

Gradient isotopique le long de l'arc des Nouvelles Hébrides (Vanuatu, Pacifique sud-ouest). Collision de la Zone d'Entrecasteaux et hétérogénéité des sources mantelliques

Isotopic gradient along the New Hebrides arc (Vanuatu, SW Pacific). Collision of the d'Entrecasteaux Zone and heterogeneity of mantle sources

Christine LAPORTE^{1,2*}, Louis BRIQUEU², Dominique CLUZEL¹ et Jean-Philippe EISSEN³

¹ Laboratoire de géosciences, université française du Pacifique, B.P. 4477, 98487 Nouméa cedex, Nouvelle-Calédonie, France

² Laboratoire de géochimie isotopique UMR 5567-Istem, Université Montpellier 2, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex, France

³ Orstom, G.P. 22, B.P. 70, 29280 Plouzané cedex, France

ABSTRACT

The recent volcanic activity of the New Hebrides arc (Vanuatu) has been influenced by the collision with the d'Entrecasteaux Zone, the composition of which remains uncertain. New trace elements and isotopic data from these lavas allow previous interpretations of compositional gradients along the arc to be qualified. The geochemical compositions of lavas display abrupt changes from calc-alkaline compositions straight in front of the collision zone, to arc-tholeiite on both sides. In contrast, isotopic compositions display a progressive variation related to less and less enriched sources away from the collision zone, evolving toward 'normal' MORB-type sources. Such a trend suggests that two types of contamination have occurred: in front of the collision zone, a magmatic contamination due to the subduction of an older lithosphere ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ trend) and contamination by an 'enriched-type' mantle component (Dupal feature). © Académie des sciences / Elsevier, Paris.

Keywords: Pacific SW, New Hebrides, Island arc, Isotopic geochemistry

RÉSUMÉ

Le volcanisme récent de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides (Vanuatu) est influencé par sa collision avec la ride d'Entrecasteaux. La géochimie des éléments en trace et l'étude des compositions isotopiques des laves de cet arc permettent de nuancer les interprétations antérieures faisant état d'un gradient de composition, au nord et au sud de la zone de collision. Les données géochimiques montrent une variation nette, évoluant de compositions calco-alkalines à l'aplomb de la zone de collision à tholéitiques de part et d'autre. Par contre, les signatures isotopiques varient de façon progressive, définissant des sources de moins en moins enrichies à des distances croissantes de la zone de collision, évoluant vers des sources « normales » de type MORB. Ce gradient isotopique suggère l'existence de deux contaminations, l'une magmatique, par une lithosphère ancienne au front de la zone de collision (variation du $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), et l'autre mantellique, par un manteau de type « enrichi » (type Dupal) débordant largement cette dernière. © Académie des sciences / Elsevier, Paris.

Mots clés : Pacifique sud-ouest, Nouvelles Hébrides, Arc insulaire, Géochimie isotopique

Note présentée par Jean Dercourt.

Note remise le 22 avril 1997, acceptée après révision le 26 novembre 1997.

* E-mail : laporte@ufp.nc ou laporte@dstu.univ-montp2.fr

C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences
1998, 326, 101-106

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B*13221 Ex: 1

101

Fonds Documentaire ORSTOM



↑ N° 2

ABRIDGED VERSION

Introduction

The New Hebrides Central Chain volcanic (Vanuatu, SW Pacific) has been formed by east-dipping subduction of the Australian plate beneath the North Fiji Basin (Greene et al., 1994) (figure 1). The d'Entrecasteaux Ridge collided 2 or 3 Ma ago with the central part of the arc. In the south, low [K] basalt and andesite display low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios; in the central part, mafic lavas display high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios (Briqueu, 1985). The aim of this paper is to present new Nd, Sr and Pb isotopic data and to discuss its petrogenetic inferences with respect to already published data (ORSTOM, ODP Leg 134).

Geologic setting

The active New Hebrides Arc (NHA) involves two major units: the supra-subduction lithosphere, composed of the North Fiji basin, and the subducted lithosphere including the d'Entrecasteaux Zone (ZDE) (Monzier et al., 1993; Greene et al., 1994). The DEZ is composed of the North d'Entrecasteaux aseismic Ridge (RNE); the d'Entrecasteaux Central Basin, and the South d'Entrecasteaux seamount Ridge (CSE). The Bougainville seamount (CSE) is built of late Eocene andesite (Rex et al., 1994). The 1 Ma old, arch-shaped disruption of the slab evidenced by seismic data at 80–230 km depth, has been interpreted as a direct consequence of the collision.

Isotope geochemistry

The Nd, Sr and Pb isotopic compositions of Pleistocene to Recent lavas erupted in the Central Chain volcanoes, vary along the arc from Vanua Lava to Anatom (table, figure 2).

(i) Samples from Santa Maria and Aoba (SM/A) display low $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios, but high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios; $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ and ΔSr values partly plot within the 'enriched' DUPAL-type mantle domain (Hart, 1984) (figure 2).

(ii) In contrast, samples from Tanna, Anatom and Futuna (T/An/F) display high $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios, but $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios lower than SM/A lavas; $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ and ΔSr values are similar to those of N-MORB type sources.

(iii) Basalts erupted at Vanua Lava and in the Epi-South Efate alignment (VI/EpS/E) display $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios intermediate between SM/A and T/An/F; $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ and ΔSr values are intermediate between DUPAL and N-MORB types. Important $\Delta 7/4$ and $\Delta 8/4$ variations have been recorded within Epi and Efate volcanoes.

Discussion and conclusion

Only lavas erupted far away from the collision zone display isotopic compositions of a MORB-type mantle source and subduction-derived components mixing. Our isotope data suggest that four different components have been involved during recent volcanism magmatogenesis.

1. Isotope data infer either the involvement of an ancient contaminated mantle (DUPAL type); or the recent contamination by an old component or any combination of the two phenomena.

2. Enriched signatures are not strictly located in front of the collision (figure 2); thus, the collision was not directly responsible for the isotopic enrichment but it triggered the mantle source mixing with an abnormal mantle component. The origin of this abnormal mantle is still poorly constrained.

Crawford et al. (1995) suggest that abnormal mantle components may result from a deep seated eastward migration of DUPAL-type Indian Ocean asthenosphere (Hart, 1984); however, no geophysical evidence has been found yet (Monzier et al., 1997).

The latter suggest a westward intrusion of 'abnormal' mantle diapir originated in the North Fiji Basin (Boespflug, 1990; Loock et al., 1990). A progressive contamination of a MORB-type mantle by an 'enriched' mantle cannot alone account for: a) the lack of correlation between geochemical and isotopic data; b) uncorrelated variations of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and the other isotope; c) the great size of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios between the lavas. Finally, the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ trend of basalts of the North Fiji Basin cannot be considered as an end-member of the variation trend of the Central Chain lavas (figure 3).

3. It may be considered that major and trace element concentrations characterize magma contamination by subducted material; and varying isotopic ratios infer mantle mixing. Highly contaminated lavas in front of RNE display the lowest $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios; this suggests contamination by an old lithosphere (figure 3). Considering the RNE as an extension of the Norfolk/New Caledonia Ridge, we suggest that a thin fragment of continental lithosphere pinched between two oceanic lithospheres may have blocked the Eocene subduction. Thereafter, the complex was subducted beneath the New Hebrides arc and contaminated the already enriched supra-subduction mantle. Figure 3 shows how each of the four end-members of the mixing inferences on the Pb isotopic features of the Central Chain lavas.

1. Introduction

La formation de la chaîne centrale de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides (Vanuatu, Pacifique sud-ouest) résulte de la subduction vers l'est de la plaque lithosphérique australienne sous le bassin Nord Fidjien (Greene et al., 1994) (figure 1). L'objectif de cette note est de présenter de nouvelles données isotopiques concernant les éléments Nd, Sr et Pb, de les confronter aux résultats déjà acquis (Orstom, ODP leg 134) et d'en discuter les implications pétrogénétiques.

2. Contexte géologique

L'arc actif des Nouvelles Hébrides (figure 1) intègre une lithosphère supra-subduction, résultant de l'ouverture depuis 12 Ma du bassin arrière-arc Nord-Fidjien, et une lithosphère subductée qui associe diverses entités géologiques (Auzende et al., 1995). Dans la partie centrale de l'arc, elle comporte un haut-fond, la Zone d'Entrecasteaux (ZDE), qui depuis 2 à 3 Ma ralentit la convergence par collision avec l'arc (Taylor et al., 1995). Elle est constituée d'une ride asismique, la Ride Nord d'Entrecasteaux (RNE), d'un bassin central d'Entrecasteaux, et de la Chaîne Sud

La lithosphère plongeante présente au droit de la ZDE une déchirure en forme d'arche entre les profondeurs 80 et 230 km, effective depuis environ 1 Ma (Prévot et al., 1994).

La géochimie des laves présente des particularités en relation avec la collision de la ZDE. Le caractère calco-alcalin des basaltes d'Aoba et Santa Maria ($5 < \text{La/Yb} < 13$) contraste nettement avec les compositions d'IAT des laves de Vanua Lava et du segment Efate-Anatom ($1 < \text{La/Yb} < 6$). Toute trace d'enrichissement disparaît entre Santa Maria et Vanua Lava, alors qu'Ambrym et Epi ont des valeurs transitionnelles (Monzier et al., 1997).

3. Géochimie isotopique

Les compositions isotopiques en Nd, Sr et Pb des laves de la chaîne centrale sont variables (tableau, figure 2) :

(i) une partie des échantillons de Santa Maria et d'Aoba (SM/A) possède des rapports isotopiques similaires : bas en $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ et $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, mais élevés en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$,

Tableau. Rapports isotopiques sur roches totales des laves appartenant à la zone d'étude.

Whole rock isotopic data of selected representative samples from the studied area.

Échantillons	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $10^3 \cdot 2 \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $10^3 \cdot 2 \sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $10^3 \cdot 2 \sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $10^5 \cdot 2 \sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ $10^6 \cdot 2 \sigma$
Vanua Lava 2	18,263 (5)	15,525 (5)	38,300 (16)	0,70369 (5)	
Vanua Lava 26b	18,406 (75)	15,559 (8)	38,372 (24)	0,70373 (2)	
Vanua Lava 29h	18,406 (5)	15,543 (5)	38,353 (15)	0,70366 (3)	
Vanua Lava 29j	18,387 (5)	15,520 (5)	38,269 (15)	0,70370 (4)	
Santa Maria 1	18,170 (5)	15,521 (6)	38,303 (13)	0,70405 (1)	0,51294 (6)
Santa Maria 2	18,192 (2)	15,549 (2)	38,407 (10)	0,70410 (2)	0,51299 (7)
Santa Maria 13				0,70375 (1)	0,51294 (7)
Santa Maria 18	18,168 (3)	15,512 (3)	38,273 (15)	0,70395 (2)	0,51298 (10)
Santa Maria 21				0,70377 (3)	0,51295 (3)
Santa Maria 22	18,193 (5)	15,506 (6)	38,253 (13)	0,70389 (1)	0,51299 (8)
Santa Maria 24				0,70389 (1)	0,51299 (5)
Santa Maria 41	18,111 (7)	15,527 (5)	38,324 (16)	0,70410 (5)	
Santa Maria 43	18,094 (3)	15,500 (3)	38,234 (11)	0,70412 (1)	
Santa Maria 47	18,114 (4)	15,525 (4)	38,336 (13)	0,70407 (2)	
Aoba 12				0,70406 (3)	
Aoba 27				0,70402 (3)	
Aoba 456	18,099 (7)	15,503 (7)	38,221 (18)	0,70410 (3)	
Epi 3	18,280 (6)	15,484 (10)	38,429 (16)	0,70431 (1)	
Epi 6				0,70397 (1)	
Epi 8	18,545 (5)	15,566 (5)	38,449 (17)	0,70408 (2)	
Epi 9	18,386 (9)	15,535 (9)	38,447 (25)	0,70413 (1)	0,51295 (5)
Epi 14				0,70388 (3)	
Epi 19	18,373 (8)	15,494 (7)	38,351 (22)	0,70376 (5)	0,512923 (10)
Epi 23	18,232 (4)	15,540 (4)	38,434 (13)	0,70413 (3)	0,512937 (11)
Epi 24	18,452 (5)	15,513 (5)	38,392 (15)	0,70367 (5)	0,51993 (50)
Epi 26	18,197 (11)	15,543 (9)	38,440 (26)		0,512905 (8)
Epi 26'	18,472 (8)	15,553 (8)	38,519 (25)	0,70376 (2)	
Epi 30	18,283 (3)	15,542 (6)	38,402 (11)		
Epi 37	18,524 (5)	15,540 (5)	38,640 (14)	0,70401 (5)	
Tongoa 2a				0,70412 (5)	
Tongoa 4	18,558 (3)	15,562 (4)	38,420 (12)	0,70370 (4)	
Tongoa 5				0,70411 (2)	
Tongoa 7a				0,70425 (1)	
Tongoa 16				0,70391 (3)	
Tongoa 30	18,371 (6)	15,547 (6)	38,281 (18)	0,70411 (3)	
Efate 7.2	18,428 (4)	15,592 (4)	38,730 (13)	0,70416 (3)	
Efate 13				0,70407 (5)	
Efate 20				0,70416 (2)	
Efate 36	18,459 (14)	15,530 (13)	38,463 (34)	0,70387 (4)	
Erromango 11	18,417 (4)	15,536 (5)	38,081 (14)	0,70315 (3)	
Erromango 57	18,591 (4)	15,574 (4)	38,496 (13)	0,70332 (3)	
Tanna 4				0,70308 (4)	
Tanna 72	18,658 (4)	15,541 (4)	38,357 (13)	0,70322 (4)	0,51299 (5)
Tanna 93	18,464 (5)	15,550 (5)	38,402 (16)	0,70323 (2)	0,51305 (28)
Futuna 1				0,70318 (1)	
Futuna 2	18,789 (5)	15,563 (6)	38,465 (18)	0,70306 (3)	0,51304 (24)
Futuna 45					0,51291 (42)
Futuna 55				0,70310 (4)	0,51298 (5)
Futuna 65				0,70307 (3)	
Anatom 21				0,70319 (2)	
Anatom 42	18,805 (4)	15,554 (4)	38,434 (14)	0,70335 (2)	0,51304 (6)
Anatom 49	18,742 (3)	15,559 (3)	38,394 (10)	0,70334 (2)	

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; les $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ et ΔSr recourent le domaine mantellique de type Dupal (Dupré et Allègre, 1983 ; Hart, 1984) ;

(ii) les échantillons de Tanna, Anatom et Futuna (T/An/F) présentent des $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ et $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ plus élevés, mais plus bas en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; les $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ et ΔSr sont identiques aux valeurs caractérisant une source de type N-MORB ;

(iii) les basaltes de Vanua Lava et du segment Epi-Sud Efate (VI/EpS/E) possèdent des $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ intermédiaires entre ceux de SM/A et T/An/F et des $\Delta 7/4$, $\Delta 8/4$ et ΔSr compris entre des valeurs de type DUPAL et N-MORB ; les variations des $\Delta 7/4$ et $\Delta 8/4$ à l'échelle du volcan sont importantes pour Epi et Efate.

4. Discussion et conclusion

Seules les laves émises loin de la zone de collision ont des compositions isotopiques correspondant au mélange entre une source de type MORB et des composants subductés (fluides et sédiments). Nos nouvelles données isotopiques suggèrent la contribution d'au moins quatre termes

différents (incluant le manteau de type DM) dans la magmatogenèse du volcanisme récent de l'arc.

4.1. Contribution du matériel subducté

Les rapports isotopiques du Pb montrent qu'aucun mélange impliquant un composant mantellique de type MORB et le matériel apporté par la plaque subductée ne permet à lui seul de rendre compte de l'enrichissement, que ce soient les sédiments pélagiques (figure 3), les basaltes altérés de la RNE, les andésites du Guyot Bougainville, ou la croûte du bassin Nord Loyauté (Briqueu et al., 1994). Ce résultat atteste, soit la participation d'un manteau anciennement contaminé (type DUPAL), soit / et la contamination actuelle par un composant ancien.

4.2. Manteau anciennement enrichi

Les similitudes existant entre : 1) les cendres volcaniques post-collision et les laves de SM/A ; et 2) les volcanites « anté-collision » et les laves de T/An/F (Briqueu et al., 1994), démontrent le lien chronologique entre collision et « enrichissement ». Toutefois, les signatures isotopiques « enrichies » ne sont pas cantonnées au front de la zone de collision (figure 2). La collision ne fait que révéler la présence d'un manteau anormal à la faveur des perturba-

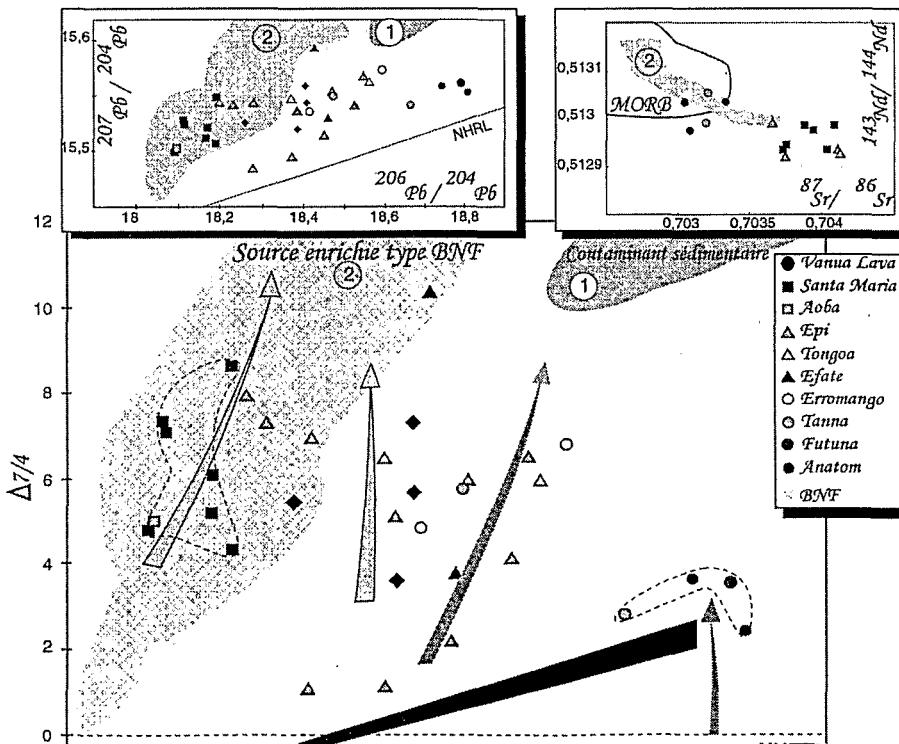


Figure 3. Diagramme $\Delta 7/4$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ des échantillons de la chaîne centrale du bassin Nord-Fidjien (BNF, (2) Boespflug, 1990 ; Loock, 1990) et des sites 829, 830, 831 (composant sédimentaire (1), ODP Leg 134, Briqueu et al., 1994). La direction (3) tend vers la position de la courbe d'évolution des rapports isotopiques du Pb dans la croûte continentale inférieure, définie par Zartman et Haines, 1988 (valeurs actuelles : $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17,64$; $\Delta 7/4 = -4,51$). Les flèches symbolisent l'influence des différents composants impliqués dans le volcanisme des Nouvelles Hébrides.

$\Delta 7/4$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram for samples from the central chain of the North Fiji Basin (BNF, (2) Boespflug, 1990; Loock, 1990) and Sites 829, 830, 831 (sedimentary component (1), ODP Leg 134, Briqueu et al., 1994). Lead isotope evolution curve for the lower crust for plumbotec-

tions de la dynamique de subduction (Chatelain et al., 1993). L'origine de ce manteau enrichi est sujet à des interprétations diverses.

Migration du manteau supérieur anormal de l'océan indien (Dupal)

Crawford et al. (1995) identifient le composant mantellique « anormal » à la migration en profondeur vers l'est, depuis l'Océan indien, de l'asténosphère de type Dupal jusqu'à la zone arrière-arc centrale. Cependant, aucune évidence géophysique n'existe à ce jour (Monzier et al., 1997).

Migration du manteau supérieur enrichi du Bassin Nord-Fidjien

Monzier et al. (1997) suggèrent un déplacement vers l'ouest, depuis le segment N160°E du Bassin Nord-Fidjien, d'un diapir mantellique « anormal ». Mais ce modèle n'explique pas : a) l'absence de corrélation entre les com-

variation des rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ des basaltes du bassin Nord-Fidjien (Boespflug, 1990, Loock et al., 1990) diffère totalement de celle des laves de la chaîne centrale (figure 3).

4.3. Enrichissement mantellique par une lithosphère ancienne

Les laves définissant le « pic de contamination » au front de la RNE présentent les plus faibles rapports isotopiques $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, ce qui suggère une contamination par une lithosphère subductée ancienne (figure 3). La zone d'Entrecasteaux formant le prolongement nord de la ride de Nouvelle-Calédonie (Maillet et al., 1983, Cluzel et al., 1994, Taylor et al., 1995), il est possible d'envisager, par analogie avec la Nouvelle Calédonie/Norfolk, qu'un fragment de lithosphère continentale, pincé entre deux lithosphères océaniques, ait dans un premier temps bloqué la