



HAL
open science

La croûte océanique et les points chauds de la Polynésie française (Océan Pacifique central)

M. Munsch, C. Antoine, G. Guille, Herve Guillou

► **To cite this version:**

M. Munsch, C. Antoine, G. Guille, Herve Guillou. La croûte océanique et les points chauds de la Polynésie française (Océan Pacifique central). *Géologie de la France*, 1998, 3, pp.5-13. hal-03323416

HAL Id: hal-03323416

<https://hal.science/hal-03323416>

Submitted on 21 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La croûte océanique et les points chauds de la Polynésie française (Océan Pacifique central)

Marc MUNSCHY (1)
Claude ANTOINE (2)
Gérard GUILLE (2)
Hervé GUILLOU (3)

*Oceanic crust and hot spots in French Polynesia
(Central Pacific Ocean)*

Géologie de la France, n° 3, 1998, pp. 5-13, 1 fig., 1 tabl., 1 carte en couleurs en fin d'ouvrage.

Mots-clés : Océan Pacifique Central, Polynésie française, Croûte océanique, Point chaud.

Key words: Central Pacific Ocean, French Polynesia, Oceanic crust, Hot spot.

Résumé

Une compilation de l'ensemble des données de géophysique marine disponibles sur l'ensemble de la Polynésie française et l'utilisation d'une nouvelle grille d'anomalie gravimétrique à l'air libre déduite de l'altimétrie satellitaire, permettent de proposer une nouvelle carte morphostructurale de la région comprise entre 0 et 30° de latitude sud et entre 120 et 165° de longitude ouest.

A l'ouest de cette zone, la croûte océanique, d'âge crétacé, est générée à l'axe de la dorsale pacifique-antarctique ; elle est séparée de la croûte océanique créée à l'axe de la dorsale est-pacifique (direction Farallon) par une trace de direction grossièrement nord-sud. Cette dernière génération correspond à un taux d'expansion évoluant progressivement de 23 km/Ma à l'anomalie 34 (84 Ma) à 82 km/Ma à l'anomalie 7 (26 Ma). L'anomalie 7 marque le changement de direction entre le système Pacifique-Farallon et le nouveau système Pacifique-Nazca à un taux d'expansion moyen de 100 km/Ma. Cette période est suivie par une réorganisation majeure de la frontière de plaque, l'axe de la dorsale est-pacifique se décalant vers

l'est de 1500 km pour le segment des Marquises, de 600 km pour le segment des Tuamotu et de 250 à 400 km pour le segment des Australes.

Les îles océaniques et les monts sous-marins sont particulièrement nombreux ; on en dénombre 421 dont l'élévation est supérieure à 1000 m au-dessus des fonds océaniques avoisinants. Pour l'essentiel, ils correspondent à des constructions volcaniques hors-axe que l'on tente d'expliquer par la théorie des points chauds en les regroupant en alignements d'îles dont l'âge progresse régulièrement à un taux (11 cm/an) et dans une direction (N 295° E) qui correspondent au mouvement absolu de la plaque Pacifique. L'existence de six points chauds est généralement envisagée mais certains alignements posent problème quant à leur direction et leur progression en âge.

Abridged English version

Using a compilation of available marine geophysical data and a new free-air anomaly gravimetric grid computed from satellite altimetry, we propose a new synthesis for the structure and evolution of the oceanic crust in the French

Polynesia region located between lat. 0° and 30° S and long. 120° and 165° W. We also identify the main seamounts from the gravimetric grid and compile the available age data in the region. The results are shown on a tectonic map drawn up at a scale of 1:10,000,000.

Crust generation in the French Polynesia region is due to three distinct spreading processes. To the west, the crust was generated during the Cretaceous (between 118 and 84 Ma) at the axis of the Pacific-Antarctic Ridge. It is separated from the crust resulting from spreading at the axis of the Pacific-Farallon Ridge by the trace of a triple junction (Pacific, Aluk, and Farallon). The trace was first identified between 35° and 45° S by Cande and Haxby (1991) and we propose to extend it towards the north as far as 22° S. To the east of 160° W, three spreading segments of the Pacific-Farallon Ridge are identified, separated by three fracture zones striking N 80° E: Galapagos, Marquesas and Austral. Almost complete sequences of magnetic anomalies are identified in the three segments from anomaly 34 (84 Ma using the magnetic time scale of Berggren et al. (1985)) to

(1) École et Observatoire des Sciences de la Terre, Institut de Physique du Globe de Strasbourg, ULP-CNRS UMR 7516, Équipe de Dynamique de la Lithosphère océanique, 5, rue Descartes, 67084 Strasbourg Cedex. E-mail : mmunschy@eopg.u-strasbg.fr.

(2) CEA/DASE, Laboratoire de Détection et de Géophysique, BP 12, 91680 Bruyères-le-Chatel.

(3) Laboratoire des Sciences, du Climat et de l'Environnement, Unité mixte CEA/CNRS, Bât. 12, Domaine du CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette.

anomaly 7 (26 Ma). The spreading rate increases progressively from 23 km/Ma (anomaly 34) to 82 km/Ma (anomaly 7). At about 26 Ma, the ridge orientation changes from N 80° to N 115° E. The N 115° E trend corresponds to spreading at the axis of the East Pacific Rise with a spreading rate of about 110 km/Ma. This event is followed by a major jump of the East Pacific Rise towards the west (Mammerickx et al., 1980; Goff and Cochran, 1996): 1500 km in the Marquesas segment, 600 km in the Tuamotu Segment, and 250 to 400 km in the Austral segment. It is also possible to identify a microplate similar to the Easter or Juan Fernandez microplates, located at 3-8° S and 124-130° W to the north of the Marquesas Fracture Zone.

Numerous oceanic islands are observed in the French Polynesia region and many seamounts have also been identified. Using the gravimetric grid, we have identified and mapped 421 circular or elongate positive anomalies with an amplitude greater than 30 mgal. Comparison with bathymetric data shows that this value corresponds to a seamount with an elevation of about 1000 m above the seafloor at a mean water depth of 4500-5000 m. Thus, the mapped seamounts correspond to elevations of more than 1000 m. Oceanic islands are grouped in a number of volcanic lineaments showing a progression of formation ages. Only half of the Line Islands (Winterer et al., 1973; Schlanger et al., 1976; Saito and Ozima, 1977; Haggerty et al., 1982; Schlanger et al., 1984) are consistent with a single hot-spot model with an age progression of 96 km/Ma. To the south of the Galapagos Fracture Zone, we observe two volcanic lineaments with the western lineament yielding an age progression of 140 km/Ma. The Marquesas Islands (Duncan and McDougall, 1974; Duncan et al., 1986; Brousse et al., 1990; Diraison, 1991; Ielsch et al., 1997) were built up 5.61 to 1.33 Ma ago on crust ranging in age from 55 to 49 Ma. The main orientation is N 140° E, which differs from the N 115° E direction of the absolute motion of the Pacific Plate. No age data are available for the Tuamotu Islands (Okal and Cazenave, 1985; McNutt and Fischer, 1987; Ito et al., 1995) which are coral atolls with volcanic pedestals built on a wide oceanic plateau

whose origin and age are unknown. The Tuamotu Islands seem to have been formed along two distinct volcanic lineaments, which could correspond to the southeast prolongation of the two Line Islands lineaments. The limit between the Line Islands and Tuamotu lineaments corresponds to a change of direction in the age progression, which could be related to a similar change observed along the Emperor-Hawaii volcanic chain at 43 Ma (Norton, 1995). The Society Islands (Duncan and McDougall, 1976; Gisbert, 1989; Roperch and Duncan, 1990; White and Duncan, 1996; Blais et al., 1997; Guillou et al. 1998), between 15° and 18° S and 147° and 158° W, show ages which decrease smoothly towards the southeast with a migration rate of 110 km/Ma. The Pitcairn-Gambier Islands (Duncan et al., 1974; Guillou et al., 1994) make up a 1000 km long lineament with ages ranging from 11 Ma in the northwest to 0 Ma in the southeast. The Cook-Austral islands (Jarrard and Clague, 1977; Turner and Jarrard, 1982; Duncan and Clague, 1985; Baudry et al., 1988; Stoffers et al., 1989; McNutt et al., 1997) form one of the longest lineaments at more than 2000 km long. In addition to the currently active Macdonald seamount at the southeastern end of the lineament, recent volcanism has occurred at three other islands belonging to the lineament (Aitutaki, Rarotonga, and Rurutu). Moreover, during a recent cruise of R/V Maurice Ewing, several seamounts were dredged around the Macdonald seamount, yielding ages ranging between 25 and 33 Ma. At least four hot-spot tracks are needed to explain the variability of the Cook-Austral islands.

Introduction

La Polynésie française est l'un des seuls endroits du Pacifique Sud où il est possible d'étudier les caractéristiques de l'expansion océanique au cours du Paléogène et du Crétacé (fig. 1). En effet, plus au nord, on rejoint rapidement la zone de l'équateur magnétique au niveau de laquelle les aimantations de la croûte océanique ne présentent pratiquement pas d'anomalie magnétique car les blocs aimantés sont orientés approximativement dans une direction N-S. Plus au sud, les données de géophysique marine deviennent de plus en plus rares et, à partir d'en-

viron 30° S, on ne dispose plus que de quelques profils espacés de plus de 200 km. A l'est, la plaque Nazca, conjuguée de la plaque Pacifique par rapport à la dorsale est-pacifique et qui pourrait être utilisée pour étayer l'interprétation, subducte sous l'Amérique du Sud et la croûte océanique en cours de disparition a un âge Paléogène ; l'étude de la région conjuguée de la Polynésie française n'est donc pas possible.

Les principaux éléments constituant l'histoire de l'expansion océanique dans le Pacifique Sud ont été proposés par Herron (1972) et Handschumacher (1976). Cande et al. (1989), Mayes et al. (1990) et Cornaglia (1995) ont complété ces travaux en utilisant de plus nombreuses données de géophysique marine ainsi que les données d'altimétrie satellitaire, principalement du satellite Geosat. Plus récemment, Munsch et al. (1996) ont fait une synthèse de l'ensemble des données de géophysique marine disponibles au National Geophysical Data Center.

Nous proposons une carte morpho-structurale (en fin d'ouvrage) à l'échelle de 1/10 000 000 contenant la synthèse de ces interprétations et qui résulte de l'interprétation des traits structuraux de la grille d'anomalie gravimétrique et des identifications des linéations magnétiques avec un pas d'environ 5 Ma. Nous représentons également les îles océaniques, l'isobathe 3000 m de la carte Gebco (Mammerickx et Smith, 1984) et nous cartographions les monts sous-marins identifiés à partir de la grille d'anomalie gravimétrique. Enfin, une synthèse des données chronologiques publiées dans la littérature est également donnée (tabl. 1).

Structure de la croûte océanique

Nous utilisons principalement la carte d'anomalie gravimétrique calculée à partir des données altimétriques des satellites Geosat (mission géodésique), ERS-1 et Topex Poseidon (Sandwell et Yale, 1995). La croûte océanique dans la Polynésie française correspond à trois grands segments d'accrétion limités, du nord au sud, par les zones de fracture des Galapagos, des Marquises et des Australes orientées environ N 80°. Nous proposons de donner à ces trois segments le nom des archipels

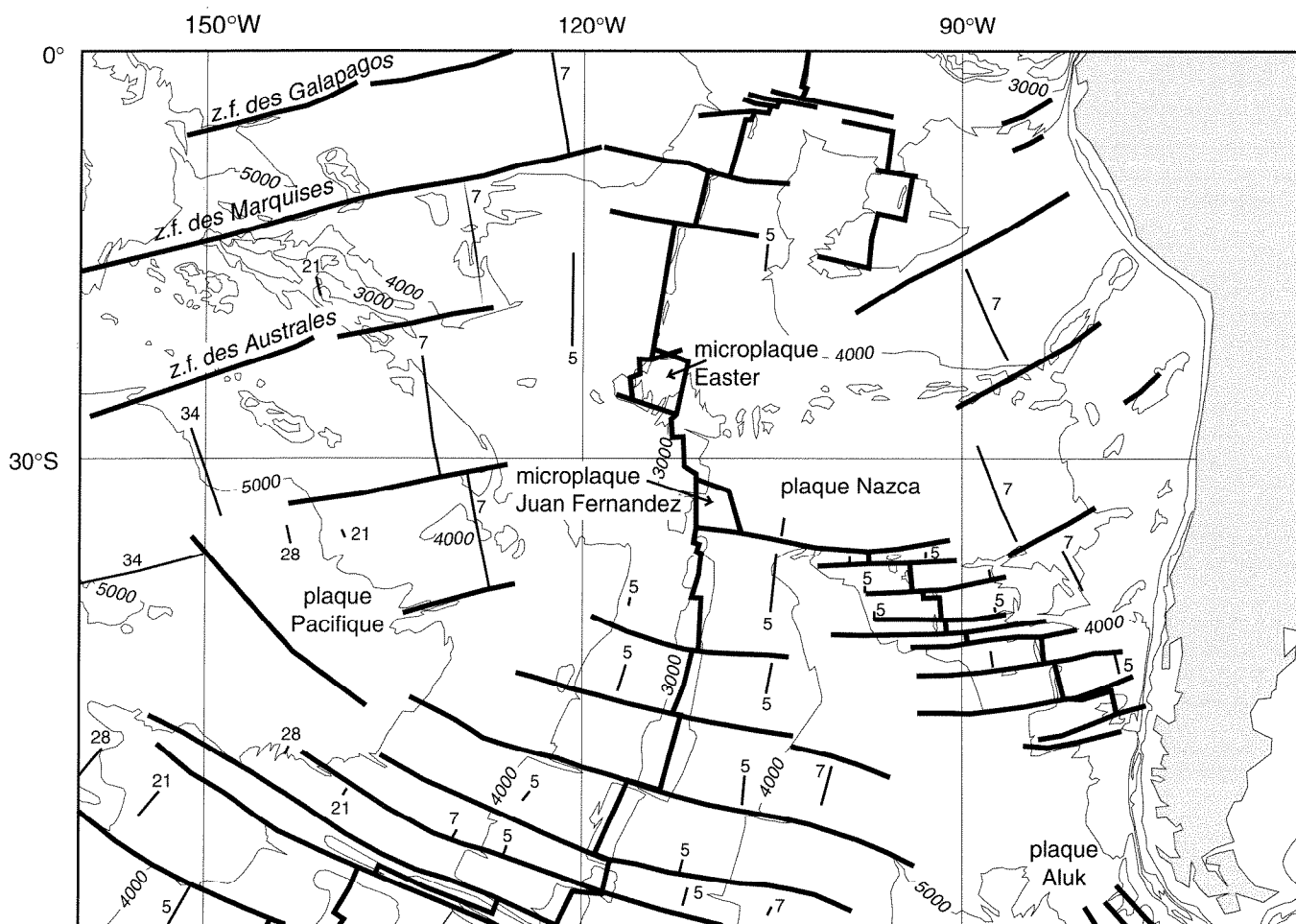


Fig. 1 - Schéma structural simplifié du Pacifique Sud d'après Mayes *et al.*, (1990). Les linéations magnétiques sont indiquées par leur numérotation de l'échelle de Berggren *et al.*, (1985).

Fig. 1 - Tectonic map of the South Pacific redrawn from Mayes *et al.* (1990). Magnetic lineations are indicated by their number according to the magnetic scale of Berggren *et al.* (1985).

d'îles qui y sont contenus à savoir, segment des Marquises entre les zones de fracture des Galapagos et des Marquises, segment des Tuamotu entre les zones de fracture des Marquises et des Australes et segment des Australes au sud de la zone de fracture des Australes. Ces segments résultent de l'expansion à l'axe de la dorsale est-pacifique entre les plaques Pacifique et Farallon (Mayes *et al.*, 1990).

Vers l'ouest, le signal gravimétrique correspondant aux zones de fracture s'estompe progressivement et il est difficile de proposer une identification à l'ouest de 155-160° W. Entre 160 et 165° W un faisceau de zones de fractures de direction N 10° a été identifié (carte morphostructurale). Ces directions correspondent au mouvement de la plaque Pacifique par rapport à la plaque Aluk située au nord de l'Antarctique, la croûte océanique se formant à l'axe de la dorsale pacifique-antarctique (Mayes *et al.*, 1990).

La trace du point triple sur la plaque Pacifique correspondant à la limite entre les croûtes océaniques générées à l'axe de la dorsale est-pacifique et de la dorsale pacifique-antarctique a été identifiée entre 35 et 45° S (Cande et Haxby, 1991). Nous proposons de prolonger l'identification de cette trace jusqu'à 22° S, entre 152 et 156° W (carte morphostructurale) et, en admettant que cette trace puisse se prolonger vers le nord sans décalage majeur, nous en déduisons que la région située entre 157-160° et 165° W correspond au domaine océanique formé à l'axe de la dorsale pacifique-antarctique, la direction d'ouverture étant celle des zones de fracture à 160-165° W. Cela explique aussi la disparition vers l'ouest des trois zones de fracture du système Pacifique-Farallon. A l'est, la direction de la zone de fracture des Marquises passe de N 80° à N 115°. Il s'agit d'un changement de direction du mouvement entre les plaques Pacifique et Nazca. Pour la direction ancienne, c'est-à-

dire N 80°, on utilise le terme "plaque Farallon" au lieu de Nazca car la dorsale des Galapagos n'existant pas, la plaque avait une superficie beaucoup plus grande que celle d'aujourd'hui (Handschumacher, 1976).

Entre 3 et 8° S et 124 et 130° W, on observe des linéations de courte longueur d'onde de l'anomalie gravimétrique qui sont dues pour l'essentiel à des variations de la topographie de la croûte océanique. La cartographie des linéations fait apparaître une structure de forme assez complexe mais grossièrement triangulaire qui ressemble beaucoup aux microplaques Easter et Juan Fernandez du point de vue de la taille et des directions (Bird et Naar, 1994 ; Hooft *et al.*, 1995). Ces deux microplaques, aujourd'hui étudiées de manière détaillée, résultent du dédoublement de l'axe de la dorsale est-pacifique. Mise à part la carte d'anomalie gravimétrique, nous ne disposons que de peu de données

Archipel	Ile	Latitude	Longitude	Age (Ma)	Référence
Iles de la Ligne	LI-43	0° 42' S	155° 20' W	59,0	Schlanger <i>et al.</i> (1984)
	LI-44	7° 36' S	151° 30' W	71,9	Schlanger <i>et al.</i> (1984)
	LI-45	9° 06' S	150° 40' W	70,5	Schlanger <i>et al.</i> (1984)
	LI-52	15° S	149° 00' W	44,6	Schlanger <i>et al.</i> (1984)
Marquises	Fatu Hiva	10° 29' S	138° 39' W	1,33-1,42	Duncan et McDougall (1974)
	Motane	9° 59' S	138° 50' W	1,76-2,46	Diraison (1991)
	Tahuata	9° 55' S	139° 05' W	1,82-2,09	Duncan et McDougall (1974)
	Hiva-Oa	9° 46' S	139° 00' W	1,66-2,55	Duncan et McDougall (1974)
	Fatu-Huku	9° 26' S	138° 55' W	2,54-2,65	Diraison (1991)
	Ua-Uka	8° 55' S	139° 33' W	1,36-1,98 2,55-3,24	Ielsch <i>et al.</i> (1997)
	Ua-Pou	9° 24' S	140° 05' W	1,78-5,61	Duncan <i>et al.</i> (1986)
	Nuku-Hiva	8° 52' S	140° 06' W	2,99-4,22	Duncan et McDougall (1974)
	Banc Jean Goguel	7° 50' S	139° 50' W	5,00-5,60	Brousse <i>et al.</i> (1990)
	Hatutu	7° 55' S	140° 35' W	4,70-4,90	Brousse <i>et al.</i> (1990)
	Eiao	8° 00' S	140° 42' W	4,95-5,52	Inédit
Société	Mehetia	17° 53' S	148° 04' W	0,00-0,309	White et Duncan (1996)
	Tahiti-iti	17° 48' S	149° 12' W	0,45-0,78	Le Roy (1994)
	Tahiti-Nui	17° 40' S	149° 30' W	0,19-1,37	Le Roy (1994)
	Moorea	17° 33' S	149° 50' W	1,36-1,72	Le Dez (1996)
	Maiao	17° 40' S	150° 38' W	1,16-2,03	White et Duncan (1996)
	Huahine	16° 45' S	151° 00' W	2,91-3,08	Roperch et Duncan (1990)
	Tahaa	16° 37' S	151° 30' W	1,10-1,41 2,62-3,39	Gisbert (1989)
	Raiatea	16° 50' S	151° 25' W	2,44-2,75	Blais <i>et al.</i> (1997), Guillou <i>et al.</i> (1998)
	Bora-Bora	16° 30' S	151° 44' W	3,21-3,48	Duncan et McDougall (1976)
	Maupiti	16° 27' S	152° 16' W	4,21-4,51	Guillou <i>et al.</i> (1998)
	Pitcairn-Gambier	Pitcairn	25° 04' S	130° 06' W	0,46-0,93
Gambier		23° 10' S	135° 00' W	5,66-6,26	Guillou <i>et al.</i> (1994) et inédit
Fangataufa		22° 14' S	138° 44' W	9,61-13,64	Guillou (inédit)
Mururoa		21° 50' S	138° 53' W	9,45-11,77	Guillou <i>et al.</i> (1994) et inédit
Cook-Australes	Macdonald	29° 00' S	140° 15' W	0,00-0,35	Duncan et Clague (1985)
	Ra	28° 46' S	141° 07' W	28,59-29,82	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Make	28° 32' S	140° 13' W	24,57-26,59	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Aureka	28° 12' S	141° 13' W	30,56-32,04	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Evelyn	27° 41' S	139° 25' W	24,80-27,10	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Herema	27° 28' S	140° 00' W	22,99-23,95	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Marotiri	27° 54' S	143° 30' W	3,18-3,29 31,13-32,77	Diraison (1991), McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Opu	27° 02' S	143° 09' W	33,32-34,56	McNutt <i>et al.</i> (1997)
	Rapa	27° 36' S	144° 20' W	4,13-5,02	Diraison (1991)
	Raevavae	23° 52' S	147° 40' W	6,07-6,96	Duncan et McDougall (1976)
	Tubuai	23° 23' S	149° 27' W	8,77-10,04	Guillou (inédit)
	Rurutu	22° 28' S	151° 20' W	1,06-1,11 12,13-12,68	Guille <i>et al.</i> (1998)
	Mangaia	21° 55' S	157° 55' W	18,25-19,39	Turner et Jarrard (1982)
	Rarotonga	21° 14' S	159° 46' W	1,10-2,27	Turner et Jarrard (1982)
	Mauke	20° 09' S	157° 20' W	5,14-5,97	Turner et Jarrard (1982)
Atiu	20° 00' S	158° 06' W	7,72-9,99	Turner et Jarrard (1982)	
Mitiaro	19° 49' S	157° 43' W	12,30-28,60	Turner et Jarrard (1982)	
Aitutaki	18° 52' S	159° 47' W	0,73-1,88 8,05-8,43	Turner et Jarrard (1982)	

Tabl. 1. - Coordonnées, âges et références bibliographiques des îles représentées sur la carte morphostructurale.
Table 1. - Location, ages and references of islands shown on the morphostructural map.

couvrant cette structure ; cependant les quelques profils bathymétriques et d'anomalie magnétique disponibles montrent des reliefs importants et les anomalies magnétiques, bien que non identifiées quant à leur âge, ont une longueur d'onde assez courte favorisant l'hypothèse d'un dédoublement passé de l'axe de la dorsale, le dédoublement provoquant une génération de croûte océanique à un taux d'expansion moitié du taux normal. On propose donc d'assimiler la structure observée à une microplaque fossile du type des microplaques Easter et Juan Fernandez.

Anomalies magnétiques et taux d'expansion

L'identification des âges de la croûte océanique au niveau de la Polynésie française correspond à celle proposée par Munsch *et al.* (1996). Depuis, quelques données magnétiques supplémentaires diffusées par le National Geophysical Data Center nous ont permis de mettre à jour le schéma structural de cette région sans toutefois conduire à des modifications importantes (carte morphostructurale).

L'ouest de la région étudiée ne comporte pas d'identification. Cela ne correspond pas à une difficulté d'identification mais est lié à l'âge de la croûte océanique de la région. En effet l'inversion 34j (84 Ma sur l'échelle magnétostratigraphique de Berggren *et al.* (1985), généralement identifiée au moins au sud de 15° S, marque le début de la période magnétique calme du Crétacé : il n'y a pas d'autre inversion du champ magnétique jusqu'à 118 Ma. La croûte océanique a donc un âge compris entre 84 et 118 Ma à l'ouest de 152° W.

Vers l'est, le taux d'expansion, demi-taux d'ouverture, augmente progressivement de 23 km/Ma à l'anomalie 34j (84 Ma) à 82 km/Ma à l'anomalie 7 (26 Ma). L'anomalie 7 correspond à la linéation la plus récente reconnue de l'expansion entre les plaques Pacifique et Farallon de direction NO 80°.

Le passage à la direction d'expansion Pacifique-Nazca de direction N 115° est sans doute rapide car la direction de la zone de fracture des Marquises change brutalement. Ce changement de direction

s'accompagne d'un saut de dorsale. En effet, entre les anomalies 7 (26 Ma) et 5C (16 Ma) la séquence d'anomalies magnétiques est incomplète et, par exemple, l'anomalie 6 (20 Ma) n'est pas observée. Un saut vers l'est de l'axe de la dorsale est-pacifique a donc eu lieu entre les anomalies 7 et 5C (carte morphostructurale), ce qui conduit à transférer une portion de croûte océanique de la plaque Pacifique sur la plaque Nazca. Cette proposition, initialement formulée par Mammerickx *et al.* (1980), intègre un saut de 1500 km pour le segment des Marquises, de 600 km pour le segment des Tuamotu et de 400 km pour le segment des Australes. La situation est en fait plus complexe et nous observons que l'empreinte du saut ne correspond pas à une direction parallèle à l'axe de la dorsale mais qu'elle est oblique. Une telle empreinte oblique a été étudiée plus au sud, entre 30 et 40° S par Cande et Haxby (1991). Ces auteurs proposent qu'elle résulte d'une succession de petits sauts de dorsale lors d'une période d'expansion très asymétrique conduisant à transférer un total de 250 à 350 km de croûte océanique de la plaque Pacifique sur la plaque Nazca. Goff et Cochran (1996) proposent un schéma similaire pour expliquer les sauts de dorsale entre 5 et 15° S.

Les archipels et les monts sous-marins

La carte d'anomalie gravimétrique révèle un nombre important d'anomalies positives généralement de forme circulaire, ayant un diamètre de quelques dizaines de kilomètres et une amplitude le plus souvent supérieure à quelques dizaines de milligals. Dans certains cas, les anomalies peuvent être très allongées avec une longueur de plusieurs centaines de kilomètres. Pour illustrer ces structures, nous avons cartographié la base de toutes les anomalies lorsque leur amplitude dépasse une valeur de 30 mgal (carte morphostructurale), valeur établie de manière subjective. En effet, les anomalies de forme circulaire sont très nombreuses avec des amplitudes très variées. Celles correspondant à des structures émergentes ont des amplitudes supérieures à 150 mgal. Quant à la valeur de 30 mgal, la comparaison avec les données bathymétriques des campagnes disponibles montre qu'elle correspond grossièrement

à un mont sous-marin ayant un sommet à environ 1000 m au-dessus de fonds moyens situés entre - 4500 et - 5000 m. Cela signifie que les anomalies gravimétriques cartographiées représentent tous les monts sous-marins de la région dont le dénivelé est supérieur à 1000 m soit un total de 421. La carte bathymétrique Gebco de la région (Mammerickx et Smith, 1984), dont nous avons représenté l'isobathe 3000 m recense très nettement moins de monts sous-marins (environ 110). Cela est dû au fait que seules les données bathymétriques de campagnes à la mer ont été utilisées et, vu la couverture des profils, de nombreux monts sous-marins n'ont nécessairement pas pu être identifiés. Depuis la théorie des points chauds (Morgan, 1971) on tente avec plus ou moins de succès de regrouper les îles océaniques et les monts sous-marins sous forme d'alignements dont les âges progressent régulièrement, ce qui traduit le déplacement de la lithosphère océanique au-dessus d'un point chaud considéré comme étant fixe. La zone étudiée a fait l'objet de nombreux travaux et on dénombre aujourd'hui six alignements principaux qui suivent plus ou moins la théorie des points chauds. Du nord au sud, il s'agit des îles de la Ligne, des archipels des Marquises et des Tuamotu, des îles de la Société, de l'alignement Pitcairn-Gambier et des îles Australes-Cook.

Les îles de la Ligne

L'alignement des îles de la Ligne s'étend depuis l'île de Johnston à 16° N-169° W à la terminaison nord-ouest de l'archipel des Tuamotu à 15° S-148° W et il est le mieux marqué entre 8 et 2° N. Entre l'Equateur et 5° S, on observe des anomalies gravimétriques positives allongées dans une direction N 80° à N 120° E. La direction N 80° E correspond à celle de la zone de fracture des Galapagos, cependant le signal gravimétrique et les données bathymétriques disponibles montrent qu'il s'agit d'édifices volcaniques et non d'une fragmentation en plusieurs sous-segments de la zone de fracture. Une vingtaine d'édifices ont été datés entre 19° N et 15° S avec des âges compris entre 35,5 et 128 Ma (Saito et Ozima, 1977 ; Haggerty *et al.*, 1982 ; Schlanger *et al.*, 1984) et quatre sites DSDP ont été forés : 165 et 171 du leg 17 (Winterer

et al., 1973) et 315 et 316 du leg 31 (Schlanger *et al.*, 1976). Une dizaine seulement de ces édifices datés permettent de proposer une augmentation progressive des âges vers le nord. Le taux de migration résultant de 96 km/Ma (Schlanger *et al.*, 1984) est conforme à celui de l'alignement Hawaii-Empereur. Cependant la dispersion des âges est importante et des hypothèses très différentes de l'origine de formation de ces îles ont été proposées : axe de dorsale fossile (Winterer, 1976), zone de fracture (Farrar et Dixon, 1981), multiples points chauds (Henderson et Gordon, 1982). Au sud de la zone de fracture des Galapagos, notre schéma structural montre deux alignements espacés d'environ 300 km. L'alignement ouest comprend deux âges (59,0 et 44,6 Ma) espacés de 2000 km ce qui donne un taux de migration de 140 km/Ma comparable à celui calculé par Schlanger *et al.* (1984). Les deux âges de l'alignement est sont très proches l'un de l'autre et ne peuvent être utilisés pour faire un calcul de taux. Ils sont également trop vieux d'environ 20 Ma par rapport au modèle proposé par Schlanger *et al.* (1984).

L'archipel des Marquises

Les îles constituant l'archipel des Marquises se sont édifiées sur une croûte océanique datée entre les anomalies 25 (59 Ma) et 21 (49 Ma). De taille modeste, cet archipel constitue un rectangle de 500 par 200 km avec une direction d'allongement N 140°, oblique par rapport au mouvement absolu de la plaque pacifique N 115°. Les mesures radiochronologiques sont nombreuses et les âges varient entre 1,30 Ma au sud-est à Fatu Hiva (Duncan et McDougall, 1974) à 5,52 Ma au nord-ouest à Eiao (Inédit). A partir des résultats publiés, R. Brousse *et al.* ont proposé en 1990 un modèle de progression de l'âge avec un taux de migration de 110 km/Ma.

L'archipel des Tuamotu

Situé entre 14 et 18° S et 142 et 149° W, cet archipel se compose exclusivement d'atolls coralliens pour lesquels aucune datation du volcanisme n'a pu être réalisée. Ces atolls se sont édifiés sur un vaste plateau océanique d'environ 1000 km de long sur 300 km de large dont la profondeur moyenne varie entre - 1000 et - 2000 m. La présence de ce plateau serait reliée à un vaste bombement ther-

mique de la lithosphère (McNutt et Fischer, 1987). Cependant cette notion reste l'objet de discussions et elle est réfutée par Stein et Abott (1991) et Levit et Sandwell (1994). A l'est de 142° W, deux alignements distants d'environ 300 km se distinguent assez nettement (Okal et Cazenave, 1985). L'alignement le plus nord semble s'interrompre à 129° W au niveau de la linéation magnétique 7 (26 Ma) et l'alignement le plus sud dépasse la limite de notre carte à 120° W et rejoint l'axe de la dorsale est-pacifique à 26° S qui correspond à la terminaison sud de la microplaque de l'île de Pâques. Il est tentant d'associer ces deux alignements à ceux des îles de la Ligne et cette idée a déjà été suggérée par Ito *et al.* (1995) à partir de l'étude de la structure crustale du plateau. On serait alors en présence de deux points chauds distants d'environ 300 km. Le changement de direction entre l'alignement des îles de la Ligne et des Tuamotu, s'expliquerait par le changement de direction généralement observé dans le Pacifique et en particulier au niveau de l'alignement Hawaii-Empereur, il y a 43 Ma (Norton, 1995).

Les îles de la Société

Situées entre 15 et 18° de latitude sud et 147 et 157° de longitude ouest, les îles de la Société se groupent en deux sous-ensembles bien distincts : au sud-est, les îles du vent (Mehetia, Tahiti, Moorea et Maïao ainsi que l'atoll de Tetiaroa) et au nord-ouest, les îles sous le vent (Huahine, Raiatea, Tahaa, Bora Bora, Maupiti). Au sud des îles du vent, on trouve des anomalies gravimétriques positives allongées dans une direction est-ouest correspondant à des édifices sous-marins surplombant les fonds d'environ 2000 m. Les âges sont compris entre 4,5 Ma au nord-ouest à Maupiti (Guillou *et al.*, 1998) à l'actuel au sud-est à Mehetia (White et Duncan, 1996) avec un taux de migration par rapport à la plaque Pacifique de 110 km/Ma (Brousse et Léotot, 1988).

L'alignement Pitcairn-Gambier

Situé à une centaine de kilomètres au sud des Tuamotu, cet alignement est composé du sud-est vers le nord-ouest de quatre îles dont les formations volcaniques ont été datées respectivement à

0,46-0,93 Ma pour Pitcairn (Duncan *et al.*, 1974), 5,66-6,26 Ma pour les Gambier (Guillou *et al.*, 1994), 9,61-13,64 Ma pour Fangataufa (Guillou, 1990 et inédit) et 9,45-11,77 Ma pour Mururoa (Guillou *et al.* 1994 et inédit). La direction de l'alignement et le taux de migration, 130 km/Ma (Duncan et Clague, 1985), sont bien établis au vu de la longueur de la structure, plus de 1000 km et de son âge, de 13 Ma à actuel. Une dizaine d'édifices sous-marins sont identifiés à partir de la carte d'anomalie gravimétrique entre 130 et 142° W.

Les îles Cook-Australes

Elles forment, sur plus de 2000 km, l'un des plus longs alignements de la région. Certains auteurs le divisent en deux segments (e.g. Jarrard et Clague, 1977 ; Baudry *et al.*, 1988), cependant ce dédoublement n'apparaît pas vraiment sur notre carte. La progression des âges vers le nord-ouest n'est pas consistante et on trouve, en plus de la terminaison est de l'alignement au niveau du mont sous marin de Macdonald (Stoffers *et al.*, 1989) actuellement actif, trois îles à volcanisme récent (≈ 1 Ma), Aitutaki, Rarotonga et Rurutu. En supposant que trois points chauds sont superposés sur cet alignement, on arrive à expliquer à peu près correctement l'évolution des âges avec un taux de migration de la plaque pacifique de 100 à 110 km/Ma (Turner et Jarrard, 1982 ; Duncan et Clague, 1985). Cependant, une récente campagne à la mer (McNutt *et al.*, 1997) a permis de cartographier et dater plusieurs édifices sous marins aux alentours du Macdonald dont les âges sont compris entre 25 et 33 Ma alors que l'âge de la croûte océanique est de 40-50 Ma. Cela conduit à proposer un quatrième point chaud participant à la formation de l'alignement des Cook-Australes, qui, par reconstruction, passerait au niveau des monts sous-marins de la Fondation et aurait son expression actuelle au voisinage de la limite sud de la microplaque de Juan Fernandez (McNutt *et al.*, 1997).

Conclusion

L'histoire de la mise en place de la croûte océanique supportant les îles de la Polynésie française est relativement simple. A l'ouest, la croûte océanique est

générée à l'axe de la dorsale pacifique-antarctique d'âge Crétacé. Elle est séparée de la croûte océanique générée à l'axe de la dorsale est-pacifique (direction Farallon) par une trace de direction à peu près nord-sud. Cette dernière génération correspond à un taux d'expansion évoluant progressivement de 23 km/Ma à l'anomalie 34 (84 Ma) à 82 km/Ma à l'anomalie 7 (26 Ma). L'anomalie 7 marque le changement de direction entre le système Pacifique-Farallon et le nouveau système Pacifique-Nazca à un taux d'expansion moyen de 100 km/Ma. Cette période est suivie par une réorganisation majeure de la frontière de plaque, l'axe de la dorsale est-pacifique se décalant vers l'est de 1500 km pour le segment des Marquises, de 600 km pour le segment des Tuamotu et de 250 à 400 km pour le segment des Australes. Il est également probable qu'une microplaque ait fonctionné au nord de la zone de fracture des Marquises durant le changement de direction.

Les îles océaniques et les monts sous-marins sont particulièrement nombreux dans cette région et on a dénombré 110 îles océaniques sur la carte Gebco (Mammerickx et Smith, 1984) et 421 monts sous-marins dont l'élévation est supérieure à 1000 m au-dessus des fonds océaniques avoisinants. Pour l'essentiel, ils correspondent à des constructions volcaniques hors-axe que l'on tente d'expliquer par la théorie des points chauds en les regroupant en alignements dont l'âge progresse régulièrement à un taux et dans une direction similaire au mouvement absolu de la plaque pacifique. Cependant, cette modélisation pose de nombreux problèmes et peu d'alignements sont en accord avec l'existence d'un seul point chaud.

- Seule la moitié environ des îles de la Ligne présentent une progression d'âge cohérente et on observe un deuxième alignement plus à l'ouest pour lequel on ne dispose que de deux datations.

- L'archipel des Marquises est constitué d'édifices volcaniques beaucoup plus jeunes (1,30-5,52 Ma) dont la progression en âge est à peu près satisfaisante mais pas la direction.

- Deux alignements correspondent à l'archipel des Tuamotu, mais on ne dispose pas de datation et l'origine du plateau des Tuamotu, vaste relief sous-marin, n'est pas encore élucidée.

- L'alignement Pitcairn-Gambier donne de bons résultats pour la direction et la progression des âges. Cependant cela ne s'appuie que sur des datations réalisées sur quatre édifices (Pitcairn, Gambier, Fangataufa et Mururoa).

- Les îles de la Société représentent un bon alignement en âge et direction, avec cependant une longueur (500 km) et un éventail d'âges (4,5 Ma) relativement limités.

- Les îles Cook-Australes représentent par contre un très long alignement (supérieur à 2000 km) et les âges varient entre 33 Ma et l'actuel. Il est cependant impossible d'expliquer simplement les observations et on fait actuellement appel à l'existence de trois ou quatre points chauds pour rendre compte de la progression des âges.

Dans la région étudiée, six à onze points chauds sont donc proposés pour expliquer la progression des âges et certains alignements posent problème quant à leur direction. D'autre part, un nombre important de monts sous-marins ne sont pas pris en compte car ils ne sont, ni cartographiés, ni datés. Enfin

l'origine du plateau des Tuamotu n'est pas élucidée. Il faudrait sans doute disposer de plus de données concernant les âges des édifices pour clarifier la situation. Du point de vue théorique, des modèles plus réalistes que celui du conduit vertical et fixe par rapport au mouvement des plaques lithosphériques ont été proposés. La prise en compte de la structure thermique du manteau et de la diffusion de la chaleur ont conduit à des modèles pour lesquels la tête de la plume a une circonférence de plusieurs centaines de kilomètres (Courtney et White, 1986 ; White, 1988 ; Griffiths et Campbell, 1990). Cela permet d'expliquer des écarts de 200 km au maximum pour la progression en âge d'un alignement par rapport au modèle initial de point chaud. Un modèle récent (Steinberger et O'Connell, 1998) prend en compte l'entraînement du matériel ascendant du point chaud dans les cellules de convection du manteau et l'on obtient, selon la viscosité du manteau, des mouvements relatifs de plusieurs centaines de kilomètres.

Ces deux séries de résultats permettent de justifier d'un point de vue théorique que les alignements correspondant à chaque point chaud puissent ne pas être réguliers et que les points chauds puissent légèrement migrer les uns par rapport aux autres. Cependant, il est beaucoup plus difficile d'expliquer les variations d'âge importantes observées en particulier pour l'alignement des Cook-Australes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier P. Guennoc et J. Demange qui ont, par leurs critiques et commentaires, considérablement amélioré le manuscrit original.

La carte morphostructurale accompagnant cet article a été réalisée par M. Rivot de l'EOST.

Références

- Baudry N., Von Stackelberg U., Récy J. (1988) - Alignements volcaniques dans les îles australes : analyse et interprétation des données Seasat et Seabeam. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **306**, 643-648.
- Berggren W.A., Kent D.V., Flynn J.J., Van Couvering J.A. (1985) - Cenozoic geochronology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **96**, 1407-1418.
- Bird T.R., Naar D.F. (1994) - Intratransform origins of mid-ocean ridge microplates. *Geology*, **22**, 987-994.
- Blais S., Guille G., Maury R.C., Guillou H., Miau D., Cotten J. (1997) - Géologie et pétrologie de l'île de Raiatea (Société, Polynésie française). *C. R. Acad. Sci., Paris*, **324**, 435-442.
- Brousse R., Léotot C. (1988) - Modèle d'édification de l'archipel de la Société (Polynésie française). *C. R. Acad. Sci., Paris*, **307**, 533-536.

- Brousse R., Barszczus H.G., Bellon H., Cantagrel J.M., Diraison C., Guillou H., Leotot C. (1990) - Les Marquises (Polynésie française) : volcanologie, géochronologie, discussion d'un modèle de point chaud. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **8**, 933-949.
- Cande S.C., Labrecque J.L., Larson R.L., Pitman III W.C., Golovchenko X., Haxby W.F. (1989) - Magnetic lineations of the World's Ocean Basins, *A. A. P. G.*, Tulsa, 1989.
- Cande S.C., Haxby W.F. (1991) - Eocene propagating rifts in the southwest Pacific and their conjugate features on the Nazca Plate. *J. Geophys. Res.*, **96**, 19609-19622.
- Cornaglia B. (1995) - Synthèse des données géophysiques Nazca-Pacifique. Thèse de Doctorat de l'université de Paris VII et de l'Institut de Physique du Globe de Paris, 248 p.
- Courtney R.C., White R.S. (1986) - Anomalous heat flow and geoid across the Cape Verde Rise: evidence for dynamic support from a thermal plume in the mantle. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **87**, 815-867.
- Diraison C. (1991) - Le volcanisme aérien des archipels polynésiens de la Société, des Marquises et des Australes-Cook ; téphrostratigraphie, datation isotopique et géochimie comparée ; contribution à l'étude des origines du volcanisme intraplaque du pacifique central. Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, 413 p.
- Duncan R.A., McDougall I., Carter R.M., Coombs D.S. (1974) - Pitcairn island - another pacific hot spot ? *Nature*, **251**, 679-682.
- Duncan R.A., McDougall I. (1974) - Migration of volcanism with time in the Marquesas Islands, French Polynesia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **21**, 414-420.
- Duncan R.A., McDougall I. (1976) - Linear volcanism in French Polynesia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **1**, 197-227.
- Duncan R.A., Clague D.A. (1985) - Pacific plate motion recorded by linear volcanic chains. In: The ocean basins and margins, Pacific Ocean, edited by A. E. M. Nairn, M. Churkin Jr., G. Stehli, **5**, 89-121.
- Duncan R.A., McCulloch M.T., Barszczus H.G., Nelson D.R. (1986) - Plume versus lithospheric sources for melts at Ua Pou, Marquesas Islands. *Nature*, **322**, 534-538.
- Farrar E., Dixon J.M. (1981) - Early Tertiary rupture of the Pacific plate: 1700 km of dextral offset along the Emperor Trough-Line Islands lineament. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **53**, 307-322.
- Gisbert T. (1989) - Volcanologie de l'île de Tahaa (archipel de la Société). Son enrichissement en terres rares. Thèse Université Paris Sud, Orsay, 691 p.
- Goff J.A., Cochran J.R. (1996) - The Bauer scarp ridge jump: a complex tectonic sequence revealed in satellite altimetry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **141**, 21-33.
- Griffiths R.W., Campbell I.H. (1990) - Stirring and structure in mantle starting plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **99**, 66-78.
- Guille G., Guillou H., Chauvel C., Maury R.C., Blais S., Brousse R. (1998) - L'île de Rurutu (Archipel des Australes, Polynésie française) : une édification complexe liée au fonctionnement de deux points chauds. *Géologie de la France, n° 3 (ce volume)*, 65-85.
- Guillou H. (1990) - Le soubassement volcanique de l'atoll de Fangataufa : géologie - pétrologie. Thèse Université Paris Sud, Orsay, 308 p.
- Guillou H., Gillot P.Y., Guille G. (1994) - Age (K/Ar) et position des îles Gambier dans l'alignement volcanique du point chaud de Pitcairn (Pacifique sud). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **318**, (2), 635-641.
- Guillou H., Blais S., Guille G., Maury R.C., Le Dez A., Cotten J. (1998) - Ages K/Ar et durées d'édification sub-aériennes des îles de Moorea, Raiatea et Maupiti (Société, Polynésie française). *Géologie de la France, n° 3 (ce volume)*, 29-36.
- Haggerty J.A., Schlanger S.O., Premoli-Silva I. (1982) - Late Cretaceous and Eocene volcanism in the souther Line Islands and implications for hot-spot theory. *Geology*, **10**, 433-437.
- Handschumacher D.W. (1976) - Post-Eocene plate tectonics of the eastern Pacific. In: The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its margin, *Geophys. Monogr.* (19), edited by G. H. Sutton *et al.*, AGU, Washington D. C., 177-202.
- Henderson L.J., Gordon R. G. (1982) - Fixed hot-spots and recurrent volcanism along the Line Islands chain. *Geol. Soc. Amer. Abstr. Programs*, **14**, 513.
- Herron E.M. (1972) - Sea-floor spreading and the Cenozoic history of the east-central Pacific. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **83**, 1671-1692.
- Hooff E.M., Kleinrock M., Ruppel C. (1995) - Rifting of oceanic crust at Endeavor Deep on the Juan Fernandez Microplate. *Mar. Geophys. Res.*, **17**, 251-273.
- Ielsch G., Caroff M., Barszczus H.G., Maury R.C., Guillou H., Guille G., Cotten J. (1997) - Géochimie des basaltes de l'île de Ua (archipel des Marquises) : variation du taux de fusion partielle et hétérogénéité de la source mantellique. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **326**, 413-420.
- Ito G., McNutt M., Gibson R.L. (1995) - Crustal structure of the Tuamotu Plateau, 15° S, and implications for its origin. *J. Geophys. Res.*, **100**, 8097-8114.
- Jarrard R.D., Clague D.A. (1977) - Implications of pacific island and seamount ages for the origin of volcanic chains. *Rev. Geophys. Space Physics*, **15**, 57-76.

- Le Dez A. (1996) - Variations pétrologiques et géochimiques associées à l'édification des volcans-boulciers de Polynésie française : exemple de Nuku Hiva et Hiva Oa (Marquises) et de Moorea (Société). Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, 309 p.
- Le Roy I. (1994) - Evolution des volcans en système de point chaud : île de Tahiti, archipel de la Société (Polynésie Française). Thèse Université Paris Sud, Orsay, 271 p.
- Levit D.A., Sandwell D.T. (1994) - Modal estimation of depth anomalies on the western flank of the East Pacific Rise; implications for the South Pacific Superswell. *EOS*, AGU, 647.
- Mammerickx J., Herron E., Dorman L. (1980) - Evidence for two fossil spreading ridges in the southeast Pacific. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **91**, 263-271.
- Mammerickx J., Smith S. M. (1984) - General bathymetric chart of the oceans (GEBCO). Feuille 5-11, service hydrographique du Canada, Ottawa.
- Mayes C.L., Lawver L.A., Sandwell D.T. (1990) - Tectonic history and new isochron chart of the South Pacific. *J. Geophys. Res.*, **95**, 8543-8567.
- McNutt M.K., Fischer K.M. (1987) - The South Pacific superswell. *In: Seamounts, islands and atolls. Geophys. Monogr.*, **43**, 25-34.
- McNutt M.K., Caress D.W., Reynolds J., Jordahl K.A., Duncan R.A. (1997) - Failure of plume theory to explain midplate volcanism in the southern Austral islands. *Nature*, **389**, 479-482.
- Morgan W.J. (1971) - Convection plumes in the lower mantle. *Nature*, **230**, 42-43.
- Munsch M., Antoine C., Gachon A. (1996) - Evolution tectonique de la région des Tuamotu. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **323**, 941-948.
- Norton I. (1995) - Plate motions in the North Pacific the 42 Ma nonevent. *Tectonics*, **14**, 1080-1094.
- Okal E.A., Cazenave A. (1985) - A model for the plate tectonic evolution of the east-central Pacific based on SEASAT investigations. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **72**, 99-116.
- Roperch P., Duncan R.A. (1990) - Records of geomagnetic reversals from volcanic islands of french Polynesia. 1. Paleomagnetic study of a polarity transition in a lava sequence from the island of Huahine. *J. Geophys. Res.*, **95**, 2712-2726.
- Saito K., Ozima M. (1977) - ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronological studies on submarine rocks from the western Pacific area. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **33**, 353-369.
- Sandwell D.T., Yale M.M. (1995) - Gravity anomaly Profiles from ERS-1, Topex, and Geosat Altimetry, *EOS Trans.*, AGU, **76**, p. 89.
- Schlanger S.O. *et al.* (1976) - Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **33**.
- Schlanger S.O., Garcia M.O., Keating B.H., Naughton J.J., Sager W.W., Haggerty J.A., Philpotts J.A., Duncan R.A. (1984) - Geology and geochronology of the Line Islands. *J. Geophys. Res.*, **89**, 11261-11272.
- Stein C.A., Abott D.H. (1991) - Heat flow constraints on the South Pacific Superswell. *J. Geophys. Res.*, **96**, 16083-16099.
- Steinberger B., O'Connell R.J. (1998) - Advection of mantle flows: implications for hotspot motion, mantle viscosity and plume distribution. *Geophys. J. Int.*, **132**, 412-434.
- Stoffers P., Botz R., Cheminée J.L., Devey C.W., Froger V., Glasby G.P., Hartmann M., Hékinian R., Kogler F., Laschek D., Larqué P., Michaelis W., Muhe R.K., Puteanus D., Richnow H.H. (1989) - Geology of Macdonald seamount region, Austral Islands: Recent hotspot volcanism in the south Pacific. *Mar. Geophys. Res.*, **11**, 101-112.
- Turner D.L., Jarrard R.D. (1982) - K-Ar dating of the Cook-Austral Island chain: a test of the hotspot hypothesis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **12**, 187-220.
- White R.S. (1988) - A hot-spot model for early tertiary volcanism in the N. Atlantic. *In: Morton A.C, Parson L.M.*, eds., Early Tertiary volcanism and the opening of the NE Atlantic, *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, **39**, 3-13.
- White W.M., Duncan R. A. (1996) - Geochemistry and geochronology of the Society islands: new evidence for deep mantle recycling. *Geophys. Monogr.*, **95**, Earth Processes reading the isotopic code, Amer. Geophys. Union, 183-206.
- Winterer E.L. *et al.* (1973) - Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **17**.
- Winterer E.L. (1976) - Bathymetry and regional tectonic setting of the Line Island chain. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **33**, 731-748.