

**CAMPAGNE FOURNAISE 1 :**  
**ETUDE DE LA PARTIE SOUS-MARINE DU VOLCAN DE LA FOURNAISE**

Jean-François Lénat, Univ. Clermont 2 et CNRS, Centre de Recherches Volcanologiques, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex, FRANCE.

### I. PRESENTATION.

Le projet Fournaise 1 avait pour objectif l'étude des parties sous-marines du Piton de la Fournaise, volcan actif qui occupe le Sud-Est de l'île de la Réunion (Océan Indien).

Cette opération avait été programmée pour être effectuée en valorisation des transits des campagnes Rodrigues 1 et 2 (chef de mission R. Schlich -IPG), et Hydroamsterdam (chef de mission P. Beuzard). Le projet était présenté par J-F Lénat.

#### DATES

Lors de son Tour du Monde, le Jean Charcot a fait deux fois escale à la Réunion. L'opération Fournaise 1 s'est donc effectuée en quatre fois (deux arrivées et deux dé-

parts), selon le calendrier suivant (avec horaires approximatifs sur la zone Fournaise) :

- le 15 février 1984 de 1 h à 19h (arrivée Rodriguez 1)
- du 24 février 1984 à 9 h au 25 à 23 h (départ Hydroamsterdam)
- le 27 février 1984 de 11 h à 21 h (arrivée Hydroamsterdam)
- le 3 avril 1984 de 16h à 21 h (départ Rodriguez 2).

Soit environ 83 h consacrées au projet Fournaise 1.

#### LIEU

La figure 1 montre les routes suivies lors des deux arrivées et départs ( le Port se situe au NW de l'île, et la zone Fournaise 1 à l'Est.)

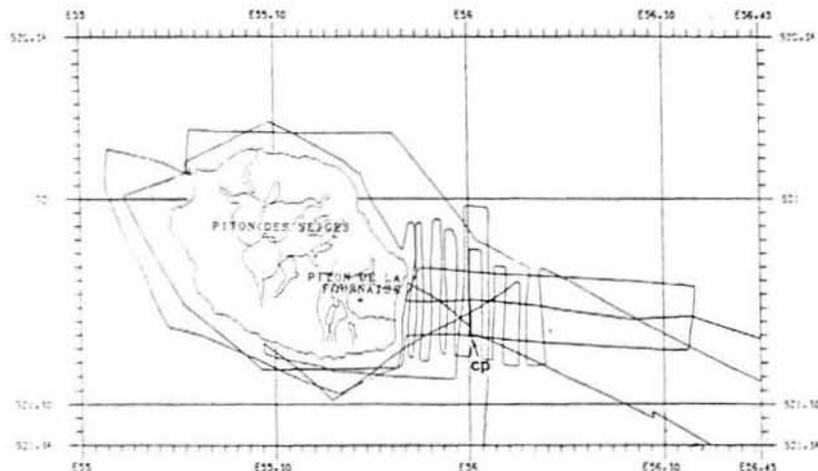


Figure 1. Carte des routes suivies par le Jean Charcot pour l'opération Fournaise 1.

## OPERATIONS.

- levés bathymétriques (Seabeam), magnétiques et gravimétriques.

- 1 site de caméra ponctuelle (CP sur fig. 1).

## PARTICIPANTS.

A bord, les opérations ont été réalisées par les équipes des campagnes Rodrigues 1 et 2, et Hydroamsterdam. J-F Lénat et F-X Lalanne (IPG Paris, Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise) ont embarqué pendant le second segment de l'opération Fournaise 1.

Le traitement et l'interprétation des données ont été conduits de la façon suivante:

- bathymétrie et géomorphologie: J-F Lénat, P. Vincent (CRV, Univ. Clermont 2), P. Bachelery (Univ. Réunion).

- gravimétrie : D. Rousset et A. Bonneville (CGG, Univ. Montpellier), J-F Lénat.

- magnétisme : A. Galdéano (IPG Paris), J-F Lénat.

## II. OBJECTIF ET METHODES.

### LA REUNION.

C'est une île volcanique dans le bassin des Mascareignes (Océan Indien ouest). Elle constitue un relief distinct dans le prolongement SW du plateau des Mascareignes et de l'île Maurice. Sa formation est attribuée à l'activité d'un point chaud dont l'activité est tracée depuis les trapps du Deccan (Duncan, 1981; Morgan, 1981; Bonneville et al, 1988).

L'île a une forme elliptique (50 x 70 km). Au niveau du plancher océanique, à plus de 4000 m, son diamètre est de l'ordre de 220 km. La partie émergée ne représente que le trentième du volume total au dessus du plancher océanique, et peut-être seulement le centième du système volcanique total si on

prend en compte le matériel enfoui la flexure lithosphérique de quatre à cinq kilomètres d'amplitude (Bonneville et al, 1988).

### CADRE GEOLOGIQUE.

L'île est formée par 2 volcans. Le Piton des Neiges qui occupe les deux tiers de l'île, au nord-ouest, est un volcan éteint, ou dormant, dont les dernières éruptions ne datent que d'environ douze mille ans (Deniel et al, 1989). Le Piton de la Fournaise est l'un des volcans les plus actifs du monde.

Depuis particulièrement une quinzaine d'années, de nombreuses études géologiques et géophysiques ont été réalisées sur le Piton de la Fournaise qui est ainsi devenu un des volcans les mieux connus. Depuis 1980, un observatoire volcanologique (IPG Paris) est installé afin de suivre, d'étudier et de prévoir l'activité du volcan.

Un peu plus d'un demi million d'années de l'histoire du Piton de la Fournaise est accessible à l'affleurement. Durant cette période, une activité, essentiellement effusive, a construit le massif par empilement de coulées basaltiques. Des phénomènes volcano-tectoniques importants ont marqué cette évolution de l'édifice :

- des caldéras successives se sont formées. Quatre ont été identifiées en surface -fig 2- (Chevallier et Bachelery, 1981; Lénat, 1987; Bachelery et Mairine, comm. écrite, 1989). Leur localisation montre une migration du centre éruptif vers l'est-sud-est (7 km en moins de 300 000 ans). L'activité récente est presque entièrement concentrée dans la caldéra la plus récente (caldéra de l'Enclos), datée à moins de 5000 ans (Bachelery, 1981), et le long de deux rift zones volcaniques qui divergent vers le NE et le SE depuis la zone centrale.

- la dépression du Grand Brûlé qui ouvre la caldera vers la mer

est interprétée comme une structure de glissement vers la mer du flanc est du Piton de la Fournaise.

Enfin, des études géologiques et géophysiques récentes ont montré la présence d'un ensemble intrusif de grande dimension à 1 km de profondeur sous la zone du Grand Brûlé (environ 12 km en NS, 6 km en EW, et enraciné à plusieurs km de profondeur - Rançon et al, 1987; Rousset et al, 1987 et 1989). Ce complexe a probablement été formé par le développement progressif du réservoir magmatique d'un système volcanique antérieur.

#### **OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE.**

Les principaux objectifs de la campagne étaient les suivants :

- étude du prolongement en mer des deux rift zones volcaniques actives.

- études du prolongement en mer de la structure de glissement du Grand Brûlé.

- recherche de structures non connues en surface.

#### **ETUDES ANTERIEURES.**

La bathymétrie autour de l'île de la Réunion est restée peu connue jusqu'en 1982. Seuls étaient disponibles quelques profils acquis par des bateaux, engagés dans des campagnes sur d'autres zones de l'Océan Indien, partant ou arrivant à la Réunion. Une première tentative de réalisation d'une cartographie détaillée de la zone littorale du Grand Brûlé fut réalisée en 1979 avec un équipement limité à une profondeur d'investigation de 1700 m (Bachelery et Montaggioni, 1983). En 1982, une carte bathymétrique générale de la Réunion a été réalisée lors d'une campagne du R/V Marion Dufresne (Averous, 1983). Ce levé était composé de profils radiaux espacés de 5° (10° au nord); ceci représentait environ 2 km entre les profils près de la côte, et 6 km au large.

### **III. RESULTATS.**

**BATHYMETRIE.** (Lénat et al, 1989)

Trois principaux types de structures volcaniques ou volcano-tectoniques ont été identifiés (voir carte Seabeam dans l'Atlas et la vue en perspective de la figure 2):

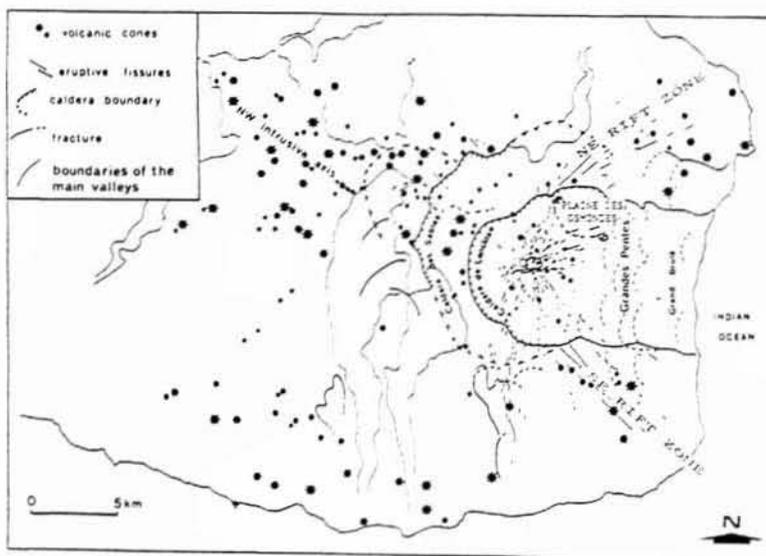
- 1- Les rift zones volcaniques NE et SE du Piton de la Fournaise ne se prolongent pas au-delà d'environ 5 km au large. Contrairement aux rift zones hawaïennes typiques, qui forment des rides étroites (2-4 km), se prolongeant à des dizaines de km du sommet, les rift zones du Piton de la Fournaise s'élargissent vers l'aval, atteignant plus de 10 km à leur front.

- 2- La dépression du Grand-Brûlé se poursuit au large. Le matériel glissé (~ 30 km<sup>3</sup>) s'est probablement déplacé sous la forme d'une "débris avalanche", dont les produits forment un important talus en aval.

- 3- Un haut topographique relatif occupe une grande partie de la zone étudiée. La surface de ce "plateau sous-marin du flanc est" a une faible pente générale vers l'est (2-3°); dans le détail, cette pente est constituée, jusqu'à -2000m, par une succession de marches sub-planes séparées par des zones, plus étroites, inclinées à 5°. Entre -2000 et -2500m des gradients plus forts marquent la limite topographique de cette structure. Les flancs nord et sud du plateau sont intensément découpés par des glissements de terrain secondaires. Des collines de forme conique s'observent à sa surface et plus à l'est. Trois hypothèses ont été examinées pour interpréter cette structure : (a) reste de flanc d'une paléo-Fournaise centrée sur le complexe intrusif présent sous le Grand-Brûlé. (b) massif volcanique autonome. (c) accumulation des produits d'un ou plusieurs glissements de terrain d'ampleur considérable (~600 km<sup>3</sup>).

Cette dernière hypothèse, en accord avec les données géophysiques, semble maintenant

assurée par les résultats de la campagne Fournaise 2 réalisée en 1988.



**Figure 2.** Représentation en perspective de la topographie aérienne et sous-marine du Piton de la Fournaise.

**GRAVIMÉTRIE.** (Rousset et al, 1987)

Les deux principaux phénomènes visibles sur la carte gravimétrique sont (fig 3) :

- la terminaison orientale de l'anomalie positive associée au complexe intrusif présent sous la zone du Grand Brûlé. La cartographie gravimétrique en mer a été

fondamentale pour établir la limite orientale de cette structure.

- le minimum gravimétrique relatif sur le plateau, caractéristique qui conforte l'interprétation de cette structure comme le résultat de glissements.

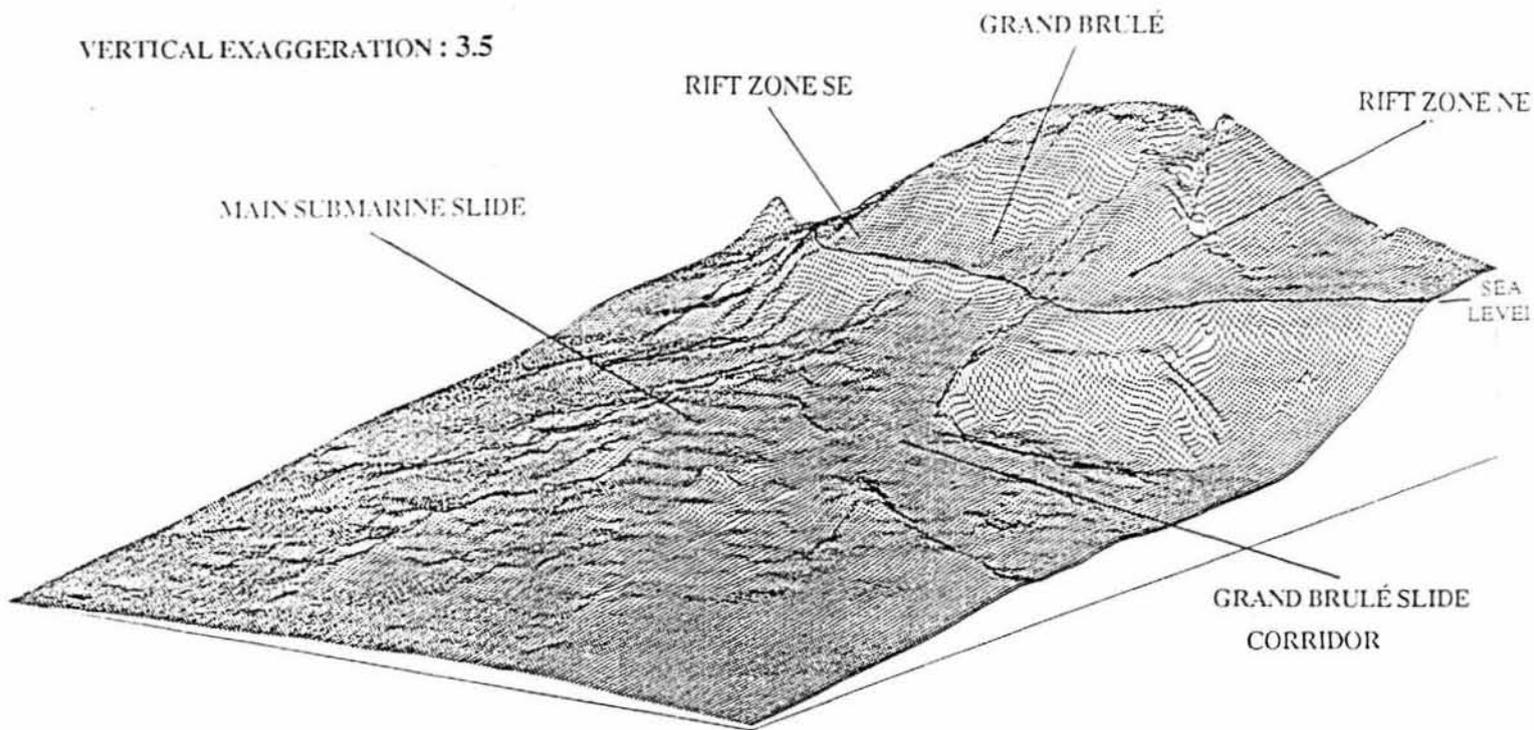


Figure 3. Carte gravimétrique au large du Piton de la Fournaise. Anomalie de Bouguer ( $d=2.7$ ). Intervalle des contours : 2 mgal

MAGNETISME. ( Lénat et Galdéano, in Lénat , 1987)

Les principaux traits de la carte (fig. 4) sont :

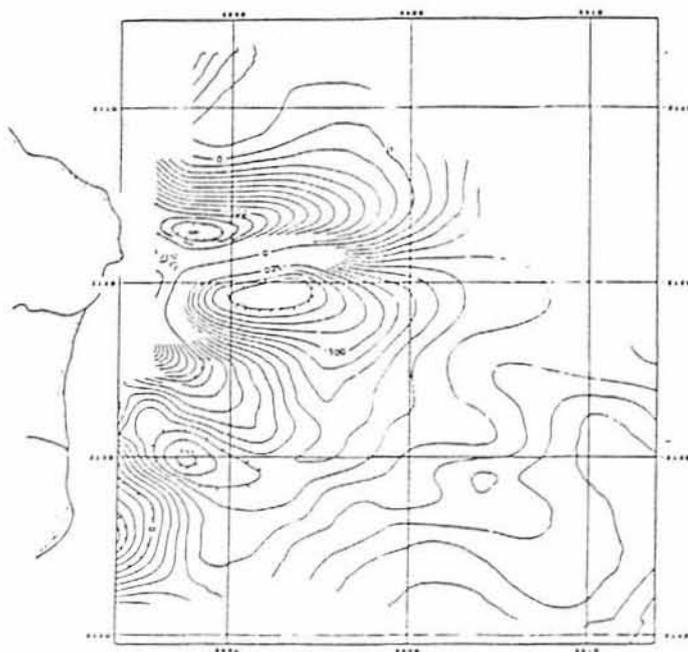
- une importante anomalie dipolaire inverse au large de la rift zone NE. Cette anomalie est allongée en E-W sur plus de 20 km. La modélisation démontre qu'elle ne peut pas être interprétée par les structures affleurantes.

- une seconde anomalie dipolaire inverse au Sud de la première. Elle est moins intense et ne s'étend que jusqu'à une dizaine de kilomètres au large.

- une anomalie inverse associée à la rift zone SE de la Fournaise.

Une modélisation en trois dimensions de ces mesures est en cours.

Figure 4. Carte des anomalies magnétiques au large de la Fournaise. Intervalle des contours : 50 nT.



## SUMMARY

In 1984, a survey of the bathymetry (Seabeam), the gravity and magnetic fields of the submarine east flank of Piton de la Fournaise was performed with R/V "Jean Charcot".

Piton de la Fournaise is one of the most active volcanoes in the world. It is a basaltic shield volcano which occupies the southeast third of Réunion Island in the southwestern Indian Ocean. Most of the recent volcanic activity occurred within the youngest caldera (Enclos) and along two volcanic rift zones, which trend northeast and southeast and extend beyond the seashore. The Enclos caldera is breached on the East, where it merges with the Grand Brûlé trough. The north and south boundaries of this depression are two sub-vertical 100 to 300 high ramparts ; to the West it is limited by a steeply dipping area (The Grandes Pentes), whereas to the East it continues beneath the sea. The Grand Brûlé structure had been interpreted as a slide of the unbuttressed seaward flank of Piton de la Fournaise, the Grandes Pentes area being the headwall of the slide faults.

Three main types of volcanic or volcano-tectonic features have been identified on the Seabeam map :

1- The subaerial NE and SE volcanic rift zones of Piton de la Fournaise do not extend more than about five kilometers offshore. Unlike typical Hawaiian rift zones, which form narrow (2 - 4 km) ridges extending tens of kilometers from the summit, the active rift zones of Piton de la Fournaise widen downslope, attaining more than 10 km at their front.

2- The submarine extension of the Grand Brûlé depression is larger

than the subaerial portion. The entire structure forms a 7 x 24 km scar bounded by two ramparts to the north and south. The slumped material may have moved as a debris flow, forming a large talus downslope of the slide. However, the submarine counterpart of the south area of the Grand Brûlé seems to be composed by a slumped block whose structure is apparently not disturbed.

3- Another prominent feature is a conspicuous topographic high that occupies nearly all the center of the surveyed zone. The surface this "east flank submarine plateau" generally dips gently (2 - 3°), and its north and south flanks are extensively cut by landslides. Cone-shaped hills of variable dimensions are observed on the plateau and farther to the east. Three hypotheses have been examined to account for the origin of this morphology : (a) remnant flank of an ancestral Fournaise volcano associated with a large buried intrusion found by drilling beneath the Grand Brûlé ; (b) distinct volcanic massif or (c) material of a huge landslide.

The geophysical data show that the western part of this submarine plateau corresponds to a reverse magnetic anomaly and is associated to a moderate positive gravity anomaly. This confirms that, as suggested by the bathymetric analysis, this part of the plateau is relatively coherent. Conversely, the eastern portion of the plateau appears to be poorly magnetized and composed of low-density material, probably chaotic materials derived from landslides. These results show that the history of Piton de la Fournaise is characterized by very large episodes of landsliding. This is confirmed by the data (sonar imaging, bottom pictures and rock sampling) from a cruise performed in 1988 (Fournaise 2)

## REFERENCES.

- Averous, P., 1983. Esquisse géomorphologique des atterrages de l'île de la Réunion. Document Terres Australes et Antartiques Françaises.
- Bachelery, P., 1981. Le Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion) : étude volcanologique, structurale et pétrologique. Thesis, Univ. Clermont II, France.
- Bachelery, P. et Montaggioni, J., 1983. Morphostructure du flanc oriental du volcan de la Fournaise, Ile de la Réunion (Océan Indien), C.R. Acad. Sci. Paris, t 297, série II, 81-84.
- Bonneville, A., Barriot, J.P. et Bayer, R., 1988. Evidence from geoid data of a hot spot origin for the southern Mascarene Plateau and Mascarene Islands (Indian Ocean). J. Geophys. Res., 93, B5, 4199-4211.
- Chevallier, L. and Bachelery, P., 1981. Evolution structurale du volcan actif du Piton de la Fournaise, Ile de la Réunion, Océan Indien Occidental. Bull. Volcanol., 44, 4, 723-741.
- Deniel C., Condomines M., Kieffer G., Bachelery P., Harmon R.S., 1989. U-Th-Ra radioactive disequilibria and Sr and O isotopes in Piton des Neiges and Piton de la Fournaise lavas (Réunion Island). IAVCEI Meeting, Santa Fe June 1989, abstract published in New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, n° 131, p 72.
- Duncan, R.A., 1981. Hotspots in the southern oceans. An absolute frame of reference for motion of the Gondwana continents. Tectonophysics, 74, 29-42.
- Lénat, J.F., 1987. Structure et Dynamique internes d'un volcan basaltique intraplaque océanique : le Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion)  
Thesis, Univ. Clermont II, France.
- Lénat, J-F., Vincent, P. and Bachelery, P., 1989. The off-shore continuation of an active basaltic volcano : Piton de la Fournaise (Réunion Island, Indian Ocean) : structural and geomorphological interpretation from Seabeam mapping. J; Volcanol. Geotherm. Res. , 36 : 1-36.
- Morgan, W.J., 1981. Hot spots tracks and the opening of the Atlantic and Indian oceans. In C. Emiliani Editor, The Sea, 7, the oceanic lithosphere. Wiley, New York, 443-487.
- Rançon, J.-Ph., Lerebour, P. et Augé, T., 1987. Mise en évidence par forage d'une chambre magmatique ancienne à l'aplomb de la zone orientale du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Implications volcanologiques. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 304, série II, n° 1, 55-60.
- Rousset, D., Bonneville, A. et Lénat, J.F. (1987) . Detailed gravity study of the off-shore structure of Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island. Bull. Volcanol., 49, 713-722.
- Rousset, D., Lesquer, A., Bonneville, A. et Lénat, J.F., 1989. Complete gravity study of Piton de la Fournaise volcano, Reunion. J. Volcanol. Geotherm. Res. in press, volume 36.

## LISTE DES PUBLICATIONS ISSUES DE LA CAMPAGNE.

- Labazuy, 1988. Interprétation de données bathymétriques et géophysiques sur les flancs immergés de la Réunion. DEA Géosciences, Univ Clermont-Fd.
- Lénat J.-F., Bachelery P., Coudray J., Vincent P., 1984. Etude et interprétation des parties immergées du Piton de la Fournaise. Colloque "Prévision et Surveillance des Eruptions Volcaniques" (C.N.R.S. - I.N.A.G.) - Clermont-Fd, 17 - 19 Déc, 13.
- Lénat, J-F., Vincent, P. and Bachelery, P., 1989. The off-shore continuation of an active basaltic volcano : Piton de la Fournaise (Réunion Island, Indian Ocean) : structural and geomorphological interpretation from Seabeam mapping. J; Volcanol. Geotherm. Res. , 36 : 1-36.
- Rousset, D., Bonneville, A. et Lénat, J.F. (1987) . Detailed gravity study of the off-shore structure of Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island. Bull. Volcanol., 49, 713-722.
- Rousset, D., Lesquer, A., Bonneville, A. et Lénat, J.F., 1989. Complete gravity study of Piton de la Fournaise volcano, Reunion. J. Volcanol. Geotherm. Res., 36, 37-52.