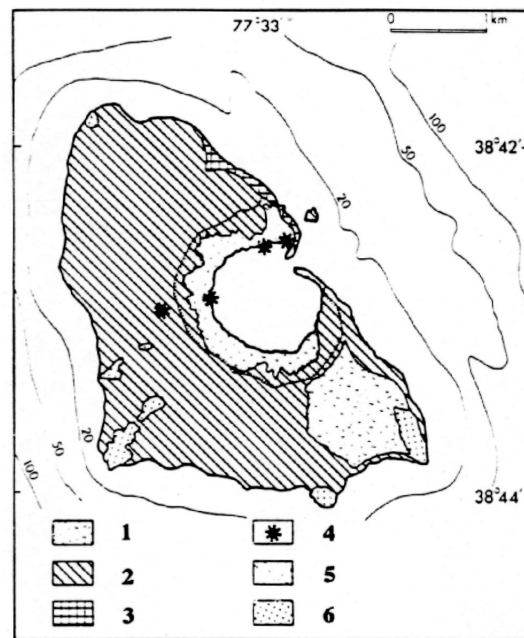


Figure 3
Esquisse géologique de l'île Saint-Paul

1: cendres récentes. 2: coulées basaltiques. 3: Pyroclastites du paléovolcan. 4: fumerolles. 5: éboulis et plages de galets. 6: cônes adventifs. (d'après Nougier, 1977).

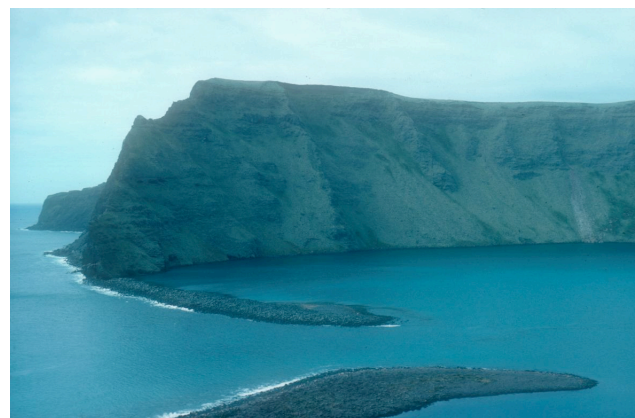


Photo 3 (cl. A. Giret)
Saint Paul, La Passe, cordon de galets fermant presque le lac de cratère

En considérant d'une part la distance qui sépare la semelle volcanique (haut fond au Nord-ouest) de l'île actuelle, et d'autre part une demi vitesse d'expansion de 3,4 cm.an⁻¹, le soubassement de l'île Saint Paul aurait 300 000 ans. Cette estimation est cohérente avec l'âge isotopique K-Ar de 0,1 Ma obtenu par Watkins *et al.* (1975) sur les laves de l'île Saint-Paul. La faille qui a provoqué l'effondrement de la partie Nord-est de l'île, et qui est sans doute contemporaine de celles qui ont affecté Amsterdam, se serait produite il y a quelques milliers, voire quelques dizaines de milliers d'années au maximum. Les basaltes de l'île Saint-Paul sont essentiellement des tholéiites à quartz normatif ($\leq 4,05\%$). Les rhyolites correspondent à des stades ultimes de la différenciation magmatique. Comme à Amsterdam, les basaltes sont généralement porphyriques avec des porphyroblastes d'olivine et de plagioclase.

La suite magmatique des basaltes de l'île Saint-Paul est sensiblement plus différenciée que celle des basaltes d'Amsterdam. Les basaltes de l'île Saint-Paul sont en effet plus riches en silice (49,7% SiO₂ contre 47,7%), plus alcalins (3,9% Na₂O+K₂O contre 3,2%) et ont un rapport Fe/Mg plus élevé. Les rapports isotopiques initiaux du strontium quant à eux, sont moins radiogéniques à Saint-Paul (0,7037, e.g., Michard *et al.*, 1986; Dosso *et al.*, 1988) qu'à Amsterdam (0,7039; e. g. Dupré & Allègre, 1983; Hamelin *et al.*, 1985/86), et sont très voisins de ceux de la ride Sud-est indienne (0,7030, e. g. Chauvel & Blichert-Toft, 2001; Mahoney *et al.*, 2002).

De même, les rapports isotopiques en plomb des basaltes de l'île Saint-Paul sont sensiblement moins radiogéniques que ceux de l'île d'Amsterdam. Ceux-ci n'ont toutefois rien de commun avec ceux de la ride sud-est indienne et requiert la présence d'une source spécifique très enrichie en plomb radiogénique, qui n'est répertoriée dans aucune autres îles de l'océan indien. Les importantes hétérogénéités isotopiques qui distinguent ces deux îles océaniques, pourtant localisées sur un même plateau sous marin, semblent révéler la nature hétérogène à une échelle < 100 km du manteau dont sont extrait les basaltes de ces îles océaniques, ce qui semble être cohérent avec les conclusions de Johnson *et al.* (2000) concernant l'étude récente d'un volcan sous marin dragué à seulement 18 km à au Nord-est d'Amsterdam, qui refléterait des hétérogénéités mantelliques seulement kilométriques.

Bibliographie

- Aubert de la Rüe E., 1931** : Observations sur la géologie de l'île Saint Paul (Océan Indien). *C.R. Soc.Geol. de France*, pp.206-208.
- Aubert de la Rüe E., 1951** : Les îles Australes Françaises. *Nature, Paris*, 3192, pp.114-115.
- Aubert de la Rüe E., 1953** : Les Terres Australes Françaises. *Que Sais-je, Presse Universitaires, Paris*.
- Berthois L., Schlich R., Patriat P., 1969** : Carte bathymétrique du sud de l'Océan Indien. *Inst. Phys. Globe, Paris*, N° 26, 8 p., 4 cartes.
- Bogdanov Y., Kuksa V., Pasternak F., Romankevich Y., 1967** : Recent sedimentation conditions in the St. Paul lagoon. *Okeanologia*, 7, N° 4, pp.636-644.
- Chauvel C., Blichert-Toft J. A., 2001** : Hafnium isotope and trace element perspective on melting of the depleted mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 190, pp.137-151.
- Conder J. A., Scheirer D. S., Forsyth D. W., 2000** : Seafloor spreading on the Amsterdam-St. Paul hotspot plateau. *J. Geophys. Res.* 105, B4, pp.8263-8277.
- Dosso L., Bougault H., Beuzart P., Calvez J.-Y., Joron J.-L., 1988** : The geochemical structure of the South-East Indian Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 88, pp.47-59.
- Drygalski E. von., 1908** : Geographie der inseln St. Paul. *Deutsche Süd-polar expedition 1901-1903, Reimer, Berlin*, pp.353-362.
- Dupré B., Allègre C. J., 1983** : Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean and mixing phenomena. *Nature*, 303, pp.142-146.
- Fisher R., 1966** : The median ridge in the south central Indian Ocean. In: *Irvine T.N., ed., The World Rift System. Pap. Geol. Surv. Can.*, 66-14, pp.135-147.
- Girod M., Camus G., Vialette Y.: 1971** : Sur la présence de tholeiites à l'île Saint Paul (Océan Indien). *Contrib. Miner. Petrol.*, 33, N° 2, pp.108-117.
- Girod M., Nougier J., 1972** : Volcanism of the sub-Antarctic islands. In: *Antarctic geology and geophysics, R.J. Adie ed., Universitetsforlaget, Oslo*, pp. 777-788.
- Gunn B., Abranson C., Nougier J., Watkins N., Hajash A., 197** : Amsterdam Island, an isolated volcano in the southern Indian Ocean. *Contrib. Miner. Petrol.*, 32, N°2, pp.79-92.
- Gunn B., Watkins N., Trcienski W., Nougier J., 1975** : The Amsterdam-St. Paul volcanic province and the formation of low-Al tholeiitic andesites. *Lithos*, 8, pp.137-149.
- Hamelin, B., Dupré, B., Allègre, C. J., 1985/86** : Pb-Sr-Nd isotopic data of Indian Ocean Ridges: new evidence of large-scale mapping of mantle heterogeneities. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 76, pp.288-298.
- Hedge C., Watkins N., Hildreth R., Doering W.:** ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios in basalts from islands in the Indian Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 21, pp. 29-34.
- Hochstetter F. Von. 1866** : Geologische betrachtungen während der reise der Osterreichischen fregatte "Novara" (1857-1859) *Um die Erde*., 2, Bd., Wien, Gerold, 58 p.
- Johnson K. T. M., Graham D. W., Rubin K. H., Nicolaysen K., Scheirer D. S., Forsyth D. W., Baker E. T., Douglas-Priebe L., M., 2000** : Boomerang seamount: the active expression of the Amsterdam-St. Paul hotspot, Southeast Indian ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 183, pp.245-259.
- Mahoney J. J., Graham D. W., Christie D. M., Johnson K. T. M., Hall L. S., VonderHaar D. L., 2002** : Between a hotspot and a cold spot: isotopic variation in the Southeast Indian Ridge asthenosphere, 86°E-118°E. *J. Petrol.* 43, pp.1155-1176.
- Michard A., Montigny R., Schlich R., 1986** : Geochemistry of the mantle below the Rodriguez Triple junction and the South-East Indian Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 78, pp.104-114.
- Nicolaysen K. 2001** : The Cretaceous to recent history of the southeastern Indian Ocean : the role of mantle plumes examined by geochronology and Sr, Nd, Pb, and He isotopic geochemistry. *Massachusetts Institute of Technology, Ph. D.*, pp.185 p.
- Nougier J., 1982** : Volcanism of Saint Paul and Amsterdam Islands (TAAF); some aspects of volcanism along plate margins. In: *Antarctic Geoscience, C. Craddock ed., The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin*, 92, pp.755-765.
- Philippi E., 1909** : Geologie der inseln St. Paul und Amsterdam, Indischer Ozean. *Deutsche Süd-polar expedition 2, N° 5*, pp.378-383.
- Reinisch R., 1909** : Gesteine von St. Paul und Neu Amsterdam, *Deutsche Süd-polar-expedition, Reimer, Berlin*, 2, N° 5, pp.385-398.
- Royer J. Y., Schlich R., 1988** : Southeast Indian ridge between the Rodriguez Triple Junction and the Amsterdam and Saint-Paul islands: detailed kinematics for the past 20 m.y.. *J. Geophys. Res.* 93, B11, pp.13524-13550.
- Scheirer D. S., Forsyth D. W., Conder J. A., Eberle M. A., Hung S-H., Johnson K. T. M., Graham D. W., 2000** : Anomalous seafloor spreading of the Southeast Indian ridge near the Amsterdam-St. Paul Plateau. *J. Geophys. Res.* 105, B4, pp.8243-8262.
- Schlich R., Patriat, P., 1971** : Anomalies magnétiques de la branche est de la dorsale médio-indienne entre les îles Amsterdam et Kerguelen. *C. R. Acad. Sci., Ser. B*, 272, pp.773-776.
- Schlich R., 1975** : Structure et âge de l'océan Indien occidental. *Mém. Hors Sér. Soc. Géol. Fr.*, 6, 103 p.
- Upton B.G.J., 1982** : Oceanic Islands. In: *The Oceans basins and marins, vol.6: Indian Ocean, capter 13 Nairn E.E.M. and Stehli G. eds., Planum Publishing Corporation, chapter 13: Oceanic Islands*, pp.631-635.
- Velain C., 1878** : Description géologique de la presqu'île d'Aden, de l'île de la Réunion, des îles Saint-Paul et Amsterdam. *Paris, Hennuyer*, 356 p.
- Watkins N., Macdougall I., Nougier J. 1975** : Paleomagnetism and potassium-argon age of St. Paul island, Southeastern Indian Ocean; contrasts in geomagnetic secular variation during Brunhes epoch. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 24, N° 3, pp.377-384.
- Watkins N., Nougier J. 1973** : Excursion and secular variation of the Brunhes epoch geomagnetic field in the Indian ocean region. *J. Geophys. Res.*, 78, N° 26, pp.6060-6068.