



# SEAFLOOR SPREADING HISTORY LABRADOR SEA MAGNETIC ANOMALIES ALONG TRACK

# ÉVOLUTION DES FONDS OCÉANIQUE MER DU LABRADOR ANOMALIES MAGNÉTIQUES LE LONG DES PROFILS

CONTRIBUTORS COLLABORATEURS

W.R. Roest, S.P. Srivastava

W. R. Roest and S. P. Srivastava

## INTRODUCTION

It is now well recognized that new ocean crust is generated at the mid-ocean ridges and old crust is destroyed in trenches. According to the concept of seafloor spreading, two lithospheric plates separate along a ridge axis and new material is attached to the trailing edge of each plate. The seafloor spreading magnetic anomalies are generated when the newly intruded basaltic material acquires its magnetization, in the direction of the Earth's magnetic field, at the time the material cools through its Curie temperature. The polarity of the Earth's magnetic field has changed several times in the past and these reversals are recorded in the remanent magnetization of the ocean crust. The different polarities generate a pattern of negative and positive seafloor spreading magnetic anomalies, which show exceedingly good symmetries across the ridge axes. Age calibration of these reversals (e.g. Cox, 1973; Harland *et al.*, 1982; Kent and Gradstein, 1986) allows these magnetic anomalies to be used as isochrons.

Spreading centres are not continuous, but consist of segments that are linked by transform faults. Fracture zones mark the fossil path of the offsets in the ridge axis through time, and provide information on the direction of motion of the plates. Fracture zones are not only observed as offsets in the seafloor spreading magnetic lineations, but are seen as asymmetric valleys in seismic reflection data, accompanied by negative gravity anomalies.

Magnetic anomalies and fracture zones thus become the key parameters needed to decipher the past plate motions. In the Labrador Sea, these parameters can be identified through an analysis of the magnetic, gravity and seismic data that have been collected by the Geological Survey of Canada and other agencies over the past two decades. These data have been used in the past to identify magnetic anomalies and fracture zones in the Labrador Sea and to decipher its evolution (Srivastava, 1978; Srivastava and Tapscott, 1986). In those studies, it was difficult to identify magnetic lineations and fracture zones precisely throughout the Labrador Sea because the anomalies are not well developed everywhere. Moreover, a complex pattern of fracture zones exists which makes it difficult to correlate anomalies between widely spaced tracks. New data, collected in the southern and northern Labrador Sea, have helped to re-identify the magnetic anomalies with more precision (refer to Geophysics I, this Atlas). This map sheet shows the newly identified magnetic anomalies in the region covered by this Atlas and forms the basis for the reconstructions given in the subsequent Seafloor Spreading History map sheets.

## DATA

The magnetic anomalies were calculated with reference to the International Geomagnetic Reference Field (IAGA Division I Working Group, 1986) and plotted along selected tracks of this map (positive anomalies = red; negative anomalies = blue). The anomalies were identified by comparison with anomalies calculated for models at various spreading rates. Then, correlation of the anomalies between tracks, resulted in the pattern of lineations shown here.

The seafloor spreading anomalies in the Labrador Sea can be classified into two groups: (1) those lying in a central zone that comprises anomalies 24 and younger; and (2) others lying on either side of this central zone, comprising anomalies 25 and older. The amplitude of the anomalies in the central zone is small. The decrease in their amplitude to the north may be caused by the obliqueness in the direction of spreading as suggested by Roots and Srivastava (1984). The anomalies in both groups are parallel in the north, but have different trends in the southern part of the Labrador Sea. This is the result of a drastic change in the direction of motion of the Greenland Plate relative to North America after anomaly 25 time. This new direction of spreading is also observed in the trends of the fracture zones that were identified from detailed analysis of gravity and seismic data, as described by Srivastava (1978) and Srivastava and Tapscott (1986).

The resulting pattern of magnetic lineations and fracture zones is similar to that given by Srivastava and Tapscott (1986) with the exception of anomaly 25. Anomalies on the western side of the Labrador Sea and north of the Cartwright Fracture Zone (identified as anomalies 28 to 33 previously) are now identified as anomalies 25 to 31. Similarly, anomalies south of the Julianhaab Fracture Zone (previously identified as anomalies 31 to 33) now correspond to anomalies 25 to 31. In making these re-identifications, the authors assume that the resulting lineations should be reasonably symmetric with respect to the ridge axis, which had been defined previously from gravity and seismic data.

## POLES OF ROTATION

The magnetic anomaly identifications and the observed fracture zone trends were used to calculate the poles of rotation for the Labrador Sea. However, the problem was further complicated by the simu-

aneous spreading in the North Atlantic, the Labrador and Norwegian-Greenland Seas and the Eurasian Basin during anomalies 24-20 times. Poles of rotation for each of these regions had to satisfy the criteria for stability of the triple-junctions which existed north and south of Greenland during this period. (The details of these calculations will be published elsewhere). It was found that a satisfactory solution can only be obtained if Rockall Plateau is treated as a separate plate during this time. Furthermore, an additional plate known as Porcupine Plate, as suggested by Srivastava and Tapscott (1986), was used to obtain a solution for regions south of the Charlie Gibbs Fracture Zone. Table 1 gives the poles of rotation for the Labrador Sea. These poles were subsequently used in the reconstructions shown in map sheets Seafloor Spreading History II to VI (this Atlas).

Table 1. Poles of rotation for the motion of Greenland with respect to North America (longitude and angle are positive toward the east).

Anomaly	Age (Ma)	Lat	Long	Angle
MO	118	67.50°	-118.48°	-13.78°
CLB	92	66.60°	-119.48°	-12.20°
34	84	65.30°	-122.45°	-11.00°
33	80	62.45°	-127.77°	-9.16°
31	69	43.94°	-145.31°	-4.92°
27 <sup>1</sup>	63	27.36°	-149.41°	-3.72°
26 <sup>1</sup>	61	20.61°	-148.20°	-3.27°
25	59	24.48°	-137.25°	-3.12°
24	56	54.91°	-110.01°	-4.00°
21 <sup>1</sup>	49	62.00°	-84.50°	-3.00°

<sup>1</sup> These poles are based on data of the Labrador Sea only and do not include data of the surrounding regions.

The accuracy of the pole positions was checked by the goodness of fit between the observed (solid symbols) and rotated (open symbols) anomalies, and by comparing the predicted spreading directions with the observed fracture zones. The good match of the observed and rotated anomalies is evidenced by the fact that it is difficult at times to distinguish the two symbols when they overlie each other.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the cartography section of the Bedford Institute of Oceanography for the drafting work required for this map. W.R.R. acknowledges the financial help provided to him by NSERC (postdoctoral visiting fellowship) during the time this work was carried out.

## REFERENCES

- Cox, A. (editor)  
1973: Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals; Freeman and Company, San Francisco, 702 p.
- Harland, W. B., Cox, A., Llewellyn, P. G., Pickton, C. A. G., Smith, A. G. and Walters, R.  
1982: A Geological Time Scale; Cambridge University Press, New York, 128 p.
- IAGA Division I Working Group  
1986: International Geomagnetic Reference Field revision 1985; EOS, Transactions of the American Geophysical Union, v.67, p.523.
- Kent, D. V. and Gradstein, F. M.  
1986: A Jurassic to Recent chronology; in The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, P. R. Vogt and B. E. Tucholke (eds.); Geological Society of America, Decade of North American Geology Series, p.45-50.
- Roots, W. D. and Srivastava, S. P.  
1984: Origin of marine magnetic quiet zones in the Labrador and Greenland Seas; Marine Geophysical Research, v.6, p.395-408.
- Srivastava, S. P.  
1978: Evolution of the Labrador Sea and its bearing on the early evolution of the North Atlantic; Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 52, p. 313-357.
- Srivastava, S. P. and Tapscott, C. R.  
1986: Plate kinematics of the North Atlantic; in The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, P. R. Vogt and B. E. Tucholke (eds.); Geological Society of America, Decade of North American Geology Series, p. 379-404.

W. R. Roest et S. P. Srivastava

## INTRODUCTION

Il est maintenant reconnu que la croûte océanique récente est engendrée le long des rides médio-océaniques, et que la croûte ancienne est détruite dans les fosses tectoniques. Suivant ce concept d'expansion océanique, deux plaques lithosphériques se séparent le long de l'axe de dorsale, et la matière rocheuse nouvellement créée adhère à la bordure de chacune des plaques. Des anomalies magnétiques d'expansion océanique sont engendrées lorsque les matériaux basaltiques intrusifs, ayant atteint la température de Curie au cours du refroidissement, acquièrent une aimantation orientée en fonction de la direction du champ magnétique terrestre. La polarité du champ magnétique de la Terre a changé plusieurs fois dans le passé, et l'aimantation rémanente de la croûte océanique a enregistré ces inversions de la polarité. Les différentes polarités entraînent la formation d'un patron d'anomalies magnétiques d'expansion négatives et positives, qui montrent une excellente symétrie de part et d'autre des axes de dorsale. L'étalement des âges de ces inversions (e.g. Cox, 1973; Harland *et coll.*, 1982; Kent et Gradstein, 1986) nous permet d'utiliser les anomalies magnétiques comme isochrones.

Les centres d'expansion océanique ne sont pas des structures continues, mais plutôt des segments reliés entre eux par des failles transformantes. Les zones de fracture sont une "empreinte fossile" des décalages de l'axe de dorsale au cours du temps, et elles nous permettent de déterminer la direction du mouvement des plaques. En plus de marquer les décalages des linéations magnétiques d'expansion, les zones de fracture apparaissent sur les levés de sismique réflexion sous forme de vallées asymétriques, caractérisées par des anomalies gravimétriques négatives.

Les anomalies magnétiques et les zones de fracture deviennent donc des paramètres essentiels, si l'on veut reconstituer le mouvement des plaques tectoniques. Dans la mer du Labrador, on peut identifier ces paramètres à l'aide d'une analyse des données magnétiques, gravimétriques et sismiques, qui ont été recueillies par la Commission géologique du Canada et par d'autres agences au cours des vingt dernières années. Dans le passé, ces données ont permis d'identifier les anomalies magnétiques et les zones de fracture dans la mer du Labrador, pour reconstituer son évolution (Srivastava, 1978; Srivastava et Tapscott, 1986). Au cours de ces études, une identification précise des linéations magnétiques et des zones de fracture en travers de la mer du Labrador s'est avérée difficile, parce que les anomalies ne sont pas bien développées partout. Par ailleurs, il existe un réseau complexe de zones de fracture qui entrave la corrélation des anomalies entre les profils à grand espacement. De nouvelles données ont été recueillies dans les parties sud et nord de la mer du Labrador, qui nous ont aidé à ré-identifier les anomalies magnétiques avec une plus grande précision (voir la carte Géophysique I). Cette carte illustre les anomalies magnétiques récemment identifiées dans la région couverte par l'Atlas, et forme la base des reconstructions présentées dans les cartes suivantes (les cartes Evolution des fonds océanique II à VI).

## DONNÉES

Les anomalies magnétiques ont été calculées en fonction du Champ géomagnétique international de Référence (IAGA Division I Working Group, 1986) et tracées point par point sur la carte, le long des profils sélectionnés (Les anomalies positives: rouge; les anomalies négatives: bleu). On a identifié les anomalies en les comparant avec les anomalies calculées pour les modèles, à des taux d'expansion variables. La corrélation des anomalies entre les profils produit le patron de linéations illustré sur la carte.

Les anomalies d'expansion peuvent être divisées en deux groupes: celles qui sont situées dans une zone centrale comprenant les anomalies 24 et plus récentes; et celles qui sont situées de part et d'autre de cette zone centrale, comprenant les anomalies 25 et antérieures. Dans la zone centrale, l'amplitude des anomalies est faible. La diminution de leur amplitude vers le nord pourrait être causée par une direction oblique du processus d'expansion, comme l'ont suggéré Roots et Srivastava (1984). Dans les deux groupes, les anomalies sont parallèles au nord, mais ont des orientations différentes dans la partie sud de la mer du Labrador. On explique ce contraste par un changement abrupt de la direction du mouvement de la plaque du Groënland par rapport à l'Amérique du Nord, dans la période suivant l'anomalie 25. Cette nouvelle direction de l'expansion est aussi mise en évidence par les orientations des zones de fracture identifiées à partir d'analyses détaillées des données gravimétriques et sismiques décrites par Srivastava (1978) ainsi que Srivastava et Tapscott (1986).

Le patron résultant de linéations magnétiques et de zones de fractures est identique à celui décrit par Srivastava et Tapscott (1986) mise à part l'anomalie 25. On reconnaît maintenant que les anomalies situées dans la partie occidentale de la mer du Labrador et au nord de la zone de fracture Cartwright, que l'on croyait représenter les anomalies 28 à 33, correspondent en fait aux anomalies 25 à 31. De même, les anomalies au sud de la zone de fracture Julianhaab, identifiées auparavant comme étant les anomalies 31 à 33, correspondent maintenant aux anomalies 25 à 31. Au cours des travaux qui ont mené aux nouvelles identifications, nous avons supposé que les linéations résultantes devaient être à peu près symétriques par rapport à l'axe de dorsale, défini antérieurement au moyen des données gravimétriques et sismiques.

## PÔLES DE ROTATION

Les anomalies magnétiques nouvellement identifiées, et l'orientation des zones de fracture observées, nous ont permis de calculer les pôles de rotation pour la mer du Labrador. Cependant, le problème s'est avéré plus compliqué, à cause de l'expansion océanique simultanée dans l'Atlantique du Nord, les mers du Labrador et de Norvège-Groënland et dans le bassin Eurasiatique, au cours de la période correspondant aux anomalies 24-20. Pour chacune de ces régions, les pôles de rotation devaient satisfaire les critères de stabilité des points triples, qui existaient au nord et au sud du Groënland à cette époque. (Les détails de ces calculs seront publiés ailleurs.) Nous avons conclu que, pour obtenir une solution satisfaisante, il fallait traiter le Plateau de Rockall comme une plaque séparée au cours de cette période. En outre, une plaque additionnelle, connue sous le nom de Plaque Porcupine suggérée par Srivastava et Tapscott (1986), a été utilisée afin d'obtenir une solution pour les régions situées au sud de la zone de fracture Charlie Gibbs. Les pôles de rotation pour la mer du Labrador sont présentés sur le Tableau 1. Ces pôles ont ensuite été utilisés dans les reconstructions illustrées sur les cartes Evolution des fonds océaniques II à VI.

Tableau 1. Pôles de rotation pour le déplacement du Groënland par rapport à l'Amérique du Nord (la longitude et l'angle sont positifs vers l'est).

Anomalie	Age (Ma)	Lat	Long	Angle
MO	118	67.50°	-118.48°	-13.78°
CLB	92	66.60°	-119.48°	-12.20°
34	84	65.30°	-122.45°	-11.00°
33	80	62.45°	-127.77°	-9.16°
31	69	43.94°	-145.31°	-4.92°
27 <sup>1</sup>	63	27.36°	-149.41°	-3.72°
26 <sup>1</sup>	61	20.61°	-148.20°	-3.27°
25	59	24.48°	-137.25°	-3.12°
24	56	54.91°	-110.01°	-4.00°
21 <sup>1</sup>	49	62.00°	-84.50°	-3.00°

<sup>1</sup> Ces pôles sont basés sur les données de la mer du Labrador seulement et n'incluent pas les données des régions avoisinantes.

On a vérifié la justesse de la position des pôles en examinant la correspondance entre les anomalies observées (symboles remplis) et réorientées (symboles ouverts), et en comparant les directions d'expansion prévues, avec l'orientation des zones de fracture observées. La correspondance entre les anomalies observées et réorientées est si bonne, qu'il est parfois difficile de distinguer les deux symboles lorsqu'ils sont placés l'un au-dessus de l'autre.

## REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier les dessinateurs de l'Institut Océanographique de Bedford, pour leur aide lors de la mise en page des cartes. W.R.R. remercie le CRSNG pour l'aide financière qui lui a été fournie au cours des travaux, par l'intermédiaire d'une Bourse de Recherche Post-Doctorale.

## RÉFÉRENCES

- Cox, A., (editeur)  
1973: Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals; Freeman and Company, San Francisco, 702 p.
- Harland, W.B., Cox, A., Llewellyn, P.G. Picton, C.A.G., Smith, A.G. et Walters, R.  
1982: A geological time scale; Cambridge University Press, New York, 128 p.
- IAGA Division I Working Group  
1986: International Geomagnetic Reference Field revision 1985; EOS, Transactions of the American Geophysical Union, v.67, p.523.
- Kent, D.V. et Gradstein, F.M.  
1986: A Jurassic to Recent chronology; in The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, P. R. Vogt and B. E. Tucholke (eds.); Geological Society of America, Decade of North American Geology Series, p.45-50.
- Roots, W.D. et Srivastava, S.P.  
1984: Origin of marine magnetic quiet zones in the Labrador and Greenland Seas; Marine Geophysical Research, v.6, p.395-408.
- Srivastava, S.P.  
1978: Evolution of the Labrador Sea and its bearing on the early evolution of the North Atlantic; Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 52, p. 313-357.
- Srivastava, S.P. et Tapscott, C.R.  
1986: Plate kinematics of the North Atlantic; in The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, P. R. Vogt and B. E. Tucholke (eds.); Geological Society of America, Decade of North American Geology Series, p. 379-404.