

Géomatériaux / Geomaterials
(Sédimentologie / Sedimentology)

L'ouverture océanique au sud de la Tasmanie durant le Paléogène et ses conséquences paléocéanographiques : résultats préliminaires de la minéralogie des argiles (leg ODP 189)

Christian M. Robert^{a,*}, Neville F. Exon^b, James P. Kennett^c, Mitchell J. Malone^d, Henk Brinkhuis^e, George C.H. Chaproniere^f, Atsuhito Ennyu^g, Patrick Fothergill^h, Michael D. Fullerⁱ, Marianne Grauert^j, Peter J. Hill^b, Thomas R. Janecek^k, Daniel Clay Kelly^l, Jennifer C. Latimer^m, Kristeen McGonigal Roessig^k, Stefan Neesⁿ, Ulysses S. Ninnemann^o, Dirk Nürnbergⁿ, Stephen F. Pekar^o, Caroline C. Pellaton^p, Helen A. Pfühl^q, Ursula Röhl^f, Stephen A. Schellenberg^s, Amelia E. Shevenell^c, Catherine E. Stickley^t, Noritoshi Suzuki^u, Yannick Touchard^v, Wuchang Wei^w, Timothy S. White^x

^a « Sédimentologie et Géodynamique », FRE 2255 et Centre d'océanologie de Marseille, Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 9, France

^b Australian Geological Survey Organisation, PO Box 378, Canberra, ACT 2601, Australie

^c Department of Geological Sciences, University of California, Santa Barbara, CA 93106, États-Unis

^d Ocean Drilling Program, Texas A&M University, 1000 Discovery Drive, College Station, TX 77845, États-Unis

^e Utrecht University, Budapestlaan 4, Utrecht 3584CD, Pays-Bas

^f Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australie

^g Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, États-Unis

^h University of Leicester, Leicester LE1 7RH, Royaume-Uni

ⁱ University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI 96822, États-Unis

^j University of Copenhagen, Øster Voldgade 10, Copenhagen 1350K, Danemark

^k Florida State University, Tallahassee, FL 32306-4100, États-Unis

^l Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543-1541, États-Unis

^m Indiana University, Bloomington, IN 47405, États-Unis

ⁿ Geomar, Wischofstrasse 1-3, Kiel 24148, Allemagne

^o Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, NY 10964, États-Unis

^p Université de Genève, 13, rue des Maraichers, Genève 1211, Suisse

^q University of Cambridge, Pembroke Street, Cambridge CB2 3SA, Royaume-Uni

^r Universität von Bremen, Bremen 28334, Allemagne

^s University of California, Santa Cruz, CA 95064, États-Unis

^t University College, 26 Bedford Way, London WC1H 0AP, Royaume-Uni

^u Tohoku University, Miyagi 980-8578, Japon

^v Cerege, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

^w Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA 92093-0215, États-Unis

^x University of Iowa, Iowa City, IA 52240, États-Unis

Reçu le 26 septembre 2000 ; accepté le 2 février 2001

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – Palaeogene ocean opening south of Tasmania, and palaeoceanographic implications: preliminary results of clay mineral analyses (ODP Leg 189). ODP Leg 189 was designed to test the hypothesis that opening of the Tasmanian Seaway and initiation of circumpolar circulation contributed to the thermal isolation of Antarctica, leading to the development of initial ice-sheet

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : robert@com.univ-mrs.fr (C.M. Robert).

and oceanic thermohaline circulation. The clay assemblages of the Tasmanian region contain the traces of two tectonic stages associated with ocean opening south of the south Tasman Rise near the Palaeocene–Eocene boundary and strike-slip activity between the western Tasmanian land-bridge and Antarctica during the Late Eocene. Earliest Oligocene clays indicate that cooling of Antarctic margins and activity of western boundary circulation progressed with the regional subsidence. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

clays / Palaeogene / Southern Ocean / tectonics / circulation / climate

Résumé – Le but du leg ODP 189 était de tester l’hypothèse selon laquelle l’ouverture océanique au sud de la Tasmanie, isolant le continent antarctique au-delà des courants circumpolaires, serait à l’origine du développement des glaces et des eaux antarctiques, moteurs importants de la circulation thermohaline actuelle. Les argiles terrigènes du secteur Tasman contiennent les traces de l’ouverture océanique au sud de la ride Sud-Tasman vers la limite Paléocène–Éocène, ainsi que du coulisage de la bordure occidentale du pont continental tasman le long de la marge antarctique à l’Éocène supérieur. À partir de l’Oligocène inférieur, les argiles reflètent le refroidissement des marges antarctiques et le développement des circulations méridiennes de surface, en liaison avec l’accélération de la subsidence régionale. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

argiles / Paléogène / océan Austral / tectonique / circulation / climat

Abridged version

Major ice sheets, cold polar waters and a deep cold ocean are prominent features of the modern environment. Their formation may have been initiated through thermal isolation of Antarctica, associated with the development of Antarctic circumpolar circulation. The opening of the Tasmanian Gateway between Antarctica and Tasmania during the Palaeogene was an early, critical stage in this development [5]. ODP Leg 189 was designed to test this hypothesis [3].

Four sites (*figure*) were drilled at water depths of 2 475 to 3 580 m in modern latitudes of 40°–50°S (palaeolatitudes of up to 70°S). A similar sequence of sediments was cored at all sites, and divided into three distinct units [3]:

- a siliciclastic unit (from the Late Maastrichtian at site 1172 to the Late Eocene) consists of silty claystone and clayey siltstone deposited at neritic depths; fluctuating contents of organic matter indicate dysoxic to oxic conditions, and neritic diatoms reflect improved ventilation at site 1172 from the Middle Eocene onwards;
- a transitional unit deposited at neritic depths (Late Eocene) coincides with the preservation of abundant diatoms at sites 1170 and 1171 in association with increased ventilation; this is followed by occurrences of slowly deposited glauconitic siltstones and minor sands indicative of intensified bottom water activity near the Eocene–Oligocene boundary throughout the Tasmanian region;
- a biogenic pelagic unit deposited at bathyal depths begins with Earliest Oligocene nannofossil chalk/limestone at all but site 1168, where a gradational change from shallow terrigenous to pelagic carbonates occurs in the Oligocene.

Clay assemblages have been used to reconstruct major changes of high latitude environments during ocean open-

ing south of Tasmania. Analyses were conducted on 110 Palaeogene samples onboard ‘JOIDES-Resolution’. After carbonate removal and deflocculation, the clay fraction was separated by centrifuging and deposited onto a glass slide. X-ray diffraction analyses were done on natural clay slides, after ethylene–glycol solvation, and after heating at 550 °C. Clay percentages based on peak areas were calculated using Mac Diff software [6].

The clay assemblages at all sites include smectite, random mixed-layered clays, illite, chlorite, and kaolinite (*figure*). The clay minerals, associated with quartz, feldspars and continental organic matter, were subaerially eroded from soils, sediments and substrates of Tasmania, the south Tasman Rise, and their conjugate Antarctic margins.

The most marked change of the clay assemblages is visible in the Earliest Oligocene of site 1170, where the rapid decrease of terrigenous particles in the lowermost part of the biogenic pelagic unit is associated with increased proportions of both illite and random mixed-layered clays. The clay assemblage becomes very similar to those observed in other subantarctic areas of the same age [9]. Regional subsidence and development of Antarctic waters may have favored homogeneous clay assemblages at high latitudes of the Southern Ocean, as well as important hiatuses as observed at site 1171 [3]. The clay minerals express the progression of physical weathering on Eastern Antarctic margins in relation to colder and/or dryer conditions that followed temporary major development of an ice-sheet at the Eocene–Oligocene boundary [11, 14]. Cooler and/or dryer conditions may have resulted in decreased erosion and transport of terrigenous particles to the ocean, causing sediment starvation and allowing formation of an Oligocene biogenic pelagic unit. The continuous increase

of kaolinite through time in the Oligocene sediments of site 1172, where hiatuses are also present, indicates increased supply from lower latitudes and/or higher precipitation on the Australian margin as the western boundary current intensified. Cooling of southern high latitudes and increased thermal gradient may account for intensified poleward heat transfer through western boundary circulation.

Below the Eocene–Oligocene transition, the clay assemblages at all sites show distinct but local variations, which have no equivalent at other Southern Ocean sites of Maud Rise, Kerguelen Plateau and the Antarctic margin [2, 8, 9].

Almost exclusive smectite characterizes Maastrichtian to Early Eocene sediments of site 1172. As volcanic activity on the adjacent Cascade Seamount is confined to limited discrete volcanoclastic horizons in the Late Eocene and Early Oligocene, smectite is inferred to be derived from intense chemical weathering of low relief areas of warm climate with alternating intervals of precipitation and aridity [1, 13]. These environments probably prevailed on adjacent subaerial margins of the Tasmanian land-bridge and Campbell Plateau that became passive after break up in the Tasman Sea at about 75 Ma [12]. Warm conditions were probably maintained through warm western boundary circulation. Similar clay assemblages are also present in other high latitude areas of Maud Rise [8] and Kerguelen Plateau [2]. Latest Palaeocene and Early Eocene smectite at site 1171 is associated with other clays. Kaolinite is indicative of warm climate, high precipitation and good drainage [1, 13]. Illite and chlorite result from intense physical weathering, induced either by cold/dry conditions or steep morphology/active erosion. However, the presence of illite and chlorite together with smectite and especially kaolinite in a terrigenous prograding unit [3, 12] suggests an origin from active erosion of steep areas, and is probably related to rift activity that is documented on the south Tasmanian land-bridge at this time [4, 12]. Similar clay assemblages associated with prograding seismic-reflection pattern have been related to tectonic activity during early opening of the South Atlantic [7]. Their occurrence at site 1171 reflects weathering and erosion of adjacent steep drainage basins at the end of the Cretaceous to Eocene stage of tectonic activity [12] that formed trans-tensional basins south of Tasmania.

A dominance of smectite during the Middle Eocene at all sites indicates intense chemical weathering in adjacent low relief source areas of the Tasmanian land-bridge. Similar occurrences of smectite, replacing illite and kaolinite, have been related to the development of regional subsidence and transgression that followed early opening of the South Atlantic [7]. Development of smectite in the Tasmanian area commences above a transition from prograding to horizontal reflectors at site 1171. It may coincide with an interval of regional subsidence that followed separation of the Pacific margin of south Tasman Rise from its conjugate Antarctic margin of Wilkes Land [3].

A major increase of illite at the end of the Middle Eocene (38 Ma, biozone NP 17) at sites 1170 and 1171 resulted from the development of physical weathering and erosion of substrates in adjacent drainage basins of the south Tasman Rise. Since only very minor amounts of illite occur in coeval sediments from other Southern Ocean locations [2, 8], physical weathering on south Tasman Rise is inferred to result more from increased erosion associated with resumption of regional tectonic activity rather than from Antarctic climatic cooling. Higher abundances of illite at site 1170 suggest that erosion and tectonism were more active on the Indian Ocean side of south Tasman Rise. Dominant kaolinite, associated with illite in the Late Eocene of site 1168 indicates that the steep morphology was associated either with intense chemical weathering or erosion of ancient sediments. Since subtropical pollen and warm water nannofossils are also present in the sediment [3], we assume a pedogenic, climate induced origin of the kaolinite. Dominant smectite at site 1172 is associated with relatively warm dinocyst assemblages [3], and increased contents of kaolinite from 40 Ma (NP 16–NP 17 boundary) onwards. It is probable that the role of the western boundary current in sediment transport and climate increased, through intensified precipitation and run-off on the passive margins of the Tasman Sea. Steep relief may have developed through strike-slip activity along the Tasman fracture zone on the southwestern Tasmanian land-bridge in the Middle Eocene [12]. This resumption of tectonic activity in the Tasmanian area seems coeval with decreased chemical weathering on eastern Antarctic margins and expansion of cold waters at intermediate water-depths of the Southern Ocean [10], and may have had important climatic and oceanographic consequences. The clays suggest that the peak of tectonic activity was constrained between the Upper Middle Eocene (38 Ma, biozone NP 17) and the end of the Late Eocene, when ventilation of the water column and bottom water activity increased at all sites.

Clay assemblages from the Tasmanian region contain the traces of two tectonic stages of Early Palaeogene age: kaolinite, illite and chlorite accompany rift activity on the Pacific side of the south Tasman Rise near the Palaeocene–Eocene boundary and strike-slip activity between the Indian Ocean side of the Tasmanian land-bridge and Antarctica in the Late Eocene. Development of smectite characterizes the regional subsidence in the Early–Middle Eocene and at the end of the Late Eocene. Cessation of tectonic activity and rapid subsidence of the Tasmanian region allowed opening of the gateway to deep waters. From the Earliest Oligocene onwards, clay assemblages characterized by illite and random mixed-layered clays on the south Tasman Rise, as in other Southern Ocean locations, resulted from physical weathering associated with cooling of the passive east Antarctic margins. Kaolinite at northern sites accompanied intensified activity of the western boundary current in relation to increased meridional thermal gradient.

1. Introduction

La Terre est caractérisée par d'importantes calottes glaciaires et des masses d'eaux froides d'origine polaire, circulant en profondeur dans les bassins océaniques. Leur développement s'est déroulé au cours du Cénozoïque, débutant aux hautes latitudes sud. Voici une vingtaine d'années, les résultats des premières campagnes de forage dans l'océan Austral ont conduit à émettre l'hypothèse que les calottes glaciaires et les masses d'eaux froides auraient progressé avec l'isolement thermique du continent antarctique au-delà de l'océan Austral, parcouru par les courants circum-antarctiques. L'ouverture océanique, au sud de la Tasmanie, achevant la séparation de l'Antarctique et de l'Australie au cours du Paléogène, aurait joué un rôle essentiel dans ce processus [5]. Le leg ODP 189 a été conçu afin de tester cette hypothèse, ainsi que pour préciser le rôle de l'expansion de l'océan Austral dans l'évolution du climat antarctique et le développement des masses d'eaux froides [3].

Forés à des latitudes de 40° à 50°S et des profondeurs d'eau de 2 475 à 3 580 m, les sites 1168, 1170, 1171 et 1172 (*figure*) ont permis de recueillir des séries sédimentaires paléogènes quasiment continues, déposées à des paléolatitudes remontant jusqu'à 70°S [3]. Les séries sédimentaires sont semblables dans leurs grandes lignes aux quatre sites, et comportent trois unités principales. L'unité de base terrigène a été reconnue depuis le Maastrichtien au site 1172 dans le domaine Pacifique, jusqu'à l'Éocène supérieur aux quatre sites. Elle est constituée d'argilites silteuses et de siltites argileuses, déposées en milieu peu profond. L'abondance variable de matière organique correspond à un milieu faiblement anoxique à pauvrement oxygéné, et d'abondantes diatomées néritiques indiquent une meilleure ventilation, à partir de l'Éocène moyen, au site 1172 [3]. La seconde unité, dite de transition, débute avec la préservation d'abondantes diatomées néritiques dans les dépôts d'âge Éocène supérieur des sites 1170 et 1171, indiquant une meilleure ventilation du plateau Sud-Tasman. Par la suite, l'extension à l'ensemble des sites de siltites et sables glauconieux est associée au développement d'une circulation de fond active à faible profondeur, aux alentours de la limite Éocène–Oligocène. Les particules terrigènes diminuent rapidement d'abondance au-dessus de l'intervalle glauconieux dans les dépôts bathyaux d'âge Oligocène basal des sites 1172 (domaine Pacifique), 1170 et 1171 (plateau Sud-Tasman), mais persistent dans l'Oligocène inférieur du site 1168 (domaine Indien), jusque vers 31 Ma [3]. La troisième unité, biogène pélagique, débute de manière abrupte aux sites 1170, 1171 et 1172 avec les premiers calcaires et craies à nannofossiles d'âge Oligocène inférieur, alors que les particules bio-

gènes carbonatées n'augmentent que progressivement dans les dépôts oligocènes du site 1168.

2. Résultats minéralogiques

La variabilité des assemblages et des proportions des minéraux argileux contenus dans la fraction terrigène du sédiment a été utilisée afin de reconstituer les variations majeures du paléoenvironnement des hautes latitudes australes durant les phases ultimes d'ouverture océanique au sud de la Tasmanie et d'expansion du milieu marin. Pour cela, 110 échantillons d'âge Paléogène, provenant des quatre sites, ont été prélevés et analysés à bord du *JOIDES-Resolution*. Les échantillons, préalablement séchés à l'étuve (40 °C), ont été délités à l'eau avant d'être, si nécessaire, décalcifiés à l'acide acétique dilué à 10 % et rincés par centrifugation, puis déflocculés à l'aide d'une solution d'hexaméthaphosphate de sodium dilué à 2 %. La fraction inférieure à 2 µm a été séparée par centrifugation et déposée sur lame de verre avant d'être séchée à l'étuve à 40 °C. Les analyses ont été réalisées à l'aide du diffractomètre de rayons X Philips PW 1780 du bord, sur lame non traitée, puis saturée en éthylène-glycol sous vide à 40 °C pendant 8 h, enfin chauffée à 550 °C pendant 1 h. La reconnaissance des minéraux et le calcul de leurs pourcentages, basé sur l'aire des pics de diffraction 001, ont été effectués à l'aide du logiciel MacDiff [6].

Les minéraux argileux reconnus aux quatre sites sont la smectite, les interstratifiés irréguliers, l'illite, la chlorite et la kaolinite, en proportions extrêmement variables (*figure*). Au Paléogène inférieur, ces minéraux sont associés à des faciès principalement deltaïques remplissant sur 1 000 à 2 000 m d'épaisseur de petits bassins en transtension, d'orientation principale NW–SE, formés par le processus de séparation entre la Tasmanie et l'Antarctique [4]. Les particules terrigènes sont alors érodées des courts bassins-versants établis sur les pentes des blocs structuraux adjacents, dont les parties les plus élevées, subaériennes, constituent le pont continental de Tasmanie [3]. Les minéraux argileux, associés notamment au quartz, aux feldspaths et à la matière organique continentale, proviennent de l'érosion des substrats, des sédiments et de leurs altérations, qui affleurent en Tasmanie, sur le plateau Sud-Tasman et leurs secteurs conjugués de la marge Antarctique. Dans les dépôts oligocènes, la proportion d'éléments terrigènes grossiers décroît avec celle des minéraux argileux, dont la nature ne varie pas.

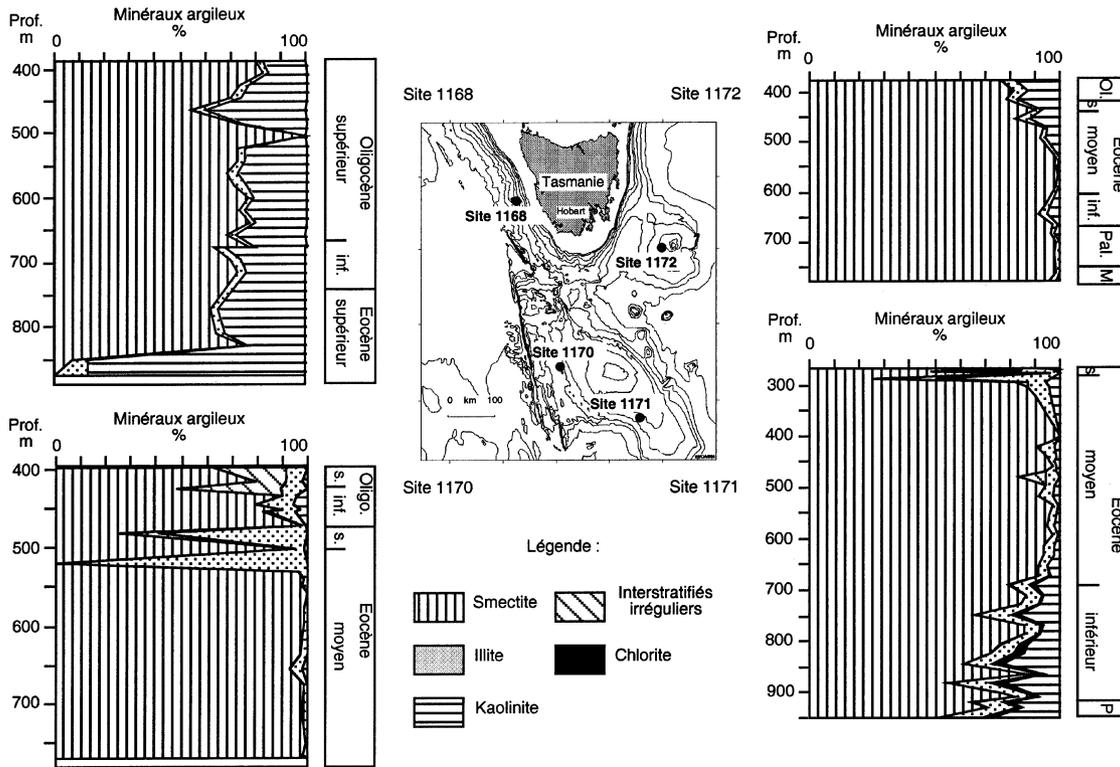


Figure. Plan de localisation et assemblages de minéraux argileux paléogènes aux sites 1168 (marge ouest de Tasmanie), 1170 et 1171 (plateau Sud-Tasman), 1172 (plateau Est-Tasman). Noter le contraste minéralogique entre les sites nord et sud, résultant de l’influence dominante de l’activité tectonique au sud, et des transferts de chaleur méridiens au nord.

Figure. Location map and Palaeogene clay assemblages at sites 1168 (West Tasmanian Margin), 1170 and 1171 (South Tasman Rise), and 1172 (East Tasman Plateau). Note mineralogical contrast between northern and southern sites, in relation with dominant influence of tectonic activity to the south, and meridional heat transfer to the north.

3. Interprétation des paléoenvironnements

Un changement minéralogique majeur, mis en évidence au site 1170 (*figure*), est associé à la mise en place de l’unité biogène pélagique à la base de l’Oligocène. L’abondance de la fraction terrigène diminue, tandis que sa teneur en illite et interstratifiés irréguliers augmente progressivement. L’assemblage minéralogique devient très proche de celui qui est observé au même âge en d’autres secteurs subantarctiques [9]. Avec la subsidence régionale et le développement des eaux antarctiques, les assemblages de minéraux argileux des hautes latitudes sud deviennent de plus en plus homogènes. Ils expriment la progression de l’altération physique sur la marge du continent Antarctique, de plus en plus isolé au-delà de l’océan Austral en expansion, en liaison avec les conditions plus froides et/ou plus sèches qui ont suivi le développement temporaire d’une calotte glaciaire à la base de l’Oligocène [11, 14]. L’érosion plus faible et les flux terrigènes réduits résultant des conditions plus froides et/ou plus sèches auraient pu, par dilution, favoriser

le développement de l’unité biogène pélagique. Malgré la présence de hiatus, les sédiments déposés au site 1172 montrent, durant la transition vers les dépôts biogènes et au-delà, un accroissement de la teneur en kaolinite. Les marges passives subsidentes de mer de Tasmanie ne favorisant pas le développement de reliefs, cette tendance résulte probablement d’apports accrus depuis les plus basses latitudes et/ou de plus fortes précipitations sur les marges, en liaison avec une activité accrue du courant de surface est-australien. Le refroidissement des hautes latitudes, en augmentant le gradient thermique, pourrait être à l’origine de l’accroissement des transferts de chaleur par la circulation méridienne de surface.

Sous la limite Éocène–Oligocène, les minéraux argileux montrent d’importantes variations d’abondance à caractère régional, sans équivalence aux sites forés dans d’autres secteurs de l’océan Austral, sur le plateau de Kerguelen et en mer de Weddell [2, 8, 9].

Les sédiments d’âge Maastrichtien à Éocène inférieur ont été forés dans le domaine Pacifique (sites 1171 et 1172). Une smectite quasiment exclusive caractérise cet intervalle au site 1172 (95 à 100 %). Au-

cune trace d'activité du guyot proche du site (cascade Seamount) n'ayant été trouvée dans les argilites terrigènes du site 1172, à l'exception de rares passées volcanoclastiques d'âge Éocène supérieur à Oligocène inférieur [3], ou dans les niveaux correspondants du secteur Est-Tasman [4], la smectite proviendrait essentiellement de l'altération chimique de zones de faible relief à climat chaud, avec alternance de périodes humides et sèches [1, 13]. Une telle morphologie continentale était probablement présente sur les secteurs émergés adjacents du pont continental de Tasmanie et du plateau de Campbell, l'activité tectonique associée aux phases initiales d'ouverture de la mer de Tasmanie entre Nouvelle-Zélande et Australie ayant cessé vers 75 Ma au Crétacé [12]. Les courants chauds de surface s'écoulant le long de la marge australienne auraient alors permis le maintien des conditions de température et d'humidité propices à la formation de smectite jusqu'au secteur Est-Tasman [3]. Des conditions similaires étaient alors présentes dans différents secteurs antarctiques, proches de la ride de Maud [8] et du plateau de Kerguelen [2]. Au site 1171, la smectite est associée à une forte proportion de kaolinite (10 à 35 %), typique des régions chaudes à fortes précipitations et bonnes conditions de drainage [1, 13], ainsi que d'illite (5 à 15 %) et de chlorite (traces à 5 %), caractérisant l'altération physique des substrats dans les régions froides et/ou arides et dans les zones de fort relief à érosion active [1, 13]. Illite et chlorite étant associées à la smectite et à la kaolinite au sein d'une unité sismique progradante [12] constituée de siltites et argilites [3], leur présence n'est pas d'origine strictement climatique, mais résulte plutôt de l'érosion de zones de fort relief, associées à une phase de *rifting* entre Antarctique et ride Sud-Tasmanie [4, 12]. Des assemblages argileux similaires dans un contexte structural et sédimentologique identique ont été observés durant des intervalles chauds d'activité tectonique intense, liés à l'ouverture initiale de l'Atlantique sud [7]. Les argiles du site 1171 sont attribuées à l'altération chimique et à l'érosion du bassin de drainage adjacent, à la fin de l'épisode tectonique Crétacé–Éocène aboutissant à la formation des bassins en transtension au sud de la Tasmanie.

Les sédiments déposés durant la majeure partie de l'Éocène moyen, constitués de siltites argileuses et d'argilites silteuses, ont été forés aux sites 1171 et 1172 (domaine Pacifique) ainsi qu'au site 1170 (domaine Indien). La smectite (80 à 100 %) domine largement aux trois sites (*figure*), en relation avec une intense altération chimique dans les régions sources des particules. La distribution des réflecteurs sismiques [4] indiquant la persistance à l'Éocène moyen des bassins en transtension, les sources de particules sont toujours localisées dans les bassins de drainage adjacents. Toutefois, la prédominance de la smectite re-

flète l'extension des zones de faible relief dans les secteurs Est- et Sud-Tasman. Le développement de la smectite relayant des assemblages minéralogiques complexes dominés par l'illite et la kaolinite a été mis en relation avec la subsidence des marges continentales et la transgression qui suivent les phases d'ouverture océanique initiale [7]. La smectite des secteurs Est- et Sud-Tasman, qui devient prédominante au-dessus de la transition de réflecteurs progradants vers des réflecteurs horizontaux [3], a pu se développer lors d'une phase de subsidence régionale. Subséquente à l'arrêt de l'activité tectonique, celle-ci marque la séparation du secteur Pacifique du plateau Sud-Tasman et de la marge Antarctique conjuguée de la Terre de Wilkes [3].

Aux sites 1170 et 1171, un accroissement majeur de l'illite (jusqu'à 100 %) vers la fin de l'Éocène moyen (*figure*) dans la biozone NP 17 (38 Ma) indique un développement majeur de l'altération physique et de l'érosion des substrats dans les bassins de drainage adjacents. Ils pourraient résulter, soit d'un changement climatique, soit d'un accroissement de l'érosion de reliefs localement rajeunis par une reprise de l'activité tectonique. De tels accroissements de l'illite n'ayant pas été observés ailleurs, ni dans l'océan Austral [2, 8], ni au site 1172 proche, ils sont attribués essentiellement à une reprise de l'activité tectonique. Les teneurs en illite, plus importantes au site 1170 (domaine Indien), suggèrent qu'altération physique et érosion ont été plus intenses sur la partie ouest du plateau Sud-Tasman. Sur la marge ouest de Tasmanie, au site 1168, la fraction argileuse terrigène est dominée par la kaolinite (85 %) associée à l'illite (10 à 15 %). Les particules, issues du bassin de drainage adjacent [3], suggèrent là aussi la présence de forts reliefs et peuvent provenir, soit de l'altération chimique des substrats, soit de l'érosion de formations anciennes. La présence, dans le sédiment, de pollens à affinités subtropicales et de nannofossiles caractéristiques d'eaux chaudes [3] suggère plutôt une origine pédogénique dominante de cette kaolinite.

Au site 1172, la prédominance de la smectite est associée à la présence de microfossiles typiques d'eaux chaudes [3], ainsi qu'à un accroissement de kaolinite à proximité de la limite entre les biozones NP 16 et NP 17 (40 Ma). Cette association témoigne de l'absence de reliefs importants sur la marge passive de mer de Tasmanie et du rôle important du courant de surface est-australien sur les apports sédimentaires et le climat dans cette région.

Les forts reliefs mis en évidence à l'ouest du secteur d'étude ont pu se développer lors d'une reprise de l'activité tectonique liée au coulissage de la bordure ouest du plateau Sud-Tasman (zone de fracture de Tasmanie) le long de la marge antarctique, à la fin de l'Éocène moyen [12]. Le début de cet épi-

sode est contemporain d'une décroissance de l'altération chimique sur les marges antarctiques, et d'expansion d'eaux intermédiaires froides dans l'océan Austral [10]. Les minéraux argileux suggèrent que l'activité tectonique a été limitée à l'intervalle compris entre la fin de l'Éocène moyen (biozone NP 17, 38 Ma) et celle de l'Éocène supérieur, période pendant laquelle l'avancement du coulisage a permis l'extension d'un milieu marin ventilé (présence de diatomées néritiques), suivie par le développement de courants de fond (présence de glauconie) à tous les sites [3]. Le contraste minéralogique et paléontologique observé entre les sites 1170 et 1171, d'une part, et le site 1168, d'autre part, suggère la présence d'un important front océanographique et/ou climatique entre la Tasmanie et le plateau Sud-Tasman, dès l'Éocène supérieur.

Vers la fin de l'Éocène supérieur, les teneurs en illite et en kaolinite décroissent sur le plateau Sud-Tasman et sur la marge ouest de Tasmanie, suggérant un aplanissement des reliefs et une diminution de l'activité tectonique liée au coulisage de cette région le long de la marge Antarctique, alors que la subsidence régionale progresse [4].

4. Conclusion

Les assemblages successifs de minéraux argileux terrigènes du secteur Tasman de l'océan Austral aident à retracer les étapes de l'ouverture océanique

entre l'Antarctique et la Tasmanie, ainsi que leurs conséquences sur l'environnement :

- kaolinite, illite et chlorite marquent, d'une part, le développement de bassins en transtension menant à la séparation du plateau Sud-Tasman et de l'Antarctique (côté océan Pacifique) vers la transition Paléocène–Éocène et, d'autre part, le coulisage de la bordure occidentale du pont continental Tasman (zone de fracture de Tasmanie) le long de la marge antarctique côté océan Indien à l'Éocène supérieur ;
- le développement de smectite marque la fin de l'activité tectonique et le développement de la subsidence régionale à l'Éocène inférieur et moyen, ainsi qu'à la fin de l'Éocène supérieur ;
- la fin de l'activité tectonique et la subsidence rapide du secteur Tasman ont permis les échanges d'eaux intermédiaires, puis profondes, entre les domaines Pacifique et Indien de l'océan Austral. À partir de l'Oligocène inférieur, la progression de l'illite et des interstratifiés irréguliers sur le plateau Sud-Tasman, comme en d'autres secteurs de l'océan Austral, résulte du refroidissement et/ou de l'aridité des marges passives est-antarctiques. L'abondance de kaolinite aux sites proches de l'Australie résulte d'une augmentation des précipitations et des apports terrigènes originaires des plus basses latitudes, en liaison avec le développement de la circulation méridienne de surface, qui accompagne un gradient thermique accru.

Références

- [1] Chamley H., *Clay sedimentology*, Springer, Berlin, 1989.
- [2] Ehrmann W.U., Implications of sediment composition on the southern Kerguelen Plateau for paleoclimate and depositional environment, in : Barron J., Larsen B. et al. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 119, Ocean Drilling Program, College Station TX, 1991, pp. 185–210.
- [3] Exon N.F., Kennett J.P., Malone M.J. et al., *Proceedings Ocean Drilling Program, Initial Reports*, Ocean Drilling Program, College Station TX, 189 (sous presse).
- [4] Hill P.J., Meixner A.J., Moore A.M.G., Exon N.F., Structure and development of the west Tasmanian offshore sedimentary basins: results of recent marine and aeromagnetic surveys, *Austral. J. Earth Sci.* 44 (1997) 579–596.
- [5] Kennett J.P., Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and their impact on global paleoceanography, *J. Geophys. Res.* 82 (1977) 3843–3860.
- [6] Petschick R., *Mac Diff version 4*, Universität Frankfurt, 2000.
- [7] Robert C., Clay mineral associations and structural evolution of the South Atlantic: Jurassic to Eocene, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 58 (1987) 87–108.
- [8] Robert C., Maillot H., Paleoenvironments in the Weddell Sea area and Antarctic climates, as deduced from clay mineral associations and geochemical data, ODP Leg 113, in : Barker P.F., Kennett J.P. et al. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 113, Ocean Drilling Program, College Station TX, 1990, pp. 51–70.
- [9] Robert C., Chamley H., Late Eocene–Early Oligocene evolution of climate and marine circulation: deep-sea clay mineral evidence, in : Kennett J.P., Warnke D.A. (Eds.), *The role of the Southern Ocean and Antarctica in Global Change*, *Antarct. Res. Ser.* 56 (1992) 97–117.
- [10] Robert C., Kennett J.P., Paleocene and Eocene kaolinite distribution in the South Atlantic and Southern Ocean: Antarctic climatic and paleoceanographic implications, *Mar. Geol.* 103 (1992) 99–110.
- [11] Robert C., Kennett J.P., Antarctic continental weathering changes during Eocene–Oligocene cryosphere expansion: clay mineral and oxygen isotope evidence, *Geology* 25 (1997) 587–590.
- [12] Royer J.Y., Rollet N., Plate tectonic setting of the Tasmanian region, *Austral. J. Earth Sci.* 44 (1997) 543–560.
- [13] Weaver C.E., *Clays, Muds, and Shales*, Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [14] Zachos J.C., Lohmann K.C., Walker J.C.G., Wise S.W., Abrupt climate change and transient climates during the Paleogene: a marine perspective, *J. Geol.* 101 (1992) 191–213.