

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



07013414

FEUILLET D'INFORMATION SUR L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SAINT-LAURENT

INSTITUT MAURICE-LAMONTAGNE • CENTRE DE RECHERCHE EN SCIENCES DE LA MER

LES HAP DANS LE FJORD DU SAGUENAY



Photo : J. Beardell / Parcs Canada

Le fjord du Saguenay, principal tributaire de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, constitue un secteur de préoccupation environnementale, notamment en raison de sa contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques, mieux connus sous le sigle de HAP. L'inquiétude suscitée par les HAP découle principalement du potentiel cancérigène de certains composés. Néanmoins, depuis la mise en oeuvre, il y a quelques années, de mesures d'assainissement et de changements dans les procédés industriels, les concentrations de HAP mesurées dans l'environnement du fjord du Saguenay ont considérablement régressé.

DESCRIPTION ET PROPRIÉTÉS DES HAP

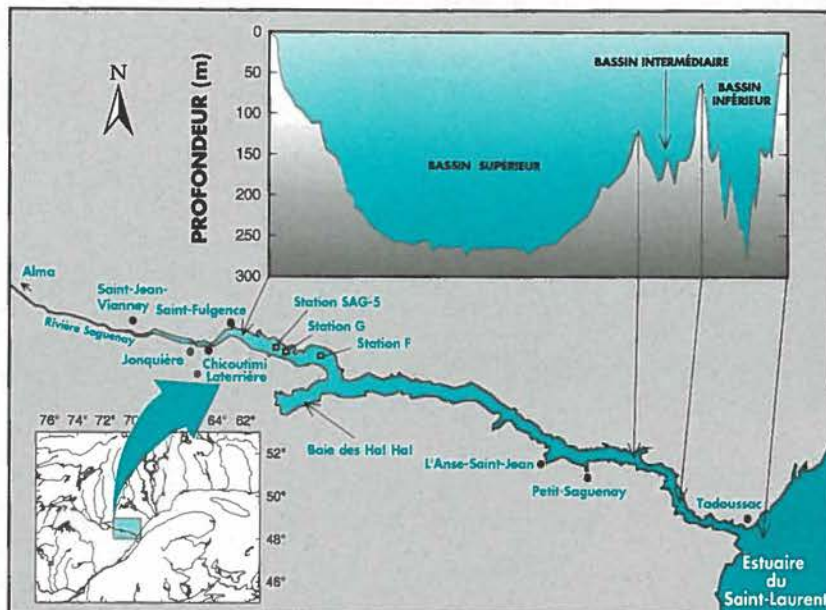
Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une famille de composés chimiques constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène dont la structure des molécules comprend au moins deux anneaux aromatiques fusionnés, chacun composé de cinq ou six atomes de carbone. La famille des HAP comprend environ une centaine de substances qui diffèrent entre elles par le nombre d'anneaux et leur position respective. L'appellation *HAP total* est généralement utilisée pour représenter un ensemble de 12 à 21 HAP présents dans l'environnement. Ainsi, le nombre de composés de HAP mesurés dans l'environnement varie selon les études

et, par conséquent, il faut être prudent lorsqu'on compare des résultats découlant des différents travaux effectués sur ces substances. Les HAP peuvent être subdivisés en deux groupes: les HAP à masse moléculaire faible, formés de moins de quatre anneaux, et les HAP à masse moléculaire élevée, à quatre anneaux ou plus. Les HAP à masse moléculaire faible sont solubles dans l'eau et ont peu tendance à se lier aux particules. Par contre, les HAP à masse moléculaire élevée sont généralement très peu solubles dans l'eau et ont une forte tendance à se fixer à la surface des particules en suspension dans l'air et dans l'eau.

0612190
 6H
 541.5
 53
 F48
 3P

LE FJORD DU SAGUENAY

Le fjord du Saguenay s'étend sur près de 100 kilomètres entre Saint-Fulgence et Tadoussac à environ 160 km au nord-est de Québec. Ses eaux s'écoulent dans une ancienne vallée glaciaire et se déversent dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. La partie supérieure du Fjord est en forme de «Y», le bras sud formant la baie des Ha! Ha! et le bras nord formant la partie amont du cours principal du Fjord où se termine la rivière Saguenay. Trois seuils, se présentant sous la forme de montagnes sous-marines, délimitent trois bassins profonds. Le bassin supérieur, situé en amont, atteint 275 mètres de profondeur et couvre les trois quarts du Fjord. Les bassins intermédiaire et inférieur ont une profondeur maximale respective de 180 et 275 mètres.



D'OÙ VIENNENT LES HAP?

Les HAP proviennent principalement de la combustion incomplète de matières organiques. De façon naturelle, ils sont largement répandus dans l'environnement et leur formation résulte surtout des feux de forêt et d'herbage et de l'activité volcanique. Les HAP sont également présents à l'état naturel dans des dérivés du charbon et du pétrole. Aujourd'hui, la majeure partie des HAP présents dans l'environnement proviennent de l'activité humaine. Les HAP peuvent pénétrer directement dans le milieu aquatique par des effluents industriels et municipaux, des déversements accidentels de pétrole brut et de produits du pétrole, ainsi que par le dégagement des HAP présents dans les matériaux créosotés utilisés dans l'eau (par exemple, sur les pilotis). Les eaux

souterraines et de ruissellement des secteurs urbains et industriels peuvent représenter une source diffuse de HAP pour l'environnement marin. Enfin, à peu près tous les processus de combustion faisant intervenir des carburants organiques peuvent produire des HAP. Les plus importants sont la combustion incomplète de matières fossiles pour chauffer les résidences et pour le transport (gaz d'échappement des véhicules automobiles), l'incinération des ordures, la fusion réductrice de l'alumine pour la production d'aluminium, le craquage catalytique du pétrole brut ainsi que la liquéfaction et la gazéification du charbon. Ces activités humaines rejettent dans l'atmosphère des HAP qui auront tendance à se fixer à des particules en suspension dans l'air et dont une partie sera introduite dans l'environnement aquatique par les dépôts atmosphériques.

TABLEAU 1

Principales sources de HAP au Québec en 1990.

Sources	HAP rejetés	
	QUANTITÉ (tonnes)	PROPORTION (%)
Fonderies d'aluminium	858	71
Chauffage résidentiel au bois	162	14
Feux de forêt	148	12
Transport (diesel et essence)	33	3
Total	1201	100

Source: Germain et coll., 1994.

LA SITUATION AU QUÉBEC ET AU SAGUENAY

En 1990, un inventaire des sources de HAP (voir Tableau 1) a démontré que la production de l'aluminium de première fusion était le secteur d'activités occupant le premier rang (71 %) pour la quantité de HAP émise annuellement dans l'atmosphère au Québec. Les concentrations les plus élevées de HAP dans l'air ont été mesurées à Jonquière ($0,457 \mu\text{g}$ de HAP/ m^3) où une aluminerie utilisant le procédé d'électrolyse de l'alumine avec cuves de type Söderberg est toujours en opération. Il est à noter que le procédé Söderberg à goujons horizontaux génère 2,05 kg de HAP par tonne d'aluminium produite alors que le nouveau procédé à anodes précuites ne génère que 0,0013 kg de HAP par tonne d'aluminium produite.

L'HISTOIRE DE LA CONTAMINATION DU FJORD PAR LES HAP

En raison de la forte sédimentation dans le bras nord du fjord du Saguenay et des apports importants de matière organique provenant des usines de pâtes et papiers et des scieries, on a pu établir une chronologie relativement précise des apports de HAP à partir de carottes de sédiments prélevées dans ce secteur. L'évolution des concentrations de HAP dans les sédiments illustre les principaux événements associés au développement de l'industrie de l'aluminium dans la région de Chicoutimi. Les concentrations de HAP dans les couches pré-industrielles sont généralement inférieures à 0,5 µg/g (voir Figure 1, station F). Au cours des années 1930, les concentrations de HAP dans les sédiments du Fjord doublent, une augmentation qui s'explique probablement par la mise en opération de l'aluminerie de Jonquière en 1926. Plus tard, afin de répondre à la demande grandissante d'aluminium, l'usine de Jonquière s'agrandit et est

convertie au procédé Söderberg alors qu'une nouvelle usine, utilisant également le procédé Söderberg, est construite à Alma. Pour limiter la pollution de l'air, des systèmes d'épurateurs d'air sont installés dans les salles de cuves. Entre 1956 et 1976, les effluents liquides provenant de ces systèmes et contenant des HAP en quantité importante sont directement déversés dans la rivière Saguenay, ce qui entraîne une augmentation importante de l'apport en HAP dans les sédiments du fjord du Saguenay. Les HAP dans les sédiments du bras nord du Fjord atteignent des concentrations supérieures à 16 µg/g dans les années 1960 (voir Figure 1, station G) et supérieures à 20 µg/g au milieu des années 1970 (voir Figure 1, station SAG-5). Les faibles concentrations mesurées au début des années 1970, aux stations G et SAG-5, sont le reflet d'une dilution causée par l'apport de sédiments non contaminés provenant du glissement de terrain de Saint-Jean-Vianney en 1971.

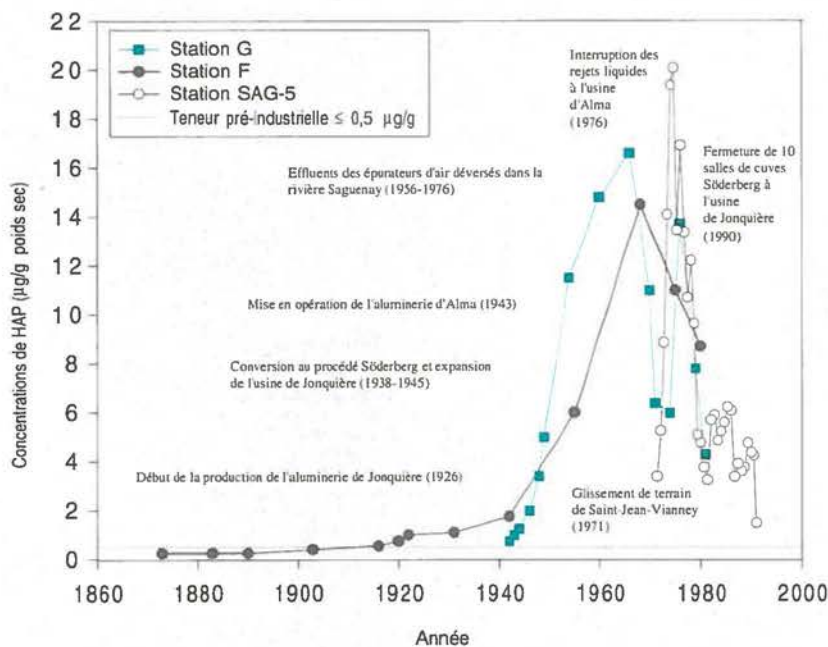


Figure 1 Variations temporelles des concentrations de HAP dans les sédiments du bras nord du fjord du Saguenay. La localisation des stations est indiquée sur la carte du fjord du Saguenay.

Sources: Stations F et G: Martel et coll., 1987.
Station SAG-5: données inédites 1992, É. Pelletier, INRS-Océanologie, Rimouski. Les années ont été estimées en utilisant le taux de sédimentation.

Par la suite, la situation s'améliore grandement. De 1976 à 1981, on observe une diminution d'environ 70 % des concentrations de HAP dans les sédiments du Fjord, une réduction qui suit l'interruption des rejets des effluents liquides de l'aluminerie d'Alma entre autres, en 1976. En 1990, 10 salles de cuves Söderberg sont fermées à l'usine de Jonquière et sont remplacées par des cuves à anodes précuites. Ces dernières éliminent la génération de HAP à la source (pas d'effluents liquides de HAP) et sont installées à une nouvelle aluminerie plus moderne située à Laterrière. De plus, les effluents liquides avec un contenu élevé en HAP sont pratiquement éliminés de toutes les alumineries et les émissions en HAP diminuent constamment à partir de 1976. Plus récemment, l'analyse d'une carotte de sédiments prélevée en 1992 montre que les concentrations de HAP dans les sédiments superficiels ont rejoint les teneurs observées dans les sédiments datant des années 1940 (voir Figure 1, station SAG-5).

L'ÉTENDUE DE LA CONTAMINATION DANS LE FJORD

Une étude de la distribution spatiale des concentrations en HAP dans les sédiments de surface du fjord du Saguenay a été réalisée en 1983. Puisque plusieurs HAP se fixent aux particules, le taux de sédimentation des matières en suspension dans la colonne d'eau est utilisé pour expliquer les variations des concentrations de HAP observées dans les sédiments de surface du Fjord. Dans la rivière Saguenay, où la sédimentation est faible, les concentrations sont faibles, à l'exception des échantillons prélevés à proximité des alumineries. Dans la partie amont du bassin supérieur du Fjord, les taux de sédimentation sont élevés (environ 7 cm par année) et les teneurs en HAP dans les sédiments de surface de ce secteur sont les plus élevées du Fjord (voir Figure 2). Les concentrations de HAP diminuent progressivement à mesure que l'on se dirige vers l'estuaire du Saint-Laurent. Près de l'Estuaire, où le Fjord devient moins profond, les courants sont plus forts et la taille des grains de sédiment est plus grossière, les concentrations sont les plus faibles. Néanmoins, des teneurs en HAP plus élevées ont été mesurées jusqu'à 60 km de Chicoutimi dans le fjord du Saguenay. Il est à noter que la légère diminution observée à la tête du Fjord (entre les stations 18 et 10) s'explique par une dilution des HAP provoquée par l'arrivée importante de matériel particulaire en provenance de la baie des Ha! Ha! où est située une usine de pâtes et papiers. Finalement, ces résultats montrent clairement que les principales sources de HAP sont localisées dans la partie amont du Fjord. Aujourd'hui, si on refaisait la même étude, il est probable que le même patron se répéterait, mais avec des concentrations plus faibles. D'ailleurs, suite à l'apport considérable de nouveaux sédiments, lors des inondations majeures de juillet 1996, les niveaux de HAP dans les zones affectées dans la partie amont du Fjord ont pu chuter dans les sédiments de surface.

Figure 2

Distribution spatiale des concentrations de HAP (somme de 21 composés) dans les sédiments de surface du fjord du Saguenay en 1983. Les nombres sur la courbe correspondent aux stations d'échantillonnage présentées sur la carte.

Source: Martel et coll., 1986.

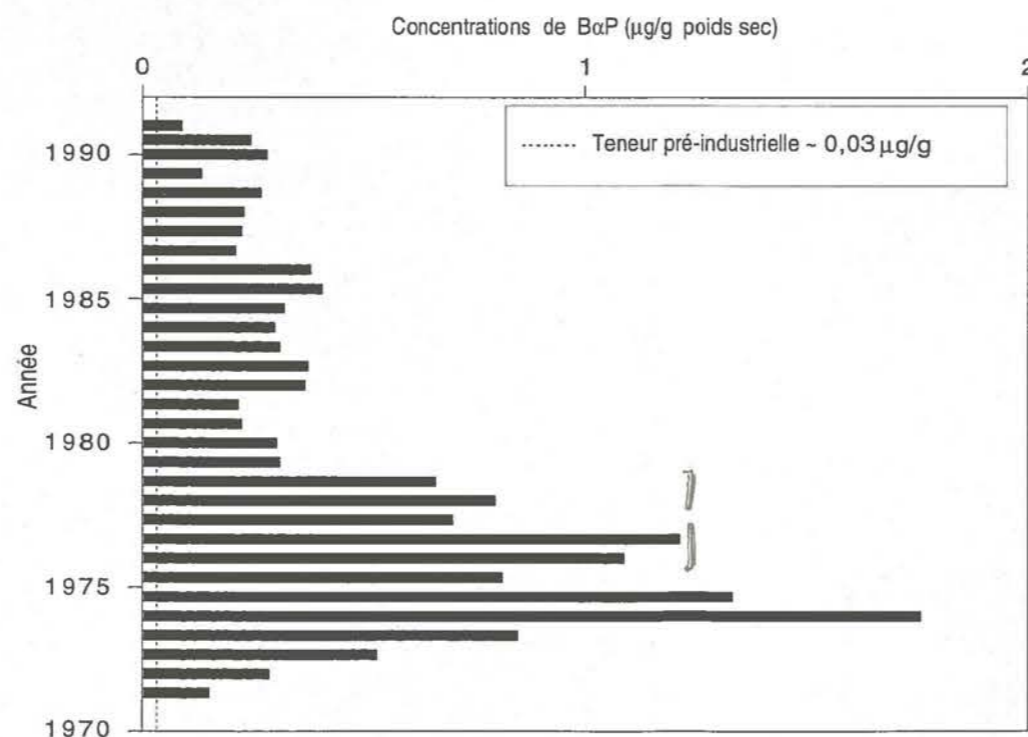
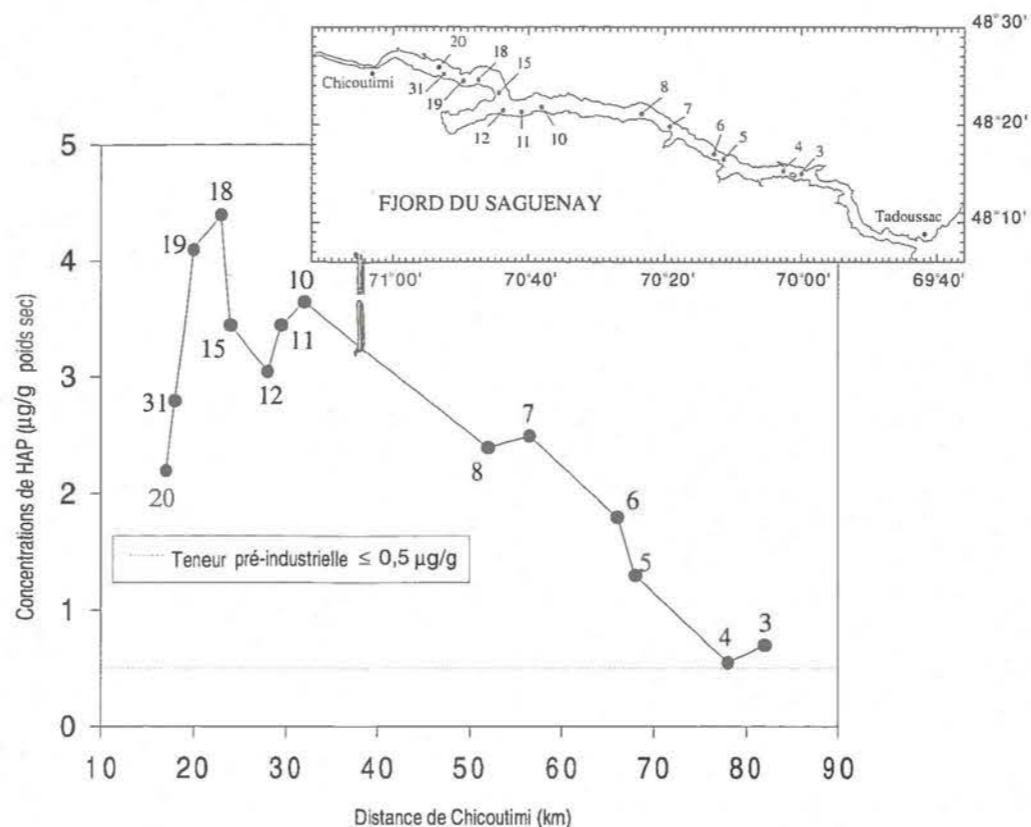


Figure 3

Concentrations de BαP mesurées dans une carotte de sédiments prélevée à la station SAG-5 en 1992.

Sources: Données inédites, É. Pelletier, INRS-Océanologie, Rimouski. Les années ont été estimées en utilisant le taux de sédimentation. Teneur pré-industrielle: Martel et coll., 1987.

LE PLUS PRÉOCCUPANT DES HAP : LE BENZO[α]PYRÈNE

Le benzo[α]pyrène (BαP), un HAP à 5 cycles dont les propriétés cancérigènes sont reconnues, représente 3 % des HAP émis par les alumineries. En raison de sa toxicité et de celle de ses métabolites, le BαP est le HAP le plus préoccupant d'un point de vue environnemental et a donc reçu beaucoup d'attention de la part des scientifiques. Étant donné sa faible solubilité dans l'eau et sa grande affinité d'adsorption à la surface des particules, les concentrations de BαP en solution dans l'eau sont relativement faibles (inférieures à 0,008 µg/L). Afin d'évaluer la qualité des sédiments du Fjord, on peut comparer les concentrations de BαP mesurées dans une carotte de sédiments prélevée en 1992 avec la concentration de BαP mesurée dans les couches profondes de sédiments déposés avant l'ère industrielle (voir Figure 3). On voit que les concentrations de BαP dans les sédiments du bras nord du Fjord, particulièrement au cours des années 1970, étaient grandement supérieures à la teneur pré-industrielle. Par contre, les concentrations dans les sédiments les plus récents avaient diminué d'un facteur 18 par rapport au maximum observé et se situaient aux environs de 0,09 µg/g avant les inondations de juillet 1996.

Tout récemment, des chercheurs ont développé un modèle mathématique permettant de prédire les quantités, les concentrations de même que les taux de transport et de transformation du BαP dans l'eau et les sédiments du fjord du Saguenay. Les résultats du modèle indiquent que seulement 40 % de la quantité totale de BαP présente dans le secteur du bras nord du Fjord est associée aux sédiments alors que le reste (60 %) se retrouve dans la colonne d'eau, associé aux particules en suspension ou sous forme dissoute. Cependant, malgré une charge de contaminant plus importante, les concentrations de BαP sont plus faibles dans la colonne d'eau que dans les sédiments en raison d'un facteur de dilution plus important dans la colonne d'eau. Environ 43 % du BαP entrant dans le Fjord y demeurerait alors que la majorité (57 %) serait transportée par les courants jusqu'à l'estuaire du Saint-Laurent. Le fjord du Saguenay représenterait donc une source de BαP pour l'estuaire du Saint-Laurent.

RETROUVE-T-ON LE B α P DANS LES ORGANISMES MARINS?

La moule bleue (*Mytilus edulis*), souvent utilisée comme indicateur du niveau de contamination dans l'environnement marin, se prête très bien à l'étude des niveaux de B α P d'un milieu côtier parce que, comme les autres invertébrés marins (crevette, mye, polychètes, etc.), elle accumule ce contaminant. En effet, l'absence du système enzymatique des oxydases à fonction mixte (OFM) empêche les invertébrés marins de métaboliser et d'éliminer efficacement les HAP, expliquant ainsi la tendance de ces composés à s'accumuler dans leurs tissus. Des scientifiques ont mesuré les concentrations de B α P dans des moules bleues de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent entre 1977 et 1979. Lors des analyses réalisées aux 27 stations d'échantillonnage, seuls les échantillons de moules provenant de deux stations situées de part et d'autre de l'embouchure du Saguenay présentaient des teneurs en B α P élevées, soit respectivement 29 et 24 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (poids sec).

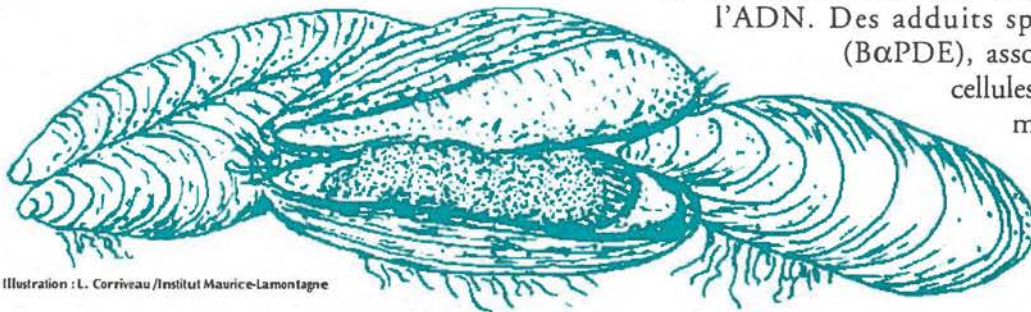


Illustration : L. Corriveau/Institut Maurice-Lamontagne

Pour les autres stations, les concentrations de B α P étaient inférieures au seuil de détection de la méthode analytique (0,15 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et semblaient refléter les niveaux naturels. Les chercheurs se sont demandés si cette contamination pouvait être liée aux rejets des alumineries de la région de Chicoutimi.

Les populations naturelles de moules étant très réduites dans le Fjord, ils ont récolté des moules ayant une teneur en B α P inférieure à 0,15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le golfe du Saint-Laurent et les ont transplantées à différents endroits dans le fjord du Saguenay. Après un mois, les moules transplantées dans le Fjord contenaient une concentration moyenne de B α P plus de 200 fois supérieure à celle mesurée avant la transplantation.

Cette expérience a mis en évidence que: 1) une contamination de B α P de source humaine s'étendait dans l'ensemble du Fjord; 2) le B α P était biodisponible; et 3) il peut s'accumuler dans certains invertébrés marins. De plus, les chercheurs ont pu démontrer que cette pollution était liée à l'industrie de l'aluminium. Toutefois, à la lumière des données récentes pour les sédiments, on peut supposer que les niveaux de B α P ont aussi considérablement chuté dans les invertébrés.

Contrairement aux invertébrés, les vertébrés tels que les poissons et les mammifères n'accumulent pas les HAP dans leurs tissus. Ils possèdent en effet un système enzymatique leur permettant d'éliminer les HAP ou de les dégrader en diverses substances (métabolites) solubles dans l'eau et qui peuvent s'associer à l'ADN ou aux protéines (adduits) des organismes vivants. On pense que certains métabolites peuvent interférer dans les processus biochimiques cellulaires. Cette interférence pourrait conduire à des anomalies dans le développement ou à l'induction de cancers par altération du processus génétique et du processus de division cellulaire lors de la combinaison avec

l'ADN. Des adduits spécifiques au B α P (B α PDE), associés à l'ADN des cellules du cerveau, ont été mesurés dans des carcasses de bélugas récupérées sur les rives du Saint-Laurent, ce qui suggérait que ces individus avaient absorbé du B α P. Bien que ces résultats aient été associés à une incidence élevée de tumeurs malignes observées chez ces bélugas, qui pourrait nuire au rétablissement de la population, cette hypothèse demeure très controversée. En effet, l'établissement d'un lien causal entre un contaminant spécifique et la santé des bélugas est une tâche difficile. De plus, les tumeurs malignes ont été retrouvées, dans la plupart des cas, dans des bélugas âgés dont le potentiel reproducteur est faible. Enfin, des données récentes montrent que la population pourrait même être en légère augmentation.

OÙ EN SOMMES-NOUS?

Au cours des dernières décennies, l'écosystème du fjord du Saguenay a été fortement contaminé par les HAP, y compris par un des plus toxiques, le B&P. Les sédiments du Fjord demeurent un réservoir de HAP de source humaine avec des teneurs plus élevées que celles mesurées dans les sédiments de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent où les concentrations en HAP sont généralement faibles (0,5-1 µg/g). D'autre part, les changements dans les procédés industriels ont conduit à des diminutions importantes des concentrations de HAP dans les sédiments de surface du fjord du Saguenay.

De plus, depuis 1993, le plan d'action *Saint-Laurent Vision 2000* (SLV 2000) poursuit les efforts du *Plan d'action Saint-Laurent* (PASL) afin de réduire davantage les émissions atmosphériques et les effluents toxiques rejetés dans l'environnement. Finalement, les effets des HAP sur le milieu marin ne sont pas totalement connus et méritent qu'on y accorde davantage d'attention.

CONTRIBUTION DE L'IML À LA RECHERCHE SUR LES HAP

Les scientifiques de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) du ministère des Pêches et des Océans (MPO) mènent actuellement divers projets de recherche sur la qualité du milieu marin du Saguenay et de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, notamment sur la contamination par les HAP. Les principaux projets à l'intérieur desquels les HAP sont étudiés portent sur la modélisation des processus de transport des HAP résiduels dans

le fjord du Saguenay, le suivi des contaminants dans les sédiments et les poissons du Saint-Laurent marin et du fjord du Saguenay, la contamination des poissons près des effluents industriels, la qualité des sédiments et la prévision de la bioaccumulation des contaminants dans les poissons, les effets des contaminants sur la santé et la reproduction des poissons et le suivi de la qualité du milieu par le développement de microbiotests marins. Ces études sont réalisées dans le cadre du plan d'action *Saint-Laurent Vision 2000* et du *Programme du MPO sur les produits chimiques toxiques*.

GLOSSAIRE

ADN: matériel porteur de l'hérédité chez tous les organismes vivants.

Aromatique: terme désignant un composé organique qui possède des propriétés physiques et chimiques ressemblant à celles du benzène.

Bioaccumulation: terme général désignant le processus par lequel certains organismes aquatiques accumulent une substance chimique directement à partir de l'eau et des sédiments ou par l'intermédiaire des aliments qui en renferment.

Biodisponibilité: fraction d'une substance chimique présente dans l'environnement pouvant être assimilée par un organisme vivant.

Carotte de sédiments: colonne composée de plusieurs couches de sédiment et dont l'analyse révèle la répartition verticale, ou chronologique, des caractéristiques physiques et chimiques (par exemple, la concentration d'un contaminant).

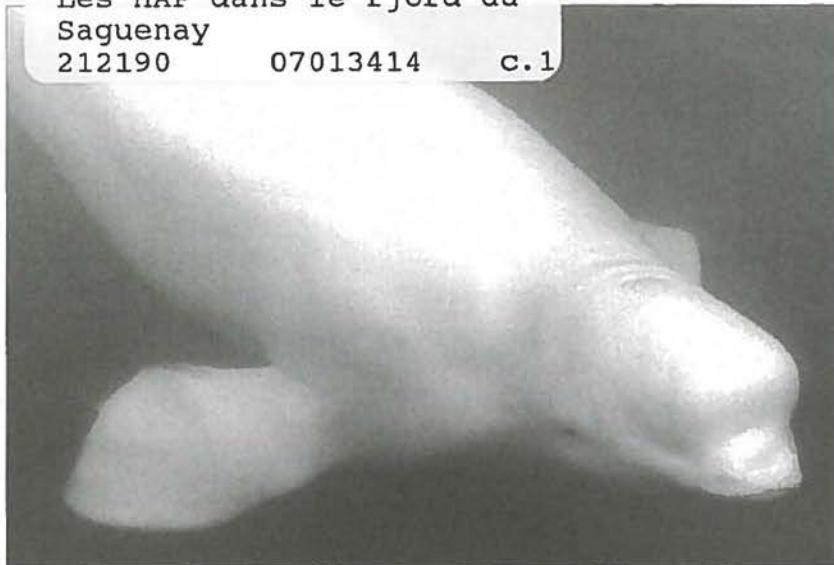
Métabolite: toute substance organique qui est formée dans un organisme au cours de transformations métaboliques.

µg/g : microgramme (un millionième de gramme = 0,000 001 gramme) d'une substance par gramme de sédiment ou de masse biologique.

µg/m³ : microgramme (un millionième de gramme = 0,000 001 gramme) d'une substance par mètre cube de substance.

QH 541.5 .S3 F48 3F
Institut Maurice-Lamontagne
Les HAP dans le fjord du
Saguenay
212190 07013414 c.1

Photo : R. Michaud / GREMM



Le béluga, *Delphinapterus leucas*

FEUILLET D'INFORMATION SUR L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SAINT-LAURENT

INSTITUT MAURICE-LAMONTAGNE (IML)

Ce feuillet d'information a pour objectifs d'informer et de faire connaître les résultats de la recherche scientifique sur l'état de l'environnement du Saint-Laurent marin. Les feuillets présentent des problématiques environnementales particulières ou des résultats de recherche environnementale de l'IML. Ils s'adressent aux gestionnaires et décideurs du domaine environnemental, aux organisations non gouvernementales (ONG), à l'industrie, aux médias et au grand public. Ils sont publiés sur une base ad hoc.

BIBLIOGRAPHIE

- Gearing, J. N., P. J. Gearing, M. Noël et J. N. Smith. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the St. Lawrence Estuary. Dans: R. van Coillie, Y. Roy, Y. Bois, P. G. C. Campbell, P. Lundahl, L. Martel, M. Michaud, P. Riebel et C. Thellen [éds]. Comptes rendus du vingtième colloque annuel de la toxicologie aquatique, 17-21 octobre 1993, Québec, Québec. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1989: 331 p.
- Germain, A., S. Ringuette et J. Tremblay. 1994. Use of a phenanthrene to benzo(e)pyrene ambient air ratio as an indicator for the source of polycyclic aromatic hydrocarbons. Comptes rendus de 1994 U.S. EPA/A&W MA International Symposium: Measurement of toxic and related air pollutants, 17 p.
- Kingsley, M. C. S. 1996. Estimation de l'indice de la population de bélugas du Saint-Laurent, en 1995. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2117: vi + 42p.
- Lun, R. P. C., K. Lee, L. E. DeMarco, C. Nalewajko and D. Mackay (sous presse). A model of the fate of polycyclic hydrocarbons in the Saguenay Fjord. Environ. Toxicol. Chem.
- Martel, L., M. J. Gagnon, R. Massé, A. Leclerc et L. Tremblay. 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Saguenay Fjord, Canada. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 31: 133-140.
- 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. Wat. Res. 21: 699-707.
- Picard-Bérubé, M., D. Cossa et J. Piuze. 1983. Benzo 3,4 pyrene content of *Mytilus edulis* from the Estuary and Gulf of St. Lawrence. Mar. Environ. Res. 10: 63-71.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Pour plus de renseignements au sujet de la contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le fjord du Saguenay, veuillez consulter les documents cités ou contacter le Service des communications de l'Institut Maurice-Lamontagne au (418) 775-0526.

Renseignements généraux

Institut Maurice-Lamontagne
Pêches et Océans Canada
850, route de la Mer
C. P. 1000
Mont-Joli, Québec
Canada G5H 3Z4
Téléphone : (418) 775-0500
Télécopieur : (418) 775-0542



Also available in English

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1997
Cat. No. Fs 23-302/1997F
ISBN 0-662-81504-1

Janvier 1997



Pêches et Océans
Canada
Sciences

Fisheries and Oceans
Canada
Science