

XIe congrès de l'AQQUA
*Changements environnementaux et dynamique des
hydrosystèmes anciens et actuels*

**LES PAYSAGES MARINS ET CÔTIERS DE LA
CÔTE-NORD QUÉBÉCOISE : UNE VUE DU
LARGE**

Excursion à bord du NGCC F.G. Creed

23 août 2008

Andrée Bolduc¹

Pascal Bernatchez²

Roger Côté³

1 : Commission géologique du Canada – Québec, 490 rue de la Couronne, Québec (Québec) G1K 9A9
andree.bolduc@nrcan-rncan.gc.ca

2 : Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, 300 Allée des Ursulines,
Rimouski (Québec) pascal_bernatchez@uqar.qc.ca

3 : Service hydrographique du Canada, Institut Maurice Lamontagne,
850 Route de la Mer, Mont-Joli (Québec) roger.cote@dfm-mpo.gc.ca

Table des matières

Introduction	3
Déroulement de l'excursion	3
Sommaire technique.....	5
Géomorphologie marine.....	9
Géomorphologie côtière.....	13
Lien terre-mer	17
Remerciements	19
Références	19

Introduction

Depuis de nombreuses années, la Côte-Nord québécoise fascine les gens, et en particulier les géomorphologues. Les paysages sont à couper le souffle et on ne peut qu'imaginer les processus anciens et modernes qui ont façonné et façonnent encore cette côte abrupte. Depuis les premiers travaux de Faessler (1933, 1934, 1942) en passant par ceux de Dubois (1979) et Dredge (1983) et plus récemment ceux de Syvitsky (Syvitsky et Praeg, 1989; Syvitsky, 1992) et de Bernatchez (1997, 2003), nous voici en mesure de présenter pour la première fois le prolongement sous l'eau (Bolduc *et al.*, 2007) de ce que l'on voit en milieu terrestre et de faire un lien terre-mer rarement exploité.

Depuis 2005, la Commission géologique du Canada, en collaboration étroite avec le Service hydrographique du Canada, mène des campagnes de levés de bathymétrie multifaisceaux dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. En effet, le golfe était une des cinq régions prioritaires du Plan d'action du Canada pour les océans (2005-2007, Pêches et Océans Canada, 2005) et l'estuaire en constitue le principal point d'entrée. Le golfe du Saint-Laurent est une région où les usages traditionnels de la mer, soit la pêche (une activité de près de \$200M en 2004, les espèces principales étant le crabe des neiges, \$98M, le homard, \$50M et la crevette, \$30M) et le transport maritime, ainsi que d'autres usages potentiels, tels la délimitation de corridors pour l'installation de câbles, pipelines et autres infrastructures industrielles, sont en conflit avec les demandes de plus en plus grandes liées à la conservation (zones de protection marine, parc marin) et à l'industrie récréo-touristique.

C'est dans cette optique que le projet de cartographie des fonds marins de l'estuaire du Saint-Laurent contribue de façon significative à la gestion intégrée du Saint-Laurent en fournissant une base solide de géoconnaissances. Des levés multifaisceaux ont donc été menés sur trois périodes en 2005 (Campbell *et al.*, 2005; Campbell *et al.*, 2006; Bolduc *et al.*, 2006) dans la région qui avait été préalablement identifiée prioritaire lors d'un atelier de concertation (CIDCO, 2004). En 2006 et 2007, des levés multifaisceaux additionnels (Campbell *et al.*, 2007; Hayward *et al.*, 2007; Bolduc *et al.*, 2007) ainsi que deux levés de validation géologique à bord du NGCC Matthew (Campbell, 2007; Bolduc, 2008) ont permis de compléter la couverture bathymétrique de l'estuaire entre l'Île-aux-Coudres et Pointe-des-Monts et de récolter les données nécessaires à l'interprétation des phénomènes géologiques identifiés sur le fond marin. Ces levés permettent pour la première fois de visualiser le fond marin et d'y découvrir tout le dynamisme des processus anciens et actuels. Il devient ensuite très intéressant de mettre en lien le milieu terrestre et le milieu marin et c'est ce que nous souhaitons faire aujourd'hui.

L'excursion que nous vous proposons est en trois volets : (1) vous participerez à l'acquisition des données de bathymétrie multifaisceaux et de profileur de sous-surface. Vous verrez tout ce qui entoure non-seulement la calibration des instruments d'acquisition, mais également le traitement des données à bord afin de corriger des artéfacts d'acquisition et d'éliminer les erreurs qui font inévitablement partie des données; (2) nous passerons du temps à interpréter les données recueillies sur la Côte-Nord en milieu marin; (3) nous ferons le lien avec la terre et la géomorphologie côtière.

Déroulement de l'excursion

Nous partirons de Baie-Comeau (Figure 1) pour nous rendre près de Godbout. Nous ferons quelques lignes de sondage sur un secteur où sont localisés des chenaux sous-marins, et reviendrons ensuite à Baie-Comeau.

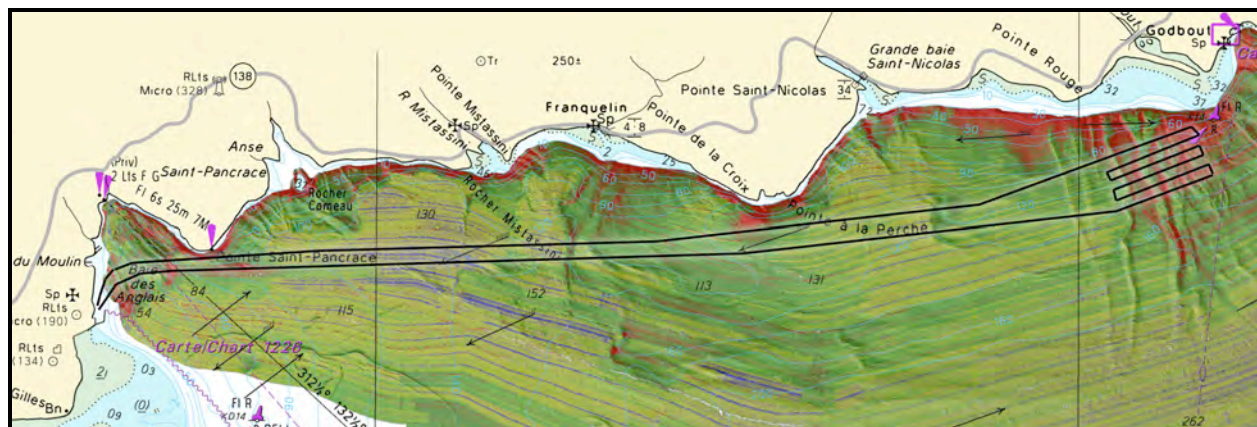


Figure 1. Parcours proposé. Image montrant la rétrodiffusion drapée sur la bathymétrie. Une période de 1-2 heures est prévue au site de sondage (au large de Godbout).

Les sorties en mer sont toujours tributaires des conditions météorologiques. Le commandant est responsable de la sécurité de tous ses passagers, et lui seul décidera si la sortie a lieu. Les mouvements à bord du Creed sont très particuliers et prennent une certaine adaptation. N'hésitez pas à nous faire part de tout malaise ou inconfort, il existe souvent des solutions simples pour passer un temps agréable en mer.

L'horaire de l'excursion doit être respecté afin de permettre aux deux demi-journées de se dérouler correctement. Si des contraintes ou des modifications au temps de transit sont anticipées, le commandant nous avisera d'un retour plus hâtif. Dans la mesure du possible, nous suivons l'horaire décrit au tableau 1.

Tableau 1. Horaire des excursions.

Heure : matin	Heure : après-midi	Détail
0700	1300	Embarquement des participants
0715	1315	Départ et consignes de sécurité
0745	1345	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 1 : les données bathymétriques (timonerie) • Groupe 2 : le profileur de sous-surface (laboratoire) • Groupe 3 : géomorphologie côtière (pont extérieur)
0815	1415	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 3 : les données bathymétriques (timonerie) • Groupe 1 : le profileur de sous-surface (laboratoire) • Groupe 2 : géomorphologie côtière (pont extérieur)
0845	1445	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 2 : les données bathymétriques (timonerie) • Groupe 3 : le profileur de sous-surface (laboratoire) • Groupe 1 : géomorphologie côtière (pont extérieur)
0915	1415	Arrivée sur la zone de sondage – profil de vélocité, acquisition de données sur un petit territoire
1015	1515	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement des données (laboratoire) • Interprétation des données de sous-surface • géomorphologie côtière pendant le transit de retour • Visite du navire et explications sur la navigation
1245	1745	Retour à Baie-Comeau

Sommaire technique

(R. Côté)

Navire de recherche hydrographique :

Les informations dans la prochaine section sont tirées de Bolduc et al (2007) et adaptées pour l'excursion. On peut également se référer à divers rapports de mission (voir les références) pour le détail des autres missions depuis 2005.

Le navire utilisé pour les levés de bathymétrie multifaisceaux de l'estuaire du Saint-Laurent est le NGCC Frederick G. Creed (Figure 2). Le navire est opéré par la Garde Côtière Canadienne. Il s'agit d'un catamaran à faible surface de flottaison (SWATH : Small Waterplane Area Twin Hull) construit en 1988. Il mesure 20,4 m de longueur par 9,75 m de largeur et est opéré par un équipage de 4 personnes (commandant, ingénieur, officier et matelot-cuisinier). Une équipe scientifique de 5 personnes peut également prendre place à bord. Le navire a un laboratoire de traitement des données à l'arrière du pont principal dans lequel sont installées plusieurs stations de travail (Figure 3). Il est équipé d'un échosondeur multifaisceaux EM 1002 (Kongsberg), d'un « moving vessel profiler » BOT MVP 100 pour l'acquisition des profil de vélocité acoustique de la colonne d'eau et d'un échosondeur 320M (3.5 khz, Knudsen). Le navire a un pont arrière assez large pour accueillir d'autres équipements océanographiques, tel que le magnétomètre marin (SeaSpy) utilisé depuis 2005.

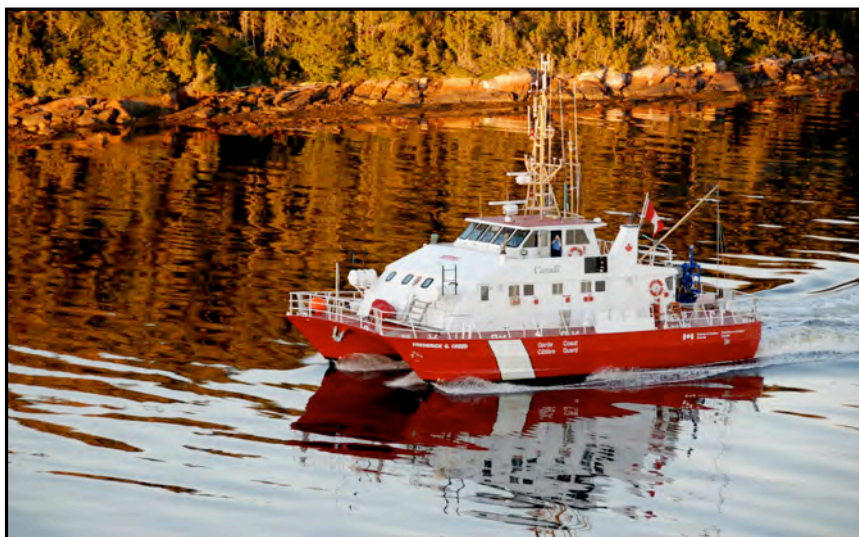


Figure 2. Le navire de recherche hydrographique NGCC Frederick G. Creed.

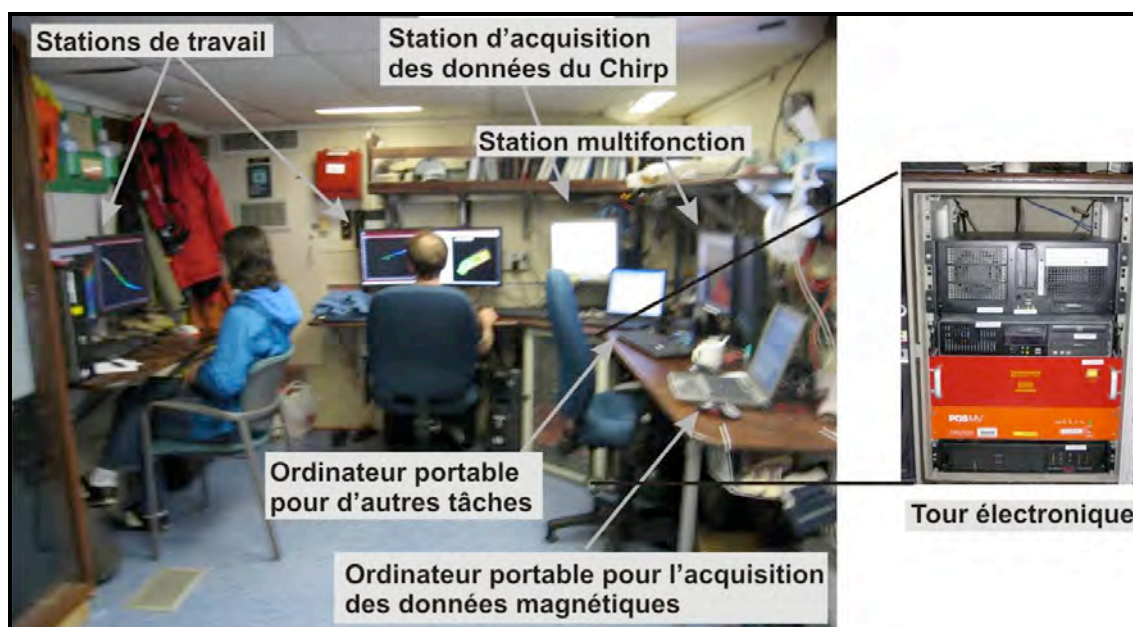


Figure 3. Laboratoire de traitement des données à l'arrière du pont principal.

Système multifaisceaux, EM1002 (SIMRAD)

L'échosondeur multifaisceaux EM 1002 est un échosondeur à haute résolution d'une portée courte à moyenne (5 à 1000 m) ayant 111 faisceaux étroits de 2x2 degrés et une précision qui correspond à la norme IHO S-44 du levé de niveau 1 (Wells et Monahan, 2002) pour les levés hydrographiques. La fréquence d'opération (95 kHz) n'est pas sensible à la pollution ou aux particules en suspension dans la colonne d'eau. Par contre, les faisceaux externes sont très sensibles aux écarts de température dans la colonne d'eau. L'échosondeur EM 1002 offre une performance (combinaison entre la résolution spatiale (XY) et la précision verticale (Z) qui est attrayante pour plusieurs applications. La couverture en éventail (Figure 4) de l'échosondeur multifaisceaux EM 1002 peut couvrir une bande jusqu'à 7.5 fois la distance entre le transducteur et le fond marin, soit un maximum d'environ 1200 m. La fauchée d'acquisition est stabilisée pour tenir compte de l'attitude du navire (roulis, tangage, soulèvement et écart et vitesse angulaire provenant du gyroscope). Trois modes de couverture de sondage sont disponibles, soit équiangulaire, équidistant et une combinaison des deux appelé « in between ». C'est ce dernier mode qui a été utilisé lors des missions dans l'estuaire. Sur le navire, le POS/MV de Applanix est le système de positionnement principal et inclut également une centrale inertielle. Ce système utilise des corrections différentielles du réseau DGPS permanent de la Garde Côtière (Rivière-du-Loup, 300 kHz dans le secteur du levé). Il mesure également les mouvements du navire sur 4 axes (roulis, tangage, course et soulèvement) avec des précisions de 0.02 degré et de quelques centimètres pour le soulèvement. Des marégraphes temporaires peuvent également être installés à divers endroits (Baie-Comeau lors de la mission 2007-874 sur la Côte-Nord). Les données de ces marégraphes sont utilisées pour ramener les profondeurs à une référence verticale commune (zéro des cartes). La précision de cette correction est de l'ordre de 5 à 20cm, selon la distance qui sépare les marégraphes du navire et la complexité de la marée (amplitude, propagation, etc.).



Figure 4. Un navire équipé d'un échosondeur multifaisceaux cartographie le fond marin (image courtoisie de Simrad, dans GOMMI, 2002).

Le positionnement peut également être réalisé par GPS en mode cinématique en utilisant une station de base temporaire. En plus de fournir des précisions horizontales de l'ordre de quelques centimètres, ce système de positionnement offre l'avantage de mesurer les déplacements verticaux du navire (aussi dans l'ordre de quelques cm) et améliore la précision verticale par rapport aux marégraphes conventionnels, surtout pour un navire comme le Frederick G. Creed. Ce type de positionnement n'a pas été utilisé dans le secteur de Baie-Comeau.

Acquisition et traitement des données

L'acquisition des données multifaisceaux à bord du Creed est contrôlée à partir de la passerelle (Figure 5). La communication entre l'hydrographe et le commandant en est ainsi facilitée. Pendant le levé, un poste de travail sur la passerelle est dédié à l'acquisition et un autre au contrôle de qualité. Dans le laboratoire sur le pont principal, il y a une station de travail primaire (« multifonction ») et deux stations de travail secondaires pour le traitement des données, qui sont transférées de la station d'acquisition à la station multifonction via le réseau du navire (Figure 11). Les logiciels utilisés sont Kongsberg « Seafloor Information System SIS » (v. 3.3.1) pour l'Acquisition et CARIS HIPS/SIPS (v. 6.1) pour le traitement.



Figure 5. Configuration des installations sur la passerelle du Creed.

Les étapes suivantes ont été suivies pour le traitement des lignes d'acquisition à bord du navire.

1. Lorsqu'une ligne de sondage est complétée, les fichiers sont copiés de l'ordinateur d'acquisition sur la passerelle vers la station de travail « multifonctions » dans le laboratoire.
2. La ligne est convertie au format CARIS HDCS à l'aide de l'utilitaire de conversion.
3. La ligne est chargée dans CARIS HIPS.
4. Si les données ont été acquises en mode cinématique, il est nécessaire de calculer une 'marée GPS' en utilisant l'utilitaire prévu à cette fin.
5. Les données de navigation sont traitées. Les pics et les erreurs dans les données « vitesse », « distance » et « course » sont enlevés.
6. Les données d'altitude sont traitées. Les pics provenant des données de « soulèvement », « tangage » et « roulis » sont enlevés. C'est à cette étape que la 'marée GPS' est vérifiée, filtrée et lissée (s'il y a lieu).
7. Traitement grossier à l'aide de l'éditeur « swath » pour enlever les artéfacts les plus importants.
8. Chargement de la marée (sauf en mode cinématique).
9. Les données sont fusionnées (calcul et interpolation des positions et des profondeurs, réduction des niveaux d'eau et du coefficient de réfraction, etc.).
10. Création d'une « fieldsheet » et préparation d'une image du relief ombragé des données.
11. Édition de sous-ensemble (« subset editor »). Nettoyage systématique des sondages pour enlever les pics.
12. Édition de la réfraction. Lorsque nécessaire, cet éditeur est utilisé pour enlever les erreurs de réfraction dans les données.
13. À la fin de chaque journée, une carte de travail (fieldsheet de CARIS HIPS/SIPS) est créée pour toutes les données de la journée et une image du relief ombragé est préparée. Une mosaïque des données de balayage latéral (information sur la rétrodiffusion) est également produite. Ceci nous permet de détecter des anomalies dans les données (positionnement, attitude, niveaux d'eau, etc.).

Échosondeur Knudsen 320 M (A. Bolduc)

Le système opère un réseau de transducteurs de 3.5 kHz installé sur le ponton bâbord. Les données sont enregistrées en format KEB (Knudsen Extended Binary) et SEG-Y étendu de Knudsen. Les données sont visualisées à bord à l'aide du logiciel « Knudsen Post Survey ». L'acquisition des données est intégrée à l'unité de positionnement du navire POS-MV afin de les corriger en temps réel. Le rehaussement du signal se fait en temps réel par le logiciel d'acquisition. Il y a un certain nombre d'options, mais, règle générale, l'utilisation du contrôle de gain automatique (AGC) donne les meilleurs résultats. Des compromis entre la qualité du signal et l'importance du bruit de la colonne d'eau doivent être adoptés, puisque le bruit cohérent pourra être enlevé en post-traitement. Les données sont de plutôt bonne qualité lorsque la vitesse d'acquisition est inférieure à 12 nœuds et la tranche d'eau est de plus de 100 m (Figure 6).

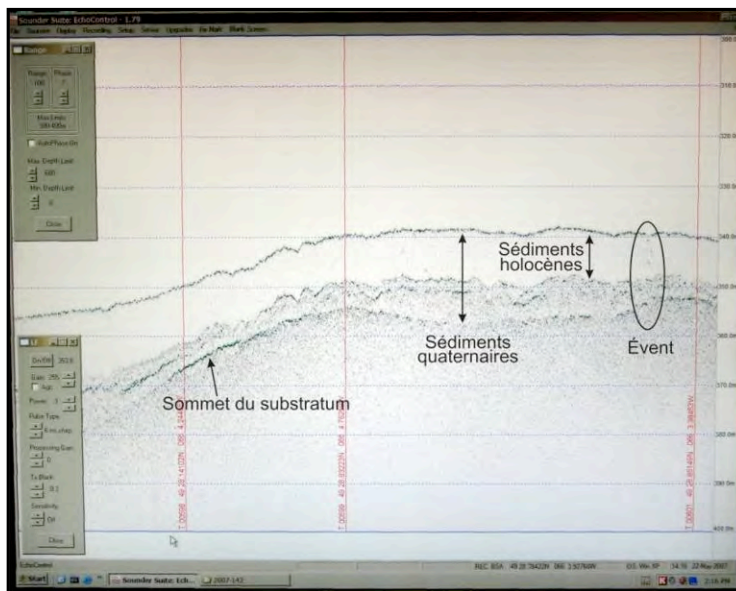


Figure 6. Capture d'écran du profileur de sous-surface. Quelques réflecteurs sont visibles, de même qu'au moins un événement, à la droite de l'écran.

Acquisition des données

L'acquisition des données de l'échosondeur est contrôlée à partir du laboratoire (Figure 3). Le logiciel-serveur est EchoScsiServer et le logiciel d'acquisition est EchoControl, tous deux de Knudsen. Une fois les paramètres choisis, aucune action n'est requise, sauf de s'assurer que le fond marin et la tranche imagée sont toujours visibles à l'écran. Seules les basses fréquences sont utilisées. En général, il faut utiliser la fonction AGC ('automatic gain control'), la puissance à 1 ou 2, et un 'pulse type' de 6 ou 12 ms. La fenêtre d'affichage est de 100 m, et la profondeur maximum de 500 m (tranche d'eau maximum de 400 m + un tranche de sous-surface de 100 m). Dans l'ordre, les actions suivantes sont effectuées

1. Démarrage de l'échosondeur, de l'ordinateur d'acquisition, du logiciel serveur et du logiciel-client.
2. Vérification des paramètres d'acquisition et d'affichage.
3. Définition des paramètres, habituellement, gain automatique, 6 ms, puissance 2, 'range' 100, 'autophase off', profondeur maximale à 500 m
4. Démarrage l'enregistrement
5. Enregistrement périodique de captures d'écran au besoin
6. Fin de l'enregistrement, éteindre le échosondeur.
7. Enregistrement d'une copie de sauvegarde des données de la journée.

Géomorphologie marine

(A. Bolduc)

Des levés bathymétriques multifaisceaux effectués en 2007 montrent que des chenaux sous-marins sont présents perpendiculairement à la côte nord du Saint-Laurent dans le prolongement de rivières plus ou moins importantes. Au pied du talus côtier, les chenaux anastomosés servent de transit sédimentaire et sont associés à des cônes sédimentaires. Les chenaux sont formés par la décharge de cours d'eau en période de crues, au printemps ou lors de précipitations intenses alors qu'ils deviennent des voies de transport sédimentaire efficaces pouvant être réempruntées et sur-créusées périodiquement.

Entre Baie-Comeau et Pointe-des-Monts, certains de ces chenaux sont clairement associés à la dynamique fluviale moderne de la rivière Manicouagan (Figure 7). Ces chenaux à fond plat ont entre 5 et 10 m de profondeur et une largeur variant de 500 m à 1500 m. Ils s'encaissent (jusqu'à 20 m) et deviennent plus étroits (<300 m) dans le talus du delta de Manicouagan.

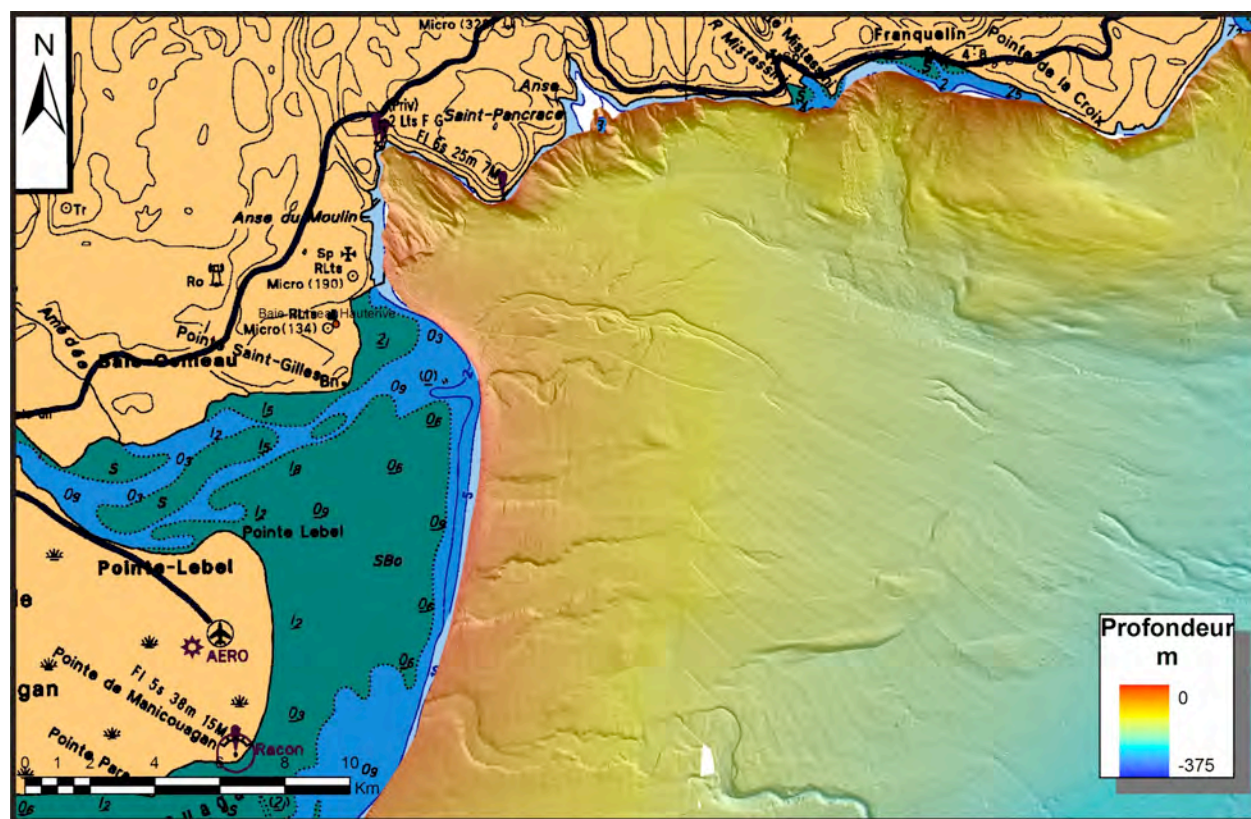


Figure 7. Vue des chenaux à fond plat associés à la décharge de la rivière Manicouagan.

Au pied du talus, des chenaux distributaires en patte d'oiseau complètent la séquence. Les chenaux ont une morphologie nette, mais sont parfois enfouis sous une couche de sédiments qui les masque presque entièrement (Figure 8). Ceci suggère que les chenaux sont actifs de manière intermittente. La décharge actuelle de la rivière Manicouagan est clairement reliée aux deux chenaux les plus au nord. La présence des autres chenaux suggèrent donc que la décharge s'est modifiée avec le temps, probablement dû à la construction du delta de Manicouagan. La décharge actuelle de la rivière Manicouagan est à son extrême nord. Une modification dans les patrons fluviaux résulterait fort probablement en la réutilisation de chenaux sous-marins présentement peu utilisés ou abandonnés.

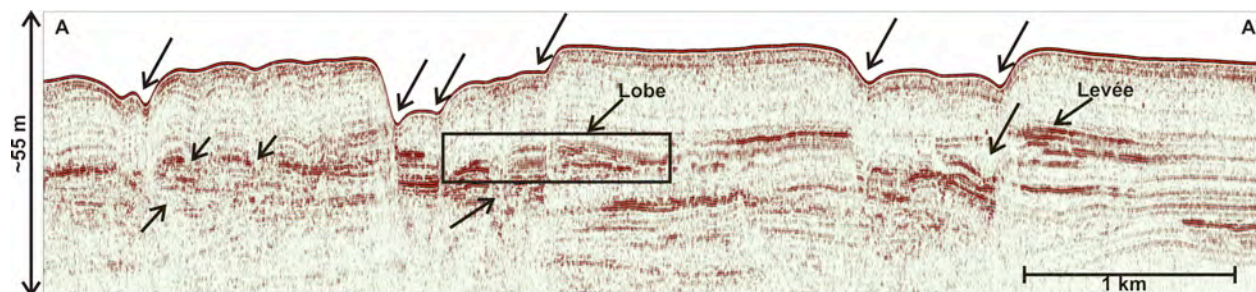


Figure 8. Profil de sismique réflexion sur le delta de Manicouagan. Courtoisie : M.J. Duchesne.

Le long de la côte, à l'est de Baie-Comeau, le talus continental est abrupt et disséqué par de nombreux chenaux à morphologies variées (Figure 8). On trouve principalement des chenaux subparallèles plutôt rectilignes à profil en « V » de même que des chenaux associés à des glissements sous-marins.

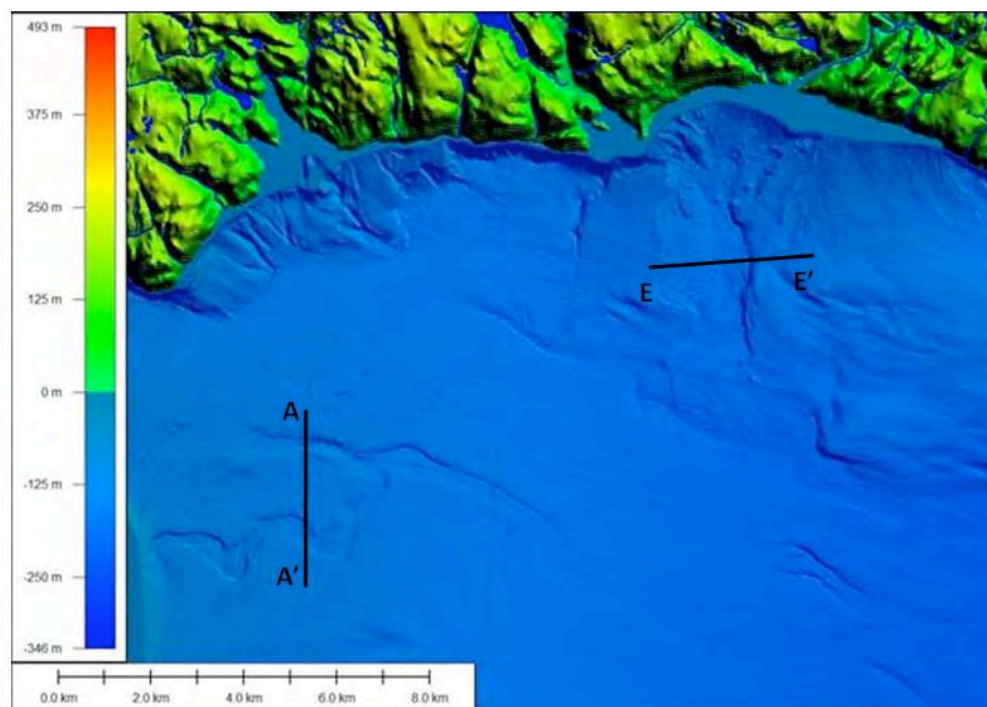


Figure 9. Les chenaux de la côte nord sont soit associés au drainage terrestre ou à des glissements sous-marins de type rétrogressif. La zone sans relief entre la côte et le début du modèle numérique du fond marin est la « frange blanche », c'est-à-dire la zone littorale entre 0 et -30 m pour laquelle il n'y a pas de données bathymétriques.

Les chenaux rectilignes sont relativement étroits (<100m de largeur) et d'une dizaine de mètres de profondeur. Ils sont alignés avec les structures rocheuses et le drainage moderne et constituent le prolongement du ruissellement terrestre. Ils sont utilisés principalement lors de la fonte des neiges au printemps ou lors de fortes précipitations.

Les chenaux associés aux glissements ont servi principalement à évacuer les courants de forte densité associés aux événements ponctuels que sont les glissements. Les glissements ont soit rétrogressé jusqu'à la côte, ou la rétrogression est partiellement compensée par la sédimentation moderne en provenance des rivières se jetant dans l'estuaire. Une fois les chenaux créés, ils peuvent servir d'axe de transit sédimentaire de la côte vers le large. Le profil de sismique réflexion (Figure 10) montre que des glissements se sont produits à plusieurs reprises à cet endroit.

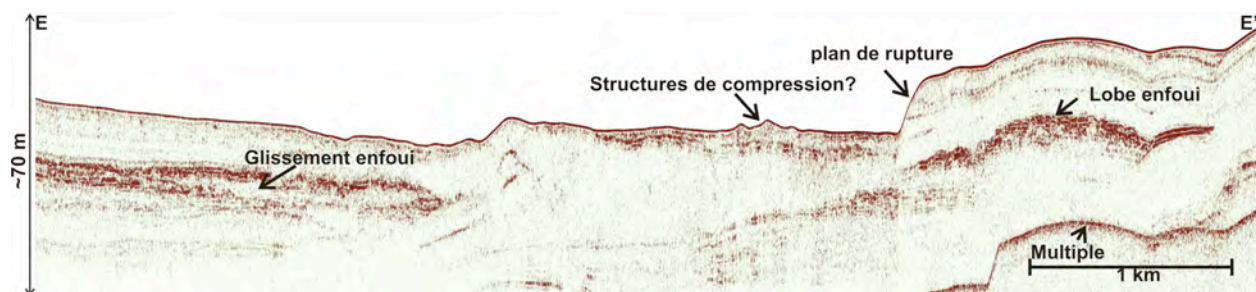


Figure 10. Profil de sismique réflexion montrant la signature géophysique des sédiments associés aux mouvements de masse. Courtoisie : M.J. Duchesne.

Au large de Godbout, sur le site de sondage (Figure 11), les chenaux sont du type « subparallèle et rectiligne ». Certains semblent anciens et sont recouverts de sédiments qui les masquent presque entièrement (Figure 12). Ces chenaux ne sont probablement pas actifs présentement et pourraient avoir été fonctionnels lors de la déglaciation, alimenté par le Petit ruisseau Saint-Nicolas à une époque où le débit de ce cours d'eau était plus élevé et permettait la décharge des eaux de fonte du glacier.

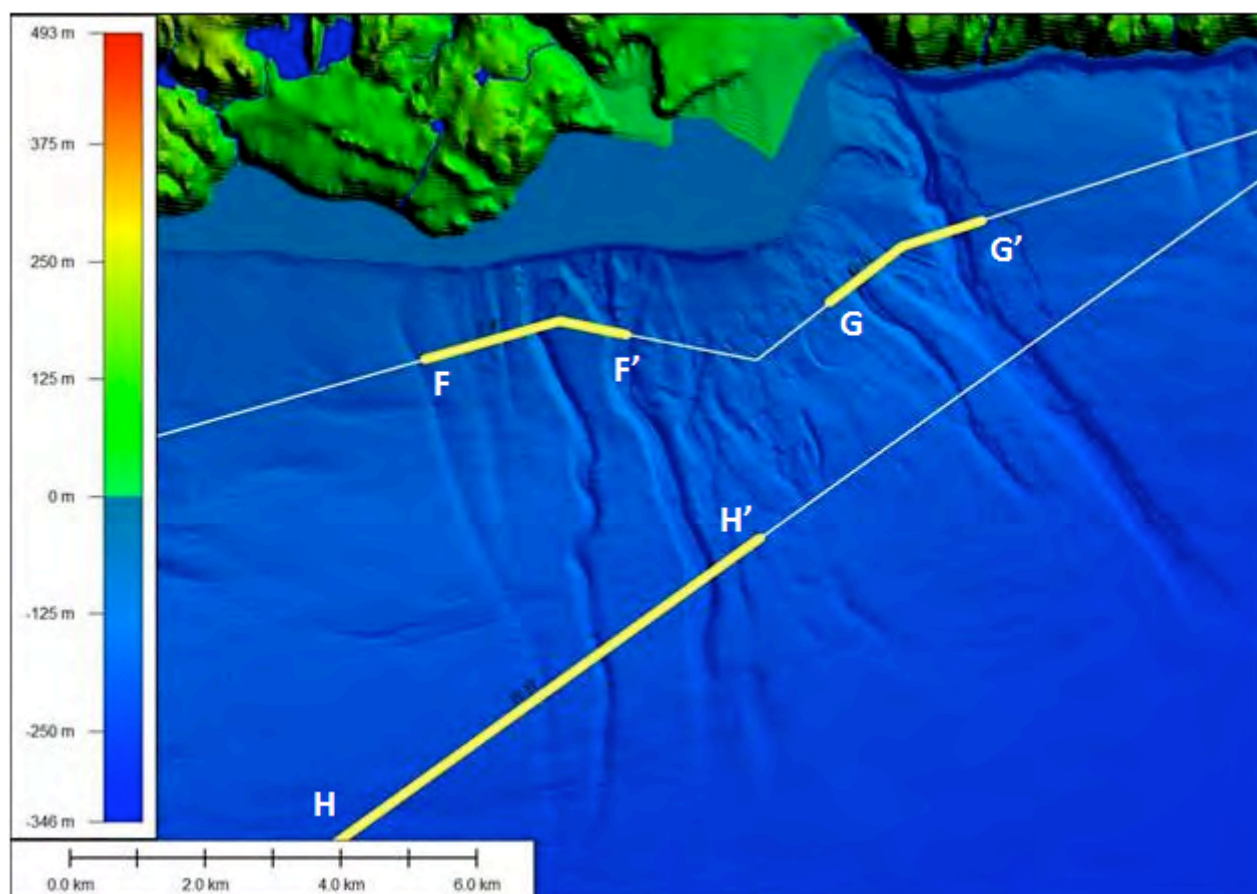


Figure 11. Localisation des lignes de sismique-réflexion dans la zone de sondage, au large de Godbout. La zone sans relief entre la côte et le début du modèle numérique du fond marin est la « frange blanche », c'est-à-dire la zone littorale entre 0 et -30 m pour laquelle il n'y a pas de données bathymétriques multifaisceaux.

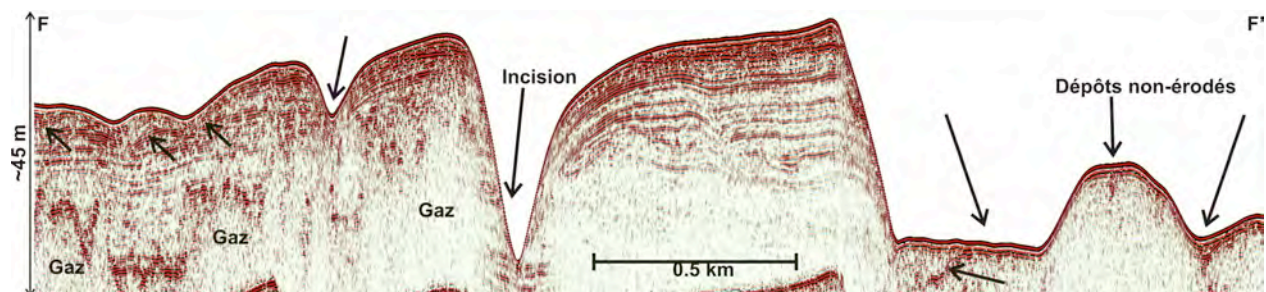


Figure 12. Profil sismique dans la zone de sondage. Noter les morphologies très fraîches et variées ainsi que la présence de chenaux presque entièrement comblés. Courtoisie : M.J. Duchesne.

D'autres chenaux ont une morphologie nettement plus fraîche et sont associés à la dynamique de la rivière Godbout (Figure 13).

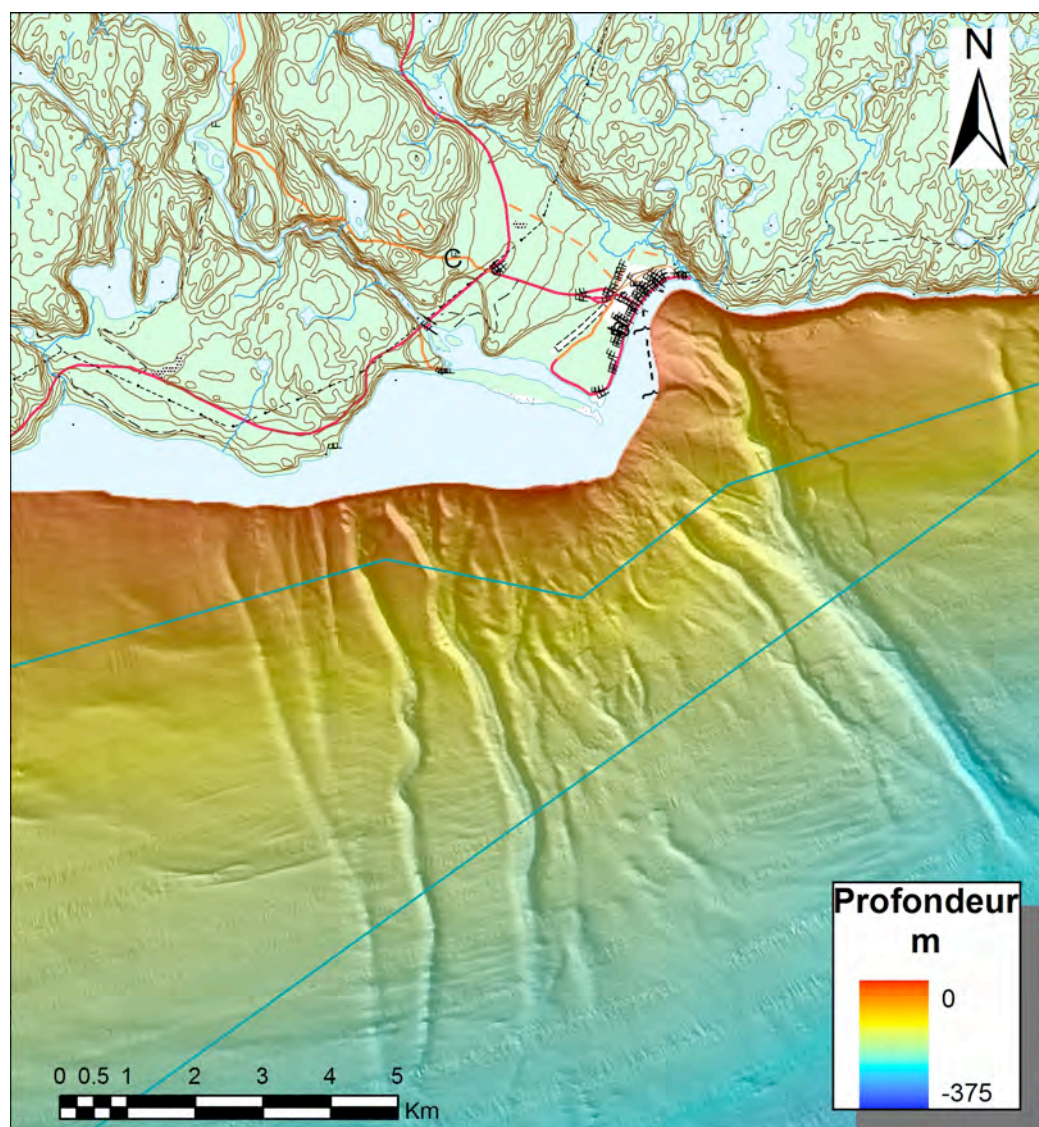


Figure 13. Les éléments de la carte topographique permettent de visualiser les chenaux sous-marins comme le prolongement du drainage terrestre

À une époque où le niveau marin relatif était plus élevé, le delta de Godbout s'est construit jusqu'à une altitude d'environ 75 m. Deux rivières devaient contribuer à la sédimentation, soit la rivière Godbout

et la Petite rivière Godbout (flanc nord-est). Avec le retrait marin, les rivières se sont encaissées et ont redistribué les sédiments vers l'aval, contribuant à l'extension du delta. Deux cicatrices de glissement de terrain est nettement visibles sur chaque rive de la rivière Godbout. Les sédiments qui ont été emportés par ces glissements, sous-marins ou sub-aériens, ont fort probablement transité par l'un ou l'autre des chenaux toujours présents dans le talus côtier pour se déposer dans le chenal laurentien. Des cicatrices arrondies similaires sont visibles dans les données bathymétriques à plusieurs endroits le long de la côte nord, dont à l'embouchure de la Petite rivière Godbout.

Dans tous les cas, les chenaux ont une longueur pouvant aller jusqu'à 8 km et se prolongent jusqu'à la base du talus côtier. Le profil des chenaux dans leur partie aval (Figure 14), quoique moins incisé, est tout de même presque aussi spectaculaire que dans la partie amont.

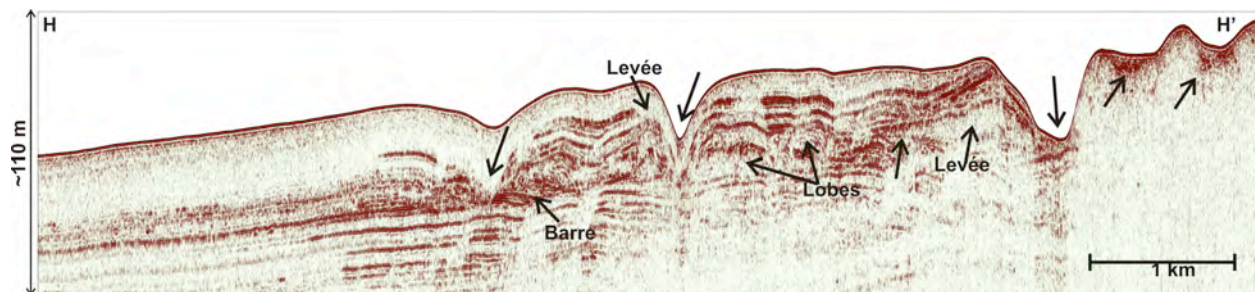


Figure 14. Profil sismique dans la partie aval de la zone de sondage. Noter les lobes de sédimentation enfouies, témoins du dynamisme du système. Noter le changement d'exagération verticale entre la Figure 12 et la Figure 13 qui donne l'illusion que les chenaux sont beaucoup moins profond en aval. En réalité, toute proportion gardée, la partie aval des chenaux est à peine moins profonde que la partie amont. Courtoisie : M.J. Duchesne

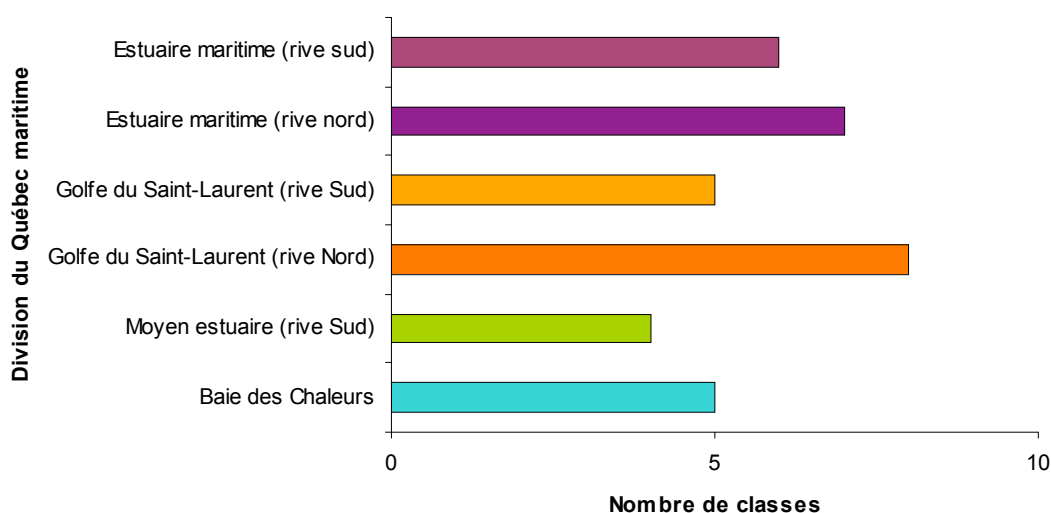
Il sera intéressant de comparer le résultat des sondages que nous effectueront pendant l'excursion à celui de 2007. En effet, après un hiver très neigeux et les pluies abondantes de la saison printanière, on peut penser que certains chenaux auront été surcreusés par une décharge plus importante que la moyenne. De nouveaux chenaux pourraient aussi avoir été creusés. Il s'agit d'une opportunité qui n'est pas souvent disponible et nous souhaitons donc découvrir avec vous le fond marin 2008 de la côte nord.

Géomorphologie côtière

(P. Bernatchez)

Cette section décrit les phénomènes et processus géomorphologiques en milieu terrestre. La diversité des côtes du Québec maritime tient à la fois de son histoire glaciaire et postglaciaire durant laquelle de nombreux types de sédiments ont été mis en place dans la zone côtière actuelle directement par les glaciers, les eaux de fonte glaciaire et dans la Mer de Goldthwait, mais tient aussi de son histoire géologique complexe qui a donné aux côtes une très grande diversité de formations géologiques. La côte nord du Saint-Laurent possède la plus grande diversité de types de côtes (Bernatchez et Quintin, 2005; Figure 15). Dans cette région, l'influence de la dernière glaciation et de la Mer de Goldthwait s'est fait particulièrement sentir par l'accumulation d'importantes épaisseurs de dépôts pouvant atteindre plus de 140 m dans la zone côtière actuelle (Simard, 1972). De plus, les grands bassins hydrographiques de la Côte-Nord ont permis aux rivières, alimentées par les eaux de fonte glaciaire, de transporter une quantité importante de sédiments vers la côte. Lors du relèvement isostatique, ces rivières se sont encaissées dans leur propre sédiment et dans les sédiments glaciaires et marins, et ont à nouveau transporté en partie

ces sédiments vers le milieu côtier. La faible amplitude des variations du niveau marin relatif depuis 8 000 ans a amplement permis aux courants côtiers et aux vagues de remanier et de transporter les sédiments pour former des accumulations littorales ou des falaises (Bernatchez, 2003). La combinaison de ces formes littorales et du tracé rocheux du bouclier donne au littoral nord-côtier une configuration irrégulière et plus sinueuse que celui de la rive sud. Une grande diversité d'environnements côtiers, parfois fortement exposés aux vagues et parfois complètement abrités, forment ainsi une succession de segments côtiers hétérogènes.



Bernatchez et Quintin, 2005

Figure 15. Nombre de classes des grands types de côtes du Québec maritime Figure 15.

Lors de l'excursion entre Baie-Comeau et Godbout, nous côtoierons l'un des rares segments de côte du Québec maritime formé directement par des processus glaciaires tant d'érosion que d'accumulation. Ce type de côte ne compte que pour 2 % des côtes du Québec maritime laurentien. À l'exception de la falaise deltaïque de la rivière Franquelin et de la flèche littorale à l'embouchure de la rivière Godbout, cette région est principalement caractérisée par une côte rocheuse à fjärds qui alterne avec une côte morainique.

Au nombre de 7, les fjärds correspondent à des baies fortement échancrées sculptées par les glaciers et qui ont été ensuite submergées par la mer (Figure 16). Fasseler (1942) avait déjà signalé leur présence. Leur localisation dans cette région est associée à une zone de fractures orientées précisément dans l'axe de l'écoulement glaciaire, soit NO-SE. Les escarpements abrupts qui les délimitent sont marqués par de nombreuses cannelures glaciaires géantes qui font parties des plus belles du Québec maritime (Figures 17 et 18).



Figure 16. Côte à fjärds, secteur du Parc Boréal du Saint-Laurent



Figure 17. Cannelures glaciaires en bordure de la baie des Anglais



Figure 18. Cannelure glaciaire géante en bordure de la baie du Garde-Feu

Les côtes formées de till correspondent généralement à une côte morainique associée au complexe morainique de Baie-Trinité. Ce complexe longe la zone côtière, notamment entre Baie-Comeau et la rivière Manitou (Bernatchez, 2003; Figure 19). Cette moraine a d'abord été cartographiée en milieu terrestre entre Pointe-des-Monts et Baie-Trinité (Dredge, 1983; Dubois, 1979), ensuite à partir de la sismique marine dans la région de Sept-Îles (Syvitski and Praeg, 1989; Syvitsky, 1992; Hein *et al.*, 1993), puis finalement à partir de relevés sur le littoral entre Baie-Comeau et la rivière Manitou (Bernatchez, 2003). À Baie-Comeau, la moraine suit le contour du Piémont laurentidien pour ensuite disparaître dans le lit de l'estuaire de la rivière Manicouagan sous une importante épaisseur de sédiments marins. Dans le secteur de Baie-Comeau-Pointe-des-Monts, la moraine longe la zone côtière actuelle. Dans sa partie inférieure, soit entre 5 m d'altitude et au moins à 10 m sous le niveau actuel de la mer, elle se présente sous la forme d'un bourrelet de blocs complètement délavé de sa matrice par l'action des vagues (Figure 20). Des plages de galets et de blocs très arrondis y sont associées. Dans les secteurs de l'anse à Moreau et du havre Saint-Nicolas et de Mistassini, la moraine prend la forme d'un cordon de blocs frangeant à la limite des basses mers. Dans ces secteurs, la partie interne de la moraine est remblayée par des sédiments sableux intertidaux formant la zone intertidale actuelle alors que, sur son front, la surface du fond marin s'abaisse brusquement. Sur l'estran actuel, on peut observer plusieurs méga-blocs associés à la moraine.

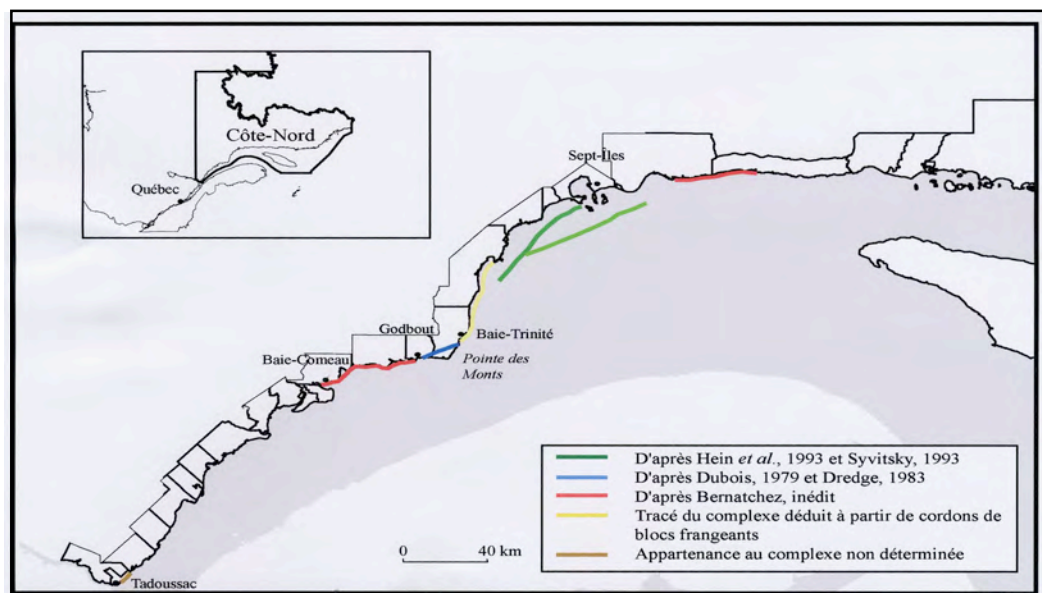


Figure 19. Localisation de la moraine de Baie-Trinité



Figure 20. Moraine de Baie-Trinité délavée par les vagues dans la zone intertidale à l'est de Baie-Comeau.

Lien terre-mer

(A. Bolduc et P. Bernatchez)

Un paysage côtier et marin fortement influencé par l'héritage de la dernière période glaciaire !

La géomorphologie de la zone côtière a été fortement influencée par une pause dans le retrait de l'Inlandsis laurentidien lorsque le front glaciaire a atteint le Piémont laurentidien. C'est lors de cette période que la moraine de Baie-Trinité s'est formée. Malheureusement, faute de matériaux datables, l'âge de sa formation demeure hypothétique. Dans la région de Sept-Îles, la base de la moraine a été observée sous l'eau à une profondeur maximale de 180 m (Syvitski and Praeg, 1989; Syvitsky, 1992; Hein *et al.*, 1993). Le front glaciaire est demeuré actif malgré une stabilité relative du front, voire même des variations mineures du front glaciaire puisque des diamictons grossiers reposent sur des dépôts argileux sur la frange côtière entre Baie-Comeau et Franquelin. Cette période correspond aussi à une phase importante d'érosion. Les fjärds et les cannelures glaciaires se terminent au droit de la moraine. Il est aussi possible d'observer un important réseau de chenaux des eaux de fonte glaciaire (Figure 21). Le fond de ces chenaux rocheux est généralement dépourvu de sédiment en raison du fort régime d'écoulement qui prévalait à l'époque. Des marmites y sont souvent associées et celles-ci peuvent être perchées sur les escarpements à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du fond des chenaux. Comme nous le montrent les levées de bathymétrie multifaisceaux, la plupart de ces chenaux se prolongent sous le niveau de la mer.

La stabilité du front glaciaire et cet important réseau de chenaux de fonte ainsi que les vallées préglaciaires des principales rivières ont constitué les voies préférentielles d'écoulement des eaux fluvioglaciaires et explique en partie l'épaisseur considérable des sédiments proximaux enregistrée par les levées de sismique réflexion. En raison de la configuration de la moraine, il semble que les chenaux ont d'abord été formés sous la glace et ont continué d'opérer à la suite du retrait glaciaire là où l'on observe un peu plus en amont des épandages fluvioglaciaires qui témoignent d'une diminution du régime d'écoulement au fur et à mesure que le glacier reculait.

Actuellement, les chenaux sous-marins peuvent servir de voies d'évacuation des sédiments qui transitent le long des littoraux. Ce transfert vers le large pourrait contribuer au déficit sédimentaire des plages de la Côte-Nord.



Figure 21. Réseau de drainage des eaux de fonte glaciaire lors de la déglaciation de la côte.

Remerciements

Nous souhaitons remercier les officiers et l'équipage du NGCC Frederick G. Creed pour leur accueil chaleureux et leur professionnalisme. La journée du 23 août 2008 est très différente du cadre d'opération habituel du navire, et nous savons que nous avons bousculé quelques habitudes. Nous vous remercions de vous être adaptés à nos besoins et d'avoir participé activement au bon déroulement de l'excursion, que ce soit en répondant aux nombreuses questions des participants, en vous assurant d'une navigation efficace, ou tout simplement en fournissant quelques muffins et du café! Très apprécié.

Cette excursion est rendue possible grâce à la généreuse contribution du Service hydrographique du Canada qui s'est assuré de la présence du navire en temps opportun, et de la Commission géologique du Canada qui a contribué, par son programme « les Géosciences pour la gestion des océans » une journée en mer. Nous tenons également à remercier Mathieu J. Duchesne (CGC-Québec) pour l'interprétation des profils de sismique réflexion et Dave Martin (CGC-Québec) pour le traitement des profils.

Références

Bernatchez, P.

2003 Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives, Thèse de doctorat, Faculté de foresterie et de géomatique, Département de géographie, Université Laval, 459p.

Bernatchez, P.

1997 Géomorphologie et environnements quaternaires du bassin de la rivière aux Anglais, région de Baie-Comeau : étude de la formation de dépôts coquilliers. Mémoire de maîtrise. Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 233 p.

Bernatchez, P. et Quintin, C.

2005 Portrait préliminaire de la diversité des côtes du Québec maritime. Rapport de recherche remis au Centre Boréal du Saint-Laurent,. Université du Québec à Rimouski, 34 p.

Bolduc, A. (éd.)

2007 Cartographie géoscientifique dans l'estuaire du Saint-Laurent : Bilan de l'an I. Commission géologique du Canada, dossier public 5686, 1 CD-ROM.

Bolduc, A.

2008 Expédition 2007-048 du NGCC Matthew : Levé géologique régional, estuaire du Saint-Laurent. 23 octobre au 4 novembre 2007. Commission géologique du Canada, Dossier public 5806, 91 p. 1 CD-ROM

Bolduc, A., Campbell, D.C., Côté, R., Girouard, P., Duchesne, M., and Beaulieu, S.

2006 F.G. CREED EXPEDITION 2005-075: Multibeam and magnetometer survey of the St. Lawrence Estuary west of Rimouski, October 27th to November 28th 2005, GSC Open File Report 5390

Bolduc, A., Côté, R., Furlong, M.

2007 EXPEDITION 2007-874 DU F.G. CREED partie II: Levé de bathymétrie multifaisceaux, de magnétomètre marin et d'échosondeur, détroit d'Honguedo, Québec, du 22 juin au 4 juillet 2007. Commission géologique du Canada. Dossier public 5688.

- Bolduc, A., Hayward, S., Côté, R., Paquet, S., Fortier, J., Deblonde, C., Devillers, R.
 2007 EXPEDITION 2007-874 DU F.G. CREED, PARTIE I: Levé de bathymétrie multifaisceaux, de magnétomètre marin et d'échosondeur de l'estuaire du Saint-Laurent, Baie-Comeau – Pointe-des-Monts et Ile-aux-Coudres – La Malbaie, du 24 mai au 21 juin 2007. Commission géologique du Canada. Dossier public 5687. 35 p. 1 CD-ROM
- Campbell, D.C.
 2007 CCGS Matthew Expedition 2006-054: Regional groundtruth survey of the St. Lawrence Estuary, October 15 - Nov 7, 2006, GSC Open File 5530. 65 p and 2 digital appendices.
- Campbell, D.C., Côté, R., Furlong, M., Fraser, P., Paquet, S., Brisson, D., Normandeau, P-X.
 2007 F.G. CREED EXPEDITION 2006-017: Multibeam, magnetometer and sub-bottom profiler survey of the St. Lawrence Estuary north of Cacouna and Matane, May 6th to June 4th 2006. Geological Survey of Canada Open File Report 5427. 32 p.
- Campbell, D.C., Hayward, S., Côté, R., and Poliquin, L.
 2005 F.G. CREED EXPEDITION 2005-038: Multibeam and magnetometer survey of the St. Lawrence Estuary north of Rimouski- June 5th to 17th 2005, GSC Open File Report 4966.
- Campbell, D.C., Duchesne, M., Poliquin, L., and Côté, R.
 2006 F.G. CREED EXPEDITION 2005-066: Multibeam and magnetometer survey of the St. Lawrence Estuary north of Mont-Joli, Aug 27th to Sept 8th 2005, GSC Open File Report 5078
- CIDCO (Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans).
 2004 Atelier de concertation sur la cartographie des océans, résumé des discussions. Rapport non-publié, 5 p.
- Dredge, L.A.
 1983 Surficial geology of the Sept-Iles area, Quebec North Shore. Memoire 408, Geological Survey of Canada, Ottawa. 40 p.
- Dubois, J. M. M.
 1979 Environnement quaternaire et évolution post-glaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier Canadien : la Moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec. Thèse de doctorat, Département de géographie, Université d'Ottawa. 754 p.
- Duchesne, M.J., Pinet, N., Bolduc, A., Bédard, K. et Lavoie, D.
 2007 Seismic stratigraphy of the lower St. Lawrence River estuary Quaternary deposits and seismic signature of the underlying geological domains. Geological Survey of Canada, Current Research 2007-D2, 14 p.
- Faessler, C.
 1933 Exploration géologique de la Côte-Nord, Betsiamites (Bersimis) à Manicouagan. Rapport annuel 1932, partie D, Service des mines du Québec, p.120-154.
- Faessler, C.
 1934 Exploration géologique sur la Côte-Nord de Manicouagan à Godbout. Rapport annuel 1933, partie D, Service des mines du Québec, p. 171-188.
- Faessler, C.
 1942 La Côte-Nord du Saint-Laurent de Bersimis à Matamec : Naturaliste Canadien, vol. 69, pp. 39-71.

GOMMI

2002 GOMMI: Gulf of Maine Mapping Initiative. Gulf of Maine Council on the Marine Environment. http://sh.nefsc.noaa.gov/gommi/Fact_Sheet_2002.pdf (Dernier accès, 15 avril 2008).

Hayward, S; Deblonde, C; Paquet, S; Côté, R; Campbell, C.

2007 F.G. Creed Expedition 2006-047: multibeam and sub-bottom profiler survey of the St. Lawrence Estuary, Matane-Baie Comeau, 24 August - 03 September, 2006; Geological Survey of Canada Open File Report 5471; 13 pages.

Hein, F.J., Syvitski, J.P.M., Dredge, L.A. et Long, B.F.

1993 Quaternary sedimentation and marine placers along the North Shore, Gulf of St.Lawrence. Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 30, p. 553-574.

Joshenhans, H.W., Sandford, B.V., Sparkes, R., Johnston, B.L., Boyce, A., Nielsen, J., Belliveau, M.,
1989 Baffin 89-008 cruise report, GSC Open File 2115. 68 p.

Pêches et Océans Canada

2002 La Stratégie sur les océans du Canada. Direction générale des océans, 33 p.

Pêches et Océans Canada.

2005 Plan d'action du Canada pour les océans – pour les générations d'aujourd'hui et de demain. Direction des communications, MPO 2005-348, 20 p.

Simard, G.

1972 Levé hydrogéologique : Pointe-Lebel et Pointe-aux-Outardes, Comté de Saguenay. Ministère des Richesses naturelles du Québec, Service de l'hydrogéologie, rapport HGP-6, 27 p.

Syvitski, J.P.M. et Praeg, D.B.

1989 Quaternary sedimentation in the St.Lawrence estuary and adjoining areas, eastern Canada : An overview based on the high resolution seismo-stratigraphy. Géographie physique et Quaternaire, vol. 43, p. 291-310.

Wells, D.E. et Monahan, D.

2002 IHO S44 Standards for Hydrographic Surveys and the Variety of Requirements for Bathymetric Data. (<http://www.hydrographicsociety.org/Articles/journal/2002/104-2.htm>)