

INNER SHELF: BAY OF FUNDY AND EASTERN SHORE

K. Moran, J. Zevenhuizen, and C. L. Amos (Bay of Fundy)

D. L. Forbes, K. Moran, J. Zevenhuizen, and J. Shaw (Eastern Shore)

Recommended citation: Moran, K., Zevenhuizen, J., and Amos, C. L., 1991: Surficial geology and physical properties 11: Bay of Fundy; in East Coast Basin Atlas Series: Scotian Shelf, Atlantic Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, p. 131.

Recommended citation: Forbes, D.L., Moran, K., Zevenhuizen, J. and Shaw, J., 1991: Surficial geology and physical properties 11: Eastern Shore; in East Coast Basin Atlas Series: Scotian Shelf, Atlantic Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, p. 131.

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 INTERNE: BAIE DE FUNDY ET CÔTE EST

K. Moran, J. Zevenhuizen, et C. L. Amos (baie de Fundy)

D. L. Forbes, K. Moran, J. Zevenhuizen, et J. Shaw (côte Est)

Notation bibliographique conseillée: Moran, K., Zevenhuizen, J., et Amos, C. L., 1991: Géologie des formations en surface et propriétés physiques 11: baie de Fundy; dans Série des atlas des bassins de la côte Est: plate-forme Néo-Écossoise; Centre géoscientifique de l'Atlantique, Commission géologique du Canada, p. 131.

Notation bibliographique conseillée: Forbes, D. L., Moran, K., Zevenhuizen, J., et Shaw, J., 1991: Géologie des formations en surface et propriétés physiques 11: côte Est; dans Série des atlas des bassins de la côte Est: plate-forme Néo-Écossoise; Centre géoscientifique de l'Atlantique, Commission géologique du Canada, p. 131.

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.

BAY OF FUNDY

The inner shelf zone, Bay of Fundy, was sampled by three boreholes (Fig. 1) drilled for Chevron Canada Resources Limited as part of a well site survey for the Cape Spencer O-79 well (McElhanney Services Limited, 1983). The stratigraphy can be subdivided into three distinct units (Figs. 2a, 2b and 3). The upper unit (yellow) is a tidal-derived, coarse grained, deposit with a thickness of 10-20 cm. This upper unit was sampled in Boreholes 2 and 3 and has compositional ranges of 10-20% gravel, 50-70% sand, and 10-30% silt and clay (mud). Below this deposit, there is a unit of laminated sand and silt (dark blue) of probable estuarine origin. This unit is very soft to soft, as seen in the shear strength profiles of Boreholes 1 and 2, and shows a decrease in water content and a consistent grain size distribution with depth (Figs. 4 and 5). The lowermost surficial unit (orange) is a diamicton which was probably deposited as a basal till. This unit has a high shear strength (see Boreholes 1 and 2). These three units overlie mudstone in Boreholes 1 and 2 and basalt in Borehole 3 (Fig. 6). The lateral thickness of the lower two units is variable as represented in the high resolution seismic reflection profiles and interpreted cross-sections of Lines 1 and 2 (Figs. 2a, 2b and 3).

EASTERN SHORE

The inner shelf, where it extends 25-30 km south of the present coastline of the Eastern Shore of Nova Scotia, has an irregular surface developed on a wide variety of seabed types. Some of the recent investigations of surficial sediments in this area include Hall (1985), Judge et al. (1987), Forbes and Boyd (1987, 1989), Forbes et al. (1988a, b) and Forbes and Drapeau (1989); also see Figure 2, map sheet Surficial Geology and Physical Properties 9 (this volume). Piper et al. (1986) presented a detailed review of inner shelf geology in an area to the west, off the South Shore of Nova Scotia.

The surficial sediments discussed here were collectively assigned to the Sable Island Sand and Gravel by King (1970). Boyd et al. (1988) subdivided the inner shelf in this same area into three distinct cross-shelf zones (Figs. 7, 8 and 9):

- (1) an inner *relict-estuarine zone*, extending to present water depths of 50 m, in which patchy occurrences of Holocene estuarine deposits, overlying glacial and proglacial sediments and Meguma Group bedrock, are covered by a thin and locally discontinuous veneer of transgressive shoreface sand and gravel;
- (2) a *truncation zone*, where much of the present seafloor is an erosional unconformity cut in glacial and proglacial sediments of late Wisconsinian age; and
- (3) a broad *outcrop zone* in water depths of 70-100 m, extending to the outer edge of the inner shelf. Seaward of the last zone, fine grained glaciomarine and marine sediments, namely the Emerald Silt and LaHave Clay of King (1970) and King and Fader (1986), are found in the northern margin of the Emerald Basin.

Seismic reflection profiles from the inner (relict-estuarine) zone (Fig. 11) show acoustic basement (slates and metawackes of the Meguma Group) overlain by an acoustically unstratified unit interpreted as glacial diamicton (orange). This unit is overlain by weakly stratified sediments interpreted as glacial outwash sand and gravel (red), then by stratified estuarine sediment (dark blue), with some local freshwater pond or lake deposits at the base, and finally by a very thin veneer of marine sand or gravel (yellow).

The physical properties and biostratigraphy of sediments on the inner part of the inner shelf are exemplified by core 87-042-010 (Fig. 12; Forbes et al., 1988a). This vibracore sampled 0.2 m of surficial marine sand (yellow), 3.5 m of estuarine mud (dark blue), and one metre of diamicton (orange). The upper sand is predominantly fine and varies across the region from not present to four metres in thickness. Below this unit, the estuarine mud is a silty clay ranging up to six metres thick. The mud is soft and displays a consistent grain size distribution with depth, although other occurrences sampled in the area (Forbes et al., 1988a) were interrupted by thin sand units interpreted as tidal inlet deposits. A sample of *Portlandia* sp. bivalve, in situ at 1.31 m downcore within the estuarine mud unit, yielded an AMS (accelerator mass spectrometer) radiocarbon date of 6130 ± 110 years BP (RIDL-1077). Foraminifera and pollen samples from the mud unit are consistent with a Holocene estuarine depositional environment. A distinct red-brown mud with a markedly higher clay content was encountered at the base of core 87-042-010. Although, a mixed estuarine-marine foraminiferal assemblage was found near the top of this mud, a lower sample was barren (Honig, 1988) and so the unit is interpreted to be a glacial diamict (orange).

Although sand is highly mobile (Forbes and Drapeau, 1989), transport is supply-limited over much of the inner shelf. Coarse gravels are entrained frequently under storm conditions, to water depths of 32 m or greater (Forbes and

Boyd, 1987). Large-scale gravel ripple can form in depths as great as 62 m. Both gravel-ripple patches and extensive cobble-boulder lag deposits constitute important hydraulic roughness features on the seabed (Forbes and Drapeau, 1989, Table 1). Where estuarine muds are exposed at the seabed in 30 m water depth, anomalous depressions exist that are 0.5-2.4 m deep, with highly dissected margins and vertical walls in the burrowed muds (Figs. 10a and 10b). While their origin remains uncertain, these features deserve further attention both as an engineering hazard and as potentially useful traps for measurements of sand accumulation (Judge and Forbes, 1987). Other engineering constraints to development on the inner shelf include the very weak estuarine muds and the large variability in grain size and shear strength of the glacial deposits.

ACKNOWLEDGMENTS

R. Boyd and T. Judge have made important contributions to the understanding of surficial sediments on the inner Scotian Shelf. The authors thank the officers and crews of CSS *Dawson*, MV *Pandora-II*, *Pisces-IV*, HMCS *Cormorant*, *SDL-1*, MV *Sigma-T*, MV *Saint-M*, MV *Little Saint*, CSL *Tudlik*, CSL *Ibis*, and colleagues on these vessels and ashore, for their assistance in data collection and analysis.

REFERENCES

- Boyd, R. Forbes, D. L., and Shaw, J.
1988: Surficial geology of the inner shelf of the Eastern Shore of Nova Scotia (abstract); Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada - Canadian Society of Petroleum Geologists, Program with Abstracts, v. 13, p. A13.
- Forbes, D. L. and Boyd, R.
1987: Gravel ripples on the inner Scotian Shelf; *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 57, p. 46-54.
- 1989: Submersible observations of surficial sediments and seafloor morphology on the inner Scotian Shelf; in *Submersible Observations Off the East Coast of Canada*, (ed.) D. J. W. Piper; Geological Survey of Canada, Paper 88-20, p. 71-81.
- Forbes, D. L., Boyd, R., Shaw, J., Johnston, L., Heffler, D. E., and McLaren, S.
1988a: CSS *Dawson* operations on inner Scotian Shelf and Sable Island Bank [cruise report 87042]; Geological Survey of Canada, Open File 2063, 51 p.
- Forbes, D. L. and Drapeau, G.
1989: Near-bottom currents and sediment transport on the inner Scotian Shelf: sea-floor response to winter storms during CASP; *Atmosphere-Ocean*, v. 27, p. 258-278.
- Forbes, D. L., Judge, J. T., Boyd, R., Drapeau, G., and Shaw, J.
1988b: Seabed characteristics and sediment mobility at CASP study sites on the inner Scotian Shelf; *Maritime Sediments and Atlantic Geology*, v. 24, p. 194.
- Hall, R.
1985: Inner shelf acoustic facies and surficial sediment distribution of the Eastern Shore, Nova Scotia; Technical Report 8, Centre for Marine Geology, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 197 p.
- Honig, C. A.
1988: Identification and interpretation of foraminiferal assemblages from the Eastern Shore of Nova Scotia: vibracores 010, 030, 033, 039, *Dawson* cruise no. 98042; Technical Report 10, Centre for Marine Geology, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 22 p.
- Judge, J. T. and Forbes, D. L.
1987: Measurements of currents, bottom sediments, and seafloor disturbance during CASP; in *Proceedings, Oceans '87* (Halifax); Marine Technology Society and IEEE Ocean Engineering Society, v. 3, p. 975-980.
- Judge, J. T., Watanabe, R. K., and Warner, J. L.
1987: Seafloor stability study, inner Scotian Shelf; Environmental Studies Revolving Funds, Report 61, Ottawa, 80 p.
- King, L. H.
1970: Surficial geology of the Halifax - Sable Island map area; Canadian Hydrographic Service, Marine Sciences, Paper 1, 16 p. and map, scale 1:300 000.
- King, L. H. and Fader, G. B. J.
1986: Wisconsinian glaciation of the Atlantic continental shelf of southeast Canada; Geological Survey of Canada, Bulletin 363, 72 p.
- McElhanney Services Limited
1983: Well-site survey report, Chevron et al., Cape Spencer O-79; A report submitted to Chevron Canada Resources Limited, 13 p.
- Piper, D. J. W., Mudie, P. J., Letson, J. R. J., Barnes, N. E., and Iullicci, R. J.
1986: The marine geology of the inner Scotian Shelf off the South Shore, Nova Scotia; Geological Survey of Canada, Paper 85-19, 65 p.

BAIE DE FUNDY

Dans la baie de Fundy, la zone de plate-forme interne a été échantillonnée à l'aide de trois sondages (fig. 1) forés pour la Chevron Canada Resources Limited dans le cadre d'une étude de site du puits Cape Spencer O-79 (McElhanney Services Limited, 1983). On peut subdiviser la stratigraphie en trois unités distinctes (fig. 2a, 2b et 3). L'unité supérieure (jaune) est un dépôt grossier d'origine tidale mesurant entre 10 et 20 cm d'épaisseur. On a prélevé des échantillons de cette unité supérieure dans les sondages 2 et 3 qui ont révélé une composition variant entre 10 et 20 % de gravier, entre 50 et 70 % de sable et entre 10 et 30 % de silt et d'argile (boue). Au-dessous de ce dépôt se trouve une unité de sable et de silt laminés (bleu foncé) d'origine probablement estuarienne. Cette unité est de très tendre à tendre comme on peut l'observer sur les profils de résistance au cisaillement des sondages 1 et 2 et elle présente une diminution de la teneur en eau et une distribution granulométrique constante avec la profondeur (fig. 4 et 5). L'unité superficielle basale (orange) est un diamicton qui s'est probablement déposé sous forme de till basal. Cette unité possède une résistance au cisaillement élevée (voir les sondages 1 et 2). Ces trois unités reposent sur du mudstone dans les sondages 1 et 2 et sur du basalte dans le sondage 3 (fig. 6). L'épaisseur latérale des deux unités inférieures est variable comme le représentent les profils de sismique-réflexion haute résolution et les coupes interprétées des profils 1 et 2 (fig. 2a, 2b et 3).

CÔTE EST

La plate-forme continentale interne, là où elle s'étend sur quelques 25 à 30 km au sud du littoral actuel de la côte est de la Nouvelle-Écosse, présente une surface irrégulière sur un fond très varié. Les sédiments de surface dans cette zone ont fait l'objet d'études récentes, notamment par Hall (1985), Judge et al. (1987), Forbes et Boyd (1987, 1989), Forbes et al. (1988a, b) et Forbes et Drapeau (1989); voir également la figure 2 de la carte Géologie des formations en surface et propriétés physiques 9 (dans le présent volume). Piper et al. (1986) ont présenté une analyse détaillée de la géologie de la plate-forme continentale interne dans une zone située à l'ouest, au large de la côte sud de la Nouvelle-Écosse.

Les sédiments superficiels dont il est question ici ont été dans l'ensemble attribués aux Sables et Gravier de Sable Island par King (1970). Boyd et al. (1988) ont subdivisé la plate-forme continentale interne dans ce même secteur en trois zones longitudinales distinctes. (fig. 7, 8 et 9):

- (1) dans la partie interne, une *zone estuarienne relique*, s'étendant aux profondeurs d'eau actuelles d'environ 50 m, dans laquelle des plaques de sédiments estuariens de l'Holocène reposent sur des sédiments glaciaires et proglaciaires ainsi que sur le substratum rocheux du Groupe de Meguma, sont recouverts d'un mince placage localement discontinu de sables et de graviers d'avant-plage transgressifs;
 - (2) une *zone de truncature* où la majeure partie du fond marin actuel est une discordance d'érosion au sommet de sédiments glaciaires et proglaciaires du Wisconsinien tardif, et
 - (3) une vaste *zone d'affleurement* aux profondeurs d'eau de 70 à 100 m, se prolongeant jusqu'à la bordure extérieure de la plate-forme continentale interne.
- Au large de cette dernière zone, on trouve sur la marge septentrionale du bassin d'Émeraude des sédiments glaciomarine et marins à grain fin, soit le Silt d'Emerald et l'Argile de LaHave de King (1970) et de King et Fader (1986).

Des profils de sismique-réflexion de la zone interne (zone estuarienne relique; fig. 11) montrent un socle acoustique (ardoise et métagrauwacke du Groupe de Meguma) surmonté d'une unité acoustiquement non stratifiée interprétée comme un diamicton glaciaire (orange). Cette unité est sous-jacente à des sédiments faiblement stratifiés interprétés comme des sables et graviers d'épandage fluvio-glaciaire (rouge), surmontés de sédiments estuariens stratifiés (bleu foncé), avec, par endroits à la base, des sédiments lagunaires d'eau douce ou lacustres, et enfin au sommet, un très mince placage de sables et graviers marins (jaune).

Les propriétés physiques et la biostratigraphie des sédiments de la partie intérieure de la plate-forme continentale interne sont bien représentées par la carotte 87-042-010 (fig. 12; Forbes et al., 1988a). Cette carotte prélevée au vibrocrotier a permis d'échantillonner environ 0,2 m de sable marin superficiel (jaune), 3,5 m de boue estuarienne (bleu foncé) et un mètre de diamicton (orange). Le sable supérieur est principalement fin et son épaisseur varie dans la région de presque nulle à quatre mètres. Au-dessous de cette unité, la boue estuarienne est une argile silteuse dont l'épaisseur varie de un à six mètres. La boue est tendre et présente une granulométrie constante avec la profondeur bien que certains échantillons prélevés dans la région (Forbes et al., 1988a) étaient entrecoupés de minces unités sableuses interprétées comme des sédiments de passe de marée. Un spécimen de bivalve *Portlandia* sp., prélevé in-situ dans la boue estuarienne à 1,31 m du sommet de l'unité (le long de la carotte) et analysé à l'aide d'un spectromètre de masse par accélérateur, a donné un âge ¹⁴C de 6130 ± 110 BP (RIDL-1077). Des échantillons de foraminifères et de pollens provenant de l'unité de boue sont compatibles avec un milieu de sédimentation estuarien à l'Holocène. À la base de la carotte 87-042-010, on a relevé une boue brun-rouge distincte présentant une teneur en argile nettement plus élevée. Bien qu'une association de foraminifères estuariens et marins mélangés ait été identifiée près du sommet de cette boue, un échantillon de la base était stérile (Honig, 1988) et l'unité a été interprétée comme un diamicton glaciaire (orange).

Même si le sable est très mobile (Forbes et Drapeau, 1989), le transport sédimentaire sur la majeure partie de la plate-forme continentale interne, est limité par un apport sédimentaire restreint. Les graviers grossiers sont entraînés fréquemment dans des conditions de tempête vers des profondeurs d'eau de 32 m ou plus (Forbes et Boyd, 1987). Des rides de gravier de grande envergure peuvent se former à des profondeurs atteignant 62 m. Les plaques de rides de gravier ainsi que les vastes dépôts résiduels de cailloux-blocs constituent d'importantes structures sous-marines rugueuses d'un point de vue hydraulique (Forbes et Drapeau, 1989, tableau 1). Là où des boues estuariennes affleurent sur le fond marin à des profondeurs de 30 m, on observe dans des boues ravinées des dépressions anormales de 0,5 à 2,4 m de profondeur à parois verticales et dont les bords sont très découpés (fig. 10a et 10b). D'origine incertaine, ces structures méritent d'être davantage étudiées étant donné qu'elles constituent à la fois un danger géotechnique et des pièges potentiellement utiles pour mesurer l'accumulation de sable (Judge et Forbes, 1987). D'autres contraintes géotechniques à la mise en valeur de la plate-forme continentale interne sont liées au fait que les boues estuariennes sont fragiles et que les sédiments glaciaires ont une granulométrie et une résistance au cisaillement très variables.

REMERCIEMENTS

R. Boyd et T. Judge ont apporté une contribution importante à l'étude des sédiments superficiels de la plate-forme Néo-Écossoise interne. Les auteurs tiennent à remercier les officiers et les équipages du CSS *Dawson*, MV *Pandora-II*, *Pisces-IV*, HMCS *Cormorant*, *SDL-1*, MV *Sigma-T*, MV *Saint-M*, MV *Little Saint*, CSL *Tudlik*, CSL *Ibis* ainsi que leurs collègues qui ont travaillé sur ces navires et à terre en participant à la cueillette et à l'analyse des données.

RÉFÉRENCES

- Boyd, R. Forbes, D. L., et Shaw, J.
1988: Surficial geology of the inner shelf of the Eastern Shore of Nova Scotia (abstract); Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada - Canadian Society of Petroleum Geologists, Program with Abstracts, v. 13, p. A13.
- Forbes, D. L. et Boyd, R.
1987: Gravel ripples on the inner Scotian Shelf; *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 57, p. 46-54.
- 1989: Submersible observations of surficial sediments and seafloor morphology on the inner Scotian Shelf; in *Submersible Observations Off the East Coast of Canada*, (ed.) D. J. W. Piper; Geological Survey of Canada, Paper 88-20, p. 71-81.
- Forbes, D. L., Boyd, R., Shaw, J., Johnston, L., Heffler, D. E., et McLaren, S.
1988a: CSS *Dawson* operations on inner Scotian Shelf and Sable Island Bank [cruise report 87042]; Geological Survey of Canada, Open File 2063, 51 p.
- Forbes, D. L. et Drapeau, G.
1989: Near-bottom currents and sediment transport on the inner Scotian Shelf: sea-floor response to winter storms during CASP; *Atmosphere-Ocean*, v. 27, p. 258-278.
- Forbes, D. L., Judge, J. T., Boyd, R., Drapeau, G., et Shaw, J.
1988b: Seabed characteristics and sediment mobility at CASP study sites on the inner Scotian Shelf; *Maritime Sediments and Atlantic Geology*, v. 24, p. 194.
- Hall, R.
1985: Inner shelf acoustic facies and surficial sediment distribution of the Eastern Shore, Nova Scotia; Technical Report 8, Centre for Marine Geology, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 197 p.
- Honig, C. A.
1988: Identification and interpretation of foraminiferal assemblages from the Eastern Shore of Nova Scotia: vibracores 010, 030, 033, 039, *Dawson* cruise no. 98042; Technical Report 10, Centre for Marine Geology, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 22 p.
- Judge, J. T. et Forbes, D. L.
1987: Measurements of currents, bottom sediments, and seafloor disturbance during CASP; in *Proceedings, Oceans '87* (Halifax); Marine Technology Society and IEEE Ocean Engineering Society, v. 3, p. 975-980.
- Judge, J. T., Watanabe, R. K., et Warner, J. L.
1987: Seafloor stability study, inner Scotian Shelf; Environmental Studies Revolving Funds, Report 61, Ottawa, 80 p.
- King, L. H.
1970: Surficial geology of the Halifax - Sable Island map area; Canadian Hydrographic Service, Marine Sciences, Paper 1, 16 p. and map, scale 1:300 000.
- King, L. H. et Fader, G. B. J.
1986: Wisconsinian glaciation of the Atlantic continental shelf of southeast Canada; Geological Survey of Canada, Bulletin 363, 72 p.
- McElhanney Services Limited
1983: Well-site survey report, Chevron et al., Cape Spencer O-79; A report submitted to Chevron Canada Resources Limited, 13 p.
- Piper, D. J. W., Mudie, P. J., Letson, J. R. J., Barnes, N. E., et Iullicci, R. J.
1986: The marine geology of the inner Scotian Shelf off the South Shore, Nova Scotia; Geological Survey of Canada, Paper 85-19, 65 p.