

CONTAMINATION DU FJORD DU SAGUENAY: CONTEXTE HISTORIQUE ET PERSPECTIVES D'UN CHANGEMENT DURABLE

É. PELLETIER¹

Contexte historique

Le mercure et les autres métaux traces

Dans la région du Saguenay comme ailleurs au Canada, l'industrialisation rapide des années 1940-1970 a entraîné une dégradation sensible de la qualité de l'environnement aquatique et particulièrement du fjord du Saguenay. Ce fjord qui s'étire sur une longueur de presque 100 km entre Tadoussac sur le Saint-Laurent et la ville de Chicoutimi en amont reçoit les eaux de la rivière Saguenay et de quelques autres affluents aux débits moins importants. La première mention d'un problème environnemental lié au mercure dans le fjord a été faite en 1975 dans une étude géochimique sur les sédiments de surface du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent qui incluait aussi le fjord du Saguenay (Loring 1975). Les échantillons avaient été prélevés dès 1964 sur toute la longueur du fjord mais il semble que les analyses avaient été effectuées plusieurs années plus tard. Les résultats de Loring étaient alarmants et montraient des concentrations de mercure total atteignant 6 à 12 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dans le bras nord à 5 km de l'embouchure de la rivière Saguenay. Les concentrations étaient de l'ordre de 3 à 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dans la baie des Ha!Ha! et dans le fjord jusqu'à Sainte-Rose-du-Nord pour ensuite diminuer graduellement jusqu'à 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ à l'extrémité aval du bassin profond. L'auteur montre que ce mercure est facilement extrait du sédiment par le peroxyde d'hydrogène et que les teneurs en mercure sont fortement corrélées au carbone organique particulaire et à la matière ligneuse que l'on trouve en forte concentration dans les sédiments du fjord principalement dans sa partie amont. Ces données démontraient pour la première fois que ce mercure n'était pas d'origine géologique mais bien de sources anthropiques. Loring indiquait enfin que la matière particulaire en suspension échantillonnée en 1974 contenait des concentrations de Hg encore très élevées (2 à 50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Il a fallu attendre l'application de la technique de datation des sédiments par le plomb 210 pour déterminer avec précision le flux des apports de mercure au fjord et la chronologie de ces apports qui débutent approximativement en 1950 et se poursuivent jusqu'en 1975 pour ainsi établir un lien sans équivoque avec la mise en opération d'une usine de chlore-alcali à Arvida en 1947 et sa fermeture en 1975 (Smith et Loring, 1981).

Des concentrations aussi élevées en mercure dans les sédiments ne pouvaient conduire qu'à une bioaccumulation importante dans le biote du fjord. À notre connaissance, il n'y a pas eu un monitoring extensif du mercure dans les espèces vivantes du fjord cependant les chercheurs ont utilisé la crevette nordique, *Pandalus borealis*, comme espèce indicatrice. Les données de Pêches et Océans Canada (Cossa et Desjardins, 1984) ont montré que les très fortes concentrations mesurées entre 1972 et 1975 (4 à 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ont rapidement diminué au cours de la décennie suivante pour atteindre le plancher des 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ vers 1984. Des analyses détaillées sur des crevettes prélevées en 1986 (Pelletier, Rouleau et Canuel, 1989) montraient que les

¹ Institut des Sciences de la Mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, 310 allée des Ursulines, Rimouski (Qué), Canada G5L 3A1

concentrations en mercure dans le muscle comestible variaient de $0,13$ à $0,58 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ et que la moyenne était de $0,36 \pm 0,11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Cette assainissement évident des eaux et des sédiments du fjord correspond aux efforts consentis par l'industrie métallurgique et des pâtes et papier pour réduire leurs effluents toxiques vers la rivière Saguenay et la baie des Ha!Ha! durant la période de 1972 à 1990. Les dernières données disponibles pour le mercure dans le biote du Saguenay (Hodson et al., 1999) montrent que pour des échantillons prélevés en 1991, le niveau moyen du mercure dans les crevettes était de l'ordre de $0,24 \pm 0,03 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ alors qu'il était un peu plus élevé dans le crabe des neiges, *Chionoecetes opillio*, avec une moyenne de $0,32 \pm 0,21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Quelques données sur la morue (valeur moyenne de $0,45 \pm 0,17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) montraient aussi qu'une certaine contamination par le mercure restait toujours présente dans l'écosystème du fjord au début des années 1990.

En plus du mercure, plusieurs autres métaux toxiques ont été détectés dans les sédiments du fjord au fil des études successives à partir des années 1970. À partir des mêmes échantillons utilisés pour le mercure, Loring (1976) poursuivit ses analyses géochimiques pour le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le plomb (Pb) dans les sédiments du fjord. Il montra que les concentrations de ces métaux variaient en fonction de la texture du sédiment et de l'emplacement de l'échantillon dans le fjord. Les gammes de valeurs observées étaient de 43 à $145 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour Zn, de 6 à $33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour Cu et de 14 à $66 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour Pb. Ces valeurs pour le Zn et le Pb étaient nettement plus élevées que celles analysées dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent et d'autres sites non-pollués dans le monde. Les valeurs de Cu étaient cependant similaires à celles retrouvées ailleurs. Une nouvelle série d'analyses des métaux publiée par Barbeau, Bougie et Côté (1981) a confirmé une nette accumulation des métaux traces dans le bras nord du fjord. Pour la première fois, on mentionne que le plomb atmosphérique semble être une source anthropique importante dans les sédiments du bassin profond puisque les apports n'ont pas cessé de croître depuis 1940 malgré la réduction des apports hydriques des autres métaux. D'autres mesures effectués sur des sédiments échantillonnés au milieu des années 1980 (Pelletier et Canuel, 1988; Gagnon, Pelletier et Maheu, 1993) ont confirmé l'enrichissement en zinc des sédiments récents mais ont aussi montré qu'aucun changement important n'est survenu dans les apports en cuivre, chrome et nickel malgré l'accroissement de l'activité industrielle et de la circulation automobile dans la région du Saguenay.

En terminant cette section, il faut noter le cas un peu particulier de l'arsenic, un métalloïde dont la chimie marine et les interactions avec les organismes vivants sont très complexes et encore mal connues en milieu côtier (Phillips, 1990). Peu de données sont disponibles sur la distribution de l'arsenic dans les sédiments du fjord mais des analyses géochimiques sur des sédiments échantillonnés en 1977 dans le fjord et principalement dans la baie des Ha!Ha! (Ouellet, 1990) montraient un fort enrichissement en arsenic dans ces sédiments. Cette anomalie est resté sans explication et aucune source anthropique ou naturelle n'a encore pu être identifiée. Des travaux plus récents sur l'arsenic dissous dans l'estuaire du Saint-Laurent et le fjord du Saguenay (Tremblay et Gobeil, 1990) ont montré que les teneurs en arsenic des eaux de la rivière Saguenay et du fjord sont très faibles et ne montrent aucun évidence d'une contamination industrielle ou urbaine. Cependant, les auteurs notent un léger enrichissement des eaux profondes du fjord ce qui pourrait indiquer une remobilisation de cet élément à partir des sédiments.

Les hydrocarbures

La présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments du Saguenay est aussi ancienne que celle du mercure et des autres métaux traces puisqu'ils ont les mêmes sources industrielles et urbaines. Les HAP sont essentiellement des produits de la combustion des matières fossiles (pétrole, charbon et gaz) et de la matière ligneuse (incendies de forêt, bois de chauffage domestique). Les premiers travaux publiés par des chercheurs de l'Université du Québec à Chicoutimi (Martel et al., 1987) montrent très clairement l'accroissement dramatique des HAP dans les sédiments du fjord et de la baie des Ha!Ha! à partir des années 1940 jusqu'au milieu des années 1970. Le flux de ces hydrocarbures a dépassé 110 mg.m⁻² par année dans les sédiments du bras nord au milieu des années 1960. Ce flux était tombé à 18 mg.m⁻² par année en 1981 à la suite des efforts de décontamination des rejets industrielles. Cette réduction notable des apports en HAP n'était cependant pas encore visible dans les sédiments de la baie des Ha!Ha où le flux se maintenait autour de 3 mg.m⁻² à la fin des années 1970. L'analyse fine de la composition chimique de ces HAP par chromatographie en phase gazeuse a démontré sans équivoque que les alumineries localisées dans la vaste région de Chicoutimi étaient la source principale de ces composés dans les sédiments du fjord.

Parmi les composés qui forment ces HAP on note la présence du benzo(α) pyrène (BαP), un composé à cinq anneaux benzéniques dont les propriétés cancérigènes ont été démontrées chez les animaux de laboratoire et qui peut être à l'origine du cancer du poumon et de certaines autres tumeurs malignes. Le BαP est pratiquement insoluble dans l'eau et non toxique par lui-même, cependant le système de défense des organismes vivants transforment le BαP et quelques autres HAP similaires en métabolites hydroxyles qui se lient chimiquement à l'ADN et viennent perturber la nature du message à transmettre au reste de la cellule. Les concentrations de BαP mesurées dans une carotte prélevée dans le bras nord en 1992 dépassaient 1 µg.g⁻¹ (poids sec) pour des échantillons d'avant 1975 alors qu'elle avait diminué à un niveau inférieur à 0,3 µg.g⁻¹ vers 1990. Notons que la teneur pré-industrielle en BαP était d'environ 0,03 µg.g⁻¹ (Martel et al., 1987). À cause de cette capacité qu'ont les organismes marins (notamment les poissons et les mammifères) de métaboliser les HAP, il est souvent difficile de détecter la présence du BαP dans les tissus biologiques et peu de données sont disponibles pour le fjord. Cependant, une expérience de transplantation de moules bleues effectuée au début des années 1980 à plusieurs endroits dans le fjord (Picard-Bérubé et al., 1983) a montré une augmentation des teneurs en BαP dans ces moules de 200 fois en un mois indiquant que les particules filtrées par les moules étaient fortement chargées en HAP et que les moules et probablement d'autres invertébrés pouvaient les accumuler en abondance.

Les BPC et autres organochlorés

Il n'existe aucune donnée historique sur les teneurs en biphyles polychlorés (BPC), en dioxines et furannes et en pesticides chlorés (comme le DDT) dans les sédiments et le biote du fjord du Saguenay. La présence de plusieurs usines de pâte et papier le long de la rivière Saguenay et même sur la baie des Ha!Ha! peut laisser supposer que des composés organochlorés auraient pu s'accumuler dans les sédiments du fjord au cours des dernières décennies. Les premières mesures publiées en 1995 (Brochu et al., 1995) pour des sédiments échantillonnés en 1991 montraient des teneurs moyennes de 194 ng.g⁻¹ en dioxines totales (PCDD) et de 91 ng.g⁻¹ en furannes totaux (PCDF). Ces valeurs étaient un peu plus élevées que celles retrouvées dans l'estuaire du Saint-Laurent mais demeuraient de loin inférieures à celles souvent observées dans des sites fortement

contaminés comme Port Alberni en Colombie-Britannique. Des analyses de plusieurs échantillons de crevette, de crabe, de morue et de plie ont montré de faibles concentrations en dioxines et furannes à tous les sites échantillonnés. Seuls les crabes semblaient légèrement contaminés à un niveau comparable à celui retrouvé dans les crabes de la baie des Anglais le long de la rive nord de l'estuaire du Saint-Laurent.

Des analyses de la somme des BPC sur les mêmes échantillons ont montré des concentrations variant de 47 à 77 ng.g⁻¹ dans les crevettes et de 89 à 98 ng.g⁻¹ dans les crabes. Ces valeurs étaient de 2 à 3 fois inférieures à celles retrouvées dans la baie des Anglais où la contamination par les BPC est bien documentées (Langlais et al., 1991). Pour les pesticides organochlorés (principalement DDT et DDE), les concentrations variaient entre 10 et 62 ng.g⁻¹ pour l'ensemble des crustacés. Ces valeurs sont très faibles et comparables à celles de l'estuaire du Saint-Laurent laissant supposer que les apports sont surtout atmosphériques.

Perspectives d'un changement durable

Les événements de juillet 1996 ont changé profondément la problématique de la contamination du fjord. Les sédiments des deux secteurs les plus contaminés, la baie des Ha!Ha! et le bras nord, ont été recouverts d'une couche de boue sableuse dont l'épaisseur varie de quelques mm à la hauteur de Sainte-Rose-du-Nord à plusieurs dizaines de cm à proximité de l'embouchure de la rivière Ha!Ha! et de la rivière à Mars (Pelletier et al., 1999a). Cette boue provient de l'érosion du lit des rivières et des sols arables provoquée par les plus torrentielles du 19 au 21 juillet 1996 (Lapointe et al., 1998). Contrairement au sédiments déjà en place, ce nouveau sédiment ne contient pas de métaux traces, ni d'hydrocarbures aromatiques d'origine industrielle ou urbaine et forme au dessus des anciens sédiments une couche protectrice de sédiment propre. Le caractère transitoire ou permanent de l'enfouissement des sédiments contaminés est fonction de l'épaisseur de la nouvelle couche et de l'intensité de bioturbation de l'écosystème benthique.

Une importante étude regroupant géologues, chimistes et biologistes est présentement en cours pour déterminer l'efficacité du recouvrement et pour modéliser le processus de recolonisation du sédiment par la faune benthique. Quelques résultats préliminaires montrent qu'il est possible de distinguer clairement l'ancienne de la nouvelle couche par des indicateurs chimiques et géochimiques. Ainsi des analyses de HAP, de mercure et d'arsenic montrent très clairement la position de l'interface nouveau/ancien sédiment dans plusieurs carottes prélevées en 1997 et 1998. Il est aussi possible de tracer le début de la recontamination de la nouvelle couche sédimentaire dans la baie des Ha!Ha! par l'analyse des butylétains. Ces composés très toxiques pour la faune marine sont relargués par les coques des nombreux navires marchands qui fréquentent Port-Alfred. L'analyse de la composition et de la distribution des principales espèces macro-benthiques (≥ 1 mm) montre d'une part l'importance des perturbations subies par l'écosystème principalement dans la baie des Ha!Ha! et d'autre part le processus de ré-installation des espèces pionnières (Pelletier et al, 1999b). Il semble bien que le déluge de juillet 1996 ait constitué un gigantesque processus naturel de remédiation du fjord du Saguenay cependant le caractère permanent de cette remédiation reste à démontrer.

Même si la qualité des sédiments du Saguenay s'est nettement améliorée au cours des 20 dernières années à la faveur des efforts d'assainissement des rejets industriels et urbains et que les sédiments du déluge de 1996 vont probablement contribuer à réduire encore plus le niveau de contamination des sédiments du fjord, le Saguenay doit rester sous étroite surveillance car il y a

de nombreux indices que certains problèmes restent à résoudre. À preuve, cette récente publication de White et al., 1997 sur la détection de substances génotoxiques dans le fjord. Utilisant le test SOS Chromotest, les auteurs ont montré la présence de substances potentiellement génotoxiques dans les tissus de moules (*Mytilus edulis*) et de myes (*Mya arenaria*) échantillonnées à une dizaine de sites le long du fjord. L'analyse chimique des tissus a montré une contamination générale par les HAP à des niveaux généralement de l'ordre de 30 à 60 ng.g⁻¹ mais qui peuvent atteindre 1400 ng.g⁻¹ en certains endroits. L'analyse détaillée par chromatographie gazeuse montre de plus que les composés comme le pyrène, le chrysène, le benzo-fluoranthène et le BxP sont présents dans pratiquement tous les échantillons de bivalves. Les auteurs ont établi une forte corrélation ($r^2 = 0,72$ et $p < 0,0005$) entre la concentration de ces HAP totaux et la réponse du test SOS Chromotest. Quoique l'identité des substances génotoxiques ne puisse être établie avec certitudes, ces résultats sont révélateurs des problèmes qui persistent dans le fjord du Saguenay.

L'autre problème potentiel est celui du relargage des butylétains mentionnés précédemment. Des analyses encore fragmentaires menées sur des sédiments et des organismes benthiques du fjord (Pelletier et collaborateurs, résultats non publiés) montrent la présence ubiquiste du tributylétain (TBT) et de son principal métabolite le dibutylétain (DBT) à des niveaux faibles dans pratiquement tous les échantillons examinés. Les effets perturbateurs de ces composés sur le système hormonal sont connus pour les gastéropodes (escargots marins) et leurs effets immunotoxiques ont été étudiés chez quelques bivalves. Dans tous les cas, les seuils sans effets toxiques sont très faibles et il y a lieu de s'inquiéter de la présence de ces composés dans le fjord surtout si leurs effets peuvent être combinés à ceux des HAP.

Références

- Barbeau, C., R. Bougie et J.-E. Côté, 1981. Temporal and spatial variations of mercury, lead, zinc, and copper in sediments of the Saguenay fjord. *Can. J. Earth Sci.*, 18 :1065-1074.
- Brochu, C., S. Moore et É. Pelletier, 1995. Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in sediments and biota of the Saguenay fjord and the St Lawrence Estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 30: 515-523.
- Cossa, D. et C. Desjardins, 1984. Évolution de la concentration en mercure dans les crevettes du fjord du Saguenay (Québec) au cours de la période 1973-1983. *Rapp. Tech. Hydrogr. Sci. Océan*, no. 32 : v + 8 p.
- Hodson, P.V., É. Pelletier, R. McLeod, J.-M. Sevigny, B. Sainte-Marie, et D. Steel, 1999. Chemical contamination of surficial sediments and biota from the Saguenay Fjord and the St Lawrence Estuary. *Can. Tech. Rept. Fish. Aquat. Sci.* (in press).
- Martel, L., M.J. Gagnon, R. Massé et A. Leclerc, 1987. The spatio-temporal variations and fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Saguenay fjord, Québec, Canada. *Water Res.*, 21 : 699-707.
- Langlais, B., M. Beaulieu, L. Robodoux, Y. Vigneault et Y. Lavergne, 1991. Étude de la contamination en BPC dans les sédiments et les buccins (*Buccinum undatum*) de la baie des Anglais. *Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut.* #1792, 35 pp.
- Lapointe, M.F., Y. Secretan, S.N. Driscoll, N. Bergeron et M. Leclerc, 1998. Response of the Ha!Ha! River to the flood of July 1996 in the Saguenay Region of Quebec : Large-scale avulsion in a glaciated valley. *Wat. Resour. Res.* 34 :2383-2392.

- Loring, D.H., 1975. Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Earth Sci.*, 12: 1219-1237.
- Loring, D.H., 1976. The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay fjord. *Can. J. Earth Sci.*, 13: 960-971.
- Ouellet, M., 1990. Géochimie et granulométrie des sédiments superficiels du lac Saint-Jean et de la rivière Saguenay : synthèse. *In* : Symposium sur le Saint-Laurent – Un fleuve à reconquérir (D. Messier, P. Legendre et C.E. Delille, éditeurs). Collection Environnement et géologie (volume 11), p. 241-252, Université de Montréal.
- Pelletier, É., C. Rouleau et G. Canuel, 1989. Niveau de la contamination par le mercure des sédiments de surface et des crevettes du fjord du Saguenay. *Rev. Sci. Eau*, 2:13-27.
- Pelletier, É., B. Mostajir, S. Roy, M. Gosselin, Y. Gratton, J.-P. Chanut, C. Belzile, S. Demers et D. Thibault, 1999a. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec) : 1. Impacts sur la colonne d'eau de la baie des Ha!Ha! et du fjord du Saguenay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (accepté)
- Pelletier, É., B. Deflandre, C. Nozais, G. Tita, G. Desrosiers, J.-P. Gagné et A. Mucci, 1999b. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec) : 1. Impacts sur les sédiments et le biote de la baie des Ha!Ha! et du fjord du Saguenay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (soumis).
- Picard-Bérubé, M., D. Cossa et J. Piuze, 1983. Benzo-3,4-pyrene content in *Mytilus edulis* from the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Mar. Environ. Res.*, 10: 63-71.
- Phillips, D.J.H., 1990. Arsenic in aquatic organisms : a review, emphasizing chemical speciation. *Aquat. Toxicol.*, 13 :43-52.
- Smith, J.N. et D.H. Loring, 1981. Geochronology of mercury contamination in the sediments of the Saguenay Fjord, Quebec. *Environ. Sci. Technol.*, 15 :944-951
- Tremblay, G.-H. et C. Gobeil, 1990. Dissolved arsenic in the St Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord, Canada. *Mar. Pollut. Bull.* 21 :465-469.
- White, P.A., C. Blaise et J.B. Rasmussen, 1997. Detection of genotoxic substances in bivalve molluscs from the Saguenay Fjord (Canada), using le SOS chromotest. *Mut. Res.* 392 : 277-300.