

Colloque en agroenvironnement Le respect de l'environnement : tout simplement essentiel!

27 novembre 2008, Drummondville

Merci à nos partenaires financiers :



Québec

- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
- La Financière agricole
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs



CDAQ
CONSEIL POUR
LE DÉVELOPPEMENT DE
L'AGRICULTURE DU QUÉBEC

FINANCÉ PAR :
Agriculture et Agroalimentaire Canada Agriculture and Agri-Food Canada 

Le fleuve Saint-Laurent, témoin de la situation environnementale du Québec

Christiane Hudon, Ph.D.
Chercheuse scientifique

Environnement Canada, Direction des sciences et de la technologie de l'eau
Montréal

Préparée en collaboration avec :

Richard Carignan, Université de Montréal, Département des sciences biologiques

Cette conférence a été présentée lors de l'événement et a été publiée dans le cahier des conférences.



Pour commander le cahier des conférences, consultez [le catalogue des publications du CRAAQ](#)

LE FLEUVE SAINT-LAURENT, TÉMOIN DE LA SITUATION ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC

FAITS SAILLANTS

- Dans la grande région montréalaise, le Saint-Laurent reçoit les effluents de plus de 3 millions de personnes, qui s'ajoutent aux importantes charges d'azote et de phosphore apportées par les rivières Outaouais, Richelieu, Saint-François, Yamaska et l'Assomption.
- Ces apports cumulés font passer la concentration moyenne de phosphore total de $8 \mu\text{g P L}^{-1}$ à Cornwall à $14 \mu\text{g P L}^{-1}$ en aval de Montréal et à $36 \mu\text{g P L}^{-1}$ à Québec.
- Les effluents municipaux et les tributaires agricoles représentent environ 15 % et 85 %, respectivement, des charges de phosphore apportées au lac Saint-Pierre.
- Le lac Saint-Pierre constitue la dernière et la plus grande superficie de milieux humides du Saint-Laurent et a été désigné comme une Réserve de la biosphère de l'UNESCO (2000) et un site Ramsar (1998). Ce vaste lac peu profond est particulièrement vulnérable aux apports de phosphore en raison de la circulation ralentie et du faible mélange des eaux provenant des tributaires qui s'écoulent le long de ses rives, sans se mélanger.
- La qualité de l'eau au lac Saint-Pierre est la plus basse en conditions de fort débit et dans les milieux riverains peu profonds influencés par de petits tributaires drainant des terres agricoles; la variabilité spatiale est accentuée par les plantes submergées.
- En 2004, plus de 40 % du secteur d'étude était au-delà du critère provincial de qualité des eaux ($\text{TP} = 30 \mu\text{g P L}^{-1}$) visant à protéger la vie aquatique en eaux courantes. La rétention des éléments nutritifs se produisait principalement en été, lorsque les plantes submergées étaient abondantes et les courants faibles.
- L'érosion de dépôts de dragage près du chenal de navigation a été observée pendant l'été, lorsque la vitesse du courant était accrue dans le profond chenal en raison de l'obstruction causée par les plantes croissant dans les zones peu profondes.
- Les conditions de faible débit et l'abondance de plantes accroissent le contraste entre les eaux du lac Ontario coulant rapidement dans le chenal principal et les eaux de piètre qualité en provenance des tributaires qui coulent lentement le long des rives.
- Les effets cumulatifs des apports élevés d'éléments nutritifs provenant de zones urbaines et agricoles, du chenal excavé pour la navigation et de l'obstruction saisonnière de la circulation des eaux par les plantes aquatiques accentuent la vulnérabilité de l'écosystème du lac Saint-Pierre aux activités humaines.

INTRODUCTION

Avec un débit moyen annuel de $12\,600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ à Québec, le fleuve Saint-Laurent est au second rang en débit en Amérique du Nord, après le Mississippi. Au cours des 550 km parcourus entre Kingston, à la sortie du lac Ontario, et son exutoire à Québec, le Saint-Laurent draine un bassin de plus d'un million de km^2 . La présence des Grand Lacs (bassin : $737\,400\text{ km}^2$) où l'eau réside de 2,6 à 191 ans, confère au Saint-Laurent des propriétés uniques parmi les grands fleuves du monde.

Sur les premiers 260 km de son cours, de l'exutoire du lac Ontario jusqu'à l'aval du lac Saint-François, les eaux du Saint-Laurent sont exceptionnellement claires et pauvres en matières particulaires, en carbone organique dissous et en phosphore. Entre Kingston et Québec, le fleuve draine un bassin habité par 7 millions de personnes, dont 60 % vivent le long de ses rives et y rejettent leur eaux usées après divers degrés de traitement. Les tributaires du Saint-Laurent qui drainent sa vallée fertile, telles la rivière des Outaouais (bassin $146\,334\text{ km}^2$) et les rivières du sud du Québec ($50\,000\text{ km}^2$), apportent aussi d'importantes quantités de sédiments et d'éléments nutritifs, qui s'additionnent lors de leur convergence au lac Saint-Pierre. Entre 1951 et 2001, les activités agricoles se sont intensifiées sur le territoire québécois, avec un accroissement de la superficie cultivée en maïs (x 14), de la production porcine (x 4) et de volaille (x 3) (Statistique Canada, 2001).

Le lac Saint-Pierre représente la plus grande superficie de milieux humides du système Grands Lacs – Saint-Laurent et a été désignée comme une Réserve de la biosphère de l'UNESCO (2000) et un site Ramsar (1998). Ce vaste lac peu profond est particulièrement vulnérable aux apports de phosphore en raison de la circulation ralentie et du faible mélange des eaux provenant des tributaires agricoles qui se concentrent le long de ses rives.

MÉTHODES

Nous avons étudié les impacts cumulatifs du débit et des activités humaines sur les variations spatiales de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre ($\sim 300\text{ km}^2$), un élargissement du Saint-Laurent situé à environ 65 km en aval de la région de Montréal. La qualité de l'eau fut évaluée à partir de mesures mensuelles faites à 80–110 stations (Figure 1), en août 2003 et à chaque mois entre avril et novembre 2004. À chaque station, on effectuait des mesures de conductivité, de vitesse de courant et des prélèvements d'eau pour en mesurer les concentrations de carbone organique dissous, nitrites-nitrates, ammonium, azote total, phosphore total et phosphore total dissous.

Les charges de matière en suspension, de carbone organique dissous et d'éléments nutritifs provenant du lac Ontario (à Wolfe Island), de la rivière des Outaouais (à Carillon) et à

l'embouchure des principaux tributaires (l'Assomption, Yamaska, Richelieu, Saint-François) du lac Saint-Pierre ont été calculées à partir du produit du débit instantané et des concentrations mesurées à intervalles réguliers (semaine-mois). Un compte rendu plus détaillé des méthodes et des résultats de l'étude est disponible dans Hudon et Carignan (2008).

RÉSULTATS

Les eaux provenant du lac Ontario constituent, sur une base annuelle, 73 % des eaux entrant au lac Saint-Pierre, suivi de l'Outaouais (19 %), du Richelieu (4 %) et des tributaires de plus faible taille (< 2 %) (Tableau 1). Cependant, à la suite d'épisodes de pluie intense au cours de l'été, la contribution des petits tributaires au débit total peut s'accroître jusqu'à 6 %–12 % pour quelques jours. Malgré leur concentration relativement faible en éléments nutritifs (Tableau 1), les eaux provenant du lac Ontario apportent les charges les plus importantes, en raison de leur débit considérable. Les teneurs exceptionnellement faibles en matières en suspension dans ces eaux constituent une exception notable (Tableau 2), qui reflète le fait que le lac Ontario agit comme un énorme bassin de sédimentation à la source du Saint-Laurent.

Malgré son débit nettement plus faible, la rivière des Outaouais, qui se jette dans le fleuve en aval de Beauharnois, double la charge de matières en suspension et de phosphore total, d'ammoniaque et de carbone organique dissous du Saint-Laurent (Tableau 2). De plus, trois des tributaires drainant la rive sud du Saint-Laurent (6,4 % du débit entrant au lac Saint-Pierre) apportent autant de matières en suspension et d'ammoniaque que l'Outaouais et les tributaires de la rive nord (Tableau 2). Pris ensemble, les cinq tributaires sujets de la présente étude représentent environ 85 % (matières en suspension) et 70 % (phosphore total) de l'accroissement des charges en aval de Montréal.

Bien qu'ils fassent l'objet d'un traitement préalable à leur rejet au Saint-Laurent, les effluents municipaux constituent aussi un apport additionnel d'éléments nutritifs au Saint-Laurent et au lac Saint-Pierre. De Cornwall et de Carillon jusqu'au lac Saint-Pierre, 45 municipalités déchargent quotidiennement environ 3,5 millions m³ (41 m³ s⁻¹) d'eaux usées traitées dans la masse d'eau centrale (80 %), du nord (16 %), et du sud (Tableau 2; Figure 1). Les effluents municipaux de la grande région métropolitaine accroissent de 11 % et 20 %, respectivement, les concentrations de matières en suspension et de phosphore total dans la masse d'eau centrale provenant du lac Ontario (Tableau 2). Cependant, en comparaison avec les tributaires, les eaux usées municipales rejetées au fleuve entre Wolfe Island et Trois-Rivières constituent une source mineure de matières en suspension (1 % du total) et du phosphore total (15 % du total).

En général, de la sortie du lac Ontario jusqu'au deuxième transect de notre aire d'étude au lac Saint-Pierre, les tributaires, l'érosion des rives et les sources ponctuelles multiplient par 7 les charges de matière en suspension et triplent presque les charges de phosphore total et dissous (Tableau 2). Ceci se traduit par un accroissement des teneurs médianes de matières en suspension de < 1 à 6 mg L⁻¹, de phosphore total de 9 à 20 mg L⁻¹ et de phosphore total dissous de 6 à 11 mg L⁻¹ entre la sortie du lac Ontario et le lac Saint-Pierre.

Sur la rive nord, le panache des tributaires locaux (Bayonne, Chicot, Maskinongé, du Loup, et Yamachiche) coïncide avec les teneurs maximales en matières en suspension (16-150 mg L⁻¹), de phosphore total (30-175 mg P L⁻¹) et de phosphore total dissous (20-50 mg P L⁻¹) (Figures 2 et 3). Les débits de pointe correspondent de plus avec les plus fortes concentrations de carbone organique dissous (> 5 mg C L⁻¹), de nitrates (400-1000 mg N L⁻¹) et d'ammoniaque (70-150 mg N L⁻¹) (Figure 2). Le long de la rive sud du lac Saint-Pierre, un panache d'eau de piètre qualité, provenant principalement de la rivière Yamaska est généralement visible. Ce panache est caractérisé par de fortes concentrations de matières en suspension (10-50 mg L⁻¹) et de phosphore total (> 30 mg P L⁻¹), de nitrate (400-2000 mg N L⁻¹), et d'ammoniaque (30 à >70 mg N L⁻¹) (Figures 2 et 3).

Pendant la période d'abondance des plantes submergées (de juillet à octobre), les eaux près de la rive sud sont caractérisées par de très faibles courants (0-15 cm s⁻¹), les plus faibles teneurs en matières en suspension (< 2 mg L⁻¹), en nitrates (< 20 mg N L⁻¹) et en ammoniaque (< 10-30 mg N L⁻¹) et des teneurs élevées en carbone organique dissous (7-10 mg C L⁻¹) (Figures 2 et 3).

DISCUSSION

Le lac Saint-Pierre est situé en aval de la grande région de Montréal et en aval des principaux tributaires drainant la vallée du Saint-Laurent. La qualité de ses eaux se trouve fortement dégradée en comparaison avec son état à la sortie du lac Ontario. Alors que la qualité de l'eau reste très bonne sur les premiers 260 km du Saint-Laurent (de Wolfe Island à Beauharnois), celle-ci se dégrade rapidement en aval de Montréal, particulièrement au lac Saint-Pierre. Cette dégradation n'est pas très surprenante compte tenu du fait que cinq grands tributaires (les rivières des Outaouais, l'Assomption, Richelieu, Yamaska, et Saint-François), drainant environ 50 % des terres cultivées du Québec (1,85 million ha en 2001; Statistique Canada, 2001), se jettent au fleuve entre Montréal et le lac Saint-Pierre. De plus, les eaux usées traitées de plus de 3 millions de personnes vivant dans la région montréalaise sont déversées au fleuve. Ces sources anthropiques de matières en suspension et d'éléments nutritifs s'ajoutent aux quelques 23 x 10⁵ t de matières en suspension (et le phosphore qui y est associé) provenant annuellement de l'érosion des rives et du lit du Saint-Laurent, qui représentent environ 70 % de l'accroissement des charges entre Cornwall et l'entrée du lac Saint-Pierre (Rondeau *et al.*, 2000).

L'apport d'éléments nutritifs dans les eaux peu profondes qui coulent lentement le long des rives favorise le développement de grands herbiers submergés et de marais qui ont un impact majeur sur l'hydrodynamique et la productivité biologique du lac Saint-Pierre (Hudon *et al.*, 2005; Vis *et al.*, 2007). Les études antérieures supposaient que le débit important du Saint-Laurent assurait le mélange rapide et la dilution des eaux polluées provenant des tributaires, en minimisant les effets sur la qualité de l'eau (Roy, 2002). Au contraire, notre étude montre que la combinaison particulière de la morphologie du lac Saint-Pierre, la croissance saisonnière des plantes aquatiques et la localisation des tributaires engendrent la relative stagnation d'eaux polluées sur une large portion de la zone littorale peu profonde de ce lac fluvial. De plus, en été, le temps de résidence de cette masse d'eau est suffisamment long (de 20 à 120 jours) pour engendrer des changements significatifs de la qualité de l'eau. En août 2003 et de juin à octobre 2004, les teneurs en nitrate ont diminué de > 300 à $< 20 \text{ mg N L}^{-1}$ sur une superficie d'environ 40 km^2 le long de la rive sud du lac, où des cyanobactéries fixatrices d'azote (*Lyngbya wollei* et *Gloeotrichia pisum*) sont observées sur le fond depuis 2005 (Vis *et al.*, 2008). La diminution de nitrate en conditions de faible débit et de fortes températures estivales ont aussi été observées le long de la rive nord (baies de Maskinongé et de Yamachiche), coïncidant avec la présence de ces cyanobactéries benthiques.

Dans le Saint-Laurent, la régularisation du débit et le contrôle des embâcles réduisent la fréquence et l'amplitude des débits très élevés, qui entraînent vers l'aval les sédiments et la matière organique produite à chaque saison par les plantes. À l'avenir, la réduction chronique des débits anticipés par les scénarios de changement climatique pourrait accroître le contraste entre les eaux provenant du lac Ontario, qui coulent rapidement dans le chenal central, et les eaux polluées des tributaires, qui coulent lentement le long des rives nord et sud. Par conséquent, avec la réduction des crues, plus de matière en suspension pourrait sédimenter au lac Saint-Pierre, contribuant à l'assèchement des zones peu profondes. Ce phénomène se manifeste présentement par l'accumulation rapide de sédiments (R. Carignan, données non publiées) et la propagation de plantes émergentes très robustes (quenouilles, roseau commun, saules) dans les marais situés immédiatement en aval des rivières Yamaska et Saint-François (Hudon *et al.*, 2005). En outre, les conditions plus riches, plus chaudes et les bas niveaux pourraient faciliter l'envahissement d'espèces nuisibles (*Trapa natans*, *Cabomba caroliniana*) qui sont présentement abondantes au sud du bassin Grands Lacs-Saint-Laurent. Notre étude souligne la vulnérabilité du Saint-Laurent, et particulièrement du lac Saint-Pierre, à la dégradation de la qualité des eaux sous l'influence conjuguée de l'usage des terres, de l'hydrologie des tributaires, de l'excavation du chenal central et de la croissance des plantes.

RÉFÉRENCES

- Hudon, C., P. Gagnon, J.-P. Amyot, G. Létourneau, M. Jean, C. Plante, D. Rioux et M. Deschênes. 2005. *Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada)*. *Hydrobiologia*, 539 : 205–224. doi:10.1007/s10750-004-4872-5.
- Hudon, C. et R. Carignan. 2008. *Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint-Pierre, Quebec, Canada)*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65 (6) : 1165-1180.
- Laurin, M. 2005. *Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2004*. Ouvrages de surverse et stations d'épuration. Service du suivi des infrastructures, Direction des infrastructures, ministère des Affaires municipales et des Régions, gouvernement du Québec, Québec.
- Rondeau, B., D. Cossa, P. Gagnon et L. Bilodeau. 2000. *Budget and sources of suspended sediments transported in the St. Lawrence River, Canada*. *Hydrol. Process.* 14 : 21–36. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(200001)14:1<21:AID-HYP907 >3.0.CO;2-7.
- Roy, L. 2002. *Les impacts environnementaux de l'agriculture sur le Saint-Laurent*. *Nat. Can.* 126 : 67–77.
- Statistique Canada. 2001. *Agriculture census data, 2001*. www.statcan.ca .
- Vis, C., A. Cattaneo et C. Hudon. 2008. *Shift from benthic filamentous chlorophytes to cyanobacteria following a gradient of nitrate depletion*. *J. Phycol.* 43 : 38-44.

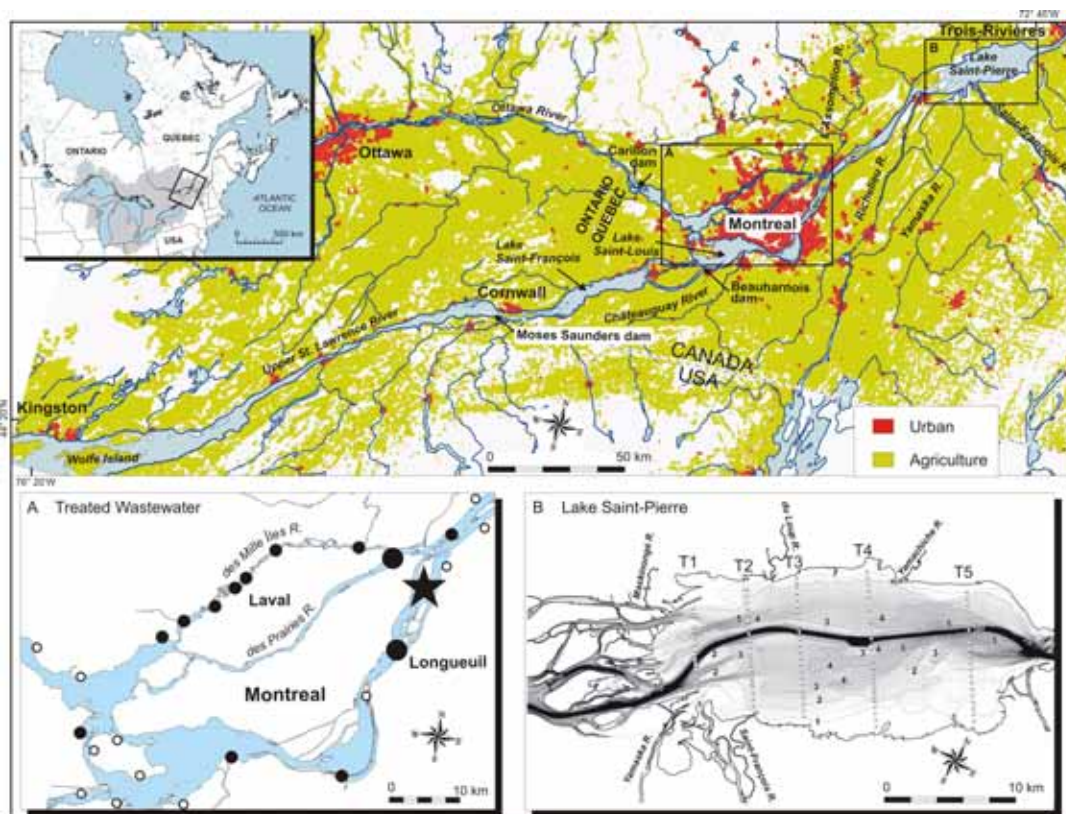


Figure 1

Carte de localisation des premiers 450 km du Saint-Laurent, entre les Grands Lacs (encadré), la grande région de Montréal (carte A) et le lac Saint-Pierre (carte B) jusqu'à Trois-Rivières. La carte principale illustre les principaux tributaires, les zones urbaines (en gris foncé) et les terres agricoles (en gris pâle). Les charges apportées au fleuve (2000-2005) ont été évaluées à la sortie du lac Ontario (Île Wolfe) et à l'embouchure de l'Outaouais (barrage de Carillon) et des rivières l'Assomption, Richelieu, Yamaska et Saint-François. La carte A montre la localisation et l'importance des effluents d'eaux usées municipales traitées dans la grande région de Montréal. Les symboles identifient la capacité des stations de traitement des eaux usées (population) : Montréal (étoile, 1 780 000 personnes); Longueuil et Laval (grands cercles noirs, 350 000 et 378 000 personnes), municipalités de moyennes (petits cercles noirs, 25 000-70 000 personnes) et petites municipalités (petits cercles blancs, 2 000-20 000 personnes). La carte B montre la bathymétrie et la position des 110 stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre; la bathymétrie est présentée pour les conditions de niveau de 2004 (zéro des cartes + 1 m), et le chenal de navigation (> 11 m) au centre du lac. Entre juin et octobre, des plantes émergent de la surface pour former des marais denses qui s'étendent du rivage jusqu'à 1 mètre de profondeur, tandis que des plantes submergées et des émergentes éparses couvrent le fond jusqu'à une profondeur de 3 mètres.

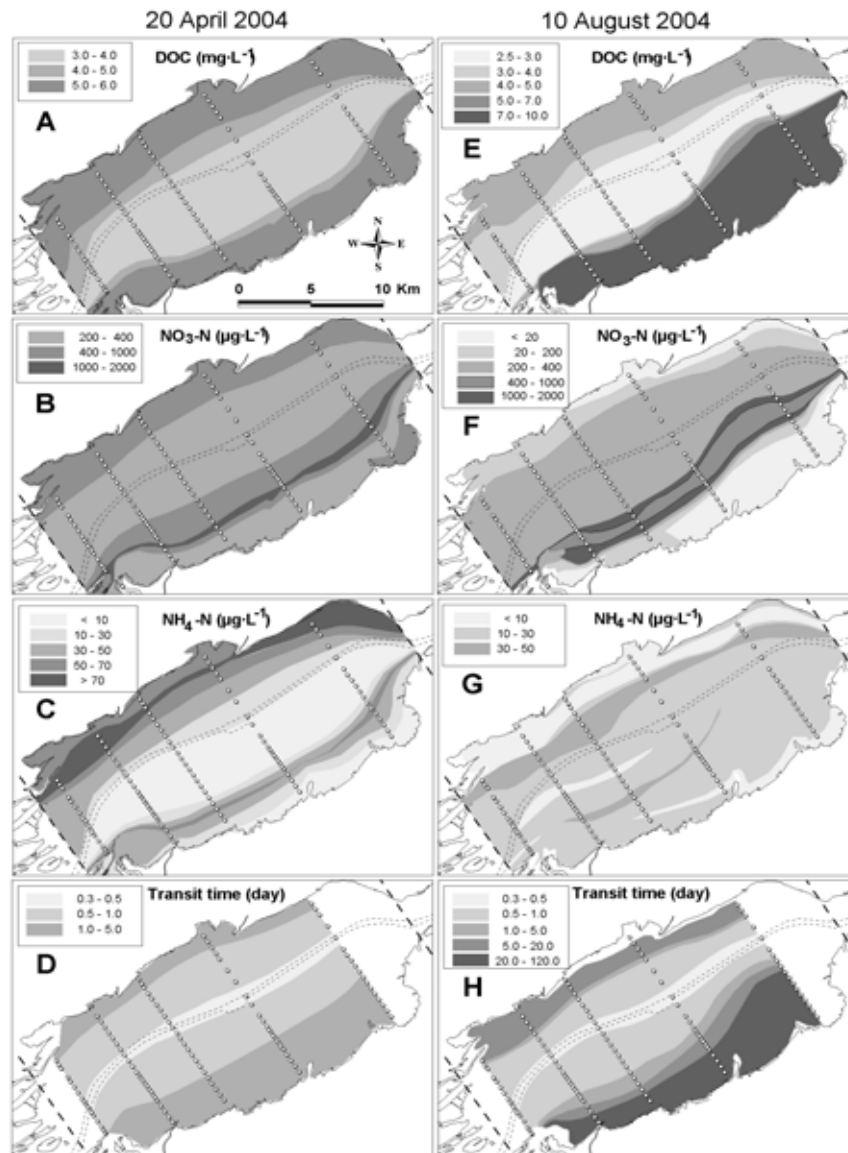


Figure 2

Distribution spatiale des concentrations de carbone organique dissous, de nitrate, d'ammoniaque et du temps de résidence des eaux au lac Saint-Pierre au cours de la crue printanière (20 avril) et de l'été d'été (10 août) 2004. Les mesures effectuées à 110 stations (cercles clairs) distribuées le long de 5 transects ont été interpolées pour la superficie du lac à l'aide d'images satellites et des mesures de conductivité. Au centre, les eaux plus claires et relativement pauvres en éléments nutritifs provenant du lac Ontario s'écoulent rapidement dans le profond chenal de navigation (> 11 m), tandis que les eaux de piètre qualité des tributaires coulent lentement le long des rives, sans se mélanger. Le contraste entre la qualité des eaux du centre et des rives est plus accentué en été, lorsque les plantes aquatiques sont en pleine expansion.

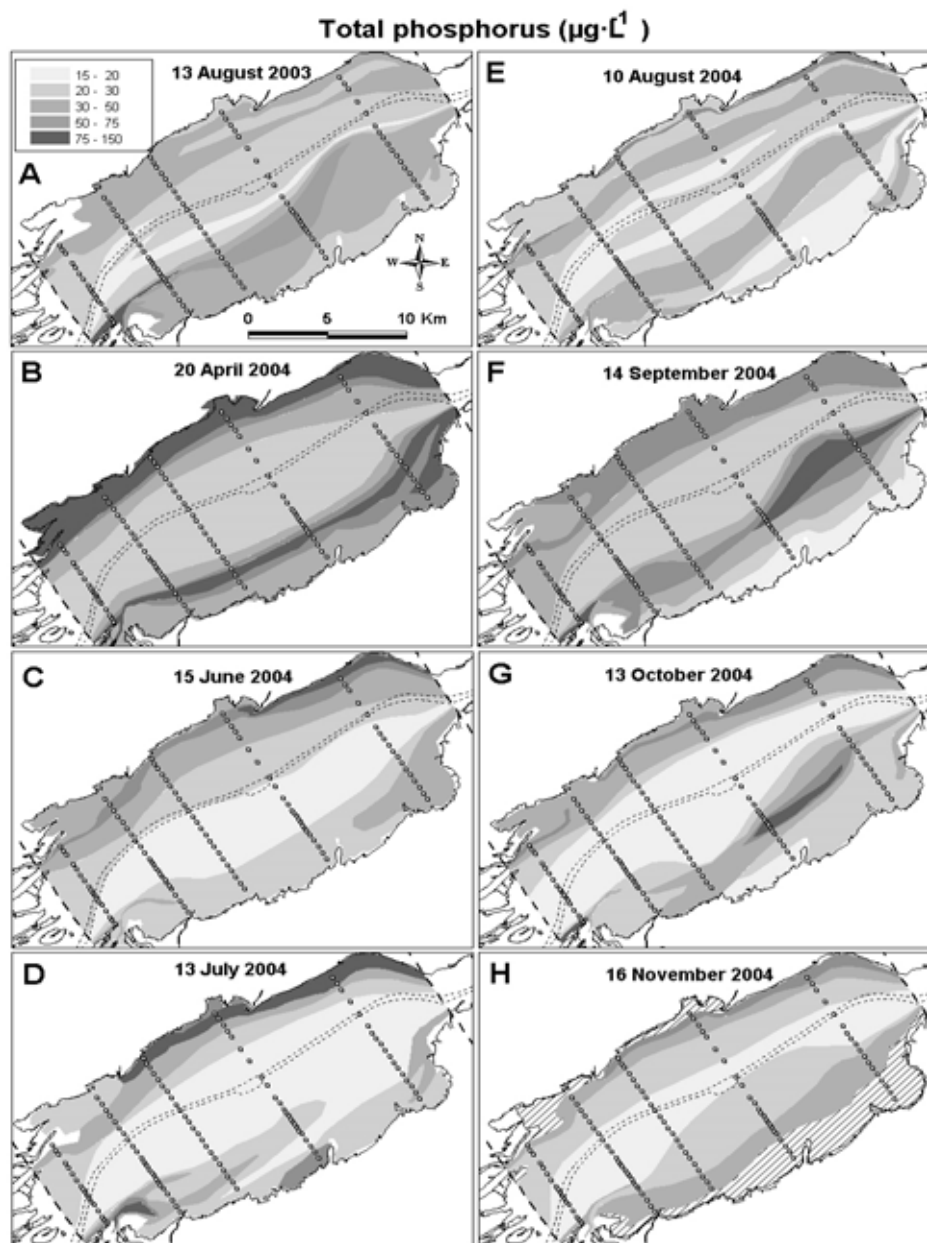


Figure 3

Distribution des teneurs en phosphore total au lac Saint-Pierre à 8 dates. Au centre du lac, les eaux de bonne qualité (phosphore total $< 30 \mu\text{g P L}^{-1}$) provenant du lac Ontario s'écoulent rapidement dans le profond chenal de navigation ($> 11 \text{ m}$), tandis que les eaux de piètre qualité des tributaires coulent lentement le long des rives, sans se mélanger. Les valeurs élevées de phosphore total ($30\text{-}150 \mu\text{g P L}^{-1}$) permettent d'identifier le panache des rivières Outaouais, du Loup, Yamachiche (au nord) et Richelieu, Yamaska et Saint-François (au sud), qui sont particulièrement visibles en périodes de fort débit printanier (20 avril) et après des pluies intenses (13 juillet, 14 septembre).

Tableau 1. Caractéristiques hydrologiques (min-max) et physico-chimiques (moyenne, écart-type, nombre d'observations) des eaux du Saint-Laurent (à Wolfe Island) et à l'embouchure de ses principaux tributaires pour la période 2000–2005.

	Saint-Laurent (2000–2005)	Outaouais (2004–2005)	L'Assomption (2000–2005)	Richelieu (2000–2005)	Yamaska (2000–2005)	Saint-François (2000–2005)
Bassin de drainage (x 10 ³ km ²)	772	146,3	4,2	23,9	4,8	10,2
Débit moyen annuel (2000–2005) (min.-max. journalier) (m ³ s ⁻¹)	6814 (5099–8744)	1838 (532–5287)	73 (6–821)	434 (79–1195)	86 (2–1278)	168 (8–1452)
Proportion du débit total (2000–2005, %) (min.-max. journalier)	73 (48–90)	19 (7–40)	0,7 (0,1–6)	4 (0,9–11)	0,8 (0,02–7)	1,6 (0,1–12)
Débit spécifique (mm y ⁻¹)	279	397	547	575	562	519
Conductivité (µS cm ⁻¹)	294 ¹ (16, 27)	81 (16, 14)	n.a.	191 (15, 307)	300 (79, 9)	195 (49, 9)
Matières en suspension (mg L ⁻¹)	1 ¹ (0,6, 39)	7,2 (11,7, 42)	20,6 (46,0, 69)	17,2 (32,6, 69)	44,2 (86,5, 71)	12,4 (15,2, 57)
Carbone organique dissous (mg C L ⁻¹)	2,5 (1,2, 99)	6,1 (0,4, 42)	5,0 (0,7, 23)	3,4 (0,3, 22)	7,5 (1,2, 34)	7,2 (1,3, 41)
Phosphore total (µg P L ⁻¹)	10 (14, 352)	34 (24, 43)	58 (50, 68)	39 (46, 70)	152 (186, 86)	35 (16, 74)
Phosphore total dissous (µg P L ⁻¹)	6 (2, 83)	15 (7, 43)	26 (18, 69)	16 (15, 70)	49 (45, 71)	12 (9, 59)
Nitrite-Nitrate (µg N L ⁻¹)	331 (89, 373)	231 (95, 43)	689 (341, 69)	508 (418, 71)	1657 (1156, 88)	326 (124, 75)
Ammoniaque (µg N L ⁻¹)	12 (17, 373)	47 (20, 43)	125 (131, 69)	52 (47, 71)	126 (191, 72)	39 (46, 59)
Chlorophylle <i>a</i> (µg L ⁻¹)	n.d.	2,0 (1,7, 39)	6,8 (6,3, 17)	6,3 (2,8, 18)	27,8 (20, 16)	9,8 (2,5, 17)

n.d. : valeurs non disponibles

Tableau 2. Charge annuelle (moyenne, écart-type, nombre d'années) de matières en suspension, de carbone organique dissous et des éléments nutritifs de la masse d'eau centrale du Saint-Laurent et des masses d'eau le long des rives nord et sud. Les années de mesure et le nombre total (N) de dates d'échantillonnage ayant servi au calcul des charges sont spécifiées pour chaque source

	Masse d'eau centrale		Masse d'eau nord			Masse d'eau sud			
	Saint-Laurent (Île Wolfe) (2000–2005) N = 374	Eaux usées municipales traitées (2004)	Outaouais (Carillon) (2004–2005) N = 44	L'Assomption (2000–2005) N = 68	Eaux usées municipales traitées (2004)	Richelieu (2000–2005) N = 71	Saint-François (2000–2005) N = 75	Yamaska (2000–2005) N = 89	Eaux usées municipales traitées (2004)
Matières en suspension ($\times 10^3 \text{ t a}^{-1}$)	199 ¹	22	590 (168, 2)	93 (40, 6)	3	245 (146, 4)	71 (39, 6)	332 (524, 6)	0,5
Carbone organique dissous ($\times 10^3 \text{ t a}^{-1}$)	544 (74, 6)	n.d.	356 (42, 2)	11 (3, 2)	n.d.	28 (7, 2)	42 (9, 5)	20 (8, 3)	n.d.
Phosphore total (t P a^{-1})	2470 (1341, 6)	486	2056 (371, 2)	183 (43, 6)	84	394 (235, 6)	199 (51, 6)	612 (460, 6)	18
Phosphore total dissous (t P a^{-1})	1355 (213, 6)	n.d.	823 (133, 2)	47 (17, 6)	n.d.	153 (98, 6)	73 (50, 6)	171 (58, 6)	n.d.
Nitrate (t N a^{-1})	73542 (8466, 6)	n.d.	13766 (892, 2)	1666 (399, 6)	n.d.	4848 (1598, 6)	2005 (410, 6)	6011 (1617, 6)	n.d.
Ammoniaque (t N a^{-1})	2759 (1486, 6)	n.d.	2808 (38, 2)	206 (116, 6)	n.d.	418 (101, 6)	314 (138, 6)	434 (100, 6)	n.d.
Azote total (t N a^{-1})	n.d.	n.d.	n.d.	2440 (627, 3)	n.d.	7403 (710, 3)	3583 (174, 3)	9731 (2632, 2)	n.d.
Chlorophylle <i>a</i> (t a^{-1})	n.d.	n.d.	98 (30, 2)	11 (3, 3)	n.d.	50 (10, 3)	43 (27, 5)	66 (41, 5)	n.d.