



# SCOTIAN SHELF REGIONAL GEOLOGY AND GEOPHYSICS 5 PLATE RECONSTRUCTIONS, BATHYMETRY

S. P. Srivastava, S. Levesque, W. R. Roest, and J. Verhoef

Contributors: K. D. Klitgord (United States Geological Survey, Woods Hole, Massachusetts, U.S.A.) and H. Schouten (Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, Massachusetts, U.S.A.)

Recommended citation: Srivastava, S. P., Levesque, S., Roest, W. R., and Verhoef, J., 1991: Regional geology and geophysics 5: plate reconstructions, bathymetry; in East Coast Basin Atlas Series: Scotian Shelf; Atlantic Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, p. 17.

Additional copies of this map may be obtained from the Geological Survey of Canada, Atlantic Geoscience Centre, P. O. Box 1006, Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2 Canada (Ph: 902-426-2773; FAX: 902-426-4266).

# PLATE-FORME NÉO-ÉCOSSAISE GÉOLOGIE ET GÉOPHYSIQUE RÉGIONALES RECONSTITUTIONS DES PLAQUES LITHOSPHÉRIQUES, BATHYMETRIE

S. P. Srivastava, S. Levesque, W. R. Roest, et J. Verhoef

Collaborateurs: K. D. Klitgord (United States Geological Survey, Woods Hole, Massachusetts, États-Unis) et H. Schouten (Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, Massachusetts, États-Unis)

Notation bibliographique conseillée: Srivastava, S. P., Levesque, S., Roest, W. R., et Verhoef, J., 1991: Géologie et géophysique régionales 5: reconstitutions des plaques lithosphériques, bathymétrie; dans Série des atlas des bassins de la côte Est: plate-forme Néo-Écossaise; Centre géoscientifique de l'Atlantique, Commission géologique du Canada, p. 17.

Des copies supplémentaires de la carte peuvent être obtenues auprès de la Commission géologique du Canada, Centre géoscientifique de l'Atlantique, case postale 1006, Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2 Canada tél (902) 426-2773, facsimilé (902) 426-4266.

[continued from front of map sheet]

map sheet Regional Geology and Geophysics 6, this volume). The large belt of salt diapirs off Nova Scotia lies in line with similar occurrences of diapirs off northern Africa. However, another belt of salt diapirs which lies east of anomaly S<sub>1</sub> and north of Canary Islands (Roesser, 1982) on the African plate do not show up in this reconstruction. This is because the reconstruction is based on the assumption that the Jurassic marginal basins on the North American and African margins overlie transitional or rift-stage crust (Klitgord and Schouten, 1986). They were excluded from the reconstruction because parts of them lie outside the plate boundaries. Rifting between North America and Africa had perhaps started as early as Late Triassic and Early Jurassic, producing rift basins which were later filled with salt. True seafloor spreading in the Central Atlantic, however, started in the Middle Jurassic (Klitgord and Schouten, 1986). The reconstruction at this time shows some overlap (dark blue) between the northern part of Africa and the southern part of the Grand Banks of Newfoundland. This implies that the region underwent extension, not only during the initial stages of rifting but also during the times that Africa was moving past the Grand Banks along the Newfoundland Fracture Zone. Such extension agrees well with seismic measurements (Todd et al., 1988; Keen et al., 1990) and theoretical calculations (Reid, 1989), which show that the crust in this region has been thinned.

In the reconstruction at BSMA time (170 Ma), the majority of the Jurassic marginal basins (not shown in this reconstruction but located north of 25°N off Africa and all along the Nova Scotia shelf including the southern Grand Banks) lie opposite to each other (Fig. 2; Figs. 2 and 9, map sheet Regional Geology and Geophysics 6, this volume). A narrow Atlantic Basin had formed at this time, linked with the Ligurian Tethys via the Strait of Gibraltar. While active seafloor spreading was taking place between North America and Africa, the region to the north (between the Grand Banks and Iberia) was still undergoing rifting and stretching as evidenced by drilling and seismic results (Tankard and Welsink, 1987). The northern part of the African plate had not yet completely separated from the Grand Banks. This reconstruction is very similar to the closure reconstruction of Le Pichon et al. (1977). Here, the Agadir Fault (or the Atlas Mountains) in the northern part of Africa aligns with the North American continental shelf bulge at 40°N which marks the location of the 40°N fault (Le Pichon et al., 1977).

The reconstruction at anomaly M25 time (156.5 Ma) shows Africa completely severed from the Grand Banks (Fig. 3; Figs 3 and 10, map sheet Regional Geology and Geophysics 6, this volume). Separation between southern Iberia and the southern Grand Banks may have begun at this time. The reconstruction shows that the New England Seamounts on the North American plate and the Canary Islands on the African plate form a continuous chain, strengthening the earlier suggestion that this may have been a site of a transform fault (Uchupi et al., 1970; Le Pichon and Fox, 1971). The gravity anomaly reconstruction shows some differences in the levels of the gravity field on the two sides, with more positive gravity anomalies on the African side. Besides the larger topographic variations on the African plate as compared to the North American plate, such differences may arise from differences in the deeper sources (e.g. Cochran and Talwani, 1978). Morgan (1971, 1983) suggested that the New England Seamounts Chain was caused by hot spot activity which propagated in an eastward direction. This received some confirmation from age determinations (Duncan, 1984). However, the suggestion is disputed by Roest (1987) for two reasons: firstly, the direction of fracture zones north and south of this chain of seamounts is different, suggesting that some kind of differential motion took place across these seamounts; secondly, the hot spot model requires a similar origin for the Atlantis-Meteor Seamount Complex in the eastern Atlantic, which is not supported by observations (Verhoef, 1984).

By chron M0, active spreading had progressed far enough to the north that active spreading could begin between Iberia and Grand Banks (Fig. 4; Figs. 4 and 11, map sheet Regional Geology and Geophysics 6, this volume). In the south, the break between West Africa and South America occurred at this time, thereby linking the South and Central Atlantic spreading systems (Rabinowitz and LaBrecque, 1979). Since chron M0 (Fig. 5; Figs. 5 and 12, map sheet Regional Geology and Geophysics 6, this volume), spreading in the Central Atlantic continued with mainly gradual changes in the rate and directions of motion (Klitgord and Schouten, 1986; Roest, 1987).

The reconstructions shown here give a pictorial presentation of the evolution of the central North Atlantic. This type of presentation allows the correlation of features between plates indicating the presence of pre-existing structures, and shows how the plates finally separated. However, the gravity and magnetic fields of Africa are not fully mapped, and it is impossible at present to identify correlations for these fields between Africa and North America at the time of initial opening.

## ACKNOWLEDGMENTS

W. Roest acknowledges the financial help provided to him by the Natural Sciences and Engineering Research Council under a postdoctoral visiting fellowship during the time this work was carried out. The authors also thank G. Bassi and R. Macnab for their comments, and acknowledge the assistance of S. Cunningham.

## REFERENCES

Bullard, E. C., Everett, J. E., and Smith, A. G. 1965: The fit of the continents around the Atlantic; in A Symposium on Continental Drift; Royal Society of London, Philosophical Transactions, Series A, v. 258, p. 41-51.

## Carey, S. W.

1958: A tectonic approach to continental drift; in Continental Drift, A Symposium, (ed.) S. W. Carey; University of Tasmania, Geology Department Symposium 5, Hobart, p. 177-355.

## Cochran, J. R. and Talwani, M.

1978: Gravity anomalies, regional elevation and the deep structure of the North Atlantic; Journal of Geophysical Research, v. 83, p. 4907-4924.

## Committee for the Gravity Anomaly Map of North America

1987: Gravity anomaly map of North America; Geological Society of America, Boulder, Colorado, U.S.A., scale 1:5 000 000, 5 sheets.

## Committee for the Magnetic Anomaly Map of North America

1987: Magnetic anomaly map of North America; Geological Society of America, Boulder, Colorado, U.S.A., scale 1:5 000 000, 5 sheets.

## du Toit, A. A.

1937: Our Wandering Continents; Oliver and Boyd, Edinburgh, 366 p.

## Duncan, R. A.

1984: Age progressive volcanism in the New England Seamounts and the opening of the central Atlantic Ocean; Journal of Geophysical Research, v. 89, p. 9980-9991.

## Earth Physics Branch

1986: Integration of Atlantic Geoscience Centre marine gravity data into the National Gravity Data Base; Earth Physics Branch, Open File 85-13, 54 p. (also Geological Survey of Canada, Open File 1232)

## ETOPOS

1986: Relief map of the Earth's surface; Eos, Transactions of the American Geophysical Union, v. 67, p. 121.

## Haxby, W. F.

1986: A portrayal of gridded geophysical data derived from SEASAT radar altimeter measurements of the shape of the ocean surface; National Geophysical Data Centre, Boulder, Colorado, Report GG-3, 1 sheet.

## Keen, C. E., Kay, W. A., and Roest, W. R.

1990: Crustal anatomy of a transform continental margin; Tectonophysics, v. 173, p. 527-544.

## 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, (ed.) P. R. Vogt and B. E. Tucholke; Geological Society of America, p. 45-50.

## Klitgord, K. D. and Schouten, H.

1986: Plate kinematics of the central Atlantic; in The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, (ed.) P. R. Vogt and B. E. Tucholke; Geological Society of America, p. 351-378.

## Le Pichon, X. and Fox, P. J.

1971: Marginal offsets, fracture zones and the early opening of the North Atlantic; Journal of Geophysical Research, v. 76, p. 6294-6308.

## Le Pichon, X., Sibuet, J. C., and Francheteau, J.

1977: The fit of the continents around the North Atlantic Ocean; Tectonophysics, v. 12, p. 169-209.

## McKenzie, D. P. and Parker, R. L.

1967: The North Pacific: an example of tectonics on a sphere; Nature, v. 216, p. 1276-1280.

## Morgan, W. J.

1971: Convection plumes in the lower mantle; Nature, v. 230, p. 42.

1983: Hotspot tracks and the early rifting of the Atlantic; Tectonophysics, v. 94, p. 123-129.

## Olivet, J. L., Bonnin, J., Beuzart, P., and Auzende, J. M.

1984: Cinématique de l'Atlantique nord et central; Centre National pour l'Exploration des Océans, Rapports Scientifiques et Techniques, no. 54, 108 p.

## Rabinowitz, P. D. and LaBrecque, J.

1979: The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins; Journal of Geophysical Research, v. 84, p. 5973-6002.

## Reid, I.

1989: Effects of lithospheric flow on the formation and evolution of a transform margin; Earth and Planetary Science Letters, v. 95, p. 38-52.

## Roesser, H. A.

1982: Magnetic anomalies in the magnetic quiet zone off Morocco; in Geology of the Northwest African Continental Margin, (ed.) U. Von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein and E. Seibold; Springer-Verlag, Berlin, p. 60-68.

## Roest, W. R.

1987: Seafloor spreading pattern of the North Atlantic between 10° and 40° N; Geologica Ultraiectina, v. 48, p. 1-121.

## Shih, K. G., Klitgord, K. D., Macnab, R., and Bothner, W. A.

1988: New tectonic and magnetic maps for the Gulf of Maine; Eos, Transactions of the American Geophysical Union, v. 69, p. 479.

## Tankard, A. J. and Welsink, H. J.

1987: Mesozoic extension and stratigraphy of the Hibernia oil field, Grand Banks, Newfoundland; Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 71, p. 1210-1232.

## Todd, B. J., Reid, I., and Keen, C. E.

1988: Crustal structure across the southeast Newfoundland transform margin; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 4, p. 744-759.

## Uchupi, E., Phillips, J. D., and Prada, K. E.

1970: Origin and structure of the New England Seamount Chain; Deep Sea Research, v. 17, p. 483-494.

## Verhoef, J.

1984: A geophysical study of the Atlantis - Meteor Seamount complex; Geologica Ultraiectina, v. 38, p. 1-153.

[suite de la carte précédente]

Nouvelle-Angleterre, mais à peine visible au nord en raison de sa faible amplitude. À l'exception d'une anomalie prononcée au nord des îles Canaries, désignée «S<sub>1</sub>» par Roesser (1982), aucune autre anomalie similaire à l'AMÉB ne peut être identifiée au large de l'Afrique. Les auteurs du présent ouvrage sont d'avis que l'anomalie S<sub>1</sub> au large de l'Afrique est l'équivalent de l'AMÉB. L'absence de cette anomalie le long de la plus grande partie de la côte africaine a porté Klitgord et Schouten (1986) à suggérer un décalage vers l'est de l'axe de la dorsale peu de temps après sa formation qui aurait laissé du côté nord-américain la plus grande partie de la croûte océanique. L'âge de l'AMÉB n'est pas bien établi parce qu'elle se situe dans la zone de calme magnétique du Jurassique où aucune autre anomalie n'a été identifiée; Klitgord et Schouten (1986) lui ont attribué un âge de 170 Ma, qui a également été retenu ici. Une autre anomalie prononcée, l'anomalie magnétique de la côte Est (AMCE) est située à l'ouest de l'AMÉB, au large de la côte Est de l'Amérique du Nord. D'après Klitgord et Schouten (1986), l'AMCE se situerait très près de la limite continentale de la croûte océanique et pourrait ainsi constituer un repère de la position de la limite continent-océan dans cette région. Du côté africain, une anomalie prononcée, appelée «anomalie magnétique de la côte ouest de l'Afrique» (AMCOA) (Klitgord et Schouten, 1986), se trouve en partie sur le continent; elle a été considérée comme l'anomalie équivalente de l'AMCE. Pour la reconstitution de la fermeture, rattachant l'Amérique du Nord à l'Afrique, ces anomalies sont ici utilisées pour définir les limites initiales de la séparation de l'Amérique du Nord et de l'Afrique. Un âge de 175 Ma a été attribué à cette anomalie par Klitgord et Schouten (1986).

L'évolution de la partie centrale de l'Atlantique Nord a été décrite de manière détaillée par Klitgord et Schouten (1986) et par Roest (1987). La description présentée ci-après est en grande partie basée sur ces publications. Les entités importantes résultant des reconstitutions présentées sur cette carte et sur la carte Géologie et géophysique régionales 6 (dans le présent volume) sont très brièvement décrites, de l'ouverture initiale à aujourd'hui.

La reconstitution pour l'AMCE (il y a 175 Ma ou reconstitution de la fermeture maximale de Klitgord et Schouten, 1986) montre un bon ajustement de l'Afrique et de la plate-forme continentale de l'Amérique du Nord (fig. 1; fig. 1 et 8 de la carte Géologie et géophysique régionales 6 du présent volume). La grande zone de diapirs de sel au large de la Nouvelle-Écosse est alignée avec des manifestations similaires au large de l'Afrique septentrionale. Toutefois, une autre zone de diapirs de sel, à l'est de l'anomalie S<sub>1</sub> et au nord des îles Canaries (Roesser, 1982) sur la plaque africaine, n'apparaît pas sur la présente reconstitution parce qu'elle est basée sur l'hypothèse voulant que les bassins de marge continentale du Jurassique, sur les marges continentales nord-américaine et africaine, reposent sur une croûte de transition ou du stade de rifting (Klitgord et Schouten, 1986). Ils ont été exclus de la reconstitution parce qu'ils se trouvent en partie à l'extérieur des limites des plaques. Le rifting entre l'Amérique du Nord et l'Afrique avait peut-être déjà débuté dès le Trias tardif et le Jurassique précoce pour produire des bassins d'effondrement qui ont plus tard été comblés de sel. La véritable expansion du fond océanique dans l'Atlantique Nord n'a toutefois commencé qu'au Jurassique moyen (Klitgord et Schouten, 1986). La reconstitution pour cette époque indique un certain chevauchement (bleu foncé) de la partie septentrionale de l'Afrique et de la partie méridionale des Grands Bancs de Terre-Neuve. Cela implique que la région a subi une distension, non seulement pendant les stades initiaux du rifting, mais également pendant l'intervalle où l'Afrique passait à la hauteur des Grands Bancs le long de la zone de fracture de Terre-Neuve. De telles distensions concordent bien avec les données sismiques (Todd et al., 1988; Keen et al., 1990) et avec les calculs théoriques (Reid, 1989) indiquant que la croûte de cette région a été amincie.

Sur la reconstitution à l'époque de l'AMÉB (il y a 170 Ma), la majorité des bassins des marges continentales du Jurassique (non montrés sur cette reconstitution, mais situés au nord de 25°N au large de l'Afrique et tout le long de la plate-forme Néo-Écossaise incluant la partie méridionale des Grands Bancs) sont situés vis-à-vis les uns des autres (fig. 2; fig. 2 et 9 de la carte Géologie et géophysique régionales 6 du présent volume). Un étroit bassin atlantique relié à la Téthys ligurienne par le détroit de Gibraltar s'était formé à cette époque. Alors qu'il y avait expansion active du fond océanique entre l'Amérique du Nord et l'Afrique, la région au nord (entre les Grands Bancs et la péninsule Ibérique) en était encore au stade du rifting et de l'éirement comme en témoignent les forages et les données sismiques (Tankard et Welsink, 1987). La partie septentrionale de la plaque africaine ne s'était pas encore complètement séparée des Grands Bancs. La présente reconstitution est très similaire à la reconstitution de fermeture de Le Pichon et al. (1977). À cet endroit, la faille d'Agadir (ou les monts Atlas) de la partie septentrionale de l'Afrique s'alignent avec le renflement de la plate-forme continentale nord-américaine à 40°N qui marque la position de la faille de 40°N (Le Pichon et al., 1977).

La reconstitution à l'époque de l'anomalie M25 (il y a 156,5 Ma) montre que l'Afrique est complètement séparée des Grands Bancs (fig. 3; fig. 3 et 10 de la carte Géologie et géophysique régionales 6 du présent volume). La séparation de la péninsule Ibérique méridionale des Grands Bancs méridionaux peut avoir débuté à cette époque. La reconstitution montre que la chaîne de monts de la Nouvelle-Angleterre sur la plaque nord-américaine et les îles Canaries sur la plaque africaine forment une chaîne continue, ce qui appuie la suggestion antérieurement formulée à l'effet que cet endroit puisse être le siège d'une faille transformante (Uchupi et al., 1970; Le Pichon et Fox, 1971). La

reconstitution à partir des anomalies gravimétriques présente certaines différences quant à l'intensité du champ de la gravité de part et d'autre, les anomalies gravimétriques positives étant plus nombreuses du côté africain. En plus des variations topographiques plus importantes sur la plaque africaine, comparativement à la plaque nord-américaine, ces différences de l'intensité du champ de la gravité pourraient découler de différences au niveau des sources plus profondes (par ex. Cochran et Talwani, 1978). Morgan (1971, 1983) a suggéré que l'existence de la chaîne de monts de la Nouvelle-Angleterre était attribuable à l'activité d'un point chaud qui se serait propagée en direction de l'est. Cette hypothèse a été dans une certaine mesure confirmée par des déterminations d'âge (Duncan, 1984). Toutefois, cette suggestion est contestée par Roest (1987) pour deux raisons : premièrement, les zones de fracture au nord et au sud de cette chaîne de monts sous-marins présentent des directions différentes, ce qui suggère qu'il y a eu une forme ou une autre de déplacement différentiel dans la région des monts et deuxièmement le modèle du point chaud fait intervenir une origine similaire pour le complexe de monts sous-marins Atlantis-Meteor dans l'Atlantique oriental, origine qui n'est pas étayée par les données d'observation (Verhoef, 1984).

Au chron M0, l'expansion active avait progressé assez loin en direction du nord pour qu'une expansion active puisse débuter entre la péninsule Ibérique et les Grands Bancs (fig. 4; fig. 4 et 11 de la carte Géologie et géophysique régionales 6 du présent volume). Au sud, la cassure entre l'Afrique occidentale et l'Amérique du Sud s'est produite à cette époque, ce qui a relié les systèmes d'expansion des parties méridionale et centrale de l'Atlantique (Rabinowitz et LaBrecque, 1979). Depuis le chron M0 (fig. 5; fig. 5 et 12 de la carte Géologie et géophysique régionales 6 du présent volume), l'expansion s'est poursuivie dans la partie centrale de l'Atlantique Nord avec des changements principalement progressifs des vitesses et des directions des déplacements (Klitgord et Schouten, 1986; Roest, 1987).

Les reconstitutions présentées ici fournissent une représentation en images de l'évolution de la partie centrale de l'Atlantique Nord. Ce genre de représentation permet une mise en corrélation d'entités d'une plaque à l'autre indiquant la présence de structures préexistantes en plus de montrer comment les plaques se sont finalement séparées. Cependant, les champs magnétique et de la gravité ne sont pas encore complètement cartographiés en Afrique et il est actuellement impossible d'identifier pour ces champs les corrélations entre l'Afrique et l'Amérique du Nord à l'époque de l'ouverture initiale.

## REMERCIEMENTS

W. Roest désire remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada de son aide financière fournie sous forme d'une bourse postdoctorale de chercheur invité pour la durée de ses travaux. Les auteurs remercient également G. Bassi et R. Macnab pour leurs commentaires et désirent signaler l'aide fournie par S. Cunningham.

## RÉFÉRENCES

Bullard, E. C., Everett, J. E., et Smith, A. G. 1965: The fit of the continents around the Atlantic; in A Symposium on Continental Drift; Royal Society of London, Philosophical Transactions, Series A, v. 258, p. 41-51.

## Carey, S. W.

1958: A tectonic approach to continental drift; in Continental Drift, A Symposium, (ed.) S. W. Carey; University of Tasmania, Geology Department Symposium 5, Hobart, p. 177-355.

## Cochran, J. R. et Talwani, M.

1978: Gravity anomalies, regional elevation and the deep structure of the North Atlantic; Journal of Geophysical Research, v. 83, p. 4907-4924.

## Committee for the Gravity Anomaly Map of North America

1987: Gravity anomaly map of North America; Geological Society of America, Boulder, Colorado, U.S.A., scale 1:5 000 000, 5 sheets.

## Committee for the Magnetic Anomaly Map of North America

1987: Magnetic anomaly map of North America; Geological Society of America, Boulder, Colorado, U.S.A., scale 1:5 000 000, 5 sheets.

## du Toit, A. A.

1937: Our Wandering Continents; Oliver and Boyd, Edinburgh, 366 p.

## Duncan, R. A.

1984: Age progressive volcanism in the New England Seamounts and the opening of the central Atlantic Ocean; Journal of Geophysical Research, v. 89, p. 9980-9991.

## Direction de la physique de globe

1986: Integration of Atlantic Geoscience Centre marine gravity data into the National Gravity Data Base; Earth Physics Branch, Open File 85-13, 54 p. (also Geological Survey of Canada, Open File 1232)

## ETOPOS

1986: Relief map of the Earth's surface; Eos, Transactions of the American Geophysical Union, v. 67, p. 121.

## Haxby, W. F.

1986: A portrayal of gridded geophysical data derived from SEASAT radar altimeter measurements of the shape of the ocean surface; National Geophysical Data Centre, Boulder, Colorado, Report GG-3, 1 sheet.