



GEOPHYSICS LABRADOR SEA

CRUSTAL STRESS, EARTHQUAKES AND CRUSTAL THICKNESS

III GÉOPHYSIQUE MER DU LABRADOR

CONTRAINTE SUR LA CROÛTE, TREMBLEMENTS DE TERRE ET ÉPAISSEUR DE LA CROÛTE

CONTRIBUTORS COLLABORATEURS

CRUSTAL STRESS CONTRAINTES SUR LA CROÛTE: J.S. Bell, J. Adams

EARTHQUAKES TREMBLEMENTS DE TERRE: J. Adams

CRUSTAL THICKNESS ÉPAISSEUR DE LA CROÛTE: H.R. Jackson, W. Kay, K.G. Shih, J. Woodside

COMPILATION: J.S. Bell

J. S. Bell and J. Adams

CRUSTAL STRESSES

Directions of inferred present day maximum horizontal compression of the lithosphere are shown (Adams, 1987). Information from the upper part of the crust was derived from well bore breakouts measured in exploration wells between subsea depths of 1376 m and 4108 m (Table 1). The maximum horizontal compressive stress directions, when plotted, bisect the two quadrants receiving rarefactive first motions and are probably within 30° of the true orientation.

The Labrador Shelf appears to be currently subject to north-northeast/south-southwest directed compression. The anomalous orientations obtained from some wells may represent stress deflection toward faults that are acting as free surfaces.

Surface *in situ* stress magnitudes were estimated from the log data and drilling records of exploration wells (Table 2, Fig. 1). Assuming that one principal stress is vertical, the vertical principal stress (S_v) was obtained by integrating density log data. The smaller horizontal principal stress (S_{Hmin}) is equated with the lower pressures obtained from casing leak-off tests (Breckels and van Eekelen, 1981; Ervine and Bell, 1987). The larger horizontal principal stress (S_{Hmax}) is estimated from the relationship:

$$S_{Hmax} = 2 (\text{leak-off pressure}) - \text{pore pressure}$$

REFERENCES

Adams, J.
1987: Canadian crustal stress data - a compilation; Geological Survey of Canada, Open File 1622, 130 p.

Breckels, I. M. and van Eekelen, H. A. M.
1981: Relationship between horizontal stress and depth in sedimentary basins; Presented at 56th Annual Fall Technical Conference, Society of Petroleum Engineers of AIME, San Antonio, Texas, Oct. 5-7, 1981; Society of Petroleum Engineers, Paper 10366.

Ervine, W. B. and Bell, J. S.
1987: Subsurface *in-situ* stress magnitudes from oilwell drilling records: an example from the Venture area, offshore Eastern Canada; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 24, p. 1748-1759.

J. Adams and J. S. Bell

EARTHQUAKE EPICENTRES

Epicentres for all historic earthquakes of magnitude greater than three are plotted except in areas of high seismicity where some magnitude three earthquakes are omitted for the sake of clarity. Both colour and circle size distinguish magnitude. All plots are based on data from the Canadian Earthquake Epicentre Files maintained by the Geological Survey of Canada. Earthquake epicentres of magnitude three were deleted if they occurred in a region with other epicentres of higher magnitude.

The majority of the earthquakes are located on and around the axis of the extinct mid-Labrador Sea Ridge (Srivastava, 1978) beneath the Labrador Sea. There is also a cluster of epicentres beneath the Labrador Shelf south of the Snorri J-90 well, in the northern part of the Hopedale Basin. It may be significant that these earthquakes occur in a region containing a complex of mid-Tertiary growth faults (refer to map sheet Structure V, this Atlas) attributed by Balkwill (1987) to crustal stretching.

REFERENCES

Balkwill, H. R.
1987: Labrador Basin: structural and stratigraphic style; in *Sedimentary Basins and Basin-Forming Mechanisms*, C. Beaumont and A. J. Tankard (eds.); Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 12, p. 17-43.

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.

K. G. Shih, H. R. Jackson, W. Kay and J. Woodside

CRUSTAL THICKNESS

Seismic refraction data were compiled from lines that measured a crustal section to mantle. Because the number of seismic refraction lines on the east coast of Canada was insufficient to produce a contoured crustal thickness chart, other data (i.e. free air gravity, bathymetric and depth to basement measurements) were also used to calculate crustal thickness. The gravity and bathymetry data of the Atlantic Geoscience Centre were digitized on a 0.5° to 0.5° grid. Depth to basement data for the Labrador Shelf, at the same spacing, were digitized from Tucholke and Fry (1985) north of the Flemish Cap to Davis Strait. The densities used to calculate crustal thickness from the gravity data were: water = 1.03 g/cm³, crust = 2.90 g/cm³ and upper mantle = 3.33 g/cm³. These densities were derived from transects across the margin where seismic refraction, reflection and gravity data were available. The locations of the transects are at the northeast Newfoundland rifted margin (Keen and Haworth, 1985a; Haworth et al., 1985) and across the rifted margin off Labrador (Keen and Haworth, 1985b). Earth models were developed for these transects and the above densities fit the available constraints.

The crustal thickness values were calculated from the free-air gravity measurements using the densities derived from the margin transects. Variations in the gravity values were assumed to be due to changes in bathymetry, depth to basement and depth to the M-discontinuity. The extent of the water layer and the sedimentary strata were known. The calculated free-air anomaly was adjusted to fit the observed anomaly by altering the depth to the M-discontinuity. The algorithm for the three-dimensional model assumed elements consisting of thin horizontal laminae with dimensions of 56 x 56 cos x x 1 in km³, where x is the latitude. From this, crustal thickness can be determined. The map, that was developed using this technique, was compared with the refraction lines and it agreed within 2-4 km of the measured values.

REFERENCES

Haworth, R. T., Williams, H. and Keen, C. E.
1984: D-1 Northern Appalachians: Grenville Province, Quebec to Newfoundland, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #1.

Keen, C. E. and Haworth, R. T.
1984a: D-1 Northern Appalachians: rifted margin offshore northeast Newfoundland, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #1.

1984b: D-4: rifted continental margin off Labrador, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #4.

Tucholke, B. E. and Fry, V. A.
1985: Basement structure and sediment distribution in the Northwest Atlantic Ocean; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 69, no. 12, p. 2077-2097.

J. S. Bell et J. Adams

CONTRAINTES DE LA CROÛTE

La carte illustre les directions des forces horizontales maximales de compression de la lithosphère supposées pour la période actuelle (Adams, 1987). L'information relative à la partie supérieure de la croûte a été dérivée des ovalisations de trous de forage qui étaient mesurées dans des puits d'exploration à des profondeurs sous-marines allant de 1376 m à 4108 m (Tableau 1). Les directions tracées pour les forces horizontales maximales de compression coupent les deux quadrants recevant les premiers mouvements, et sont probablement à moins de 30° de leur orientation réelle.

Le plateau continental du Labrador semble être actuellement soumis à une compression à orientation NNE-SSO. Les orientations anormales obtenues pour certains puits peuvent représenter une déviation des contraintes vers des failles qui font office de surfaces libres.

L'ampleur des contraintes *in situ* a été estimée à partir des diagraphies et des rapports de sondage des puits d'exploration (Tableau 2, Figure 1). En supposant qu'une contrainte principale était verticale, on a obtenu la contrainte verticale principale (S_v) par intégration des enregistrements de densité. La contrainte horizontale principale la plus petite (S_{Hmin}) représente les pressions les plus faibles obtenues à partir des essais de pression de fracturation découvert (Breckels et van Eekelen, 1981; Ervine et Bell, 1987). La contrainte horizontale principale la plus forte (S_{Hmax}), a été estimée à partir de la relation suivante:

$$S_{Hmax} = 2 (\text{pression de fracturation}) - \text{pression des fluides}$$

RÉFÉRENCES

Adams, J.
1987: Canadian crustal stress data - a compilation; Geological Survey of Canada, Open File 1622, 130 p.

Breckels, I.M. et van Eekelen, H.A.M.
1981: Relationship between horizontal stress and depth in sedimentary basins; Presented at 56th Annual Fall Technical Conference, Society of Petroleum Engineers of AIME, San Antonio, Texas, Oct. 5-7, 1981; Society of Petroleum Engineers, Paper 10366.

Ervine, W.B. et Bell, J.S.
1987: Subsurface *in-situ* stress magnitudes from oilwell drilling records: an example from the Venture area, offshore Eastern Canada; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 24, p. 1748-1759.

J. Adams et J.S. Bell

ÉPICENTRES SISMIQUES

Les épicesentres de tous les séismes historiques d'une ampleur supérieure à 3 sont indiqués, sauf dans les zones de forte sismicité où certains tremblements de terre d'ampleur égale à 3 ont été omis pour des raisons de clarté. L'ampleur est caractérisée, ici, à la fois par la couleur et par la dimension du cercle. Tous les graphiques sont fondés sur des données provenant du Fichier des épicesentres des tremblements de terre au Canada, tenu par la Commission géologique du Canada. Les épicesentres des séismes d'ampleur égale à 3 ne sont pas indiqués si ceux-ci sont survenus dans une zone comportant d'autres épicesentres d'ampleur supérieure.

La plupart des tremblements de terre sous la mer du Labrador sont concentrés autour de l'ancien axe de la dorsale océanique du Labrador et sur cet axe (Srivastava, 1978). Il existe également un groupe d'épicesentres sismiques, sous le plateau continental du Labrador, qui est situé au sud du puits Snorri J-90, dans la partie nord du bassin de Hopedale. Le fait que ces tremblements de terre ont eu lieu dans une région qui contient une série de failles synsédimentaires du Tertiaire moyen (voir la carte Structure V) est peut-être significatif. En effet, Balkwill (1987) a attribué l'existence de ces failles à l'extension de la croûte.

RÉFÉRENCES

Balkwill, H.R.
1987: Labrador Basin: structural and stratigraphic style; in *Sedimentary Basins and Basin-Forming Mechanisms*,

C. Beaumont and A. J. Tankard (eds.); Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 12, p. 17-43.

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.

K.G. Shih, H. R. Jackson, W. Kay et J. Woodside

ÉPAISSEUR DE LA CROÛTE

Les données de sismique réflexion ont été compilées à partir de profils le long desquels une coupe de la croûte a été mesurée jusqu'au manteau. Puisque le nombre de profils de réflexion sismique sur la côte est du Canada était insuffisant pour cartographier les courbes de niveau de l'épaisseur crustale, d'autres données, telles que les mesures gravimétriques à l'air libre, bathymétriques et de profondeur du socle, ont été utilisées pour calculer l'épaisseur de la croûte. Les données gravimétriques et bathymétriques du Centre Géoscientifique de l'Atlantique ont été digitalisées sur un quadrillage de 0.5° sur 0.5°. Les données relatives à la profondeur du socle pour le plateau continental du Labrador, à la même équidistance, ont été digitalisées d'après Tucholke et Fry (1985) du nord du cap Flemish jusqu'au détroit de Davis. Les densités utilisées pour calculer l'épaisseur crustale à partir des données gravimétriques étaient les suivantes: 1.03 g/cm³ pour l'eau, 2.50 g/cm³ pour la couche de sédiments, 2.90 g/cm³ pour la croûte et 3.33 g/cm³ pour le manteau supérieur. Ces densités ont été tirées des transects de la marge là où l'on disposait de données de réflexion sismique, de réflexion sismique et de mesures gravimétriques. L'emplacement des transects est le suivant: la marge faillée au nord-est de Terre-Neuve (Keen et Haworth, 1985a; Haworth et coll., 1985); et à travers la marge faillée au large du Labrador (Keen et Haworth, 1985b). Des modèles terrestres ont été élaborés pour ces transects et les densités susmentionnées sont ajustées en fonction des restrictions disponibles.

Les valeurs de l'épaisseur de la croûte ont été calculées à partir des mesures gravimétriques à l'air libre au moyen des densités tirées des transects de la marge. On a supposé que les variations dans les valeurs gravimétriques étaient attribuables à des changements dans la bathymétrie, la profondeur du socle et la profondeur de la discontinuité de Mohorovicic. L'étendue de la couche d'eau et des strates sédimentaires était connue. L'anomalie à l'air libre calculée a été ajustée à l'anomalie observée en modifiant la profondeur de la discontinuité de Mohorovicic. L'algorithme du modèle tridimensionnel supposait des éléments composés de lamelles horizontales minces de dimensions 56 x 56 cos x x 1, en km³, où x est la latitude. L'épaisseur de la croûte peut être obtenue par cette relation. La carte élaborée au moyen de cette technique a été comparée aux profils de réflexion et concordait avec les valeurs mesurées à 2-4 km près.

RÉFÉRENCES

Haworth, R.T., Williams, H. et Keen, C.E.
1985: D-1 Northern Appalachians: Grenville Province, Quebec to Newfoundland, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #1.

Keen, C.E. et Haworth, R.T.
1985a: D-1 Northern Appalachians: rifted margin offshore northeast Newfoundland, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #1.

1985b: D-4: rifted continental margin off Labrador, R.C. Speed (co-ordinator); Geological Society of America, Decade of North American Geology, Centennial Continent/Ocean Transect #4.

Tucholke, B.E. et Fry, V.A.
1985: Basement structure and sediment distribution in the Northwest Atlantic Ocean; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 69, no. 12, p. 2077-2097.