

De la Faille Alpine à la fosse de Puysegur (Nouvelle-Zélande) : résultats de la campagne de cartographie multifaisceaux GEODYNZ-SUD, Leg 2

¹ Jean Delteil, ² Jean-Yves Collot, Ray Wood, Richard Herzer et l'équipe scientifique :
Stéphane Calmant, David Christoffel, Mike Coffin, Jacky Ferrière, Geoffroy Lamarche,
Jean-Frédéric Lebrun, Alain Mauffret, Bernard Pontoise, Michel Popoff, Etienne Ruellan,
Marc Sosson et Ruppert Sutherland

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 320, série II a,
p. 303 à 309,
1995

Université de Nice Sophia-Antipolis,
CNRS URA 1279, Institut de
Géodynamique,
rue Albert-Einstein, 06560 Valbonne,
France.

Résumé Le Leg 2 de la campagne GEODYNZ-SUD, menée au SW de la Nouvelle-Zélande, a permis de reconnaître les structures qui accompagnent du Nord au Sud le passage de la Faille Alpine à la subduction oblique sous la marge du Fiordland, puis à celle naissante, intra-océanique sous la ride de Macquarie. Au Nord et au-dessus de la plaque australienne subduite vers l'Est, un faisceau longitudinal de décrochements converge vers le système transpressif de la Faille Alpine en découpant la marge continentale. Au Sud, la déformation décrochante est strictement localisée au sommet de la ride de Macquarie.

Mots-clés : Nouvelle-Zélande, Subduction, Bathymétrie, Décrochement, Érosion tectonique, Accrétion, Partitionnement.

Abstract **From the Alpine Fault to the Puysegur Trench (New Zealand):
results of the GEODYNZ-SUD, Leg 2 swath-mapping survey**

The GEODYNZ-SUD cruise Leg 2, carried out southwest of New Zealand, studied the structural transition zones between (from north to south): the transpressive regime of the Alpine Fault, the oblique subduction under the Fiordland margin and the incipient intra-oceanic subduction under the Macquarie Ridge. To the north, above the eastward subducted Australian plate, the Milford-Fiordland trough inner wall is entirely cut by at least four northeast trending (slightly oblique to the margin) strike-slip faults that converge towards the Alpine Fault transpressive system. To the south strike-slip deformation is exclusively at the Macquarie Ridge summit.

Keywords : New Zealand, Subduction, Bathymetry, Strike-slip, Tectonic erosion, Accretion, Partitioning.

**Abridged
English
Version**

SINCE Wellman (1949) New Zealand is known to be cut by a major N48°E trending dextral strike-slip fault, the Alpine Fault (figure 1) with at least 480 km of displacement. This fault marks the boundary between the Australian Plate to the west and the Pacific Plate to the east. Adjacent to the fault, on the edge of the Pacific plate, uplift of the New-Zealand Alps shows that the movement is

transpressive along the plate boundary. The relative pole of rotation is quite close to the boundary, and the relative convergence vector at latitude 46°S is interpreted to be 20° oblique to the plate boundary (De Mets *et al.*, 1990).

The Alpine Fault steeply dips to the east (80°) (Rattenbury *et al.*, 1988) and its trace cuts the shore line at the mouth of Milford Sound area (44°30') as according to Sutherland

U.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 42491211

Cote : B

09 OCT. 1995

Note

présentée par
Jean Aubouin.

remise le 7 novembre 1994,
acceptée le 29 novembre 1994.

(1994). South of this the seismicity characterizes a steep east-dipping Wadati-Benioff Zone under Fiordland (Smith and Davey, 1984). Transition from transpression to subduction coincides with the junction of the southern passive margin of the submerged Challenger Plateau, on the downgoing plate, with the plate boundary.

South of latitude 47°15'S, another crustal transition probably occurs at the southern limit of the Puysegur Bank where the overriding plate probably changes from continental to oceanic crust (figure 2), so that the oblique subduction becomes intra-oceanic between the Puysegur Trench and the Macquarie Ridge. The Macquarie Ridge is characterized by both compressional and strike-slip focal mechanisms (Ruff *et al.*, 1988; Anderson, 1990).

Thus the survey area provides conditions to study the structural transitions between intra-continental transpression and very oblique (20°) subduction in the northern part of the survey, and oblique (35°) subduction to intra-oceanic oblique subduction in the southern part of the survey. The latter area is also propitious to study incipient oblique subduction.

RESULTS

A northern sector extending from 44°06'S to 45°45'S encompasses in the south the Resolution Ridge, a conspicuous feature rising 2,000 m above the surrounding abyssal plain (figure 2). The ridge shows a variable sediment cover and no significant magnetic anomaly and may be continental in nature. North of the ridge, the Caswell High appears to be part of the old passive margin developed between the Challenger Plateau and the Tasman Sea basin. The ridge and the high are deformed by southeast facing recent normal faults. Two basins, the 3,000 m deep Milford basin to the north and the 4,500 m deep Fiordland basin to the south, with 1.5 s TWT of sediment fill, lie along the toe of the Fiordland margin. They are parts of a subduction trough where tectonic accretion occurs as two bulges of folded and thrust-imblicated sediment. The northern accretionary bulge widely impinges on the trough and separates the Milford and

Fiordland basins. A set of fault scarps on the inner wall of the trough appears to merge northeastward with the Alpine Fault and/or the South Westland Fault Zone (Seward and Nathan, 1990). The faults appear to be inactive as their traces are cut by canyons. The canyons appear to be offset with regard to the fiords and dextral movement is inferred to be restricted to areas close to the Fiordland shoreline (out of the surveyed area).

A central sector extends from the Resolution Ridge southwards to the Puysegur Bank at latitude 47°20'S (figure 2). To the west, the Australian plate has less sediment than the Tasman sea crust farther west, perhaps as a result of remoteness of the source (South Island) and damming of sediment transport at the Resolution Ridge-Fiordland margin junction. Normal faults are observed on the Australian Plate near the Puysegur Trench and probably reflect flexure due to bending during subduction. No evidence of accretion is seen in this sector, rather the inner trench wall is extensively affected by collapse. Subduction of another ridge east of the Resolution Ridge (at 46°10'S) and consequent tectonic erosion may account for collapse of the Puysegur Bank margin. The southern Puysegur Bank itself is heavily cut by fault scarps which appear to fan to the north. The eastern splays of this set trend N10°E and are in line with the active Alpine Fault inferred to run along the Fiordland coast. The western splays die out to the north on the continental slope.

A southern sector extends from south of the Puysegur Bank to the southern limit of the survey at latitude 49°40'S. To the west, the Australian plate seafloor lies under 4,500 m of water depth and is almost devoid of sediment. It shows a primary fabric characterized, at latitude 49°15'S, by N120°E alternating ridges and troughs and an orthogonal fracture zone. The seafloor deepens eastward to a mean depth of 5,500 m in the Puysegur Trench which is parallel to the fracture zone. To the east, the Macquarie Ridge has steep slopes on both sides and a summit composed of twin ridges. The western ridge and the intervening valley display an en échelon pattern of narrow, elongated lens-shaped arêtes and troughs that strongly suggest a major strike-slip zone.

CONCLUSION

In the area surveyed during Leg 2 of the GEODYNZ-SUD cruise subduction of the Australian plate under the Pacific plate is supported by morphostructural data south of Milford Sound. The strike-slip deformation splays out from the Alpine Fault system across the whole width of the Fiordland margin. This pattern is the result of a previous stage of activity as active strike slip deformation appears now to be located close to the shore line. South

of 47°15'S, it consists of a series of steep fault-bounded, elongated plateaux, terraces and basins. In this area strike-slip deformation appears to be distributed across a wide area comprising most of the Puysegur Trench inner wall and the northern Macquarie Ridge. In the southernmost part of the survey area, strike-slip deformation appears to be localized on the summit of the Macquarie Ridge. Compressional structures are well expressed at the toe of the eastern flank of the Macquarie Ridge.

INTRODUCTION

Wellman (1949, *in* Benson, 1952) a montré que le trait structural principal de l'Île du Sud de la Nouvelle-Zélande consistait en une faille majeure décrochante dextre, orientée N48°E: la Faille Alpine, qui marque la frontière intra-continentale entre les plaques australienne (AUS) à l'Ouest et pacifique (PAC) à l'Est (figure 1). L'amplitude du déplacement le long de cette faille est évaluée à 480 km. La présence de la chaîne des Alpes du Sud sur la lèvre SE de la faille démontre l'existence d'une composante compressive le long de cette faille. Le pôle de rotation de la plaque PAC par rapport à la plaque AUS est relativement proche (158 km) de la frontière; de ce fait, le taux de convergence ne dépasse pas 3-4 cm/an dans le secteur étudié. A 46°S, le vecteur de convergence est orienté à 20° de la frontière de plaque (De Mets *et al.*, 1990).

La Faille Alpine est pentée à 80° vers le SE (Rattenbury *et al.*, 1988) et sort en mer de Tasman sur la côte ouest de l'Île du Sud à l'embouchure du Milford Sound à 44°30'S, comme l'a récemment précisé Sutherland (1994). Au Sud de cette latitude, la localisation des séismes et un mécanisme au foyer composite caractérisent un plan de Wadati-Benioff penté de 80° vers le SE et atteignant 150 km de profondeur sous le massif du Fiordland. Ce plan marque la subduction sous-continentale de la plaque AUS sous la plaque PAC (Smith et Davey, 1984). Le passage de la transpression à la subduction coïnciderait

avec un changement d'épaisseur de la plaque australienne.

Au Sud de la terminaison méridionale du Banc de Puysegur, à partir de 47°15'S, la plaque PAC est océanique, ce qui implique que la zone de convergence oblique qui se développe le long de la fosse de Puysegur et de la ride de Macquarie (Christoffel et van der Linden, 1972) devient intra-océanique. Cette zone de convergence est caractérisée par des séismes dont les mécanismes au foyer sont de deux types: compressifs et coulissants (Ruff *et al.*, 1988; Anderson, 1990).

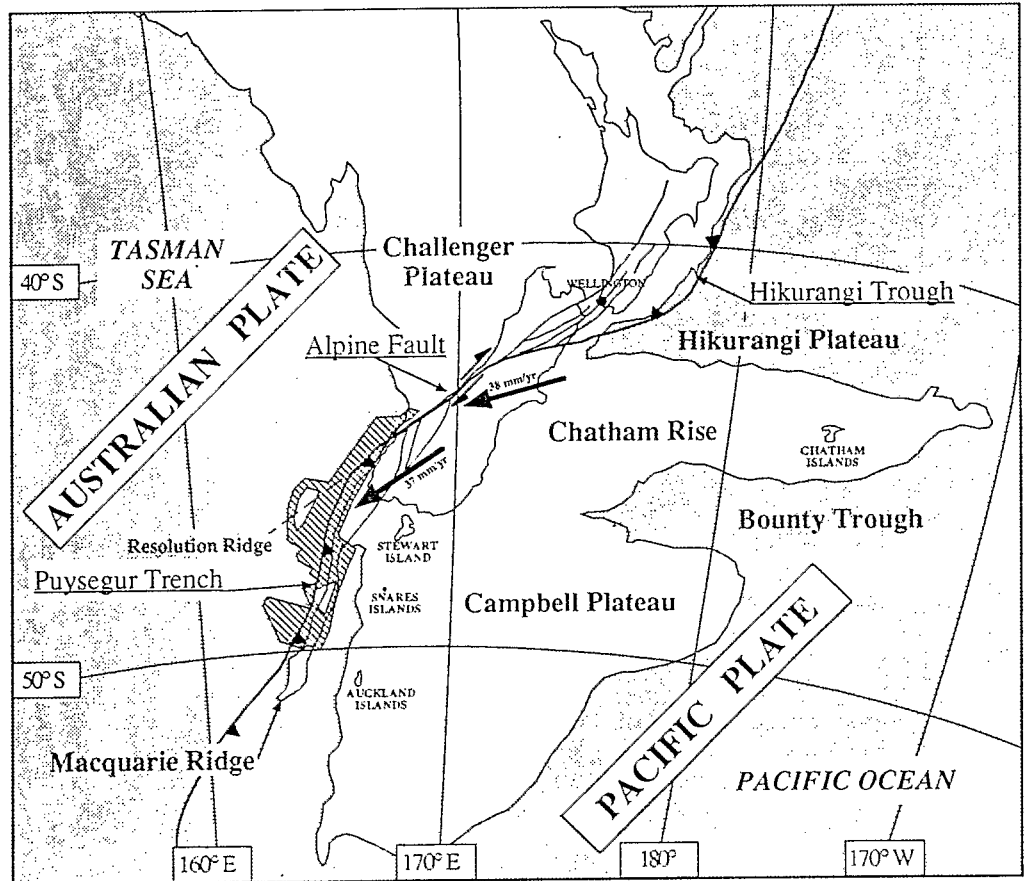
Le domaine marin, qui s'étend au SW du point d'émergence en mer de la Faille Alpine permet d'une part d'analyser les modalités du passage latéral de la transpression intra-continentale à la subduction sous-continentale très oblique (20°), et d'autre part d'étudier la subduction oblique (35°) qui de marginale devient intra-océanique. Dans le secteur le plus méridional, c'est à partir de 10 Ma (anomalie magnétique 5) que la convergence à un taux faible (34 mm/an) s'installe (Stock et Molnar, 1982). Ce changement cinématique devrait être à l'origine d'une subduction naissante dans ce secteur.

RÉSULTATS

Lors du second leg de la campagne GEODYNZ-SUD à bord du *NO L'Atalante*, trois secteurs ont été couverts par des levés bathymétriques (sondeur multifaisceaux EM12D) et des profils de sismique réflexion six traces, gravimétriques et magnétiques.

Figure 1 Carte de localisation de la campagne GEODYNZ-SUD.

Location map of the GEODYNZ-SUD cruise.



– Le secteur septentrional s'étend du bord sud du plateau de Challenger ($44^{\circ}06'S$) jusqu'à la ride de Resolution ($45^{\circ}45'S$). Cette ride, haute de 2000 m, orientée $N050^{\circ}E$ (figure 2), est couverte par 0,1 à 0,5 s.t.d de sédiments et ne présente pas de signature magnétique marquée. Ces caractéristiques confirment la nature continentale de la croûte sous-jacente à la ride, comme l'ont proposé Christoffel et van der Linden (1972). Au Nord de la Ride de Resolution, les données géophysiques (gravimétrie, magnétisme, sismique) montrent que la plaque australienne est constituée par une zone de transition crustale entre le plateau continental de Challenger au Nord, dont la Ride de Caswell est un appendice, et le plancher océanique d'âge Crétacé supérieur (Weissel *et al.*, 1977) du bassin de la mer de Tasman au SW. Ces deux domaines sont flexurés et présentent des escarpements de failles normales à regard

est, à l'approche de la zone de convergence. Cette zone est marquée par deux bassins allongés qui jalonnent le pied de la marge du Fiordland (bassins de Milford au Nord et de Fiordland au Sud). Ces bassins constituent un fossé de 3000 m de profondeur au Nord et 4500 m au Sud. Flexuration, extension de la plaque plongeante et fossé en pied de marge confortent le modèle de subduction déduit de la sismicité régionale.

Les deux bassins du fossé de subduction contiennent jusqu'à 1,5 s.t.d de sédiments. Ce fossé présente les deux seuls sites de la zone étudiée où de l'accrétion tectonique est attestée par l'existence de lobes de sédiments plissés et imbriqués en écailles. Le plus septentrional de ces lobes (Davey et Smith, 1983) qui oblitère le fossé est responsable de la séparation des deux bassins.

Le mur interne du fossé est découpé par un faisceau d'escarpements de failles subpa-

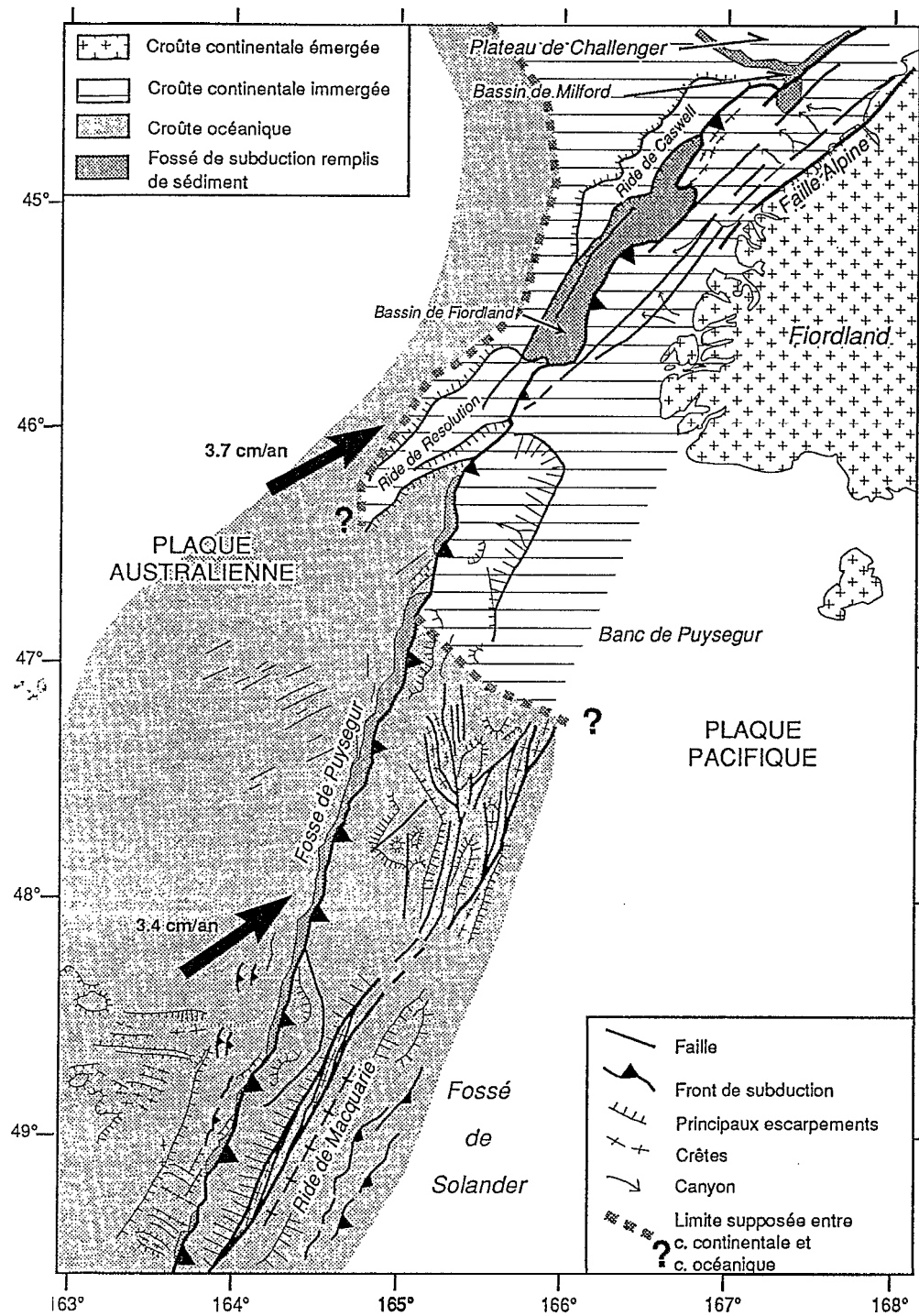


Figure 2 Les grands traits structuraux de la zone couverte par le leg 2 de la campagne GEODYNZ-SUD.

Major structural features of the area surveyed during the GEODYNZ-SUD cruise leg 2.

rallèles à la marge. Ces escarpements convergent vers le NE et pourraient se raccorder à la Faille Alpine ou à la South Westland Fault

Zone située plus à l'Ouest (Seward et Nathan, 1990). La trace de la Faille Alpine, vraisemblablement localisée au pied des reliefs es-

carpés du Fiordland n'a pas été cartographiée. Quatre escarpements de failles recourent obliquement la pente continentale jusqu'aux bassins de Milford et Fiordland. Ils correspondent à des failles dont l'activité a cessé avant l'installation de canyons transversaux. En haut de marge, ces canyons sont décalés horizontalement par rapport à l'embouchure des fjords. Ce décalage laisse supposer que les déplacements qui s'opèrent le long de la Faille Alpine à terre sont actuellement transmis en mer le long de sa trace supposée à proximité des côtes du Fiordland.

– Le secteur central s'étend de la Ride de Resolution au Nord jusqu'à la zone de transition crustale de la plaque PAC au Sud du Banc de Puysegur, à 47°20'S. A l'Ouest, la plaque AUS présente une couverture sédimentaire plus réduite que dans le secteur précédent, en raison de l'éloignement de la zone source de l'Île du Sud et de l'effet de barrage de la Ride de Resolution par rapport à cette source. La structure primaire océanique de cette plaque apparaît sous la forme de rides et de bassins orientés N60°E. La subduction est ici aussi confortée par l'existence de la Fosse de Puysegur et la tectonique distensive qui marque la flexuration de la plaque australienne. Aucun indice d'accrétion sédimentaire n'a été observé dans ce secteur. Par contre, la morphologie accidentée du mur interne de la fosse témoigne de nombreux effondrements qui pourraient être consécutifs à une érosion tectonique généralisée au front de la plaque supérieure. Vers 46°10'S, un rentrant morphologique de 70 km de long pourrait résulter de la subduction d'une ride analogue à la Ride de Resolution. La partie supérieure du mur interne présente une topographie accidentée comportant de nombreux escarpements, rides, terrasses et bassins disposés cartographiquement selon un éventail ouvert au Nord. Les branches les plus orientales de cet éventail sont, sur 28 km de large, rectilignes et présentent une grande continuité. Elles sont orientées N10°E et sont en ligne avec le pied des côtes du Fiordland où la Faille Alpine est supposée passer. Les branches occidentales de l'éventail sont légèrement courbes ou même sinuées: vers le

Nord, elles s'amortissent sur la pente continentale à la latitude 46°45'S.

– Le secteur méridional, au Sud du précédent, s'étend jusqu'à l'extrémité sud du leg à 49°40'S. A l'Ouest, la plaque australienne à 4500 m de profondeur, est localement dépourvue de sédiment et montre une structure primaire caractérisée à 49°15'S par une alternance de fossés et de rides orientés N120°E. Cette structure est associée à une zone de fracture N25°±5°E. Le plancher océanique de la plaque australienne plonge vers l'Est, à 5500 m en moyenne au niveau de la Fosse de Puysegur qui est orientée parallèlement à la zone de fracture. A l'Est, la Ride de Macquarie, parallèle à la fosse, présente de fortes pentes tant à l'Ouest qu'à l'Est. Le versant oriental de la ride est cependant moins développé face au fossé de Solander qui n'atteint que 3250 m de profondeur. Le trait saillant de la ride concerne la morphostructure de son sommet. Celui-ci comporte, sur une largeur de 15 km, une double série de crêtes et de bassins étroits en forme de fuseaux allongés qui évoque la morphologie d'une zone majeure de décrochement.

CONCLUSION

Au SW de la Nouvelle-Zélande, dès la sortie en mer de la Faille Alpine, la subduction de la plaque AUS sous la plaque PAC génère des structures extensives sur la plaque plongeante. La tectonique décrochante, exprimée à terre essentiellement par la Faille Alpine, se manifeste le long de la marge continentale par un faisceau d'escarpements de failles décrochantes, légèrement divergent vers le SW. La distribution de ces décrochements traduit une étape antérieure au dispositif actif, puisque ces escarpements sont recoupés par des canyons qui ne sont pas déviés transversalement. Ces canyons sont cependant décalés en haut de marge par rapport aux embouchures des fjords, suggérant que le mouvement décrochant est confiné à la partie supérieure de la pente continentale. L'alignement Faille Alpine-côte du Fiordland sur lequel s'exprime la composante décrochante de la convergence, se poursuit au Sud où il pourrait re-

couper à la latitude 47°15'S la zone cartographiée. A cette latitude, le dispositif décrochant se manifeste, sur 28 km de large, par une série de rides et de bassins allongés disposés en éventail ouvert au Nord. Vers 48°S, un faisceau occidental de failles annexes orientées NW à N fusionne avec le dispositif principal pour former une zone de déformation étroite localisée au sommet de la ride de Macquarie. Cette évolution traduit un changement de la distribution de la déformation décrochante au passage continent-océan sur

la plaque pacifique. La déformation qui est diffuse sur la marge continentale se concentre le long d'une zone étroite de quelques kilomètres en domaine océanique. Enfin, dans le secteur sud du leg, là où la subduction vers l'Est est moins évoluée, le partage de la déformation est clair. Les structures décrochantes sont strictement localisées au sommet de la Ride de Macquarie à 25 ± 5 km en arrière de la fosse de Puysegur. Les structures compressives s'expriment au pied du flanc est de la ride de Macquarie.

- ANDERSON, H. J., 1990. The 1989 Macquarie Ridge earthquake and its contribution to the regional seismic moment budget, *Geophysical Research Letters*, 17, 7, p. 1013-1016.
- CHRISTOFFEL, D. A. et VAN DER LINDEN, W. J. M., 1972. Macquarie Ridge-New Zealand Alpine Fault transition, Antarctic Research Series, vol. 19, Antarctic Oceanology II: The Australian-New Zealand Sector, HAYES, D. E., éd., AGU, Washington DC, p. 235-242.
- DAVEY, F. J. et SMITH EUAN, G. C., 1983. The tectonic setting of the Fiordland region, south-west New Zealand, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 72, p. 23-38.
- DE METS, C., GORDON, R. G., ARGUS, D. F. et STEIN, S., 1990. Current plate motion, *Geophys. J. Int.*, 101, p. 425-478.
- RATTENBURY, M. S., COOPER, A. F. et NORRIS, R. J., 1988. Recent Alpine Fault thrusting at Kaka Creek, central Westland, New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 31, p. 117-120.
- RUFF, L. J., GIVEN, J. W., SANDERS, C. et SPERBER, C. M., 1988. Large Earthquake in the Macquarie Ridge Complex: Transitional Tectonics and Subduction Initiation, *Pageoph.*, 129, 1-2, p. 71-129.
- SEWARD, D. et NATHAN, S., 1990. Uplift history of South Westland using the fission-track dating technique, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 33, p. 201-204.
- SMITH, EUAN, G. C. et DAVEY, F. J., 1984. Joint hypocentre determination of intermediate depth earthquakes in Fiordland, New Zealand *Tectonophysics*, 104, p. 127-144.
- STOCK, J. et MOLNAR, P., 1982. Uncertainties in the relative positions of the Australia, Antarctica, Lord Howe and Pacific Plates since the Late Cretaceous, *Journal of Geophysical Research*, 87, p. 4697-4714.
- SUTHERLAND, R., 1994. Displacement since the Pliocene along the southern section of the Alpine Fault, New Zealand, *Geology*, 22, p. 327-330.
- WELLMAN, H. W., in BENSON, W. N., 1972. Meeting of the Geological Division of the *Pacific Science Congress in New Zealand*, February, 1949, *Interim Proceedings of the Geological Society of America*, 1950, p. 11-13.
- WEISSEL, J. K., HAYES, D. E. et HERRON, E. M., 1977. Plate tectonic synthesis: the displacements between Australia, New Zealand and Antarctica since the Late Cretaceous, *Marine Geology*, 25, p. 231-277.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES