



## Apport des travaux de géologie et de géophysique de l'équipe IRD (Ex ORSTOM) du centre de Nouméa à la compréhension de l'origine et de l'évolution des archipels de Wallis et Futuna

Bernard Pelletier<sup>1</sup>

Les archipels de Wallis et Futuna (Territoire d'Outre-Mer, TOM, de Wallis et Futuna) sont situés dans le Pacifique Sud-Ouest (176 à 178° de longitude Ouest et 14° de latitude Sud) au Nord-Est des îles Fidji et au Nord de la terminaison septentrionale de l'arc insulaire actif des Tonga (Fig. 1).

Ces deux archipels, éloignés d'environ 250 Km et actuellement portés par la même plaque tectonique, la plaque Pacifique, ont une histoire géologique différente car ils sont situés de part et d'autre d'une zone de subduction fossile. En effet, ils sont séparés par une succession de fossés profonds (plus de 4 500 m) qui soulignent, dans le prolongement de la fosse des Tonga, la terminaison orientale du linéament fossile du Vitiav (Brocher, 1985; Pelletier et Auzende, 1996). Ce linéament est un élément fondamental de l'évolution géologique du Pacifique Sud-Ouest puisqu'il sépare la croûte Pacifique d'âge crétacé, au Nord, des bassins Nord-Fidjien et de Lau d'âge mio-plio-quadernaire au Sud. Dans la plupart des reconstitutions, ce linéament est considéré comme une zone de frontière convergente entre les plaques Pacifique et Australie avant le Miocène supérieur et le développement du bassin Nord-Fidjien (Fig. 1).

Les îles Wallis font partie d'une chaîne complexe de monts sous-marins, de bancs et d'îles bordant, au Nord, le linéament du Vitiav et appelée "Northern Melanesian Borderland" (Fig. 1); elles se situent en fait le long de la chaîne ou ride des Samoa d'âge Miocène moyen à Actuel et issue d'un point chaud situé actuellement à l'Est des îles Samoa.

L'archipel de Futuna (comprenant les îles de Futuna et d'Alofi, et également appelé archipel de Horne), est situé au Sud de la subduction fossile du Vitiav, dans la zone de jonction entre les bassins de Lau et Nord-Fidjien, à proximité de la zone de faille transformante Nord-Fidjienne, un des segments actuels de la frontière des plaques Pacifique/Australie et une des failles transformantes les plus actives du globe. Cette zone transformante, au jeu senestre, relie la terminaison nord de la fosse des Tonga à l'axe d'accrétion océanique du centre du bassin Nord-Fidjien, en passant par le bord nord de la plate-forme fidjienne (Fig. 1).

Les îles de Futuna et Alofi sont régulièrement soumises à des séismes superficiels et locaux de forte magnitude, qui provoquent raz-de-marée et glissements de ter-

rain. Les risques naturels liés à cette sismicité sont amplifiés par le fait que la population (entièrement installée sur Futuna) vit exclusivement sur une bande côtière de 50 à 400 m de large, entre un étroit platier récifal et une falaise côtière. Le dernier séisme du 12 mars 1993 (Mw 6.4 et ressenti 8) a causé la mort de trois personnes, des dégâts importants aux infrastructures et le soulèvement de la côte sud de l'île de Futuna.

### Géologie des îles de Wallis et Futuna

Suite aux travaux pionniers de géologie d'Aubert de la Rue (1935 et 1963) et de Lacroix (1940) sur Wallis et Futuna, et de Stearns (1945) et Mac Donald (1945) à Wallis, l'équipe de géologie-géophysique du centre ORSTOM de Nouméa lança, dans les années 1980, un programme sur l'étude géologique des îles Wallis et Futuna.

Les travaux menés à Wallis (Price *et al.*, 1991) précisent les excellents travaux antérieurs et indiquent que ces îles sont constituées de coulées basaltiques et de dépôts pyroclastiques très récents, d'âge Pléistocène supérieur à sub-actuel (moins de 0,5 Ma). La nature et l'âge (Crétacé terminal?, Miocène?) du *substratum* de l'île, reposant sur une croûte Pacifique d'âge supposé crétacé, sont inconnus. Les roches éruptives les plus récentes sont de nature tholéiitique alors que les anciennes, dominantes, sont de nature alcaline. Si ce volcanisme quadernaire de Wallis est bien trop jeune pour être directement relié au passage de la plaque Pacifique au-dessus du point chaud des Samoa, sa nature est cependant très similaire à celle des laves des îles Samoa. Il est proposé que les magmas basaltiques de Wallis aient été générés par un changement thermique en relation avec la déformation actuelle le long de la frontière décrochante entre les plaques Pacifique et Australie (induite par la déchirure au Nord Tonga de la plaque Pacifique subduite).

Les travaux menés sur les îles de Futuna (Fig. 2 et Photo 1) de 1982 à 1987 (Grzeszczyk *et al.*, 1987, 1988 et 1991) ont permis de dresser la première carte géologique de l'archipel (Fig. 2) et d'identifier trois formations volcaniques sous-marines superposées (Photo 2), d'âge Pliocène supérieur et constituées pour l'essentiel de laves en coussin, de brèches

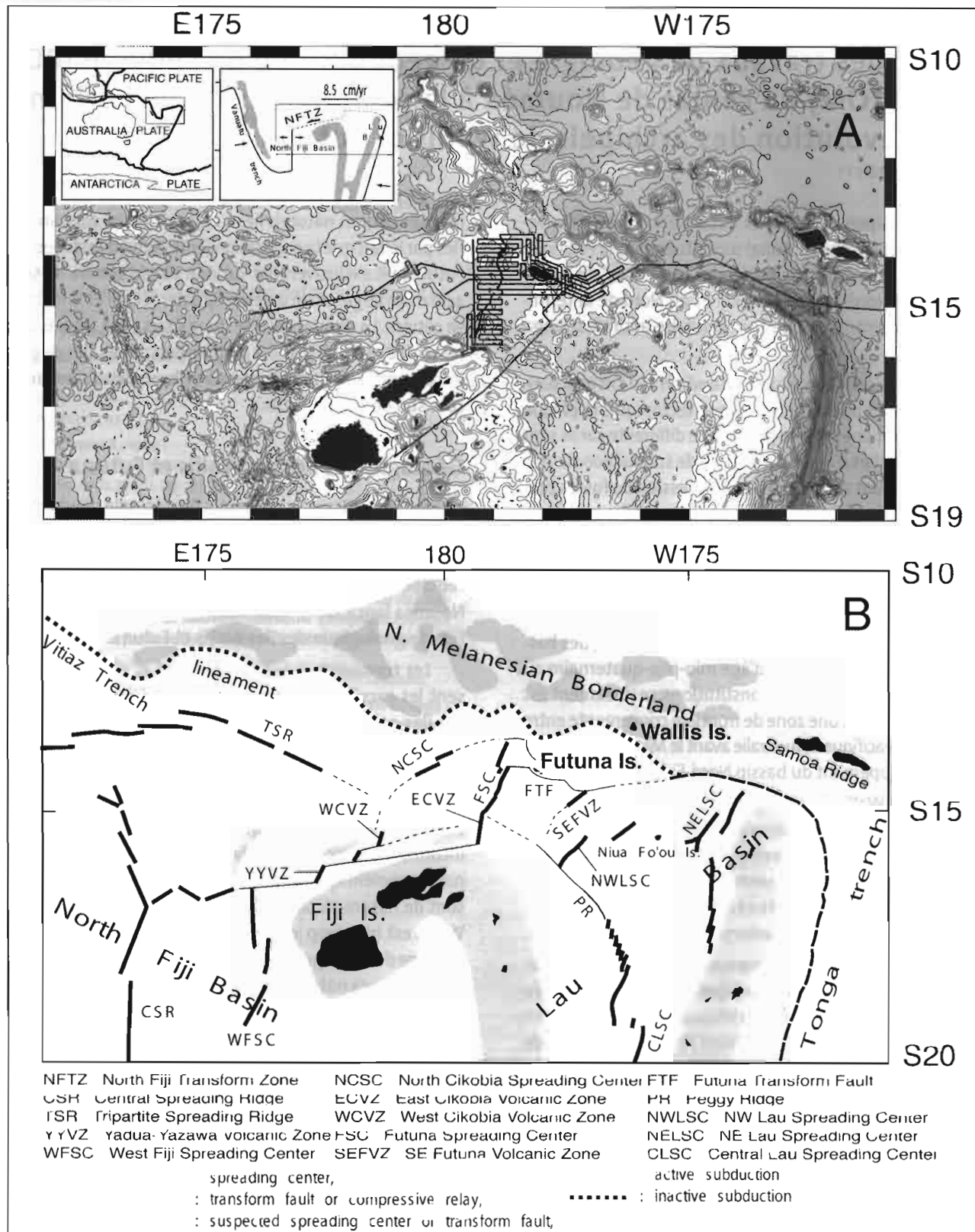


Figure 1: Les archipels de Wallis et Futuna, localisation et cadre géodynamique (Pelletier et al., 2001)  
 A: Bathymétrie de la région avec localisation des îles de Wallis et Futuna et de la navigation des campagnes de l'Atalante en octobre 1999 et mars 2000.  
 B: Schéma tectonique de la région montrant en particulier les zones d'ouverture et les zones transformantes, y compris celles découvertes en mars 2000 lors de la campagne ALAUFI.

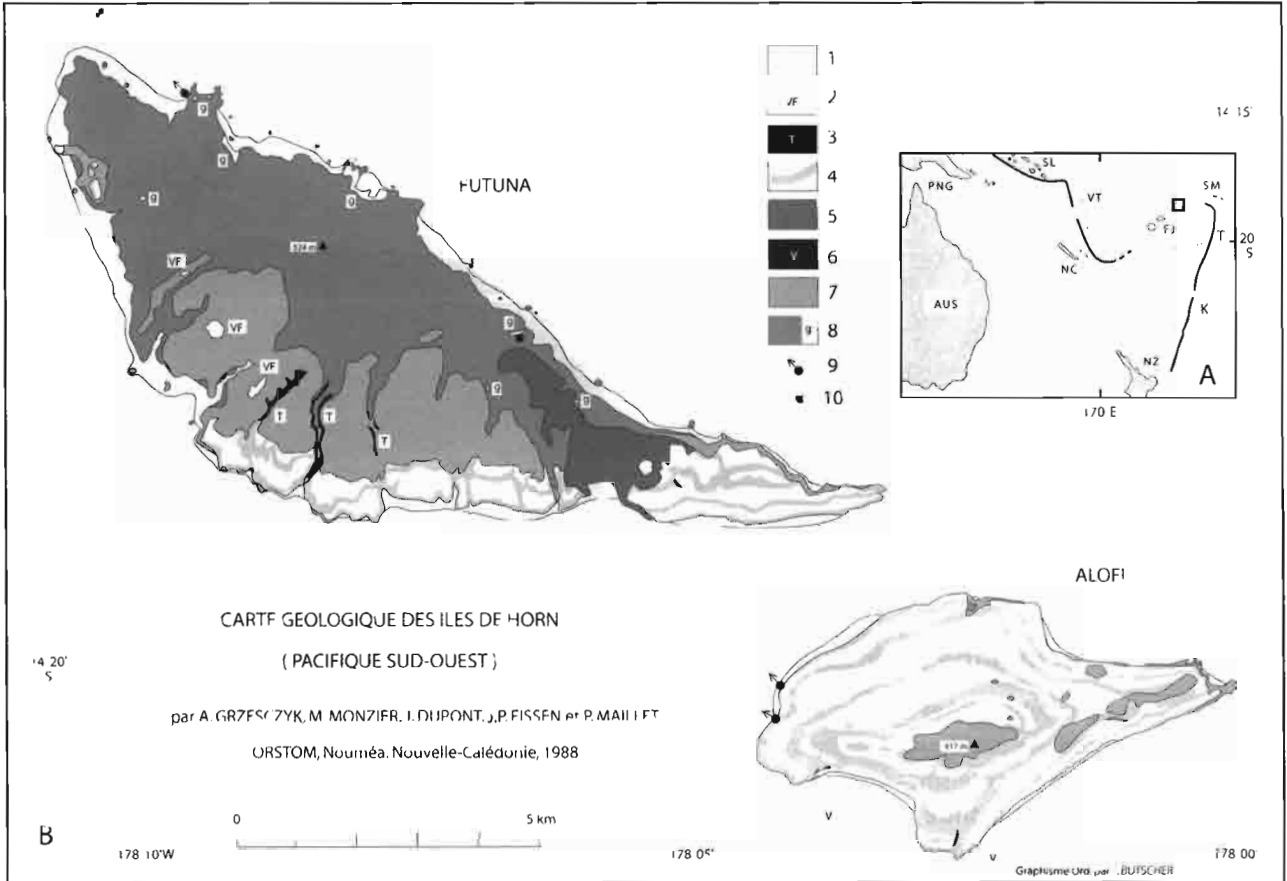


Figure 2 : Carte géologique simplifiée des Iles de Futuna et Alofi (Iles de Horne) (Grzeszyk et al., 1988). 1. Formations superficielles, 2. Formations terrigènes, 3. Formations détritiques, 4. Calcaires récifaux, 5. Basaltes transitionnels, 6. Basaltes ankaramitiques, 7. Andésites basiques, 8. Basaltes tholéitiques et gabbros, 9. Indices de thermalisme de basse température, 10. Indices sulfurés. 1 à 4 : Quaternaire, 5 à 8 : Pliocène supérieur à terminal.

de laves en coussin, de hyaloclastites et de rares coulées massives prismées. Des petits massifs gabbroïques sont associés aux basaltes tholéitiques en pillow de la base de la formation inférieure. Les basaltes de type MORB-N à MORB-E et les andésites basiques sont recouverts par des basaltes transitionnels enrichis en alcalins de type intra-plaque.

Le long de la côte sud de Futuna et sur presque la totalité d'Alofi, ces séries volcaniques sont recouvertes par des terrasses récifales étagées, culminant à une altitude de 300 m (sur Alofi) et dont l'âge est supposé quaternaire (Photo 3).

La modification du volcanisme vers la fin du Pliocène est interprétée par les auteurs comme le marqueur du passage d'un régime convergent (subduction du Vitiaz-Tonga) à un régime transformant (zone de fracture Nord-fidjienne). La présence de laves en coussin et des calcaires récifaux soulevés (Photo 3) atteste, après l'arrêt du volcanisme, d'une phase de surrection et d'émersion des édifices volcaniques, toujours active, comme en témoigne le récent soulèvement de l'île lors du séisme destructeur du 13 mars 1993.



Photo 1 : Côte est de Futuna.



Photo 2: Pillows à Futuna.



Photo 3: Terrasse à Alofi.

## Séismicité et tectonique régionale

Des études sur la séismicité et la cinématique autour de Futuna ont été menées par l'équipe IRD dans les années 1990, suite notamment aux séismes importants de 1986 et 1993. Ces travaux ont montré que la zone transformante Nord-Fidjienne, composée de deux grands segments, était marquée, au Sud de Futuna, par une large bande de sismicité superficielle E-W, avec essentiellement des séismes de type décrochement et de magnitude allant jusqu'à 6,5 (Louat *et al.*, 1989 ; Pelletier et Louat, 1989). Toutefois, les séismes localisés immédiatement au Sud de Futuna sont caractérisés par des solutions de type faille inverse (séismes du 27 mars 1986 et du 12 mars 1993), avec un plan WNW-ESE à pendage NNE sous Futuna (Louat *et al.*, 1989 ; Régnier, 1994), ce qui indique que Futuna est un segment en compression active le long de la zone transformante (Régnier, 1994).

La vitesse relative le long de cette zone transformante Nord-Fidjienne est estimée à 8,5 cm/an au Nord de Fidji ; elle atteint 24 cm/an à sa jonction avec l'extrémité nord de la fosse des Tonga (Bevis *et al.*, 1995 ; Pelletier *et al.*, 1989 et 1998). Il est également suggéré que cette frontière large, complexe et encore mal connue, soit jalonnée par des bassins en *pull-apart* d'orientation NS à NE-SW, accompagnés localement d'ouverture océanique (Pelletier, 1999).

## Néotectonique et aléa sismique à Futuna

Afin d'appréhender l'aléa sismique à Futuna, une étude pluridisciplinaire est conduite par l'équipe de géologie-géophysique du centre IRD de Nouméa depuis 1998/1999,

dans le cadre du Programme National sur les Risques Naturels. Cette étude combine travaux à terre et en mer. Les travaux réalisés et résultats déjà obtenus sont les suivants :

- quantification des mouvements verticaux co-sismiques (de 0 à 50 cm) associés au séisme du 12 mars 1993, grâce à l'étude de la morphologie du platier et des coraux le long des côtes de Futuna et Alofi (photos 4 et 5) (Cabioch *et al.*, 1999 ; Pelletier *et al.*, en préparation). Ceci permet une nouvelle localisation de ce séisme (vers 5 km de profondeur, immédiatement au Sud de Futuna) en ajustant le modèle de dislocation aux données de terrain ;
- installation, pour la première fois à Futuna, d'un réseau de stations sismologiques (1 station large bande et 3 stations courtes périodes), en 1999, et enregistrement depuis de plusieurs centaines de séismes. La sismicité est restreinte à la partie nord-ouest de l'île et le long d'un linéament NE-SW à l'Est de l'île. La répartition de la sismicité indique que la zone de rupture du séisme de 1993 est relativement silencieuse (Régnier *et al.*, en préparation) ;
- installation et suivi d'un réseau de sites et stations géodésiques depuis 1998/1999 (une dizaine de sites dont un récepteur GPS permanent et une balise Doris), ainsi qu'une campagne de nivellement le long de la côte de Futuna en collaboration avec les services topographiques territoriaux de Nouvelle-Calédonie. Les taux de déformation observés sont faibles (inférieurs au mm/an) et la longueur des séries temporelles (quelques années) est encore insuffisante pour permettre une modélisation fiable des déformations en termes d'accumulation de contraintes inter-sismiques (Calmant *et al.*, en préparation) ;

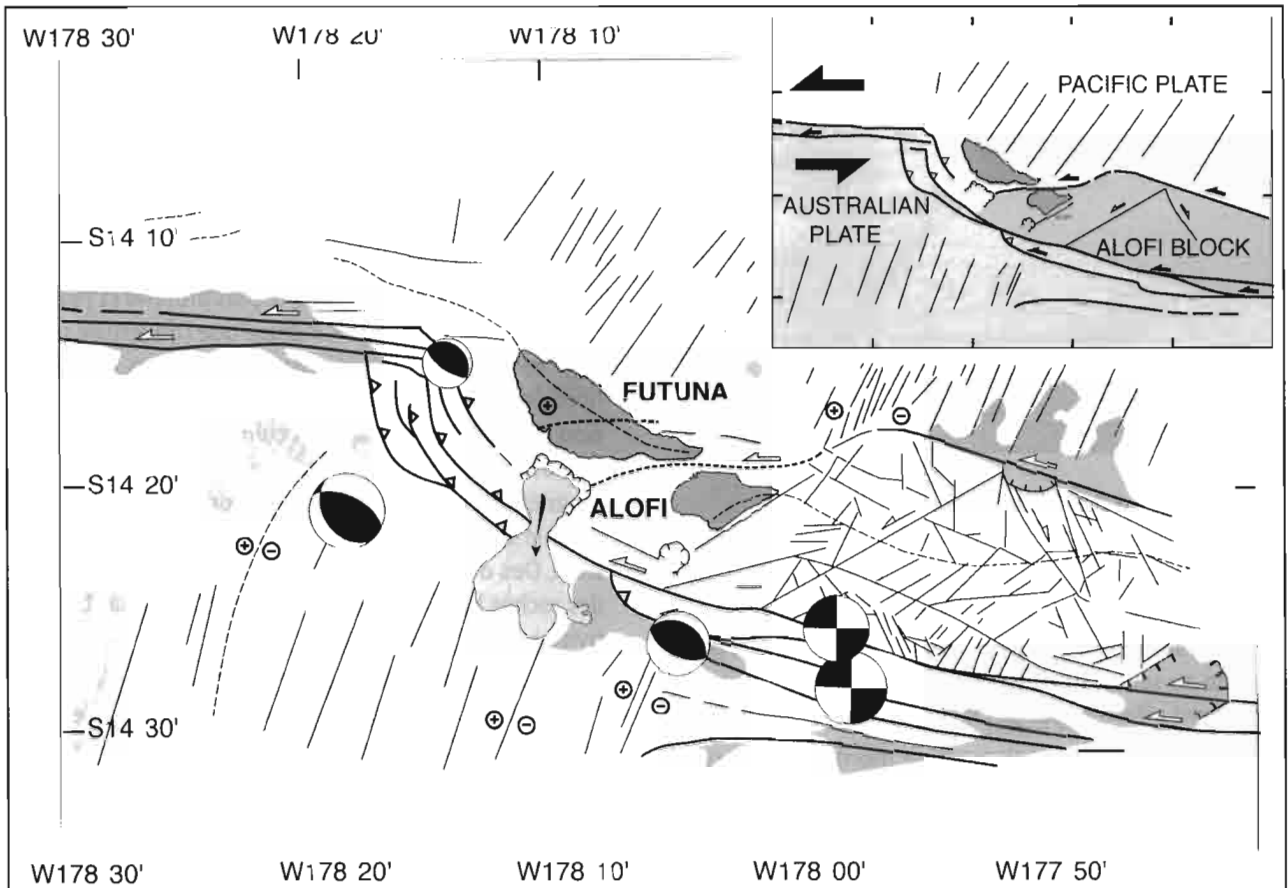


Figure 3: Schéma structural des alentours immédiats de Futuna et Alofi, établi à partir des données de bathymétrie multi faisceaux recueillies lors du transit Papeete-Nouméa en octobre 1999. Les mécanismes au foyer des séismes superficiels (projection demi-sphère inférieure) sont reportés. (Pelletier et al., 2000).

■ identification des éléments structuraux aux alentours immédiats des îles (Fig. 3), grâce aux données du sondeur multifaisceaux EM12 du N.O. l'Atalante lors d'un lever effectué au cours d'un transit, en octobre 1999, entre Papeete et Nouméa (Pelletier et al., 2000). Les îles de Futuna-Alofi forment la partie émergée d'une ride sous-marine, appelée ride de Futuna-Alofi, qui se prolonge vers le Sud-Est, sur 20 km, à moins de 1000 m de profondeur.

La ride de Futuna, affectée de nombreuses fractures NE-SW et SE-NW, est située entre deux fosses allongées marquant l'activité de failles décrochantes : l'une au Nord-Ouest de la ride est orientée E-W, l'autre au Sud-Est est orientée N100-110°E (Fig. 3). La ride, de forme arquée, constitue donc un relais entre deux systèmes linéaires actifs. Compte tenu de la cinématique actuelle de la frontière Pacifique-Australie et comme l'indiquent les solutions des mécanismes focaux des séismes régionaux, ces failles fonctionnent en décrochements sénestres.

Dans un tel système, la ride subit donc de la transpression sur sa bordure sud et de la compression frontale sur son flanc NW, dont l'orientation est presque perpendiculaire à la direction du mouvement régional. Une zone de faille rectiligne, orientée N110°E, limite également



Photo 4: Corail soulevé.



Photo 5: Exemple de faille inverse.

la ride au Nord et se raccorde aux chevauchements frontaux en isolant un bloc indépendant, le bloc d'Alofi (Fig. 3). Il est probable qu'un tel système se répète à échelle plus réduite au sein même de l'île de Futuna, et donc que les îles soient affectées par des failles actives superficielles.

Ce lever permet également de montrer que la ride Futuna-Alofi se situe clairement au sein d'un domaine dont la fabrique générale, constituée de rides parallèles et de quelques monts sous-marins, est typique de celle de la croûte océanique. On constate en outre que l'orientation de la ride est quasi perpendiculaire à celle de la fabrique océanique, ce qui évoque le dispositif des reliefs liés aux zones de fracture. En conséquence, on peut envisager que la ride de Futuna-Alofi représente une ancienne zone de fracture reprise localement en compression en raison d'un changement cinématique important ayant affecté la frontière Pacifique-Australie. Ces résultats sont cohérents avec les données de la géologie de l'île de Futuna qui comprend essentiellement des laves en coussins et quelques gabbros, dont les affinités sont de type MORB, au moins pour les soubassements de l'île.

## Cartographie régionale autour de Futuna

Afin de mieux comprendre la géométrie de la zone transformante Nord-Fidjienne et la place de Futuna dans ce dispositif, une cartographie détaillée et un lever géophysique de la région autour des îles de Futuna et Alofi furent réalisés lors de la campagne ALAUFI du N.O. L'Atlante en mars 2000 (Pelletier *et al.*, 2001) (Fig. 4).

L'un des résultats majeurs de cette campagne a été la découverte de plusieurs axes d'ouverture océanique actifs. L'un d'eux, baptisé "dorsale de Futuna", a été cartographié en quasi-totalité. Cette dorsale se situe à la fois dans la

zone économique française et dans celle des Fidji. C'est la première dorsale identifiée à une telle proximité d'un territoire français (50 km pour la zone la plus proche de Futuna). La dorsale de Futuna, orientée NNE-SSW, s'étend sur plus de 200 km depuis le Nord des îles Fidji jusqu'au Nord-Ouest de Futuna.

Cette dorsale est composée de trois segments en échelon, de moins en moins profonds en allant vers le Nord (Fig. 4). Le segment sud, le plus profond (3 739 m au maximum), en forme de V, indique que l'ouverture se propage vers le Sud, en direction des îles fidjiennes. Le segment nord présente une ride axiale très marquée; il se situe à 600 mètres de profondeur et culmine à 1 300 mètres au-dessus du plancher océanique environnant. Les données magnétiques indiquent que le taux d'ouverture de cette dorsale serait de 4 cm par an au niveau de sa partie centrale. Des dragages ont par ailleurs permis de prélever des roches basaltiques très fraîches, témoignant de l'activité actuelle de la dorsale.

La campagne ALAUFI a, de plus, permis d'identifier, à l'Ouest et au Nord-Ouest de Futuna, des zones de failles orientées Est-Ouest se raccordant perpendiculairement à la dorsale. La principale zone de faille, marquée par de profonds sillons et des massifs soulevés, passe par les îles de Futuna et Alofi. Baptisée "faille transformante de Futuna" (Fig. 4), elle est responsable de la structuration, du soulèvement et, bien évidemment, des tremblements de terre affectant régulièrement l'archipel. Ces nouvelles données marines contribuent à l'étude de l'aléa sismique à Futuna en replaçant les îles dans leur cadre structural, en quantifiant le mouvement coulissant au niveau de l'archipel (estimé à 4 cm/an) et, combinées aux données du soulèvement co-sismique à terre, en estimant le temps de récurrence des séismes destructeurs du type de 1993 (Pelletier *et al.*, en préparation).

Sur un plan plus fondamental, ces données offrent une image précise de l'anatomie et du fonctionnement d'une grande zone transformante. Des comparaisons géochimiques des laves prélevées sur l'axe de la dorsale active de Futuna avec celles des régions avoisinantes (bassins de Lau et Nord-Fidjien, îles de Tonga, Samoa et Rotuma) sont en cours dans les universités de Brest et de Nantes (Guivel, Benoit *et al.*, en prep.) dans l'optique de mieux comprendre la nature du manteau, très diversifiée et complexe dans cette région. Enfin, l'axe de la dorsale de Futuna étant le système d'accrétion océanique actif le plus proche de côtes françaises, ce site ouvre des perspectives intéressantes dans le cadre des réflexions sur l'instrumentation des axes d'accrétion actifs.

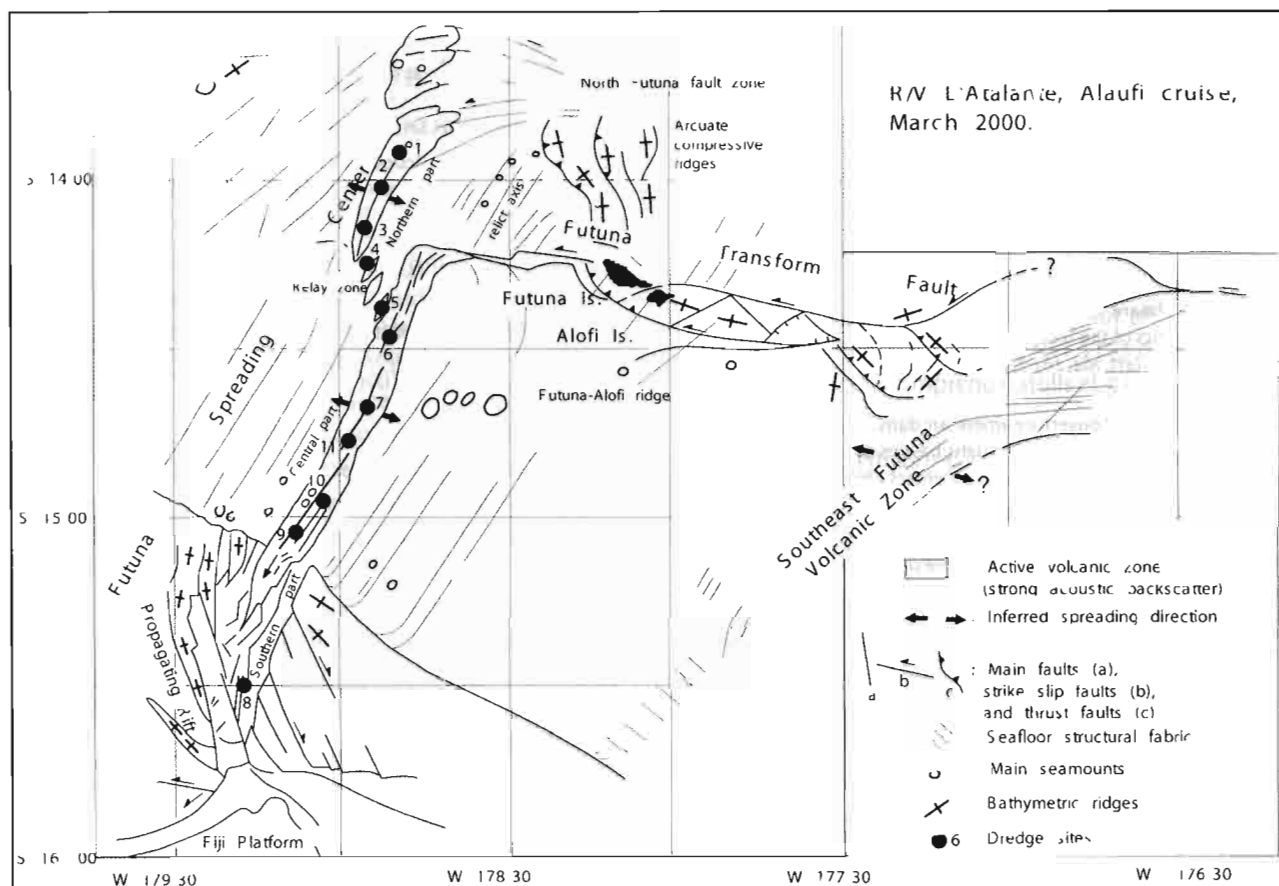


Figure 4: Schéma structural de la dorsale et de la zone transformante de Futuna, établi à partir des données de la campagne ALAUF (Pelletier et al., 2001).

## Références

Aubert de la Rue E., 1935 :

La constitution géologique des îles Wallis et Futuna.

*C. R. Acad. Sci.*, 200, 328-330.

Aubert de la Rue E., 1963 :

Introduction à la géologie et à la géographie des îles Wallis et Futuna.

*J. Soc. Océanistes*, 19, 47-56.

Bevis M., Taylor F.W., Schutz B.E., Recy J., Isacks B.L., Helu S., Singh R., Kendrick E., Stowell J., Taylor B., Calmant S., 1995 :

Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga arc.

*Nature*, 374, 249-251.

Cabioch G., Calmant S., Pillot R., Pelletier B., Regnier M., Lebellegard P., 1999 :

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

*C. R. Acad. Sci.*, 329, 429-434.

Grzeszyk A., Eissen J.P., Dupont J., Lefevre C., Maillet P., Monzier M., 1987 :

Pétrographie et minéralogie des îles Futuna et Alofi, TOM de Wallis et Futuna (Pacifique Sud-Ouest).

*C. R. Acad. Sci.*, 305, 11, 93-98.

Grzeszyk A., Monzier M., Lefevre C., Butterlin J., Dupont J., Eissen J. P., Glaçon G., Maillet P., Muller C., 1988 :

Géologie des îles Futuna et Alofi (TOM des îles Wallis et Futuna. Pacifique sud-ouest). Données préliminaires.

*Géologie de la France*, (2/3), 131-134.

Grzeszyk A., Monzier M., Dupont J., Eissen J.P., Maillet P., 1988 :

Carte géologique à l'échelle 1/25.000ème de Futuna et Alofi (îles de Horn). TOM de Wallis et Futuna. ORSTOM Nouméa.

Grzeszyk A., Lefevre C., Monzier M., Eissen J.P., Dupont J., Maillet 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.*, 312, 11, 713-720.

Lacroix A., 1940 :

Les caractéristiques des laves des îles situées au sud de l'équateur formant la limite du domaine circum-Pacifique dans la région des Nouvelles-Hébrides et de la fosse Tonga-Kermadec.

*C. R. Acad. Sci.*, 211, 37-40.

Louat R., Monzier M., Grzeszyk A., Dupont J., Eissen J.P., Maillet P., 1989 :

Sismicité superficielle à proximité des îles de Horn (Territoire de Wallis et Futuna - Pacifique Sud) : caractéristiques et conséquences.

*C. R. Acad. Sci.*, 308, 11, 489-494.

**Macdonald G.A., 1945 :**

Petrography of the Wallis Islands.  
*Bull. Geol. Soc. Amer.*, 56, 861-872.

**Pelletier B., Louat R., 1989 :**

Seismotectonics and present-day relative plate motions in the Tonga-Lau and Kermadec-Havre region.  
*Tectonophysics*, 165: 237-250.

**Pelletier B., Auzende J.-M., 1996 :**

Geometry and structure of the Vitiav trench lineament (SW Pacific).  
*Marine Geophys. Res.*, 18, 305-335.

**Pelletier B., Calmant S., Pillet R., 1998 :**

Current tectonics of the Tonga-New Hebrides region.  
*Earth Planet. Sci. Lett.* 164, 263-276.

**Pelletier B., 1999 :**

Subduction de ride et ouverture arrière-arc dans le Pacifique Sud-Ouest (arcs des Tonga-Kermadec et du Vanuatu, bassins de Lau et Nord-Fidjien).  
*Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Paris VI.*

**Pelletier B., Lagabrielle Y., Cabioch G., Calmant S., Regnier M., Perrier, 2000 :**

Transpression active le long de la frontière décrochante Pacifique-Australie: les apports de la cartographie multifaisceaux autour des îles Futuna et Alofi (Pacifique Sud-Ouest).  
*C. R. Acad. Sci.*, 331, 127-132.

**Pelletier B., Lagabrielle Y., Benoit M., Cabioch G., Calmant S., Gareil E., Guivel C., 2001 :**

Newly identified segments of the Pacific-Australia plate boundary along the North Fiji transform zone.  
*Earth and Planet. Sci. Lett.*, 193, 347-358.

**Price R.C., Maillet P., McDougall I., Dupont J., 1991 :**

The geochemistry of basalts from the Wallis Islands, Northern Melanesian Borderland: Evidence for a lithospheric origin for Samoan-type basaltic magmas.  
*J. Vol. Geotherm. Res.*, 45, 267-288.

**Regnier 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.*, 318, II, 1219-1221.

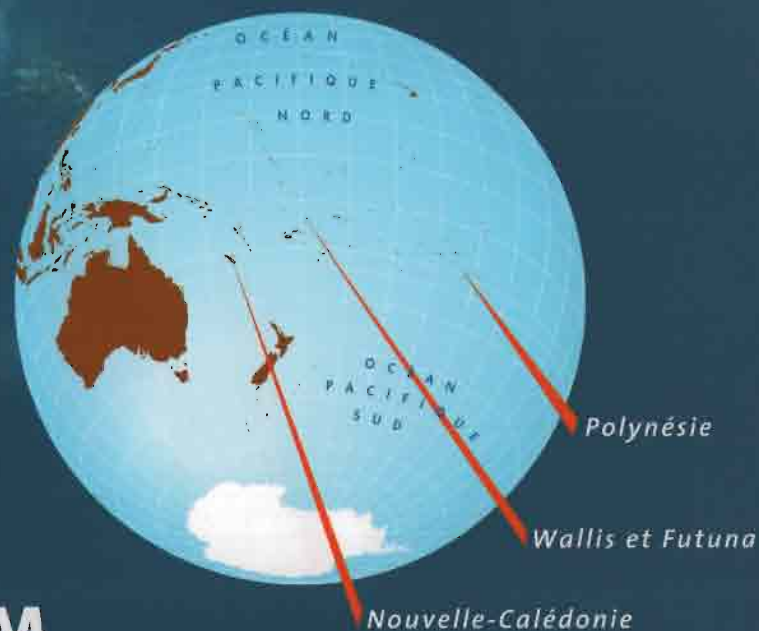
**Stearns H.T., 1945 :**

Geology of the Wallis Islands.  
*Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 849-860.



# Géologues

REVUE OFFICIELLE DE L'UNION FRANÇAISE DES GÉOLOGUES



**SPÉCIAL DOM-TOM**  
*Océan Pacifique*