

ÉVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA SÉDIMENTOLOGIE ET DE LA GÉOCHIMIE DES SÉDIMENTS DU LAC SAINT-FRANÇOIS

Magella Pelletier et Serge Lepage, Environnement Canada, Québec, Canada

ABSTRACT

A snapshot of trends in sediment geochemistry in Lake Saint-François during the past 20 years was produced by compiling and interpreting physical and geochemical data drawn from 27 sediment cores and three surface-sediment sampling campaigns. The resulting major temporal and spatial modifications have caused annual sediment accumulation rates to vary from 0.2 to 1.9 cm and have led to variations in the grain-size distribution of particles deposited in the basin. Five sedimentary units were defined for recent sediments based on these quantitative variations and different areas of sediment accumulation in Lake Saint-François were correlated. The study of the geochemical trend led to a determination that, beginning in the 1970s, contaminant concentrations declined considerably, with average mercury and total PCBs levels falling from 0.47 to 0.23 µg/g and 0.397 to 0.028 µg/g, respectively. We also identified four different cycles of variations in contaminant concentrations in the lake since the turn of the 20th century.

RÉSUMÉ

La compilation et l'interprétation des données physiques et géochimiques provenant de 27 carottes de sédiments et de trois campagnes d'échantillonnage des sédiments de surface recueillis dans le bassin sédimentaire du lac Saint-François depuis 20 ans permettent de dresser un portrait de l'évolution des sédiments et de leur géochimie durant le dernier siècle. Il en résulte des modifications temporelles et spatiales importantes qui font varier les taux de sédimentation de 0,2 à 1,9 cm par année ainsi que la répartition granulométrique des particules déposées dans le bassin. Ces variations des proportions quantitatives rendent possibles la définition de cinq unités sédimentaires reliées aux sédiments récents et la corrélation des différentes zones de sédimentation du lac Saint-François. L'étude de l'évolution géochimique permet d'estimer qu'à partir des années 1970, il s'est produit une diminution considérable des concentrations, faisant passer respectivement les teneurs moyennes en mercure et en BPC_{total} de 0,47 à 0,23 µg/g et de 0,397 à 0,028 µg/g, et de définir quatre cycles de variation des concentrations depuis le début du 20^e siècle.

1. INTRODUCTION

Servant de frontières nationales et internationales, les eaux du lac Saint-François accueillent annuellement de nombreux navires transportant des marchandises, du pétrole et des croisiéristes. De plus, son plan d'eau sert non seulement de plate-forme pour les plaisanciers et leurs embarcations mais surtout de refuge pour de nombreux oiseaux, pour plusieurs espèces animales aquatiques et pour une multitude de plantes émergées ou submergées. Bien que ce lac soit considéré comme l'un des plus beaux du fleuve Saint-Laurent, son histoire sédimentologique et géochimique est encore méconnue, même si celle-ci origine seulement de la fin du 19^e siècle (fig. 1).

Depuis la fin des années 1800, de nombreux événements anthropiques sont venus perturber et modifier considérablement la tranquillité du lac Saint-François. La construction de barrages en amont et en aval, le rehaussement des eaux du lac, le dragage de la voie maritime et le développement industriel dans les secteurs frontaliers de Cornwall et de Massena ont tous eu une influence plus ou moins marquée sur la dynamique sédimentaire et les caractéristiques géochimiques des sédiments. À cette interaction humaine est venue se superposer des variations naturelles dans le débit du fleuve Saint-Laurent à travers les années combinant les périodes érosives et constructives des berges et des îles lacustres. Durant le dernier siècle, les sédiments du lac Saint-François

ont été contaminés par des apports anthropiques contenant principalement du mercure (Hg) et des biphényles polychlorés (BPC) (Sloterdijk, 1985 ; 1991 ; Lorrain et al., 1993 ; Vanier et al., 1996 ; Richard et al., 1997).

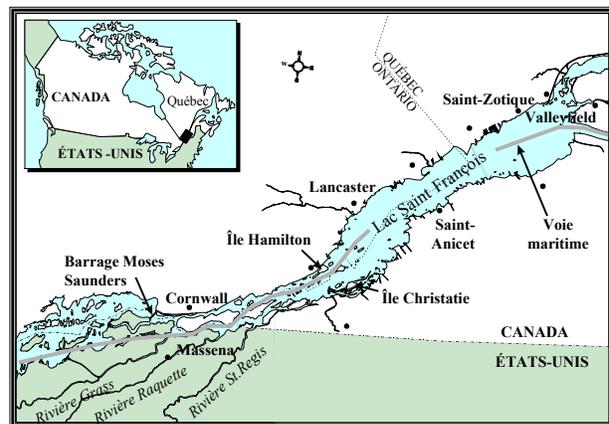


Figure 1. Localisation du lac Saint-François

Ces sédiments demeurent encore aujourd'hui imprégnés de ces polluants et restent susceptibles d'être remis en suspension par des interventions humaines ou par la modification des niveaux d'eau (Lepage, 1999, Lepage et al., 2000).

Bien que les sédiments de surface actuels représentent maintenant un moindre danger de contamination pour l'environnement aquatique (Lorrain et al., 1993), les sédiments enfouis sous cette mince couche de sédiments plus propres doivent être considérés comme une réelle menace advenant une perturbation ou un changement naturel ou anthropique des conditions sédimentologiques.

2. MÉTHODOLOGIE

Depuis la fin des années 1970, Environnement Canada a entrepris de caractériser les sédiments déposés sur son lit depuis sa formation. Ainsi, trois campagnes sédimentologiques et géochimiques ont été réalisées en 1979 (Sloterdijk, 1985), en 1989 (Lorrain et al., 1993), et en 1999 (Legage et al., 2001). En plus de ces campagnes d'échantillonnage des sédiments de surface, près d'une trentaine de carottes de sédiments ont été prélevées sur l'ensemble du lac entre Cornwall et Valleyfield.

Le prélèvement des sédiments de surface des campagnes d'échantillonnage de 1979, 1989 et 1999 s'est effectué en utilisant une benne Shipek et à l'aide d'un système de localisation tellurométrique (1979 et 1989) ou GPS en mode différentiel (1999), tandis que les carottes de sédiments ont toutes été recueillies entre 1990 et 1996, à l'aide d'un tube de butyrate de 12 cm de diamètre et de plongeurs qui enfonçaient les tubages dans le sédiment en évitant d'en remanier la partie superficielle.

Tous les échantillons de sédiments ont été lyophilisés, tamisés pour la fraction grossière et ensuite traités au sédigraphe pour les fractions fines pour la détermination des différentes fractions granulométriques. Les sédiments des trois campagnes d'échantillonnage ont été analysés pour le mercure total par AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) de vapeur froide après une extraction à l'acide nitrique (HNO₃) et à l'acide chlorhydrique (HCl) et une oxydation au permanganate de potassium et au persulfate (Environnement Canada, 1979). L'analyse du contenu total en métaux a été effectuée par digestion qui incluait l'acide nitrique (HNO₃), l'acide hydrochlorique (HClO₄), l'acide fluorhydrique (HF) et l'acide chlorhydrique (HCl) jusqu'à destruction complète de l'échantillon. Les digestats ont ensuite été analysés par AAS en 1989, 1992 et 1996 ou par ICP-AES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy) en 1990 et 1992 (Environnement Canada, 1979). Tous les composés organiques ont été extraits à l'aide de solvants organiques (acétone/hexane et dichlorométhane). Les concentrations en BPC (Aroclor et ou congénères) ont été quantifiées à l'aide d'une chromatographie en phase gazeuse. (Environnement Canada, 1979).

3. SÉDIMENTOLOGIE

L'analyse et l'interprétation des différents matériaux sédimentologiques recueillis au lac Saint-François a permis

de dresser des profils types de la sédimentologie et de la géochimie des sédiments de ce bassin lacustre en fonction de son évolution temporelle et d'évaluer la répartition spatiale des différents contaminants ayant affectés son environnement (Pelletier et Lepage, 2003).

Les profils type des composantes physiques du sédiment suggèrent que la déposition du matériel sédimentaire dans le bassin du lac Saint-François a été influencée par plusieurs événements anthropiques qui ont fait non seulement varier les composantes granulométriques mais également les taux de sédimentation au fil des années (fig. 2). Ces variations permettent de définir 5 unités sédimentaires distinctes depuis le début du 20^e siècle :

- L'unité du Lancaster Inférieur (1870-1920) contient principalement des sédiments du début de la période industrielle, déposés à un rythme moyen de 0,2 cm/an, il contiennent une forte quantité de sable et semble lié directement au débit du fleuve.
- L'unité supérieure du Lancaster regroupe une tranche sédimentaire de 30 ans (1920-1950) durant laquelle les débits du fleuve étaient relativement faibles et où les niveaux d'eau ont été rehaussés suite à la construction des barrages en aval du lac. Le taux de sédimentation passe de 0,2 à 0,4 cm/an.
- L'unité du Saint-Zotique Inférieur (1950-1960) principalement caractérisée par un très fort taux de sédimentation de 1,9 cm/an marque une période d'instabilité relative reliée à un apport considérable de particules terrigènes provenant principalement du dragage de la voie maritime, de l'érosion des berges et de l'aménagement au fil de l'eau du barrage Moses-Saunders en face de Cornwall.

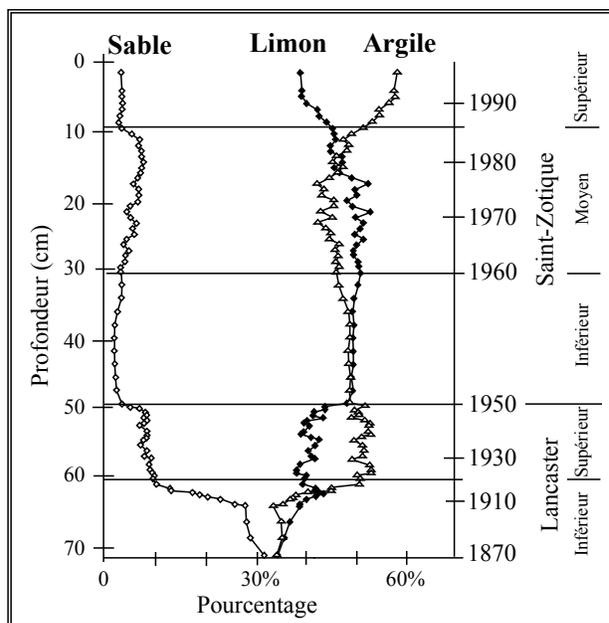


Figure 2. Profils et unités sédimentologiques des sédiments du lac Saint-François

La période du Saint-Zotique Moyen (1960-1985) est marquée par l'augmentation des débits du fleuve et l'ouverture de la Voie maritime du Saint-Laurent, favorisant l'augmentation du transit de marchandises entre Montréal et le lac Ontario. Ces événements semblent avoir favorisé une érosion plus agressive des dépôts de berge et des îles. Le taux de sédimentation passe alors à 0,8 cm/an..

- Durant le Saint-Zotique Supérieur (1985 à aujourd'hui), le dragage du chenal maritime aurait engendré une remise en suspension d'une forte quantité de matériaux fins qui se serait déposés dans les endroits les plus profonds du lac Saint-François, favorisant ainsi une faible augmentation du taux de sédimentation à 0,9 cm/an.

La répartition spatiale des sédiments sur l'ensemble du lac Saint-François suggère une évolution granulométrique relativement importante depuis 1979. De manière générale, la composition des sédiments est passée d'un sable limoneux à un limon argileux et sablonneux entre 1979 et 1999. Cette variation semble reliée à une importante diminution hydrodynamique d'une part et à l'érosion de zones argileuses en amont d'autre part. Cette baisse d'énergie lié à la modification de l'hydrodynamique et la présence plus abondante de plantes submergées dans des secteurs peu profonds comme ceux des îles Christatie et Hamilton (fig. 1 et 3) semblent également avoir favorisé la déposition des fractions limoneuses et des matières organiques dans le secteur amont du lac depuis 1989.

4. GÉOCHIMIE

Les substances toxiques mesurées dans les sédiments de surface du Lac Saint-François proviennent de trois sources majeures, soit : les eaux du fleuve provenant des Grands Lacs, les tributaires et les effluents municipaux. Aucune industrie importante n'est implantée directement sur les berges du lac Saint-François. Toutefois, les infrastructures industrielles de la région de Cornwall-Massena ont contribué à sa pollution en rejetant de nombreuses substances toxiques dans les tributaires et dans les effluents (Fortin *et al.*, 1994). Les études sédimentologiques et géochimiques effectuées depuis les années 70 ont montré la présence de fortes contaminations en mercure (Hg) et en biphényles polychlorés (BPC) dans les sédiments et les matières en suspension (MES) (Sloterdijk, 1985 ; Lorrain *et al.*, 1993 ; Vanier *et al.*, 1996 ; Lepage, 1999 ; Lepage *et al.*, 2001).

Au lac Saint-François, les biphényles polychlorés proviennent principalement des effluents des alumineries Reynolds Métal Co. et ALCOA et de la fonderie General Motors Corporation-Central Foundry Division. Ces trois entreprises sont situées en amont du lac dans le secteur de Massena juste en face de Cornwall. Pour sa part, le mercure origine des établissements industriels du secteur de Cornwall (Domtar, ICI, Cornwall Chemicals, Stanchem et Courtaulds) et des eaux usées de Cornwall, le mercure s'est répandu dans l'environnement du lac Saint-François depuis plus d'une cinquantaine d'années. Malgré une réduction

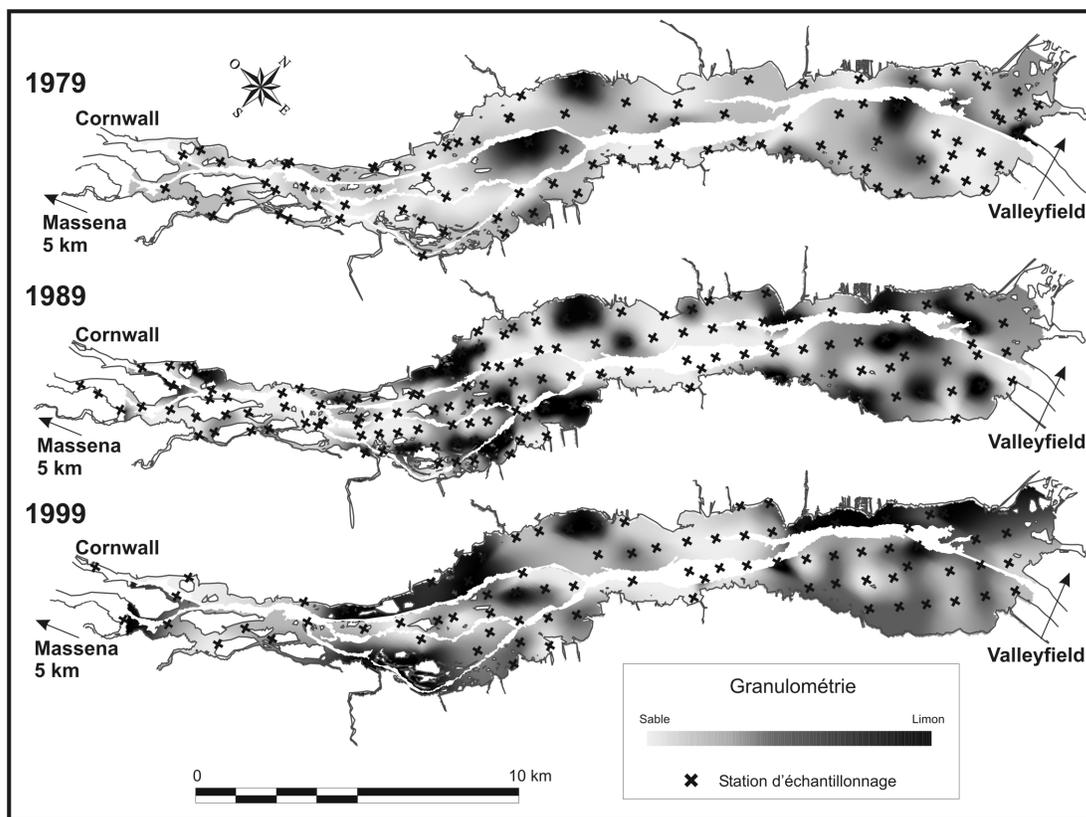


Figure 3. Répartition granulométrique des sédiments de surface au lac Saint-François entre 1979 et 1999

importante des rejets industriels contaminés entre 1970 et 1980, les effluents industriels montraient encore au début des années 80 des dépassements importants de la norme ontarienne pour le mercure (Fortin *et al.*, 1994).

Les profils temporels des principaux polluants suggèrent que l'évolution géochimique des contaminants se serait déroulée en quatre grandes étapes et qu'elle serait en correspondance avec les principales unités sédimentologiques (fig. 4) :

- Les premières traces de contaminants inorganiques apparaissent dans les sédiments vers le début du Lancaster avec l'implantation et l'ouverture des premières usines et avec un fort taux de développement démographique de la ville de Cornwall. Alors sans contrôle environnemental, les concentrations en métaux augmentent graduellement pour atteindre les niveaux les plus élevés vers la fin des années 1940.
- À la fin des années 40, et durant le Saint-Zotique Inférieur, les concentrations en métaux diminuent considérablement pour atteindre des teneurs proches de celles de la période préindustrielle. Cette diminution des teneurs semble être reliée à une forte dilution des concentrations produite par un apport important en particules allochtones propres dans le bassin.

• Après cette période de dilution des concentrations, les teneurs en métaux et en composés organiques augmentent de nouveau, mais plus rapidement, pour atteindre des niveaux similaires à ceux des années 1940. Durant la période du Saint-Zotique Moyen, les concentrations recommencent à diminuer graduellement suite aux premières mesures d'atténuation et de correction des émissions de produits toxiques.

• Enfin vers la fin des années 1980, les teneurs de la plupart des contaminants inorganiques augmentent pour une courte période de temps (≈ 5ans), interrompant le cycle précédent, suite vraisemblablement à la période de dragage de la Voie maritime entre 1988 et 1995

La représentation spatiale des résultats obtenus pour le mercure (fig. 5) et les BPC (fig. 6) montre que ces deux contaminants sont issus de sources très différentes. En effet, le mercure provenant principalement du secteur de Cornwall a fortement contaminé les sédiments des secteurs situés au nord de la voie navigable tandis que les BPC qui ont comme origine les usines du secteur de Massena ont contaminé les sédiments des secteurs sud du lac Saint-François. Cette différenciation est également observable au niveau des autres éléments inorganiques et composés organiques.

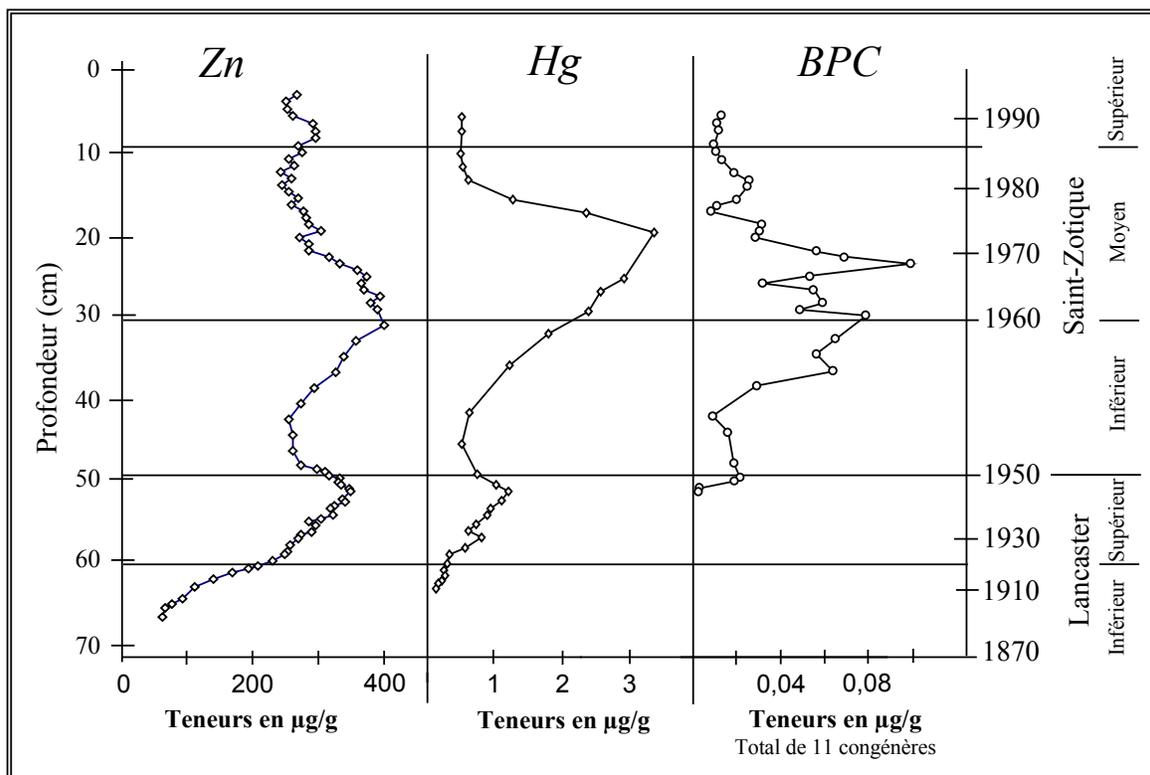


Figure 4. Profils géochimiques des principaux contaminants dans les sédiments du lac Saint-François

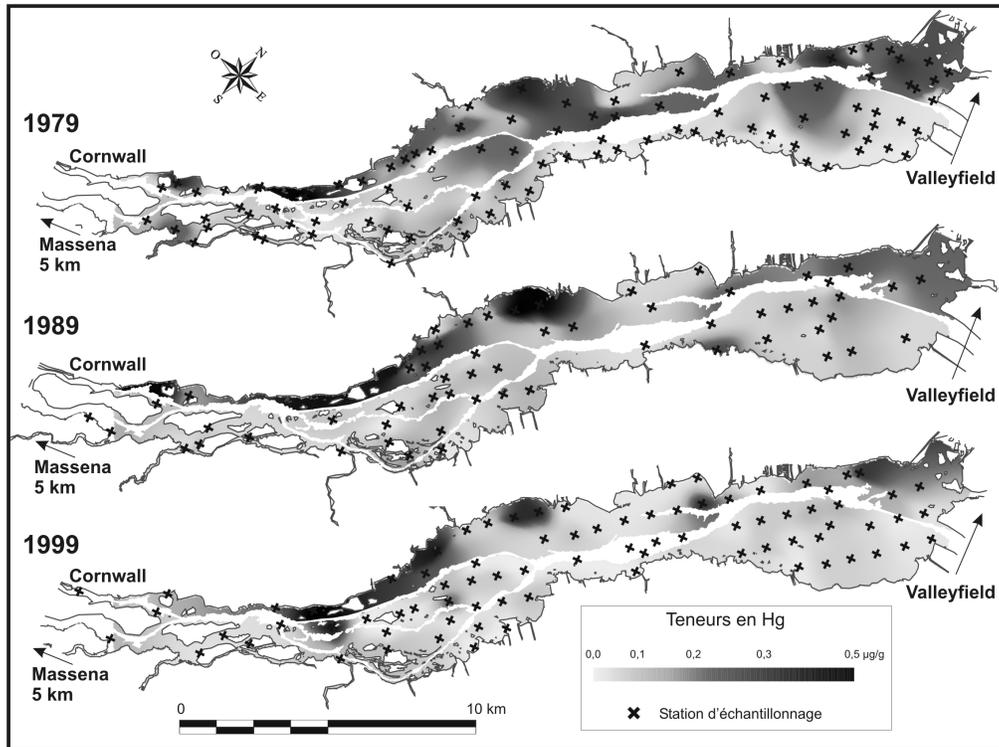


Figure 5. Répartition spatiale du mercure dans les sédiments de surface au lac Saint-François entre 1979 et 1999

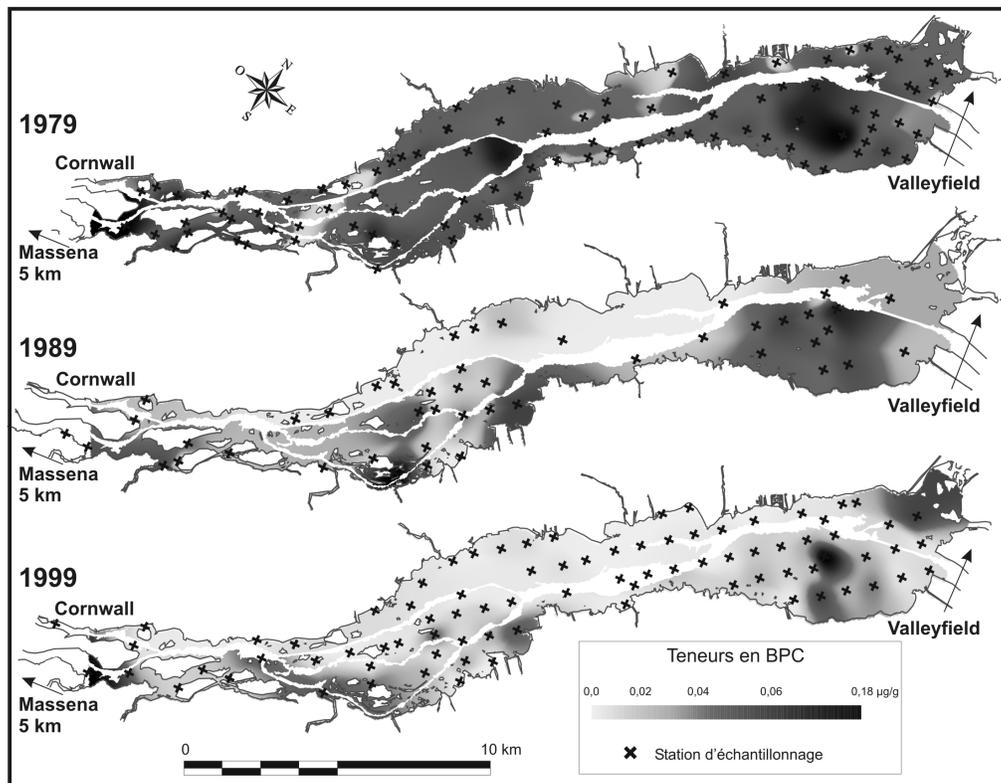


Figure 6. Répartition spatiale des BPC dans les sédiments de surface au lac Saint-François entre 1979 et 1999

De plus, la variabilité spatiale des contaminants entre les campagnes sédimentologiques décennales suggère que les contaminations en mercure et en BPC ont fortement diminué durant les 20 dernières années (tableau 1). Pour le mercure, cette diminution serait d'environ 50 p. 100 depuis 1979 faisant passer les teneurs moyennes de 0,47 à 0,23 µg/g, tandis que pour les BPC la diminution serait beaucoup plus importante et atteindrait près de 95 p. 100 apportant les teneurs moyennes de 0,397 à 0,028 µg/g. Ces diminutions semblent reliées à la fois aux fermetures de certaines usines, à l'application et aux respects des lois environnementales et à l'apport de matériaux plus propres dans le bassin sédimentaire du lac Saint-François.

Toutes les variations sédimentologiques et géochimiques identifiées dans cette étude montrent que le milieu sédimentaire du lac Saint-François est très sensible à tous événements anthropiques qui touchent de près ou de loin la dynamique sédimentaire ou l'hydrodynamique du bassin, que ce soit par la construction d'infrastructures, par le dragage de sédiments ou par le rejet de matériaux propres ou contaminés dans l'environnement.

Tableau 1. Concentrations moyennes en mercure et en BPC dans les sédiments de surface entre 1979 et 1999 pour chacune des rives du lac Saint-François

Rive nord du lac Saint-François		
Date	Hg en µg/g (n)	BPC en µg/g (n)
1979	0,47 ± 0,40 (40)	0,202 ± 0,240 (40)
1989	0,33 ± 0,21 (24)	0,018 ± 0,013 (12)
1999	0,23 ± 0,23 (29)	0,010 ± 0,018 (29)
Rive sud du lac Saint-François		
Date	Hg en µg/g (n)	BPC en µg/g (n)
1979	0,12 ± 0,11 (57)	0,397 ± 0,447 (57)
1989	0,12 ± 0,07 (38)	0,063 ± 0,057 (35)
1999	0,08 ± 0,08 (53)	0,028 ± 0,037 (54)

5. RÉFÉRENCES

Environnement Canada .1979. Analytical methods manual. Environnement Canada, Direction des eaux intérieures, division de la qualité des eaux, Région de l'Ontario.

Fortin, G., Leclair D. et Sylvestre A. 1994 Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du lac Saint-François. Rapport technique - Zone d'intervention prioritaire 1 et 2. Centre Saint-Laurent, Environnement Canada Région du Québec. 144p.

Lepage, S., Biberhofer H. et Lorrain S, 2000. Sediment dynamics and the transport of suspended matter in the upstream area of Lake St. Francis. ", Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57(Suppl. 1) : 52-62.

Lepage, S. 1999. Contamination des matières en suspension au lac Saint-François et dans le secteur

Cornwall-Massena. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-171, 188 p.

Lepage, S., Rondeau, B., Létourneau, G., et Richard, L.F., 2001. État d'avancement des projets CARCOIS et Érosion. Conférence-midi du Centre Saint-Laurent, Environnement Canada. Montréal, 23 mars 2001.

Lorrain, S., Jarry, V., et Guertin, K., 1993. Répartition spatiale et évolution temporelle des biphényles polychlorés et du mercure dans les sédiments du lac Saint-François ; 1979-1989. Environnement Canada, Conservation et protection - Région du Québec, Centre Saint-Laurent, 63p.

Pelletier, M., et Lepage, S., 2003. Évolution spatiale et temporelle de la sédimentologie et de la géochimie des sédiments du lac Saint-François au 20^e siècle. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique 145 p.

Richard, M.R., Fox, M.E., et Pick, F.R., 1997. PCB Concentrations and Congener Composition in Macrophytes and Sediments in the St. Lawrence River near Cornwall, Ontario, J. Great Lakes Res., Vol. 23, No : 3, pp. 297-306.

Sloterdijk, H., 1985. Substances toxiques dans les sédiments du Lac Saint-François. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec. 79p. + cartes.

Sloterdijk, H., 1991. Mercury and Organochlorinated Hydrocarbons in Surficial Sediments of the St. Lawrence River (Lake St. Francis). Water Poll. Res. J. Canada, Vol. 26, No : 1, pp. 41-60.

Vanier, C., Sylvestre, M., et Planas, D., 1996. Persistence and fate of PCBs in sediments of the Saint Lawrence River. The Science of the Total Environment, Vol. 192, pp. 229-244.