

Apports de la croissance des coraux à l'étude sismo-tectonique de Futuna (territoire de Wallis et Futuna, Pacifique Sud-Ouest)

Data provided by coral growth for sismotectonic studies in Futuna (French Overseas Territory of Wallis and Futuna, southwest Pacific)

Guy Cabioch, Stéphane Calmant, Robert Pillet, Bernard Pelletier, Marc Régnier, Pierre Lebellegard

Laboratoire de géologie et géophysique, UMR « Géosciences Azur » 6526, centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa cedex, Nouvelle-Calédonie

(Reçu le 5 avril 1999, accepté après révision le 19 juillet 1999)

Abstract — The morphology and growth analysis of coral microatolls using X-rays indicates that after a subsidence of 3 cm from 1977 to 1993, an uplift of 5 cm occurred in 1993 in the southeast of Futuna (southwest Pacific). These vertical motions are related to the strain accumulation followed by their relaxation during the earthquake (Mw: 6.4) on 12 March 1993. The locations published by the global network are not in agreement with the aftershocks recorded locally and the co-seismic uplifts observed on the reefs. The latter indicate instead that the rupture area is located below the southwest of Futuna at an average depth of 8 km. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

corals / microatolls / vertical motions / seismicity / Futuna / France

Résumé — L'analyse de la morphologie et de la croissance des microatolls coralliens par radiographie X indique, qu'après une subsidence de 3 cm de 1977 à 1993, une surrection de 5 cm a eu lieu en 1993, au sud-est de Futuna (Pacifique sud-ouest). Ces mouvements verticaux sont associés à l'accumulation des contraintes et à leur relaxation lors du séisme (Mw : 6,4) du 12 mars 1993. Les différentes localisations publiées pour ce séisme par le réseau mondial ne s'accordent, ni avec les répliques enregistrées localement, ni avec les



of the Vitiaz-Tonga) to a transform regime (North Fiji fracture zone) (Grzesczyk et al., 1987; 1991). A series of reef terraces, presumably Quaternary in age, ranges from the present sea surface to an altitude reaching 400 m (Grzesczyk et al., 1989).

Seismic swarms commonly occurred around the islands of Futuna and Alofi occasionally accompanied by tsunamis (Louat et al., 1989; Monzier et al., 1993; Régnier, 1994). The most recent strong earthquakes felt in Futuna were those of 23 March 1977 (Mw: 6.3), 27 March 1986 (Mw: 6.0) and 12 March 1993 (Mw: 6.4). This last one (centroid epicentre given at 14.248° S, 178.298° W, focal depth 'normal' unspecified, *figure 1B*) caused several landslides, a tsunami, an uplift of several centimetres of the reef flat in the south and southwest parts of the island of Futuna, much building damage and the death of 3 people (Monzier et al., 1993; Régnier, 1994). An uplift of several tens of centimeters was observed on the modern coral reefs in the Léava area (Monzier et al., 1993) (*figure 1B*). At this time, no data are available for the reef terrace ages, the Quaternary uplift rate of the islands, the historical seismicity and the recurrence of the large destructive earthquakes.

In order to study the tsunamic and seismic hazards in Futuna, a program including sismology, geodesy and neotectonics, funded by PNRN (*Programme National français sur les Risques Naturels*), is in progress. The aim of this paper is to present some results gained during our first field trip in 1998: we give herein data obtained by the growth analysis of the coral microatolls observed on the modern reef flats, which yields useful indications on the pre- and co-seismic vertical motions associated with the 1993 earthquake.

Field data

colony (noted 2 in *figure 3*). The vertical growth is suddenly interrupted in 1993 by a co-seismic uplift, and the growth trend became horizontal (noted 3 in *figure 3*). The observed uplift is 5 cm. It is noteworthy that the reef flat is not recovered by fine sands which could be fatal for the coral colonies.

Discussion

The epicentre of the 1993 earthquake given by the global network is located, according to the available catalogues, at about 15 km westward (Centroid Moment Tensor Solution, CMTS) or southwestward (NEIC) from Futuna (*figure 1B*). However, aftershocks recorded no later than two days after the main shock are located below the southern part of Futuna at shallow depths (Régnier, 1994). This result suggests that the main earthquake was probably superficial and very close to the island of Futuna. This hypothesis is supported by the amount of the observed uplifts on the reef flats. Using the location and the solution given by the CMT catalogue (CMTS epicentre, size = 20 × 10 km, slip = 0.7 m), the simulated uplift (according to the dislocation model of Okada, 1985) is much lower than observed along the south coast of Futuna. In order to obtain the best fit with field observations, we modify the location of the ruptured fault (*figure 4*). The best fit corresponds to a shallow rupture located very close to the south west part of Futuna (178.15°W and 14.30°S and at a depth of 8 km), inducing an uplift of 20 cm in Léava and 5 cm in Vélé (*figure 4*). According to the depth found, the rupture may have reached the surface. This is in agreement with the occurrence of a tsunami along the south and southwest coasts of Futuna and the sound waves heard by the inhabitants.

Figure 4: Simulation of the solution of the vertical motion at Vélé

1. Introduction

Les îles de Futuna et d'Alofi (territoire français d'Outre-

mer) (figure 1B). À ce jour, nous ne possédons aucune donnée sur l'âge des terrasses, le taux de surrection des îles, la sismicité historique et la récurrence des séismes destruc-

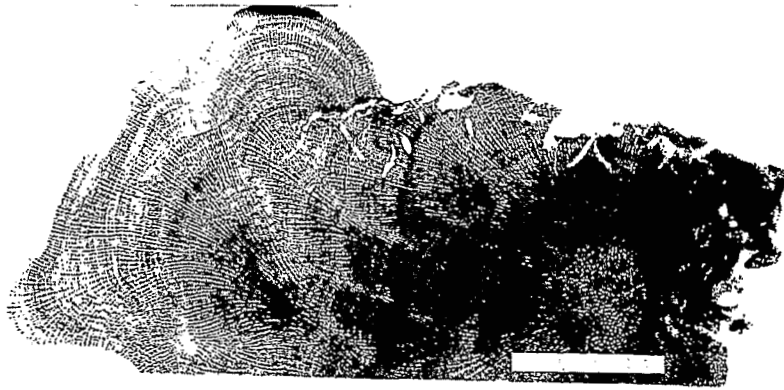


Figure 2. Radiographie X effectuée sur une tranche d'un demi-microatoll de *Porites*, prélevée sur le platier récifal de Vélé. Barre d'échelle = 4 cm.

X-ray radiography obtained from a slab of the half part of a *Porites* microatoll, collected on the Vélé reef flat. Scale = 4 cm.

la suite d'un soulèvement cosismique ; cet événement est marqué par un aplanissement de la surface de la colonie (noté 1 sur la figure 3). À compter de cette date, on observe une nouvelle croissance, dont la direction devient peu à peu verticale, ce qui suggère une submergence progressive de la colonie (2). Cette croissance verticale est brutalement interrompue en 1993, comme l'atteste le décompte des bandes, suite à un soulèvement. À partir de 1993, la partie supérieure de la colonie se nécrose et la croissance s'effectue latéralement (3). Cette nécrose semble s'être faite de façon progressive, la partie immédiatement au-dessus du niveau moyen de la mer (à 2 cm environ) ayant cessé de croître immédiatement, alors que la partie au-dessous (à 3 cm environ), a continué à survivre pendant une année ou moins, avant de se nécroser. La hauteur totale nécrosée est donc de 5 cm. Ni apport de sédiments fins, ni recouvrement par des sables, qui pourrait être à l'origine de la nécrose partielle de telles colonies, n'a été observé.

D'autres événements apparaissent à l'examen des ra-

l'apport de la croissance des coraux à l'étude sismotectonique et, tout particulièrement, à l'analyse de l'événement de 1993.

3. Discussion

L'épicentre du séisme de 1993, déterminé à partir du réseau sismologique mondial, est situé, selon les catalogues disponibles, à une quinzaine de kilomètres à l'ouest (CMTS) ou au sud-ouest (NEIC) de Futuna (figure 1B). Cependant, l'installation d'une station sismologique, 2 jours après ce séisme, a permis de localiser une quarantaine de répliques très superficielles juste au sud et sous l'île de Futuna, ce qui suggère que le séisme principal était probablement très superficiel et que sa position réelle était plus à l'est et plus près de l'île de Futuna que celle fournie par le réseau mondial (Régnier, 1994). Cette hypothèse est confirmée par l'amplitude des surrections observées le long de la côte sud de l'île. Si nous prenons la localisation et la solution fournies par le catalogue CMT et si nous

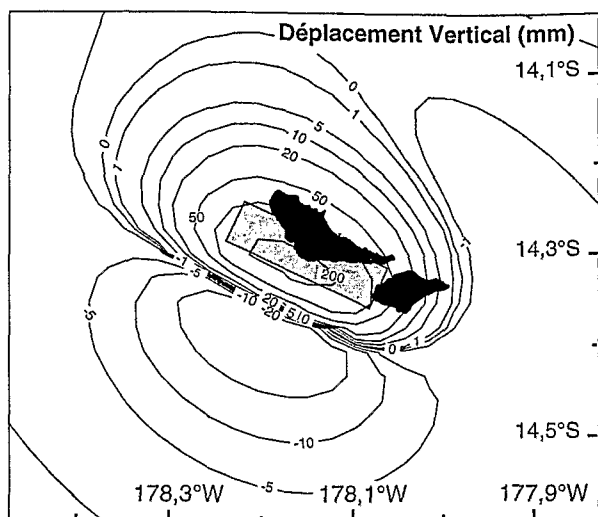


Figure 4. Carte des déplacements verticaux associés au séisme du 12 mars 1993. Ces mouvements ont été modélisés en utilisant le modèle de dislocation d'Okada, avec la solution CMT du séisme, mais en relocalisant la zone de rupture, de manière à obtenir des mouvements verticaux compatibles avec ceux observés le long de la côte sud de l'île de Futuna.

Map of vertical motions related to the 12 March 1993 earthquake. Motions have been modelled applying the dislocation model of Okada to the CMT solution but with a relocated ruptured surface in order to match the vertical motions with the observed uplifts on the reef flats of the south coast of Futuna.

maintenant classiques de Savage (1980) ou Okada (1985), sont minimales et bien inférieures à ceux observés sur la côte sud de l'île de Futuna. Tout en conservant le moment sismique et le mécanisme au foyer du catalogue CMT, nous avons donc déplacé le centre de la zone de rupture (position et profondeur), afin de rendre compte au mieux des déplacements verticaux observés en surface (figure 4). Rien que le nombre des mesures de soulèvement soit très

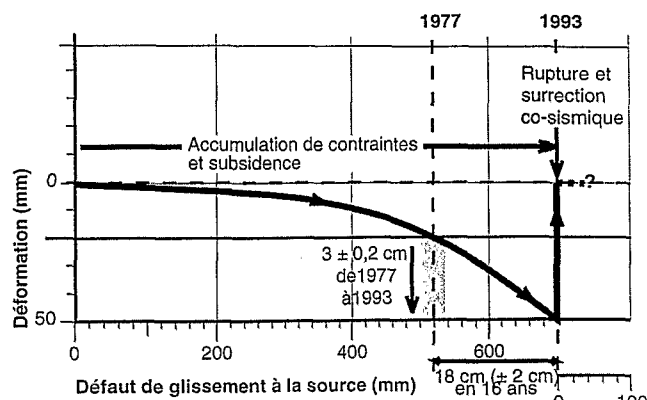


Figure 5. Évolution de la déformation verticale à Vélé, déduite d'une simulation du cycle d'accumulation/relaxation des contraintes associées au séisme du 12 mars 1993 (voir texte) et des observations sur les microatolls.

Evolution of the vertical deformation at Vélé estimated from a simulation of the strain accumulation/relaxation cycle associated to the 12 March 1993 earthquake.

avec le temps, c'est-à-dire pour un glissement de plus en plus grand, sur une faille de plus en plus étendue. Selon ce modèle, les déplacements intersismiques sont égaux et opposés aux mouvements cosismiques et croissent non linéairement avec le temps. La morphologie du corail indique qu'entre 1977 et 1993, le corail a crû verticalement de 3 cm environ (± 2 mm). En considérant que cette mesure correspond à l'ampleur de la subsidence durant cette période, on obtient que le défaut de glissement était de 52 ± 2 cm en 1977 (figure 5). La vitesse d'accumulation du défaut de glissement serait alors de $(70-52)/(1993-1977) = 1,1 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$ ($\pm 0,2 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$) et la durée totale de l'accumulation des contraintes jusqu'à rupture sismique aura été de $70/1,1 = 64 \pm 12$ années. Ces indications sont à ce jour données à titre indicatif, car

G. Cabloch et al.

Remerciements. Les auteurs remercient vivement pour leur aide, les rois de Sigave et d'Alo, les autorités coutumières et le Délégué du gouvernement ainsi que J.-L. Laurent, F. Afalaato, chef de la Service Météo-France de Futuna, et le Service de radiologie de l'hôpital de Nouméa. Ce travail a bénéficié du soutien financier du PNRN 1998 (Programme national sur les risques naturels). Contribution UHR Géosciences-Azur n° 253.

5. Références

Grzesczyk A., Eissen J.-P., Dupont J., Lefevre C., Maillot P. et Monzier M. 1987. Pétrographie et minéralogie des îles Futuna et Alofi, TOM de Wallis et Futuna (Pacifique sud-ouest), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 93-98

Monzier M., Régnier M. et Decourt R. 1993. Rapport sur la crise sismique de mars 1993 à Futuna (TOM des îles Wallis et Futuna), *Rapport de missions*, Centre Orstom de Nouméa, 30, 1-23

Okada Y. 1985. Surface displacement due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull Seis. Soc. Am.*, 75, 1135-1154

Pelletier B., Calmant S. et Pillet R. 1998. Current tectonics of the Tonga-New Hebrides region, *Earth Planet. Sci. Letters* 164, 263-276

