

Impact de la pollution sur le milieu marin

(Rédigée par Émilien Pelletier)

RÉSUMÉ

La principale source de contamination du milieu marin est indéniablement le fleuve Saint-Laurent. À l'échelle de l'estuaire moyen, l'apport des tributaires et des rejets municipaux n'a qu'un très faible impact.

Lorsque déchargés dans l'estuaire moyen, les polluants sont soumis à une hausse drastique de la salinité. Si les bactéries résistent mal au contact de l'eau salée, les contaminants chimiques subissent quant à eux des transformations qui peuvent modifier leurs caractéristiques. C'est ainsi que certains métaux lourds deviennent biodisponibles et sont intégrés à la chaîne alimentaire. Les polluants s'accumulent également dans les fonds estuariens. Les conditions locales de courant limitent toutefois la sédimentation dans le secteur amont. Il en résulte un gradient de contamination des sédiments de l'ouest vers l'est du territoire.

Les études concernant la contamination de la colonne d'eau, du sédiment et du biote sont relativement limitées dans l'estuaire moyen. Le portrait actuel démontre une amélioration générale de la qualité de l'estuaire depuis les années 80 en regard des contaminants dit historiques (BPC, métaux lourds, etc.). Cependant une grande méconnaissance demeure en ce qui a trait aux polluants émergents ou au sujet de l'impact de la contamination en zone côtière.

Qualité de l'eau

La première description exhaustive de la zone de turbidité maximale (ou bouchon vaseux) de l'estuaire moyen du Saint-Laurent a été faite par Silverberg et Sundby (1978) qui ont montré qu'une turbidité élevée était maintenue par une circulation complexe due au gradient de densité de la colonne d'eau combinée à une resuspension des sédiments du fond dans une zone relativement étroite entre la pointe est de l'île d'Orléans et la pointe ouest de l'Isle-aux-Coudres. Cependant, les courants de marée sont forts dans le chenal de navigation nord de l'estuaire et les particules en suspension tendent à se déposer dans la moitié sud du l'estuaire à partir de l'île aux Oies jusqu'à Rivière-du-Loup, formant un immense plateau sablo-vaseux peu profond et peu accessible à la navigation. La grande majorité des données océanographiques en chimie et biologie provient de la moitié nord de l'estuaire, mais on peut raisonnablement extrapoler ces observations à la moitié sud parce qu'il n'y a pas de barrière physique (outre quelques îles éparses) limitant la libre circulation des espèces biologiques et des masses d'eau dans l'ensemble de l'estuaire moyen. La zone de turbidité a fait l'objet de plusieurs études quant à la dynamique de métaux traces toxiques dont les propriétés géochimiques changent avec le changement brusque de la salinité (Bewers et Yeats, 1978; Cossa et Poulet, 1978; Gobeil

et al., 1983). Une augmentation de la salinité cause généralement la libération dans l'eau de certains métaux, ce qui les rend biodisponibles pour les poissons et les invertébrés dont l'habitat est justement cette zone de mélange et de forte turbidité. Le bouchon vaseux est aussi une zone de rétention pour les polluants organochlorés et les pesticides, ce qui augmente leur temps de contact avec les organismes qui s'alimentent dans cette zone au moins une partie de l'année.

Les premières données de chimie de l'eau, obtenues au milieu des années 1970 (Bewers et Yeats, 1978; Cossa et Poulet, 1978), montraient bien l'apport de métaux comme le manganèse, le cuivre, le plomb, le cadmium et le cobalt en provenance du fleuve Saint-Laurent, sous forme de particules en suspension. Ces particules se dispersent dans un grand volume d'eau saumâtre, ce qui entraîne une réduction des concentrations sur les particules en suspension due à la désorption mentionnée précédemment. Les premières données sur le mercure dans les eaux dans l'estuaire moyen (Gobeil et al., 1983) provenaient d'échantillons prélevés en 1980. Les valeurs en mercure total variaient entre 4 et 8 ng/L, avec une valeur exceptionnelle à 74 ng/L. Ces valeurs sont très faibles, indiquant déjà à cette époque peu ou pas de contamination par le mercure provenant du fleuve Saint-Laurent ou même de sources locales le long de l'estuaire. Des données chimiques beaucoup plus récentes (Lemaire, 2012; Lemaire et Pelletier, 2013) montrent aussi de très faibles quantités de mercure (<3 ng/L) et de cadmium (<1 ng/L) dans les particules en suspension de l'estuaire moyen alors que le plomb (environ 90 ng/L), le cuivre (340 ng/L) et le chrome (180 ng/L) sont encore retrouvés à des concentrations relativement élevées.

À notre connaissance, la contamination bactérienne des eaux saumâtres le long de la rive sud de l'estuaire n'est pas documentée. Une telle contamination pourrait venir de ruisseaux et rivières drainant des exploitations agricoles (élevages intensifs du bétail et de volailles) et d'égouts domestiques provenant de municipalités sans traitement secondaire de leurs eaux usées. En général, le débit moyen des rivières du territoire du Conseil du Saint-Laurent (voir fiche : Hydrographie du territoire) est inférieur à 20 m³/s, ce qui représente un très faible apport en eau douce par rapport au 12 000 m³/s du Saint-Laurent. Les débits moyens des eaux usées de villes comme Montmagny, La Pocatière et Rivière-du-Loup peuvent être estimés à partir de leurs populations respectives. Il y a en effet un rapport étroit ($r^2=0,99$) entre la population d'une communauté humaine du Québec et le volume moyen d'eaux usées produit quotidiennement (Lemaire et Pelletier, 2013). Chaque personne produit environ 1180 litres d'eaux usées par jour, toutes sources domestiques et industrielles confondues. On obtient ainsi les données suivantes :

Tableau 1. Estimation du débit moyen des eaux usées en fonction de la taille de la population de trois villes de la rive sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Ville	Population*	Débit estimé en m ³ /jour	Débit estimé en m ³ /s
Montmagny	11 399	13 450	0,16
La Pocatière	4 127	4900	0,06
Rivière du Loup	19 782	23 300	0,27

* selon les données du Répertoire des municipalités du Québec (consulté le 11 août 2015)

On voit immédiatement le très faible volume des eaux usées rejetées par ces trois villes le long de la rive sud du Saint-Laurent comparativement aux rivières du territoire (voir fiche : Hydrographie du territoire). Même si la charge bactérienne dans les eaux usées municipales peut être relativement élevée (de l'ordre de 10^6 UCF/100 cm³), on peut raisonnablement supposer que l'effet de dilution limitera la zone de contamination à quelques centaines de mètres autour de la source pour chacun des émissaires considérés ci-haut, tel que déjà observé pour des effluents du parc marin Saguenay – Saint-Laurent (Lemaire et Pelletier, 2013).

Lors d'une étude sur la distribution des sels nutritifs (azote, phosphore et silice) et les concentrations en oxygène dissous menée entre mai 2003 et décembre 2005 dans les eaux de l'estuaire moyen du Saint-Laurent entre Québec et Tadoussac (Poulin, 2008), on a observé une forte fluctuation saisonnière des apports en ammoniac (NH₄⁺) provenant de l'amont et étant dirigés vers l'estuaire maritime. L'azote, sous ses principales formes chimiques (nitrate, nitrite, ammoniac), est l'élément nutritif qui contrôle l'essentiel de la production primaire dans tout milieu estuarien, incluant le Saint-Laurent. Les données montrent que l'estuaire moyen est une zone de transition et d'exportation pour les espèces de l'azote qui viennent surtout du fleuve Saint-Laurent et qu'il y a peu d'utilisation locale, sauf pour une brève période en été (Poulin, 2008). Enfin, notons qu'aucune réduction significative de l'oxygène dissous n'a été observée à aucune des stations de l'estuaire moyen, même en saison estivale (moyenne de $8,47 \pm 0,12$ mg/L).

Qualité des sédiments

La contamination des sédiments de la partie sud de l'estuaire a été rarement étudiée, mais il existe tout de même des données pour une carotte prélevée en 1989 près de Cap Saint-Ignace (Coakley et al., 1993). Les données montrent que les sédiments de ce secteur étaient jeunes et fortement perturbés par des cycles de déposition et resuspension, probablement saisonniers. On y a trouvé des valeurs moyennes de

mercure de l'ordre de 0,250 µg/g dans les premiers 10 cm de la carotte, ce qui est nettement inférieur aux valeurs trouvées dans le Saguenay à la même époque (Pelletier et al., 1989). Le cuivre et le plomb avaient des concentrations de l'ordre de 20 à 30 µg/g, ce qui indique une continuité dans la contamination des eaux du Saint-Laurent par ces métaux à l'époque. L'étude de la carotte de Cap-Saint-Ignace (Coakley et al., 1993) montre aussi la présence de BPC totaux avec une valeur moyenne de 0,055 µg/g pour toute la carotte, mais des valeurs de 0,125 à 0,276 µg/g dans les 20 premiers cm, ce qui est très caractéristique d'une contamination importante des années 1970 et 1980. Des données beaucoup plus détaillées ont été obtenues approximativement à la même époque (Dalcourt et al., 1992) pour des sédiments de surface dans les secteurs de Kamouraska et du côté ouest de l'Île-aux-Fraises. La moyenne générale du mercure était de 0,166 µg/g à Kamouraska et de 0,089 µg/g à l'Île-aux-Fraises; des valeurs plus faibles que Cap-Saint-Ignace, ce qui apparaît logique puisque la source principale de ces métaux était le fleuve Saint-Laurent en amont. Le même rapport montre que les valeurs de BPC totaux variaient de 0,020 à 0,030 µg/g à Kamouraska et de 0,011 à 0,020 µg/g à l'Île-aux-Fraises, de nouveau des concentrations plus faibles que celles de Cap-Saint-Ignace.

En résumé, on observe qu'il y a un gradient de contamination des sédiments de l'amont vers l'aval, en particulier pour le mercure et les BPC, d'une part, et que la contamination des eaux et des sédiments a diminué progressivement depuis les années 1980, d'autre part.

Contamination de la chaîne alimentaire

Les anguilles en migration

On ne connaît pas de sources majeures de contaminants organochlorés dans toute la région de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, ni sur la rive sud, ni sur la rive nord. Pourtant, la région a un lourd historique d'une contamination importée de l'amont et plus spécifiquement du lac Ontario (Pratt et Mathers, 2011) et du fleuve Saint-Laurent en amont de Québec. Le principal vecteur de cette contamination a été les anguilles en migration vers la mer des Sargasses, lieu de reproduction unique de toutes les anguilles d'Amérique du nord (Byer et al., 2013). L'anguille est un poisson gras qui tend à accumuler les polluants organiques persistants (POP) dans ses tissus et en particulier les biphenyles polychlorés (BPC), certains pesticides organochlorés, comme le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), et aussi un composé peu connu et ayant pour nom commercial : Mirex. C'est une molécule organochlorée ayant une structure chimique complexe qui a été utilisée aux États-Unis seulement comme insecticide dans les années 1960, mais qui a été fabriquée le long du lac Ontario, d'où la contamination des anguilles qui y grandissent pendant plusieurs années jusqu'à leur maturation.

Au début des années 1980, deux rapports sur la contamination des anguilles du secteur Cacouna – Kamouraska – Rivière-Ouelle ont été publiés simultanément (Desjardins et al., 1983a, 1983b) et montraient des concentrations moyennes de 6,32 µg/g en BPC totaux et de 0,196 µg/g en Mirex pour l'ensemble des tissus des anguilles capturées dans ce secteur en 1982. Ces concentrations ont été jugées très élevées par les spécialistes et ont mis en marche un important programme de recherche à Pêches et Océans Canada afin de déterminer les effets de cette contamination sur les espèces de l'estuaire du Saint-Laurent.

Environ 10 ans plus tard, un nouveau rapport technique (Hodson et al., 1992) décrivait la contamination des anguilles capturées à Kamouraska, Cacouna et Saint-Irénée pendant la période de migration de l'automne 1990. Le rapport indiquait déjà une réduction importante du niveau de contamination de ces anguilles par rapport à l'étude de 1983. Ainsi, les teneurs moyennes en BPC et en Mirex dans les anguilles capturées à Kamouraska en 1990 avaient diminué, respectivement, de 68% et 56% (Hodson et al., 1992). Une étude plus détaillée des mêmes données (Hodson et al., 1994) a montré que les concentrations de tous les autres pesticides avaient aussi baissé, sauf le dieldrine qui continuait à être utilisé en agriculture autour des Grands Lacs et le long du Saint-Laurent. Les concentrations de certains congénères des BPC étaient encore suffisamment importantes pour représenter un danger direct à la santé des bélugas qui consomment ces poissons (Hodson et al., 1994). Toujours en lien avec cette étude, des travaux en pathologie chez les anguilles analysées (Couillard et al., 1997) ont montré un lien entre certaines malformations et lésions précancéreuses et le niveau des contaminants. Les auteurs ont aussi appuyé l'hypothèse voulant que les anguilles fussent une source importante de POP pour les bélugas (Martineau et al., 1987) et probablement le vecteur spécifique du Mirex provenant essentiellement du lac Ontario et non de l'estuaire du Saint-Laurent. Les populations des anguilles et de bélugas ont plusieurs points en commun :

- forts niveaux de POP et en particulier de Mirex provenant du lac Ontario;
- nombre d'individus matures en déclin;
- présence de lésions pré-néoplasiques et néoplasiques suggérant une exposition à des substances cancérigènes.

Pour les deux espèces, il est cependant difficile d'établir un lien formel entre la contamination et les problèmes de santé observés parce que le biais de l'échantillonnage et de multiple facteur autre que les contaminants peuvent affecter leur population (Couillard et al., 1997).

Des données plus récentes obtenues sur les anguilles (Byer et al., 2013) sont cependant beaucoup plus rassurantes quant à la présence des contaminants organiques dans ces poissons. Pour les anguilles capturées en 2008 et 2009 à Kamouraska et Rivière-Ouelle, les concentrations moyennes en BPC totaux étaient de l'ordre de 0,08 µg/g, soit des valeurs environ 10 à 20 fois inférieures à celles de 1990. Le Mirex était indétectable dans tous les échantillons. Toutes les valeurs de BPC étaient inférieures aux valeurs du guide canadien pour la protection de la santé humaine et donc sans risque pour la consommation. La contamination par les POP est donc un problème du passé pour les anguilles, mais pas nécessairement pour les bélugas qui fréquentent toujours assidument l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

La population de bélugas

La contamination du béluga du Saint-Laurent a fait l'objet de multiples études depuis plus de 30 ans et l'état de santé précaire de cette population, maintenant considérée comme «en voie de disparition», a été attribué, au moins en partie, à la présence de contaminants organiques dans leurs tissus adipeux (Béland et al., 1993; Martineau et al., 1987; Lebeuf, 2009) et de métaux dans divers organes vitaux (Gauthier et al., 1998; Saint-Louis et al., 2000). Cette population d'odontocètes fréquente surtout la partie amont de l'estuaire maritime et l'ensemble de l'estuaire moyen aussi bien dans sa partie sud que nord. Les bélugas font partie intégrante de l'écosystème de l'estuaire moyen pour leur alimentation et leur reproduction. Dans une synthèse récente Lebeuf et al., (2007) montraient une tendance à la baisse d'un grand nombre de polluants organiques persistants entre 1987 et 2002 pour l'ensemble des carcasses de bélugas retrouvées sur les rives de l'estuaire du Saint-Laurent. On note une baisse significative (par au moins un facteur de 2) de la plupart des congénères des BPC à la fois chez les femelles et les mâles. On note aussi une réduction du DDT et ses principaux dérivés, ainsi que du chlordane, du HCH (hexachlorocyclohexane), du HCB (hexachlorobenzène) et aussi du Mirex.

Par contre, un autre groupe de contaminants organiques, les polybromodiphényles éthers (PBDE), faisait son apparition dans les tissus de bélugas dès les années 1980 (Lebeuf et al., 2004 ; McKinney et al., 2006). Ces composés ont été utilisés (et certains le restent encore au Canada) dans divers matériaux d'usage courant (textiles et plastiques) pour retarder la propagation des flammes (Lebeuf, 2009), mais on ignore la route prise par ces composés pour arriver jusqu'aux bélugas. Des travaux récents (Lebeuf et al., 2014) montrent que les concentrations en PBDE dans les tissus adipeux des bélugas mâles et femelles ainsi que des nouveau-nés échoués sur les rives de l'estuaire du Saint-Laurent entre 2008 et 2012 ne sont pas différentes de celles mesurées en 1995-2001 et 2002-2007. Il n'y a pas eu de réduction ou d'augmentation de ces polluants dans les bélugas depuis presque 20 ans. Les PBDE sont des perturbateurs endocriniens reconnus

affectant la reproduction et le développement de la progéniture chez les mammifères, mais on ne peut pas, dans l'état actuel des connaissances, faire un lien direct de causalité avec les mortalités de nouveau-nés observés récemment chez les bélugas (Lebeuf et al., 2014). Un sommaire des problèmes de rétablissement de la population des bélugas du Saint-Laurent a été récemment publié (Hammill et al., 2007)

Les invertébrés benthiques

Il n'existe que de très rares données sur la contamination des invertébrés benthiques dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et aucune donnée récente n'a été retrouvée. Le rapport de Dalcourt et al. (1992) fournit quelques données significatives même si les échantillonnages ont été faits en 1990 et que ces concentrations ont probablement diminué de façon importante depuis ce temps. Le tableau 2 présente un sommaire des données obtenues pour le site Kamouraska et celui de Île-aux-Fraises. Toutes les données sont en poids frais.

Tableau 2. Sommaire des données de contamination des invertébrés benthiques pour les sites de Kamouraska et de l'Île-aux-Fraises tirées du tableau 12 du rapport Dalcourt et al. (1992).

Site	Organismes	BPC totaux (µg/g)	Pesticides (µg/g)	Mercure (µg/g)
Kamouraska	Bivalves	20,1	2,6	n.d.
	Gastéropodes	105,0	9,4	n.d.
	Ophiures	35,0	1,9	12,0
Île-aux-Fraises	Bivalves	52,6	4,4	n.d.
	Gastéropodes	48,6	6,7	63,6
	Ophiures	20,7	2,8	15,1

Les valeurs en BPC, pesticides et mercure sont relativement faibles par rapport à d'autres sites contaminés des années 1990, mais de tels niveaux ont été suffisants pour contaminer les bélugas qui ont été observés en alimentation sur le fond dans le secteur de l'Île-aux-Fraises au cours de l'échantillonnage de l'été 1990 (Dalcourt et al., 1992).

Les poissons

Les poissons sont fréquemment utilisés comme indicateurs de stress environnementaux et de changements écologiques dans les milieux estuariens et côtiers. L'espèce sentinelle idéale doit être abondante et facile à capturer et possède un habitat restreint et bien caractérisé (Couillard, 2009). L'anguille est un cas particulier, traité précédemment, qui ne remplit pas les conditions d'un bon indicateur pour l'estuaire moyen puisque cette espèce ne passe que peu de temps de sa vie dans le Saint-Laurent comme tel. Plusieurs analyses de BPC (calculés en poids frais sur la totalité du poisson) ont été réalisées sur des poissons capturés dans la zone de turbidité maximale en 1987 (Gagnon et al., 1990). Les éperlans adultes étaient les plus contaminés (0,55 µg BPC totaux/g), suivis des poulamons adultes (0,125 µg/g), des jeunes éperlans (0,102 µg/g) et des capelans adultes (0,065 µg/g). Le zooplancton était le plus faiblement contaminé avec une valeur de 0,019 µg/g. Les auteurs ont déterminé que le facteur de bioconcentration pouvait atteindre 143 000 par rapport à l'eau pour les éperlans adultes qui sont des poissons relativement gras et donc sujets à accumuler les pesticides liposolubles (Gagnon et al., 1990).

Le cas le mieux documenté est celui du poulamon atlantique (*Microgladus tomcod*) qui passe la plus grande partie de sa vie dans l'estuaire moyen avec une migration hivernale en eau douce pour sa reproduction (petits poissons des chenaux). Les chercheurs de Pêches et Océans Canada ont montré que le foie des poulamons capturés à l'Isle-aux-Coudres en 2000 (Couillard et al., 2005) était 10 fois plus contaminé par les BPC que celui des poulamons échantillonnés à l'embouchure de la rivière Miramichi qui est peu industrialisé. On y trouvait aussi trois fois plus de DDT. La réponse des biomarqueurs de stress est beaucoup plus élevée chez les poulamons de l'estuaire moyen que chez ceux provenant d'autres sites de l'est du Canada (Couillard et al., 2005; Couillard, 2009). L'importance de ces données est double :

- Les POP ne sont pas uniquement transportés par les anguilles, mais se trouvent aussi dans les eaux et les particules en suspension apportées par le fleuve Saint-Laurent.
- Le poulamon est un très bon indicateur de la qualité des eaux de l'estuaire moyen parce qu'il est un résident permanent contrairement à l'anguille qui ne fait passer à l'automne.

Les oiseaux

Les oiseaux sont parfois utilisés comme indicateurs d'un transfert trophique d'un ou plusieurs contaminants d'un milieu aquatique vers un milieu terrestre, en particulier pour les oiseaux piscivores comme le fou de Bassan et le grand héron (Franci et al., 2014; Champoux et al., 2009). Dans son rapport sur le portrait global de l'état du Saint-Laurent,

le groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent (2014) a utilisé les œufs du grand héron, *Ardea herodias*, comme indicateur de la contamination du système Saint-Laurent et l'une des stations d'échantillonnage se situait à l'île aux Basques en face de Trois-Pistoles. Selon ce rapport, les concentrations de mercure, BPC, DDE et PBDE déterminées en 2012 ont toutes diminué par rapport au début du suivi en 2002. La diminution moyenne était de 32 % à l'île aux Basques. Les concentrations de tous les contaminants sont inférieures aux critères, sauf le penta-polybromodiphényle éther (PDE) à l'île aux Basques. Pour les dioxines, malgré une hausse par rapport à 2002 à l'île aux Basques, les concentrations restent inférieures à la valeur du critère de base.

En résumé, les eaux, les sédiments et le biote de l'estuaire moyen ont été fortement contaminés par des polluants organiques persistants et des métaux toxiques provenant du fleuve Saint-Laurent au cours des décennies 1960 à 1990. Cette pollution a nettement diminué au cours des 20 dernières années à la suite des efforts de décontamination, notamment à partir de 1988 par la mise en place du Plan d'action Saint-Laurent. Le problème demeure cependant présent pour des espèces prédatrices et dotées d'une grande longévité.

Références

Béland, P., S. DeGuise, C. Girard, A. Lagacé, D. Martineau, R. Michaud, D.C.C. Muir, R.J. Norstrom, É. Pelletier, E. Ray et L.R. Shugart (1993). Toxic compounds and health and reproductive effects in the St. Lawrence beluga whales. *J. Great Lakes Res.*, vol. 19: 766-775.

Byer, J.D., M. Lebeuf, M. Alae, B. R. Stephen, S. Trottier, S. Backus, M. Keir, C. M. Couillard, J. Casselman et P. V. Hodson (2013). Spatial trends of organochlorinated pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in Atlantic Anguillid eels. *Chemosphere*, vol. 90: 1719-1728.

Bewers, J.M. et P.A. Yeats (1978). Trace metals in the waters of a partially mixed estuary. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, vol. 7: 147-162.

Champoux, L., S. Trudeau, G. Fitzgerald, P.A. Spear et D. C. G. Muir (2009). Contamination et biomarqueurs chez le Grand Héron, *Ardea herodias*, comme indicateur de l'état du fleuve Saint-Laurent – Campagne de 2001-2002. Série de rapports techniques no. 501, Région du Québec 2009, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Sainte-Foy, viii + 66 pages.

Coakley, J.P., E. Nagy et J.-B. Sérodes (1993). Spatial and vertical trends in sediment-phase contaminants in the upper Estuary of the St. Lawrence River. *Estuaries*, 16: 653-669.

Couillard, C.M., P.V. Hodson et M. Castonguay (1997). Correlations between pathological changes and chemical contamination in American eels, *Anguilla rostrata*, from the St. Lawrence River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 54: 1916–1927.

Couillard, C.M., M. Lebeuf, M.G. Ikononou, G.G. Poirier et W.J. Cretney (2005). Low hepatic ethoxyresorufin-o-deethylase activity correlates with high organochlorine concentrations in Atlantic tomcod from the Canadian east coast. *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 24 : 2459-2469.

Couillard, C. M. (2009). Utilisation des poisons pour évaluer les effets biologiques des contaminants dans l'estuaire du Saint-Laurent et le fjord du Saguenay. *Rev. Sci. Eau*, vol. 22: 291-314.

Cossa, D. et S.A. Poulet (1978). Survey of trace metal contents of suspended matter in the St Lawrence Estuary and Saguenay Fjord. *J. Fish. Res. Board Can.*, vol. 35 : 338-345.

Dalcourt, M.-F., P. Béland, É. Pelletier et Y. Vigneault (1992). Caractérisation des communautés benthiques et étude des contaminants dans les aires fréquentées par le béluga du Saint-Laurent. *Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat.*, no 1845, 86 pp.

Desjardins, C., J.-D. Dutil et R. Gélinas (1983a). Contamination de l'anguille (*Anguilla rostrata*) du bassin du fleuve Saint-Laurent par les biphényles polychlorés. Rapp. Can. Ind. Sci. Halieut. Aquat., no 144, 55 pp.

Desjardins, C., J.-D. Dutil et R. Gélinas (1983b). Contamination par le mirex de l'anguille (*Anguilla rostrata*) du bassin du fleuve Saint-Laurent. Rapp. Can. Ind. Sci. Halieut. Aquat., no 141, 51 pp.

Franci C.D., M. Guillemette, É. Pelletier, O. Chastel, S. Bonnefoi et J. Verreault (2014). Endocrine status of a migratory bird potentially exposed to the Deepwater Horizon oil spill: A case study of northern gannets breeding on Bonaventure Island, Eastern Canada. *Sci. Total Environ.*, 473/474 : 110-116.

Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent (2014). Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014. Plan Saint-Laurent. Environnement Canada, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada et Stratégies Saint-Laurent, 53 p.

Gagnon, M., J. J. Dodson, M.E. Comba et K.L.E. Kaiser (1990). Congener-specific analysis of the accumulation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by aquatic organisms in the maximum turbidity zone of the St. Lawrence Estuary, Québec, Canada. *Sci. Total Environ.*, 97/98: 739-759.

Gauthier, J.M., É. Pelletier, C. Brochu, S. Moore, C.D. Metcalfe et P. Béland (1998). Environmental contaminants in tissues of a neonate St. Lawrence beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 36 :102-108.

Gobeil, C., D. Cossa et J. Piuze (1983). Distribution des concentrations en mercure dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. *Rap. Tech. Can. Hydro. Sci. Océan.*, no 17, 14pp.

Hammill, M.O., L.N. Measures, J.-F. Gosselin et V. Lasage (2007). Lack of recovery in St. Lawrence Estuary beluga. *Can. Sci. Advis. Sec., Res. Doc.* 2007/026, 19 pp.

Hodson, P.V., C. Desjardins, É. Pelletier, M. Castonguay, R. McLeod et C.M. Couillard (1992). Decrease in chemical contamination of American eels (*Anguilla rostrata*) captured in the Estuary of the St. Lawrence River. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, no 1876, 57 pp.

Hodson, P.V., M. Castonguay, C.M. Couillard, C. Desjardins, É. Pelletier et R. McLeod (1994). Spatial and temporal variations in chemical contamination of American eels (*Anguilla rostrata*) captured in the Estuary of the St. Lawrence River. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, vol. 51: 464-479.

Lebeuf, M., B. Gouteux, L. Measures et S. Trottier (2004). Levels and temporal trends (1988-1999) of polybrominated diphenyl ethers in beluga whales (*delphinapterus leucas*) from the St Lawrence Estuary, Canada. *Environ. Sci. Technol.*, vol; 38 : 2971-2977.

Lebeuf, M., N. Michelle, S. Trottier et L. Measures (2007). Temporal trends (1987 – 2002) of persistent, bioaccumulative and toxic (PBR) chemicals in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Canada. *Sci. Total Environ.*, vol. 383: 216-231.

Lebeuf, M. (2009). La contamination des bélugas du Saint-Laurent par les polluants organiques persistants en revue. *Rev. Sci. Eau*, vol. 22 : 199-233.

Lebeuf, M., M. Raach, L. Measures, N. Ménard et M. Hammill (2014). Temporal trends of PBDEs in adult and newborn beluga (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary. *Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2013/120. v + 11 p.

Lemaire, N. (2012). Évaluation des risques environnementaux dans le parc marin du Saguenay – Saint-Laurent (Québec, Canada). Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski, 129 pp.

Lemaire, N. et É. Pelletier (2013). Chemical and microbial contamination baseline in the Saguenay – St. Lawrence Marine Park (Eastern Canada): Concentrations and fluxes from land-based sources. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 65:421-433.

Martineau, D., P. Béland, C. Desjardins et A. Lagacé (1987). Levels of organochlorine chemicals in tissues of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Québec, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 16 : 137-147.

McKinney, M.A., S. DeGuise, D. Martineau, P. Béland, M. Lebeuf et R.J. Letcher (2006). Organohalogen contaminants and metabolites in beluga whale (*Delphinapterus leucas*) liver from two Canadian populations. *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 25: 1246-1257.

Pelletier, É., C. Rouleau et G. Canuel (1989). Niveau de contamination par le mercure des sédiments de surface et des crevettes du fjord du Saguenay. *Rev. Sci. Eau*, vol. 2:14-27

Poulin P. (2008). Cycle biogéochimique de l'azote dans l'estuaire du Saint-Laurent : rôle des marais côtiers. Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski, 246 pp.

Pratt, T.C. et A. Mathers (2011). Update on the status of American eel (*Anguilla rostrata*) in Ontario. *Can. Sci. Advis. Sec., Res. Doc.* 2011/050, 18 pp.

Saint-Louis, R., S. DeMora, É. Pelletier, D. Doidge, D. Leclair, I. Mikaellan et D. Martineau (2000). Hepatic butyltin concentrations in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary and Northern Quebec. *Appl. Organomet Chem.*, vol. 14:218-226.

Silverberg, N. et B. Sundby (1978). Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence Estuary. *Can. J. Earth Sci.*, vol. 16: 939-950.