

DEVENIR DES POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS (POP) DANS LES SÉDIMENTS DE LA BAIE DES HA! HA! SUITE AU DÉLUGE DE 1996

Michel Lebeuf, Michelle Noël et Steve Trottier

Institut Maurice-Lamontagne, Ministère des Pêches et des Océans, Québec, Canada

RÉSUMÉ

En juillet 1996, des pluies diluviennes ont entraîné des tonnes de sol dans le réseau hydrique de la région du Saguenay. Les secteurs de la baie des Ha! Ha! et du bras nord de la rivière Saguenay ont été parmi les plus affectés par cet événement. À certains endroits, des dépôts de sédiment atteignant une épaisseur de plus de 20 centimètres ont été observés. Cette catastrophe naturelle offre une opportunité exceptionnelle d'étudier le devenir des polluants organiques persistants (POP) enfouis sous les nouveaux sédiments. Dès 1997, une carotte de sédiment a été récoltée dans le secteur nord de la baie des Ha! Ha! dans le but de déterminer les niveaux et les patrons des POP dans les nouveaux et les anciens sédiments. Les mesures de contenu en eau et de l'activité du ²¹⁰Pb dans les différentes couches de sédiment ont permis d'estimer à environ 20 centimètres l'épaisseur de la couche de nouveaux sédiments déposés à cet endroit en 1996. Les concentrations de biphényles polychlorés (BPC) et de pesticides chlorés (OC) mesurées dans les nouveaux sédiments étaient environ dix fois moins élevées que les concentrations maximales observées dans les sédiments en place avant les événements de 1996. Par ailleurs, des campagnes d'échantillonnage en 1999 et 2000 ont permis de récolter de nouvelles carottes de sédiment dans le même secteur permettant ainsi de suivre les changements temporels de la distribution des BPC et OC dans les nouveaux et les anciens sédiments. Les résultats indiquent clairement qu'au cours de cette période, les POP étudiés sont demeurés immobiles dans les sédiments de la baie des Ha! Ha!. Ainsi, la couche de nouveaux sédiments éloigne et isole les POP de l'interface eau-sédiment et les rend moins accessibles aux organismes benthiques et au transfert dans la chaîne alimentaire.

ABSTRACT

In July 1996, a deluge of rain has carried tons of soil into surface waters of the Saguenay region. Baie des Ha! Ha! was one of the most affected areas. At some locations within the bay, sedimentary depositions exceeded 20 cm. This natural catastrophe has offered an exceptional opportunity to study the fate of persistent organic pollutants (POPs) buried by new sediments. In 1997, a study was initiated in order to characterise the levels and patterns of POPs in both new and old sediments. A 45 cm long sediment core was collected from baie des Ha! Ha! and then sectioned in more than 20 layers. Water content and ²¹⁰Pb activity measured in the sediment layers allowed to estimate the thickness of the new sediment to about 20 cm. Concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorinated pesticides (OCs) measured in the new sediments were approximately ten times lower than maximum concentrations in sediments deposited prior to the 1996 flood. In addition, new sediment cores collected in 1999 and 2000 allowed us to monitor the changes in distribution of PCBs and OCs in both new and old sediments. Results indicated that within this time frame, POPs were barely mobile within sediments of baie des Ha! Ha!. Apparently, the new sediment layer moves away and isolates POPs from the water-sediment interface, reducing their access to benthic organisms and their transfer to the food web.

1. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, le Saguenay a été le site de plusieurs événements sensationnels dont le glissement de terrain de Saint-Jean Vianney en 1971, le séisme de 1988 et plus récemment, la crue de juillet 1996. Lors de ce dernier événement, des pluies diluviennes ont entraîné des millions de tonnes de sol dans le réseau hydrique du Saguenay provoquant ainsi une tragédie pour les habitants de la région (Lapointe et al. 1998). La baie des Ha! Ha! et le bras nord de la rivière Saguenay ont été parmi les secteurs les plus affectés par cet événement (Pelletier et al. 1999).

Les sédiments du Saguenay ont fait l'objet de plusieurs études portant sur la contamination industrielle locale par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), la matière organique ligneuse et certains métaux, dont le mercure (Hg) (Schafer et al. 1980; Smith et Loring 1981; Martel et al. 1986; Louchouart et al. 1997). À l'exception

des travaux de Brochu et al. (1995) sur les dioxines et furanes (D/F), nos connaissances de la contamination des sédiments du Saguenay par les polluants organiques persistants (POP) non-polaires dont font partie les biphényles polychlorés (BPC) et le 4,4'-dichloro-diphényl trichloréthane (DDT) et ses dérivés sont très limitées, voire inexistantes.

Le premier objectif de ce travail était de mesurer les concentrations des ces POP dans les nouveaux sédiments et les sédiments anciens (pré-déluge) afin de vérifier si la contamination des sédiments entraînés dans la baie des Ha! Ha! lors du déluge de juillet 1996 était supérieure à celle des sédiments en place. Cette catastrophe naturelle offrait également l'opportunité d'entreprendre une étude temporelle, en milieu naturel, sur le devenir des POP suite à un changement rapide du régime sédimentaire. Les sédiments et débris entraînés dans la baie des Ha! Ha! lors de la crue de juillet 1996 atteignaient à certains endroits une épaisseur de plus de 20 centimètres. Le second objectif

visait à évaluer la mobilité des POP associés aux nouveaux sédiments ainsi que ceux enfouis sous ces sédiments, par l'étude détaillée de carottes de sédiment prélevées dans la baie des Ha! Ha! à différents temps suite à la crue de 1996. Les résultats des analyses chimiques des POP dans les différentes couches des carottes de sédiment permettront de vérifier l'hypothèse voulant qu'un apport massif de nouveaux sédiments crée une barrière séquestrant les POP associés aux sédiments anciens.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Échantillonnage

L'échantillonnage des sédiments a été mené au cours de trois expéditions océanographiques à bord de *l'Alcide C. Horth*. Les campagnes ont eu lieu en juin 1997, 1999 et 2000. Au cours de chacune des campagnes d'échantillonnage, une carotte de sédiment a été prélevée à l'aide d'un carottier à boîte de type Mark II dans le secteur nord-est de la baie des Ha! Ha!. La localisation des stations d'échantillonnage est présentée à la Figure 1. Les carottes de sédiment ont été prélevées à des profondeurs de 171, 151 et 153 m respectivement pour les carottes prélevées en 1997, 1999 et 2000. Le secteur étudié est situé entre 6 et 9 km en aval de l'embouchure de la rivière des Ha! Ha! et représente un fond relativement plat dont la pente de dénivellation est de l'ordre de 0,1%.

Une fois à bord du navire, chaque carotte de sédiment a été immédiatement placée sur une table à découper (Edenborn et al. 1986) puis sous-échantillonnée en couches variant entre 1 et 4 cm d'épaisseur selon la profondeur des couches et de la zone de transition estimée entre les nouveaux et les anciens sédiments. Environ 300-400 ml de chaque couche de sédiment ont été transférés dans un pot de verre préalablement rincé aux solvants organiques pour l'analyse des contaminants. Après homogénéisation du sédiment, un sous-échantillon a été prélevé du pot de verre puis transféré dans un contenant de polypropylène pour les analyses de contenu en eau et de ²¹⁰Pb. Les échantillons ont été conservés à -20 °C.

2.2 Analyses chimiques des sédiments

Au laboratoire, les échantillons de sédiment utilisés pour les analyses de contaminants ont été décongelés puis homogénéisés et transférés dans des mortiers de verre préalablement rincés aux solvants. Après un séchage partiel à 40 °C dans un four à convection, environ 20 g de sédiment ont été mélangés à 50-100 g de sulfate de sodium. Une solution contenant le BPC 170 marqué au ¹³C₁₂ (étalon de recouvrement pour l'étape d'extraction) a été ajoutée au mélange solide lequel a ensuite été extrait au Soxhlet pendant 16 heures avec du toluène. La solution d'extraction a été concentrée à un volume d'environ 2 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif. Une solution constituée de 6 BPC (31, 52, 101, 118, 153, 180) marqués au ¹³C₁₂ et du 4,4' DDD-D₈ (étalons de recouvrement pour les étapes subséquentes) a été ajoutée à l'extrait avant d'y effectuer un traitement au cuivre métallique afin d'enlever le soufre.

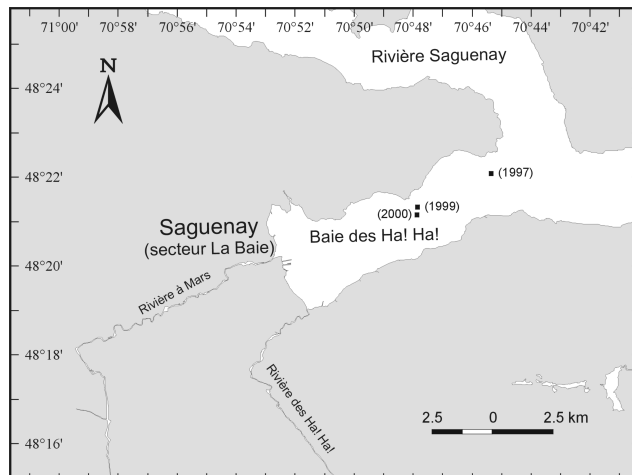


Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage des carottes de sédiment dans la baie des Ha! Ha!.

L'extrait a ensuite été élué sur une colonne de nettoyage constituée de couches successives de gel de silice neutre actif, de gel de silice imprégné de H₂SO₄ et de gel de silice imprégné de NaOH. Quelques gouttes d'isooctane ont été ajoutées à l'éluat qui a été concentré à environ 1 ml afin de subir un traitement au mercure métallique pour éliminer le soufre résiduel. L'extrait ainsi nettoyé a été concentré et récupéré dans l'isooctane et une solution d'évaluation de performance instrumentale (¹³C₁₂ BPC 111 et 189) y a été ajoutée.

L'analyse chromatographique des BPC 28, 31, 49, 52, 87, 95, 99, 101, 105, 110, 118, 138, 149, 153, 170 et 180 ainsi que des pesticides organochlorés 2,4' et 4,4' DDD, DDE et DDT a été effectuée à l'aide d'un chromatographe à gaz Varian 3400CX muni d'un auto-échantillonneur Varian 8200 et d'un injecteur programmable 'split/splitless' opéré en mode 'splitless'. Les analyses des BPC et des pesticides ont été effectuées séparément en injectant 5 µl d'extrait. La séparation s'effectuait sur une colonne capillaire de type DB-5MS (30 m, 0,25 mm-d.i., phase stationnaire de 0,25 µm d'épaisseur) avec l'hélium comme gaz porteur. Le chromatographe à gaz était couplé à un spectromètre de masse (SM) de type trappe ionique Varian Saturn 2000 opérée en mode d'ionisation par impact électronique avec détection en mode SM/SM. Deux ions ont été suivis pour chaque composé d'intérêt. Il a été vérifié que les fragments de composés ayant un haut poids moléculaire n'interféraient pas avec les fragments de poids moléculaire inférieur. Les résultats ont été corrigés sur la base du rendement des étalons de recouvrement. Le taux de recouvrement moyen observé dans les échantillons était de 83 ± 19% pour les BPC et de 95 ± 17% pour les pesticides.

La précision des analyses a été déterminée en calculant le coefficient de variation de 2 échantillons de sédiment analysés en duplicata et d'un échantillon de sédiment analysé en triplicata. Dans tous les cas, les BPC rencontraient le critère de précision de 25%, alors que l'un des échantillons excédait légèrement ce critère pour

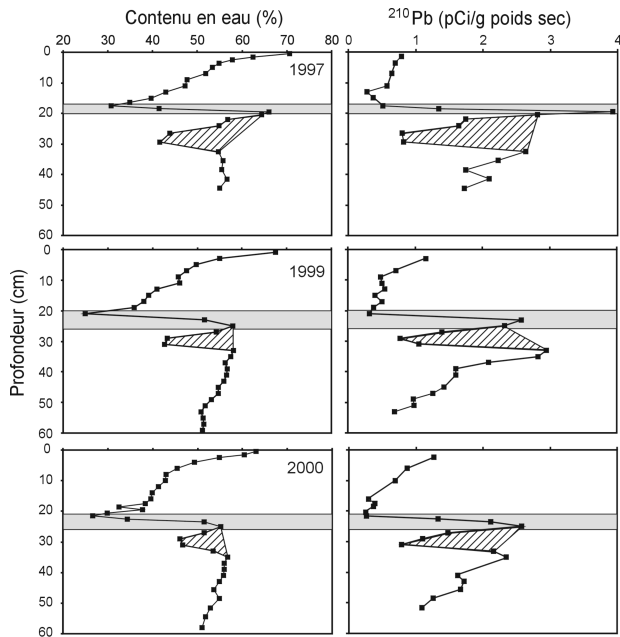


Figure 2. Distributions verticales du contenu en eau et de l'activité du ^{210}Pb dans les carottes de sédiment prélevées en 1997, 1999 et 2000. La bande ombragée représente une zone de transition situant l'interface nouveau-ancien sédiments. La zone hachurée représente une zone d'anomalie sédimentaire.

certains pesticides. L'exactitude de la méthode a été mesurée à partir de matériaux de référence pour lesquels les valeurs étaient certifiées (SRM 1941a et SRM 1944 du National Institute of Standard and Technology, Gaithersburg, MD). La justesse des valeurs obtenues était de $\pm 14\%$ dans le cas des BPC et variait de $+4\%$ à -24% pour les pesticides.

Les résultats des 16 congénères spécifiques de BPC ont été considérés individuellement pour l'élaboration des patrons de distribution tandis qu'ils ont été sommés (ΣBPC) dans les profils sédimentaires. Les concentrations des 2,4' et 4,4' DDE, DDD et DDT ont été rapportées comme la somme des DDT (ΣDDT).

Les échantillons de sédiment utilisés pour les analyses de contenu en eau et de ^{210}Pb ont d'abord été lyophilisés. Le contenu en eau a été déterminé à partir des pertes en eau après lyophilisation en corrigeant pour la salinité des eaux porales estimée à 30. L'analyse de ^{210}Pb a été effectuée en mesurant l'activité de ^{210}Po selon la méthode de Eakins et Morisson (1987). Afin de s'assurer qu'un équilibre séculaire était atteint entre les deux éléments, les analyses ont été effectuées après une période d'attente minimale de six mois. Les radionucléides ^{210}Po et ^{209}Po , ce dernier agissant comme traceur de rendement, ont été mesurés à l'aide d'un détecteur en silicium de 300 mm d'épaisseur couplé à un Canberra 8180 MCA. La précision des analyses en duplicata d'échantillons de sédiment était inférieure à 10% d'erreur pour les activités supérieures à 2 pCi/g poids sec et à moins de 20% d'erreur sous ce seuil.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Interface nouveau-ancien sédiments

L'analyse chimique détaillée des carottes de sédiment prélevées dans la baie des Ha! Ha! au cours des années qui ont suivi la crue de juillet 1996, nous permet d'effectuer une comparaison de divers paramètres entre les nouveaux et les sédiments anciens. Bien que les principaux paramètres chimiques mesurés relèvent de la contamination par les POP, d'autres paramètres, tels que le contenu en eau et l'activité de ^{210}Pb , ont été déterminés dans le but de situer l'interface nouveau-ancien sédiments.

Les profils du contenu en eau sont présentés à la Figure 2 pour les carottes prélevées en 1997, 1999 et 2000. Les trois carottes montrent la même tendance générale avec des valeurs de contenu en eau variant entre 60 et 70% en surface suivies d'une diminution importante dans approximativement les 20 premiers centimètres pour atteindre des niveaux de l'ordre de 25-30%. Cette diminution du contenu en eau de la couche superficielle de sédiment correspond parfaitement aux observations recueillies lors du sous-échantillonnage des carottes selon lesquelles les sédiments étaient très homogènes, de couleur grise, mais de plus en plus compacts en fonction de la profondeur.

Les profils montrent également que sous cette couche superficielle, une zone de transition des valeurs de contenu en eau sur une épaisseur de quelques centimètres est nettement identifiable. Nos observations indiquent que cette zone de transition est caractérisée par un changement de couleur des sédiments, passant d'un gris à un brun caractéristique des oxyhydroxydes de fer généralement présents dans les premiers centimètres de sédiments sous l'interface eau-sédiment. Cette zone de transition a donc été définie comme étant l'interface nouveau-ancien sédiments et identifiée par une bande ombragée sur les profils rapportés à la Figure 2. La profondeur moyenne de la zone de transition est de $18,5 \pm 1,5$, $23,0 \pm 3,0$ et $23,5 \pm 2,5$ cm respectivement pour les carottes prélevées en 1997, 1999 et 2000. On note que la profondeur de l'interface nouveau-ancien sédiments diminue en fonction de la distance de l'embouchure de la rivière des Ha! Ha!. Pelletier et al. (1999) ont prélevé deux carottes de sédiment situées à environ 10 km en aval de l'embouchure de la rivière des Ha! Ha! (station 13), ce qui correspond à une distance d'environ un kilomètre à l'est de la carotte prélevée en 1997 (Figure 1). Les profils de porosité rapportés dans leur étude ne montrent aucun indice de l'apport de nouveaux sédiments dans ce secteur. Ils ont cependant observé une décroissance des valeurs de porosité en fonction de la profondeur dans deux carottes prélevées à environ deux kilomètres de l'embouchure de la rivière des Ha! Ha! (station 2). Leurs résultats suggèrent que les carottes récoltées à la station 2 contiennent uniquement des nouveaux sédiments et que l'épaisseur de la couche de nouveaux sédiments atteignait plus de 35 cm à cet endroit. L'activité de ^{210}Pb a également été mesurée dans les différentes couches de sédiment afin de confirmer la position de l'interface nouveau-ancien sédiments. Le choix

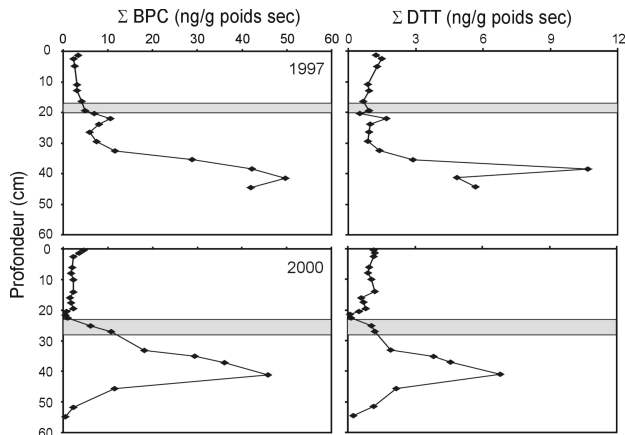


Figure 3. Profils sédimentaires de la somme des BPC (□BPC) et de la somme du DDT et ses dérivés (□DDT) dans les carottes prélevées en 1997 et 2000. La bande ombragée représente l'interface nouveau-ancien sédiments.

du ^{210}Pb est justifié par la mobilité restreinte de cet élément généralement fortement associé aux particules sédimentaires (Robin 1978). Les résultats de l'activité du ^{210}Pb montrent essentiellement les mêmes tendances que celles des valeurs de contenu en eau.

Sous la zone de transition définie pour chacune des carottes de sédiment (Figure 2), les distributions verticales observées caractérisent les sédiments en place avant les événements de 1996. Sur la base des observations courantes, on devrait s'attendre à ce que les valeurs de contenu en eau soient relativement constantes avec la profondeur tout en montrant une légère augmentation à la surface. De plus, les profils de l'activité du ^{210}Pb devraient décroître exponentiellement avec la profondeur dans les sédiments lorsque le mélange est négligeable. Cependant, sous la zone de transition de chacune des carottes de sédiment, on note un pic inversé, identifié par une zone hachurée sur les profils de contenu en eau et d'activité de ^{210}Pb rapportés à la Figure 2. L'allure des profils suggère la présence d'une anomalie sédimentaire pouvant résulter d'un événement de sédimentation rapide qui aurait précédé la crue de juillet 1996 ou encore de la crue elle-même conduisant à deux événements de sédimentation successifs. Les observations récoltées lors du sous-échantillonnage des carottes de sédiment, notamment par la présence de sédiment brunâtre dans la zone de transition, suggèrent que l'apport de sédiments correspondant à cette anomalie sédimentaire n'est pas liée à la crue de juillet 1996. De plus, nos observations décrivent cette zone comme étant riche en débris formant un sédiment hétérogène contenant, par exemple, des puits de vers benthiques.

3.2 Profils sédimentaires des ΣBPC et ΣDDT

Les résultats de l'analyse des BPC et DDT dans les différentes couches de sédiment des carottes prélevées en

1997 et 2000 sont présentés à la Figure 3. La bande ombragée rapportée sur chacun des profils sédimentaires représente la zone de transition entre les nouveaux et les anciens sédiments. Les concentrations de ΣBPC et de ΣDDT varient peu et sont respectivement d'environ 2,5 et 1,0 ng/g poids sec dans la couche de nouveaux sédiments de chacune des carottes. Sous l'interface nouveau-ancien sédiments, on observe un profil sédimentaire montrant de faibles concentrations des ΣBPC et ΣDDT dans les sédiments les plus anciens, situés à des profondeurs supérieures à environ 50 cm dans la carotte prélevée en 2000. Entre environ 35 et 45 cm de profondeur, les concentrations des ΣBPC et ΣDDT augmentent, atteignent un maximum puis diminuent dans les deux carottes analysées. Dans les couches situées immédiatement sous l'interface nouveau-ancien sédiments, entre environ 20 et 35 cm de profondeur, on observe une diminution des concentrations jusqu'à des valeurs se rapprochant de celles mesurées dans les nouveaux sédiments. Les profils sédimentaires des ΣBPC et ΣDDT dans les sédiments sous l'interface nouveau-ancien sédiments sont conformes aux plus récents travaux montrant qu'avant les événements de juillet 1996, la contamination par le Hg, les HAP et les D/F était généralement en décroissance dans les sédiments de surface du Saguenay (Martel et al. 1987; Brochu et al. 1995; Gagnon et al. 1997; Louchouart et Lucotte 1998).

Les concentrations moyennes de ΣBPC et de ΣDDT sont respectivement de 15 à 20 fois et de 8 à 10 fois plus faibles dans la couche de nouveaux sédiments par rapport aux concentrations maximums dans les sédiments anciens. Lorsqu'on compare la contamination dans les nouveaux sédiments à celle des sédiments de la partie supérieure des anciens sédiments, on constate que la diminution des concentrations de ΣBPC et ΣDDT est beaucoup plus faible et peut même s'avérer négligeable selon le POP et la carotte de sédiment considérés. Il est clair, cependant, que la nouvelle couche de sédiment vient considérablement éloigner les sédiments les plus contaminés de l'interface eau-sédiment, siège d'activités biologiques intenses et zone propice aux transferts des contaminants dans la chaîne alimentaire.

Sous l'interface nouveau-ancien sédiments, les profils sédimentaires des ΣBPC et ΣDDT ne mettent pas en évidence l'anomalie sédimentaire observée entre $26,5 \pm 6,0$ et $30,0 \pm 5,0$ cm de profondeur dans les profils de contenu en eau et de l'activité du ^{210}Pb des carottes de sédiment prélevées en 1997 et 2000 (Figure 2). Les profils rapportés à la Figure 3, particulièrement ceux de la carotte prélevée en 2000, suggèrent que cette anomalie sédimentaire est indépendante des événements de juillet 1996.

3.3 Mobilité des congénères de BPC

La mobilité des POP dans les sédiments a été évaluée à l'aide d'une analyse détaillée des patrons de la distribution des différents congénères de BPC mesurés. La concentration de chaque congénère spécifique (BPC_x) a d'abord été normalisée par rapport à celle du congénère 2,2',3,3',4,4'-hexachlorobiphényle (BPC 153) déterminée

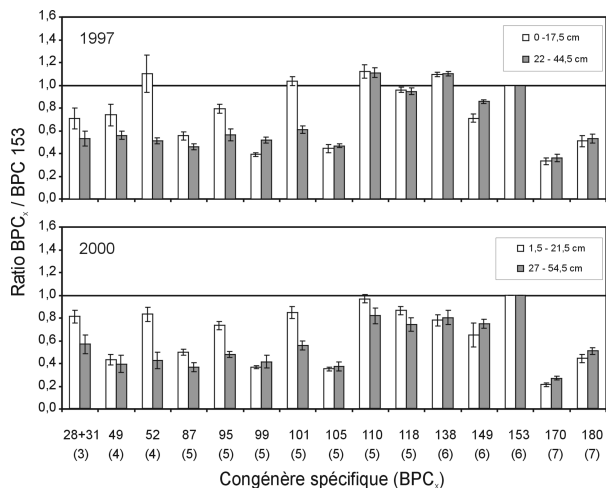


Figure 4. Patrons de la distribution relative des BPC dans les couches de nouveaux sédiments et de sédiments anciens dans les carottes prélevées en 1997 et 2000. Le nombre d'atomes de chlore est rapporté entre parenthèses pour chaque congénère de BPC.

dans chacune des couches de sédiment. Les résultats analytiques ont ensuite été regroupés selon les intervalles de profondeur des couches de sédiment à comparer puis les valeurs moyennes calculées. Les patrons de la distribution relative des congénères de BPC sont rapportés selon un ordre croissant du nombre d'atomes de chlore sur la molécule, ce qui correspond également à une augmentation du poids moléculaire des congénères ainsi qu'à une diminution de la solubilité dans l'eau de ces composés non-polaires (Dunnivant et Elzerman 1988).

La Figure 4 montre les patrons de la distribution relative des congénères de BPC dans les nouveaux sédiments ainsi que dans les sédiments anciens, situés sous l'interface nouveau-ancien sédiments pour les carottes prélevées en 1997 et 2000. La couche supérieure de la carotte de sédiment prélevée en 2000 a été omise lors des calculs des patrons puisqu'elle ne représente pas les sédiments entraînés lors de la crue de 1996. Les sédiments anciens sont constitués de toutes les couches de sédiment sous la zone de transition nouveau-ancien sédiments puisque les couches faisant partie de la zone d'anomalie sédimentaire montrent des patrons identiques à ceux des sédiments anciens sous cette zone. Cette similarité de patrons de BPC vient confirmer que la zone d'anomalie sédimentaire est indépendante des événements de juillet 1996.

Les résultats indiquent que les patrons des BPC dans les nouveaux sédiments sont différents de ceux dans les anciens sédiments. Les différences les plus significatives, montrant un enrichissement relatif dans les nouveaux sédiments, sont observées pour les congénères BPC 52, 95 et 101. Des différences significatives entre les nouveaux et les anciens sédiments sont également observées pour la majorité des congénères légers tandis que les congénères plus lourds ne montrent pas de différences. Ces résultats

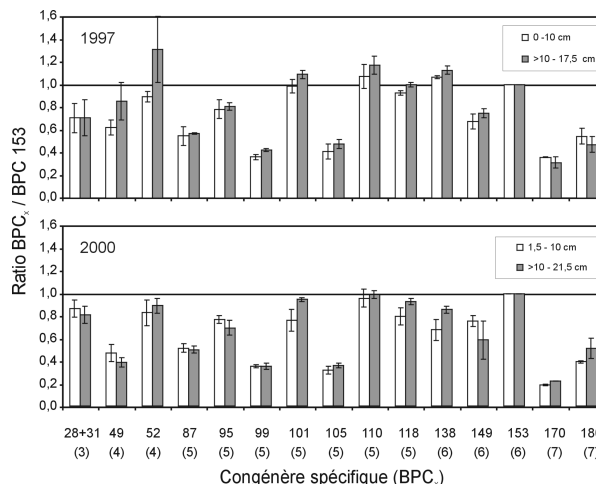


Figure 5. Patrons de la distribution relative des BPC dans les zones supérieure et inférieure des couches de nouveaux sédiments dans les carottes prélevées en 1997 et 2000. Le nombre d'atomes de chlore est rapporté entre parenthèses pour chaque congénère de BPC.

indiquent que les sédiments entraînés dans la baie des Ha! Ha! lors de la crue de 1996 sont de nature différente des sédiments qui étaient en place avant cet événement. Les résultats ne permettent cependant pas de préciser si la contamination par les BPC provient d'une ou de plusieurs sources. Il est possible, en effet, qu'une seule source prédominante de BPC soit à l'origine de la contamination des sédiments mais qu'une différence de cheminement dans le milieu puisse expliquer les patrons dissimilaires observés. On sait, par exemple, que plusieurs congénères de BPC dont les BPC 52, 95 et 101 sont métabolisés par les organismes marins, notamment par les poissons, sous l'action enzymatique du cytochrome de type P450 (Boon et al. 1992). Ainsi une transition plus lente des BPC dans le milieu marin avant leur déposition dans les sédiments anciens, par comparaison à l'apport éclair lors de la crue de 1996, aurait pu conduire à un appauvrissement relatif de la proportion des congénères de BPC les moins persistants.

La similarité des résultats observés entre les sédiments nouveaux et anciens dans les carottes prélevées en 1997 et 2000 suggère qu'au cours des années qui ont suivi le déluge de 1996, la mobilité des différents congénères de BPC a été suffisamment restreinte pour ne pas entraîner de changements importants dans les patrons de la distribution des BPC. Afin de confirmer l'immobilité des congénères de BPC dans les sédiments de la baie des Ha! Ha!, les patrons de la distribution des BPC ont été examinés en détail dans les sédiments entraînés lors du déluge. Ainsi, des zones supérieure et inférieure de la couche de nouveaux sédiments ont été définies pour les carottes de sédiment prélevées en 1997 et 2000. Les patrons de la distribution relative des BPC ont été déterminés pour chacune des carottes et les résultats sont rapportés à la Figure 5. La comparaison des patrons de la distribution des BPC dans les zones supérieure et inférieure de la couche de nouveaux

sédiments indique que la distribution des différents congénères de BPC était relativement homogène en 1997 et qu'elle était toujours inchangée en 2000.

Sur la base des résultats rapportés dans ce travail, les différents congénères de BPC mesurés sont demeurés immobiles dans les sédiments de la baie des Ha! Ha!. Malgré la présence d'une contamination en BPC nettement supérieure dans les sédiments anciens, générant un gradient de concentration qui devrait favoriser la diffusion des BPC, les différents congénères de BPC ne se seraient pas déplacés significativement dans les sédiments au cours des 4 années suivant l'apport de nouveaux sédiments. Ces résultats sont en accord avec ceux de Wong et al. (1995) qui ont montré que la diffusion des congénères de BPC dans les sédiments lacustres ne conduit pas à des changements significatifs de profil d'accumulation sédimentaire.

4. CONCLUSIONS

Les profils du contenu en eau et de l'activité en ²¹⁰Pb dans les carottes de sédiment récoltées dans la baie des Ha! Ha! ont permis de clairement situer la zone de transition définissant l'interface ancien-nouveaux sédiments suite au déluge de juillet 1996 dans la région du Saguenay.

L'apport de nouveaux sédiments a eu pour effet de légèrement réduire le niveau de la contamination par les ΣBPC et ΣDDT dans les sédiments de surface par rapport aux sédiments de surface en place avant cet événement.

Cette nouvelle couche de sédiment a permis d'éloigner d'une manière significative les couches de sédiment les plus contaminées de l'interface eau-sédiment. Ceci a pour conséquence de réduire l'accessibilité des organismes benthiques aux couches de sédiment les plus contaminées favorisant ainsi une diminution du transfert de ces contaminants, via la chaîne alimentaire, dans le réseau trophique du Saguenay. De plus, la nouvelle couche de sédiment vient également réduire les risques de resuspension des sédiments les plus contaminés par le brassage des sédiments de surface.

Enfin, l'immobilité des BPC dans les sédiments supporte la thèse que l'apport de nouveaux sédiments permet de créer une barrière efficace pour remédier à une contamination sédimentaire ancienne par des contaminants organiques persistants.

5. REMERCIMENTS

Nous remercions Gilles Fortin pour la préparation de la Figure 1, le capitaine du *Alcide C. Horth*, André Richard et les chefs de mission Jean Munro et Pierre Nellis et leurs équipes.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Boon, J.P., van Arnhem, E., Jansen, S., Kannan, N., Petrick, G., Schulz, D., Duinker, J.C., Reijnders, P.J.H. et Goksoyr, A. 1992. The toxicokinetics of PCBs in marine mammals with special reference to possible interactions of individual congeners with the cytochrome P450-dependent monooxygenase system: an overview. In Persistent Pollutants in marine ecosystems Walker, C.H., Livingstone, D.R. [Eds], Setac special publication series, Pergamon Press, Oxford, pp.119-159.
- Dunnivant, F.M. et Elzerman, A.W. 1988. Aqueous solubility and Henry's Law constant data for PCB congeners for evaluation of quantitative structure-property relationships (QSPRs). *Chemosphere*, Vol. 17, pp. 525-541.
- Eakins, J.D. et Morrison, R.T. J. A new approach for the determination of lead-210 in lake and marine sediments. *Appl. Radiat. Isot.* 1978, 29, 531-536.
- Edenborn, H.M., Mucci, A., Belzile, N., Lebel, J., Silverberg, N. et Sundby, B. 1986. A glove box for the fine-scale subsampling of sediment box core. *Sedimentology*, Vol. 33, pp. 147-150.
- Lapointe, M.F., Secretan, Y., Driscoll, S.N., Bergeron, N. et Leclerc, M. 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. *Water Resource Research*, Vol 34, pp. 2383-2392.
- Loulouarn, P., Lucotte, M., Canuel, R., Gagné, J.-P. et Richard, L.-F. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the lower St. Lawrence estuary and the Saguenay fjord. *Marine chemistry*, Vol. 58, pp.3-26.
- Martel, L., Gagnon, M.J., Massé, R., Leclerc A. et Tremblay, L. 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Saguenay fjord, Canada. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. Vol. 37, pp. 133-140.
- Pelletier, É. et Canuel, G. 1988. Trace metals in surface sediment of the Saguenay fjord, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 19, pp. 336-338.
- Pelletier, É., Deflandre, B., Nozair, C., Tita, G., Desrosiers, G., Gagné, J.-P. et Mucci, A. 1999. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec). 2. Impacts sur les sédiments et le biote de la baie des Ha!Ha! et du fjord du Saguenay. *Canadian journal of fisheries and aquatic science*. Vol. 56, pp. 2136-2147.
- Robbins, J.A. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. In *The Biogeochemistry of Lead in the Environment*, Part A; Nriagu, Ed., J.O., New York: Elsevier/North Holland Biomedical Press: New York, 1978; p. 340.
- Schafer, C.T., Smith, J.N. et Loring, D.H. 1980. Recent sedimentation events at the head of the Saguenay fjord, Canada. *Environmental Geology*, Vol. 3, pp.139-150.
- Smith, J.N. et Loring D.H. 1981. Geochronology for mercury pollution in the sediments of the Saguenay fjord, Quebec. *Environmental Science and Technology*. Vol. 15, pp. 944-951.
- Wong, C.S., Sanders, G., Engstrom, D.R., Long, D.T., Swackhamer, D.L. et Eisenreich S.J. 1995. Accumulation, inventory, and diagenesis of chlorinated hydrocarbons in lake Ontario sediments. *Environmental Science and Technology*, Vol. 29, pp. 2661-2672.