Document généré le 25 avr. 2024 05:42

Revue des sciences de l'eau
Journal of Water Science

Contamination du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent) par certains polluants organiques et inorganiques
Contamination of lake Saint-Pierre (St. Lawrence River) by organic and inorganic pollutants

C. Langlois et H. Sloterdijk

Volume 2, numéro 4, 1989

URI : https://id.erudit.org/iderudit/705048ar
DOI : https://doi.org/10.7202/705048ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Langlois, C. & Sloterdijk, H. (1989). Contamination du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent) par certains polluants organiques et inorganiques. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *2*(4), 659–679. https://doi.org/10.7202/705048ar

Résumé de l'article

L'étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de surveillance de la dispersion des substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. Elle vise à identifier la nature et le cheminement des substances toxiques dans différents compartiments du lac Saint-Pierre. D'une superficie totale de plus de 400 km^2, ce lac est un élargissement du fleuve et son bassin de drainage inclut la région métropolitaine de Montréal et la région inter-nationale des Grands lacs. L'échantillonnage a porté sur l'eau, les matières en suspension, les sédiments de fond, les poissons adultes (entiers, chairs, foie, oeufs et gonades) et les poissons juvéniles (âge 0^+). Des analyses chimiques ont été effectuées pour les métaux, les pesticides organochlorés, les biphényles polychlorés (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) et les chlorobenzènes. Les résultats indiquent que la contamination du milieu aquatique par les substances toxiques est très significative. Les contaminants majeurs retrouvés dans les divers compartiments sont l'arsenic, le mercure, le plomb, les biphényles polychlorés (PCB) et les différentes formes de DDT. Les concentrations excèdent fréquemment les critères de qualité pour le mercure dans les chairs de poissons, le plomb dans l'eau et les sédiments et les PCB dans plusieurs compartiments analysés. Plusieurs pesticides organochlorés ont été détectés dans l'eau, grâce à la technique d'échantillonnage à grand volume. Cette technique permet d'estimer 1a concentration de fond et le bilan massique annuel d'un polluant. Les poissons entiers et le foie de lottes constituent par ailleurs des indicateurs de choix de la présence et de l'étendue de la contamination par les substances toxiques bioaccumulables, alors que les sédiments de fond et les poissons juvéniles permettent d'étudier leur répartition spatiale. Sauf pour le mercure, les concentrations dans les chairs sont un mauvais indicateur de la contamination du milieu; la moyenne et la variabilité des teneurs en PCB et pesticides organochlorés y sont très faibles.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 1989

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

REVUE DES SCIENCES DE L'EAU, 2 (1989) 659-679

Contamination du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent) par certains polluants organiques et inorganiques

Contamination of lake Saint-Pierre (St. Lawrence River) by organic and inorganic pollutants

C. LANGLOIS(1), H. SLOTERDIJK(1)

RÉSUMÉ

L'étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de surveillance de la dispersion des substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. Elle vise à identifier la nature et le cheminement *des substances toxiques dans différents compartiments du lac* Saint-Pierre. D'une superficie totale de plus de 400 km^2, ce lac est un élargissement du fleuve et son bassin de drainage inclut la région métropolitaine de Montréal et la région internationale des Grands Lacs. L'échantillonnage a porté sur l'eau, les matières en suspension, les sédiments de fond, les poissons adultes (entiers, chairs, foie, oeufs et gonades) et les poissons juvéniles (âge 0$^+$). Des analyses chimiques ont été effectuées pour les métaux, les pesticides organochlorés, les biphényles polychlorés (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) et les chlorobenzènes. Les résultats indiquent que la contamination du milieu aquatique par les substances toxiques est très significative. Les contaminants majeurs retrouvés dans les divers compartiments sont l'arsenic, le mercure, le plomb, les biphényles polychlorés (PCB) et les différentes formes de DDT. Les concentrations excèdent fréquemment les critères de qualité pour le mercure dans les chairs de

(1) *Environnement Canada*, Centre Saint-Laurent, 105, rue McGill, Montréal, Québec, H2Y 2E7.

poissons, le plomb dans l'eau et les sédiments et les PCB dans plusieurs compartiments analysés. Plusieurs pesticides organochlorés ont été détectés dans l'eau, grâce à la technique d'échantillonnage à grand volume. Cette technique permet d'estimer la concentration de fond et le bilan massique annuel d'un polluant. Les poissons entiers et le foie de lottes constituent par ailleurs des indicateurs de choix de la présence et de l'étendue de la contamination par les substances toxiques bioaccumulables, alors que les sédiments de fond et les poissons juvéniles permettent d'étudier leur répartition spatiale. Sauf pour le mercure, les concentrations dans les chairs sont un mauvais indicateur de la contamination du milieu ; la moyenne et la variabilité des teneurs en PCB et pesticides organochlorés y sont très faibles.

Mots clés : *Fleuve Saint-Laurent, sédiments, eau, poissons, contamination, métaux, PCB, PAH, pesticides organochlorés, chlorobenzènes.*

SUMMARY

As part of a monitoring program on pollutants dispersion in the St. Lawrence river, a study was conducted in 1986 on the fate and pathways of toxic substances in Lake St. Pierre. This enlargment of the St. Lawrence drains the Montreal metropolitan area and the international Great Lakes region. Water, sediments and fish were collected and analyzed. Water was sampled following the conventional method (1 l) or passed through an XAD-2 resin column (70 l of centrifuged water). Suspended sediments were collected by centrifuging 2000 l of water. Bottom sediments were collected by retaining the top layer of a grab sample taken using an Eckman dredge. Young-of-the-year forage fishes (Spottail Shiner and Yellow Perch) were captured using a seine whereas adult fishes (Northern Pike, Walleye, Brown Bullhead, Yellow Perch, White Sucker, Bowfin and Burbot) were captured using hoop-nets and gill-nets. All samples were analyzed for metals, organochlorine pesticides, PCBs, PAHs and chlorobenzenes. Fishes were analyzed as homogenate of whole individuals (young-of-the-year and adult) and as homogenate of fish flesh. Results indicate that the level of contamination by toxic chemicals is highly significant. The major contaminants found in the different media are arsenic, mercury, iron, PCBs and various derivatives of DDT. The concentration frequently exceeds the guidelines suggested for mercury in fish flesh, iron in water and sediments and PCBs in most compartments analysed. Several organochlorine pesticides have been detected in water using Large Volume Sampling technique. This technique allows estimation of background concentration and annual mass balance for specific pollutants. Whole fishes and Burbot's livers are good indicators of the presence and concentration range of bioaccumulating toxic substances. Bottom sediments and juvenile fishes are good indicators of spatial distribution of toxic chemicals in the lake. PCB's highest concentrations are found in adult whole fish samples (mean of

1030 µg/kg). Bottom sediments concentrations show a higher mean (112 µg/kg) than for Lake St. Louis, located upstream of Montreal. Some PAHs and chlorobenzenes are occasionnaly detected in various compartments.

Key-words : *St. Lawrence river, sediments, water, fish, contamination, metals, PCB, PAH, organochlorine pesticides, chlorobenzenes.*

INTRODUCTION

La contamination du système des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent par les substances toxiques a été largement démontrée par de nombreux auteurs au cours des dix dernières années. Il est également reconnu qu'une grande partie des contaminants sont transportés dans le milieu aquatique sur de longues distances, principalement dans l'eau (phase dissoute ou particulaire), mais aussi dans des organismes aquatiques. Le lac Saint-Pierre, à cause de sa position géographique, revêt une importance particulière dans l'étude du cheminement des substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. Il est un élargissement du fleuve et son bassin de drainage inclut la région métropolitaine de Montréal et la région internationale des Grands Lacs. Il reçoit également les eaux provenant de quatre affluents québécois majeurs, les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet. Compte tenu de sa vaste superficie (plus de 400 km²), de sa faible profondeur moyenne (moins de 3 m sauf dans la voie maritime) et de la présence d'un archipel et d'un delta importants en amont, ce lac peut constituer un réservoir plus ou moins temporaire de contaminants. La présente étude vise donc à identifier la nature et le cheminement des substances toxiques dans différents compartiments du lac Saint-Pierre, à savoir l'eau, les sédiments de fond, les matières en suspension et les poissons (juvéniles, adultes et organes). L'importance de chacun des compartiments comme indicateur du niveau de contamination est également discutée pour les différents groupes de substances toxiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Echantillonnage

Pour l'ensemble des compartiments du milieu, 72 stations réparties entre Contrecoeur et Trois-Rivières ont été échantillonnées (figure 1). Les échantillons d'eau ont été récoltés à 26 stations selon la méthode conventionnelle, soit en prélevant 1 l d'eau à 0,3 m de profondeur avec un échantillonneur de type porte-bouteille, à quatre reprises entre mai 1986 et février 1987. Pour six stations situées à l'entrée et à la sortie du lac, des échantillons d'eau ont été récoltés en juin

et septembre 1986 à l'aide d'un échantillonneur à grand volume de type Seastar (figure 2) ; une colonne de résine XAD-2, montée sur cet échantillonneur, retient les contaminants présents dans 70 l d'eau préalablement centrifugée à l'aide d'une centrifugeuse à alimentation continue de type Westfalia. Cette technique permet de détecter dans la fraction dissoute des niveaux 20 fois plus bas pour les pesticides organochlorés et 40 fois plus bas pour les PCB qu'avec la technique conventionnelle (GERMAIN, 1988). Les matières en suspension ont été récoltées aux mêmes six stations après la centrifugation de 1000 à 2000 l d'eau, à un débit de 4 l/mn, pour récupérer un minimum de 10 g (poids sec). Les sédiments de fond ont été récoltés en surface (2 à 3 cm) à l'aide d'une benne Eckman (30 cm x 30 cm) pour 37 stations. Les poissons juvéniles d'âge 0^+ ont été capturés à 13 stations et l'échantillonnage a été fait en septembre 1986, à l'aide de seines de 4,5 m, 10,5 m et 30,5 m munies de poches. Les espèces recherchées étaient le queue à tache noire (*Notropis hudsonius*) et la perchaude (*Perca flavescens*) et les échantillons étaient formés d'un homogénat provenant d'une cinquantaine d'individus entiers. Les poissons adultes ont été capturés de septembre à décembre 1986, à l'aide de filets maillants et de verveux, à six stations. Les espèces recherchées étaient le grand brochet (*Esox lucius*), le doré jaune (*Stizostedion vitreum*), la barbotte brune (*Ictalurus nebulosus*), la perchaude (*Perca flavescens*), le meunier noir (*Castostomus commersonii*), le poisson-castor (*Amia calva*) et la lotte (*Lota lota*) ; les échantillons étaient constitués d'homogénats de chairs ou de poissons entiers provenants de trois à dix individus, sauf pour la lotte dont les échantillons étaient constitués d'homogénats de chairs, de foies, d'oeufs et de gonades provenant de trois à cinq individus.

Analyses en laboratoire

Les analyses chimiques effectuées incluent quelques métaux, les biphényles polychlorés (PCB), les pesticides organochlorés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) et les chlorobenzènes (tableau 1). Les méthodes utilisées pour la préparation, la conservation et l'analyse des échantillons sont celles approuvées par ENVIRONNEMENT CANADA (1986, 1983), APHA (1985) et LE BUREAU DES ETUDES SUR LES SUBSTANCES TOXIQUES (1980). Pour les métaux, les analyses ont été faites par spectrophotométrie induite au plasma et par spectrophotométrie d'absorption atomique (en vapeur froide ou avec four au graphite), selon les substances et les compartiments analysés. Dans tous les cas, c'est la forme totale des métaux qui a été mesurée, après digestion appropriée de l'échantillon par des acides. Pour les pesticides organochlorés, les biphényles polychlorés et les chlorobenzènes, les analyses ont été effectuées par chromatographie en phase gazeuse, après extraction à l'aide de dichlorométhane (eau) ou d'un mélange acétone-hexane (sédiments et poissons). Pour l'échantillon à grand volume, l'extraction a été faite au moyen d'une colonne de résine XAD-2 ; l'élution de la colonne a été faite avec le méthanol et le dichlorométhane et l'analyse par chromatographie en phase gazeuse sur colonne garnie en mode isothermique. Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques, l'échantillon est analysé par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (GC-MS), sur colonne capillaire, après extraction avec un mélange de solvants.

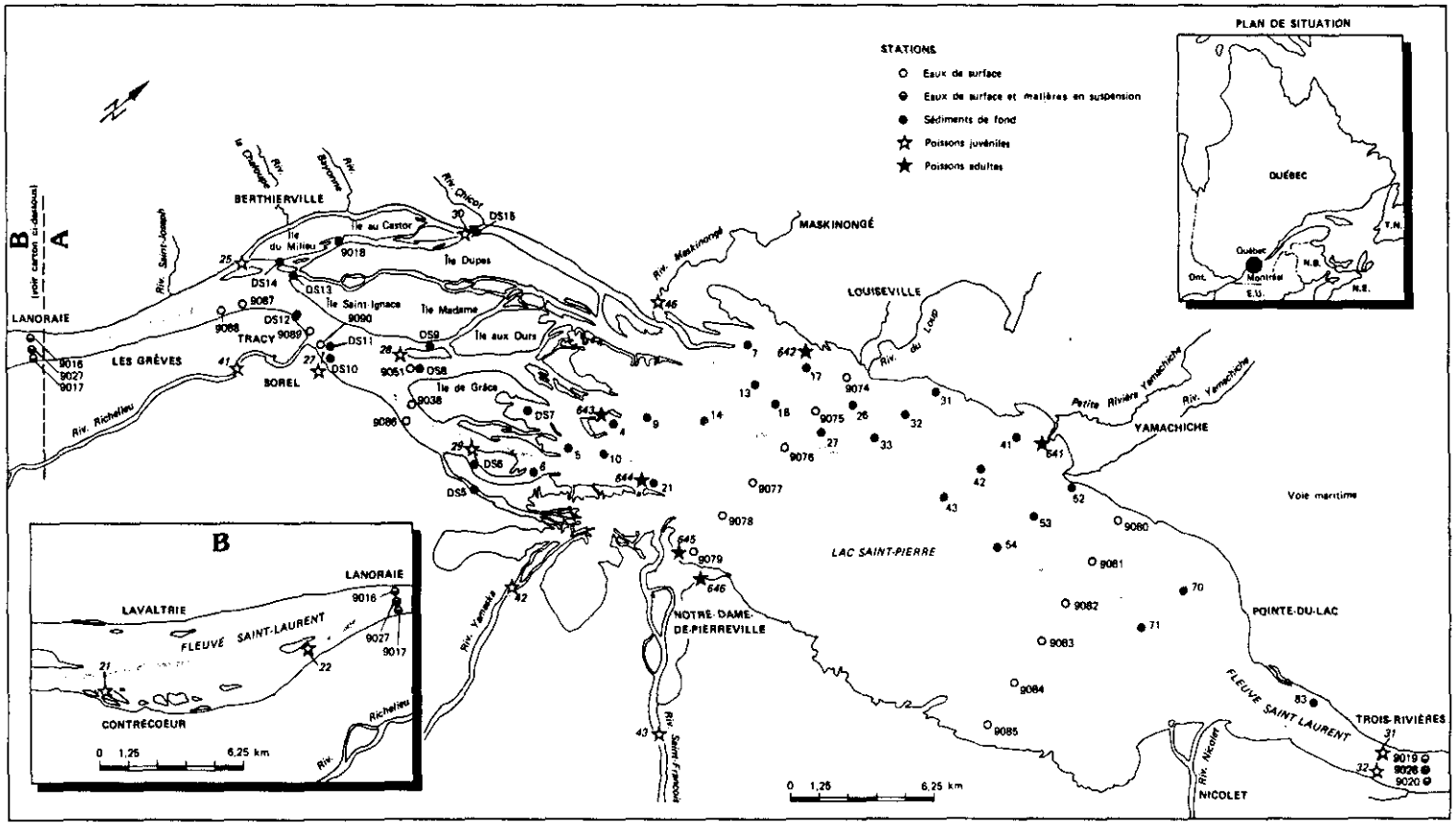

Figure 1. - Carte de localisation des stations d'échantillonnage au lac Saint-Pierre en 1986/1987.

Figure 1. - *Map showing location of stations sampled in lake Saint-Pierre during 1986/1987.*

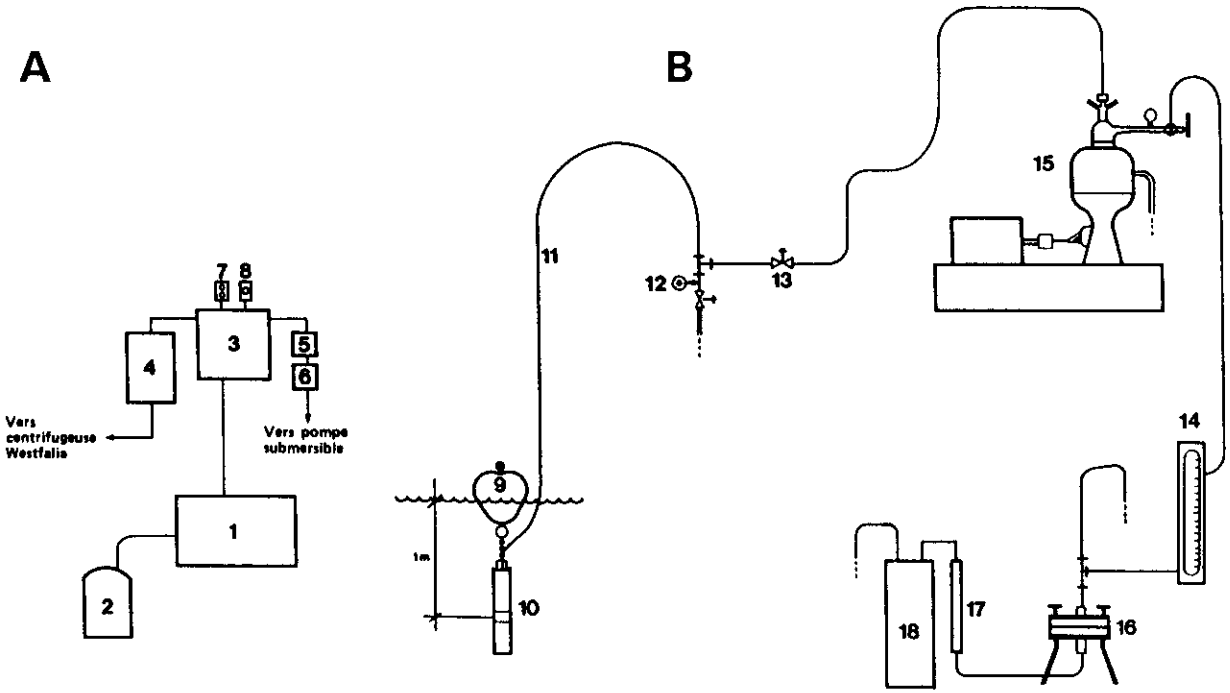

Figure 2. - Schéma du système d'échantillonnage à grand volume (Seastar) et de centrifugation (Germain, 1988).

Figure 2. - Diagram of large volume sampler (Seastar) and centrifuge system (Germain, 1988).

A) GROUPE ELECTROGENE

1 Génératrice ONAN 5,0 cck-5-DR

2 Réservoir à essence 5 gals

3 Boîte de distribution

4 Démarreur pour centrifugeuse Westfalia

5 Interrupteur pour pompe submersible

6 Démarreur et coupe-circuit pour pompe submersible

7 et
8 Prises auxilliaires 120 V

B) SYSTEME D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION D'EAU, D'ECHANTILLONNAGE DES SUSPENSOIDES ET D'ADSORPTION SUR COLONNE DE RESINE XAD-2

9 Flotteur

10 Pompe submersible (Grunfos sp 1-9)

11 Conduite principale (Teflon "pfa" 3/4" Ø)

12 Module de régulation de la pression et trop-plein

13 Robinet à pointeau de régulation du débit

14 Rodamètre (Brooks 1112)

15 Centrifugeuse Westfalia

16 Support à filtre 142 mm et trop-plein

17 Colonne de résine XAD-2

18 Echantillonneur Seastar

Tableau 1. - Limites de détection des paramètres chimiques analysés dans les différents compartiments du milieu.

Table 1. - Detection limits of chemical variables analyzed in the different media.

Paramètres	LIMITES DE DETECTION							
	Eau				Poissons			
	M.C.[1] (n=54)	E.G.V.[1] (n=9)	Mat. Susp.[1] Séd. Fond.[1]	(n=9) (n=37)	Entiers et Lottes	(n=19) (n=10)	Juvéniles et chairs	(n=83) (n=64)
METAUX								
Arsenic	0,1 µg/l	------	0,1	mg/kg	0,05	mg/kg	0,05	mg/kg
Sélénium	0,1 µg/l	------	0,1	mg/kg	0,05	mg/kg	0,05	mg/kg
Mercure	0,02 µg/l	------	0,01	mg/kg	0,01	mg/kg	0,01	mg/kg
Cadmium	0,1 µg/l	------	1	mg/kg	0,02	mg/kg	0,02	mg/kg
Plomb	0,7 µg/l	------	1	mg/kg	0,1	mg/kg	0,1	mg/kg
BIPHENYLES POLYCHLORES								
PCB (Arochlor total)	9 ng/l	0,2 ng/l	10	µg/kg	90	µg/kg	10	µg/kg
PESTICIDES ORGANOCHLORES (OC)								
Hexachlorobenzène	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
p,p' - DDT	0,4 ng/l	0,1 ng/l	5	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
p,p' - DDD	0,4 ng/l	0,04 ng/l	2	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
p,p' - DDE	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
Alpha - HCH	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
Gamma - HCH	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
Alpha-chlordane	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	------	
Gamma-chlordane	0,4 ng/l	0,02 ng/l	1	µg/kg	4	µg/kg	------	
Alpha-endosulfan	0,4 ng/l	0,06 ng/l	3	µg/kg	4	µg/kg	------	
Mirex	0,4 ng/l	0,06 ng/l	3	µg/kg	4	µg/kg	1	µg/kg
Endrine	0,4 ng/l	0,08 ng/l	4	µg/kg	4	µg/kg	------	
Dieldrine	0,4 ng/l	0,06 ng/l	3	µg/kg	4	µg/kg	------	
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (PAH)								
Fluoranthène	------	------	0,1	mg/kg	0,05	mg/kg	------	
Benzo-b-fluoranthène	------	------	0,1	mg/kg	0,1	mg/kg	------	
Benzo-k-fluoranthène	------	------	0,1	mg/kg	0,1	mg/kg	------	
Benzo-a-pyrène	------	------	0,1	mg/kg	0,1	mg/kg	------	
Indéno-pyrène	------	------	0,1	mg/kg	0,1	mg/kg	------	
Benzo-g,h,i-pérylène	------	------	0,1	mg/kg	------		------	
Pyrene	------	------	------		0,05	mg/kg	------	
CHLOROBENZENES								
Tri-chlorobenzène (1,2,4)	------	------	------		0,005	mg/kg	------	
O-dichlorobenzène	------	------	------		0,5	mg/kg	------	

1. M.C. : méthode conventionnelle ; E.G.V. : échantillonnage à grand volume ; Mat. Susp. : matières en suspension ; Séd. fond : sédiments de fond.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Contamination du milieu

Dans les eaux de surface, parmi les métaux recherchés, seul le plomb affiche des concentrations qui dépassent occasionnellement les critères de qualité suggérés par le Conseil Canadien des Ministres des Ressources et de l'Environnement (CCMRE, 1987) pour la protection de la vie aquatique (tableau 2). Parmi les contaminants organiques, ce sont les isomères d'hexachlorocyclohexane (alpha et gamma - HCH) et les PCB qui sont le plus fréquemment détectés dans l'eau, soit respectivement dans 100 %, 90 % et 27 % des échantillons. Les autres pesticides organochlorés détectés affichent des teneurs très faibles. Les concentrations mesurées pour alpha et gamma HCH et pour la dieldrine au lac Ontario (BIBERHOFER et STEVENS, 1987) et à Wolfe Island (SYLVESTRE, 1987) atteignent plus du double de celles mesurées au lac Saint-Pierre.

Dans les matières en suspension et les sédiments de fond, les PCB ont été détectés dans tous les échantillons et les teneurs atteignent jusqu'à 310 µg/kg (tableau 3). Elles dépassent régulièrement les critères de qualité suggérés par les Ministères de l'Environnement du Québec et du Canada qui sont de 100 µg/kg (ROCHON, 1985). Le plomb et l'arsenic affichent des teneurs élevées dans les sédiments de fond, le premier dépassant fréquemment les critères de qualité (60 mg/kg). Les teneurs de PCB observées au lac Saint-Pierre sont comparables à celles rapportées par CHAMPOUX et SLOTERDIJK (1987) pour le lac Saint-Louis, mais nettement inférieures aux valeurs maximales mesurées pour les sédiments du lac Saint-François (SLOTERDIJK, 1985), du lac Ontario (FRANK *et al.*, 1979 ; FOX *et al.*, 1983) et du lac Erié (FRANK *et al.*, 1977), lesquelles atteignaient respectivement 1 900, 840 et 800 µg/kg. Elles sont aussi largement inférieures à celles mesurées par CHEVREUIL *et al.* (1987) dans les sédiments de la Seine, où les teneurs atteignent jusqu'à 12 000 µg/kg et où 50 % des échantillons dépassent 1 000 µg/kg.

Dans les poissons, les contaminants majeurs retrouvés sont l'arsenic, le mercure, le plomb, les PCB et le DDT et ses produits dérivés, principalement le DDE (tableau 4). Les normes fédérales de mise en marché (Santé et Bien-Etre Canada, 1985) sont fréquemment dépassées dans le cas du mercure dans les chairs, principalement chez les gros spécimens de grand brochet et de doré jaune (figure 3) ; les normes fédérales pour les PCB (2 000 µg/kg) et pour le DDT total (5 000 µg/kg) ne sont jamais atteintes dans les chairs d'aucune espèce, mais celles de PCB sont fréquemment dépassées dans les poissons entiers et les organes de lottes. Pour les contaminants organochlorés, les teneurs sont 10 à 20 fois plus élevées dans les poissons entiers que dans les chairs. Dans les spécimens entiers de doré jaune, les teneurs moyennes de PCB sont moins élevées au lac Saint-Pierre (2 300 µg/kg) que celles rapportées par SLOTERDIJK (1977) au lac Saint-François (3 300 µg/kg) et plus élevées que celles rapportées par le GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD (1981 et 1985) au lac Erié (1 620 µg/kg). Dans le lac Léman, MOWRER *et al.* (1982), ROSSEL *et al.* (1987) et DEVAUX et MONOD (1987) rapportent des concentrations de PCB dans la truite brune (*Salmo trutta lacustris*), la perche (*Perca fluviatilis*), la lotte (*Lota lota*) et le gardon (*Rutilus rutilus*) variant de 160 µg/kg à 2 900 µg/kg, ce qui est comparable à ce qui est mesuré dans le système Grands Lacs - Saint-Laurent. Dans les chairs de poissons, MONOD *et al.* (1988) rapportent des concentrations de PCB dans des gardons (*R. rutilus*), des hotus (*Chondrostoma*

Tableau 2. - Moyenne et gamme des concentrations de contaminants dans l'eau.

Table 2. - *Range of values and mean concentration of contaminants in water.*

PARAMETRES	METHODE CONVENTIONNELLE (n=54)		ECHANTILLONNAGE A GRAND VOLUME (n=9)		CRITERES DE QUALITE[2]
	Moyenne[1]	Min - Max	Moyenne[1]	Min - Max	
METAUX (µg/l)					
Arsenic	0,5	0,2-0,9	--	--	50,0
Sélénium	0,2	< 0,1-0,5	--	--	1,0
Mercure[3]	--	--	--	--	0,1
Cadmium	0,17	< 0,1-0,3	--	--	0,8
Plomb	1,04	< 0,7-3,6	--	--	2,0
BIPHENYLES POLYCHLORES (ng/l)					
PCB	11,5	< 9 -17,2	1,6	< 0,2-2,3	1,0
PESTICIDES ORGANOCHLORES (ng/l)					
Hexachlorobenzène	ND	ND	0,06	< 0,02-0,10	6,5
p,p' - DDT	ND	ND	0,63	< 0,10-0,77	1,0 (total)
p,p' - DDD	ND	ND	0,20	< 0,04-0,23	--
p,p' - DDE	ND	ND	ND	ND	--
Alpha-HCH	2,41	1,3-3,8	1,57	0,6-2,4	10,0 (total)
Gamma-HCH	0,75	< 0,4-1,5	0,55	< 0,02-0,60	--
Alpha-chlordane	ND	ND	0,09	< 0,02-0,10	6,0 (total)
Gamma-chlordane	ND	ND	0,11	< 0,02-0,20	--
Alpha-endosulfan	ND	ND	0,13	< 0,06-0,20	20,0 (total)
Mirex	ND	ND	ND	ND	ind
Dieldrine	ND	ND	0,30	< 0,06-0,40	ind
Endrine	ND	ND	0,15	< 0,08-0,20	ind

1. Moyenne des valeurs positives seulement.
2. Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (CCMRE, 1987).
3. Résultats rejetés dans l'eau en raison d'une forte présomption de contamination.

"--" NON ANALYSE "ND" NON DETECTE "ind" INDETERMINE

Tableau 3. - Moyenne et gamme des concentrations de contaminants dans les matières en suspension et les sédiments de fond (poids sec).

Table 3. - Range of values and mean concentration of contaminants in suspended matter and bottom sediments (dry weight).

PARAMETRES	MATIERES EN SUSPENSION (n=9)		SEDIMENTS DE FOND (n=37)		CRITERES DE QUALITE
	Moyenne[1]	Min - Max	Moyenne[1]	Min - Max	
METAUX (mg/kg)					
Arsenic	--	--	2,63	0,26-5,70	6,0[2]
Sélénium	--	--	0,62	< 0,10-2,18	ind
Mercure	--	--	0,14	< 0,01-0,50	1,0[2]
Cadmium	--	--	1,50	< 1,00-1,87	8,0[2]
Plomb	--	--	33,5	7,6 -109,0	60,0[2]
BIPHENYLES POLYCHLORES (µg/kg)					
PCB	77	30-150	112	20-310	100[2]
PESTICIDES ORGANOCHLORES (µg/kg)					
Hexachlorobenzène	1,7	< 1-2	1,8	< 1-9	50[3]
p,p' -DDT	16,5	< 5-27	ND	ND	50[3]
p,p' - DDD	15,3	< 2-27	ND	ND	50[3]
p,p' - DDE	7,6	< 1-9	3,1	< 1-7	50[3]
Alpha-HCH	2,0	< 1-2	ND	ND	50[3]
Gamma-HCH	ND	ND	ND	ND	50[3]
Alpha-chlordane	12,5	< 1-16	ND	ND	50[3]
Gamma-chlordane	14,0	< 1-17	ND	ND	50[3]
Alpha-endosulfan	ND	ND	ND	ND	50[3]
Mirex	ND	ND	ND	ND	50[3]
Dieldrine	ND	ND	ND	ND	50[3]
Endrine	ND	ND	ND	ND	50[3]
PAH (µg/kg)					
Fluoranthène	--	--	346	< 100-1200	ind
Benzo-b-fluoranthène	--	--	207	< 100- 400	ind
Benzo-k-fluoranthène	--	--	223	< 100- 500	ind
Benzo-a-pyrène	--	--	261	< 100- 500	1000[4]
Indeno-pyrène	--	--	180	< 100- 300	ind
Benzo-g,h,i-pérylène	--	--	183	< 100- 300	ind
PAH totaux	--	--	871	< 100-2700	ins

1. Moyenne des valeurs positives seulement.
2. Ministères de l'Environnement du Québec et du Canada, cités par Rochon (1985).
3. Loi canadienne sur l'immersion en mer, citée par Rochon (1985).
4. Norme recommandée pour le système des Grands Lacs (AEOC, 1983, in Slotardijk, 1985).

"---" NON ANALYSE "ND" NON DETECTE "ind" INDETERMINE

Tableau 4. - Moyenne et gamme des concentrations de contaminants dans les poissons (poids frais).

Table 4. - Range of values and mean concentration of contaminants in fishes (fresh weight).

PARAMETRES	CHAIRS (n=64) Moyenne[1]	CHAIRS (n=64) Min - Max	ENTIERS (n=19) Moyenne[1]	ENTIERS (n=19) Min - Max	JUVENILES (n=83) Moyenne[1]	JUVENILES (n=83) Min - Max	CRITERES DE QUALITE[2]
METAUX (mg/kg)							
Arsenic	--	--	0,14	< 0,05-0,34	0,10	< 0,05-0,53	3,5
Sélénium	--	--	0,27	0,16-0,38	0,41	0,23-0,68	ind
Mercure	0,27	0,07-0,72	0,23	0,12-0,40	0,05	0,03-0,12	0,50
Cadmium	--	--	ND	ND	0,03	< 0,01-0,03	ind
Plomb	--	--	0,15	< 0,10-0,20	0,23	< 0,10-0,57	0,50
BIPHENYLES POLYCHLORES (µg/kg)							
PCB total	58	10-240	1 030	< 90-3580	140	40-260	2000
PESTICIDES ORGANOCHLORES (µg/kg)							
Hexachlorobenzène	1,0	< 1-1	ND	NS	1,6	< 1-3	100
p,p'- DDT	1,6	< 1-4	15,0	< 4-37	--	--	5000 (total)
p,p'- DDD	3,0	< 1-15	41,4	< 10-98	--	--	ind
p,p'- DDE	4,7	< 1-21	74,2	8-254	8,0	3-14	ind
Alpha-HCH	ND	ND	ND	ND	--	--	100
Gamma-HCH	ND	ND	ND	ND	--	--	100
Alpha-chlordane	--	--	16,2	< 4-32	--	--	100
Gamma-chlordane	--	--	8,3	< 4-15	--	--	100
Alpha-endosulfan	--	--	ND	ND	--	--	100
Mirex	2,8	< 1-7	7,0	< 4-10	ND	ND	100
Dieldrine	--	--	ND	ND	--	--	100
Endrine	--	--	ND	ND	--	--	100
PAH (µg/kg)							
Pyrène	--	--	1050	< 50-1200	--	--	ind
CHLOROBENZENES (mg/kg)							
Tichlorobenzène (1,2,4)	--	--	20	< 5-20	--	--	ind
O-dichlorobenzène	--	--	80	< 50-100	--	--	ind
LIPIDES (%)	0,9	0,1-2,9	2,4	0,1-7,3	3,4	1,8-4,7	ind

1. Moyenne des valeurs positives seulement.

2. Norme fédérale de mise en marché pour la consommation, selon Santé et Bien-Etre Canada, (1985).

"--" NON ANALYSE "ND" NON DETECTE "ind" INDETERMINE

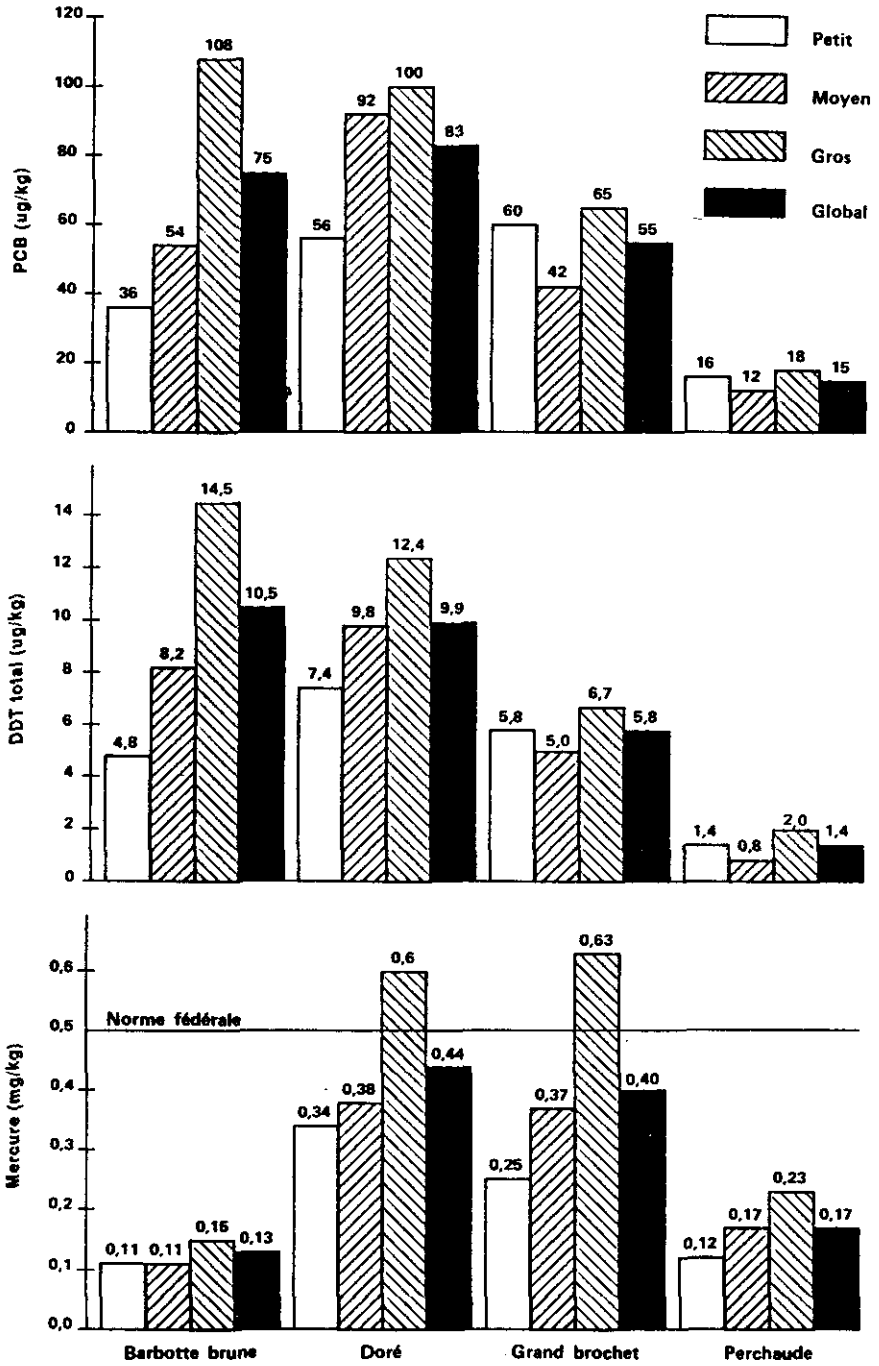

Figure 3. - Concentrations moyennes de PCB, DDT total et mercure dans les chairs de poissons par espèce et par classe de taille.

Figure 3. - Mean concentration of PCB, total DDT and mercury in fish flesh, according to species and size class.

nasus) et des ombres (*Thymallus thymallus*) capturés dans le Rhône qui atteignent 1 620 µg/kg et 6 000 µg/kg respectivement en amont et en aval d'une usine d'incinération de PCB. Ces valeurs sont nettement plus élevées que celles généralement observées dans le lac Ontario (GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD, 1981) pour le doré jaune (moyenne de 630 µg/kg) et dans les différents tronçons du fleuve Saint-Laurent (PAUL et LALIBERTE, 1987), incluant les résultats de la présente étude, alors que les teneurs moyennes varient très peu, soit de 50 µg/kg à 60 µg/kg.

Répartition spatiale des contaminants

C'est surtout à partir des teneurs dans les sédiments qu'il est possible d'étudier la répartition spatiale des contaminants dans le lac Saint-Pierre. Les teneurs en DDE, PCB, mercure et plomb sont nettement plus élevées dans le delta de Sorel que dans les autres secteurs du lac (figures 4 et 5), ce qui s'explique en partie par un taux de sédimentation beaucoup plus élevé dans le delta (1 cm/an) que dans le lac (0,15 cm/an) (COUILLARD, 1983). Pour certains contaminants, dont les PCB, le DDE, l'arsenic, le sélénium, le mercure et le plomb, les concentrations observées dans les poissons juvéniles permettent souvent de confirmer la répartition spatiale observée dans les sédiments de fond. Compte tenu que ces poissons se déplacent très peu depuis leur éclosion en avril-mai jusqu'à leur capture en septembre-octobre, ils peuvent constituer un bon indicateur de la répartition spatiale de ces contaminants dans le lac. Les teneurs de PCB et DDE observées chez les poissons juvéniles capturés en aval du lac (Trois-Rivières) sont significativement inférieures à celles observées dans le delta de Sorel ; pour la perchaude 0+, les teneurs moyennes dans le delta et à Trois-Rivières passent respectivement de 157 à 74 µg/kg pour les PCB et de 7,8 à 4,8 µg/kg pour le DDE.

Concentrations de fond et flux d'entrée

Les résultats obtenus dans les matières en suspension et l'eau indiquent que plusieurs contaminants sont présents dans le milieu aquatique à de très faibles concentrations. Les valeurs mesurées à l'aide de la technique d'échantillonnage à grand volume peuvent être considérées comme des concentrations de fond pour plusieurs de ces contaminants dans l'eau, ce qui pourrait être le cas pour la teneur moyenne de 1,6 ng/l de PCB dans le lac Saint-Pierre. Cette valeur est intermédiaire entre celles rapportées par GERMAIN et LANGLOIS (1988) pour la section québécoise du fleuve Saint-Laurent (2,5 ng/l) et par BIBERHOFER et STEVENS (1987) et McCREA *et al.* (1985) pour le lac Ontario (0,95 ng/l). A partir de ces concentrations de fond et du débit moyen annuel, il est possible d'estimer le flux d'entrée annuel des principaux contaminants pour certaines sections du fleuve. En se basant sur un débit moyen annuel de 10 930 m^3/s (ENVIRONNEMENT Canada, 1987) et sur une valeur moyenne de 1,75 ng/l de PCB mesurée dans la fraction totale à Lanoraie (GERMAIN et LANGLOIS, 1988), le flux d'entrée annuel de PCB dans le fleuve à l'entrée du lac Saint-Pierre peut être estimé à 600 kg/an. Par comparaison la charge annuelle de PCB à l'entrée du lac Ontario, à l'embouchure de la rivière Niagara, est estimée à 4 300 kg/an, alors qu'elle est estimée à 100 kg/an seulement à la sortie du lac Ontario, à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent (SYLVESTRE, 1987). Compte tenu de la très grande variabilité des concentrations de PCB dans l'eau, ces valeurs de flux d'entrée ne peuvent constituer que des estimés très grossiers et devront être réévaluées à l'aide d'une meilleure représentativité spatio-temporelle de l'échantillonnage.

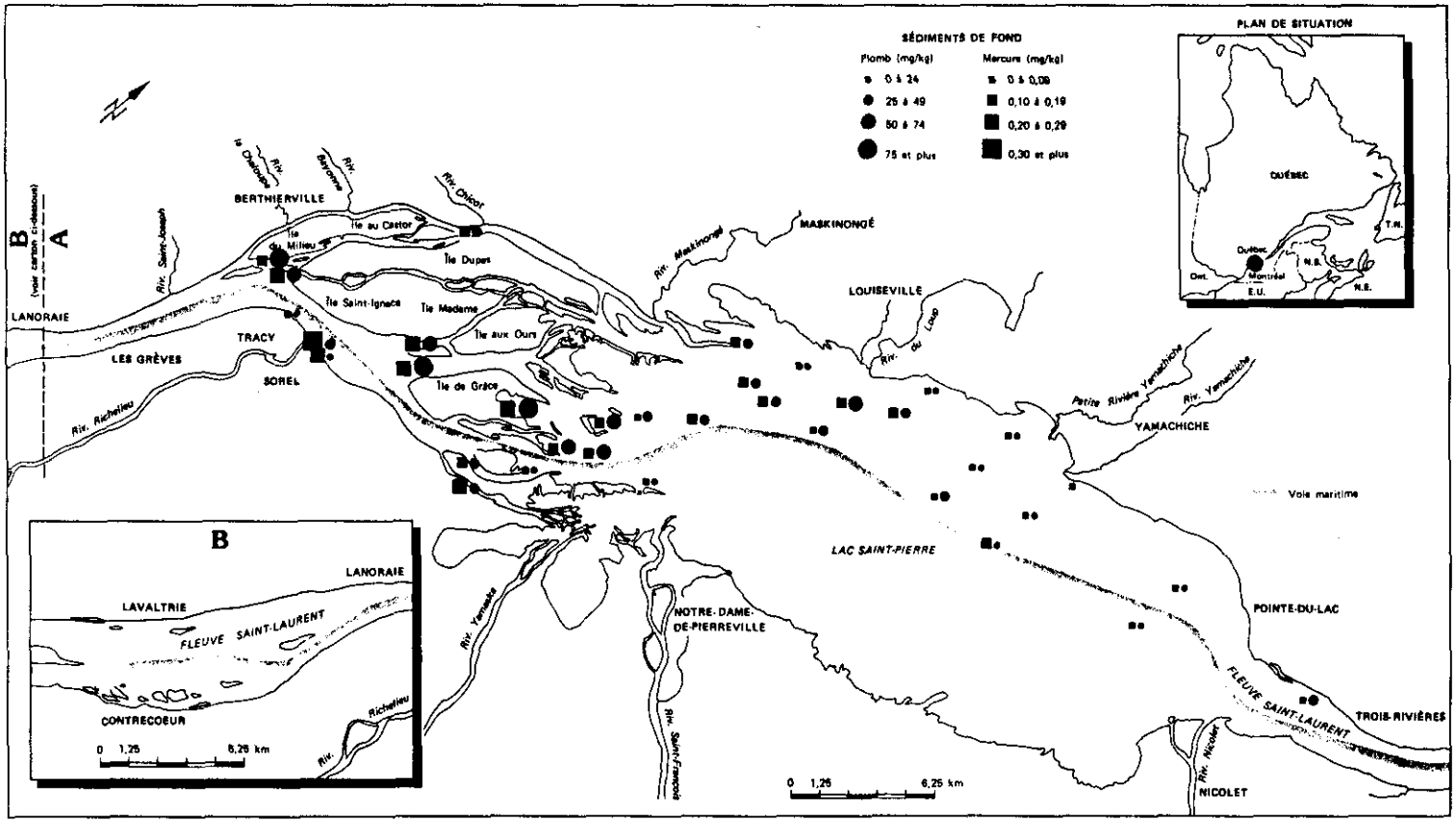

Figure 4. - Carte des teneurs en mercure et plomb dans les sédiments de fond du lac Saint-Pierre.

Figure 4. - *Map showing levels of mercury and lead in bottom sediments of lake Saint-Pierre.*

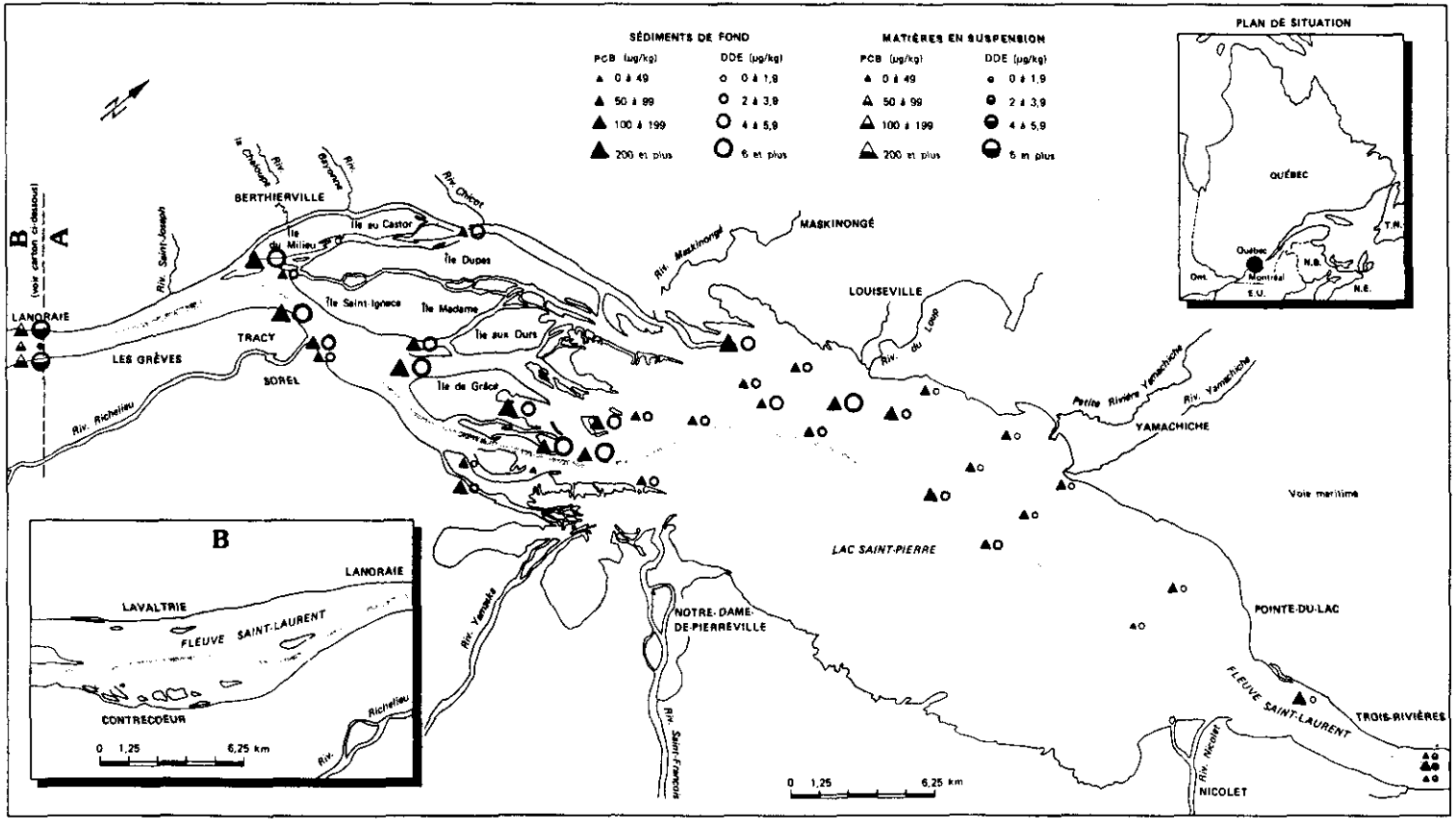

Figure 5. - Carte des teneurs en PCB et DDE dans les sédiments de fond et les matières en suspension du lac Saint-Pierre.

Figure 5. - Map showing levels of PCB and DDE in suspended matter and bottom sediments of lake Saint-Pierre.

Bioaccumulation des contaminants

Les poissons adultes entiers, le foie et les oeufs de lotte constituent des indicateurs de choix pour identifier la présence et le niveau de la contamination par des substances toxiques bioaccumulables. Le meunier noir et le doré jaune présentent les plus forts taux de bioaccumulation pour les substances organiques (figure 6). Parmi les nombreux composés détectés chez le doré jaune, on retrouve entre autres le mirex et le chlordane, de même que l'orthodichlorobenzène et le trichlorobenzène (1, 2, 4). Les niveaux de contamination observés dans le foie et les oeufs de lottes sont très élevés (tableau 5), en particulier pour les PCB dont les teneurs moyennes atteignent respectivement 10 683 µg/kg et 1 885 µg/kg. Tous les échantillons analysés contenaient des chlorobenzènes et plusieurs pesticides organochlorés, incluant le mirex, y ont été détectés en concentrations significatives. BURGERMEISTER *et al.* (1983) ont également observé un fort niveau de contamination dans des lottes capturées dans la rivière du Furans (France) et dans le lac Léman ; ces auteurs suggèrent la lotte comme indicateur de la pollution des eaux continentales par des polluants organochlorés. Sauf pour le mercure, les concentrations dans les chairs de poissons sont un mauvais indicateur de la contamination du milieu ; la moyenne et la variabilité des teneurs en PCB et pesticides organochlorés y est très faible.

CONCLUSION

Les niveaux de contamination observés au lac Saint-Pierre dans les différents compartiments du milieu indiquent bien l'importance de ce tronçon du fleuve comme intégrateur des apports toxiques en provenance des régions industrialisées situées en amont. La répartition spatiale des contaminants dans le lac illustre l'importance jouée par le delta et l'archipel dans la rétention plus ou moins temporaire des contaminants. L'estimation annuelle du flux d'entrée pour les PCB, bien que très préliminaire, indique bien l'importance du phénomène de transport des contaminants dans le fleuve Saint-Laurent. Les substances bioaccumulables retrouvées dans les poissons et les organes de lotte témoignent de la diversité des contaminants présents dans le milieu et de leur cheminement complexe vers les niveaux trophiques supérieurs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier l'Institut National de Recherche en Eau et Pêche et Océans Canada pour leur collaboration à l'étude des sédiments, le Ministère de l'Environnement du Québec pour l'analyse des chairs de poissons et l'Association des Pêcheurs Commerciaux du lac Saint-Pierre pour la capture des poissons adultes. Nous exprimons également notre gratitude aux nombreux employés d'Environnement Canada qui ont participé à l'échantillonnage, à l'analyse et au traitement des résultats, en particulier Messieurs André Germain, Louis Désilets et Jacques Bureau.

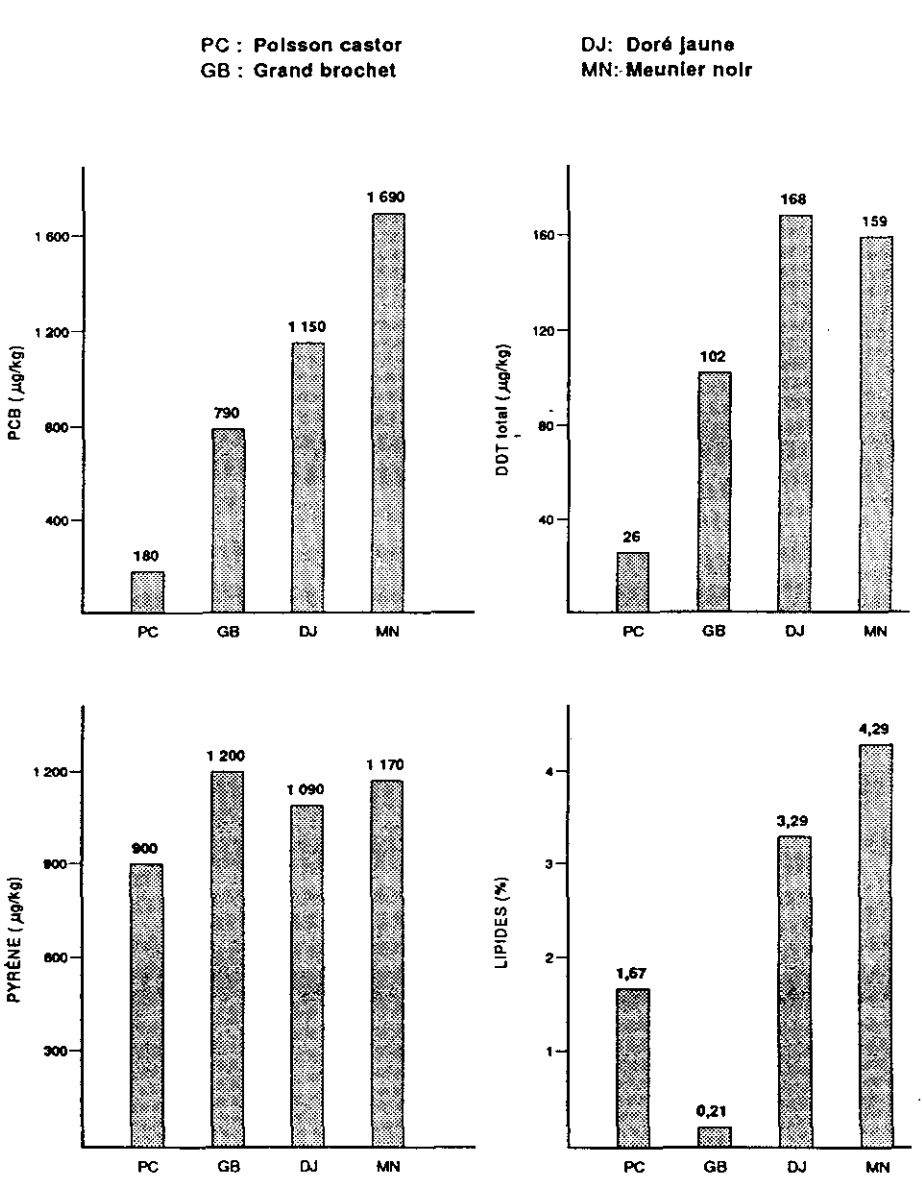

Figure 6. - Concentrations moyennes de PCB, DDT total, Pyrène et % de lipides dans les différentes espèces de poissons entiers.

Figure 6. - Mean concentration of PCB, total DDT, Pyrene and lipids content in different species of whole fishes.

Tableau 5. - Concentrations moyennes des contaminants dans les organes de lottes (poids frais)[1].

Table 5. - Mean concentration of contaminants in Burbot's organs (fresh weight).

Paramètres	Organes de lottes			
	Chairs (n=3)[2]	Gonades (n=2)[2]	Oeufs (n=2)[2]	Foies (n=3)[2]
Métaux (mg/kg)				
Arsenic	2,08	1,47	0,69	1,39
Sélénium	0,39	0,82	1,39	1,26
Mercure	0,36	0,12	0,09	0,06
Cadmium	ND	ND	ND	ND
Plomb	ND	0,37	0,32	0,29
PCB (µg/kg)	193	110	1 885	10 683
Pesticides organochlorés (µg/kg)				
Hexachlorobenzène	ND	ND	8	27
p',p' - DDT	ND	ND	16	156
p',p' - DDD	5	ND	23	217
p',p' - DDE	6	5	135	581
Mirex	ND	ND	11	54
Chlorobenzènes (mg/kg)				
Trichlorobenzène (1,2,4)	ND	8	ND	16
% Lipides	0,42	0,71	4,94	29,4

1. Moyenne des valeurs positives seulement.

2. Chaque échantillon représente un homogénat formé à partir de deux à cinq individus.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

APHA (1985). American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 16e édition. Washington, D.C..

BIBERHOFER J., STEVENS R.J.J. (1987). Organochlorine contaminants in ambiant waters of lake Ontario. Environnement Canada, Inland Water Directorate, Scientific series No. 159, Burlington. 11 pp.

BUREAU D'ETUDES SUR LES SUBSTANCES TOXIQUES . BEST (1980). *Les méthodes d'analyse des pesticides organochlorés et des biphényles polychlorés dans l'eau, les sédiments, les boues, les sols, les milieux biologiques, l'air et les hydrocarbures.* Comité de normalisation des méthodes d'analyse, Ministère de l'Environnement du Québec. 184 pp.

BURGERMEISTER G., BEDRANI M., TARRADELLAS J. (1983). Utilisation de la lotte comme indicateur de la pollution des eaux continentales par des polluants organochlorés. *Eau du Québec*, 16(2) : 135-143.

CCMRE, CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DES RESSOURCES ET DE L'ENVIRONNEMENT (1987). *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada.* Environnement Canada, Direction Générale des Eaux Intérieures, Ottawa, 391 pp., 4 annexes.

CHAMPOUX L., SLOTERDIJK H. (1987). *Etude du lac Saint-Louis 1984-1985, rapport technique no 1, Qualité des sédiments du lac Saint-Louis.* Environnement Canada, Direction des Eaux Intérieures, Longueuil, 61 pp., 14 annexes.

CHEVREUIL M., CHESTERIKOFF A., LETOLLE R. (1987). PCB pollution behaviour in the river Seine. *Wat. Res.* 21 (4) : 427-434.

COUILLARD D. (1983). BPC et pesticides organochlorés dans le système Saint-Laurent. *Canadian Water Resources J.*, 8 (2) : 32-63.

DEVAUX A., MONOD G. (1987). PCB and p,p' - DDE in Lake Geneva Brown Trout (*Salmo Trutta L.*) and their use as bioenergetic indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 9 : 105-114.

ENVIRONNEMENT CANADA (1987). Données sur les eaux de surface du Québec. Direction Générale des Eaux Intérieures, Direction des Ressources en Eau, ottawa.

ENVIRONNEMENT CANADA (1986). Manuel des méthodes analytiques. Direction Générale des Eaux Intérieures, Direction de la Qualité des Eaux, Ottawa. Parties 1 à 7.

ENVIRONNEMENT CANADA (1983). Echantillonnage pour la qualité de l'eau. Environnement Canada, Direction Générale des Eaux Intérieures. Ottawa. 67 pp.

FOX M.E., CAREY J.H., OLIVIER B.C. (1983). Compartmental distribution of organochlorine contaminants in the Niagara river and the western basin of lake Ontario. *J. Great Lakes Res.*, (9) : 287-294.

FRANK R., HOLDRINET M., BRAUN H.E., THOMAS R.L., KEMP A.L.W. (1977). Organochlorine insecticides and PCB's in sediments of lake St. Clair (1970 ans 1974) and lake Erie (1971). *The Science of the Total Environment*, 8 : 205-277.

FRANK R., THOMAS R.L., HOLDRINET M., KEMP A.L.W., BRAUN H.E. (1979). Organochlorine insecticides and PCB in surficial sediments (1968) and sediment cores (1976) from lake Ontario. *J. Great Lakes Res.* 5 (1) : 18-27.

GERMAIN A. (1988). Détermination des concentrations en pesticides organochlorés et biphényles polychlorés dans les sédiments en suspension et l'eau du fleuve Saint-Laurent. Comptes-rendus de la 3ème Conférence sur les substances toxiques, Montréal, 6 et 7 avril 1988. Environnement Canada, Direction du Développement Technologique et des Services Techniques; Ottawa, p. 213-214.

GERMAIN A., LANGLOIS C. (1988). Contamination des eaux et des sédiments en suspension du fleuve Saint-Laurent par les pesticides organochlorés et les biphényles polychlorés (1981 à 1987). Environnement Canada, Direction des Eaux Intérieures, Longueuil (soumis au *Water Poll. Res. J. Canada*).

GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD (1985). 1985 Report on Great Lakes water quality. Report to the International joint Commision, Great Lakes Regional office, Windsor. 212 pp.

GREAT LAKE WATER QUALITY BOARD (1981). 1981 Report on Great Lakes water quality, Appendix Great Lakes Surveillance. Report to the International Joint Commission, Great Lakes Regional Office, Windsor, 174 pp.

McCREA R., FISHER J.D., KUNTZ K.W. (1985). Distribution of organochlorine pesticides and PCB's between aqueous and suspended sediment phases in the lower Great Lakes Region. *Water Poll. Res. J. Canada*, 20 (1) : 67-78.

MONOD G., DEVAUX A., RIVIERE J.L. (1988). Effects of chemical pollution on the activities of hepatic xenobiotic metabolizing enzymes in fish from the river Rhône. The Science of the Total Environment (in press).

MOWRER J., ASWALD K., BURGERMEISTER G., MACHADO L., TARRADELLAS J. (1982). PCB in lake Geneva ecosystem. *Ambio*, 2 (6) : 355-358.

PAUL M., LALIBERTE D., (1987). Teneurs en mercure, plomb, cadmium, BPC et pesticides organochlorés des sédiments et de la chair de poissons du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais en 1985. Rapport no QE-86-07 préparé pour le Comité Interministériel sur la contamination des poissons. Ministère de l'Environnement du Québec. Sainte-Foy, 80 pp.

ROCHON R. (1985). Problems associated with dredging operations on the St. Lawrence, situation, methods and priority areas for research. Environment Canada, Environment Protection Service, report no. EPS4/MA/1, Montréal, 72 pp.

ROSSEL D., HONSBERGER P., TARRADELLAS J. (1987). Bioaccumulative behaviour of some PCB congeners in lake Geneva Brown Trout (*Salmo trutta lacustris L.*). *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 31 : 219-233.

SANTE ET BIEN-ETRE CANADA (1985). Lignes directrices sur les contaminants chimiques du poisson et des produits du poisson au Canada. Loi et Règlements des Aliments et Drogues, Santé et Bien-Etre Canada, Ottawa.

SLOTERDKIJ H. (1985). Substances toxiques dans les sédiments du lac Saint-François (fleuve Saint-Laurent, Québec). Environnement Canada, Direction des Eaux Intéricures, Longueuil, 79 pp., 16 cartes.

SLOTERDIJK H. (1977). Accumulation des métaux lourds et des composés organochlorés dans la chair des poissons du fleuve Saint-Laurent. Rapport technique no 7 soumis au Comité d'Etude sur le fleuve Saint-Laurent par le Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche du Québec. Environnement Canada, Direction des Eaux Intérieures, Longueuil, 181 pp.

SYLVESTRE A. (1977). Les organochlorés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le fleuve Saint-laurent à la hauteur de l'île Wolfe, 1982 à 1984. Environnement Canada, Direction des Eaux Intérieures. Etude no 144, Collection des rapports techniques, Burlington, 12 pp.