

# Thermicité et déformation de la marge continentale dans le Sud de la Tasmanie (Australie) : résultats préliminaires d'une analyse par traces de fission et d'une étude microstructurale

Madeleine Sélo<sup>a</sup>, Jean Benkhelil<sup>b</sup>, Jean Mascle<sup>c,\*</sup>, Dieter Storzer<sup>a</sup>, Neville Exon<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de minéralogie, Muséum national d'histoire naturelle, 61, rue Buffon, 75005 Paris, France

<sup>b</sup> Université de Perpignan, LSM, 52, av. de Villeneuve, 66860 Perpignan, France

<sup>c</sup> Observatoire océanologique de Villefranche, Géosciences Azur, B.P. 48, 06235 Villefranche-sur-Mer cedex, France

<sup>d</sup> Australian Geological Survey Organisation, Box 378, Canberra City, ACT 2601, Australie

Reçu le 22 octobre 2001 ; accepté le 20 novembre 2001

Présenté par Jean Aubouin

---

**Abstract – Fission track reconnaissance of the thermal and tectonic settings of the South Tasman rise.** We present and discuss a few fission track data, and microstructural observations, from rock samples dredged along the western and southwestern continental margin of Tasmania. The results allow assessing the thermal and tectonic regimes that were active prior to and during the margin creation. The different ages, as provided by fission tracks, and deformational styles, as evidenced from microstructures, are then tentatively correlated with the two main rifting episodes, in Late Jurassic–Cretaceous times and Eocene–Oligocene respectively, deduced from kinematical reconstructions, that have led to the present-day southern margin of Tasmania. To cite this article: M. Sélo et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 59–66. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Southern Ocean / continental margin / Tasmania / dredge samples / apatite fission track dating

**Résumé –** Des résultats d'une analyse traces de fission et d'une étude microstructurale effectuées sur quelques échantillons de dragages au long de la marge continentale dans l'Ouest et le Sud de la Tasmanie (Australie) permettent de préciser certains aspects de l'histoire thermique et tectonique de la région. Ces contraintes géologiques sont en bon accord avec l'évolution de cette région du Gondwana méridional, telle qu'elle est déduite de données de géophysique marine ; ces dernières prennent en compte, après des événements paléozoïques, deux périodes successives de *rifting*, d'âges respectivement Jurassique supérieur–Crétacé inférieur et Éocène–Oligocène, dont la seconde est à caractère transformant, avant la séparation finale de l'Australie et de l'Antarctique, au début du Miocène. Pour citer cet article : M. Sélo et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 59–66. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

océan Austral / marge continentale / Tasmanie / échantillons de dragage / traces de fission sur apatite

---

## Abridged version

### 1. Introduction

The continental transform margin west and southwest of Tasmania developed during the separation of Aus-

tralia and Antarctica [3, 5]. This margin consists of different blocks [2, 4]: the West Tasmanian margin was characterised by NW–SE movement, mostly in the Cretaceous [6]. The South Tasman rise (STR) [2, 4, 6] to the south consists of two distinct fragments of southern Gondwana [11, 12]. Its margins result from a complex rifting

---

\* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : mascle@obs-vlfr.fr (J. Mascle).

history from the Upper Jurassic to the Eocene [9]. The transform movement separating the two continents led to the establishment of the circum-polar oceanic current [12]. The results of fission track analyses on apatite from dredge samples enable us to test independent geological models of the evolution of this region [12]. Earlier apatite fission track dating on Tasmania suggests that there were at least two regional uplift and cooling episodes, during the Mid-Cretaceous (110–90 Ma) and the Late Palaeocene to Early Eocene (60–40 Ma) [10]. Mid-Cretaceous cooling occurred throughout Tasmania, while Palaeogene cooling was primarily confined to the east and the west coasts. Apatite fission track dating to the north, in the eastern Otway basin, also indicates major Mid-Cretaceous (95–90 Ma) uplift and cooling [14]. The present study confirms that there were two principal periods of rifting. The first was located in the southeast Great Australian Bight, Bass Strait and west of Tasmania, and consisted of crustal thinning in the Jurassic and Lower Cretaceous [10]. West of Tasmania, the dominant extensional direction was NW–SE, with transcurrent movement remobilising the older structures in the Maastrichtian and Palaeocene. In the Middle and Late Eocene, a second episode of NNW–SSE rifting and transform motion progressively created the morphostructural elements of the transform margin of the STR. Although the continental blocks finally separated at the Eocene–Oligocene boundary, the results of ODP drilling [7] showed that the spreading ridge affected the margin until the Early Miocene.

The majority of the samples [2, 3, 5] consist of metamorphic or magmatic basement [4, 12]; some are coarse-grained terrigenous sediments. Several granites are similar to Devonian rocks from Tasmania and contain sufficient apatite for fission track dating.

## 2. Results

Fission track dating was done on granite samples from dredge sites 147DR11, 22, 27 and 31 on the STR (*figure 1*) [1, 4]. The ages measured from fission track [14, 17, 18] for the northern and southern margins of the STR were 42–96 Ma, and for the western and eastern margins were around 93 and 54 Ma. After corrections based on statistical methods (*figure 2*) [15], ages range from 160 to 77 Ma; moreover, it is suggested a thermal regime of less than 160 °C. A later period of heating from 33 to 10 Ma corresponded to a temperature lower than 60 °C.

## 1. Introduction et cadre géologique

L'analyse d'échantillons rocheux dragués au long de la pente continentale dans le Sud-Ouest et le Sud de la Tasmanie (*figure 1*) [3, 5] a permis une évaluation des différents régimes thermiques et tectoniques qui ont précédé et accompagné la formation de ce segment de marge transformante.

Petrologic and microstructural analyses were carried out on 25 thin sections, mostly of basement rocks, including two on sedimentary rocks. The petrofabric of the various schists, gneisses, mylonites indicates two phases of deformation chiefly related to the strike-slip movement. The sedimentary rocks also show two phases of deformation, with the superimposition of a simple shear on a primitive foliation.

## 3. Discussion and conclusions

The microstructural study indicates that most of the samples were mylonitised. The mylonitisation formed by ductile deformation during various phases of basement structuring followed by later deformations. Later silica veins cut older structures.

The fission track data show that the thermal history of the region consists of three stages.

1. After the establishment of the deep basement, a high-temperature thermal regime higher than 160 °C developed, probably in the Devonian. A later thermal event during the Jurassic on the present southwest margin (147DR22, 27) did not exceed 160 °C; the same applies to a Late Cretaceous event in the northern STR (147DR11, 31). The Late Jurassic event is reflected in fractures and infilling by quartz and some calcite.

2. Fission track information shows that the temperature stayed between 160 °C and 60 °C until the Late Palaeogene. This period corresponds to the change of direction of the transform motion in the region.

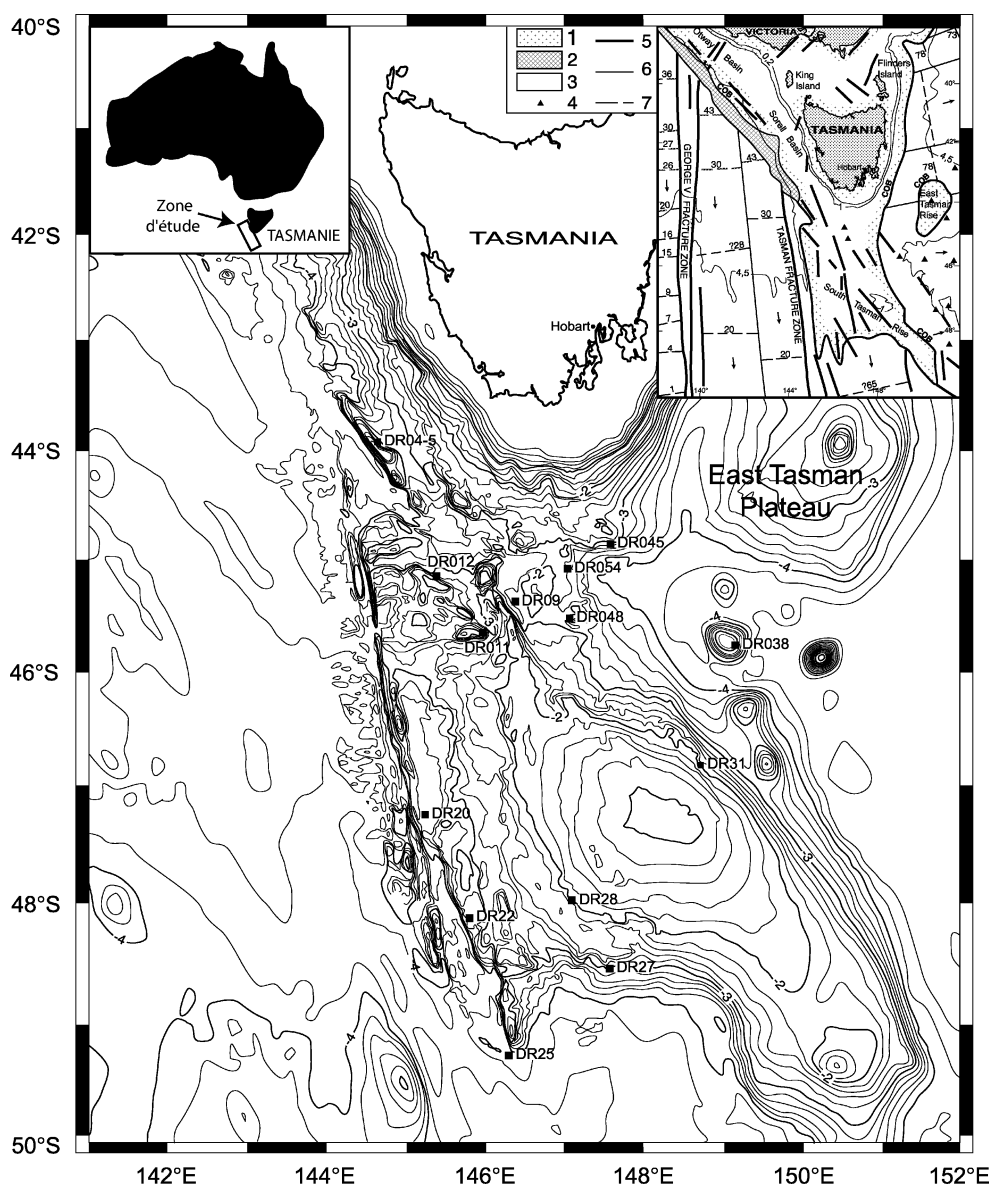
3. The temperature fell to 60 °C at the southernmost site (147DR27) in the Late Oligocene, but elsewhere in the Miocene. The passage of the 60 °C isotherm post-dates the last deformation characterised by microstructures associated with paragenesis of biotite. The exhumation of the basement rocks and their cooling is the consequence of diachronous vertical movements signalling the local end of transform movement.

These results agree well with those of the Otway basin northwest of Tasmania [14] where there was an episode of Jurassic to Late Cretaceous rifting, associated with high heat flow and magmatism. There, the high temperatures persisted through the Eocene, until the separation of Australia and Antarctica. On the STR, the passage of the 60 °C isotherm started in the Late Oligocene and is believed to be linked to the final separation of Australia and Antarctica.

Dans cette région (*figure 1*), la marge continentale comporte plusieurs domaines bien différenciés [2, 4] : la marge Ouest-Tasmanie est un segment de direction NW–SE, caractérisé par un épais bassin sédimentaire, le bassin de Sorrel, mis en place à partir du Jurassique terminal–Crétacé basal [9]. Ce domaine se prolonge vers le sud par une pente continentale bien cartographiée par sondeur multifaisceau [3, 5] ;

**Figure 1.** Localisation, sur fond bathymétrique (espacement des courbes = 250 m d'après [3]), des dragages de la campagne Agso-147, dont certains échantillons ont été utilisés pour cette étude. Noter la linéarité de la pente continentale, qui borde vers l'ouest le plateau Sud-Tasman. Cette pente est caractérisée par plusieurs rides marginales qui résultent d'un *rifting* transformant actif lors de la séparation de l'Antarctique et de l'Australie méridionale et de l'ouverture océanique de l'océan Indien austral, au cours du Cénozoïque. La localisation de la zone d'étude et le cadre géodynamique général simplifié d'après [12] sont indiqués dans les deux cartouches, respectivement en haut à gauche et à droite de la figure.

**Figure 1.** Location, on a bathymetric map (contour interval = 250 m simplified from [3]) of dredge samples available for this study. Note the rectilinear and sharp continental slope that bounds towards the west the South Tasman rise. This slope segment includes a series of marginal ridges that originated as structural responses to a dominantly transform motion between Australia and Antarctica during the progressive opening of the Southern Ocean in this area in Cainozoic times. In insert are respectively shown the location (left) and geodynamic framework (right) of the study area (adapted from [12]).



elle borde vers l'ouest un domaine de profondeur oscillant entre 1 000 et 3 000 m, constitué d'une série de plateaux profonds, le plateau Sud-Tasman [2, 4, 6]. Cette région résulterait du collage de deux fragments distincts du Gondwana méridional [11, 12].

L'ensemble des marges de la région résulte d'une histoire complexe caractérisée, à partir du Jurassique terminal et au cours du Crétacé terminal–Paléocène, par divers épisodes de *rifting* [9]. La rupture définitive entre l'Australie et l'Antarctique, permettant l'établissement de la circulation circum-polaire, ne se produit qu'à partir du Miocène inférieur [12].

Les analyses de traces de fission sur apatites et des observations microstructurales discutées ici constituent des contraintes géologiques indépendantes, que l'on a confrontées aux modèles d'évolution de cette

région de la marge Sud-Australienne ; ces derniers ne se fondent, en effet, que sur des données de géophysique marine et sur des reconstructions déduites de l'identification d'anomalies magnétiques océaniques ou/et de mesures de gravimétrie satellitaire [12]. D'après ces travaux, les secteurs concernés de la marge de Tasmanie résulteraient de deux épisodes de *rifting*, caractérisés par des géométries différentes. Un premier épisode aurait surtout intéressé la région localisée dans le Sud-Est de la Grande Baie australienne, ainsi que le détroit de Bass, au nord de la Tasmanie. Cette phase d'amincissement crustal, active entre le Jurassique et le Crétacé inférieur [9, 11, 12], serait en partie responsable de la structuration du segment de marge qui se situe juste à l'ouest de la Tasmanie ; là, les directions d'extension dominantes sont

NNW–SSE, mais un épisode de tectonique transcurrente aurait remobilisé les structures du *rifting* jurassique au cours d'une période allant du Maastrichtien au Paléocène.

À partir de l'Éocène, et au cours de l'Oligocène, un second épisode de *rifting*, surtout transformant dans la région d'étude, affecte la marge occidentale du plateau Sud-Tasman et crée les éléments morphostructuraux caractéristiques d'une marge transformante. En témoigne, de nos jours, une série de rides marginales pratiquement linéaires, décelables sur plus de 500 km, en transition rapide avec le domaine océanique du Bassin indien sud-oriental. La séparation finale entre l'Antarctique et l'Australie date du Miocène basal, ainsi que les résultats de forages ODP l'ont démontré [7].

Les échantillons étudiés proviennent d'une campagne de dragage conduite par l'AGSO [2, 4, 5]. La majorité d'entre eux sont des fragments d'un socle métamorphique ou magmatique [1, 4]; quelques-uns correspondent à des dépôts terrigènes grossiers. Seuls quelques granites, offrant des analogies avec des roches d'âge Dévonien connues en Tasmanie, contenaient suffisamment de cristaux d'apatite pour permettre une analyse par traces de fission.

## 2. Résultats

### 2.1. Traces de fission

#### 2.1.1. Technique d'analyse

Les analyses traces de fission ont été effectuées sur des apatites provenant de granites dragués aux sites 147DR11, 147DR22, 147DR27 et 147DR31, tout au long de la pente continentale dans le Sud-Ouest de la Tasmanie ainsi que sur les rebords du plateau Sud-Tasman (*figure 1*). La technique a été celle dite du « détecteur externe » [14]. Après broyage des roches, les apatites ont été extraites par séparation aux liquides denses (bromoforme, diiodométhane) et triées, grain par grain, sous stéréomicroscope. Pour chaque échantillon, les grains, de 100 µm environ, ont été enrobés dans une matrice d'époxy, polis et révélés dans une solution de 5 % HNO<sub>3</sub> à 23 °C pendant 45 s, afin de révéler les traces de fission fossiles sur une face interne (géométrie d'enregistrement  $4\pi$ ). Les sections ont été recouvertes par un détecteur externe, une feuille de kapton, irradiée par un flux de neutrons thermiques simultanément avec des verres standard (SRM-613; NBS) dont la teneur et la distribution en uranium sont connues. Les irradiations ont été faites à Gand (réacteur Tetys) dans la position la mieux thermalisée (canal 8). La valeur du flux a été déterminée en introduisant un standard d'âge, une moldavite dont l'âge est bien connu :  $14,87 \pm 0,36$  Ma [18]. Dans le

kapton, les traces de fission induites sont enregistrées suivant une géométrie  $2\pi$  et révélées par une solution aqueuse de 14 % NaClO + 12 % NaCl à 100 °C pendant 8 min. Les traces de fission fossiles et induites ont été dénombrées au microscope optique à un grossissement de 1 600 ×. L'utilisation de la technique du détecteur externe implique d'introduire dans l'équation d'âge un facteur de correction prenant en compte les différences de géométrie d'enregistrement des traces de fission entre le minéral ( $4\pi$ ) et le kapton ( $2\pi$ ). La valeur de ce facteur pour le couple apatite–kapton est de 1,651 [14]. Les valeurs des constantes retenues pour le calcul d'un âge sont celles proposées par Storzer et al. [18] et Storzer et Wagner [17].

La technique utilisée ne permet pas de comparer les longueurs des traces fossiles et induites, paramètre indispensable à la détermination des paléotempératures et de leur influence sur les âges mesurés. Pour obtenir cette information, il aurait fallu comparer les longueurs des traces fossiles et induites, donc irradier simultanément un aliquot d'apatites préalablement portées à haute température afin d'effacer les traces fossiles préexistantes. Nous ne disposons pas de matériel suffisant pour envisager cette étape et indiquons plus loin comment nous avons procédé pour suppléer à cette lacune et évaluer, qualitativement, les âges corrigés et les températures. Une discussion détaillée de la technique analytique, et de ses implications, est donnée dans Storzer et Sélo (1981 et 1985) [14, 16].

#### 2.1.2. Principaux résultats

Le faible nombre d'apatites a entraîné certaines difficultés analytiques. Par exemple, pour l'échantillon 147DR11, parmi les 56 apatites extraites, sept seulement ont pu être datées. De plus, le dénombrement des traces fossiles a toujours été perturbé par la présence de nombreuses dislocations (pourcentage de l'ordre de 50 à 70 %, atteignant parfois 90 %). Pour pallier cette difficulté, le dénombrement des traces de fission a été refait sur chaque apatite au minimum trois fois; seuls les résultats reproductibles ont été conservés. Les âges ainsi mesurés et corrigés sont rapportés dans le *tableau*.

Les âges mesurés varient de 42 à 96 Ma pour les échantillons situés respectivement au nord et au sud de la marge, de l'ordre de 93 et 54 Ma à l'ouest et à l'est de cette dernière, respectivement. Pour les deux échantillons provenant du dragage 147DR22, les âges mesurés sont identiques dans leurs marges d'erreur. Pour tester l'éventuel rajeunissement thermique des âges mesurés, des longueurs projetées des traces fossiles ont été mesurées et comparées à une distribution standard représentant les longueurs projetées des traces induites. En l'absence de mesures directes, ce diagramme (*figure 2*) a été établi à partir de nombreuses mesures de longueurs de traces induites réa-

**Tableau.** Caractéristiques des analyses de traces de fission effectuées sur les apatites. Nombre de cristaux d’apatite datables parmi l’ensemble des cristaux observés (indiqué entre parenthèses <sup>(a)</sup>). Teneur en uranium et déviation standard <sup>(b)</sup>. Densité de traces de fission fossiles et induites; le nombre de traces effectivement compté est indiqué entre parenthèses <sup>(c-d)</sup>. Âges des traces de fission calculés avec :  $4\pi/2\pi = 1,651$ ;  $\Phi = (1,13 \pm 0,06) \cdot 10^{15}$  neutrons·cm<sup>-2</sup>;  $I = 7,253 \cdot 10^{-3}$ ;  $\sigma_f = 580,2 \cdot 10^{-24}$  cm<sup>2</sup>;  $\lambda_f = 8,46 \cdot 10^{-17}$  an<sup>-1</sup> <sup>(e)</sup>.

**Table.** Main characteristics of apatite fission track analysis. Numbers of apatite crystals used among all observed samples <sup>(a)</sup>. Uranium content and standard deviation <sup>(b)</sup>. Fossil and induced fission tracks density <sup>(c-d)</sup>. Computed ages of fission tracks with:  $4\pi/2\pi = 1.651$ ;  $\Phi = (1.13 \pm 0.06) \cdot 10^{15}$  neutrons·cm<sup>-2</sup>;  $I = 7.253 \cdot 10^{-3}$ ;  $\sigma_f = 580.2 \cdot 10^{-24}$  cm<sup>2</sup>;  $\lambda_f = 8.46 \cdot 10^{-17}$  yr<sup>-1</sup> <sup>(e)</sup>.

Dragages	N <sup>a</sup>	U (ppm) <sup>b</sup>	ps (10 <sup>3</sup> mm <sup>-2</sup> ) <sup>c</sup>	pi (10 <sup>3</sup> mm <sup>-2</sup> ) <sup>d</sup>	Âges apparents (Ma) <sup>e</sup>	Âges corrigés (Ma)	
						< 160 °C	< 60 °C
147 Dr 11	7 (56)	92,7 ± 3,4	21,06 ± 0,69 (920)	16,94 ± 0,62 (740)	42,3 ± 3,0	≈ 77	≈ 10
147 Dr 27 (2)	27 (131)	23,3 ± 0,8	12,05 ± 0,24 (2590)	4,26 ± 0,15 (864)	96,3 ± 6,1	≈ 150	≈ 33
147 Dr 22 B	16 (124)	40,5 ± 1,8	20,25 ± 0,54 (1424)	7,40 ± 0,33 (520)	93,2 ± 6,7	≈ 165	≈ 21
147 Dr 22 A	18 (55)	21,9 ± 0,8	11,10 ± 0,24 (2097)	4,00 ± 0,15 (714)	94,5 ± 6,3		
147 Dr 31	40 (104)	27,6 ± 1,2	8,04 ± 0,26 (983)	5,04 ± 0,22 (537)	54,3 ± 4,0	≈ 95	≈ 12

lisées par ailleurs dans diverses apatites [15]. À partir de cette distribution type, une valeur de référence de 5,96 µm a été retenue pour la longueur projetée moyenne des traces induites. Il a ainsi été possible d’observer que la distribution des longueurs des traces fossiles était déplacée vers des valeurs plus faibles que celle des traces induites (*figure 2b*). Les âges mesurés sont donc des âges apparents, qui doivent être corrigés.

Les âges corrigés varient entre 160 et 77 Ma. À première vue, la distribution des longueurs des traces fossiles apparaît unimodale. Toutefois, la présence de traces longues laisse supposer celle d’une composante d’âge thermiquement non affecté [13]. En l’absence de mesures explicites de longueurs de traces induites, nous avons appliqué, afin d’estimer la fraction d’âge non affecté, la technique décrite par Wagner [19]. Ces âges, a priori thermiquement intacts, sont indiqués dans le *tableau*. Ils varient entre 10 et 33 Ma. Les âges corrigés correspondent ainsi à l’intervalle de temps à partir duquel les échantillons ont été exposés à un régime thermique inférieur à 160 °C. Les âges thermiquement non affectés indiquent l’intervalle de temps pendant lequel les échantillons ont été soumis à un régime thermique ambiant inférieur à 60 °C.

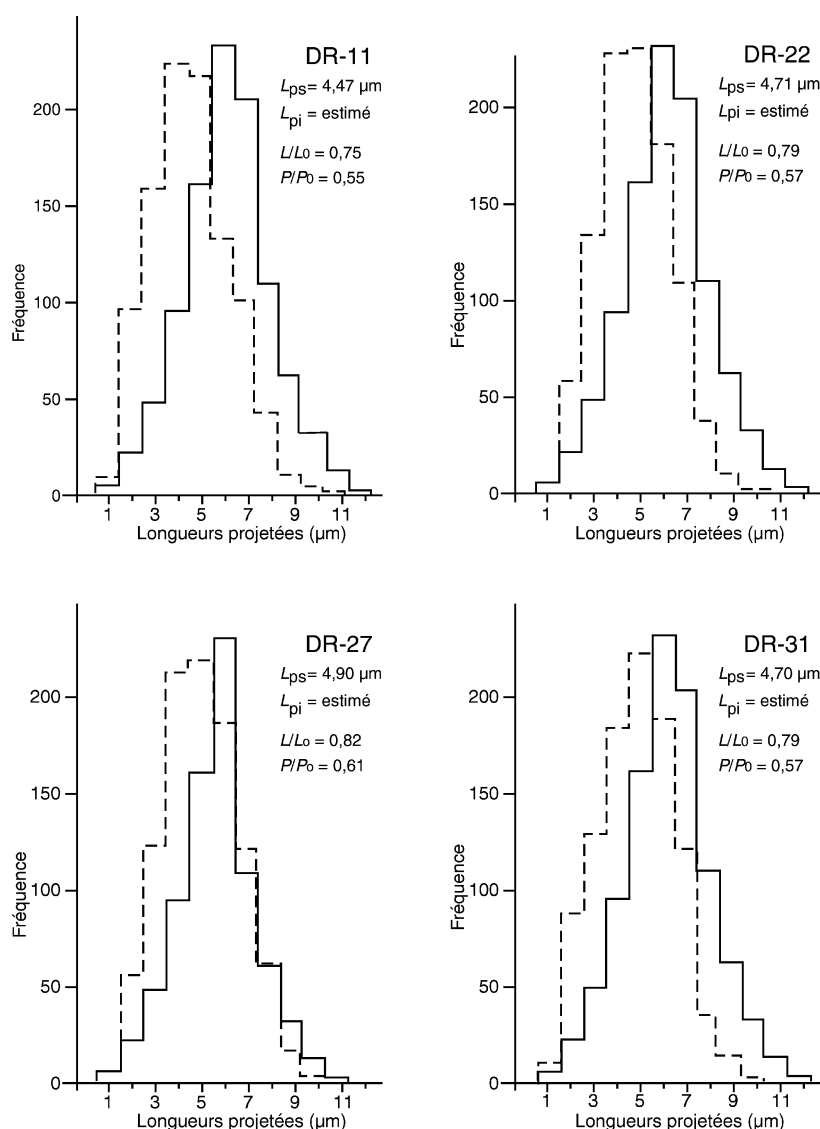
## 2.2. Pétrologie et analyse microstructurale

L’analyse macroscopique des échantillons [1, 4] indique une pétrographie très variée, la majorité des roches appartenant à des éléments de socle, quelques rares échantillons étant représentatifs d’un matériel sédimentaire terrigène. Nous en avons sélectionné treize à partir desquels 25 lames minces ont été réalisées. L’examen au microscope binoculaire à lumière polarisée a permis d’en préciser certaines des caractéristiques

pétrographiques ainsi que d’observer différents effets des déformations et du métamorphisme qui ont affecté le substratum de la marge et, dans une moindre mesure, certains éléments de sa couverture sédimentaire.

### 2.2.1. Le socle de la pente continentale

Cinq échantillons proviennent du dragage 147DR04, entre 4 000 et 3 000 m de profondeur. 147DR04A2 correspond à un gneiss avec de nombreux quartz polycristallins en plage, des chlorites, des plagioclases et des remplissages micacés de fractures. Trois types de déformations successives sont observés. Une déformation générale (**a**) correspond à une foliation englobant les porphyroblastes de plagioclases déformés et altérés; ces structures (**b**) sont recoupées par des microfractures parallèles qui traversent la plupart des minéraux, sauf les quartz. De gros porphyroblastes sont affectés par un dense réseau de microfractures, souvent en échelon, avec des zones en relais indiquant un cisaillement. Les quartz polycristallins offrent une faible extinction onduleuse, témoin d’efforts tectoniques. Des fractures discrètes (**c**), d’épaisseur notable, recoupent l’ensemble de la roche avec un angle de 45° par rapport à la foliation. 147DR04B1 est une mylonite syntectonique métamorphisée, constituée d’un agrégat de minéraux cassés avec plagioclases, quartz polycristallins et bandes de biotite dominants. Cette roche montre quelques bandes de déformation intense. L’orientation générale est soulignée par des biotites disposées en amande. Ce dispositif résulte de l’interférence de deux directions à 30° : une direction principale (étirement général) et une direction secondaire, essentiellement marquée par des alignements de biotites. Une lame mince provenant d’un échantillon du même dragage (147DR04B3)



**Figure 2.** Distribution des longueurs projetées des traces fossiles (ligne pointillée) et des traces de fission induites (trait plein; distribution standard, voir texte) dans des apatites provenant des quatre dragages Dr 11, 22, 27 et 31. Les traces de fission fossiles, plus courtes que les traces de fission induites, sont affectées par un effet thermique. En conséquence, les âges traces de fission sont rajeunis.  $L_{ps}$  représente la longueur moyenne des traces fossiles,  $L_{pi}$  la longueur moyenne (longueur standard 5,96  $\mu\text{m}$ , voir texte) des traces induites.  $L/L_0$  indique le degré de réduction des longueurs des traces fossiles et  $P/P_0$  la réduction correspondante des densités de ces traces. Les valeurs de  $P/P_0$  peuvent être utilisées pour corriger les âges traces de fission apparents, thermiquement rajeunis (tableau).

**Figure 2.** Distribution histograms of projected lengths of fossil (dotted line) and induced fission tracks (solid line; standard distribution, see text) in apatites from the four dredge localities Dr-11, 22, 27, and 31. Fossil fission tracks being shorter than induced ones, fission tracks are thermally affected. All fission track ages given in the *table* are, therefore, thermally lowered.  $L_{ps}$  represents the mean length of the fossil fission tracks,  $L_{pi}$  the mean length (standard-length 5.96  $\mu\text{m}$ , see text) of the induced fission tracks. The  $L/L_0$  shows the degree of length-reduction of the fossil tracks and  $P/P_0$  the corresponding density reduction of these tracks. The  $P/P_0$  ratio can be used for correction of the thermally lowered, apparent fission track ages as indicated in the *table*.

montre un matériel presque identique, plus déformé, avec des plagioclases offrant de nombreuses fractures comblées. Les micas y ont une extinction roulante et des clivages plissés; les macles de certains plagioclases montrent des ondulations. Un métagabbro, folié et très chloritisé (147DR04B4), offre des traces d'un découpage par plusieurs fractures remplies de quartz ou de calcite, avec quelques filons sigmoïdes; l'ensemble témoigne d'une ambiance cisailante. Finalement, 147DR04B5 correspond à une roche très orientée, constituée de lits de quartz microcristallins et de micas. Sa déformation est intense et des bandes de biotites onduleuses englobent des porphyroblastes de plagioclases affectés de deux générations de microfractures faisant un angle d'environ  $25^\circ$ . Des phases cassantes caractérisées par de petites fractures sont postérieures à ces deux déformations. 147DR05B1 (à proximité du précédent, entre 3 000 et 2 000 m de profondeur) correspond à une mylo-

nite à quartz, feldspaths, micas blancs et noirs, sillimanite et grenats. La roche est constituée de lits de quartz, fortement étirés dans la foliation, et de lits micacés en grandes plages fusiformes. Les minéraux sont allongés selon une direction bien soulignée par des lits onduleux de micas, parfois interrompus par des renflements en amande. Une seconde orientation, plus discrète et recoupant la foliation, est constituée de minces bandes de pliage (*kink-bands*). Enfin, des fractures à remplissage micacé constituent des faisceaux plus ou moins anastomosés qui recoupent la foliation antérieure. 147DR05B2 est un schiste constitué de phyllites à minéraux fortement orientés dans une schistosité replissée. Quelques filons recoupent cet ensemble et semblent appartenir à deux périodes de déformation distinctes, avec une phase à quartz suivie d'une paragenèse à calcite non déformée se superposant aux premiers. Le plissement de ce schiste se caractérise par des chevrons à charnière plus ou

moins aiguës. À très fort grossissement, on peut remarquer que les filons de quartz sont étirés et parfois boudinés, découpés et décalés par des fractures formant un réseau de deux familles conjuguées indiquant les effets postérieurs d'un cisaillement. Deux échantillons du dragage 147DR12 correspondent à un micaschiste (147DR12A) et à un schiste (147DR12C), l'un et l'autre peu altérés et constitués de petits quartz et de biotite. Le premier ne montre que de petites fractures orthogonales à la direction générale de la foliation, le second offre des fractures parallèles à la stratification. 147DR20B est un gneiss mylonitisé et fortement orienté, avec quelques fractures ouvertes. 147DR25I est un grès quartzite, dont la fabrique discrète indique une déformation associée au métamorphisme, selon deux directions très proches. Provenant du dragage 147DR38, un gneiss à grenats est recoupé par des filonnets tardifs. Deux échantillons du dragage 147DR45 correspondent l'un à une mylonite, l'autre à un granite très déformé ; le premier est une roche à grain fin et à fabrique très orientée, moulant de gros porphyroblastes de quartz, dont l'agencement indique un cisaillement. Le granite offre une foliation marquée par des quartz alignés et étirés en petits grains engrenés, entourant des porphyroblastes de quartz et feldspaths. Une direction secondaire, discrète, est indiquée par des fractures de cisaillement soulignées par des recristallisations. Enfin, 147DR48C et 147DR54 correspondent à un schiste et à une mylonite ; le premier est caractérisé par une foliation déformée par un microplissement ; le second, intensément déformé, offre un microplissement et, au sein de larges plages de calcite, des bandes de pliage ; l'ensemble est recoupé par des filons de calcite tardifs.

### 2.2.2. Roches d'origine sédimentaire

Seuls deux échantillons de roche sédimentaire provenant du dragage 147DR28 ont été accessibles. 147DR28D1 correspond à un *metasiltstone* recristallisé, affecté de trois séries de fractures, dont deux conjuguées. La composition en est essentiellement quartzreuse, avec quelques micas blancs et plagioclases. Les micas sont alignés selon deux directions faisant un angle de 30° et concentrés à proximité des fractures ; certaines fractures correspondent à des plans discontinus, en échelon, impliquant une activité de type cisailant. 147DR28C1 est un *grauwacke* très peu métamorphisé, à quartz isogranulaires, offrant une microstructuration quasi identique à celle de l'échantillon précédent, impliquant elle aussi la superposition d'un cisaillement à une foliation primitive.

## 3. Discussion et conclusions

L'analyse microstructurale indique que la plupart des échantillons a subi une phase de mylonitisation.

Ces roches sont caractérisées par une déformation ductile résultant d'un contexte métamorphique lié aux diverses phases de structuration du socle ; elles ont ensuite été diversement affectées par des déformations ultérieures. Au cours d'un stade précoce, des filons à paragenèse siliceuse recoupent les structures antérieures. Puis des déformations post-déformation ductile sont attestées, en particulier par des bandes de pliage (*kink-bands*) assez discrètes. Les résultats de l'analyse des traces de fission indiquent que l'histoire thermique du socle de la marge, à l'ouest et au sud de la Tasmanie, comportent trois étapes.

1. Après la mise en place des roches qui constituent le soubassement de la marge, vraisemblablement au cours du Dévonien, un régime thermique de haute amplitude (au-dessus de 160 °C) est mis en place. Les données ne permettent de définir, ni l'intensité, ni la période précise de cet événement. Elles indiquent, en revanche, que ce régime thermique a décrû, dans la mesure où l'isotherme 160 °C n'a été franchi, dans le domaine méridional de l'actuelle marge (147DR22 et 147DR27), qu'au cours du Jurassique et, au nord du plateau profond Sud-Tasman (147DR11 et 147DR31), qu'au cours du Crétacé supérieur. Les figures microstructurales telles que les fractures à remplissage de quartz et, à moindre degré, de calcite, attestent des événements extensifs plus tardifs que les précédents, que nous corrélons à l'épisode de *rifting* d'âge Jurassique supérieur qui, à cette époque, commence à structurer la future marge tasmanienne.

2. Les traces de fission montrent aussi que les échantillons ont, ensuite, séjourné dans la zone de rétention partielle (160–60 °C) et ce, jusqu'au Paléogène supérieur. Cette période de relative stabilité thermique pourrait être corrélée avec celle au cours de laquelle une modification des directions de *rifting* aboutit à créer progressivement, à partir du Paléogène, une marge de type transformant au long de la bordure continentale, à l'ouest et au sud-ouest de la Tasmanie.

3. Finalement, les données thermiques indiquent qu'au site 147DR27 (le plus méridional), l'isotherme 60 °C n'a été franchi qu'au cours de l'Oligocène supérieur, tandis que, dans les autres sites, cette température n'a été atteinte qu'au cours du Miocène. Le passage à l'isotherme 60 °C post-daterait ainsi l'épisode le plus tardif de déformation, caractérisé par des microstructures cisailantes formant des réseaux, dont certains impliquent un environnement thermique assez élevé (paragenèse à biotite). Les fractures issues de cette phase sont souvent conjuguées et leur caractère cisailant est attesté à la fois par leur disposition en bandes, ainsi que par un tracé souvent sinueux formant des amygdales résultant de l'interférence de deux familles de directions proches. L'exhumation des roches du socle et leur refroidissement

seraient des conséquences de réajustements verticaux, diachrones, signalant la fin de l'activité tectonique au long de ce segment de marge à valeur transformante.

L'histoire thermique de cette région, telle qu'elle a été déduite de l'étude des quelques échantillons, semble en bon accord avec des résultats obtenus pour la Tasmanie [8, 10] et le bassin d'Otway au nord de cette île [14]. Dans cette dernière région, les analyses des traces de fission indiquent un épisode de *rifting* Jurassique supérieur–Crétacé, qui se manifeste par un flux thermique élevé associé à du magmatisme. Au sein de ce bassin, le régime de haute température demeure stable jusqu'au cours de l'Éocène, période à partir de laquelle la thermicité tend à décroître, vraisemblablement en relation avec la séparation de l'Australie et de l'Antarctique [7, 12]. Dans les échantillons étudiés, le passage sous l'isotherme 60°, décelable seulement à partir de l'Oligocène supérieur,

est à rapprocher de la fin du *rifting* cénozoïque, qui a abouti à la fois à la création de la marge transformante Sud-Tasmanie, à la séparation définitive de l'Australie et de l'Antarctique et à la création concomitante du bassin océanique austral assurant la jonction définitive entre l'océan Indien méridional et l'océan Pacifique sud-occidental.

L'objectif principal de cette étude était de confronter la réalité géologique, déduite d'une analyse par traces de fission et d'une étude microstructurale, avec les étapes de création de la marge Tasmanienne, déduites de l'analyse de données géophysiques et de reconstitutions cinématiques. Cet objectif a été en partie atteint, mais une telle tentative mériterait d'être développée sur la base d'un échantillonnage plus détaillé, en particulier en ce qui concerne l'analyse par traces de fission.

**Remerciements.** Nous remercions les différents services du MAE, de l'INSU-CNRS et de l'Ifremer, en charge de la coopération scientifique franco-australienne ; l'aide, pour les irradiations, de P. Van den Haute et de A. Dewaespelar a été très appréciée. N. Rollet (AGSO–Geoscience–Australia) nous a aidés pour la réalisation de la version anglaise. N. Exon publie avec l'autorisation du directeur d'AGSO–Geoscience Australia. Cet article constitue la contribution n° 394 de l'UMR Géosciences-Azur.

## Références

- [1] Berry R.F., Meffre S., Kreuzer H., Metamorphic rocks from the southern margin of Tasmania, and their tectonic significance, *Aust. J. Earth Sci.* 44 (1997) 609–619.
- [2] Exon N.F., Crawford A.J., West Tasmanian margin and offshore plateaus: geology, tectonic and climatic history, and resource potential, *Aust. J. Earth Sci.* 44 (1997) 539–541.
- [3] Exon N.F., Hill P.J., Royer J.Y., New Maps of crust off Tasmania expand research possibilities, *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 76 (20) (1995) 206–207.
- [4] Exon N.F., Marshall J.F., McCorkle D.C., Alcock M., Chaproniere G.C.H., Connell R., Dutton S.J., Elmes M., Findlay C., Robertson L., Rollet N., Samson C., Shafik S., Whitmore G.P., AGSO Cruise 147 Report – Tasman Rises geological sampling cruise of *Rig Seismic*: stratigraphy, tectonic history and paleoclimate of the offshore Tasmanian Region AGSO Record 1995/56, 1995, 159 p.
- [5] Exon N.F., Royer J.Y., Hill P.J., Tasmante cruise: swath-mapping and underway geophysics south and west of Tasmania, *Mar. Geophys. Res.* 18 (1996) 275–287.
- [6] Exon N.F., Berry R.F., Crawford A.J., Hill P.J., Geological evolution of the East Tasman Plateau, a continental fragment southeast of Tasmania, *Aust. J. Earth Sci.* 44 (1997) 597–608.
- [7] Exon N.F., Kennett J.P., Malone M.J., Shipboard Scientific Party, The Tasmanian Gateway: Cenozoic climatic and oceanographic development, in: *Proc. ODP, Initial Reports 189*, College Station, TX, 2001.
- [8] Hill K.A., Finlayson D.M., Hill K.C., Cooper G.T., Mesozoic tectonics of the Otway Basin region: the legacy of Gondwana and the active Pacific margin: a review and ongoing research, *APEA J.* 35 (1) (1995) 467–493.
- [9] Hill P.J., Meixner A.J., Moore M.G., Exon N.F., Structure and development of the west Tasmanian offshore sedimentary basins: results of recent marine and aeromagnetic surveys, *Aust. J. Earth Sci.* 44 (1997) 579–596.
- [10] O'Sullivan P.B., Kohn B.P., Apatite fission track thermochronology of Tasmania, *Aust. Geol. Survey Organisation Record 1997/35*, 1997, 61 p.
- [11] Rollet N., Royer J.-Y., Exon N.F., Hill P.J., Le plateau Sud-Tasman (Australie) : collage de deux fragments du Gondwana oriental ?, *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIa* 323 (1996) 865–872.
- [12] Royer J.-Y., Rollet N., Plate-tectonic setting of the Tasmanian region, *Aust. J. Earth Sci.* 44 (1997) 543–560.
- [13] Storzer D., Fission track dating of volcanic glasses and the thermal history of rocks, *Earth Planet. Sci. Lett.* 8 (1970) 55–60.
- [14] Storzer D., Sélo M., Traces de fission dans des apatites détritiques : application à la reconstitution de l'histoire thermique d'un bassin sédimentaire, *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 293 (1981) 979–984.
- [15] Storzer D., Sélo M., Toward a new tool in hydrocarbon resource evaluation: the potential of the apatite fission track chronothermometer, in: Durand B. (Ed.), *Thermal phenomena in Sedimentary Basins*, Internat. Coll., Bordeaux, 1983, Technip, Paris, 1984, pp. 89–110.
- [16] Storzer D., Sélo M., Chrono-thermométrie par traces de fission ; une perspective nouvelle pour la prospection pétrolière, *Rev. IFP* 40 (3) (1985) 301–321.
- [17] Storzer D., Wagner G.A., The application of fission track dating in stratigraphy: a critical review, in: Odin G.S. (Ed.), *Numerical Dating in Stratigraphy*, John Wiley & Sons, 1982, pp. 199–221.
- [18] Storzer D., Jessberger E.K., Kunz J., Lange J.M., Synopsis von Spaltspuren- und Kalium–Argon-Datierungen an Ries-Impaktgläsern und Moldavitin, in: *Exk. f. u. Veröffl. GGW*, Berlin, 195, 1995, pp. 79–80.
- [19] Wagner G.A., Apatite fission track geochrono-thermometer to 60 °C: projected lengthstudies, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. sect.)* 72 (1988) 145–153.