

## Mouvements relatifs des plaques dans le Sud-Ouest Pacifique

Bernard PELLETIER et Rémy LOUAT

*Résumé* — Nous proposons un modèle cinématique actuel du Sud-Ouest Pacifique basé essentiellement sur 754 mécanismes au foyer de séismes superficiels.

### Present-day relative plate motions in the South West Pacific

*Abstract* — We propose a plate tectonics model for the South West Pacific based mainly on 754 focal mechanism solutions from shallow earthquakes.

*Abridged English Version* — I. INTRODUCTION. — In the SW Pacific, the motion of convergence between the Pacific (P) and Indo-Australian (IA) plates is accommodated by two subduction zones of opposite polarity behind which active back-arc extensions occur. The model RM-2 [1] quantifies the consumption rates along the New Hebrides (NH) and Tonga-Kermadec (TK) trenches, assuming no back-arc opening. Using all the available data (seismology, morphology and magnetism) plates and microplates boundaries as well as their relative motions can be inferred. We used 754 available focal mechanism solutions from shallow earthquakes including 732 Centroid Moment Tensor Solutions for the period 1977-1987 ([2] to [9]) and 22 additional solutions within back-arc domains for the period 1965-1976 ([10] to [16]). Spreading rates in the North Fiji Basin (NFB) and the Lau Basin given by the youngest magnetic anomalies, as well as tectonic features identified by recent studies, have been also considered ([17] to [30]). Focal mechanisms data are reported on Plate I. The proposed model ([31], [32]) is summarized in Plate II and Tables I and II.

II. MAIN RESULTS. — The highest consumption rates occur along the northern parts of the NH (16 cm/y) and TK (18 cm/y) trenches. Lowest rates are found where ridges are subducting: respectively 9 and 8 cm/y in front of the d'Entrecasteaux and the Louisville ridges. In front of these ridges, the observed direction of converging motion is that predicted by the model RM-2, and back-arc extension does not exist (Louisville) or is replaced by compression (segment east of NH central islands from 13°30' to 16°30'S).

Within the TK back-arc domain, extensional tectonics changes in trend from N135°E in the South to N93°E in the North. Extension rate is 1 to 2 cm/y in the Havre Troughs and reaches 8 cm/y in the Lau Basin. Conjointly, the consumption rate jumps from 7-9 cm/y along the Kermadec trench to 16-18 cm/y along the Tonga trench. Vector diagrams in Tonga between 24 and 19°S require a right-lateral strike-slip motion (0.3 to 1.7 cm/y) in a domain somewhere between the arc up to and including the Lau Basin spreading center.

The NH back-arc domain is composed of a central compressive belt flanked southward and northward by zones of extension. The rate of extension is especially high in the north (7 cm/y).

A N72°E opening tectonics is inferred along the N-S trending NFB spreading center. Two additional zones with smaller rate of extension are proposed within the NFB: the 176°EZ feature (3 cm/y) and the Hazel Holme zone. Near the central triple

Note présentée par Jean AUBOUIN.

junction [24], the model is simplified and is not in full agreement with the data. Improvement of the model would require motions along additional boundaries [32].

A valid approximation of the P-IA boundary is given by the following structures (*Pl. II*): the TK trench, the Fiji Fracture Zone, the NFB spreading axis, the Southern NFB Fracture Zone (SNFBFZ) connecting across the NFB the southern tip of the spreading center with the NH trench at 21-22°S, the NH trench north of 21-22°S. Progressive rotation of slip motion along the southern part of the NH trench suggests that the SNFB microplate is almost attached to the IA plate, and that the major plate boundary is not the southern NH trench but the SNFBFZ trending N70°E and located north of the Matthew Hunter arc. The tectonic style of the southern NH subduction zone largely differs from the one of the Northern Tonga subduction zone where direction of converging motion does not change up to the large left-lateral strike-slip Fiji Fracture Zone.

III. CONCLUDING REMARKS. — Application of plate tectonics, even in an area as complex as the SW Pacific, gives a coherent present-day model which successfully accounts for the seismological and marine data. Study of shallow earthquake focal mechanism solutions, which are coherent on a ten year window and in good accordance with the morphotectonic features, allows accurately assessing the directions of relative motions.

I. INTRODUCTION. — Dans le Sud-Ouest Pacifique, la frontière entre les plaques Pacifique (P) et Indo-Australienne (IA) se caractérise par deux subductions à vergences opposées derrière lesquelles s'ouvrent des bassins marginaux. Le modèle RM-2 [1] donne le mouvement de convergence le long des zones de subduction des Nouvelles-Hébrides (NH) et des Tonga-Kermadec (TK) sans tenir compte des ouvertures arrière-arc. En utilisant l'ensemble des données actuellement disponibles (sismologie, bathymétrie, magnétisme), les limites de plaques et microplaques ainsi que leurs mouvements relatifs peuvent être appréhendés. L'essentiel des données provient de la sismicité superficielle et des mécanismes aux foyers (*pl. I*). Nous disposons pour l'ensemble « arc NH, Bassin Nord-Fidjien (NFB), Bassin de Lau, Fossés du Havre et arc TK » de 754 mécanismes au foyer de séismes superficiels incluant 732 solutions de type « Centroid Moment Tensor Solution » sur la période 1977-1987 ([2] à [9]) et 22 solutions supplémentaires dans les bassins arrière-arc sur la période 1965-1976 ([10] à [16]). Les vitesses d'expansion dans le NFB et dans le bassin de Lau proviennent de l'identification des anomalies magnétiques les plus récentes ([17] à [22]). Les études morphostructurales ont été prises en considération conjointement avec la sismologie pour le tracé et la nature des limites de plaques ([22] à [30]). La juxtaposition de toutes ces données permet de construire un modèle cinématique cohérent ([31], [32]) que nous résumons ici.

II. RÉSULTATS. — Les données provenant des mécanismes focaux sont reportées sur la planche I. Elles permettent de déterminer les directions des mouvements. Le modèle est présenté sur la planche II et dans les tableaux I et II. Seuls les principaux résultats seront commentés.

Les vitesses de convergence sont maximales et élevées au nord des fosses NH (16 cm/an) et TK (18 cm/an). Elles sont minimales au droit des rides entrant en subduction: 9 et 8 cm/an en face des rides d'Entrecasteaux et de Louisville. Dans ces deux derniers cas, la direction du mouvement est identique à celle prédite par le modèle RM-2 et l'extension arrière-arc est supposée nulle (Louisville) ou remplacée par de la compression (segment de 13°30' à 16°30'S à l'est des îles centrales des Nouvelles-Hébrides).

TABLEAU I

Mouvements relatifs le long des Nouvelles-Hébrides et des Tonga-Kermadec.

*Relative motions along the New Hebrides and Tonga Kermadec arcs.*

Arc des Nouvelles-Hébrides			Arc des Tonga-Kermadec				
Vitesse	Azimuth	Latitude	Vitesse	Azimuth	Latitude		
NNHA-IA	16,0	245	} 11°S	TK-P	18,0	276	} 17°S
NNHA-P	7,0	210		IA-TK	8,0	93	
NNHA-IA	15,0	252	} 13°S	TK-P	17,0	290	} 20°S
NNHA-P	5,5	225		IA-TK	8,0	111	
			TK-TK	1,7	195		
CNHA-IA	9,0	266	} 15°S	TK-P	16,5	285	} 24°S
CNHA-WNFB	1,0 <sup>(*)</sup>	86		IA-TK	8,0	111	
			TK-TK	0,3	195		
SNHA-IA	12,0	255	} 20°S	TK-P	8,0	276	} 26°S
SNHA-WNFB	2,0	217		IA-TK	0,0	-	
			} 23°S (172°E)	TK-P	9,0	281	} 28°S
SNFB-IA	1,5	180		IA-TK	2,0	122	
			} 33°S	TK-P	7,0	280	} 33°S
				IA-TK	1,0	135	

(\*) Valeur imposée arbitrairement. WNFB est à 15°S considérée solidaire de P. TK-TK correspond à un mouvement décrochant dextre nécessaire situé dans un domaine allant de l'arc des Tonga au centre d'accrétion du bassin de Lau inclus. Vitesse en cm/an et azimuth en °E. Pour les abréviations des noms de plaques se reporter à la planche II. Dans les calculs la plaque IA est supposée fixe.

(\*) Assigned value. At 15°S we suppose that WNFB is attached to P. TK-TK is an imposed right-lateral strike-slip motion located in a domain extending from the Tonga arc up to and including the Lau basin spreading center. Velocity in cm/y and azimuth in °E. See plate II for the meaning of the abbreviations. The IA plate is fixed.

TABLEAU II

Mouvements relatifs des plaques dans le Bassin Nord-Fidjien.

*Relative plate motions in the North Fiji Basin.*

	P-IA	ENFB-IA	ENFB-P	WNFB-ENFB	WNFB-P
Vitesse	9,6	3	7	8	2
Azimuth	271,	288	264	252	205
	SNHA-WNFB	SNHA-IA	SNFB-WNFB	SNFB-IA	
Vitesse	2	12	10,5	1,5	
Azimuth	217	255	90,	180,	

Le mouvement P-IA est calculé à 17°S-176°E suivant le modèle RM-2 [1]. Les mouvements SNFB-IA et SNFB-WNFB sont donnés à 172°E. Vitesse en cm/an et azimuth en °E. Pour les abréviations des noms de plaques se reporter à la planche II. La plaque IA est supposée fixe.

The motion P-IA is given at 17°S-176°E using the model RM-2 [1]. The motions SNFB-IA and SNFB-WNFB are given at 172°E. Velocity in cm/y and azimuth in °E. See plate II for the meaning of the abbreviations. The IA plate is fixed.

A l'arrière-arc TK, la direction d'extension varie du sud au nord de N135°E à N93°E. Le taux d'extension faible dans les bassins du Havre (1-2 cm/an) atteint 8 cm/an dans le bassin de Lau. Parallèlement, la vitesse de convergence de 7 à 9 cm/an le long de la fosse des Kermadec augmente brutalement au nord de la ride de Louisville, pour atteindre 16 à 18 cm/an le long de la fosse des Tonga. Aux Tonga, entre 24° et 19°S, la composition

des vecteurs de mouvement implique un décrochement dextre faible (0,3 à 1,7 cm/an) situé entre l'arc et l'axe d'accrétion du bassin de Lau inclus.

L'arrière-arc NH est composé d'une zone centrale en compression encadrée au sud et au nord par des zones en extension. Le taux d'extension à l'extrême nord est particulièrement élevé (7 cm/an).

L'essentiel de l'expansion dans le NFB (8 cm/an) se produit le long de la dorsale centrale N-S selon une direction N72°E. Des mouvements d'extension ayant des taux plus faibles existent également le long d'une structure nommée 176°EZ (3 cm/an) et le long de la zone d'Hazel Holme. Au niveau du point triple central [24], le modèle présenté ici est simplifié et n'est pas totalement en accord avec les données morphostructurales. Une amélioration du modèle nécessiterait des mouvements annexes le long d'autres limites plus diffuses [32].

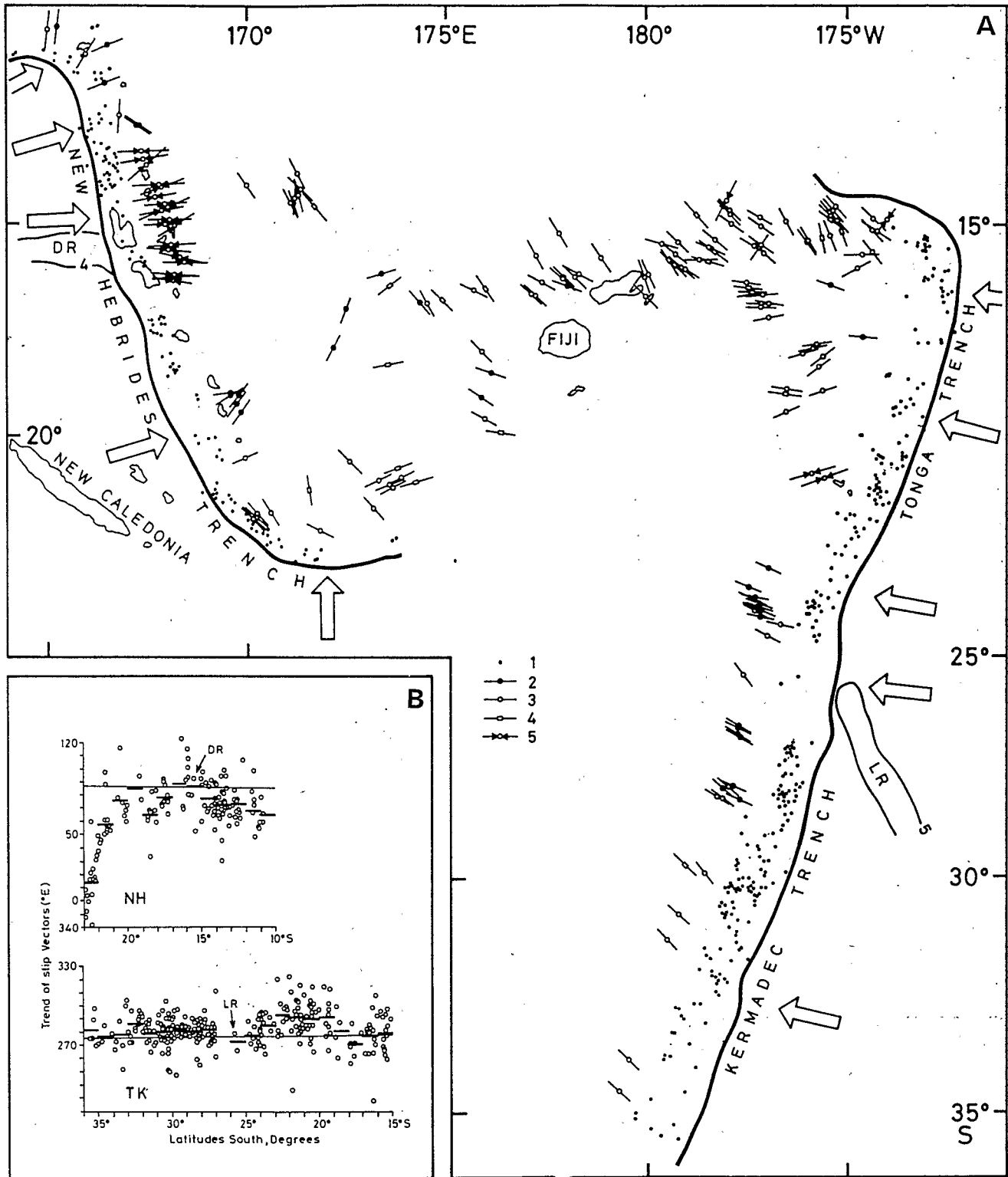
Une bonne approximation de la frontière majeure dans le Sud-Ouest Pacifique est fournie par les structures suivantes (*pl. II*): la fosse TK, la zone de fracture Fidjienne, la dorsale centrale du NFB, la zone de fracture du sud NFB (SNFBFZ) qui joint l'extrémité sud de la dorsale du NFB et la fosse NH à 21°-22°S, la fosse NH au nord de 21°S. La rotation progressive du vecteur de glissement le long de la terminaison sud de la fosse

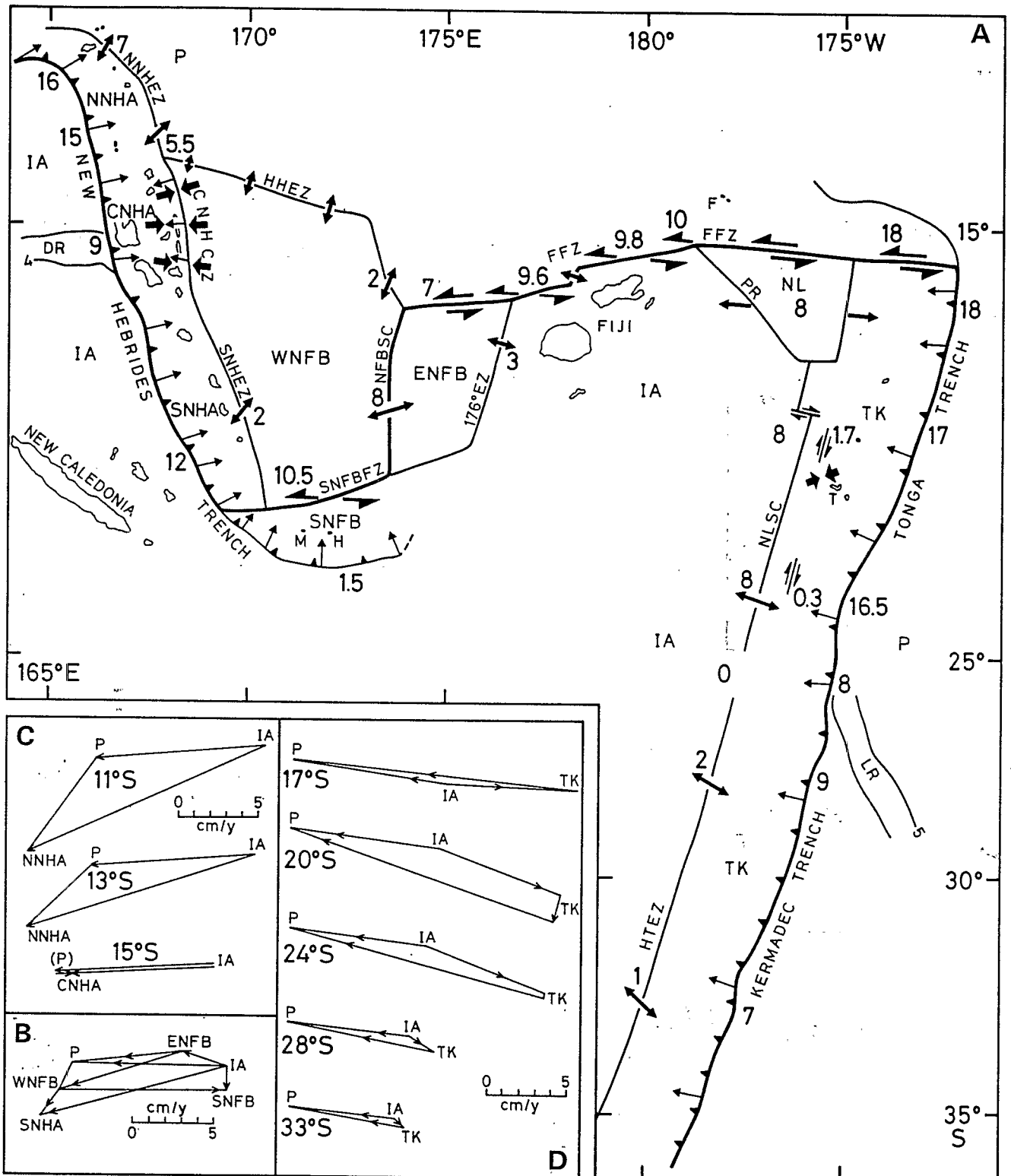
#### EXPLICATION DES PLANCHES

##### Planche I

Données fournies par les mécanismes focaux de séismes superficiels (0-70 km) sur la région « Nouvelles-Hébrides, Bassin Nord-Fidjien, Tonga-Kermadec ». A. Distribution géographique des épicentres de séismes ayant une solution de mécanisme au foyer prise en compte dans le modèle. Nous avons reporté le long des zones de subduction des Nouvelles-Hébrides et des Tonga-Kermadec les séismes ayant un mécanisme de chevauchement (1) et, dans les zones arrière et inter-arc les séismes ayant un mécanisme de faille normale (2), de décrochement (3 et 4) et de faille inverse (5). Dans les zones arrière et inter-arc, l'axe T des solutions de faille normale et de décrochement ainsi que l'axe P des solutions de faille inverse sont représentés. Les mécanismes focaux des rubriques 1, 2, 3 et 5 sont des « Centroid Moment Tensor Solutions » obtenus sur la période 1977-1987 ([2] à [9]). Les mécanismes de la rubrique 4 ont été obtenus sur la période 1965-1976 ([10] à [16]). Les flèches le long des zones de subduction indiquent localement la direction du mouvement de convergence. DR: ride d'Entrecasteaux; LR: ride de Louisville. B. Direction du vecteur de glissement le long des zones de subduction des Nouvelles-Hébrides (NH) et des Tonga-Kermadec (TK) déduite des mécanismes de chevauchement sur la période 1977-1987. Pour les Nouvelles-Hébrides, les mécanismes de chevauchement arrière-arc ont été ajoutés (ronds noirs). Les segments en trait épais représentent la direction moyenne par degré de latitude. La ligne continue indique, en fonction de la latitude, la direction de convergence IA-P prédite par le modèle RM-2 qui ne tient pas compte des mouvements arrière-arc [1]. Les intersections des rides d'Entrecasteaux et de Louisville avec les fosses NH et TK sont figurées par LR et DR.

Constraints given by focal mechanism solutions from shallow (0-70 km) earthquakes within the "New Hebrides (NH), North Fiji Basin (NFB), Tonga Kermadec (TK)" region. A. Geographical distribution of earthquakes with focal mechanism determination used in the model. We have plotted along NH and TK subduction zones events with thrust-type solution (1), and in back-arc and intra-arc domains events with respectively normal fault (2), strike-slip fault (3 and 4) and thrust fault (5) solutions. Focal mechanism solutions from 1, 2, 3 and 5 are Centroid Moment Tensor Solutions obtained for the period 1977-1987 ([2] to [9]). Those from 4 are solutions for the period 1965-1976 ([10] to [16]). Arrows indicate along the subduction zones the directions of converging motion. DR, D'Entrecasteaux Ridge; LR, Louisville Ridge. B. Trend of slip vector along the NH and TK subduction zones deduced from thrust-type focal mechanism solutions for the period 1977-1987. For the diagram NH, back-arc thrust-type solutions have been added (filled circle). Heavy segments represent, for each degree of latitude, the average trend of slip vector. The line shows the direction of the motion P-IA from the model RM-2 [1] assuming no back-arc motions. Louisville Ridge-TK trench and D'Entrecasteaux Ridge-NH trench intersections are respectively labelled as LR and DR.





## Planche II

Modèle proposé. A. Schéma montrant les différentes plaques et microplaques ainsi que leurs mouvements relatifs. Les flèches et les chiffres le long des limites de plaques indiquent les directions et les modules des mouvements. IA: plaque Indo-Australienne; P: plaque Pacifique; TK: microplaque Tonga-Kermadec; NL: microplaque Nord Bassin de Lau; WNFB, ENFB, SNFB: microplaques Ouest, Est et Sud Bassin Nord-Fidjien; NNHA, CNHA, SNHA: segments Nord, Central et Sud de la microplaque arc des Nouvelles-Hébrides. NFBSC: dorsale N-S du bassin Nord Fidjien; HHEZ: zone d'extension d'Hazel Holme; 176° EZ: zone d'extension à 176°E; SNFBFZ: zone de fracture du sud du bassin Nord-Fidjien; FFZ: zone de fracture fidjienne; LBSC: axe d'accrétion du bassin de Lau; PR: ride de Peggy; HTEZ: zone d'extension des fossés du Havre; NNHEZ, SNHEZ: zones d'extension arrière-arc au nord et au sud des Nouvelles-Hébrides; CNHCZ: zone de compression arrière-arc dans la partie centrale des Nouvelles-Hébrides. DR: ride d'Entrecasteaux; LR: ride de Louisville. M, H, F et T: îles de Matthew, Hunter, Futuna et Tongatapu. Le trait épais représente une bonne approximation de la frontière P-IA dans le Sud-Ouest Pacifique. Les barbules pleines indiquent les zones de subduction; les flèches convergentes, les directions des compressions arrière-arc. B. Diagramme vectoriel des mouvements relatifs dans le bassin Nord-Fidjien et le sud de la subduction des Nouvelles-Hébrides (cf. tableau II). La plaque IA est supposée fixe. Le mouvement P-IA est donné à 17°S-176°E en utilisant le modèle RM-2 [1]. Les mouvements SNFB-IA et SNFB-WNFB sont calculés à 172°E. C. Diagrammes vectoriels des mouvements relatifs à 11, 13 et 15°S le long de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides (cf. tableau I). La plaque IA est supposée fixe. Les mouvements P-IA proviennent du modèle RM-2 [1]. A 15°S, le symbole (P) indique que WNFB est assimilée à P. D. Diagrammes vectoriels des mouvements relatifs à 17, 20, 24, 28 et 33°S le long de la zone de subduction des Tonga-Kermadec (cf. tableau I). La plaque IA est supposée fixe. Les mouvements P-IA proviennent du modèle RM-2 [1].

*Proposed model. A. Synthetic map showing the different plates and microplates and their relative motions. Arrows and numbers along plates boundaries indicate directions and rates of motions. IA: Indo-Australian plate; P: Pacific plate; TK: Tonga Kermadec microplate; NL: North Lau Basin microplate; WNFB, ENFB, SNFB: West, East and South North Fiji Basin microplates; NNHA, CNHA, SNHA: Northern, Central and Southern parts of the New Hebrides arc microplate. NFBSC: North Fiji Basin Spreading Center; HHEZ: Hazel Holme Extensional Zone; 176°EZ: 176°E Extensional Zone; SNFBFZ: Southern North Fiji Basin Fracture Zone; FFZ: Fiji Fracture Zone; LBSC: Lau Basin Spreading Center; PR: Peggy Ridge; HTEZ: Havre Troughs Extensional Zone; NNHEZ, SNHEZ: Northern and Southern NH back-arc Extensional Zones; CNHCZ: Central NH Compressive Zone. DR: D'Entrecasteaux Ridge; LR: Louisville Ridge. M, H, F and T are respectively Matthew, Hunter, Futuna and Tongatapu islands. The thick line is a valid approximation of the boundary P-IA in the South West Pacific. Filled bars mark the subduction zones, and converging arrows the directions of back-arc compressions. B. Vector diagram for motions in the North Fiji Basin and the Southern New Hebrides subduction zone (cf. also Table II). IA is fixed. P-IA motion is given at 17°S-176°E using the model RM-2 [1]. Motions SNFB-IA and SNFB-WNFB are calculated at 172°E. C. Vector diagrams for motions at 11, 13 and 15°S along the New Hebrides subduction zone (cf. Table I). IA is fixed. Motions P-IA are from the model RM-2 [1]. The symbol (P) indicates that WNFB is at 15°S equivalent to P. D. Vector diagrams for motions at 17, 20, 24, 28 and 33°S along the Tonga Kermadec subduction zone (cf. Table I). IA is fixed. Motions P-IA are from the model RM-2 [1].*

NH suggère que la microplaque SNFB est presque solidaire de la plaque IA et que la frontière principale des plaques n'est pas la terminaison sud de la fosse NH mais la SNFBFZ orientée N70°E au nord de l'arc de Matthew Hunter dans le NFB. Cette terminaison de fosse contraste avec celle du Nord-Tonga où la direction du mouvement de convergence reste constante jusqu'au grand décrochement senestre de la zone de fracture Fidjienne.

III. CONCLUSION. — L'application de la tectonique des plaques dans une région aussi complexe que le Sud-Ouest Pacifique permet de proposer un modèle cohérent en bon accord avec l'ensemble des données sismologiques et marines. L'étude des mécanismes focaux provenant de séismes superficiels, qui sont, sur une période de 10 ans, bien

cohérents entre eux ainsi qu'en bon accord avec les structures morphotectoniques, permet d'évaluer avec une bonne précision les directions des mouvements relatifs.

Note remise le 17 octobre 1988, acceptée le 26 octobre 1988.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. B. MINSTER et T. H. JORDAN, *J. Geophys. Res.*, 83, 1978, p. 5331-5354.
- [2] A. M. DZIEWONSKI et J. H. WOODHOUSE, *J. Geophys. Res.*, 88, 1983, p. 3247-3271.
- [3] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 33, 1983, p. 71-75, 76-90 et 243-249.
- [4] A. M. DZIEWONSKI, J. E. FRANZEN et J. H. WOODHOUSE, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 34, 1984, p. 1-8, 129-136 et 209-219.
- [5] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 45, 1987, p. 11-36.
- [6] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 46, 1987, p. 316-342.
- [7] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 48, 1987, p. 18-46.
- [8] A. M. DZIEWONSKI et coll., *Phys. Earth Planet. Inter.*, 50, 1988, p. 127-154 et 155-182.
- [9] NEIS-PDE, *US Geol. Survey*, Monthly Listing (avril 1984-décembre 1987).
- [10] B. L. ISACKS, L. R. SYKES et J. OLIVER, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80, 1969, p. 1443-1470.
- [11] L. R. SYKES, B. L. ISACKS et J. OLIVER, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 59, 1969, p. 1093-1113.
- [12] T. JOHNSON et P. MOLNAR, *J. Geophys. Res.*, 77, 1972, p. 5000-5032.
- [13] S. BILLINGTON, *Ph. D. Thesis*, Cornell University, Ithaca N.Y., 1980.
- [14] D. S. CHINN et B. L. ISACKS, *Tectonics*, 2, 1983, p. 529-563.
- [15] T. EGUCHI, *Tectonophysics*, 102, 1984, p. 17-32.
- [16] M. W. HAMBURGER et B. L. ISACKS, In L. W. KROENKE et J. V. EADE éd., *Geological Investigations of the North Fiji Basin*, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sci. Series, Am. Assoc. Pet. Geol., 1988 (sous presse).
- [17] C. G. CHASE, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 1971, p. 3087-3110.
- [18] J. K. WEISSEL, In M. TALWANI et W. C. PITMAN éd., *Island Arcs, Deep Sea Trenches, and Back-Arc Basins*, Maurice Ewing Series, Am. Geophys. Union, 1, 1977, p. 429-436.
- [19] B. M. LARUE et coll., In *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 147, 1982, p. 363-406.
- [20] A. MALAHOFF, R. H. FEDEN et H. F. FLEMING, *J. Geophys. Res.*, 87, 1982, p. 4109-4125.
- [21] P. MAILLET et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, 1986, p. 135-140.
- [22] J. M. AUZENDE et coll., *Tectonophysics*, 146, 1988, p. 317-351.
- [23] U. VON STAKELBERG et participants SO35, *B.G.R. Circular*, 2, 1985, 14 p.
- [24] Y. LAFOY et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 304, série II, 1987, p. 147-152.
- [25] B. PELLETIER et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 306, série II, 1988, p. 1247-1254.
- [26] J. P. FOUCHER et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988, p. 609-616.
- [27] L. W. KROENKE, R. SMITH et K. NEMOTO, In L. W. KROENKE et J. V. EADE éd., *Geological Investigations of the North Fiji Basin*, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sci. Series, Am. Assoc. Pet. Geol., 1988 (sous presse).
- [28] P. CHARVIS, B. PELLETIER et E. RUELLAN, *Tectonophysics* (soumis).
- [29] P. MAILLET et coll., *Tectonophysics* (sous presse).
- [30] E. RUELLAN et coll., *Geology* (soumis).
- [31] B. PELLETIER et R. LOUAT, *Tectonophysics* (sous presse).
- [32] R. LOUAT et B. PELLETIER, *Tectonophysics* (soumis).