

LA RÉALISATION DU PROJET SAGUENAY POST-DÉLUGE : UN PROJET UNIQUE AVEC DES GENS EXCEPTIONNELS

Jacques Locat¹, Hélène Tremblay¹, Rosa Galvez-Cloutier¹, Gaston Desrosiers², Jean-Pierre Gagné², Yves Gratton³, Philip Hill⁴, Jean-Marie Konrad¹, Serge Leroueil¹, Bernard Long³, Claude Hillaire-Marcel⁵, Alfonso Mucci⁶, Émilien Pelletier², Peter Simpkin⁷, Anne de Vernal⁵

¹Université Laval, ²Institut des Sciences de la mer de Rimouski, ³Institut national de la recherche scientifique, eau, Terre et environnement, ⁴Commission géologique du Canada, région du Pacifique, ⁵Université du Québec à Montréal, ⁶Université Mc Gill, ⁷Simpkin Inc

RÉSUMÉ

Le projet Saguenay post-déluge a été réalisé entre au cours des années 1997 à 2003. Il a rassemblé plusieurs chercheurs qui ont évalué la performance de la couche de 1996 comme barrière à la migration des contaminants et aussi développé des outils d'évaluation et de monitoring. Après les cinq années de recherche, nous pouvons conclure que cette couche est efficace et qu'elle devrait résister à la plupart des phénomènes naturels, sauf à un séisme majeur, mais là encore les perturbations seraient limitées. Ce travail a nécessité la participation de plusieurs organismes universitaires et gouvernementaux et sa réalisation aura permis la formation ou la participation de plus de 42 étudiants gradués dont 17 au doctorat. L'ensemble des travaux qui ont été réalisés sont le fruit non seulement des résultats provenant directement du projet mais aussi des connaissances antérieures qui ont permis de réduire énormément les coûts du projet dont le coût total est estimé à 1.3 millions de dollars. Les retombées indirectes de ces travaux sont la mise au point d'une base de données scientifique, mais surtout une connaissance accrue des processus actifs et la reconnaissance mondiale de ce magnifique laboratoire naturel.

ABSTRACT

The Saguenay post-flood project has been achieved during the period from 1997 to 2003. It has assembled many researchers who had to evaluate the performance of the 1996 flood layer to act as a barrier to the movement of the underlying contaminants and to develop various tools aimed at evaluating or monitoring the performance of this catastrophic barrier. After five years of research, we can conclude that this layer is efficient and shall resist most of the natural processes who could modify it with the exception of a large earthquake but even then the effects would be local. This work has required the participation of many university and government organization and has offered to possibility to train or educate more than 42 graduate students including 17 Ph.D. The overall goal could be achieved not only from the direct funding but also from the previous knowledge acquired over the previous years by researchers which has enable us to carry out the project at a total cost of about 1.3 million dollars. Major spin-offs from

Project not only consist in the data base but also in the increase knowledge that was gained of the various processes which are taking place here and moreover of the international recognition of the Saguenay Fjord as a major natural laboratory.

1. L'ÉVÉNEMENT ET L'OPPORTUNITÉ

À la suite du déluge catastrophique qui a sévit dans la région du Saguenay (figures 1 et 2), plusieurs s'interrogeaient sur les impacts du déluge sur l'écosystème du fjord lui-même. Une mission océanographique déjà prévue au fjord du Saguenay a été réalisée juste quelques jours après l'événement et, dès ce moment-là, il est apparu qu'une grande superficie de la Baie des Ha! Ha! et du Bas Nord avait été recouverte d'une couche de sédiments. Connaissant le niveau de contamination des sédiments antérieurs à 1996 une question s'est tout de suite posée : est-ce que ces sédiments récents forment une couche de recouvrement efficace vis-à-vis la migration des contaminants présents dans les sédiments sous-jacents? La plupart des chercheurs impliqués au fjord du Saguenay et des intervenants du milieu se sont par la suite réunis en février 1997 à l'ISMER (Rimouski) afin d'évaluer l'opportunité qui se présentait de devoir répondre à cette préoccupation socio-économique du milieu. Par la suite le

projet a été élaboré et présenté au CRSNG avec l'appui financier de l'Alcan. Suite au succès de la demande, le projet a donc pu commencer pratiquement en février 1998 avec un budget d'environ 800 000\$ excluant les dépenses de temps navire d'environ 500 000\$ pour un total de plus de 1 300 000\$ répartis sur cinq années. N'eut été du fait que la communauté des chercheurs du Saguenay avait acquis une vaste connaissance préalable du fjord, la réalisation d'un tel projet aurait exigé des sommes beaucoup plus considérable, surtout pour évaluer les conditions antérieures au déluge.

2. NOS OBJECTIFS DE RECHERCHE

Afin d'atteindre notre but, nous avons identifié 6 objectifs principaux qui sont repris ci-après, et qui ont en quelque constitué la feuille de route de l'équipe de recherche au cours de cinq dernières années. Ces objectifs étaient les suivants :

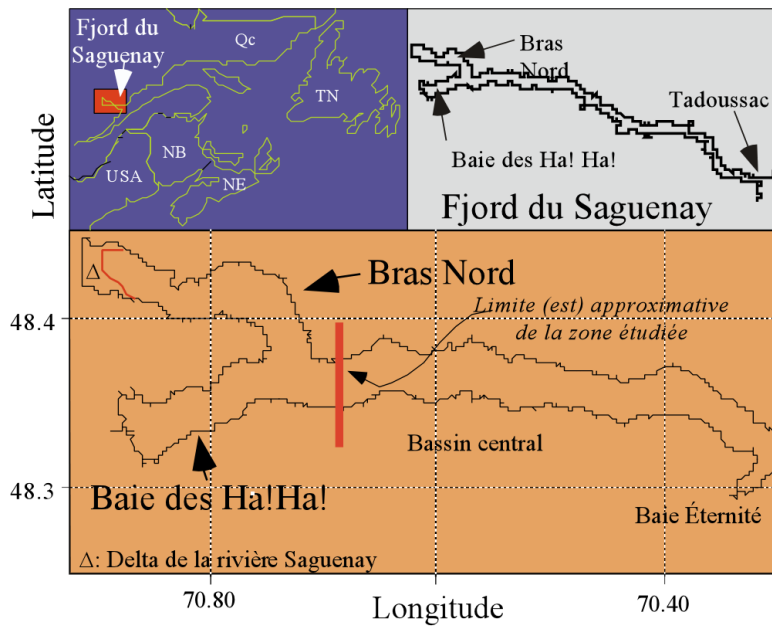


Figure 1. La région du fjord du Saguenay

- 1- Évaluer l'efficacité de la couche de 1996 comme barrière permanente aux contaminants.
- 2- Développer des modèles de prédiction et des outils de conception reliés à la performance et au monitoring de la couche de 1996.
- 3- Développer un modèle de réacteur géochimique permettant de suivre les changements chimiques dans la couche de 1996.
- 4- Développer un modèle de transport physico-chimique des contaminants entre la couche contaminée sous-jacente ainsi que les sédiments qui s'accumulent depuis 1996.
- 5- Identifier et développer des indicateurs chimiques et biologiques de la performance de la couche ainsi que de la récupération de la faune benthique à la suite de cette perturbation majeure.
- 6- Développer des outils géophysiques, hydrauliques et d'aléas qui permettent de suivre l'évolution de la couche de 1996 ainsi que sa stabilité vis-à-vis des conditions externes tel que l'érosion et les séismes (stabilité de la couche).

L'atteinte de ces objectifs est illustrée par les diverses publications ainsi que la réalisation de ce symposium international. Nous pouvons conclure que nous avons atteint nos objectifs et que nous avons actuellement en main les réponses aux diverses questions posées au départ ainsi que des outils permettant de prédire et de suivre l'évolution de la performance de la couche de 1996. Plusieurs de ces éléments de réponse se retrouvent dans les divers articles rassemblés lors de ce symposium et cela

dans deux documents : le STP-1442 (Locat *et al.* 2003) de l'*American Society for Testing and Materials*, ainsi que le volume des transactions de ce symposium (Tremblay *et al.* 2003). En plus de ces deux documents, les chercheurs du groupe ont publié plus d'une trentaine d'articles scientifiques dans diverses revues scientifiques internationales. Une synthèse de l'ensemble des résultats obtenus est présentée par Pelletier *et al.* (2003).

3. UNE ÉQUIPE MULTIDISCIPLINAIRE, INTÉGRÉE ET DYNAMIQUE

Rendre le projet à terme a impliqué 11 chercheurs de plusieurs universités québécoises, ainsi que plusieurs centres de recherche gouvernementaux dont l'Institut Maurice Lamontagne et la Commission géologique du Canada, région atlantique. L'ensemble des intervenants avaient déjà un acquis majeur de connaissances sur le fjord du Saguenay et cela a compté pour beaucoup pour une planification rapide du projet. Ces acquis ont aussi permis de réduire considérablement les coûts du projet dont les données déjà disponibles que par des projets déjà en cours et qui ont donc contribué beaucoup au financement direct du projet. Un exemple est le fait que nous disposions d'un levé multifaisceaux complet du secteur illustré à la figure 2 et cela depuis 1993 et la reprise des levés a donc permis des analyses comparatives d'accumulation de sédiments et une évaluation des zones affectées.

Depuis, le projet a permis de réaliser plusieurs études multidisciplinaires intégrant ainsi des disciplines telles que la biologie, géochimie, l'hydraulique, la géologie et la géotechnique (figure 3). Tel qu'on peut le remarquer avec la session spéciale sur le sujet, les travaux de recherche ont

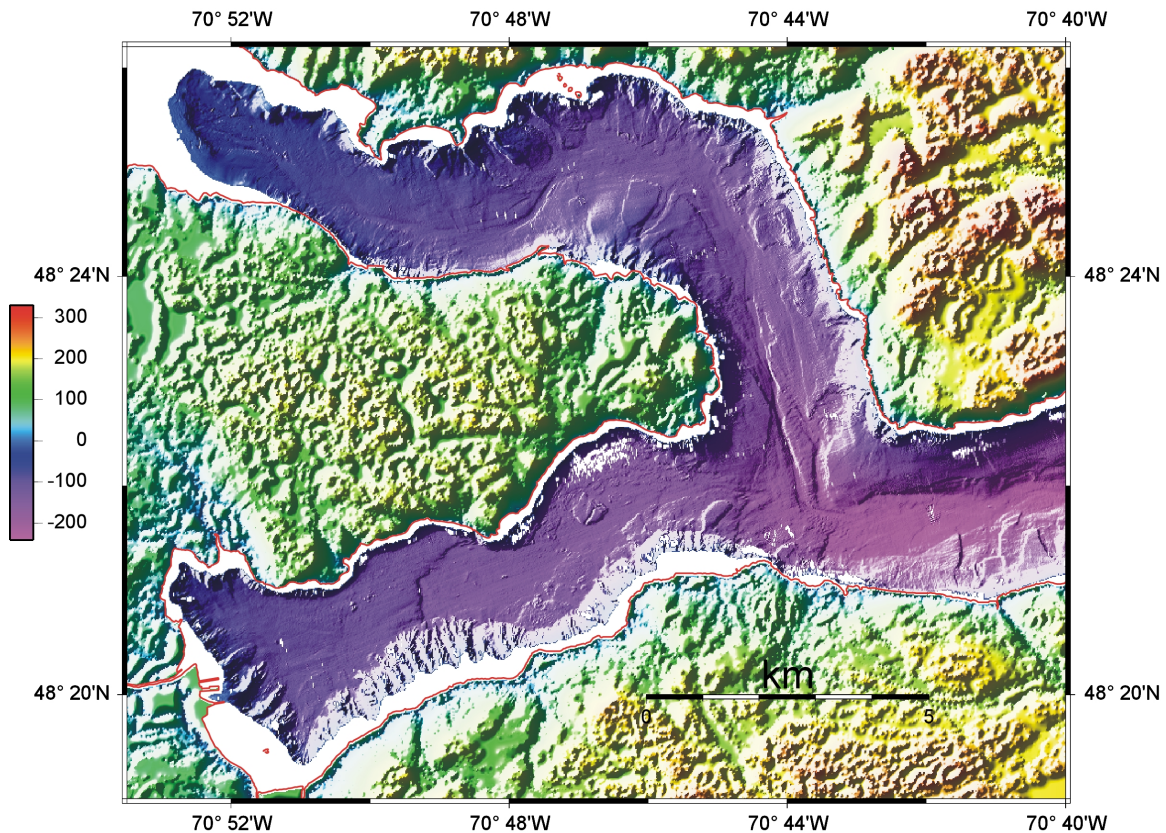


Figure 2. Le secteur de la partie mont du fjord du Saguenay où la majeure partie de nos travaux ont été réalisés (image : couplage de données multifaisceaux et satellite illustrant le lien entre la morphologie sous-marine et terrestre, l'échelle des couleurs donne l'altitude en mètres par rapport au niveau de la mer).

été fructueux, de haute qualité et ils ont débouché sur des développements technologiques. Pour y arriver, il a fallu s'appuyer sur la formation et les contributions de personnes hautement qualifiées dont 2 post-doctorants, plus de 17 Ph.D., 25 M.Sc, 16 stagiaires de recherche et l'implication de 3 professionnels ou techniciens, consommant ainsi, comme prévu, plus de 50% du budget alloué par le CRSNG. Au total, le projet s'est traduit par plus de 29 articles dans des revues avec comités de lecture, 24 dans des comptes rendus complets de conférence, et au moins 26 participations à des conférences par le biais de résumés ou d'affiches et cela dans plusieurs conférences nationales et internationales.

4. DES PARTENAIRES DE QUALITÉ

Le projet Saguenay post-déluge a nécessité la collaboration de plusieurs organismes scientifiques, gouvernementaux et privés. Parmi nos partenaires importants nous voulons souligner la contribution de l'Institut Maurice Lamontagne pour le soutien à la réalisation des levés multifaisceaux (R.Sanfaçons, J. Gagné, N. Doucet) et l'utilisation de petits navires (L. Saint-Pierre) et J. Munro pour l'accès à du temps de navire d'opportunité. La Commission géologique du Canada (région atlantique) a aussi largement coopéré pour

divers aspects dont l'échantillonnage des sédiments (B. Murphy), les essais d'érodabilité (C. Amos, à présent au Southampton Oceanographic Centre), la station RALPH et la camera (D. Heffler). L'analyse des données multifaisceaux a été réalisée grâce à la coopération de l'Ocean Mapping Group de l'Université de Frédéricton (N.-B.) avec la coopération de J. Hughes-Clarke. Le CEMAGREF de Grenoble (M. Naimi) a collaboré pour ce qui est de certains aspects hydrauliques du projet.

5. INTENSITÉ ET QUALITÉ DU SOUTIEN EN MER

Comme tout projet en milieu marin, nous avons réalisé de multiples missions océanographiques principalement à bord du Alcide C. Horth (10 missions pour un total d'environ 150 jours en mer) dont l'équipage a été d'un soutien technique et moral extraordinaire. Il y a eu aussi des missions à bord du F.G. Creed (4 missions, 20 jours au total), W. Deraspes (10 missions, 200 jours), Martha L. Black (6 jours, 1997), le Marion Dufresnes (IFREMER, 2 jours en 1999) conjointement avec le projet IMAGES et de notre nouvelle acquisition, le Coriolis II (10 jours en 2002). Tous les membres des divers équipages sont devenus, de par leur contribution à nos travaux, des partenaires inestimables et qui ont aussi acquis une expérience unique.

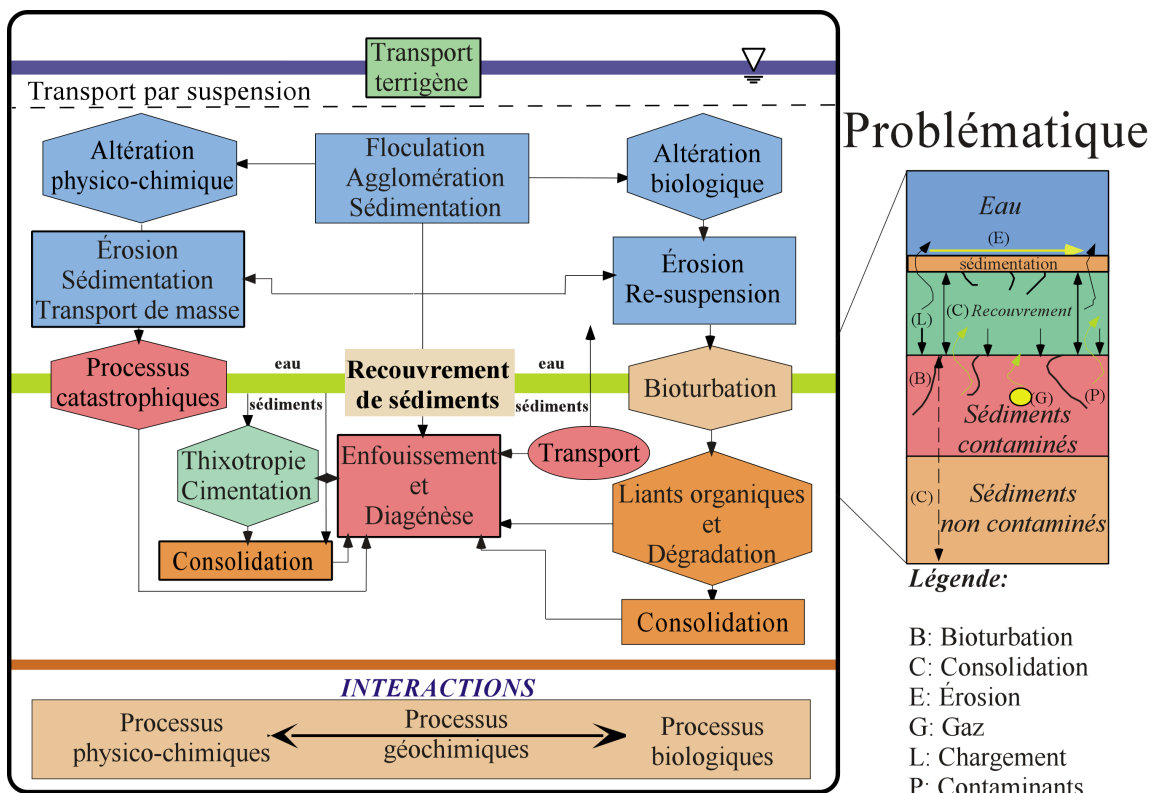


Figure 3. Approche générale à la planification du projet basée sur une conception des phénomènes interactifs proposée par Sylva (1974).

6. RETOMBÉES SCIENTIFIQUES

En plus de rencontrer les objectifs énoncés plus haut, le projet a aussi eu des retombées scientifiques telle que :

- 1- Établissement d'une nouvelle référence (couche de 1996) permettant d'identifier beaucoup plus précisément les apports post-1996 en contaminants au fjord du Saguenay.
- 2- Données uniques et diversifiées regroupées dans une base de données interactive sur Internet.
- 3- Indicateurs de récupération environnementale tant géochimique, mécanique que biologique.
- 4- Outil de planification, de conception d'une couche de recouvrement de sédiments contaminés.
- 5- Utilisation du EM1000 et EM3000 pour cartographier et faire le suivi des couches de recouvrement.
- 6- Détermination des conditions optimales (épaisseur minimale de la couche qui peut stopper la migration chimique et biologique des substances toxiques piégées) pour un éventuel recouvrement d'une couche sédimentaire contaminée (capping) par une couche de sédiment propre en zone marine

profonde. Ces données pourraient trouver une application immédiate dans la rémédiation dans la baie des Anglais à Baie-Comeau.

À ces retombées viennent aussi s'ajouter des aspects non négligeables tels que notre contribution au Musée du Fjord au Saguenay et la production de données scientifiques ayant un intérêt public direct, tel que les cartes bathymétriques très raffinée (voir la Figure 2) et cela pour l'ensemble du fjord.

7. EN GUISE DE CONCLUSION : UNE QUESTION, UNE RÉPONSE

Après cinq années de travaux nous pouvons conclure que la couche diluvienne déposée au fond du fjord du Saguenay constitue une couche efficace et qu'elle devrait résister aux attaques biologiques et hydrauliques qui pourraient la modifier. Seul un séisme majeur pourrait perturber la couche mais cela ne se ferait que dans des secteurs limités.

Ce projet, en plus de répondre à des préoccupations sociétales aura permis d'augmenter énormément notre compréhension du fjord et des processus qui y ont cours. Il aura surtout permis d'établir un vaste réseau de personnes intéressées à ce magnifique et unique environnement qu'est le fjord du Saguenay.

8. REMERCIEMENTS

Le projet Saguenay post-déluge n'aurait pas été rendu possible sans le soutien financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada ainsi que de la compagnie Alcan Ltée. Nous tenons aussi à remercier J. Labrie (Alcan Ltée) et S. Dionne (Parc marin du Saguenay) pour leur participation soutenue au projet ainsi que leurs judicieux conseils. Nous voulons aussi remercier le Ministère de l'éducation du Québec pour son soutien aux divers programmes de recherche dans toutes les universités concernées. Finalement, nous tenons aussi à profiter de cette occasion afin de remercier tous les intervenants au projet, en particulier les étudiants et les étudiantes graduées qui ont fourni tous leurs efforts afin de faire de ce projet un succès, R. Urgeles (U. de Barcelone) pour sa contribution marquée lors de son séjour au Québec ainsi que tous les membres des équipages des divers navires qui, avec nous, ont sillonné le fjord dans le cadre du projet.

9. BIBLIOGRAPHIE

- Locat, J., Galvez-Cloutier, R., and R.C. Chaney 2003. Contaminated Sediments: Characterization, Evaluation, Mitigation/Restoration, and Management Strategy Performance. American society for Testing Materials (ASTM), Special Technical Publication (STP) 1442, 343 p.
- Pelletier, E., Desrosiers, G., Locat, J., Mucci, A., and Tremblay, H. 2003. The Origin and Behavior of a Catastrophic Capping Layer Deposited on Contaminated Sediments of the Saguenay Fjord (Quebec), Contaminated Sediments: Characterization, Evaluation, Mitigation/Restoration, and Management Strategy Performance, ASTM STP 1442, J. Locat, R. Galvez-Cloutier, R. C. Chaney, and K. Demars, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Pelletier, É., Desrosiers, G., Locat, J., Tremblay, H., Mucci, A., 2003. The origin and behavior of a catastrophic capping layer deposited on contaminated sediments of the Saguenay Fjord (Quebec)
- Tremblay, H., Locat, J., et Galvez-Cloutier, R., 2003. Proceeding of the 2nd International Symposium on Contaminated Sediments : Characterization, Evaluation, Mitigation/Restoration, and Management Strategy Performance. Quebec City, Canada. 440 p.
- Sylva, A.J. 1974. In Deep Sea Sediments, Physical and Mechanical Properties, B. Denness Ed., IUTAM, p. 25-39.