

Origine et évolution du bassin Nord-Banda (Indonésie) : apport des données magnétiques

Florent Hinschberger^a, Jacques-André Malod^{a*}, Jean-Pierre Réhault^a, Jérôme Dymont^a, Christian Honthaas^b, Michel Villeneuve^c, Safri Burhanuddin^d

^a Domaines océaniques, IUEM, place Copernic, 29280 Plouzané, France

^b Laboratoire de pétrologie, université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

^c Centre de paléontologie et sédimentologie, université de Provence, 13331 Marseille cedex 03, France

^d Department Teknik Geologi, Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang, Indonesia

Reçu le 19 juillet 2000 ; accepté le 4 septembre 2000

Présenté par Xavier Le Pichon

Abstract – Origin and evolution of the North Banda Basin (Indonesia): constraints from magnetic data.

The North Banda Sea Basin is located in Eastern Indonesia, close to the triple junction between the Eurasian, Pacific and Indo-Australian plates, and opened during Late Miocene time in a back arc setting. We use the magnetic and bathymetric data to depict this opening and the geodynamical evolution of the basin. We also take into account radiochronological datings available from some dredges of its basement. Sea floor spreading occurred from 12.5 to 7.15 Ma directed by three large NW–SE transform faults, namely the West Buru, Tampomas and Hamilton fracture zones. Finally, a schematic model of the North and South Banda basins evolution is presented.

© 2000 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

North Banda Basin / Indonesia / magnetic anomalies

Résumé – Le bassin Nord-Banda, situé en Indonésie orientale à proximité du point triple entre les plaques Eurasie, Pacifique et Indo-Australie, s'est formé au Miocène supérieur dans un contexte arrière-arc. Nous utilisons les données magnétiques et bathymétriques pour préciser la géométrie de l'ouverture du bassin et retracer les grandes étapes de son évolution géodynamique. Nous prenons aussi en compte les datations du plancher océanique obtenues à partir de dragages. L'accrétion océanique s'est déroulée entre 12,5 et 7,15 Ma suivant une direction NW–SE. L'ouverture du bassin fut guidée par les grands accidents transformants de Buru ouest, de Tampomas et de Hamilton. Un modèle schématique de l'évolution des bassins Nord et Sud-Banda est enfin présenté. © 2000 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

bassin Nord-Banda / Indonésie / anomalies magnétiques

Abridged version

1. Introduction

The North Banda Sea Basin (NBSB), Eastern Indonesia, is located close to the triple junction of three major converging plates: Indo-Australia, Eurasia and Pacific [4] (*figure 1*). Existing magnetic and bathymetric data, in addition to those recorded during several Franco-

Indonesian cruises allow depiction of the opening and the geodynamical evolution of the basin.

The shape and topography of the NBSB is of little help in deciphering its origin and evolution [9]. However, the basin is framed by large transcurrent faults like the Hamilton FZ and the West Buru FZ [2, 10] (*figure 2*). In the middle part of the basin the Tampomas Ridge is a horst of oceanic crust [11] fringed along

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : malod@sdt.univ-brest.fr (Jacques-André Malod).

its southern border by an infilled depression. These fracture zones likely were active transform faults during the basin opening. Accordingly, the northern and south-eastern margin of the basin may have formed as passive margins. Tectonic reactivations are observed to the north where seismic reflection profiles illustrate an east–west transcurrent zone underlined by earthquakes with strike slip focal mechanisms. Lastly, the NBSB is presently subducting beneath East Sulawesi along the Tolo trench [10, 13].

The age and nature of the basin have been debated for a long time. The great depth of the basin suggested a Mesozoic age according to thermal subsidence relations. The basin was then interpreted as a remnant of Indian oceanic crust [1, 8]. It has been also interpreted as a relic of the Molucca sea [14] and a Neogene back arc origin was also proposed [4]. This latter interpretation has been recently confirmed by direct sampling and isotopic datation [6]. The NBSB opened around 10 Ma in a back arc setting. The aim of this paper is devoted to the use of the magnetic and tectonic pattern of the basin to describe the geometry of its opening and interpret its tectonic structure.

2. Magnetic anomaly pattern

Magnetic lineations are well defined in the south-eastern part of the basin. Their N 55°E strike supports the hypothesis of a NW–SE oceanic spreading. We used the age of 7.33 ± 0.18 Ma given from the dredge SBU 2 [6] to calibrate the magnetic inversion local scale [3]. We correlated the magnetic anomalies on different profiles and compared them to a theoretical model. This provides us agreement with a model valid for the southern part of the NBSB. Despite the spacing and variable orientation of the profiles, we recognise clearly anomalies 4 to 5 (7.4 to 11.9 Ma). Particularly, anomalies 5r, 5n, 4Ar, 4An, 4r and 4n are identified on a majority of our profiles (*figures 3 and 4*). The fossil spreading axis is located in the middle of the basin and strikes N 55°E. The end of spreading occurred during the reverse magnetic period 3Br around 7.15 Ma, a short time before the onset of jumped intra arc spreading in the South Banda Sea Basin (SBSB) at 6.5 Ma [5, 6].

The identification of magnetic anomalies in the north-west of the extinct spreading axis is established with less certainty. However, there is some evidence for a faster spreading rate to the north than to the south during the last one million years of opening. Before 8.5 Ma, the spreading was symmetrical with a half rate of 2.8 to 3.3 cm·yr⁻¹, which is very similar to the rate observed for the SBSB [5]. The oldest anomalies are observed along the south-eastern margin of the basin and correspond to normal period 5An (11.9–12.4 Ma) indicating an age of about 12.5 Ma for the onset of spreading (*figure 4*). In the North, we propose an interpretation where anomalies 5An (11.9–12.4 Ma) and 5Ar (12.4–12.9 Ma) may be recognised. To the west, along

the southern part of the Tolo prism, the oldest observed anomaly is 4An (9 Ma).

3. Transform zones pattern

Interruption and offsets of the magnetic anomalies allow us to depict a pattern of fracture zones oriented NW–SE which include the West Buru FZ, the Hamilton FZ and the Tampomas Ridge. These fracture zones have clearly played the role of transform faults during the spreading phase. Around 124°15'E of longitude, magnetic lineations show a constant left lateral offset of about 20 km. This fault which follows a morphological depression striking N 165°E (*figure 2*) cannot be considered as a transform FZ but more likely as the result of later tectonic reactivation.

As a result oceanic spreading in the NBSB occurred between 12.5 and 7.15 Ma with a NW–SE direction.

4. Discussion

Our magnetic anomaly model must be discussed in the light of other dated samples of the NBSB sea floor. Sample SBU 1 dated at 9.43 ± 1.12 Ma (K/Ar age) [6] is located on the north-east faulted flank of Tampomas Ridge where no magnetic lineations are recognised (*figure 4*). The magnetic anomaly 4n (7.4–8 Ma) is identified in a close proximity north-east of the dredging location. We propose to interpret this discrepancy by a right lateral movement of the faults bounding the Tampomas Ridge to the north.

South-west of the NBSB, dredges DR 218 and D19 have sampled the Hamilton FZ, which is bordered to the north by a typical shear zone from morphological and structural point of view. The dredges provide ages between 9.5 and 11.5 Ma [6, 14] (*figure 4*). According to our model the age of the basin crust near these dredges is 10 to 12.5 Ma (anomalies 5n to 5An). However the dredged rocks are interpreted as pieces of the oceanic basement accreted to the Tukang Besi platform during a Late Neogene left lateral strike slip motion of the Hamilton fault [6]. Then our model is fully compatible with this later interpretation.

Our model allows us to distinguish between tectonic directions associated with oceanic spreading and those resulting from later reactivation. It gives also some idea about the original shape of the margins of the basin. The west Buru FZ appears as a transform margin, while the south-eastern transition towards the Banda Ridges corresponds to a passive margin. To the west the lack of magnetic anomalies older than 9 Ma (4An) can be related to the Tolo subduction. A piece of about 3.5 Ma of oceanic crust would have subducted. For an estimated half-spreading rate of 3 cm·yr⁻¹, about 100 km of oceanic crust may have so disappeared beneath Sulawesi. This is in agreement with the occurrence of three shallow earthquakes (20 to 50 km), showing an east–west compressional focal mechanism, at distances between 20 to 70 km of the trench. The strike slip fault

oriented N165°E (*figure 4*) is another example of a post spreading tectonic evolution. Like the Gunung Api FZ in the SBSB oriented in the same direction [2], it is probably related to the collisional phase between Australia and the Banda arc in Middle Pliocene [1, 12].

Taking into account these new data about the opening history of the NBSB and the now well dated age of the SBSB (6.5 to 3.5 Ma [5, 6]), we can propose a schematic model of the North and South Banda basins opening (*figure 5*). We consider that the two basins were formed as back-arc basins of the Banda subduction zone. We also interpret East Sulawesi, Buru, Seram and the Banda Ridges as parts of the same continental fragment before the opening of NBSB and SBSB, as proposed by Villeneuve et al. [15, 16].

1. Introduction

La mer de Banda est située à l'est de l'Indonésie, à proximité de l'intersection des plaques Indo-Australie, Eurasie et Pacifique, qui convergent depuis le Mésozoïque [4] (*figure 1*). Le bassin Nord-Banda est séparé du bassin Sud-Banda par un système de rides continentales d'origine australienne, les « rides de Banda » [14, 15]. L'interprétation des données magnétiques nous permet de préciser la géométrie de l'ouverture du bassin Nord-Banda et de retracer les grandes étapes de son évolution géodynamique. Notre étude prend en compte les données de bathymétrie et de magnétisme recueillies lors de 25 campagnes océanographiques qui ont eu lieu entre 1962 et 1988 et sont disponibles dans la base NGDC. S'y ajoutent les résultats des campagnes « Banda Sea I, II et III » et « Geobandut » effectuées sur le N/O « Baruna Jaya » lors d'un programme de coopération franco-indonésien. Les données de bathymétrie ont été échantillonnées sur une grille de 2 × 2 minutes en utilisant le logiciel GMT [17]. Grâce au grand nombre de campagnes utilisées et à l'homogénéité dans le traitement des données, notre carte bathymétrique du bassin Nord-Banda constitue un progrès réel par rapport aux précédentes cartes publiées sur la zone [1, 9] (*figure 2*). Avec des isobathes tous les 200 m, elle précise la direction et l'étendue des structures déjà reconnues par Réhault et al. [10]. Les mesures de l'intensité du champ magnétique ont été réduites en anomalies magnétiques en utilisant les modèles IGRF [7]. L'échelle magnétique est de Cande et Kent [3]. Nous avons comparé les profils magnétiques avec des profils d'anomalies théoriques construits en faisant varier la profondeur du plancher océanique et l'orientation de l'axe d'accrétion fossile, afin de repérer les linéations magnétiques dans le bassin (*figures 3 et 4*).

Le bassin Nord-Banda a une forme pentagonale qui ne renseigne que peu sur une possible direction d'ouverture (*figure 2*). Sa profondeur atteint 6 500 m au

5. Conclusion

A clear and unambiguous identification of the magnetic anomaly of the NBSB results mainly from the availability of some radiochronological ages for its oceanic basement. The NBSB opened between 12.5 and 7.15 Ma with the half spreading rate of about 3 cm·yr⁻¹. The direction of opening is NW–SE and has been controlled by large NW–SE fracture zones. Subsequently and southwards, the SBSB opened with the same rate and direction from 6.5 to 3.5 Ma. Both of these basins have geophysical, geological and geochemical characteristics of back arc basins which may have opened in relation with the Banda subduction and resulted in the dispersion of fragments of the Banda micro-continent [15, 16].

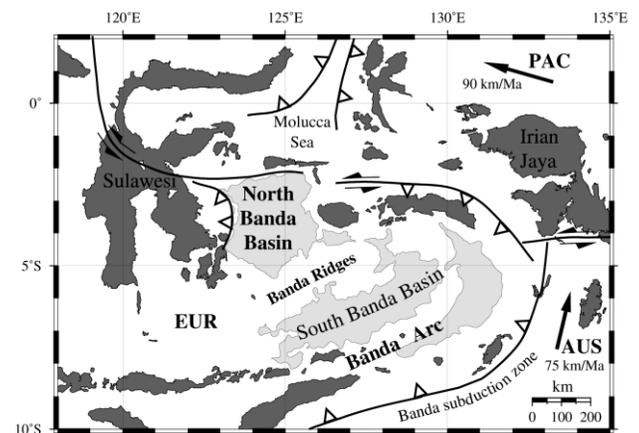


Figure 1. Localisation du bassin Nord-Banda. Les mouvements des plaques indo-australienne et pacifique sont indiqués par rapport à l'Eurasie.

Figure 1. Location map of North Banda Basin. Arrows indicate motions of plates relative to Eurasia.

sud-ouest, dans la fosse de Buton. Il est structuré suivant des directions NW–SE qui prolongent les grands décrochements sénestres reconnus à terre sur Sulawesi [2, 10] (*figure 2*). Le **zone de fracture de Buru ouest**, à l'est, a probablement fonctionné pendant l'ouverture du bassin et correspond à une ancienne marge transformante. Il en serait de même pour la **zone de fracture de Hamilton**, au sud-ouest. Cet accident majeur est bordé au nord par une zone de cisaillement typique, suggérant qu'il a récemment été réactivé en transpression [2, 10]. Au centre du bassin, la **ride de Tampomas**, de nature océanique, apparaît comme un horst s'élevant de 1 500 m au-dessus de la plaine abyssale [11]. Elle est bordée sur son flanc sud par une dépression plus sédimentée, qui peut correspondre à une ancienne zone de fracture aujourd'hui inactive et décalant la ride de Sinta à 125°45'E (*figure 2*). La ride de Tampomas constituerait ainsi la trace d'une faille transformante, active lors de

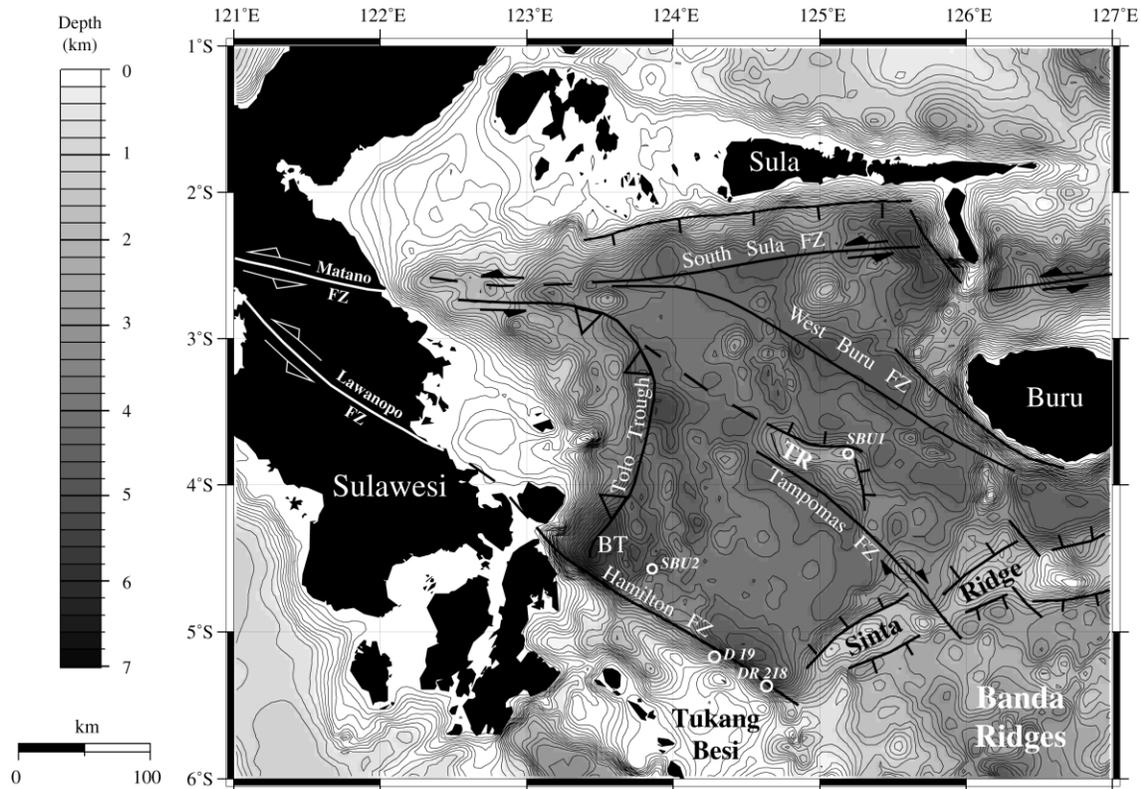


Figure 2. Carte bathymétrique et morphostructurale du bassin Nord-Banda. Les données bathymétriques utilisées pour élaborer cette carte proviennent de 25 campagnes océanographiques qui ont eu lieu entre 1962 et 1988 et sont disponibles dans la base NGDC. S’y ajoutent les résultats des campagnes « Banda Sea » et « Geobandut », effectuées entre 1991 et 1995 lors d’un programme de coopération franco-indonésien. Les isobathes sont indiquées tous les 200 m. (BT : fosse de Buton ; TR : ride de Tampomas ; FZ : zone de fracture).

Figure 2. Bathymetric map of the North Banda Basin showing major tectonic features. We used the bathymetric data from 25 cruises (1962 to 1988) available in the NGDC, in addition to those recorded during ‘Banda Sea’ and ‘Geobandut’ cruises (1991 to 1995). Contour interval is 200 m. (BT: Buton Trough; TR: Tampomas Ridge; FZ: fracture zone).

l’ouverture du bassin. Les marges sud-est et nord du bassin seraient contemporaines de son ouverture. Au nord, cependant, les profils sismiques révèlent l’existence d’une zone de fracture orientée est-ouest [10]. Les données sismologiques indiquent qu’il s’agit d’une structure décrochante sénestre active (*figure 4*). Enfin, à l’ouest, le bassin Nord-Banda subduit sous Sulawesi dans la **fosse de Tolo** [10, 13] (*figure 2*).

L’âge et l’origine du bassin sont longtemps restés controversés. Certains auteurs [1, 8], se basant sur sa grande profondeur (> 5 000 m) et l’interprétation des anomalies magnétiques, considéraient que les bassins Nord- et Sud-Banda ne formaient qu’un seul élément d’âge Mésozoïque, relique de l’océan Indien, piégé au Néogène derrière l’arc de Banda. Alternativement, pour Silver et al. [14], le bassin Nord-Banda serait un fragment mésozoïque de la mer des Moluques et se distinguerait ainsi du bassin Sud-Banda. À l’opposé, Hamilton [4] avait suggéré que la mer de Banda, notamment dans sa partie sud, se fût ouverte au Néogène, en bassin marginal de la subduction de Banda. Des études plus récentes, utilisant des datations directes du plancher océanique, ont confirmé cette dernière hypothèse : le bassin

Nord-Banda s’est ouvert au Miocène Supérieur, vers 10 Ma, dans un contexte arrière-arc [6, 11]. Nous utilisons les anomalies magnétiques pour dater plus précisément le début et la fin de l’accrétion océanique, mais aussi pour préciser la géométrie de l’ouverture du bassin (direction et taux d’ouverture). Enfin, nous interprétons les structures internes du bassin, ainsi que ses relations avec ses marges.

2. Apport des données magnétiques

2.1. Description et calibrage des anomalies magnétiques

Les anomalies magnétiques sont bien définies dans la moitié sud-est du bassin, où elles s’alignent suivant une direction N 55°E, confirmant l’hypothèse d’une ouverture océanique NW–SE (*figures 3 et 4*). L’amplitude des variations atteint 150 nT et leur longueur d’onde est voisine de 25 km. Inversement, au nord de la zone de fracture de Buru ouest, les profils ne montrent pas d’anomalies clairement identifiables. Ceci pourrait indiquer que cette zone de fracture marque la limite septentrionale du bassin Nord-Banda, séparant un domaine à croûte

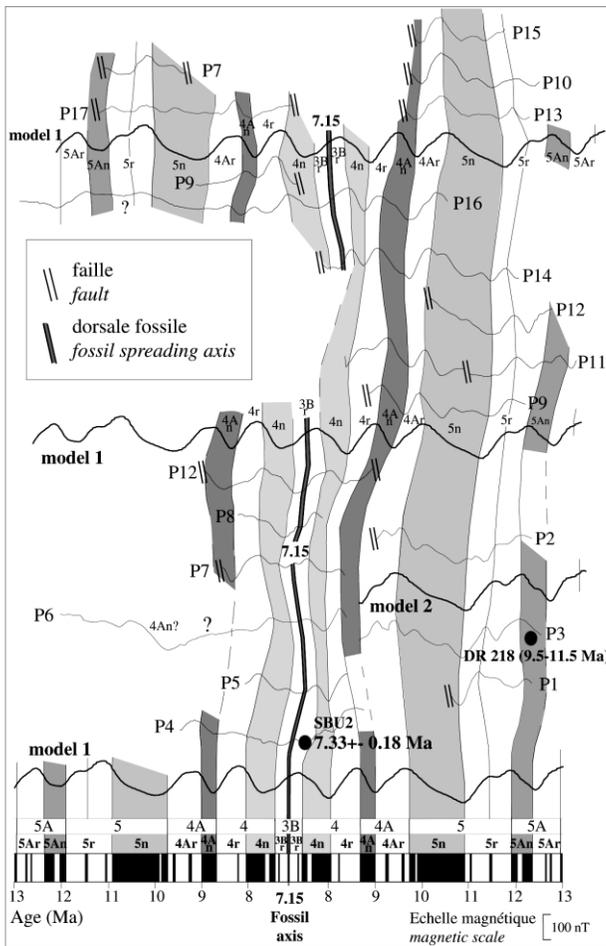


Figure 3. Identification des anomalies magnétiques dans le bassin Nord-Banda. Les profils sont projetés perpendiculairement aux linéations magnétiques. Les modèles sont élaborés avec des demi-taux d'ouverture de $2,8 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$ (modèle 1) et $3,3 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$ (modèle 2) et une profondeur du socle égale à $6,0 \text{ km}$ (modèle 1) et $5,5 \text{ km}$ (modèle 2). L'épaisseur de la zone magnétique est fixée à $0,5 \text{ km}$.

Figure 3. Identification of magnetic anomalies in the North Banda Basin. Profiles are projected normally to lineations. Models are computed using half spreading rate of $2.8 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ (model 1) and $3.3 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ (model 2) and basement depth of 6.0 km (model 1) and 5.5 km (model 2). Thickness of magnetic zone is 0.5 km .

océanique, au sud, d'un domaine de nature continentale, mais effondré, au nord. Aucun dragage dans la partie nord du bassin ne permet pour l'instant de confirmer cette hypothèse. Cependant, à partir de l'étude des profils de sismique réflexion, Burhanuddin [2] met en évidence, au nord de la zone de fracture de Buru ouest, une séquence sédimentaire absente dans le reste du bassin et qu'il considère comme un dépôt de plateforme continentale. À l'extrémité ouest du bassin, les anomalies magnétiques sont plus difficiles à corrélérer d'un profil à l'autre. Une explication possible est la présence de nombreux accidents affectant le plancher océanique ployé par l'engagement en subduction dans la fosse de Tolo et décalant les linéations magnétiques.

Nous avons utilisé le dragage SBU 2, situé au sud-ouest du bassin et daté précisément à $7,33 \pm 0,18 \text{ Ma}$ [6] pour calibrer les anomalies magnétiques visibles le long du profil P4 passant à proximité du dragage (figure 4). Nous avons alors corrélé les anomalies magnétiques sur chaque profil, de proche en proche, et les avons comparées avec les profils d'anomalie théorique correspondants. Ceci nous conduit à proposer un modèle d'anomalies magnétiques pour une large moitié sud du bassin Nord-Banda (figures 3 et 4).

2.2. Âge et modalité de l'accrétion océanique

Malgré l'espacement des profils et leur orientation variable, nous avons pu reconnaître et cartographier les anomalies 4, 4A et 5 ($7,4$ à $11,9 \text{ Ma}$) dans la partie sud-est du bassin. L'anomalie magnétique 5n, marquée par une transition progressive caractéristique d'un pic positif vers un pic négatif, apparaît clairement sur la majorité des profils, de même que les anomalies 5r, 4Ar, 4An, 4r et 4n (figures 3 et 4). La dorsale fossile est située approximativement au centre du bassin ; elle est orientée suivant une direction $N 55^\circ E$. Notre modèle montre qu'elle a cessé de fonctionner durant la période magnétique inverse 3Br vers $7,15 \text{ Ma}$, soit peu de temps avant le début de l'ouverture du bassin Sud-Banda, daté à $6,5 \text{ Ma}$ [5, 6].

L'identification des anomalies magnétiques au nord-ouest de la dorsale fossile est établie avec moins de certitude. Elle permet, néanmoins, de proposer une ouverture légèrement asymétrique durant le dernier million d'années de fonctionnement de la dorsale, avec un taux d'expansion plus rapide au nord qu'au sud. Avant $8,5 \text{ Ma}$, l'accrétion océanique était à peu près symétrique et relativement rapide, le demi-taux d'ouverture étant compris entre $2,8$ et $3,3 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$. Ces valeurs sont similaires à celles calculées dans le bassin Sud-Banda, ouvert entre $6,5$ et $3,5 \text{ Ma}$ [5].

Les plus anciennes anomalies magnétiques reconnues sont situées à proximité de la marge sud-est du bassin et correspondent à la période normale 5An ($11,9$ – $12,4 \text{ Ma}$), ce qui donne un âge vraisemblable pour le début de l'accrétion océanique vers $12,5 \text{ Ma}$ (figure 4). À l'extrémité nord-ouest du bassin, les anomalies 5An ($11,9$ – $12,4 \text{ Ma}$) et 5Ar ($12,4$ – $12,9 \text{ Ma}$) sont aussi identifiées, mais de façon moins fiable. En revanche, les anomalies antérieures à la période 4An (9 Ma) ne peuvent être reconnues à l'ouest du bassin.

2.3. Les zones transformantes du bassin

L'interruption des linéations magnétiques identifiées au nord-est du bassin permet de confirmer l'existence de la zone de fracture de Buru ouest et de préciser son extension, ainsi que son orientation NW–SE (figure 4). De même, le décalage de 5 à 20 km , qui affecte les linéations magnétiques au sud de la ride de Tampomas, est en accord avec la présence d'un accident cisailant orienté NW–SE situé au milieu du bassin. Notre modèle

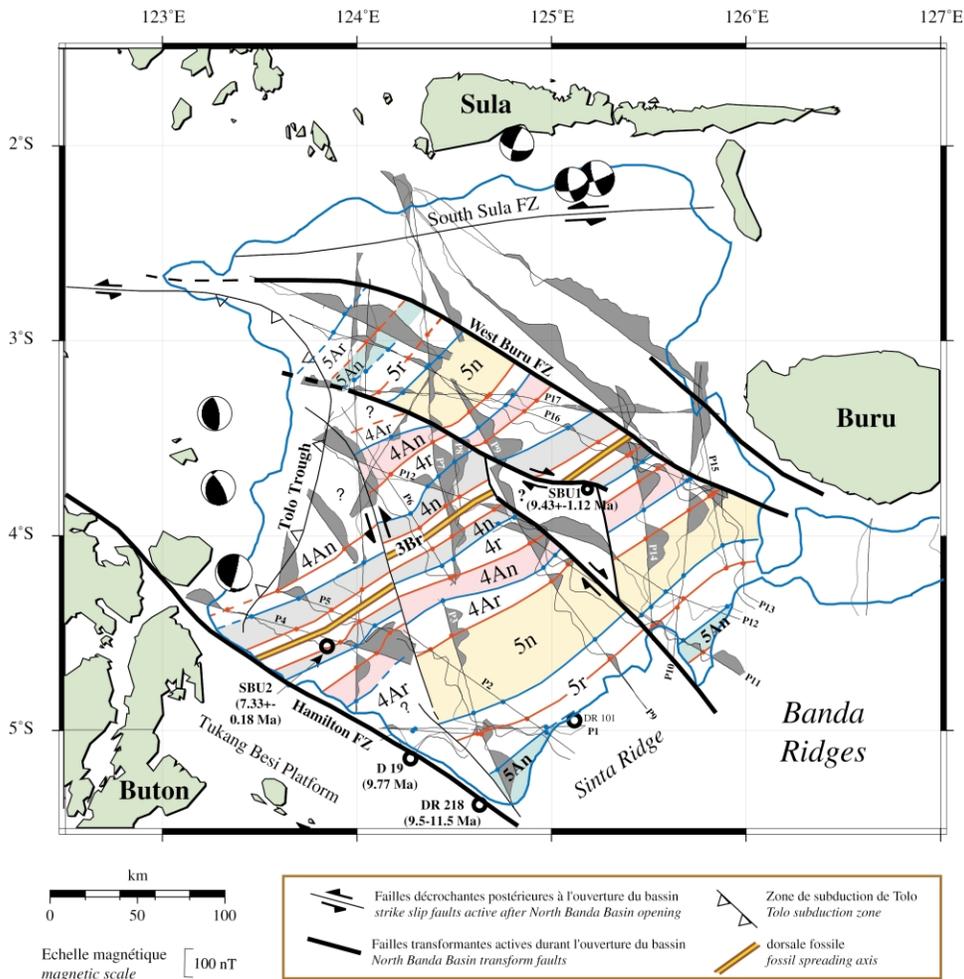


Figure 4. Modèle d'anomalies magnétiques dans le bassin Nord-Banda. Les anomalies sont projetées perpendiculairement aux profils. Les mécanismes au foyer des séismes sont indiqués (source: Harvard Centroid moment Tensor solution).

Figure 4. Model of magnetic anomalies and lineations in the North Banda Basin. Anomalies are projected normally to the ship's track. Focal mechanisms of earthquakes are indicated (source: Harvard Centroid moment Tensor solution).

montre que cette zone de fracture se prolonge vers le nord-ouest, où elle subduit dans la fosse de Tolo. Enfin, au sud-ouest du bassin, les anomalies s'interrompent au niveau de la **zone de fracture de Hamilton**, qui met en contact le bassin avec la plate-forme de Tukang Besi, de nature continentale (dragage DR 301 [6]).

Notre modèle révèle, en outre, vers 124°15'E, un décalage sénestre des linéations magnétiques sur une distance constante de près de 20 km. Au même endroit est visible sur la carte bathymétrique une dépression allongée suivant une direction N 165°E (figure 2). Ceci suggère l'existence d'une faille décrochante sénestre orientée N 165°E à l'ouest du bassin.

À partir de l'identification des anomalies magnétiques dans le bassin Nord-Banda, nous pouvons donc préciser l'âge de l'accrétion océanique, compris entre 12,5 et 7,15 Ma, avec une direction d'expansion NW–SE.

3. Discussion

Le modèle d'anomalies magnétiques que nous proposons peut être discuté en tenant compte des autres datations disponibles dans le bassin Nord-Banda. Sur la **ride**

de Tampomas, il n'est pas possible de repérer les éventuelles linéations magnétiques. Cependant, le dragage SBU 1 situé sur la faille normale constituant le flanc nord-est de la ride est daté à $9,43 \pm 1,12$ Ma [6] (voir localisation sur la figure 2). Or l'anomalie 4n (7,4–8 Ma) identifiée immédiatement au nord-est du site de dragage suggère un âge de la ride plus récent que celui fourni par le dragage (figure 4). Pour expliquer cette différence, nous proposons que la faille bordant le nord de la ride de Tampomas a connu un jeu cisailant dextre au cours de son histoire, amenant ainsi des terrains d'âges différents de part et d'autre de la faille. La ride de Tampomas, limitée au nord et au sud par deux accidents décrochants dextres, serait alors un horst créé au niveau d'un relais extensif d'une ancienne faille transformante du bassin.

Au sud-ouest du bassin, les dragages DR 218 et D19 réalisés sur la **zone de fracture de Hamilton** ont fourni des laves similaires à celles recueillies dans le bassin Nord-Banda et datées entre 9,5 et 11,5 Ma [6, 14] (voir la localisation sur la figure 2). Pour Honthaas et al. [6], les roches draguées constitueraient des fragments du plancher océanique du bassin Nord-Banda, obductés sur le flanc nord-est de la plate-forme de Tukang Besi,

lors de l'activité cisailante de la faille de Hamilton au Miocène supérieur-Pliocène inférieur. Cette faille aurait, en effet, été réactivée en transpression, lors des mouvements décrochants sénestres ayant affecté l'île de Sulawesi au Néogène supérieur [10, 13]. Notre modèle est compatible avec cette hypothèse, la croûte océanique située au nord des sites de dragage présentant des âges magnétiques en accord avec les datations des laves draguées sur la faille de Hamilton.

Notre modèle apporte aussi quelques précisions sur les relations du bassin avec ses marges. L'absence d'anomalies magnétiques au nord de la **zone de fracture de Buru ouest** suggère qu'il s'agit bien d'une marge originelle du bassin, de nature transformante. Il n'existe cependant aucun marqueur renseignant sur le sens et la quantité de cisaillement absorbée au niveau de cet accident majeur. Rien ne permet non plus d'affirmer qu'il a été réactivé après l'ouverture du bassin. Au sud-est du bassin, les anomalies s'interrompent sur la ride de Sinta.

Le contact entre le bassin et les rides de Banda consiste probablement en une ancienne marge passive. À l'ouest du bassin, enfin, les anomalies antérieures à 4An (9 Ma) sont absentes (*figure 4*). Nous proposons qu'elles ont été subduites dans la **fosse de Tolo**, absorbant ainsi l'équivalent de 3,5 Ma d'expansion océanique. En considérant un demi-taux d'expansion égal à 3 cm-an⁻¹ dans cette partie du bassin, nous estimons à une centaine de kilomètres la quantité de la lithosphère océanique du bassin Nord-Banda disparue en subduction sous Sulawesi. Ceci est en accord avec la présence des trois séismes superficiels (profondeur de 20 à 50 km) situés entre 20 et 70 km à l'ouest de la fosse de Tolo (*figure 4*). Présentant des mécanismes au foyer en compression est-ouest, ces séismes traduiraient l'enfoncement en subduction de la lithosphère océanique du bassin Nord-Banda.

Un autre exemple de réactivation récente du bassin serait enfin donné par le **décrochement orienté N 165°E**

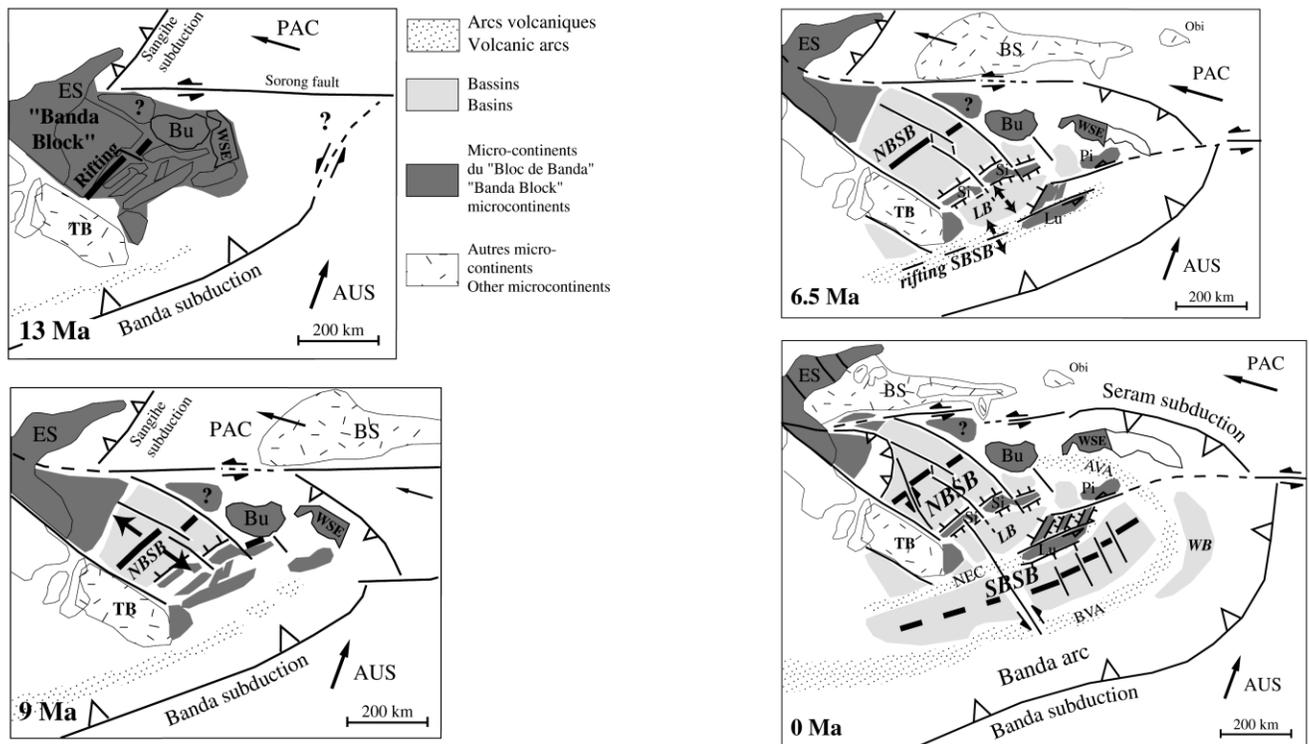


Figure 5. Modèle schématique d'évolution de la région des bassins Nord- et Sud-Banda, depuis le Miocène moyen. Des reconstitutions géodynamiques sont données à 13 Ma (*rifting* du bassin Nord-Banda au sein du « bloc de Banda »), 9 Ma (ouverture du bassin Nord-Banda) et 6,5 Ma (*rifting* du bassin Sud-Banda). Ce modèle est établi en tenant compte de l'âge d'ouverture du bassin Sud-Banda entre 6,5 et 3,5 Ma [5, 6] et des travaux de Villeneuve et al. [15, 16] concernant les micro-continents composant le « bloc de Banda ». Toponymie : AVA, arc volcanique d'Ambon ; BS, Banggai-Sula ; Bu, Buru ; BVA, arc volcanique de Banda ; ES, Est-Sulawesi ; LB, bassin de Lucipara ; Lu, ride de Lucipara ; NBSB, bassin Nord-Banda ; NEC, ride volcanique de NEC ; Pi, ride de Pisang ; SBSB, bassin Sud-Banda ; Si, ride de Sinta ; TB, plate-forme de Tukang Besi ; WB, bassin de Weber ; WSE, Ouest-Séram.

Figure 5. Schematic model of the NBSB and SBSB evolution since Middle Miocene time. Tentative 13 Ma (*rifting* of the NBSB and fragmentation of the 'Banda Block'), 9 Ma (NBSB opening) and 6.5 Ma (*rifting* of the SBSB) Reconstructions are presented. This model takes into account the opening time of SBSB (6.5 to 3.5 Ma [5, 6]) and the identification of the 'Banda Block' microcontinents [15, 16]. AVA, Ambon volcanic arc ; BS, Banggai-Sula ; Bu, Buru ; BVA, Banda volcanic arc ; ES, East Sulawesi ; LB, Lucipara Basin ; Lu, Lucipara Ridge ; NBSB, North Banda Sea Basin ; NEC, NEC volcanic ridge ; Pi, Pisang Ridge ; SBSB, South Banda Sea Basin ; Si, Sinta Ridge ; TB, Tukang Besi platform ; WB, Weber Basin ; WSE, West Seram.

situé vers 124°15'E (*figure 4*). La direction presque méridienne de cet accident, ainsi que le fait que les rejets horizontaux restent constants et que les demi-taux d'expansion calculés de part et d'autre de la faille soient identiques, plaident en faveur d'une origine postérieure à l'ouverture du bassin Nord-Banda. Ce décrochement a pu apparaître récemment, probablement en réponse à la collision entre l'Australie et l'arc de Banda au Pliocène moyen [1, 12]. Une analogie peut être faite avec la zone de fracture du Gunung Api située dans le bassin Sud-Banda et qui est de même direction [2].

Notre étude nous permet de préciser l'âge et la géométrie de l'ouverture du bassin Nord-Banda. Plus au sud, les données géochimiques et géochronologiques [6] ainsi que les données magnétiques [5] s'accordent avec une ouverture du bassin Sud-Banda entre 6,5 et 3,5 Ma, avec une direction et un taux d'ouverture semblables à ceux du bassin Nord-Banda. En prenant en compte ces nouvelles données, il nous est dès lors possible de présenter un modèle schématique d'évolution des deux bassins de Banda depuis le Miocène moyen (*figure 5*). Les bassins de Banda sont refermés en superposant les anomalies magnétiques de même âge, situées de part et d'autre des centres d'accrétion fossiles. Dans notre modèle, nous considérons que les bassins Nord et Sud-Banda se sont ouverts en arrière de la subduction de Banda. Nous adoptons aussi l'hypothèse développée par Villeneuve et al. [15, 16], en interprétant l'est de Sulawesi, Buru, Séram et les rides de Banda comme les

éléments d'un ancien micro-continent, le « bloc de Banda », qui fut fragmenté et dispersé lors de l'ouverture des bassins Nord et Sud-Banda.

4. Conclusions

L'identification des anomalies magnétiques dans le bassin Nord-Banda, calibrées grâce aux datations du plancher océanique obtenues à partir des dragages, permet de préciser l'âge et la géométrie de l'accrétion océanique. Le bassin s'est ouvert entre 12,5 et 7,15 Ma avec un demi-taux d'ouverture voisin de 3 cm-an⁻¹. L'orientation de la dorsale fossile et des anomalies magnétiques indique une direction d'expansion globalement NW–SE. L'ouverture du bassin fut guidée par de grands accidents transformants bordant ses marges (zones de fracture de Hamilton et de Buru ouest), mais aussi en son sein (zone de fracture de Tampomas). Elle a conduit à la dislocation du micro-continent de Banda, situé au sud-est et dont la ride de Sinta constitue un vestige [16].

Plus au sud, le bassin Sud-Banda s'est ouvert entre 6,5 et 3,5 Ma, avec une direction et un taux d'ouverture semblables à ceux du bassin Nord-Banda [5]. Il semble ainsi exister un continuum d'évolution dans l'ouverture des deux bassins. Ceci suggère que le bassin Nord-Banda, qui présente un chimisme d'affinité arrière-arc, pourrait s'être ouvert, comme le bassin Sud-Banda, en arrière de la subduction de Banda.

Remerciements. Les campagnes Banda Sea furent organisées dans le cadre de l'accord franco-indonésien de coopération en océanologie conjointement par le BPPT (Jakarta), l'Insu et l'Ifremer, avec le soutien du ministère français des Affaires étrangères. Nous remercions Xavier Le Pichon pour sa précieuse lecture critique du manuscrit.

Références

- [1] Bowin C., Purdy G.M., Johnston C., Shor G., Lawver L., Hartono H.M.S., Jezek P., Arc-continent collision in Banda Sea region, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 64 (1980) 868–915.
- [2] Burhanuddin S., *Géologie des bassins de la mer de Banda*, thèse, université de Bretagne occidentale, Brest, 1994, 199 p.
- [3] Cande S.C., Kent D.V., Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic, *J. Geophys. Res.* 100 (B4) (1995) 6093–6095.
- [4] Hamilton W., *Tectonics of the Indonesian Region*, US Geological Survey Prof. Pap. 1078, 1979, 345 p.
- [5] Hinschberger F., Malod J.A., Dymont J., Honthaas C., Réhault J.P., Burhanuddin S., Magnetic lineation constraints for the back-arc opening of the Late Neogene South Banda Basin (Eastern Indonesia), *Tectonophysics* (in press).
- [6] Honthaas C., Réhault J.P., Maury R.C., Bellon H., Hémond C., Malod J.A., Cornée J.J., Villeneuve M., Cotten J., Burhanuddin S., Guillou H., Arnaud N., A Neogene back-arc origin for the Banda Sea basins: geochemical and geochronological constraints from the Banda ridges (East Indonesia), *Tectonophysics* 298 (1998) 297–317.
- [7] IAGA Division V working group 8., Revision of the International Geomagnetic Reference Field released, *EOS Trans. Amer. Geophys. Union* 77 (1996) 153.
- [8] Lapouille A., Haryono H., Larue M., Pramumijoyo S., Lardy M., Age and origin of the seafloor of the Banda Sea (Eastern Indonesia), *Oceanol. Acta* 8 (1985) 379–389.
- [9] Mammerickx J., Fisher R.L., Emmel F.J., Smith S.M., Bathymetry of the east and southeast Asian seas, *Geol. Soc. America Map Chart Ser. MC17*, 1976.
- [10] Réhault J.P., Malod J.A., Larue M., Burhanuddin S., Sarmili L., A new sketch of the central North Banda Sea, Eastern Indonesia, *J. Southeast Asia Earth Sci.* 6 (3–4) (1991) 329–334.
- [11] Réhault J.P., Maury R.C., Bellon H., Sarmili L., Burhanuddin S., Joron J.L., Cotten J., Malod J.A., La mer de Banda nord (Indonésie) : un bassin arrière-arc du Miocène supérieur, *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 318 (1994) 969–976.
- [12] Richardson A.N., Blundell D.J., Continental collision in the Banda arc, in : Hall R., Blundell D.J. (Eds.), *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 106, 1996, pp. 47–60.
- [13] Silver E.A., McCaffrey R., Smith R.B., Collision, rotation, and the initiation of subduction in the evolution of Sulawesi, Indonesia, *J. Geophys. Res.* 88 (B11) (1983) 9407–9418.
- [14] Silver E.A., Gill J.B., Schwartz D., Prasetyo H., Duncan R.A., Evidence for a submerged and displaced continental borderland, North Banda Sea, Indonesia, *Geology* 13 (1985) 687–691.
- [15] Villeneuve M., Cornée J.J., Martini R., Zaninetti L., Réhault J.P., Burhanuddin S., Malod J.A., Upper Triassic shallow water limestones in the Sinta Ridge (Banda Sea, Indonesia), *Geo-Marine Letters* 14 (1994) 29–35.
- [16] Villeneuve M., Réhault J.P., Cornée J.J., Honthaas C., Gunawan W., et le groupe Géobanda., *Évolution géodynamique de l'Indonésie orientale, de l'Éocène au Pliocène*, *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIa* 327 (1998) 291–302.
- [17] Wessel P., Smith W.H.F., New version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Amer. Geophys. Union* 76 (1995) 329.