



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada



Des événements actifs dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec

A. Bolduc, R. Larocque et M.J. Duchesne

Commission géologique du Canada

Recherches en cours 2008-21

2008

Canada 

Commission géologique du Canada
Recherches en cours 2008-21



**Des événements actifs dans l'estuaire maritime du
Saint-Laurent, Québec**

A. Bolduc, R. Larocque et M.J. Duchesne

2008

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada 2008

ISSN 1701-4387

N° de catalogue M44-2008/21F-PDF

ISBN 978-1-100-90566-2

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (<http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca>)

Pour un téléchargement gratuit de la version numérique de ce document, voir le site GéoPub : http://geopub.nrcan.gc.ca/index_f.php

Sans frais (au Canada et aux É.-U.) : 1-888-252-4301

Notation bibliographique conseillée

Bolduc, A., Larocque, R. et M.J. Duchesne, 2008. Des événements actifs dans l'estuaire du Saint-Laurent, Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2008-21, 12 p.

Lecture critique

P. Hill

Auteurs

A. Bolduc (abolduc@nrcan.gc.ca)

M.J. Duchesne (mduchesn@nrcan.gc.ca)

Commission géologique du Canada

490, rue de la Couronne

Québec (Québec) G1K 9A9

R. Larocque (richard.larocque@dfo-mpo.gc.ca)

Pêches et Océans Canada

Institut Maurice Lamontagne

850, route de la Mer, C.P. 1000

Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

Corrections faites le

**Pour demander la permission de reproduire cette publication, en tout ou en partie, à des fins d'utilisation commerciale, de revente ou de rediffusion, s'adresser à l'agent d'information sur le droit d'auteur, pièce 644B, 615, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E9.
Courriel : Droitd'auteurESS@RNCAN.gc.ca**

Des événements actifs dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec

A. Bolduc, R. Larocque et M.J. Duchesne

Bolduc, A., Larocque, R. et M.J. Duchesne, 2008. Des événements actifs dans l'estuaire du Saint-Laurent, Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2008-21, 12 p.

Résumé : De nombreux événements sont présents sur le fond marin de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Certains de ces événements sont regroupés, soit en amas épars, soit en concentrations linéaires alignées sur des structures du roc sous-jacent. La morphologie des événements laisse croire que certains d'entre eux ont été formés récemment et sont potentiellement actifs. Afin de valider l'hypothèse selon laquelle les événements du Saint-Laurent émettent présentement des gaz, une mission scientifique a été mise sur pied afin d'effectuer de la vidéo sous-marine sur deux cibles préalablement choisies. Les images montrent une abondance d'organismes marins près des événements, y compris des tapis bactériens dont certains présentent des évidences de calcification. En outre, des bulles de gaz ont été filmées, indiquant l'activité actuelle de ces événements.

Abstract: Numerous vents are present on the seafloor of the lower St. Lawrence Estuary. Some are grouped in clusters, while others are aligned along underlying bedrock structures. The morphology of some vents suggests that they formed recently and are potentially active. In order to test the hypothesis that the vents of the St. Lawrence are actively releasing gas, a scientific cruise was organized to video record two targets that were identified as good candidates. The images show the presence of abundant marine organisms near the vents, including bacterial mats, some showing signs of calcification. Gas bubbles were also observed, indicating present-day activity of these vents.

INTRODUCTION

Les nombreuses missions dédiées à l'acquisition des données bathymétriques haute résolution à l'aide d'un échosondeur multifaisceaux dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Campbell et al., 2005; 2006; 2007; Bolduc et al., 2007a, 2007b; Hayward et al., 2007) ont permis d'identifier un nombre impressionnant d'événements (Pinet et al., 2007), soit près de 2000 (Pinet et al., 2008). Lors d'une mission géoscientifique, des levés géophysiques ont été faits au-dessus de quelques-uns de ces événements et, dans deux cas, un panache de gaz a pu être imagé (Campbell, 2007) avec un échosondeur à balayage latéral. Aucune des photographies sous-marines n'a toutefois permis de valider l'hypothèse de l'émission actuelle de gaz ni de relever la présence d'une biologie particulière normalement associée à ces événements gazeux (Judd et Hovland, 2007). Récemment, une occasion d'acquérir des séquences vidéo haute résolution de deux événements s'est présentée, nous permettant d'établir l'absence ou la présence de tapis bactériens ainsi que l'existence d'une émission active de gaz, comme le laisse croire l'imagerie de l'échosondeur à balayage latéral.

CONTEXTE

L'estuaire du Saint-Laurent surmonte trois provinces géologiques (Grenville, Plate-forme du Saint-Laurent et Appalaches, fig. 1), dont une, la Plate-forme du Saint-Laurent, possède un potentiel gazier connu (St-Antoine et Héroux, 1993; Pinet et al., 2008). La subsurface de l'estuaire maritime consiste en une séquence épaisse de sédiments quaternaires dans lesquels nous pouvons reconnaître huit unités sismostratigraphiques, dont cinq sont d'extension régionale (Duchesne et al., 2007). Les profils sismiques à diverses résolutions montrent des cheminées sismiques associées à

des événements dont la base apparaît liée au socle paléozoïque. L'hypothèse est donc que les événements du Saint-Laurent sont formés par l'échappement de gaz thermogénique. Dans certains cas, surtout à l'embouchure des rivières de la côte nord du Saint-Laurent, la présence d'événements dus à l'émission de gaz biogénique n'est pas exclue.

Les événements sont en majorité localisés en aval de Forestville et au-dessus de la Plate-forme du Saint-Laurent (fig. 1; Pinet et al., 2007). Nous les trouvons isolés, en amas épars, ou en concentrations linéaires alignées sur des structures géologiques enfouies. Leur diamètre est variable, soit de plus ou moins 50 m à plus de 700 m lorsque plusieurs événements coalescents forment une structure composite. La profondeur des événements est de quelques mètres à une trentaine de mètres. Ils sont de forme circulaire à ovale et semblent étirés dans l'axe de l'estuaire. Une étude détaillée de leur morphologie et un essai de classification utilisant des méthodes statistiques couplées à une analyse à l'aide de systèmes d'information géographique sont présentement en cours (Fowler et al., 2008). Cette étude devrait permettre de reconnaître l'évolution des événements et ainsi apporter une aide précieuse à l'exploration pour les hydrocarbures en milieu extracôtier.

Lors de missions à bord du Coriolis II (navire de recherche exploité par une société privée) en 2006 (G. St-Onge, rapport non publié de l'Institut des sciences de la mer de Rimouski, 2006) et en 2007 (P. Lajeunesse, rapport non publié de l'Institut des sciences de la mer de Rimouski, 2007), deux carottes sédimentaires avaient été prélevées dans deux événements situés respectivement au large de Betsiamites, en 2006, et au large de Forestville, en 2007. L'échantillonnage de 2006 devait permettre d'établir le rôle des gaz en relation avec les ruptures sous-marines et de déterminer si les événements étaient toujours actifs. L'échantillonnage de 2007 visait directement un événement imagé par bathymétrie haute résolution

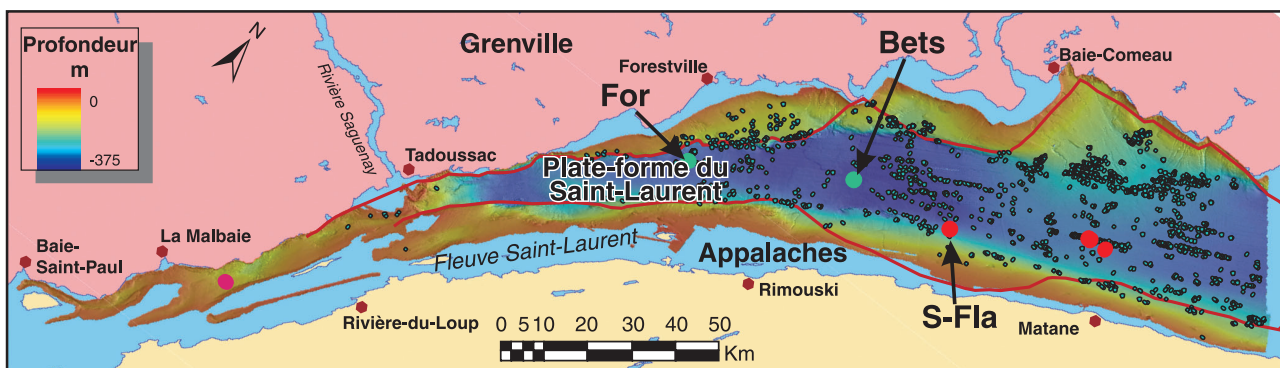


Figure 1. Localisation de la région d'étude. Bets : événement au large de Betsiamites; For : événement au large de Forestville. Tous les petits cercles représentent des événements. À noter une augmentation de leur densité vers l'aval, ainsi que l'absence presque complète d'événements au-dessus des Appalaches. Les points rouges indiquent les événements pour lesquels des photographies sous-marines montrant de nombreux bivalves suggèrent l'émission de gaz naturel, dont S-Fla (Sainte-Flavie), site pour lequel une photographie est montrée à la figure 6. Le point rose près de La Malbaie indique la présence d'un événement au-dessus duquel le navire a identifié un panache similaire à ceux des sites de Betsiamites et de Forestville et enregistré des séquences vidéo comparables. Les traits rouges marquent les limites des provinces géologiques et les secteurs du fleuve Saint-Laurent laissés en bleu pâle indiquent l'absence de données bathymétriques.

auquel est associé un indice de rétrodiffusion élevé et qui présente une signature anormale en subsurface dans les profils de sismique-réflexion. Il montrait également des signes d'activité sur l'imagerie de l'échosondeur à balayage latéral. À l'ouverture des deux carottes, nous avons pu constater la présence de carbonates d'eau froide qui font présentement l'objet d'études spécifiques (D. Lavoie, travaux en cours). Afin de compléter les données, ces deux sites ont été choisis pour effectuer les séquences vidéo.

MÉTHODES

Le système de caméra vidéo utilisé lors de cette mission est normalement utilisé dans le cadre de travaux visant à caractériser l'habitat benthique et démersal (Larocque, 2008). Il s'agit d'une caméra mini-DV haute définition fixée sur un support amovible qui est installée dans un caisson étanche en aluminium pourvu d'un hublot en acrylique. Une lentille de conversion grand-angulaire (0,5 X) est fixée sur la caméra pour obtenir une couverture plus large (57° dans l'eau) tout en limitant au minimum les aberrations chromatiques et sphériques dues au hublot plat (non hémisphérique). La caméra est mise en fonction avant la mise à l'eau et la bande est examinée au retour sur le navire. Aucune commande du caméscope n'est accessible de l'extérieur.

L'éclairage est assuré par deux projecteurs à halogène à basse tension (24V) de 150W (6000lm, 3600°K) chacun comportant des réflecteurs larges et des hublots hémisphériques adaptés pour l'imagerie vidéo. Chaque projecteur est alimenté par un bloc d'accumulateurs au plomb-acide à régulation par soupape (VRLA) de 15 A•h/24 V permettant une autonomie minimale de 70 min avant de devoir être rechargés. Les accumulateurs sont installés dans des caissons étanches munis d'un circuit qui met les projecteurs en marche au contact de l'eau.

Le système est installé sur un traîneau benthique (fig. 2) en acier d'une longueur de 3 m et d'un poids d'environ 300 kg. Sa forme est adaptée du design d'un appareil utilisé par la National Oceanic and Atmospheric Administration (2008) pour l'étude des ressources benthiques. Utilisé depuis 2001, le traîneau est une plateforme pouvant transporter différents instruments et dont la stabilité et la robustesse ont été éprouvées sur différents substrats allant du fond de vase meuble au fond de galets avec les occasionnels rochers. La vitesse de remorquage souhaitée est de 1,2 nœud, ce qui permet, pour un enregistrement de 20 min, de parcourir environ 740 m. Une attention particulière a également été portée à la distance de remorquage entre le navire et la caméra (environ 425 m, fig. 3), compte tenu de la profondeur d'eau (environ 360 m à Betsiamites) et de la longueur du câble de remorquage (550 m). L'erreur de positionnement longitudinal et latéral est estimée à moins de 10 m.

Un appareil photo fonctionnant sur intervallo-mètre peut également être installé dans un autre caisson étanche à l'avant du traîneau et être fonctionnel en même temps

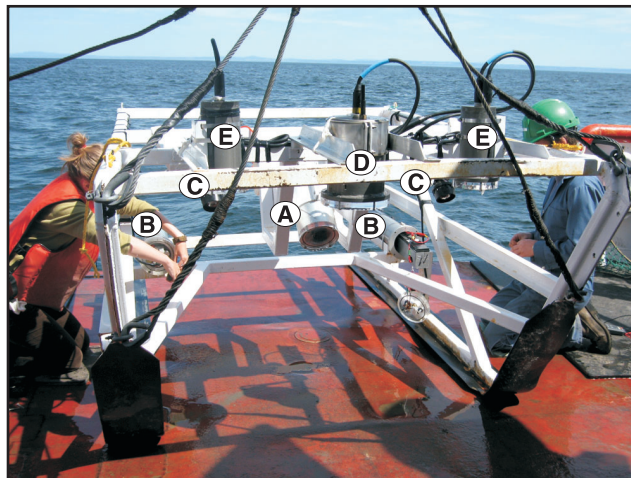


Figure 2. Le traîneau et ses différentes composantes. A : caisson contenant le caméscope ; B : caissons contenant les blocs d'accumulateurs, à noter le bloc en partie sorti du caisson de droite ; C : éclairage pour le caméscope ; D : caisson pour l'appareil photo ; E : caissons contenant les flashes pour l'appareil photo.

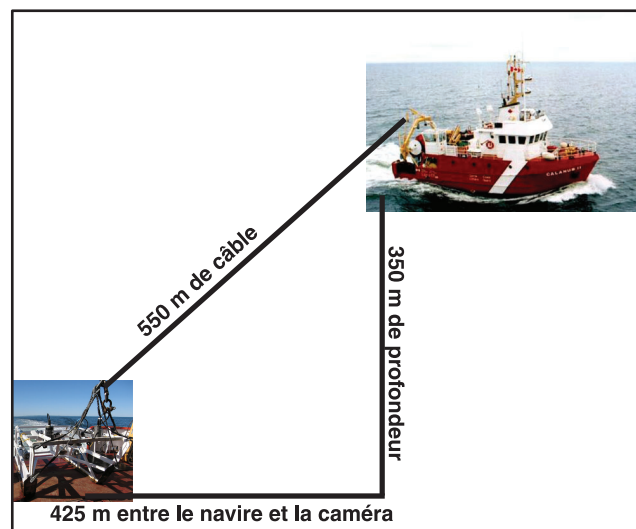


Figure 3. Remorquage du traîneau derrière le navire. Compte tenu de la distance (425 m) et de la vitesse de traction (1,2 nœud), la caméra passe au-dessus du même point que le navire environ 11 min plus tard et il est donc possible d'établir la position du traîneau sur le fond marin.

que l'enregistrement vidéo. Pendant la présente mission, l'appareil photo a été installé lors de la dernière séquence vidéo, mais n'a pas fonctionné correctement. Les conditions météo ont ensuite dicté la fin du programme. Les photos montrées dans le présent article sont donc des images saisies à partir des séquences vidéo en mouvement.

RÉSULTATS

Site de Betsiamites

La caméra a été déployée sur ce site à environ 350 m à l'ouest du centre de l'événement et devait être récupérée 350 m en aval de ce centre. Toutefois, la force du courant et la marée montante ont forcé un retour hâtif de l'équipement. L'orientation des traits de séquence vidéo a été modifiée pour tenir compte du courant et de la marée, et le déploiement de l'appareil s'est ensuite fait au sud-ouest de l'événement pour une récupération au nord-est.

Dès l'exécution du premier trait complet de séquence vidéo, un phénomène particulier a été constaté. L'échosondeur du navire, qui permet d'obtenir la profondeur du fond marin, révélait une anomalie importante dans la colonne d'eau près de l'événement (fig. 4). La localisation exacte de l'anomalie n'a pas été relevée, mais l'hypothèse avancée quant à l'origine de cette anomalie tenait à une perturbation de la colonne d'eau due à la présence de bulles de gaz provenant du fond marin. En effet, les bulles de gaz s'échappant d'un événement modifient localement les propriétés élastiques de la colonne d'eau, générant un contraste d'impédance acoustique qui a été détecté par l'échosondeur. Cette observation a permis de confirmer l'existence d'une émission active de gaz par l'événement de Betsiamites. L'échosondeur à faisceau unique utilisé sur le navire a permis d'observer un panache de gaz lors de plusieurs passages dans le secteur, suggérant une activité à la grandeur de la zone de l'événement.

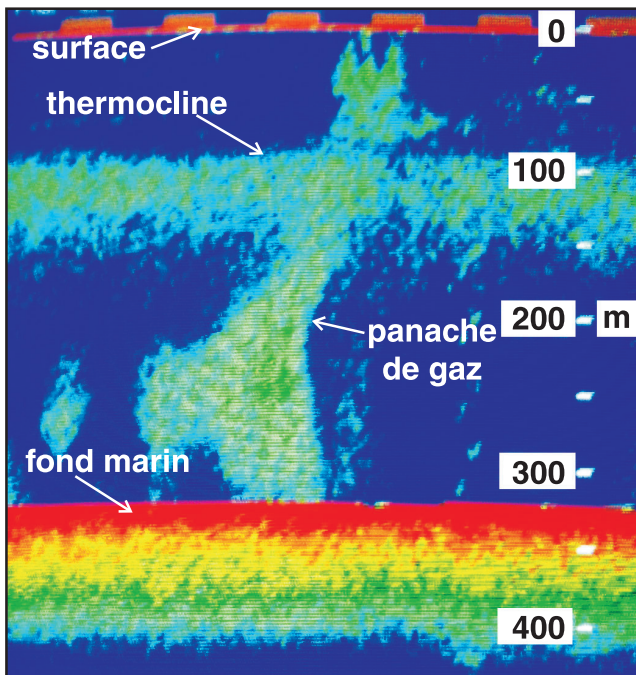


Figure 4. Imagerie hydroacoustique montrant le panache de bulles de gaz associé à l'événement de Forestville. La fréquence de l'échosondeur était de 120 khz. Les diverses couleurs rendent compte de l'intensité des contrastes d'impédance acoustique.

Les cinq traits de séquence vidéo effectués à 50 m d'intervalle (fig. 5a) montrent un fond marin très homogène, typique du chenal Laurentien. Il s'agit de vase brunâtre en surface et grise lorsque fraîchement expulsée de terriers. Le fond présente rarement des marques de courant, mais est parsemé de terriers plus ou moins gros d'organismes fouisseurs. La macrofaune benthique visible est principalement composée d'ophiures, d'anémones et de plumes de mer. Nous pouvons observer à l'occasion des crevettes, des crabes des neiges et quelques poissons démersaux. Puis, à l'approche de l'événement, nous commençons à voir une concentration de coquillages blancs de type bivalve. La présence de ces coquilles a été notée à de nombreuses stations photographiques de la mission géoscientifique de 2006 (Campbell, 2006, fig. 6), lesquelles étaient toujours associées à des événements préalablement identifiés. Finalement, des tapis bactériens bleutés apparaissent (fig. 7), couvrant le fond marin de façon discontinue, et sont souvent partiellement indurés. Bien qu'aucun échantillonnage de ces tapis n'ait encore été fait, des analyses isotopiques sur des croûtes et ciments carbonatés et sur des coquilles provenant de l'événement indiquent un fractionnement du ^{13}C incompatible avec une origine abiotique (D. Lavoie, travaux en cours). À l'occasion, nous voyons clairement des bulles de gaz (fig. 8) s'échapper du fond et remonter dans la colonne d'eau.

Site de Forestville

Suite à l'expérience sur le site de Betsiamites, le site de Forestville a été quadrillé afin de repérer la zone principale d'activité sur l'imagerie hydroacoustique. Des traits orientés sud-ouest-nord-est ont ensuite été réalisés, à environ 50 m les uns des autres. Un trait central a ensuite été ajouté afin de recouper la partie profonde de l'événement. Le panache de gaz émis par l'événement de Forestville est spectaculaire et peut être tracé sur une zone plus ou moins circulaire d'une centaine de mètres de diamètre, qui n'est cependant pas centrée sur l'événement, mais à une cinquantaine de mètres en amont (fig. 5b). Une structure circulaire moins profonde semble être présente à cet endroit. L'émission de gaz ne semble donc pas provenir du fond de l'événement, mais plutôt de sa périphérie. Là où il est le plus intense, le panache atteint la surface de l'eau, alors que vers son pourtour, le gaz semble se diffuser dans la couche intermédiaire froide (thermocline; fig. 4).

Les séquences vidéo sont très similaires à celles filmées au site de Betsiamites. Le fond marin brunâtre plutôt homogène est parsemé d'ophiures, de plumes de mer et d'anémones. Nous notons une plus grande abondance de poissons, dont le turbot. À l'approche de l'événement, ou plutôt de la zone d'émission de gaz, des bivalves apparaissent. Puis, des tapis bactériens discontinus et partiellement indurés couvrent le fond (fig. 7b). La zone occupée par les tapis semble plus importante qu'au site de Betsiamites.

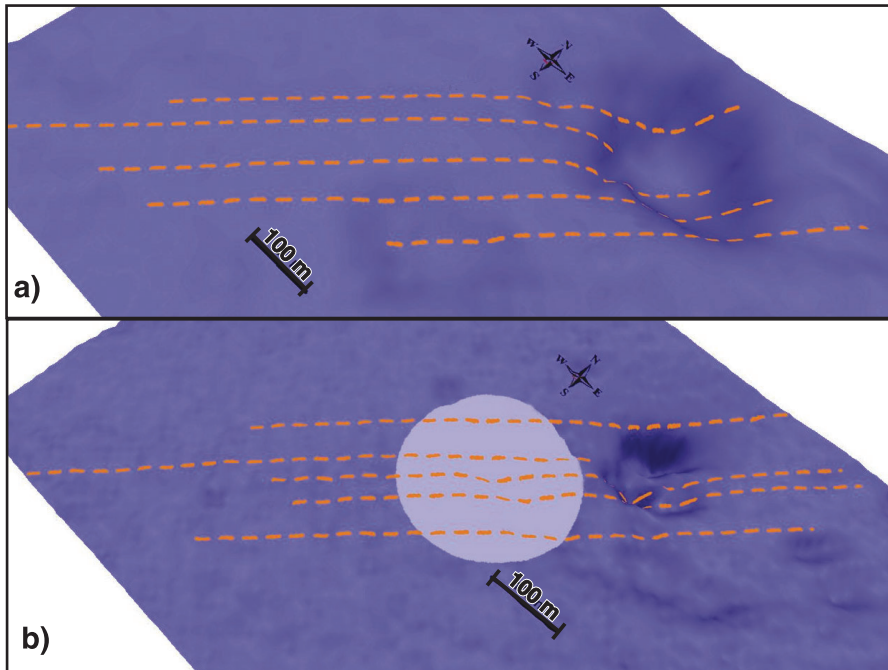


Figure 5. Localisation des traits de séquence vidéo. **a)** Betsiamites **b)** Forestville. La position a été corrigée pour tenir compte de la distance entre le navire et le traîneau. La région en bleu pâle correspond à la zone identifiée par hydroacoustique comme un site d'échappement de gaz. Les vues 3D ont été produites à l'aide du logiciel Global Mapper®. Les données sont estompées selon le pourcentage de pente et l'exagération verticale est de 10. Les tiretés représentent les traits de séquence vidéo.

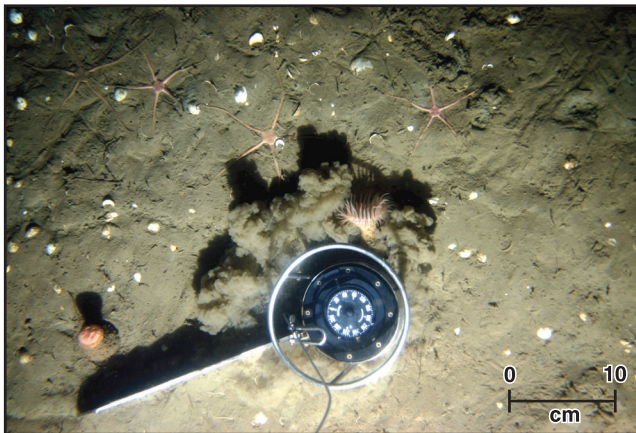


Figure 6. Photographie du fond marin prise au large de Sainte-Flavie (Campbell, 2006). En plus des bivalves et des ophiures, nous voyons une anémone ouverte sous la boussole et une autre fermée à gauche de la boussole.

Lors des plongées sur l'événement de Forestville, la prise de son a été amplifiée sur le caméscope. À l'écoute de la bande-son, le bruit produit par les patins du traîneau sur le fond permet ainsi d'obtenir des indications sur la dureté du substrat. Lorsque le traîneau est tracté dans la boue, le son est atténué, mais sur les tapis partiellement indurés, les patins glissent moins bien et nous entendons distinctement un bruit de raclement.

NOTES SUR LA BIOLOGIE

Une analyse préliminaire des bandes vidéo provenant des deux sites démontre que les sédiments sont du même type et, qu'en général, les espèces vivantes rencontrées sont les mêmes. Les ophiures et les anémones sont omniprésentes sur le fond de vase et des terriers sont fréquemment observés. Par contre, au site de Betsiamites, des animaux ressemblant à des vers tubulaires et des étoiles de mer (possiblement du genre *Ctenodiscus*) ont été vus, alors qu'ils sont absents à l'autre site. De petits crabes des neiges (femelles ou juvéniles) ont été aperçus aux deux sites. Des poissons démersaux ont été observés aux deux sites. L'espèce dominante aux deux sites est la lycode de Vahl (*Lycodes vahlii*). Quelques espèces de poissons plats dont des flétans du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) ont aussi été observées. Les autres espèces identifiables sont le grenadier du Grand Banc (Forestville seulement), des molasses (*Melanostigma atlanticum*) et le sébaste (*Sebastes* sp.).

Il est remarquable de constater qu'aux endroits où les tapis bactériens sont fréquents, les seuls invertébrés visibles sont des bivalves blancs. Les ophiures, anémones et plumes de mer sont absentes, mais elles réapparaissent et leur densité augmente graduellement en s'éloignant de ces zones. Sur une zone de plaques particulièrement dense au site de Forestville, des arthropodes ressemblant à des pycnogonides de grande taille ont été observés. Ceux-ci n'ont pas été vus ailleurs aux deux sites.

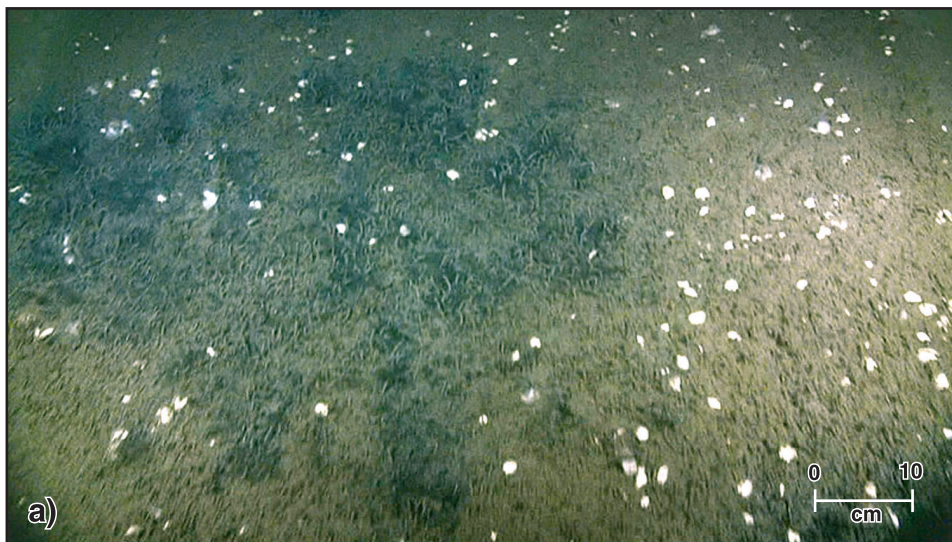


Figure 7. Tapis bactérien partiellement induré : **a)** près de l'événement de Betsiamites et **b)** près de l'événement de Forestville.

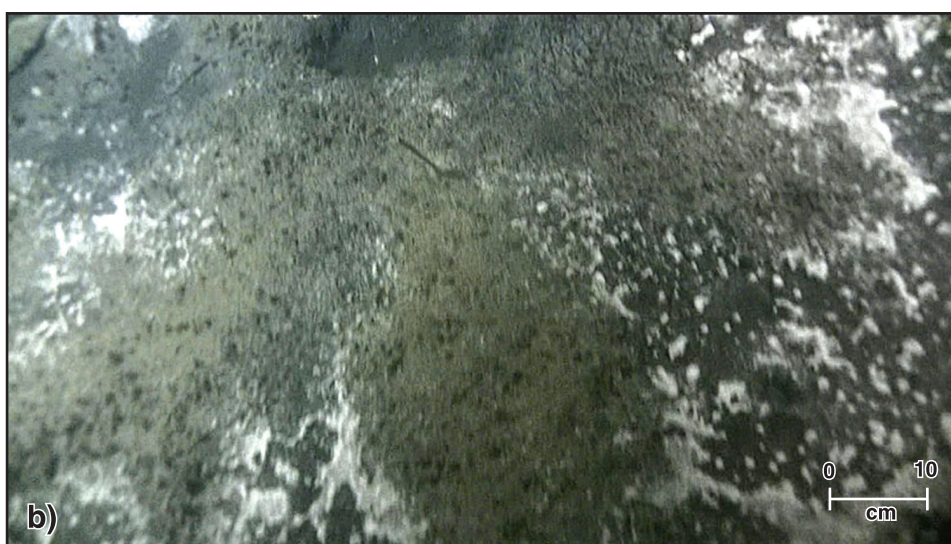
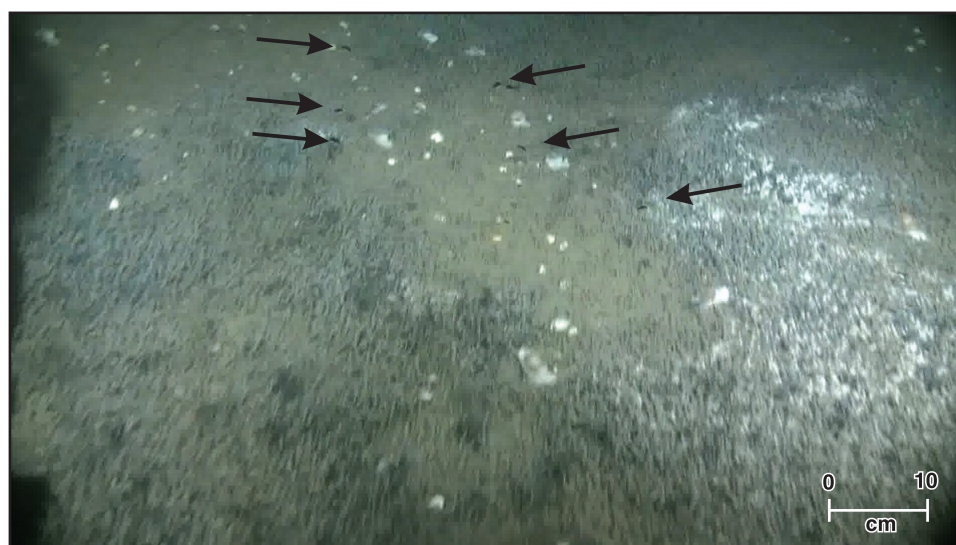


Figure 8. Bulles de gaz s'échappant de l'événement de Betsiamites. Les flèches pointent vers les bulles les plus grosses.



CONCLUSION

Nous disposons de nombreuses données sur la géologie de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. La présence d'événements avait été reconnue dans des profils sismiques haute résolution et très haute résolution. Leur caractère sismique permettait de croire que les fluides responsables de leur formation étaient des gaz thermogéniques. La couverture bathymétrique multifaisceaux a ensuite permis de prendre conscience de l'abondance des événements, de leur diversité, mais également de particularités comme leur alignement presque systématique au-dessus de structures rocheuses. Par inférence, nous en venons donc à conclure que ces alignements d'événements résultaient de l'échappement de gaz thermogénique par des couches de roches réservoirs dont la roche couverture a été érodée, au sein de plis de grande longueur d'onde de la Plate-forme du Saint-Laurent. La forte rétrodiffusion observée sur certains événements suggérait aussi la présence d'induration carbonatée nécessitant la présence d'organismes méthanogènes. L'imagerie par échosondeur à balayage latéral a démontré l'activité actuelle de certains de ces événements.

Afin de détecter la présence d'organismes méthanogènes, des échantillonnages à la benne et par carottier à gravité ont été tentés, mais sans succès. Deux carottiers à piston ont permis de récolter des croûtes carbonatées dans deux événements distincts, mais les analyses n'étant pas complétées, il n'était pas possible de statuer sur la présence actuelle de ces organismes. Les photographies sous-marines, a posteriori, montraient effectivement des particularités associées aux événements, mais sans qu'il soit possible de faire un lien direct entre la présence d'organismes méthanogènes et les événements en l'absence d'autres images.

Les séquences vidéo du fond marin sont les premières à démontrer sans équivoque l'existence d'une activité biologique méthanogène associée aux événements ainsi que l'activité du système pétrolier dans l'estuaire du Saint-Laurent. Non seulement nous avons pu filmer des bulles de gaz s'échappant du fond marin au travers de tapis bactériens (fig. 8), mais nous avons également pu documenter la présence d'organismes benthiques (bivalves) rarement présents aux profondeurs filmées, ainsi que l'absence des espèces communes dans les alentours immédiats des zones d'échappement de gaz. Nos observations sont préliminaires, mais elles démontrent que les événements de l'estuaire maritime du Saint-Laurent constituent un environnement géologique particulier qui joue un rôle, tantôt de support, tantôt d'inhibition, pour une biologie spécifique.

Les bandes vidéo montrent également sans équivoque que les tapis bactériens et les zones d'échappement de gaz sont localisés en périphérie des événements. Nous devons tester l'hypothèse que les cratères des événements sont la finalité de l'expulsion de gaz après calcification et colmatage des pores qui ont permis l'échappement de gaz. Une fois les

interstices colmatés, le gaz doit se frayer un nouveau chemin vers la surface. C'est en périphérie du cratère, au travers des sédiments poreux et perméables, que ce chemin se fraye.

La présence d'hydrocarbures, soupçonnée depuis longtemps dans les séquences rocheuses de l'estuaire du Saint-Laurent grâce à de nombreux indices connexes, est maintenant démontrée. Les travaux subséquents devront nécessairement s'attaquer à l'identification des bactéries méthanogènes, à l'échantillonnage du gaz qui s'échappe du système et à la modélisation du système dans lequel ces hydrocarbures sont générés et piégés.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Sylvain Bourgeois, commandant du Calanus II, et son équipage pour leur excellente collaboration durant ces deux jours de travail. Isabelle Boily (stagiaire à l'Université du Québec à Rimouski) a fourni une aide technique appréciée à bord du navire et Marilyn Thorne a accepté d'effectuer un visionnement critique des bandes vidéo récoltées. Cette activité fait partie d'un projet de cartographie des habitats dans l'estuaire du Saint-Laurent financé par le programme SARCEP sur les espèces en péril de Pêches et Océans Canada (R. Larocque) et du projet « Cartographie géoscientifique de l'estuaire du Saint-Laurent » dont le financement provient du programme « Les géosciences à l'appui de la gestion des océans » et du Plan d'action du Canada pour les océans (A. Bolduc). Nous remercions également Phil Hill qui a fait la lecture du manuscrit et dont les commentaires constructifs ont grandement amélioré le document.

RÉFÉRENCES

- Bolduc, A., Campbell, D.C., Côté, R., Girouard, P., Duchesne, M. et Beaulieu, S., 2007a. F.G. CREED EXPEDITION 2005-075 : Multibeam and magnetometer survey of the St. Lawrence Estuary west of Rimouski, October 27th to November 28th 2005; Geological Survey of Canada, Open File 5390, 28 p.
- Bolduc, A., Hayward, S., Côté, R., Paquet, S., Fortier, J., Deblonde, C. et Devillers, R., 2007b. 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; Geological Survey of Canada, Open File 5530, 65 p.

- Campbell, D.C., Côté, R., Furlong, M., Fraser, P., Paquet, S., Brisson, D. et 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 5427, 32 p.
- Campbell, D.C., Duchesne, M., Poliquin, L. et 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; Geological Survey of Canada, Open File 5078, 23 p.
- Campbell, D.C., Hayward, S., Côté, R. et 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; Geological Survey of Canada, Open File 4966, 22 p.
- Duchesne, M. J., Pinet, N., Bolduc, A., Bédard, K. et Lavoie, D., 2007. Seismic stratigraphy of the lower St. Lawrence River estuary (Quebec) Quaternary deposits and seismic signature of the underlying geological domains; Geological Survey of Canada, Current Research 2007-D2, 14 p.
- Fowler, J., Devillers, R., Simms, A. et Bolduc, A., 2008. Identification and characterization of seabed pockmarks in the St. Lawrence Estuary; Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada-Society of Economic Geologists-Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Abstracts, v. 33, p. 57.
- Hayward, S., Deblonde, C., Côté, R., Paquet, S. et Campbell, C., 2007. F.G. Creed Expedition 2006-759 : 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 5471, 13 p.
- Judd, A. et Hovland, M., 2007. Seabed Fluid Flow, the impact on geology, biology and the marine environment; Cambridge University Press, Cambridge, 475 p.
- Larocque, R., 2008. Expérimentation et innovation, Biologie expérimentale; Ministère des Pêches et des Océans du Canada, région du Québec, <http://www.qc.dfo-mpo.gc.ca/iml/fr/experimentation/exp_innov/bio/camera/defi.htm> [Consulté le 19 juin 2008].
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. Video Camera Sled and ROV; National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Alaska Fisheries Science Center, <<http://www.afsc.noaa.gov/kodiak/shellfish/submersibles/sled.htm>> [Consulté le 2 juillet 2008].
- Pinet, N., Duchesne, M., Lavoie, D., Bolduc, A. et Long, B., 2007. Surface and subsurface signatures of gas seepage in the St. Lawrence Estuary (Canada): Significance to hydrocarbon exploration; Marine and Petroleum Geology, v. 25, no. 3, p. 271–288.
- Pinet, N., Duchesne, M.J., Bolduc, A., Lavoie, D. et Campbell, D.C., 2008. Geological setting and characteristics of 1927 pockmarks in the St. Lawrence Estuary (eastern Canada). Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada-Society of Economic Geologists-Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Abstracts, v. 33, p. 136.
- St-Antoine, P. et Héroux, Y., 1993. Genèse du gaz naturel de la région de Trois-Rivières, basses terres du Saint-Laurent, et de Saint-Flavien, Appalaches, Québec, Canada; Journal canadien des sciences de la Terre, vol. 30, p. 1881–1885.

Projet X44-OM7700 de la Commission géologique du Canada