

SCOTIAN SHELF SURFICIAL GEOLOGY AND PHYSICAL PROPERTIES 10 POTENTIAL SAND TRANSPORT

J. T. Judge and C. L. Amos

Recommended citation: Judge, J. T. and Amos, C. L., 1991: Surficial geology and physical properties 10: potential sand transport; in East Coast Basin Atlas Series: Scotian Shelf; Atlantic Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, p. 129.

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).

The attached maps illustrate a series of predictions of potential sand transport magnitude and direction for the Scotian Shelf during the peak of a severe winter storm, the time of maximum seabed disturbance. The maps show the effects of waves, tidal currents and wind-driven currents on the evolution of the sediments of the Scotian Shelf. The Scotian Shelf seabed is most strongly influenced by storm waves and storm-driven currents. The degree of this influence (i.e. the relative seabed stability) is important to surficial geological assessment, benthic stock management and offshore development.

STORM DESCRIPTION

The storm selected for this study produced the largest observed significant wave height at the Scotian Shelf site over the last 10 years. Peak winds of this storm had a return interval of four years on eastern Sable Island Bank and so the storm was defined as the one-in-four-year storm event. It was an intense low pressure cyclonic disturbance which passed over the Maritimes on 7-8 December, 1983. The centre of the system tracked northeastward over New Brunswick at an average speed of 58 km/hr, and then turned northward to pass over eastern Quebec, Labrador, and southern Baffin Island (Fig. 1). The peak of the storm on the Scotian Shelf occurred at 0000Z, 8 December, 1983. At its peak, the storm was centred over the Gulf of St. Lawrence and extended over the entire Scotian Shelf and western Grand Banks. The central pressure at this time was 964 kPa (Fig. 2); the resulting winds blew over the Scotian Shelf to the east-northeast at a mean speed of 95 km/hr.

METHODS AND RESULTS

The Storm

This storm was selected on the basis of an examination of Canadian Forces METOC Centre wave data charts of the North Atlantic (Fig. 3) and, in particular, an examination of wave conditions in the C4 region of Neu (1982; western Scotian Shelf). The return interval of the storm was equated with the return interval of the storm-generated peak significant wave height (H_s) over the Venture site, Sable Island Bank. The wave height percentage exceedance plots were prepared by Sable Gas Systems Limited (unpublished data, 1986). The geostrophic wind pattern for the peak wave condition was derived from "surface analysis of atmospheric conditions" maps produced by Atlantic Weather Centre, Atmospheric Environment Service (Fig. 2). Geostrophic wind magnitude was digitized using a Geostrophic Wind Scale. The amplitude of the peak significant wave height, wind speed, and peak current for the one-in-four-year storm (at the Venture discovery site) were 6.5 m, 35 knots, and 0.44 m/s, respectively (Fig. 4).

Currents

Depth-averaged tidal currents for the Scotian Shelf were derived from observations presented by Canadian Hydrographic Service (1981), Tee et al. (1987), Gregory (1988), and Gregory and Smith (1988). Wind-driven current speed and direction across the Scotian Shelf is complex due to topographic effects and density-driven flows (Petrie, 1983; Wright et al., 1986). It is presently not possible to quantify these effects. As a result, surface wind-driven currents for the storm peak were estimated as three percent of the geostrophic wind velocity. The storm-driven and tidal currents were extrapolated to one metre above the seafloor and were vectorially summed.

Waves

Wave conditions for the storm peak were digitized from the Canadian Forces METOC Centre wave data chart for 0000Z, 8 December, 1983 when the maximum wave height on the Scotian Shelf occurred (Fig. 3). Significant wave height (H_s) and direction were digitized at one degree intervals of latitude and longitude. The maximum significant wave height, of 10 m, was located southeast of Nova Scotia. H_s decreased northeastward along the Scotian Shelf and into the Gulf of Maine. Wave propagation direction was oriented to the east and northeast. The peak spectral wave periods (T_p) were derived from $T_p = 4.16 H_s^{0.5}$ (SI units) after Sable Gas Systems Limited (unpublished data, 1986).

Sand Transport

The potential sand transport rate and direction were determined for the time of the observed peak significant wave height over the central Scotian Shelf. The near-bed, storm-generated wave and steady current conditions, and resulting bed shear stresses were determined using the Atlantic Geoscience Centre sediment transport model (Amos, 1988; Martec Limited, 1989a) which used the method of Grand and Madsen (1979). Details of the method are given in Judge (1989). The model was run using a grid size of 0.1°. Wave and current data were re-gridded to this size following methods of Verhoef (personal communication, 1989). Bathymetry was derived from digital files supplied by the Geological Survey of Canada. Peak bed stresses were transformed to peak sand transport rates using the algorithm of Engelund and Hansen (1967). Resulting potential sand transport rates were derived for a mean sediment grain diameter of 0.35 mm and are shown for the duration of the storm (Fig. 5). The peak sand transport rate for this storm is expressed in terms of the probability of non-exceedance for the Venture site (Fig. 6) and has a value of 2.0×10^{-2} kg/m/s. The largest colour map (Fig. 7) shows the spatial variation in potential sand transport rates and directions at 0000Z, 8 December, 1983. Sediment transport rates for mean grain diameters other than 0.35 mm can be estimated by reference to Figure 8. This figure shows that non-cohesive sediments finer than 0.01 m in diameter (pebbles) were potentially in transport during the peak of this storm event in depths less than 30 m.

The sediment transport during the storm (Fig. 5) is modulated by fluctuations in tidal currents as well as storm intensity. Four examples are therefore shown with the main colour plot: the first (Fig. 9) illustrates potential sand transport due to mean peak-ebb tides only (no storm); Figures 10, 11, and 12 show potential sand transport during the storm under conditions of mean peak-ebb, slack and peak-flood tidal currents, respectively. These plots

show that sand transport is restricted to the outer banks of the Scotian Shelf, to Lurcher Shoal and to isolated places near the Maritime shoreline. The range in magnitude of sand transport is expressed by colour contours from $>1 \times 10^{-6}$ (green) to $<5 \times 10^{-1}$ kg/m/s (red). Regions of negligible sediment transport are coloured blue. The magnitude and direction of sediment transport is given by the length and orientation of the superimposed arrows.

Sand transport on the Scotian Shelf is strongly depth-dependent. It is greatest on the shoals of Georges Bank, German Bank, and Northern Spur (Sable Island Bank) and decreases to zero at approximately the 200 m isobath. Sand transport direction on the Scotian Shelf is predominantly northeastward. Sediment convergence and build-up is predicted for southern German Bank, eastern Georges Bank, eastern LaHave Bank, and northern Sable Island Bank. Sediment divergence and depletion is predicted for Lurcher Shoal, Georges Bank, Browns Bank, Baccaro Bank, Middle Bank, and Western Bank.

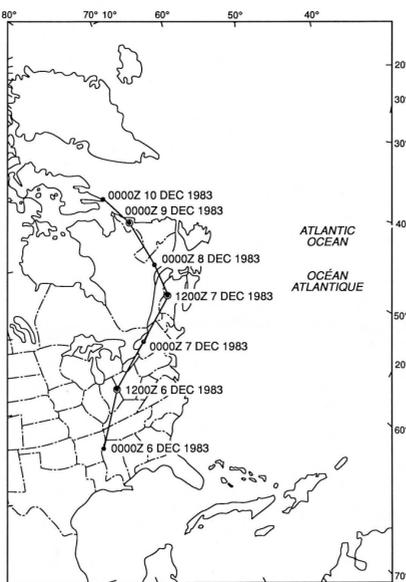


FIGURE 1. Storm track for one-in-four-year storm event

FIGURE 1. Parcours d'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans

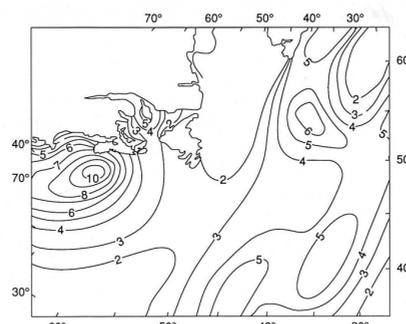


FIGURE 3. Significant wave height at the peak of the storm (0000Z, 8 December, 1983; wave height in metres)

FIGURE 3. Hauteur des vagues significatives au moment du maximum de la tempête (0000Z, du 8 décembre 1983; hauteur des vagues en mètres)

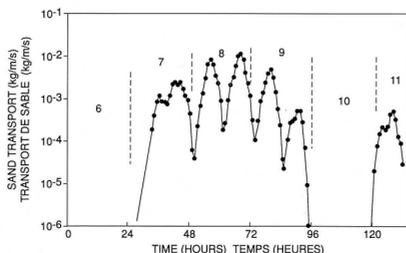


FIGURE 5. Taux de transport potentiel du sable (fois diamètre moyen des grains de 0,35 mm) associé à l'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans (6 au 11 décembre 1983), site Venture

FIGURE 5. Taux de transport potentiel du sable (fois diamètre moyen des grains de 0,35 mm) associé à l'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans (6 au 11 décembre 1983), site Venture

REFERENCES

- Amos, C. L.
1988: The Atlantic Geoscience Centre sediment transport numeric models; Geological Survey of Canada, Open File 1705, 370 p.
- Canadian Hydrographic Service
1981: Atlas of tidal currents, Bay of Fundy and Gulf of Maine; Publications Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, 36 p.
- Engelund, F. and Hansen, E.
1967: A monograph on sediment transport in alluvial streams; Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.
- Grant, W. D. and Madsen, O. S.
1979: Combined wave and current interaction with a rough bottom; Journal Geophysical Research, v. 84, no. 4, p. 1797-1808.
- Gregory, D. N.
1988: Tidal current variability on the Scotian Shelf and Slope; Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, v. 109, 38 p.
- Gregory, D. N. and Smith, P. C.
1988: Current statistics of the Scotian Shelf and Slope;

PLATE-FORME NÉO-ÉCOSSAISE GÉOLOGIE DES FORMATIONS EN SURFACE 10 ET PROPRIÉTÉS PHYSIQUES TRANSPORT POTENTIEL DE SABLE

J. T. Judge et C. L. Amos

Notation bibliographique conseillée: Judge, J. T. et Amos, C. L., 1991: Géologie des formations en surface et propriétés physiques 10: transport potentiel sable; dans Série des atlas des bassins de la côte Est: plate-forme Néo-Écossaise; Centre géoscientifique de l'Atlantique, Commission géologique du Canada, p. 129.

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.

Les cartes jointes illustrent un ensemble de prévisions de l'ordre de grandeur et de la direction du transport potentiel de sable sur la plate-forme Néo-Écossaise au moment du maximum d'une intense tempête hivernale, correspondant à l'intervalle de perturbation maximale du fond marin. Les cartes montrent les effets des vagues, des courants de marée et des courants entraînés par le vent sur l'évolution des sédiments de la plate-forme Néo-Écossaise. Le fond marin de la plate-forme Néo-Écossaise est le plus fortement influencé par les vagues de tempêtes et les courants entraînés par les tempêtes. L'ampleur de cette influence (c.-à-d. la stabilité relative du fond marin) est importante pour l'évaluation de la géologie de surface, pour la gestion des stocks benthiques et pour les travaux de mise en valeur extra-côtiers.

DESCRIPTION DE LA TEMPÊTE

La tempête retenue pour la présente étude a produit sur la plate-forme Néo-Écossaise les vagues significatives présentant la hauteur la plus élevée observée au cours des dix dernières années. Sur la partie orientale du banc de l'île de Sable, l'intervalle de récurrence des points maximaux de vent observés pendant cette tempête est de quatre ans et la tempête a donc été qualifiée de tempête à période de récurrence de quatre

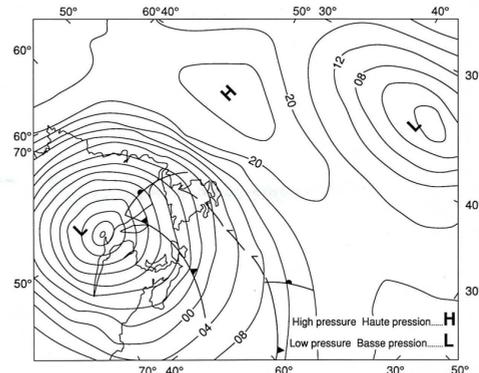


FIGURE 2. Surface analysis of atmospheric conditions at the peak of the storm (0000Z, 8 December, 1983)

FIGURE 2. Analyse en surface des conditions atmosphériques sévissant au moment du maximum de la tempête (0000Z, du 8 décembre 1983)

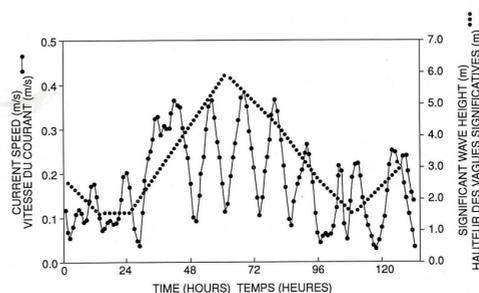


FIGURE 4. Peak significant wave height, wind speed and peak current for the one-in-four-year storm (6-11 December, 1983), Venture site

FIGURE 4. Hauteur maximale des vagues significatives, vitesse du vent et vitesse maximale des courants associés à l'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans (6 au 11 décembre 1983), site Venture

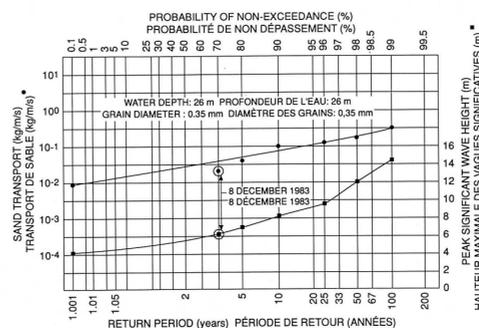


FIGURE 6. Probability of sand transport non-exceedance for the one-in-four-year storm event, Venture site

FIGURE 6. Probabilité de non dépassement des taux de transport de sable associés à l'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans, site Venture

ans. Il s'agissait d'une intense dépression cyclonique qui est passée sur les Provinces maritimes les 7 et 8 décembre 1983. Le centre du système a traversé le Nouveau-Brunswick en direction du nord-est à une vitesse moyenne de 58 km/h avant que sa trajectoire ne s'incurve en direction du nord pour passer sur l'est du Québec, le Labrador et le sud de l'île de Baffin (fig. 1). La tempête a atteint son intensité maximale, sur la plate-forme Néo-Écossaise, à 0000Z le 8 décembre 1983. Elle était à ce moment centrée sur le golfe du Saint-Laurent et couvrait la totalité de la plate-forme Néo-Écossaise et la partie occidentale des Grands Bancs. La pression barométrique dans la partie centrale du système était alors de 964 kPa (fig. 2); les vents engendrés ont soufflé sur la plate-forme Néo-Écossaise en direction de l'est-nord-est à une vitesse moyenne de 95 km/h.

MÉTHODE ET RÉSULTATS

La tempête

Cette tempête a été choisie après examen des cartes de données sur les vagues de l'Atlantique Nord (fig. 3)

du Centre METOC des Forces canadiennes et en particulier suite à l'examen de l'état des vagues dans la région C4 de Neu (plate-forme Néo-Écossaise occidentale 1982). On a retenu comme intervalle de récurrence pour la tempête, l'intervalle de récurrence des vagues significatives de hauteur (H_s) maximale soulevées par la tempête au site Venture sur le banc de l'île de Sable. Les graphiques du pourcentage de dépassement de la hauteur des vagues ont été préparés par la Sable Gas Systems Limited (données inédites, 1986). La configuration du vent géostrophique correspondant à l'état des vagues maximales a été dérivée des cartes d'analyse en surface des conditions atmosphériques produites par le Centre météorologique de l'Atlantique du Service de l'environnement atmosphérique (fig. 2). L'intensité du vent géostrophique a été numérisée à l'aide d'une échelle du vent géostrophique. La hauteur maximale des vagues significatives, la vitesse du vent et la vitesse maximale des courants associés à l'une des tempêtes ayant une période de récurrence de quatre ans (au site de la découverte Venture) s'élevaient respectivement à 6,5 m, 35 noeuds et 0,44 m/s (fig. 4).

Courants

Les vitesses moyennes des courants de marée en fonction de la profondeur sur la plate-forme Néo-Écossaise ont été dérivées des observations présentées par le Service hydrographique du Canada (1981), par Tee et al. (1987) par Gregory (1988) et par Gregory et Smith (1988). La vitesse et la direction des courants entraînés par le vent sur la plate-forme Néo-Écossaise sont complexes en raison des effets topographiques et des écoulements entraînés par les différences de densité (Petrie, 1983; Wright et al., 1986). Il est actuellement impossible de quantifier ces effets. En conséquence, il a été estimé que la vitesse des courants de surface entraînés par le vent au maximum de la tempête s'élevait à 3% de la vitesse du vent géostrophique. Les vitesses des courants de marée et des courants entraînés par la tempête ont été déterminées par extrapolation à un mètre au-dessus du fond marin et on en a fait la somme vectorielle.

Vagues

L'état des vagues au maximum de la tempête a été numérisé d'après la carte de données sur les vagues du Centre METOC des Forces canadiennes pour le 8 décembre 1983 à 0000Z alors qu'étaient observées les vagues de hauteur maximale sur la plate-forme Néo-Écossaise (fig. 3). La hauteur (H_s) et la direction des vagues significatives ont été numérisées à des intervalles de 1° en latitude et en longitude. Une hauteur maximale des vagues significatives de 10 m a été relevée au sud-est de la Nouvelle-Écosse. La H_s diminuait en direction du nord-est le long de la plate-forme Néo-Écossaise et dans le golfe du Maine. La direction de propagation des vagues était orientée à l'est et au nord-est. Les périodes du spectre des vagues maximales (T_p) ont été dérivées au moyen de la relation $T_p = 4,16 H_s^{0,5}$ (unités SI) des données de la Sable Gas Systems Limited (données inédites, 1986).

Transport du sable

Les taux et directions de transport potentiel de sable ont été déterminés pour le moment où les vagues significatives ont atteint leur hauteur maximale sur la plate-forme Néo-Écossaise centrale. Les conditions près du fond, résultant de l'action des vagues soulevées par la tempête et du courant régulier ainsi que les contraintes résultantes de cisaillement au fond ont été déterminés au moyen du modèle de transport des sédiments (Amos, 1988; Martec Limited, 1989a) du Centre géoscientifique de l'Atlantique (Commission géologique du Canada) qui fait intervenir la méthode de Grand et Madsen (1979). Un aperçu détaillé de la méthode est présenté dans l'étude de Martec Limited (1989b). Le modèle a été appliqué à un quadrillage aux mailles de 0,1°. Les données sur les vagues et les courants ont été transposées suivant ce dernier quadrillage par la méthodes de Verhoef (communication personnelle, 1989). La bathymétrie a été dérivée des fichiers numériques fournis par la Commission géologique du Canada. Les contraintes maximales sur le fond ont été transformées en taux de transport du sable maximal au moyen de l'algorithme de Engelund et Hansen (1967). Les taux de transport potentiel de sable résultants ont été dérivés pour des grains de sédiment d'un diamètre moyen de 0,35 mm et sont indiqués pour la durée de la tempête (fig. 5). Le taux de transport du sable maximal pour cette tempête est exprimé en termes de probabilité de non dépassement pour le site Venture (fig. 6) et s'établit à $2,0 \times 10^{-2}$ kg/m/s. La plus grande carte en couleurs (fig. 7) montre la variation spatiale des taux et des directions de transport potentiel de sable à 0000Z le 8 décembre 1983. Les taux de transport de grains de sédiments de diamètres autres que 0,35 mm peuvent être estimés en se référant à la fig. 8. Cette figure montre que des sédiments non cohésifs dont les grains étaient d'un diamètre inférieur à 0,01 m (cailloux) pouvaient être transportés au maximum de cette tempête par des profondeurs inférieures à 30 m.

Le transport des sédiments pendant la tempête (fig. 5) est modulé par des fluctuations des courants de marée ainsi que par l'intensité de la tempête. Quatre exemples sont donc montrés avec la principale carte en couleurs: le premier (fig. 9) illustre le transport potentiel du sable attribuable exclusivement aux courants de marée associés au maximum de jusant (sans tempête); les fig. 10, 11 et 12 montrent le transport potentiel du sable pendant la tempête dans les conditions de courants de marée moyens au maximum de jusant, à l'étalement et au maximum de flot. Ces figures montrent que le transport du sable se limite aux bancs externes de la plate-forme Néo-Écossaise, au haut-fond Lurcher et à des endroits isolés près de la côte des Provinces maritimes. L'ordre de grandeur du transport du sable est exprimé au moyen de courbes colorées allant de $>1 \times 10^{-6}$ (vert) à $<5 \times 10^{-1}$ kg/m/s (rouge). Les régions où le transport de sédiments est négligeable sont de couleur bleue. L'ordre de grandeur et la direction du transport de sédiments sont figurés par la longueur et l'orientation des flèches surimposées.