

# 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 surrections cosismiques observées. Celles-ci permettent, en revanche, de localiser la zone de rupture sous la pointe sud-ouest de Futuna, à une profondeur moyenne de 8 km. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

coraux / microatolls / mouvements verticaux / séismes / Futuna / Futuna

## Abridged version

### Introduction

The islands of Futuna and Alofi (French Overseas Territory of Wallis and Futuna, southwest Pacific) are the emerged part of the Horn submarine ridge. This ridge is located at the junction of the North Fiji basin and the Lau basin, south of the

Vitiáz fossil lineament and north of the North Fiji fracture zone, a major transform segment of the Australian-Pacific plate boundary (Pelletier et al., 1998) (*figure 1A*). These islands are made up of a succession of submarine volcanic products deposited during the Late Pliocene. The nature of this volcanic material indicates a shift from a convergent regime (subduction

Note présentée par Jacques Angelier.

\* Correspondance et tirés à part.  
cabioch@noumea.ird.nc

C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences  
1999, 329, 429-434

429



Fonds Documentaire IRD  
Cote : Bx 21462 Ex : 1



of the Vitiaz-Tonga) to a transform regime (North Fiji fracture zone) (Grzeszczyk 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 (Grzeszczyk 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

On the reefs, the corals are distributed from the top of the reef flat, just below the sea surface, to several tens of meters of depth, along the reef slope. The corals living just below the present sea surface can give valuable information on the amount of co-seismic uplift by observations of the dead (emerged) and the living (still submerged) parts of corals (Knutson et al., 1972; Taylor et al., 1982). The analysis of the coral morphology and the sclerochronological study by examination of X-ray radiographies provide data on the trend of the growth axes and the pattern of coral growth, then on the small variations due to co-seismic uplifts (Knutson et al., 1972; Taylor et al., 1982; Woodroffe and McLean, 1990).

Such studies were conducted along the south coast of Futuna. We recognized several coral colonies, belonging to *Porites* species, at the back of the reef flat in the area of Vélé (*figure 1B*). These coral colonies show a typical microatoll morphology (*sensu* Stoddart and Scoffin, 1979) in relation to recent relative sea level variations due to uplift or submergence. We examined the morphology of these colonies and X-ray radiographs of slabs (an example of radiography is given in *figure 2*), which indicates several periods of perturbation in the coral growth (*figure 3*). By counting the annual growth bands, we identify a break of the coral growth in 1977 probably due to a co-seismic uplift (noted 1 in *figure 3*). From this date, the growth axis direction became more or less vertical, suggesting a progressive submergence of the

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.

A simulation of the evolution of the vertical motion at Vélé is shown in *figure 5*. This simulation is based on the dislocation model (Okada, 1985) for increasing strain release, that is for slip and ruptured fault increasing with time. According to this simulation, the deformation, which is equal and opposite to the co-seismic displacement, does not linearly increase with time. The microatoll morphology indicates that between 1977 and 1993, the *Porites* grew upward (3 cm ± 2 mm). Considering that the later value corresponds to the amplitude of the subsidence during this period, we obtain that the lack of slip was 52 ± 2 cm in 1977 (*figure 5*). The accumulation rate of the lack of slip would be (70–52)/(1993–1977) = 1.1 cm·yr<sup>-1</sup> (± 0.2 cm·yr<sup>-1</sup>) and the duration of strain accumulation was 70/1.1 = 64 ± 12 yr until the seismic rupture.

### Conclusion

The analysis of the coral growth of microatolls living just below the present-day sea surface along the south coast of Futuna gives useful indications on the occurrence and amplitudes of the recent vertical motions. Corals provide data for the study of seismic hazards when historical seismological data are missing. This first study provides new information on the 1993 Futuna earthquake. Vertical motion recorded by coral colonies allows precise location of the ruptured area and suggests interseismic strain accumulation.

## 1. Introduction

Les îles de Futuna et d'Alofi (territoire français d'Outre-Mer de Wallis et Futuna), formant la partie émergée de la ride sous-marine de Horne, sont situées à la jonction entre les bassins Nord-Fidjien et de Lau, au sud du linéament fossile du Vitiaz et au nord immédiat de la zone de fracture Nord-Fidjienne, une zone transformante majeure de la frontière actuelle entre les plaques Pacifique et Australie (Pelletier et al., 1998) (figure 1A). Elles sont composées de formations volcaniques sous-marines superposées, d'âge Pliocène supérieur à terminal, témoignant du passage d'un régime convergent (subduction du Vitiaz-Tonga) à transformant (zone de fracture Nord-Fidjienne) (Grzesczyk et al., 1987 ; 1991). Elles présentent également de nombreuses terrasses récifales culminant à une altitude de 400 m, dont l'âge est supposé Quaternaire (Grzesczyk et al., 1989).

Les îles de Futuna et d'Alofi sont régulièrement soumises à des crises sismiques, parfois accompagnées de raz de marée (Louat et al., 1989 ; Monzier et al., 1993 ; Régnier, 1994). Les séismes récents les plus significatifs ont été ceux du 23 mars 1977 (Mw : 6,3), du 27 mars 1986 (Mw : 6,0) et du 12 mars 1993 (Mw : 6,4). Ce dernier (épicentre centroïde donné à 14,248°S, 178,298°W, profondeur focale « normale » non résolue) a provoqué de très nombreux glissements de terrain, un petit raz de marée, la surrection de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres du platier corallien de la partie sud et sud-ouest de l'île, de nombreux dégâts matériels et la mort de 3 personnes (Monzier et al., 1993 ; Régnier, 1994). Les surrections cosismiques associées à ce séisme ont été maximales au niveau du récif frangeant de Léava

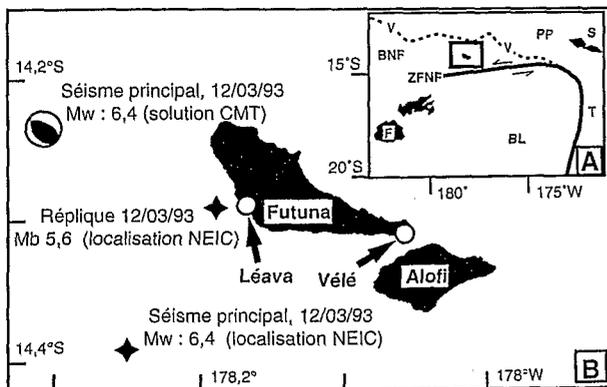


Figure 1. Les îles de Futuna et Alofi. A. Leur situation dans le contexte régional du Pacifique Sud-Ouest. Bassin Nord-Fidjien : BNF ; bassin de Lau : BL ; linéament fossile du Vitiaz : V ; Fidji : F ; Samoa : S, plaque Pacifique : PP. Le trait épais souligne la zone de fracture Nord-Fidjienne (ZFNF) et la fosse de Tonga (T). B. Localisation des sites d'étude et des séismes de la crise de mars 1993.

The islands of Futuna and Alofi. A. Their location in the southwest Pacific. North Fiji Basin: BNF; Lau Basin: BL; Vitiaz fossil lineament: V; Fiji: F; Samoa: S; Pacific Plate: PP. The thick line represents the North Fiji fracture zone (ZFNF) and the Tonga trench (T). B. Location of the studied sites and epicenters of the major events of the March 1993 seismic crisis.

(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 destructeurs.

Nous réalisons un programme d'étude regroupant sismologie, géodésie et néotectonique, portant sur l'aléa sismique et tsunamique à Futuna. Ce programme est financé par le PNRN (Programme national sur les risques naturels). Cette note a pour objectif de présenter des résultats préliminaires d'une première opération de terrain réalisée fin 1998, lors de laquelle nous nous sommes attachés à retrouver, le long de la côte, les traces des soulèvements de petite ampleur (quelques centimètres) associés au séisme de 1993, grâce à l'observation et à l'analyse de la croissance des coraux.

## 2. Observations de terrain

La répartition des coraux dans un récif s'établit de la surface des platiers, juste sous le niveau de la mer, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Seuls les coraux vivant à proximité du niveau de la mer nous intéressent pour l'étude des mouvements les plus récents. En effet, à l'occasion d'une surrection, les organismes qui vivent immédiatement au-dessous du niveau marin se retrouvent totalement ou partiellement émergés, la partie à l'air libre se nécrose, bloquant la croissance verticale de la colonie, alors que la partie encore sous l'eau continue à vivre et à croître latéralement. L'analyse de la morphologie de telles colonies et leur examen par radiographie X (étude sclérochronologique) fournissent des informations sur la direction des axes de croissance et sur les interruptions et reprises de croissance (Knutson et al., 1972 ; Taylor et al., 1982). De telles études ont permis de rendre compte de variations de petite ampleur du niveau marin d'origine tectonique (Taylor et al., 1982 ; Woodroffe et McLean, 1990).

La reconnaissance que nous avons effectuée sur le platier récifal de Vélé, à la pointe sud de l'île de Futuna (figure 1B), révèle l'existence d'un ensemble de plusieurs dizaines de constructions coralliennes de *Porites* sp. vivant en limite du niveau marin actuel. Ces colonies, situées sur la partie interne du platier récifal (au sens morphologique du terme), sont régulièrement soumises aux effets de la marée, attestant par là même l'absence de toute retenue d'eau épirécifale. Les colonies ont une morphologie typique de microatolls (*sensu* Stoddart et Scoffin, 1979), liés à des fluctuations récentes du niveau de la mer, en liaison avec des surrections et des submergences (Stoddart et Scoffin, 1979 ; Woodroffe et McLean, 1990). Plusieurs de ces colonies ont été prélevées, puis découpées en tranches de 6 à 7 mm d'épaisseur, afin d'être radiographiées (un exemple est donné sur la figure 2). L'examen des radiographies montre des perturbations de la croissance, ainsi que des modifications dans la direction des axes de croissance (figure 3). Ainsi, d'après le décompte des bandes de croissance, on observe une croissance qui s'est interrompue aux alentours de 1977, probablement à



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 radiographies, notamment des perturbations dans la croissance et des densifications des bandes, probablement en liaison avec des événements d'ordre climatique, comme les El Niño. L'interprétation de ces événements est en cours, mais nous nous focaliserons dans cette note sur

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 estimons la surface de rupture et le glissement, de manière à être en accord avec le moment sismique, les paramètres que nous utilisons sont : épicentre et mécanisme focal CMTS, surface 20 × 10 km, glissement 0,7 m. Les déplacements cosismiques verticaux, calculés avec les modèles

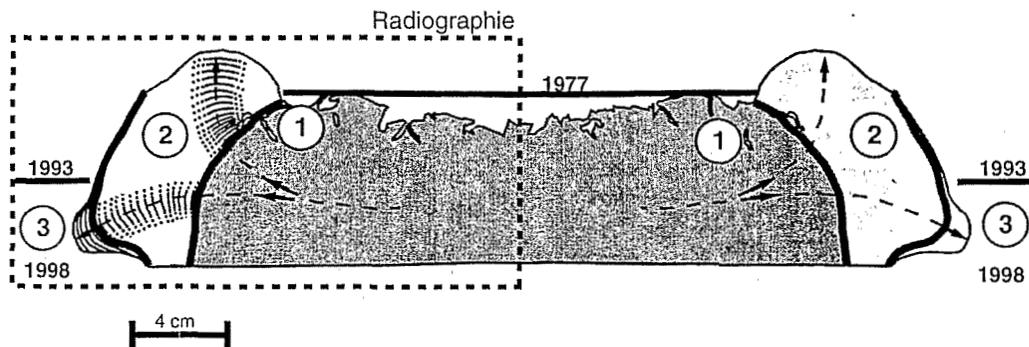


Figure 3. Interprétation de la croissance du microatoll à partir de la radiographie présentée sur la figure 2. Les flèches indiquent les directions de croissance, les traits épais les interruptions ou perturbations de croissance liées à des soulèvements cosismiques. Explications des stades 1, 2 et 3 dans le texte.

Interpretation of the microatoll growth by examination of the X-ray radiography shown in figure 2. The arrows indicate the growth trends. The thick lines mark the perturbations of the growth related to co-seismic uplifts. Explanation of stages 1, 2 and 3 in the text.

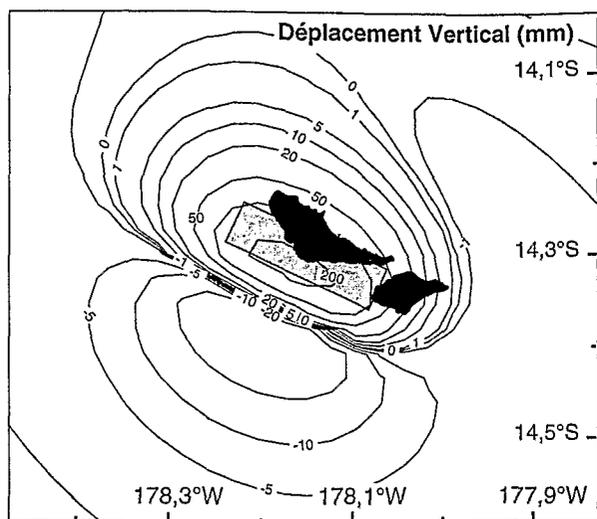


Figure 4. Carte des déplacements verticaux associés au séisme du 12 mars 1993. Ces mouvements ont été modélisés en utilisant le modèle de dislocation d'Okada, avec la solution CMT du séisme, mais en relocalisant la zone de rupture, de manière à obtenir des mouvements verticaux compatibles avec ceux observés 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). Bien que le nombre des mesures de soulèvement soit très réduit, le domaine de solutions réalistes est assez restreint. Le meilleur ajustement correspond à un événement situé à proximité immédiate de la pointe sud-ouest de Futuna, à  $178,15^{\circ}\text{W}$  et  $14,30^{\circ}\text{S}$ , vers 8 km de profondeur, ce qui engendre un déplacement vertical positif de 20 cm à Léava et de 5 cm à Vélé (figure 4). Compte tenu de la très faible profondeur de ce fort séisme ( $M_w : 6,4$ , ce qui correspond à une surface de  $20 \times 10$  km pour un glissement de 0,7 m), la rupture a pu quasiment atteindre la surface au sud-ouest de Futuna. Ceci est tout à fait cohérent avec le fait que le séisme a provoqué un raz de marée sur les côtes sud et ouest de l'île. De même, les habitants rapportent avoir entendu le grondement du séisme, ce qui atteste aussi une source superficielle.

Une simulation de l'évolution de la déformation verticale pour le site de Vélé est présentée sur la figure 5. Cette simulation est basée sur le modèle de dislocation d'Okada (1985) pour une relaxation de contraintes augmentant

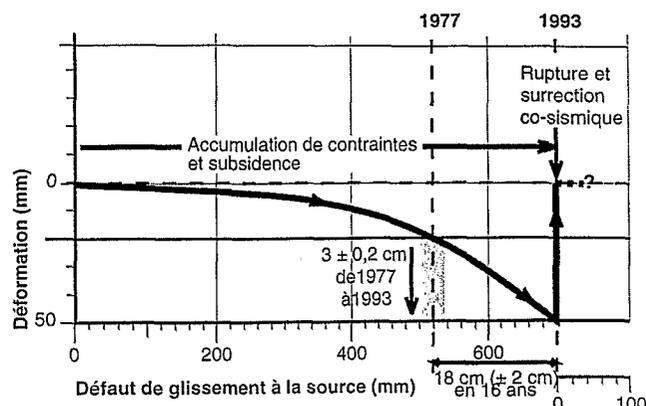


Figure 5. Évolution de la déformation verticale à Vélé, déduite d'une simulation du cycle d'accumulation/relaxation des contraintes associées au séisme du 12 mars 1993 (voir texte) et des observations sur les microatolls.

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 ( $\pm 2$  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  $52 \pm 2$  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 nous ne possédons qu'un nombre limité d'observations de terrain. Cette vitesse constitue toutefois la première estimation, minimale, de la vitesse de convergence au niveau de l'île de Futuna.

#### 4. Conclusion

L'analyse de la croissance des microatolls vivant en limite du niveau marin actuel sur le platier de la côte sud de l'île de Futuna fournit des renseignements précieux sur l'occurrence et l'amplitude des mouvements verticaux récents, et permet d'étudier l'aléa sismique en l'absence de données sismologiques précises. Les mouvements verticaux observés in situ et par radiographie X permettent de préciser la localisation de la faille ayant joué lors du séisme de 1993 et de mettre en évidence l'accumulation des contraintes associées à ce séisme.

**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

- Grzeszczyk A., Eissen J.-P., Dupont J., Lefevre C., Maillat 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
- Grzeszczyk A., Monzier M., Dupont J., Eissen J.-P. et Maillat P. 1989. *Carte géologique à l'échelle 1/25 000e de Futuna et Alofi (îles de Horn)*, TOM de Wallis et Futuna, Orstom Nouméa.
- Grzeszczyk A., Lefevre C., M. Monzier M., Dupont J., Eissen J.-P. et Maillat P. 1991. Mise en évidence d'un volcanisme transitionnel pliocène supérieur sur Futuna et Alofi (SW Pacifique) : un nouveau témoin de l'évolution géodynamique nord-Tonga, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, 713-720
- Knutson D.W., Buddemeier R.W. et Smith S.V. 1972. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals, *Science*, 177, 270-272
- Louat R., Monzier M., Grzeszczyk A., Dupont J., Eissen J.-P. et Maillat P. 1989. Sismicité superficielle à proximité des îles de Horn (Territoire de Wallis et Futuna, Pacifique sud) : caractéristiques et conséquences, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 489-494
- 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
- Régnier M. 1994. Sismotectonique de la ride de Horn (îles de Futuna et Alofi), un segment en compression dans la zone de fracture Nord-Fidjienne, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 318, série II, 1219-1224
- Savage J. 1980. In : Naborro F.R.N. (éd.), 'Dislocations in seismology' from 'dislocations in solids', North Holland Pub. Co., Amsterdam
- Stoddart D.R. et Scoffin T.P. 1979. Microatolls: review of form, origin and terminology, *Atoll Research Bull.*, 224, 1-17
- Taylor F., Jouannic C., Gilpin L. et Bloom A.L. 1982. Coral colonies as monitors of change in sea level of the land and sea: application to vertical tectonism, in : *Proc. IVth Int. Coral Reef Symp.*, 1, 485-492
- Woodroffe C. et McLean R. 1990. Microatolls and recent sea level change on coral atolls, *Nature*, 344, 531-534

