



Amélioration de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre

FICHE SYNTHÈSE

Document accepté par la TCRLSP et en attente d'approbation du MELCC

RÉALISATION DU DOCUMENT

Ce document fait état des travaux du Comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre qui a été mis en place le 8 décembre 2016 par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP). Ce comité a reçu le mandat d'élaborer un plan d'action concerté à court (1-2 ans), moyen (3-9 ans) et long termes (10-15 ans) visant à redonner au lac Saint-Pierre une qualité d'eau pouvant supporter un écosystème en santé ainsi que les usages anthropiques liés à la ressource en eau.

Ce dernier est composé de membres experts représentant des secteurs spécifiques.

Secteur	Organisation	Membre
Agriculture	Union des producteurs agricoles (UPA)	Simon Marmen
Gestion de l'eau	Comité ZIP du lac Saint-Pierre	Louise Corriveau
	Organisme de concertation pour l'eau des bassins versants de la rivière Nicolet (COPERNIC)	Karine Dauphin
Gouvernement fédéral	Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)	Christiane Hudon
Gouvernement provincial	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)	Hélène Bernard
		Mikael Guillou
	Ministère des Affaires municipales et Habitation (MAMH)	Pascal Beaulieu
	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP)	Philippe Brodeur
	Ministère du Conseil exécutif (MCE), Secrétariat aux affaires maritimes	Carl Martineau
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)	Caroline Anderson	
	Marc Simoneau	
Industrie	General Dynamics	Jean-François Roberge
Municipal	MRC de Maskinongé	Marc-Antoine Moreau
Recherche	Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique (GRIL)	Stéphane Campeau

L'équipe de coordination de la TCRLSP a participé à l'ensemble des travaux du comité. Enfin, d'autres participants ont été invités sur une base occasionnelle, notamment d'autres délégués des organisations déjà mentionnées ainsi que des intervenants du Service canadien de la faune, de La Financière agricole du Québec et de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Nous tenons à les remercier pour leur participation.

Ce document, qui a été rédigé et réalisé par le Comité ZIP du lac Saint-Pierre dans le cadre des travaux de la TCRLSP, est en attente de l'approbation officielle du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

La TCRLSP a été mise en place et est coordonnée par le Comité ZIP du lac Saint-Pierre. Ce projet a été réalisé avec la participation financière de :



Dans ce document, l'emploi du masculin pour désigner des personnes n'a d'autres fins que celle d'alléger le texte.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
PORTRAIT-DIAGNOSTIC	3
PORTRAIT GÉNÉRAL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC SAINT-PIERRE ET DE SES TRIBUTAIRES DIRECTS	3
<i>Bassins versants</i>	3
<i>Occupation du sol</i>	7
<i>Indicateurs de la qualité de l'eau</i>	12
<i>Évolution des principaux paramètres de qualité de l'eau : concentrations et charges</i>	23
<i>Modélisation des concentrations de phosphore</i>	30
<i>Autres paramètres de la qualité de l'eau</i>	32
SECTEUR MUNICIPAL	40
<i>Urbanisation et imperméabilisation des surfaces</i>	40
<i>Eaux usées : réseaux municipaux et résidences isolées</i>	41
<i>Prélèvement d'eau potable</i>	48
SECTEUR INDUSTRIEL ET AUTRE	49
<i>Principales industries</i>	49
<i>Rejets industriels</i>	52
<i>Terrains de golf</i>	54
SECTEUR AGRICOLE	55
<i>Types de cultures et d'élevages</i>	55
<i>Types de pratiques culturales</i>	57
<i>Cours d'eau en milieu agricole</i>	62
PROBLÉMATIQUES LIÉES À LA QUALITÉ DE L'EAU	65
<i>Impacts sur les habitats et la vie aquatique</i>	67
<i>Impacts sur les usages récréatifs et esthétiques</i>	75
<i>Impacts sur l'approvisionnement en eau potable</i>	78
<i>Changements climatiques et qualité de l'eau</i>	80
PLAN D'ACTION	82
POURSUIITE DU COMITÉ D'EXPERTS	82
ACQUISITION DE CONNAISSANCES	82
LIVRABLES	82
PLAN D'ACTION DÉTAILLÉ	83
PROGRAMME DE SUIVI DE LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN D'ACTION	84
ANNEXES	85
ANNEXE 1. LÉGISLATIONS IMPORTANTES LIÉES À LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC SAINT-PIERRE OU AUX ENJEUX QUI L'INFLUENCENT	85
ANNEXE 2. INDICE DE QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE ET PHYSICOCHIMIQUE DES STATIONS SITUÉES DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE, POUR LA PÉRIODE 2014 À 2016	93

ANNEXE 3. INDICE DE QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE ET PHYSICOCHIMIQUE DE L'EAU DANS LES TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE, POUR LA PÉRIODE 2014-2016	94
ANNEXE 4. INDICE DIATOMÉES DE L'EST DU CANADA DANS LES TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE, ÉCHANTILLONNAGES ENTRE 2002 ET 2016	95
ANNEXE 5. INDICE DE SANTÉ DU BENTHOS DANS LES TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE, ÉCHANTILLONNAGES ENTRE 2003 ET 2015	96
ANNEXE 6. RÉPARTITION DES MACROINVERTÉBRÉS DOMINANTS AU LAC SAINT-PIERRE, ENTRE 2004 ET 2011	97
ANNEXE 7. BILAN DES CHARGES DE PHOSPHORE, D'AZOTE ET DE MATIÈRES EN SUSPENSION DANS LES PRINCIPAUX TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE, POUR LA PÉRIODE 2009-2012.....	98
ANNEXE 8. MUNICIPALITÉS DES BASSINS VERSANTS DES TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE QUI RÈGLEMENTENT L'USAGE DES PESTICIDES, EN DATE DE MAI 2018.....	99
ANNEXE 9. FRÉQUENCE DE DÉTECTION (%) ET NOMBRE DE PESTICIDES DÉTECTÉS DANS LE LAC SAINT-PIERRE EN 2008, 2014 ET 2015, PAR STATION D'ÉCHANTILLONNAGE.....	100
ANNEXE 10. CONCENTRATIONS MAXIMALES MESURÉES (µG/L) DES PESTICIDES DÉTECTÉS DANS LE LAC SAINT-PIERRE EN 2008, 2014 ET 2015, PAR STATION D'ÉCHANTILLONNAGE.....	101
ANNEXE 11. MUNICIPALITÉS SANS RÉSEAU D'ÉGOUT ET LEUR POPULATION EN 2016	102
ANNEXE 12. AIDE FINANCIÈRE VERSÉE PAR LE PROGRAMME PRIME-VERT, EN 2013, VENTILÉ PAR TYPE D'INTERVENTIONS AGROENVIRONNEMENTALES POUR LES ENTREPRISES AGRICOLES SITUÉES DANS LES TRIBUTAIRES DIRECTS DU LAC SAINT-PIERRE	104
RÉFÉRENCES DU DOCUMENT	105

SOMMAIRE

Ce document présente les travaux préliminaires réalisés à la suite des rencontres effectuées par le Comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre, mis en place par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre. En décembre 2016, le comité a reçu le mandat d'élaborer un plan d'action concerté, selon un horizon temporel à court, moyen et long terme, et qui suit la vision suivante : « redonner au lac Saint-Pierre une qualité d'eau pouvant supporter un écosystème en santé ainsi que les usages anthropiques liés à la ressource en eau ». Pour y parvenir, les informations concernant le portrait, le diagnostic et les problématiques liées à la qualité de l'eau du lac Saint-Pierre ont donc été recueillies à la suite des discussions avec les membres du comité et du traitement de l'information obtenue dans la littérature scientifique et auprès d'organismes, de ministères et de chercheurs.

Au terme de ces recherches, des problématiques relevant des secteurs municipaux, industriels et agricoles ont été soulevées. Toutefois, pour certaines d'entre elles, le portrait de la situation demeure préliminaire et devra être approfondi par le comité d'experts lors des prochaines rencontres. Les problématiques identifiées à ce jour sont les suivantes :

- l'eutrophisation des cours d'eau ainsi que la prolifération d'algues et de cyanobactéries;
- la perturbation de la biodiversité et des habitats, dont les herbiers aquatiques;
- les pertes d'usages récréatifs et esthétiques de l'eau;
- les répercussions sur la santé humaine;
- l'approvisionnement et le traitement de l'eau potable;
- l'influence des changements climatiques.

Compte tenu des informations préliminaires recueillies suivantes :

- Le lac Saint-Pierre représente l'un des piliers du patrimoine naturel du Québec reconnu au niveau international comme Zone humide d'importance internationale par la Convention de Ramsar et comme Réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO;
- En raison de leur vaste territoire et de leur population importante, le lac Saint-Pierre et ses tributaires directs font état d'une complexité de par les instances municipales et gouvernementales impliquées et la diversité des usages (municipal, industriel et agricole) qui ont tous divers impacts sur sa qualité de l'eau;
- Au lac Saint-Pierre, le maintien des habitats, de la biodiversité et des activités récréatives, l'approvisionnement en eau potable ainsi que la santé humaine sont dépendants de la qualité de l'eau qui, présentement, empêche et limite la pratique de certaines activités récréatives;
- Certains aspects de la qualité de l'eau présentent des lacunes qui devront être comblées afin de cibler les secteurs géographiques ainsi que certaines sources de pollution ponctuelle et diffuse qui auraient davantage d'effets bénéfiques sur la qualité de l'eau, la santé humaine et les espèces aquatiques;

- Plusieurs efforts ont été consentis par le passé afin de réduire les sources de pollution ponctuelle importantes affectant la qualité de l'eau fluviale et des tributaires directs, mais le défi actuel consiste à réduire certaines sources de pollution ponctuelle et, de manière générale, les sources de pollution diffuse.

La Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre conclut :

- Qu'il est essentiel de poursuivre les travaux du Comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre afin d'élaborer un plan d'action dont l'objectif principal sera de régler ou d'atténuer les problématiques soulevées qui affectent les usages, la santé humaine et la biodiversité du lac Saint-Pierre.

Lorsque le comité aura élaboré son plan d'action complet, ce dernier devra être approuvé par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre et approuvé ultérieurement par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Cette fiche synthèse a été approuvée unanimement par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre le 17 octobre 2018.

PORTRAIT-DIAGNOSTIC

PORTRAIT GÉNÉRAL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC SAINT-PIERRE ET DE SES TRIBUTAIRES DIRECTS

Le lac Saint-Pierre est le plus grand et le moins profond des lacs fluviaux du Saint-Laurent¹. D'une superficie de 469 km², il s'étend de la ligne électrique de Sorel-Tracy à Nicolet sur la rive sud et de Berthierville à Pointe-du-Lac sur la rive nord. En plus du fleuve Saint-Laurent, le lac Saint-Pierre reçoit les eaux des plus gros bassins versants du Québec, tous susceptibles d'affecter la qualité de l'eau de ce lac.



Bassins versants

En plus d'être approvisionné par le lac Ontario et la rivière des Outaouais, le lac Saint-Pierre reçoit les eaux de plusieurs bassins versants. La zone d'étude pour la qualité de l'eau est composée de onze bassins versants, soit ceux des principales rivières de la rive sud et de la rive nord du lac Saint-Pierre qui se déversent directement dans le lac et d'un ensemble de bassins versants orphelins, le tout nommé ci-après « tributaires directs ».

Les bassins versants orphelins alimentent le lac Saint-Pierre, mais leur territoire (< 100 km²) est drainé par de plus petits cours d'eau que les autres tributaires directs². Il est à noter que la portion québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi n'a pas été conservée dans la zone d'étude, car ses eaux passent par les États-Unis avant de revenir au Québec. Il en est de même pour la portion américaine du bassin versant de la rivière Saint-François.

Bien que le bassin versant du lac Saint-Pierre occupe une superficie totale de plus de 990 000 km², seulement 14 % de cette superficie est située au Québec. Cette zone touche 11 régions administratives, 58 municipalités régionales de comté (MRC) et 654 municipalités³.

La portion québécoise des tributaires directs compte pour environ 2,5 % de la superficie totale du bassin versant du lac Saint-Pierre, dont 2 % de cette superficie est constituée des bassins versants de la rive sud du lac (Figure 1 et Tableau 1). Au total, la zone étudiée par le comité sur l'amélioration de la qualité de l'eau touche à 6 régions administratives, 31 MRC ainsi que 311 municipalités.

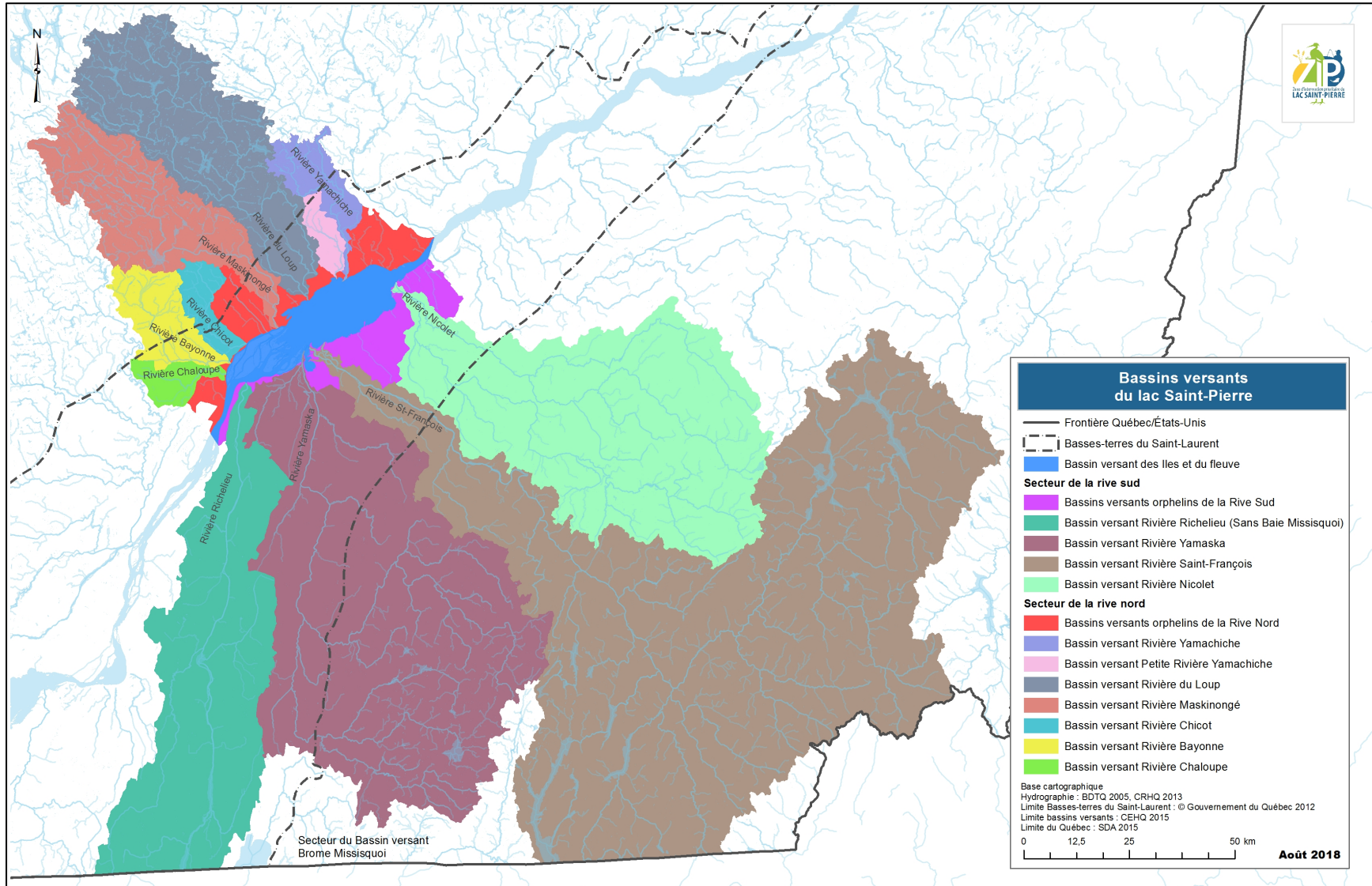


Figure 1. Bassins versants des tributaires directs du lac Saint-Pierre

Tableau 1. Superficie des portions québécoises des bassins versants des tributaires directs du lac Saint-Pierre

Bassin versant	Superficie (km ²)	Proportion de la zone étudiée (%)
Rive nord	4 217	17,5
La Chaloupe, Rivière	145	0,6
Bayonne, Rivière	364	1,5
Chicot, Rivière	176	0,7
Maskinongé, Rivière	1 106	4,6
Du Loup, Rivière	1 601	6,7
Yamachiche, Petite rivière	109	0,5
Yamachiche, Rivière	264	1,1
Bassins versants orphelins (34)	452	1,9
Rive sud	19 838	82,5
Richelieu, rivière	2 553	10,6
Yamaska, Rivière	4 796	19,9
Saint-François, Rivière	8 694	36,1
Nicolet, Rivière	3 410	14,2
Bassins versants orphelins (21)	387	1,6
Total	24 056	100,0

a : Le total a été calculé à partir des sous-totaux (en gras) des tributaires directs de la rive nord et de la rive sud du lac Saint-Pierre.

Source des données : Données extraites et modifiées de la couche d'information géographique des bassins hydrographiques multiéchelles du Québec (2015⁴)

Les eaux en provenance des différents tributaires du lac Saint-Pierre (tributaires directs et ceux situés en amont du lac) effectuent un mélange très lent avec les eaux provenant du fleuve Saint-Laurent. Puisque les eaux s'écoulent de façon unidirectionnelle en suivant le rivage du lac, il en résulte des masses d'eau contiguës (Figure 2) dont le mélange latéral s'effectue très lentement à cause du grand rapport entre la largeur et la profondeur du lac⁵. La masse d'eau centrale est composée des eaux provenant du fleuve Saint-Laurent, c'est-à-dire de la masse d'eau secondaire provenant des Grands Lacs. Cette masse possède un flot rapide qui empêche le mélange immédiat avec les eaux qui coulent lentement le long de la rive nord et de la rive sud⁶. Au nord, une masse d'eau principale est composée par des eaux du Bouclier canadien et est formée de trois masses d'eau secondaire. Ces dernières correspondent aux rivières du Loup et Yamachiche, à la rivière des Outaouais ainsi qu'à la rivière Maskinongé et des petits tributaires s'écoulant dans la région des îles de Sorel. Finalement, la masse d'eau principale du sud regroupe quatre masses d'eau secondaires, dont deux mélanges d'eau. Il y a un mélange des rivières Richelieu et Yamaska ainsi qu'un mélange des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François. Les deux autres masses d'eau secondaires au sud sont constituées des eaux de la rivière Saint-François ainsi que celles de la rivière Nicolet et de petits tributaires.



© Comité ZIPLSP

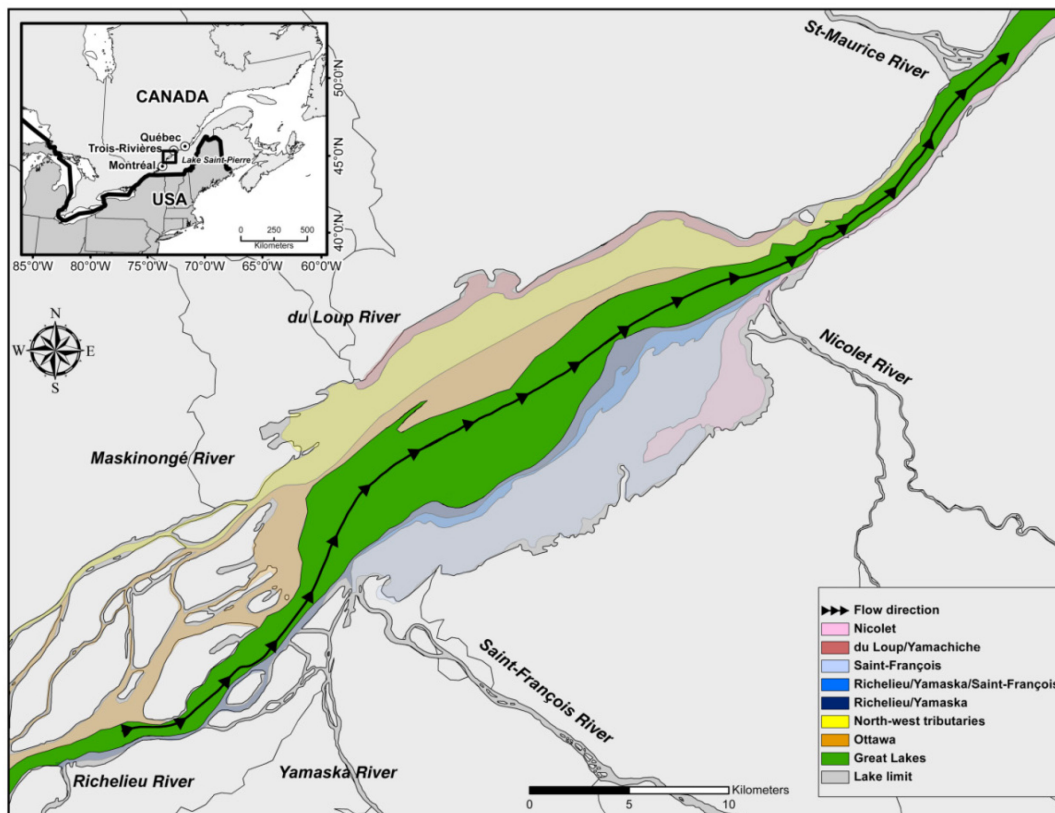


Figure 2. Distribution des masses d'eau (août 2006) dans le lac Saint-Pierre selon leurs caractéristiques spectrales (image modifiée¹)

Les trois principales masses d'eau du lac Saint-Pierre se distinguent par leurs caractéristiques physicochimiques⁵. Par exemple, leur couleur présente un gradient passant d'eaux brunes près des rives à des eaux claires au centre, ce qui affecte les caractéristiques de la lumière sous l'eau^{7, 8}. La distribution spatiale des végétaux et des habitats de la faune aquatique est à son tour fortement influencée par ces différences⁹. Une autre caractéristique distinguant les masses d'eau est le temps de résidence de leurs eaux. Alors que ce temps est de 20 heures pour le chenal maritime, il peut être aussi long que 72 heures dans les masses d'eau latérales¹⁰. Cette différence de temps est encore plus marquée lors de l'étiage d'été, en raison des débits plus faibles et des plantes aquatiques plus abondantes dans les zones peu profondes. À ce moment, le temps de résidence des eaux près des rives du lac peut être de plusieurs jours, voire plusieurs semaines¹¹.

Dans les bassins versants, les cours d'eau sont parfois soumis au phénomène du marnage. Ce processus désigne les variations de niveau d'eau dans un lac qui n'est pas soumis aux marées¹². Les variations, lorsqu'elles dépassent l'amplitude naturelle du lac, sont associées au marnage excessif et se présentent lorsque le niveau d'un plan d'eau est artificiellement géré par un barrage.

Les lacs ne sont toutefois pas les seuls plans d'eau à subir des variations de niveau d'eau; les rivières connaissent également des fluctuations reliées à la gestion des barrages. Dispersés sur le territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre, les barrages d'origine anthropiques ont une influence sur les niveaux d'eau et les débits, et ce, autant en amont qu'en aval des bassins versants¹³.

PLAN 2014 : RÉGULARISATION DU LAC ONTARIO ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT¹⁴

En 2012, plusieurs séances d'informations publiques ont été tenues par la Commission mixte internationale (CMI) afin de recevoir des commentaires relatifs au plan de régularisation Plan 1958-D. Après un long processus de consultation (notamment avec les juridictions de l'état de New York et les provinces de l'Ontario et du Québec), de délibération et de perfectionnement du plan de régularisation et autres composantes, la CMI a soumis une proposition formelle : le Plan 2014.

Ce nouveau plan comprend des modifications aux règles du Plan 1958-D qui visaient à mieux équilibrer les niveaux d'eau du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent pendant les périodes de faibles apports en eau. Il y a également eu ajout de niveaux seuils supérieurs et inférieurs qui, lorsqu'atteints, vont déclencher la mise en œuvre de mesures spéciales. Ces mesures permettront de protéger les prises d'eau, la navigation commerciale et la navigation de plaisance ainsi que les intérêts des riverains. Bref, le Plan 2014 vise le rétablissement d'un régime hydrologique plus naturel et l'ajustement des niveaux d'eau en fonction de l'évolution des apports naturels.

Pour l'utilisation de l'eau à des fins municipales et industrielles, le Plan 2014 ne changera pas les effets économiques de ces secteurs. En cas de bas niveaux d'eau, la fréquence et l'amplitude des effets sur l'approvisionnement municipal en eau sur le fleuve Saint-Laurent ne seront pas affectées, même lors des longues sécheresses. En cas de niveaux d'eau élevés, la majorité des usines de traitement de l'eau potable ou des eaux usées ne seront pas considérées comme étant vulnérables.

Occupation du sol

L'occupation du territoire drainé par les tributaires directs du lac Saint-Pierre a un impact majeur sur la qualité de l'eau de ce dernier. Les bassins versants de ces tributaires sont composés d'une forte proportion de milieux forestiers et agricoles (Figure 3). Parmi ces derniers, les cultures à grand interligne sont les plus répandues sur la rive nord (environ 20 % de la superficie totale des tributaires directs) alors que, sur la rive sud, elles représentent environ 13 % du territoire¹⁵. Du côté de l'occupation du sol de type anthropique, il y a notamment le secteur municipal*. Le lac Saint-Pierre reçoit les eaux usées de 253 municipalités situées dans la zone d'étude (environ 1,15 million d'habitants^{16, 17}) ainsi que celles de 61 municipalités situées dans le fleuve en amont, lesquelles comptent environ 3,3 millions d'habitants¹⁵.



* L'occupation anthropique du sol comprend les zones urbaines, y compris les routes, les chemins, les infrastructures et autres vocations similaires, les sites de matières premières, tels que les carrières, gravières et les mines, les bassins (filtration, décontamination, déchets liquides, etc.), les lieux d'enfouissement, les zones industrielles et commerciales ainsi que les lignes de transports d'énergie et les installations de gaz et de pétrole.

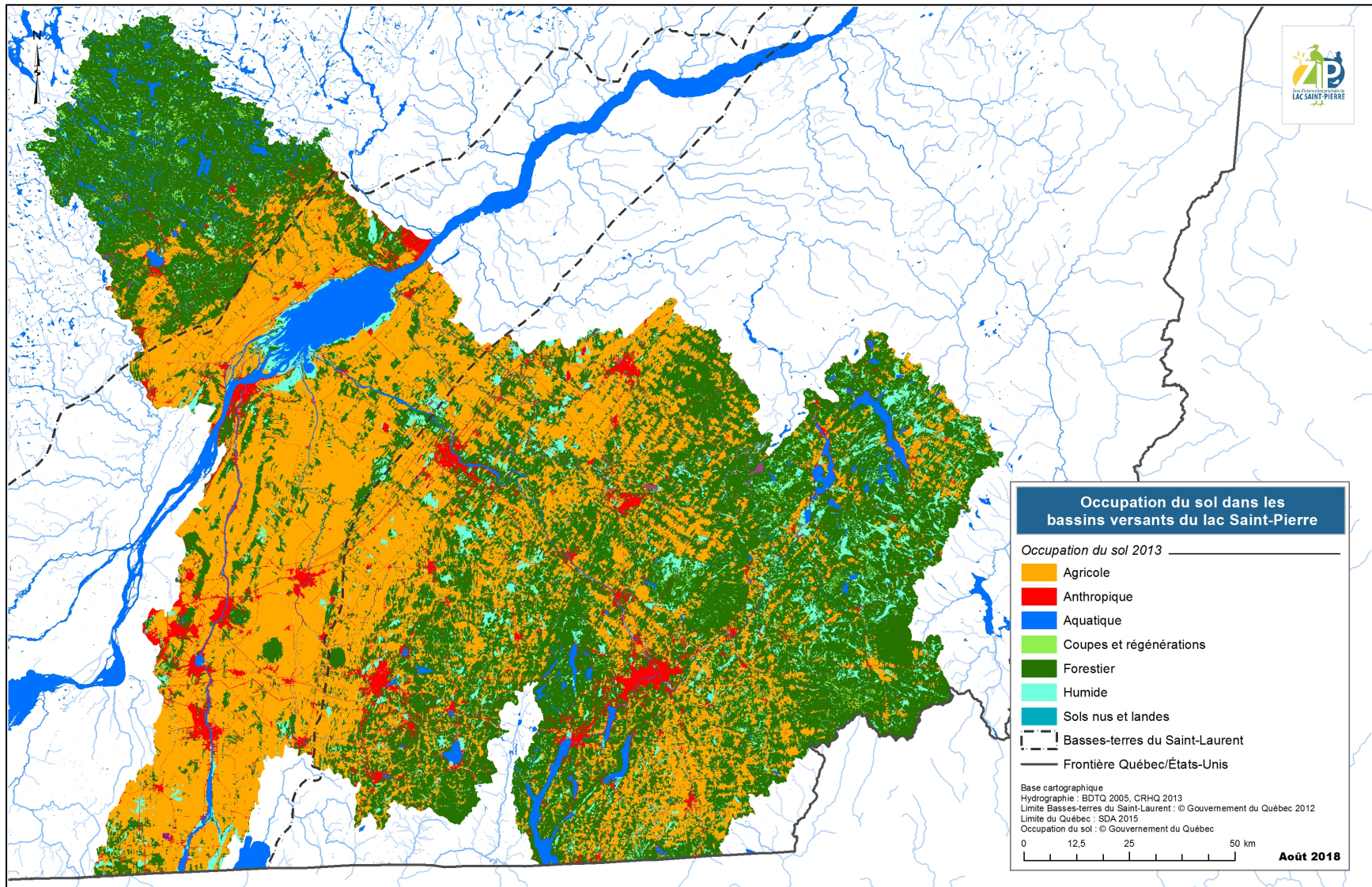


Figure 3. Occupation du sol dans les bassins versants des tributaires directs du lac Saint-Pierre en 2013¹⁸

L'utilisation du sol diffère entre les tributaires directs de la rive nord et ceux de la rive sud (Tableau 2). Alors que 41 % du territoire au sud du lac est occupé par les terres agricoles, ces dernières occupent 25 % de la superficie totale de la rive nord. Toutefois, puisque la taille des bassins est très variable, la proportion des superficies occupées par les activités agricoles n'est pas l'unique facteur à prendre en considération pour évaluer le poids de ces dernières par rapport à la superficie totale de chaque bassin versant. Par exemple, bien que les bassins versants de la Petite rivière Yamachiche et des rivières La Chaloupe et Bayonne n'occupent qu'une superficie totale d'environ 600 km², les terres agricoles y occupent respectivement 81 %, 71 % et 55 % de leur territoire. Du côté des tributaires directs de la rive sud, les bassins versants orphelins et les bassins versants des rivières Richelieu et Yamaska ont une superficie agricole supérieure à 50 % de leur territoire (70 %, 70 % et 55 % respectivement). Au total, ces deux bassins versants de la rive sud occupent 7 736 km², soit 39 % de la superficie de tous les bassins versants de la rive sud à l'étude.



Du côté forestier, 60 % de la zone d'étude au nord du lac Saint-pierre est occupée par les forêts alors que, sur la rive sud, ces dernières occupent 44 % de la superficie totale du territoire (Tableau 2). À l'instar des superficies agricoles, il est pertinent de souligner la relation entre les superficies de terres forestières et les superficies totales de chaque bassin versant. Sur la rive nord, ceux des rivières Chicot, du Loup, Maskinongé et Yamachiche possèdent tous des territoires forestiers recouvrant plus de 50 % de leurs superficies totales. Sur la rive sud, cependant, il n'y a que les forêts du bassin versant de la rivière Saint-François qui couvrent plus de 50 % du territoire de ce dernier. Dans l'ensemble, les milieux forestiers couvrent 46 % du territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre. Ces 11 366 km² de terres forestières sont dominés par les forêts de feuillus et les forêts mixtes (respectivement environ 44 % et 39 %). Les portions restantes se partagent entre les forêts de conifères (≈ 12 %) et les arbustives (≈ 4 %). Les proportions des différents types de forêts sur la rive nord et la rive sud du lac Saint-Pierre sont similaires. Les bassins versants des tributaires directs de la rive nord et de la rive sud incluent également 327 km² de coupes et de régénération, dont la majorité est constituée des coupes forestières en forêts perturbées (71 %). Sur la rive nord, les coupes forestières occupent 83 % de la superficie des forêts perturbées et, sur la rive sud, ce pourcentage augmente à 85 %.¹⁸

Les activités forestières, bien que présentes sur le territoire, ne seront pas discutées dans les sections ultérieures. Il est toutefois important de mentionner que les opérations forestières peuvent avoir des impacts considérables sur la qualité de l'eau. La réduction du couvert forestier cause habituellement une diminution de la perméabilité des sols et de l'infiltration de l'eau. Par conséquent, l'eau a tendance à ruisseler davantage à la surface du sol, favorisant l'érosion des sols ainsi que l'apport de sédiments et de matière organique vers les cours d'eau. Par ailleurs, les chemins forestiers et le drainage forestier, si ce dernier est mal réalisé, constituent également une source de perturbation pour le réseau hydrique. Ils favorisent notamment la migration des sédiments vers les cours d'eau, particulièrement en tête de certains bassins versants, ce qui a pour effet d'augmenter la turbidité de l'eau et la détérioration des habitats aquatiques.¹⁹

Tableau 2. Utilisation du sol dans le lac Saint-Pierre, ses îles et ses tributaires directs en 2013

Bassin versant ou territoire	Type d'occupation du sol en km ² (pourcentage (%) de l'occupation du sol du bassin versant)									Total
	Agricole	Anthropique ^a	Aquatique	Coupes et régénérations	Forestier	Humide	Non classifié	Sols nus et landes	Indéterminé	
Rive nord	1 039 (24,6)	151 (3,6)	202 (4,8)	62 (1,5)	2 603 (61,7)	157 (3,8)	<1 (0,0)	5 (0,1)	1 (0,0)	4 217
La Chaloupe, Rivière	103 (71,1)	12 (8,3)	74 (0,5)	1 (0,4)	26 (18,0)	2 (1,6)	—	—	<1 (0,1)	145
Bayonne, Rivière	203 (55,7)	20 (5,4)	2 (0,7)	1 (0,2)	136 (37,3)	3 (0,8)	—	<1 ^b (0,1)	<1 (0,0)	364
Chicot, Rivière	66 (37,6)	5 (2,8)	2 (0,9)	1 (0,8)	96 (54,4)	5 (3,1)	—	1 (0,4)	—	176
Maskinongé, Rivière	125 (11,3)	23 (2,1)	73 (6,6)	19 (1,7)	821 (74,2)	43 (3,9)	—	3 (0,3)	<1 (0,0)	1 106
Du Loup, Rivière	191 (11,9)	21 (1,3)	114 (7,1)	35 (2,2)	1 181 (73,7)	58 (3,6)	—	1 (0,1)	<1 (0,0)	1 601
Petite Yamachiche, Rivière	89 (81,7)	4 (3,5)	<1 (0,0)	<1 (0,1)	16 (14,6)	<1 (0,1)	—	—	—	109
Yamachiche, Rivière	55 (20,8)	11 (4,3)	8 (2,9)	2 (0,6)	182 (68,9)	6 (2,5)	—	—	<1 (0,0)	264
Bassins versants orphelins	207 (45,8)	55 (12,1)	2 (0,5)	3 (0,7)	145 (32,0)	40 (8,8)	—	—	<1 (0,0)	452
Rive sud	8 194 (41,3)	1 010 (5,1)	508 (2,6)	268 (1,3)	8 755 (44,1)	1 093 (5,5)	<1 (0,0)	3 (0,0)	8 (0,0)	19 839
Richelieu, Rivière	1 774 (69,5)	247 (9,7)	67 (2,6)	3 (0,1)	377 (14,8)	81 (3,2)	—	1 (0,0)	3 (0,1)	2 553
Yamaska, Rivière	2 667 (55,6)	249 (5,2)	61 (1,3)	21 (0,4)	1 621 (33,8)	175 (3,6)	—	<1 (0,0)	1 (0,0)	4 796
Saint-François, Rivière	1 946 (22,4)	373 (4,3)	347 (4,0)	179 (2,1)	5 183 (59,6)	662 (7,6)	<1 (0,0)	2 (0,0)	2 (0,0)	8 694
Nicolet, Rivière	1 537 (45,1)	119 (3,5)	32 (0,9)	63 (1,9)	1 507 (44,2)	149 (4,4)	—	<1 (0,0)	1 (0,0)	3 410
Bassins versants orphelins	271 (69,9)	23 (5,9)	1 (0,3)	1 (0,2)	66 (17,2)	25 (6,6)	—	—	<1 (0,0)	387
Îles et lac Saint-Pierre	37 (7,1)	3 (0,6)	437 (84,2)	<1 (0,0)	9 (1,8)	33 (6,3)	—	<1 (0,0)	<1 (0,0)	519
Total	9 270 (37,7)	1 164 (4,7)	1 147 (4,7)	329 (1,3)	11 366 (46,2)	1 284 (5,2)	0 (0,0)	8 (0,0)	9 (0,0)	24 575

a : L'occupation du sol de type anthropique comprend les zones urbaines, y compris les routes, les chemins, les infrastructures et autres vocations similaires, les sites de matières premières, tels que les carrières, gravières et les mines, les bassins (filtration, décontamination, déchets liquides, etc.), les dépotoirs, les zones industrielles et commerciales ainsi que les lignes de transports d'énergie et les installations de gaz et de pétrole.

b : Les superficies couvrant moins de 1 km² n'ont pas été prises en considération dans les calculs des superficies totales.

c : Le total a été calculé à partir des sous-totaux (en gras) de la rive nord, de la rive sud, des îles et du lac Saint-Pierre.

Source des données : Données extraites et modifiées de la couche d'informations géographique matricielle obtenue par l'entente ACRIgéo (2014¹⁸)

En ce qui a trait aux milieux humides, en plus de leur présence dans la zone inondable du lac Saint-Pierre, l'ensemble des tributaires directs possède plus de 0,1 km² de ces milieux. Leur présence est relativement plus importante à l'extérieur des Basses-terres du Saint-Laurent, soit plus en amont des bassins versants, là où le territoire forestier est plus important (Figure 3). Les milieux humides et leur préservation sont importants en raison des nombreux services rendus par ces derniers, tel que favoriser la régulation des phénomènes naturels en protégeant les rives de l'érosion. La forte capacité de rétention d'eau de ces milieux permet aussi de réduire les risques d'inondation, et ils agissent comme un filtre naturel, ce qui contribue à l'amélioration de la qualité de l'écosystème des lacs et des cours d'eau²⁰. Malgré les avantages qu'ils procurent, les milieux humides subissent encore aujourd'hui plusieurs pressions anthropiques, que ce soit par une mauvaise délimitation de ces écosystèmes ou par la perception inégale de la valeur de ceux-ci par la population. En effet, des activités de creusage, de drainage, de remblayage ou de déboisement modifient les fonctions écologiques de ces milieux, menaçant ainsi leur intégrité. Il en résulte une perte partielle ou totale des fonctions des milieux humides²¹. Afin de mieux préserver ces milieux, la *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* (LCCMH) est entrée en vigueur en juin 2017, avec comme objectif central le principe « d'aucune perte nette » (Annexe 1). De ce fait, cette loi vise principalement à réduire la perte de milieux humides, à faire des gains nets de ces milieux, en plus de prévoir également des mesures de compensation lorsqu'un projet ou une activité affecte inévitablement un milieu humide ou hydrique. La LCCMH vise également à tenir compte de manière plus importante des fonctions écologiques de ces milieux et à mieux planifier le développement du territoire à l'échelle des bassins versants afin de les protéger²².

Dans les différents tributaires directs, les bandes riveraines des cours d'eau ont été partiellement étudiées au fil des années. Concernant les bassins versants des rivières La Chaloupe et Chicot, seules des données relatives au tronçon principal ont été obtenues. Dans les deux cas, l'indice de qualité des bandes riveraines (IQBR) calculé en 2011 montre une bonne qualité de bandes riveraines^{23, 24}. Dans le bassin versant de la rivière Bayonne et les sous-bassins de la rivière Maskinongé, les cours d'eau étudiés en 2007 montrent des bandes riveraines insuffisantes ou inexistantes à plusieurs endroits^{25, 26}. Toutefois, la rivière Maskinongé présente un IQBR majoritairement de bonne ou très bonne qualité. En ce qui a trait aux cours d'eau des bassins versants des rivières du Loup, Yamachiche et Petite rivière Yamachiche, les IQBR obtenus entre 2012 et 2014 sont très variables. En effet, plus de la moitié des rives de la Petite rivière Yamachiche et de la Petite rivière du Loup sont dans un mauvais état. Les rivières du Loup et Chacoura ont également un fort pourcentage de bandes riveraines en mauvais état. À l'opposé, les rivières Yamachiche et aux Sables, ainsi que les ruisseaux Saint-Charles et aux Glaises, présentent des valeurs de l'IQBR relativement bonnes²⁷. Dans le bassin versant de la rivière Richelieu, des études effectuées entre 2004 et 2013 ont permis de calculer l'IQBR de 13 cours d'eau. Les données obtenues, bien que partielles, permettent tout de même de dresser un portrait général, avec la majorité des cours d'eau présentant un IQBR en mauvais état²⁸. Du côté du bassin versant de la rivière Saint-François, les cinq rivières échantillonnées en 2000 montrent un certain pourcentage de rives sans végétation. La rivière Coaticook est celle dont le pourcentage de bandes riveraines manquantes est le plus élevé, avec 30 %²⁹. Pour le bassin versant de la rivière Yamaska, très peu de données relatives aux bandes riveraines sont connues. Seule une analyse de photographies aériennes de 1992 et 1993 a permis de déterminer qu'à cette époque, les rives en milieu urbain étaient de très faible qualité alors que les bandes riveraines des autres secteurs étaient considérées comme étant de faible qualité³⁰. Finalement, une seule rivière a été étudiée en 2011 dans le bassin de la rivière Nicolet et cette dernière montre une plus forte proportion de bandes riveraines avec un IQBR en très mauvais état³¹. Bien

que ce portrait des tributaires directs du lac Saint-Pierre permette de montrer une grande variabilité entre la qualité des bandes riveraines des différents cours d'eau et qu'une grande partie est en mauvais état, il est important de souligner le manque d'informations dans certains secteurs du territoire à l'étude. À ce jour, plusieurs cours d'eau dans les différents bassins versants n'ont fait l'objet d'aucune caractérisation.

Malgré tout, un cadre législatif entourant les rives et leurs bandes riveraines doit être respecté par les différents acteurs du territoire. Selon la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (PPRLPI), de façon générale, toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux sont interdits en rive (Annexe 1). Certaines exceptions sont toutefois permises, entre autres concernant la culture du sol à des fins d'exploitation agricole. Cependant, une bande riveraine de 3 m, incluant au moins 1 m sur le haut du talus, doit minimalement être respectée en permanence pour toute culture du sol située dans la rive. Selon l'article 2.2 de la PPRLPI, la rive est définie comme « la bande de terre qui borde les lacs et les cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux (LHE)* ». La largeur de la rive, qui se mesure horizontalement, varie entre 10 m et 15 m en fonction de la pente et de la hauteur du talus. La politique précise les types d'interventions permises en rive et fixe ainsi un cadre normatif minimal qui doit être appliqué par les municipalités. Les dispositions contenues dans la PPRLPI doivent être contenues dans les schémas d'aménagement et de développement (SAD) des MRC et, ainsi, introduites dans les règlements municipaux, et ce, en vertu de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* (Annexe 1).³²

Toutefois, l'application actuelle de la politique est parfois difficile, notamment car la cartographie de la LHE n'est pas à jour dans le SAD révisé de certaines MRC. Ce sont toutefois les municipalités, et non les MRC, qui ont compétence en ce qui concerne le respect des bandes riveraines. Comme la réglementation actuelle se base sur la LHE, les limites de la bande riveraine peuvent être difficiles à établir et donc à faire respecter pour les municipalités.

Indicateurs de la qualité de l'eau

Depuis de nombreuses années, plusieurs stations d'échantillonnages permettent de récolter des données relatives à différents indices mesurant la qualité de l'eau. Les trois principaux indices utilisés sont l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique (IQBP), l'indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) ainsi que l'indice de santé du benthos (ISB). Outre ces trois indices, il existe des critères bactériologiques de qualité de l'eau pour les usages récréatifs. Deux autres outils ont également été utilisés par le passé au lac Saint-Pierre, soit la contamination de la chair de poisson et l'indice d'intégrité biotique des communautés piscicoles.

Concernant la contamination de la chair de poisson, une étude réalisée entre 2002 et 2008 par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a permis d'évaluer les teneurs en polybromodiphényléthers (PBDE) dans la chair de ces espèces, et ce, à différents sites dans le fleuve Saint-Laurent³³. Des PBDE ont été détectés dans tous les échantillons de poissons analysés, et c'est au lac Saint-Pierre qu'ont été observés les concentrations les plus fortes et les dépassements les plus importants. Selon Environnement Canada, la valeur estimée sans effet observé est de 8,4 µg/kg pour la chair de la faune piscivore. Or, les teneurs en PBDE atteignent de 12 µg/kg à 55 µg/kg dans le doré jaune (*Sander vitreus*), de 4,6 µg/kg à 29 µg/kg dans le grand brochet (*Esox lucius*), de 0,6 µg/kg à 2,6 µg/kg dans la perchaude (*Perca flavescens*) et de 46 µg/kg à 106 µg/kg pour le meunier noir (*Catostomus commersonii*). On retrouve

* La ligne des hautes eaux est le niveau maximal qu'un cours d'eau atteint en période de crues ou selon les fluctuations naturelles.

d'ailleurs des PBDE dans les œufs du grand héron (*Ardea herodias*) au lac Saint-Pierre à une concentration de 777 µg/kg, indiquant la présence importante de ce contaminant dans leur source de nourriture à leur site de reproduction³³. En plus des PBDE, les teneurs moyennes en biphényles polychlorés (BPC) dans les meuniers noirs du lac Saint-Pierre sont légèrement supérieures au critère pour la protection de la faune piscivore et sont donc à surveiller. Toutefois, la tendance de la contamination aux BPC est jugée à la baisse depuis 1976³⁴. Rappelons toutefois que, utilisés autrefois pour la fabrication de lubrifiants, les BPC sont interdits depuis 1970.

Quant à l'indice d'intégrité biotique (IIB) des communautés piscicoles, les campagnes d'échantillonnage du réseau de suivi ichtyologique du fleuve Saint-Laurent qui sont en place depuis 1995 ont permis d'évaluer l'état de santé des communautés de poissons dans le lac Saint-Pierre et son archipel. Ce suivi a été réalisé à partir de 12 descripteurs, tels que la diversité des espèces, la présence d'espèces intolérantes à la pollution et la prévalence d'anomalies externes³⁵. Depuis le début des échantillonnages, l'IIB demeure à l'intérieur de valeurs faibles à moyennes et, au cours de la dernière campagne d'échantillonnage (2009-2011), plus du trois quarts des stations d'échantillonnage de l'archipel étaient considérées comme présentant un faible état de santé des communautés de poissons, contrairement à environ seulement le tiers des stations sur les rives nord et sud du lac Saint-Pierre³⁶.

Indice de qualité bactériologique et physicochimique

Développé en 1996 pour les cours d'eau du Québec, l'IQBP permet d'évaluer la qualité de l'eau en prenant en compte l'ensemble des usages suivants : la baignade, les activités nautiques, l'approvisionnement en eau à des fins de consommation, la protection de la vie aquatique et la protection d'un plan d'eau contre l'eutrophisation. Cet indice est utilisé en période estivale, soit de mai à octobre. Les paramètres utilisés dans les stations d'échantillonnages sont l'azote ammoniacal (NH₃), la chlorophylle-a totale (CHLA), les coliformes fécaux (CF), les matières en suspension (MES), les nitrates-nitrites (NO_x) ainsi que le phosphore total (PTOT). L'ensemble de ces paramètres forme l'IQBP₆. Afin de déterminer la valeur de cet indice pour une station donnée, une valeur d'IQBP (sous-indices) est attribuée pour chaque paramètre, et celui ayant la valeur la plus faible devient alors le paramètre déclassant et détermine la valeur de l'IQBP₆ de la station. Puisque plusieurs campagnes d'échantillonnage ont lieu au cours d'une même période (mai à octobre), l'IQBP final est déterminé par la médiane des indices de tous les prélèvements.³⁷

On peut alors définir cinq classes de qualité de l'eau, réparties sur une échelle de 0 à 100 (Tableau 3).

Tableau 3. Classes de l'indice de qualité bactériologique et physicochimique³⁷

Classe	Valeurs de l'IQBP	Qualité de l'eau	Influence sur les usages
A	80-100	Bonne	Permet généralement tous les usages, y compris la baignade
B	60-79	Satisfaisante	Permet généralement la plupart des usages
C	40-59	Douteuse	Risque de compromettre certains usages
D	20-39	Mauvaise	Risque de compromettre la plupart des usages
E	0-19	Très mauvaise	Risque de compromettre tous les usages

Il est à noter que l'IQBP, bien qu'utile pour évaluer la qualité générale de l'eau des rivières et des petits cours d'eau, ne permet toutefois pas d'obtenir de renseignements relatifs à la présence de substances toxiques ou à la perte/dégradation d'habitats essentiels au maintien de la vie aquatique. Pour combler ces

lacunes, il est possible d'utiliser des outils complémentaires, tels que l'IDEC, l'ISB ainsi que l'indice d'intégrité biologique des communautés piscicoles³⁷.

Au lac Saint-Pierre, on compte 20 stations d'échantillonnage de l'IQBP₆, soit 14 stations à l'embouchure des rivières et 6 stations dans le fleuve Saint-Laurent. Au total, 59 stations ayant fait l'objet d'un échantillonnage par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) pendant la période de 2014 à 2016 sont présentes dans l'ensemble du territoire à l'étude.

Critères bactériologiques de qualité de l'eau pour les usages récréatifs

Parmi les paramètres utilisés pour calculer l'IQBP₆, celui correspondant aux coliformes fécaux a également été utilisé pour les critères bactériologiques de qualité de l'eau liés aux usages récréatifs. Lorsque des usages tels que la baignade ou le kayak sont envisagés dans un cours d'eau, il est important d'effectuer un diagnostic de la qualité de l'eau, plus précisément de la présence de contamination microbienne pour déterminer les usages permis. Une échelle de qualité de l'eau a été divisée en cinq classes de critères correspondant aux nombres de coliformes fécaux par 100 ml d'eau (Tableau 4). Un nombre élevé de bactéries est synonyme d'une restriction des usages permis, et ce, afin d'éviter les problèmes de santé humaine³⁸.

Tableau 4. Classification de la qualité de l'eau utilisée pour les usages récréatifs³⁸

Qualité de l'eau	Coliformes fécaux/100 ml	Explication
Excellente	0-20	Tous les usages récréatifs permis
Bonne	21-100	Tous les usages récréatifs permis
Médiocre	101-200	Tous les usages récréatifs permis
Mauvaise	Plus de 200	Baignade et autres contacts directs avec l'eau compromis
Très mauvaise	Plus de 1 000	Tous les usages récréatifs compromis

Les classes Mauvaise et Très mauvaise sont associées à deux critères de protection des activités récréatives. Lorsqu'il y a plus de 200 UFC/100 ml* de CF, les usages de type « direct », tels que la baignade et le ski nautique, sont compromis. Lorsque le nombre de CF dépasse les 1 000 UFC/100 ml, les usages de type « direct » sont compromis, en plus de ceux de type « indirect ». Ces derniers correspondent à des activités où le contact avec l'eau est léger ou indirect, comme c'est le cas pour le canotage et la pêche¹⁵.

Les valeurs utilisées pour les critères bactériologiques de qualité de l'eau pour les usages récréatifs correspondent aux données de CF récoltées dans le cadre du suivi de l'IQBP₆. Notez que le nombre de stations présentes dans le lac Saint-Pierre et en amont de ce dernier est de 20.

Indice Diatomées de l'Est du Canada

Développé pour l'Est du Canada, l'IDEC permet d'évaluer l'intégrité biologique des cours d'eau à partir des assemblages de diatomées³⁹. Les diatomées sont des algues microscopiques planctoniques ou benthiques formant souvent un tapis brunâtre dans le fond des cours d'eau. La structure de leur communauté est peu influencée par les caractéristiques physiques des cours d'eau (contrairement aux invertébrés benthiques),

* UFC = Unité formant des colonies

mais très sensible aux concentrations en azote, en phosphore et à la présence de matière organique. Ces caractéristiques font en sorte que les diatomées sont les bio-indicateurs des conditions de qualité de l'eau, d'eutrophisation et d'enrichissement en matières organiques prévalant à court terme dans un cours d'eau (trois à cinq semaines avant l'échantillonnage). Une première version de l'IDEC a été créée en 2005. Une troisième version (IDEC3) est maintenant disponible; celle-ci a été développée à partir de 650 assemblages de diatomées provenant de plus de 400 cours d'eau du Québec et de l'Ontario⁴⁰.

L'indice, qui varie de 0 à 100, reflète la distance écologique qui sépare les communautés de diatomées dans les cours d'eau à l'état naturel de celles observées dans les cours d'eau pollués. Une valeur élevée indique une bonne intégrité écologique alors qu'une faible valeur traduit une communauté perturbée. L'IDEC peut alors être divisé en quatre classes de qualité de l'eau reflétant l'état trophique d'un cours d'eau (Tableau 5). Les cours d'eau présentant une classe A de l'IDEC montrent de faibles concentrations en phosphore, en azote ou en matières organiques. Cette classe est donc synonyme de rivières oligotrophes non polluées. À l'autre bout du spectre, la classe D est synonyme de cours d'eau eutrophes, où seules les espèces de diatomées très tolérantes à la pollution peuvent y vivre⁴⁰. L'IDEC est divisé en trois sous-indices pour tenir compte des particularités physicochimiques des eaux des différentes régions de l'Est du Canada. Par exemple, les communautés des rivières non polluées s'écoulant sur les roches et les dépôts légèrement acides du Bouclier canadien ne seront pas les mêmes que les communautés des rivières non polluées s'écoulant sur les roches sédimentaires et les argiles marines de la plaine du Saint-Laurent. Ainsi, trois indices ont été développés afin de tenir compte du pH et de la conductivité des rivières en milieu naturel, soit l'IDEC-Neutre, l'IDEC-Alcalin et l'IDEC-Minéral*.

Tableau 5. État trophique et qualité de l'eau associés à chaque classe de l'IDEC en fonction du sous-indice⁴⁰

État trophique (valeurs de l'IDEC)		
Classe	Neutre	Alcalin
A	Oligotrophe (71-100)	Oligotrophe (71-100)
B	Oligo-mésotrophe (46-70)	Mésotrophe (46-70)
C	Méso-eutrophe 21-45	Méso-eutrophe 26-45
D	Eutrophe (0-20)	Eutrophe (0-25)

Les limites des classes de l'IDEC ne sont pas les mêmes selon le sous-indice utilisé et correspondent à des seuils écologiques propres aux différentes régions. Le passage d'une classe à l'autre représente un changement important de la structure de la communauté par une dégradation ou une récupération d'un cours d'eau³⁷ (Figure 4).

* L'IDEC-Minéral n'est pas utilisé au Québec, mais en Ontario.

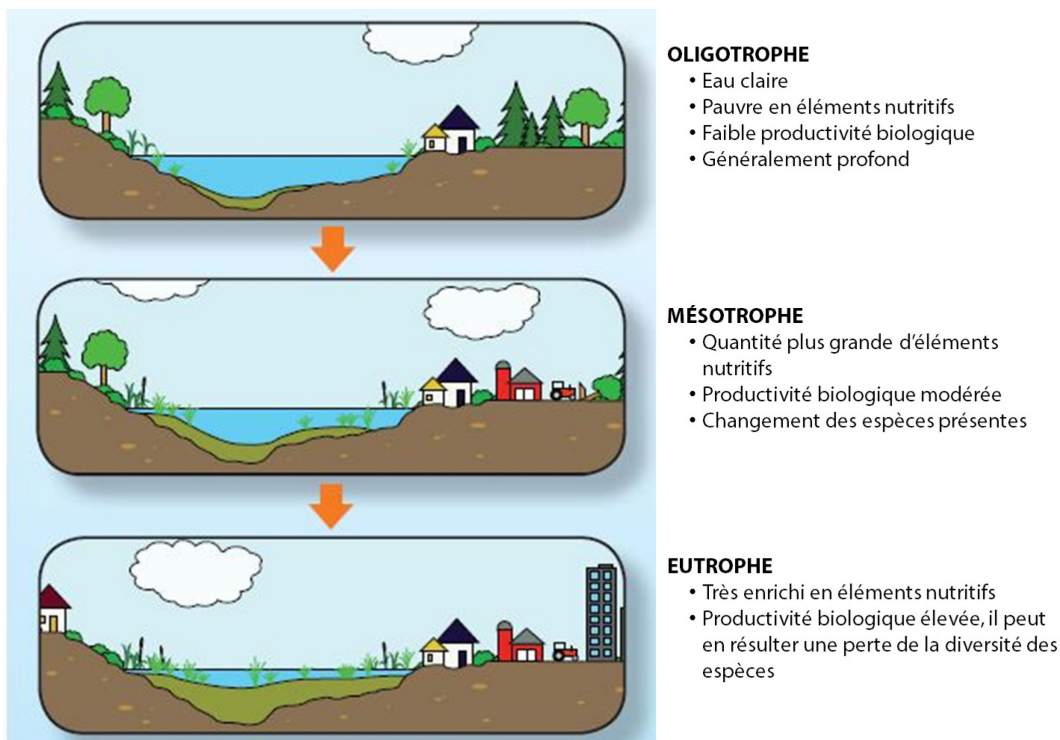


Figure 4. Principaux niveaux trophiques des cours d'eau et des lacs⁴¹

Les indices IQBP et IDEC sont complémentaires. En plus d'être un indicateur d'eutrophisation et d'enrichissement en matières organiques, l'IDEC permet d'évaluer l'effet de la variation temporelle des concentrations en nutriments, la biodisponibilité des nutriments et l'effet combiné de différents contaminants. L'IQBP permet quant à lui de préciser le type d'altération, d'évaluer le respect des critères de qualité de l'eau et de calculer les bilans de masse lorsque le débit est mesuré⁴².

Dans l'ensemble du territoire à l'étude, 442 stations d'échantillonnages sont présentes et ont fait l'objet d'un suivi de l'IDEC entre les années 2002 et 2016. Parmi ce nombre, 279 ont été échantillonnées entre 2012 et 2016. Sur l'ensemble des stations, 17 sont présentes près de l'embouchure des rivières des principaux bassins versants et de certains bassins versants orphelins.

Indice de santé du benthos

Les macroinvertébrés benthiques (aussi appelés benthos) sont des invertébrés visibles à l'œil nu vivants au fond des lacs et des cours d'eau⁴³. Ils constituent une ressource alimentaire importante pour de nombreuses espèces animales et, pour cette raison, ils peuvent devenir des vecteurs de bioaccumulation* de certains contaminants⁴⁴. Étant des organismes sédentaires, les macroinvertébrés benthiques sont continuellement exposés aux contaminants qui peuvent se retrouver dans leur environnement⁴³. Puisque leur cycle de vie dure entre un et trois ans aux latitudes de la zone d'étude, ils peuvent servir d'indicateurs concernant l'intégration d'agents de stress environnementaux et les effets cumulatifs d'une exposition à un contaminant. D'ailleurs, leur grande diversité se traduit par l'existence de toute une gamme de sensibilité à la pollution, car les taxons possèdent leurs propres adaptations et présentent divers degrés de tolérance

* La bioaccumulation est le processus d'augmentation progressive de la concentration d'une substance chimique dans un individu qui l'ingère régulièrement ou qui vit dans un milieu contaminé ou pollué par cette substance.

face aux perturbations. Par exemple, les oligochètes et les chironomides, des taxons très tolérants à la pollution, domineront dans les milieux aquatiques très perturbés où la diversité biologique est moindre, alors que les taxons du groupe EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) domineront dans les milieux moins perturbés où la diversité biologique est élevée⁴⁴.

Compte tenu de ces caractéristiques, les communautés de macroinvertébrés benthiques sont considérées comme étant de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques et sont utiles pour :

- « évaluer l'état de santé des écosystèmes aquatiques;
- suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps;
- évaluer et vérifier l'impact d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème;
- évaluer les effets des efforts de restauration (des habitats et de la qualité de l'eau);
- documenter la biodiversité du benthos dans les cours d'eau. »⁴⁵

L'ISB développé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) pour les cours d'eau québécois évalue l'intégrité biotique des cours d'eau à substrat grossier (ISB_g) ou meuble (ISB_m). Cet indice est multimétrique et prend en compte plusieurs variables ayant trait à la composition de la communauté de macroinvertébrés benthiques, sa richesse taxonomique*, sa diversité et sa tolérance à la pollution^{46,47}. L'ensemble de ces variables constitue la valeur finale de l'indice présentée sur une échelle de 0 à 100. Ces valeurs peuvent être présentées en différentes classes d'interprétation de l'état de santé du benthos (Tableau 6). Entre 2006 et 2014, 63 stations ont été échantillonnées dans l'ensemble du territoire à l'étude, dont sept sont présentes près de l'embouchure des principaux bassins versants et de certains bassins versants orphelins.

Tableau 6. Classes de l'indice de santé du benthos des cours d'eau à substrat grossier ou meuble^{46,47}

Classe	Indice de santé du benthos pour les substrats grossiers (ISB _g)	Indice de santé du benthos pour les substrats meubles (ISB _m)
Très bonne	89,2-100	—
Bonne	72,7-89,1	81,6-100
Précaire	48,4-72,6	54,4-81,5
Mauvaise	24,2-49,3	27,1-54,3
Très mauvaise	0-24,1	0-27,1

Note : L'ajout d'une cinquième classe d'ISB_m n'a pas été jugé pertinent, selon le MDDEFP.

Portrait général de la qualité de l'eau

Le suivi des différents indices de la qualité de l'eau a été réalisé au courant des dernières années, et ce, autant au lac Saint-Pierre (six stations) que dans ses tributaires directs (14 stations). Un portrait général des résultats des différents indices dans les tributaires directs et près de leur embouchure permet de constater que, dans la majorité des cas, l'eau qui se déverse dans le lac Saint-Pierre est de moindre qualité (Figure 5 et Tableau 7). Il est à noter que, dans la figure ci-contre, les lignes noires montrent les classes des résultats de deux ou trois indices différents dont les stations d'échantillonnage se chevauchent.

* Un taxon est un groupe d'organismes identifiés à n'importe quel niveau de classification des organismes vivants (classe, ordre, famille...).

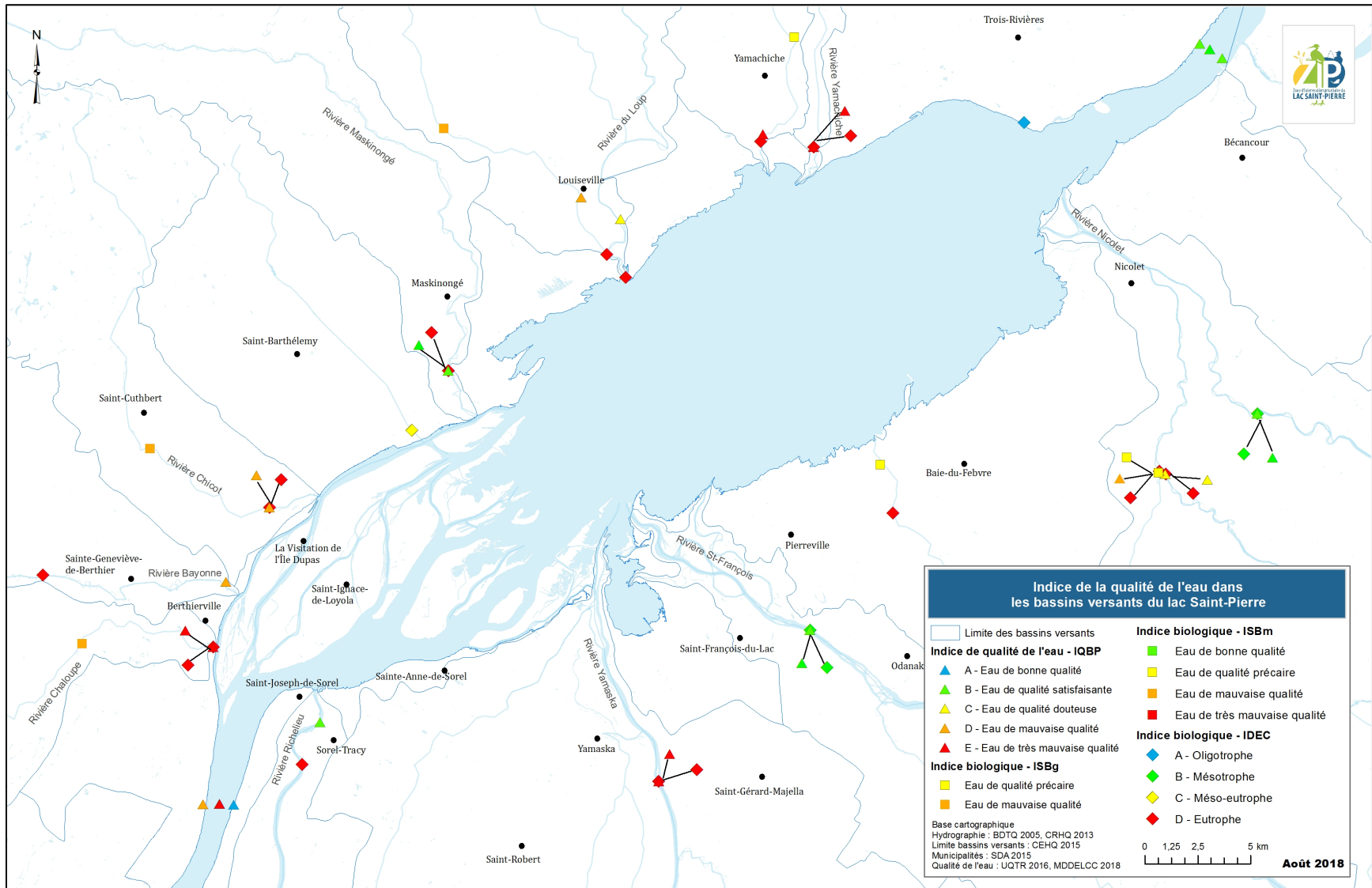


Figure 5. Portrait général de la qualité de l'eau dans le lac Saint-Pierre et en périphérie^{48, 49}

Tableau 7. Indices de qualité de l'eau et indices biologiques de certains tributaires directs du lac Saint-Pierre

Cours d'eau	Valeur IQBP (Période de suivi) Paramètre déclassant		Valeur IDEC (Période de suivi) Type de sous-indice		Valeur ISB (Période de suivi) Type de substrat	
Rive nord						
La Chaloupe, Rivière	10 (2014-2016) <i>NO_x</i>	E	24 (2008-2016) Alcalin	D	53,1 (2014) ISB _m	M.
Bayonne, Rivière	33 (2014-2016) <i>PTOT</i>	D	3 (2008-2016) Alcalin	D	44,0 (2009) ISB _g	M.
Chicot, Rivière	36 (2014-2016) <i>PTOT</i>	D	16 (2008-2016) Alcalin	D	38,9 (2011) ISB _g	M.
Maskinongé, Rivière	71 (2014-2016) <i>MES</i>	B	3 (2006) Neutre	D	ND ^a	—
Du Loup, Petite rivière	20 (2014-2016) <i>MES</i>	D	4 (2005) Alcalin	D	47,8 (2007) ISB _m	M.
Du Loup, Rivière	53 (2014-2016) <i>MES</i>	C	0 (2005) Neutre	D	ND ^a	—
Yamachiche, Petite rivière	0 (2014-2016) <i>MES</i>	E	7 (2008-2016) Alcalin	D	66 (2008-2014) ISB _m	P.
Yamachiche, Rivière	19 (2014-2016) <i>MES</i>	E	0 (2012) Neutre	D	ND ^a	—
Cachée, Rivière ^b	ND	—	32 (2012-2016) Alcalin	C	ND ^a	—
Aux Sables, Rivière ^b	ND	—	75 (2012) Alcalin	A	ND ^a	—
Rive sud						
Richelieu, Rivière	62 (2014-2016) <i>MES</i>	B	15 (2002-2003) Alcalin	D	ND ^a	—
Yamaska, Rivière	0 (2014-2016) <i>CHLA</i>	E	0 (2009-2016) Alcalin	D	ND ^a	—
Saint-François, Rivière	69 (2014-2016) <i>MES</i>	B	48 (2002-2003) Alcalin	B	ND ^a	—
Saint-Zéphirin, Rivière	25 (2014-2016) <i>PTOT</i>	D	5 (2008-2016) Alcalin	D	56,8 (2010-2014) ISB _g	P.
Nicolet Sud-Ouest, Rivière	49 (2014-2016) <i>CHLA</i>	C	23 (2002-20033) Alcalin	D	ND ^a	—
Nicolet, Rivière	63 (2014-2016) <i>NO_x</i>	B	48 (2002-2003) Alcalin	B	ND ^a	—
Colbert, Rivière ^b	ND	—	4 (2012-2016) Alcalin	D	62,9 (2012) ISB _m	P.

Note: Les valeurs présentées correspondent aux valeurs les plus récentes obtenues aux stations d'échantillonnages situées les plus près de l'embouchure des rivières principales des tributaires directs du lac Saint-Pierre. Une valeur plus récente a été privilégiée à une valeur moins récente, lorsque cette dernière se retrouvait plus près de l'embouchure.

a : Non disponible. Ces bassins versants n'ont pas de suivi de l'ISB ou ont des indices calculés pour des cours d'eau secondaires et non pour la rivière principale. Puisqu'il n'y a pas de données près de l'embouchure des tributaires, aucune donnée n'a été comptabilisée pour ces derniers.

b : Cours d'eau situés dans un bassin versant orphelin.

c : Ces bassins versants ne font pas l'objet d'un suivi de l'IQBP.

Source des données : Données extraites et adaptées de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (2018⁴⁸), couche d'informations géographiques vectorielles transmises par l'Université du Québec à Trois-Rivières (2016⁴⁹) et plan directeur de l'eau de l'organisme de bassin versant (OBV) de la rivière Bayonne (2011²⁵).

Le portrait général des indices de qualité de l'eau montre que les valeurs de l'IQBP₆, dans la plupart des cas, sont supérieures dans les tributaires de la rive sud, suggérant une meilleure qualité de l'eau que sur la rive nord. Également, le paramètre déclassant est majoritairement les matières en suspension pour la rive nord alors que les paramètres déclassants sont plus diversifiés pour les tributaires de la rive sud (MES, CHLA, PTOT et NO_x). Le suivi de l'IQBP₆ pour la période 2014-2016 a aussi permis de déterminer pour chaque tributaire étudié, les paramètres problématiques, c'est-à-dire les paramètres ayant obtenu une cote inférieure à B. Les stations d'échantillonnage situées dans les trois masses d'eau entrantes et sortantes du lac Saint-Pierre montrent une forte amélioration de l'IQBP₆ entre les eaux de l'amont et celles de l'aval (Figure 5 et Annexe 2). Cela suggère une certaine accumulation des polluants dans le lac Saint-Pierre, surtout dans les zones littorales de faibles courants³. En plus des stations situées près du lac Saint-Pierre, 39 autres stations plus en amont dans les tributaires directs montrent une grande variation des valeurs d'IQBP₆. Des valeurs plus faibles sont plus fréquentes près de l'embouchure des tributaires (Annexe 3), suggérant une détérioration de la qualité de l'eau vers l'aval des tributaires.

Le phosphore et l'azote

Les données d'échantillonnage de l'IQBP₆ obtenues permettent d'observer la fréquence des valeurs des paramètres phosphore, nitrates-nitrites et azote ammoniacal qui ont été supérieures à leur valeur seuil pour le critère de qualité de l'eau. Ces critères visent différents objectifs (Tableau 8).

Tableau 8. Critères de qualité de l'eau, leur paramètre décisif et leur valeur seuil

Critère		Paramètres (valeur seuil)
Critère pour la protection des activités récréatives et de l'esthétique	CARE	Phosphore total (0,03 mg P/L)
Critère pour la protection des activités récréatives et de l'esthétique – contact primaire (p. ex. baignade et planche à voile)	CAREP	Coliformes fécaux (200 UFC/100 ml)
Critère pour la protection des activités récréatives et de l'esthétique – contact secondaire (p. ex. pêche sportive et canotage)	CARES	Coliformes fécaux (1000 UFC/100 ml)
Critère pour la prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)	CPC (EO)	Azote ammoniacal (0,2 mg N/L)
Critère pour la protection de la vie aquatique (effet chronique)	CVAC	Azote ammoniacal ^a Nitrites -nitrates (2,9 mg N/L)

a : L'azote ammoniacal varie selon la température et le pH.

Pour le phosphore, le critère correspond à 0,03 mg/L et son dépassement favorise l'eutrophisation des cours d'eau. Sur l'ensemble des 14 stations échantillonnées, 8 d'entre elles ont un taux de dépassement de 100 %, signifiant que tous les échantillons récoltés entre 2014 et 2016 ont dépassé le critère. Les cours d'eau concernés sont les rivières La Chaloupe, Bayonne, Chicot, Yamachiche, Yamaska, Saint-Zéphirin, la Petite rivière du Loup et la Petite rivière Yamachiche. Ces deux dernières, ainsi que la rivière Yamachiche, ont toutes une médiane estivale* de concentration sept fois supérieure au critère. De plus, la Petite rivière Yamachiche et la rivière Yamachiche ont toutes deux montré des valeurs allant jusqu'à 76 fois le critère.

Quant aux nitrates-nitrites, aucune station échantillonnée n'a obtenu un dépassement de 100 % du critère de qualité de l'eau (2,9 mg/L). Toutefois, la rivière La Chaloupe a obtenu une fréquence de dépassement de ce critère de 94 %, avec une valeur médiane de plus de deux fois le critère. La Petite rivière Yamachiche, de son côté, a dépassé le critère à plusieurs reprises (67 %) et présente la plus grande concentration de nitrates-nitrites, soit sept fois le critère de qualité de l'eau pour ce paramètre.

* La médiane estivale a été calculée à partir des échantillons de mai à octobre, pour les années 2014 à 2016

Pour l'azote ammoniacal, la valeur à ne pas dépasser est variable, car elle est calculée en fonction de la température et du pH de l'échantillon. Parmi les 20 tributaires échantillonnés, seule la Petite rivière Yamachiche a présenté des dépassements du critère de qualité de l'eau pour ce paramètre (44 % du temps), dont une occasion où la concentration s'est élevée à plus de 5 fois la valeur du critère calculé.

Le suivi de l'IQBP₆ 2014-2016 a aussi permis d'obtenir des résultats pour la qualité bactériologique de l'eau pour les usages récréatifs à l'embouchure des principaux tributaires directs et au niveau des masses d'eau entrant et sortant du lac Saint-Pierre (Tableau 9). Les médianes estivales du nombre de coliformes fécaux par 100 ml d'eau (UFC/100 ml) ainsi que les fréquences de dépassement du critère baignade de 200 UFC/100 ml et du critère de contact indirect de 1000 UFC/100 ml permettent de présenter les embouchures des cours d'eau où les usages récréatifs sont restreints. Tel est le cas de la Petite rivière du Loup, où 100 % des échantillons récoltés ont dépassé le critère de 200 UFC/100 ml, restreignant ainsi les activités de baignade. De façon générale, les tributaires de la rive nord présentaient une qualité bactériologique inférieure à celle des tributaires de la rive sud.

Tableau 9. Qualité de l'eau pour les usages récréatifs et dépassement des critères de coliformes fécaux, pour la période 2014-2016

Cours d'eau	Médiane (UFC/100 ml) ^a	Classe de qualité bactériologique de l'eau	Fréquence de dépassement (%)	
			Contact direct >200 UFC/100 ml	Contact indirect >1000 UFC/100 ml
Rive nord				
La Chaloupe, Rivière	160	Médiocre	39 %	11 %
Bayonne, Rivière	165	Médiocre	39 %	17 %
Chicot, Rivière	315	Mauvaise	67 %	11 %
Maskinongé, Rivière	135	Médiocre	39 %	6 %
Du Loup, Petite rivière	1 050	Très mauvaise	100 %	50 %
Du Loup, Rivière	390	Mauvaise	71 %	35 %
Yamachiche, Petite rivière	1 850	Très mauvaise	94 %	63 %
Yamachiche, Rivière	600	Mauvaise	89 %	33 %
Rive sud				
Richelieu, Rivière	13	Très bonne	6 %	0 %
Yamaska, Rivière	29	Bonne	6 %	6 %
Saint-François, Rivière	25	Bonne	17 %	6 %
Saint-Zéphirin, Rivière	175	Médiocre	39 %	17 %
Nicolet Sud-Ouest, Rivière	32	Bonne	22 %	11 %
Nicolet, Rivière	42	Bonne	17 %	11 %
Fleuve en amont du lac Saint-Pierre				
Sorel-Tracy (nord)	2 100	Très mauvaise	100 %	72 %
Sorel-Tracy (centre)	5 100	Très mauvaise	100 %	100 %
Sorel-Tracy (sud)	80	Bonne	22 %	0 %
Fleuve en aval du lac Saint-Pierre				
Trois-Rivières (nord)	595	Mauvaise	100 %	33 %
Trois-Rivières (centre)	555	Mauvaise	100 %	33 %
Trois-Rivières (sud)	270	Mauvaise	56 %	17 %

a : La médiane estivale a été calculée à partir des valeurs de mai à octobre, pour les années 2014 à 2016.

Note : Données extraites et adaptées, Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (2018⁴⁸).

Il est également possible de constater que, malgré des médianes estivales de bonne ou de très bonne qualité, seulement deux cours d'eau n'ont jamais dépassé le critère de qualité bactériologique pour les usages indirects (ex. : canotage; 1000 UFC/100 ml) et tous ont dépassé au moins une fois le critère pour les usages directs (ex. : baignade; 200 UFC/100 ml).

Pour les eaux du fleuve Saint-Laurent, il est possible de constater que tous les usages récréatifs sont compromis dans les masses d'eau du nord et du centre du fleuve en amont du lac Saint-Pierre, et que seuls les usages indirects ne sont pas compromis pour les masses d'eau en aval du lac, suggérant une amélioration de la qualité bactériologique des eaux du fleuve en aval du lac Saint-Pierre, à la hauteur de Trois-Rivières. D'ailleurs, la masse d'eau du nord en amont, à la hauteur de Sorel-Tracy, ainsi que la masse d'eau du nord et centrale en aval ont toutes dépassé le critère de 200 UFC/100 ml chaque mois au courant de la période d'échantillonnage 2014-2016. Pour la masse du centre en amont, 100 % des échantillons prélevés pour cette même période présentent des valeurs dépassant le critère de contact indirect de 1000 UFC/100 ml.

État de santé des diatomées

À l'inverse de l'IQBP₆ qui présente des résultats variés, les valeurs de l'IDEC dans les cours d'eau en périphérie du lac Saint-Pierre (près de leur embouchure) montrent un indice généralement mauvais. Outre la rivière aux Sables située en aval du lac (IDEC, classe A) ainsi que les rivières Saint-François et Nicolet (IDEC, classe B), tous les autres cours d'eau présentés (Figure 5) ont une valeur de l'IDEC de classe C (mauvais) ou D (très mauvais). Les autres stations échantillonnées plus en amont dans l'ensemble des tributaires directs montrent une grande variation des valeurs de l'IDEC, les stations situées plus en amont des tributaires présentant une meilleure valeur de l'indice. Toutefois, le bassin versant de la rivière Richelieu a un état général de très mauvaise qualité pour la majorité des stations du bassin versant de ce cours d'eau (IDEC, classe D) (Annexe 4). En plus de la rivière Richelieu, de nombreux cours d'eau dans les bassins versants orphelins font état d'une situation similaire. Rappelons qu'un IDEC de classe D est synonyme d'un état eutrophe et que ces milieux sont donc moins propices à une grande diversité biologique. En général, les stations d'échantillonnage des diatomées situées dans les Basses-terres du Saint-Laurent présentent les pires résultats de l'IDEC, et ce, tant pour les tributaires de la rive nord que ceux de la rive sud (Annexe 4).

État de santé du benthos

Bien qu'il y ait peu de données de l'indice de santé du benthos (ISB) à l'embouchure des tributaires directs en périphérie du lac Saint-Pierre, il est possible de voir que cet indice se situe entre précaire et mauvais. Cette situation se maintient dans l'ensemble des tributaires directs alors qu'aucune des stations ne présente un indice de bonne ou très bonne qualité, et une seule possède un indice de très mauvaise qualité. Cette dernière est située dans la Petite rivière Bellevue, dans le bassin versant de la rivière Yamaska (Annexe 5).

En plus du suivi effectué par le MDDELCC pour les tributaires directs, un autre suivi des macroinvertébrés benthiques a également été réalisé entre 2004 et 2011 au lac Saint-Pierre, dans le cadre du programme Suivi de l'état du Saint-Laurent. En tout, 88 sites ont fait l'objet d'un suivi des communautés benthiques au lac Saint-Pierre et dans l'archipel. Les analyses ont permis de montrer que les communautés les plus diversifiées en termes de composition sont dans l'archipel du lac Saint-Pierre. À l'inverse, la présence

d'oligochètes et d'amphipodes, des espèces plus tolérantes à la pollution, est plus marquée à l'embouchure des rivières Yamachiche, Nicolet et Yamaska ainsi qu'à l'embouchure de la Petite rivière Yamachiche (Annexe 6). Ces embouchures sont caractérisées par une diminution de la richesse en familles de macroinvertébrés et un pourcentage élevé d'oligochètes, des vers aquatiques tolérants à la pollution⁴⁴.

Évolution des principaux paramètres de qualité de l'eau : concentrations et charges

L'analyse des tendances des moyennes annuelles des concentrations et des charges de paramètres de qualité de l'eau, tels le phosphore, l'azote et les matières en suspension (MES), renseigne sur l'évolution des apports de ces paramètres qui proviennent de différentes sources. Alors que les concentrations sont plus représentatives des apports de sources ponctuelles, les charges reflètent davantage les apports de sources diffuses⁵⁰. Les concentrations informent sur la qualité de la rivière échantillonnée, les pertes d'usages potentiels ainsi que sur les effets aigus et chroniques que des descripteurs peuvent avoir sur les organismes aquatiques. De leur côté, les charges renseignent sur les volumes de certains descripteurs déterminants pour les conditions prévalant dans l'écosystème à long terme (statut trophique du milieu aquatique).

Entre 1981 et 2002, d'importantes variations de concentrations et de charges de phosphore, de nitrates-nitrites (formes minérales de l'azote) et de MES ont été observées dans l'ensemble des huit tributaires du lac Saint-Pierre ayant fait l'objet d'un suivi régulier¹⁵. Il s'agit des rivières Bayonne, Maskinongé, du Loup, Richelieu, Yamaska, Saint-François, Nicolet Sud-Ouest et Nicolet. Lors de cette période, les concentrations et les charges en phosphore ont connu une baisse importante dans l'ensemble des huit tributaires. Une plus grande diminution des concentrations comparativement aux charges indique que la réduction des apports en phosphore s'expliquerait davantage par la décroissance des sources ponctuelles. Une situation similaire a été observée pour les MES alors que plusieurs baisses de concentrations et de charges en MES ont été observées. Toutefois, ces variations des concentrations en MES sont de moins grandes amplitudes que celles du phosphore. Parmi les huit tributaires étudiés, seule la rivière Bayonne a présenté une variation à la hausse de ses charges en MES. Ce constat pourrait être expliqué par l'utilisation agricole du territoire de ce bassin versant. La situation inverse a été observée pour les nitrates-nitrites alors qu'il y a eu des hausses de concentrations et de charges pour ce paramètre. L'augmentation des charges en nitrates-nitrites était plus importante que celle des concentrations dans la plupart des rivières, particulièrement pour les rivières suivantes : Bayonne, Maskinongé, du Loup et Richelieu. Cela reflète un rôle plus important des apports de sources diffuses. Une plus grande utilisation d'engrais minéraux, possiblement associés aux changements de cultures et à la disponibilité importante des engrais de ferme, pourrait expliquer ce constat¹⁵.

Évolution temporelle des concentrations entre 2002 et 2011

Les tendances temporelles entre 2002 et 2011 des paramètres de qualité de l'eau aux stations à l'embouchure de plusieurs tributaires directs ainsi qu'aux stations des masses d'eau entrantes et sortantes du lac ont été analysées par la Direction du suivi de l'état de l'environnement du MDDELCC à partir des concentrations médianes mensuelles sans correction de débit* (Tableau 10).

* Les tendances calculées sont le résultat net des influences naturelles (précipitations et débits) et d'origine anthropique. Cela permet d'apprécier l'évolution temporelle des conditions auxquelles les habitats aquatiques sont exposés.

Tableau 10. Tendances et variations de l'évolution temporelle entre 2002 et 2011 des concentrations médianes mensuelles de six paramètres physicochimiques de la qualité de l'eau aux stations de suivi à l'embouchure des tributaires directs du lac Saint-Pierre

Station	Paramètres physicochimiques de la qualité de l'eau					
	PTOT	NO _x	NH ₃	MES	CHLA	CF
Rive nord						
La Chaloupe, Rivière	↓ 32 %	↑ 729 %	—	—	—	↑ 74 %
Bayonne, Rivière	↓ 48 %	—	—	—	↓ 74 %	—
Maskinongé, Rivière	—	—	—	—	—	—
Du Loup, Rivière	↓ 68 %	—	—	↓ 57 %	—	—
Yamachiche, Rivière	—	↓ 13 %	—	—	—	—
Rive sud						
Richelieu, Rivière	—	—	—	—	—	↓ 60 %
Yamaska, Rivière	↓ 32 %	—	—	—	—	—
Saint-François, Rivière	—	—	—	—	—	—
Nicolet Sud-Ouest, Rivière	—	—	—	—	—	—
Nicolet, Rivière	—	—	—	—	—	—
Fleuve						
Sorel-Tracy (nord)	↓ 24 %	—	—	—	↑ 37 %	—
Sorel-Tracy (centre)	—	—	—	—	—	—
Sorel-Tracy (sud)	—	—	—	—	↑ 79 %	↑ 118 %
Trois-Rivières (nord)	—	—	—	—	↑ 72 %	↑ 143 %
Trois-Rivières (centre)	—	—	—	—	↑ 65 %	—
Trois-Rivières (sud)	↓ 26 %	—	—	—	↑ 101 %	—

Note₁ : ↑ : tendance significative à la hausse; ↓ : tendance significative à la baisse; — : aucune tendance significative au seuil de probabilité statistique de 5 %.

Note₂ : Une tendance significative à la baisse de la concentration d'un paramètre est synonyme de l'amélioration de ce dernier.

Note₃ : Les concentrations médianes mensuelles sont sans correction de débit.

Source des données : Données extraites et adaptées de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (2017⁵¹).

Au cours de cette décennie, les stations du fleuve en amont et en aval du lac Saint-Pierre ne montrent aucune tendance quant aux nitrates-nitrites, à l'azote ammoniacal et aux MES, mais ont presque toutes présenté des augmentations de concentrations en chlorophylle-a active (de 37 % à 101 %). Une tendance à la hausse des concentrations de CF a été observée à deux stations en amont et en aval du lac, soit pour la masse d'eau du sud en amont (Sorel-Tracy) et pour la masse d'eau du nord en aval (Trois-Rivières). Ces concentrations ont plus que doublé en dix ans (Tableau 10). Les seules améliorations significatives de la qualité de l'eau dans le fleuve ont été observées pour le phosphore uniquement à deux stations (pour la masse d'eau du nord en amont et pour la masse d'eau du sud en aval) où les concentrations en phosphore affichent une tendance à la baisse d'environ 25 %.

Au cours de la même période, les tendances observées dans la plupart des tributaires échantillonnés étaient soit nulles, soit à la baisse. Seule la rivière La Chaloupe présente des concentrations à la hausse, et ce, pour les nitrates-nitrites (augmentation très importante) et les coliformes fécaux. Les concentrations de phosphore y sont toutefois à la baisse, comme pour certaines autres rivières. C'est d'ailleurs le paramètre

ayant démontré une tendance à la baisse pour le plus grand nombre de tributaires. Seul l'azote ammoniacal n'a présenté aucune tendance significative (Tableau 10).

Bilan des charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre entre 2009 et 2012

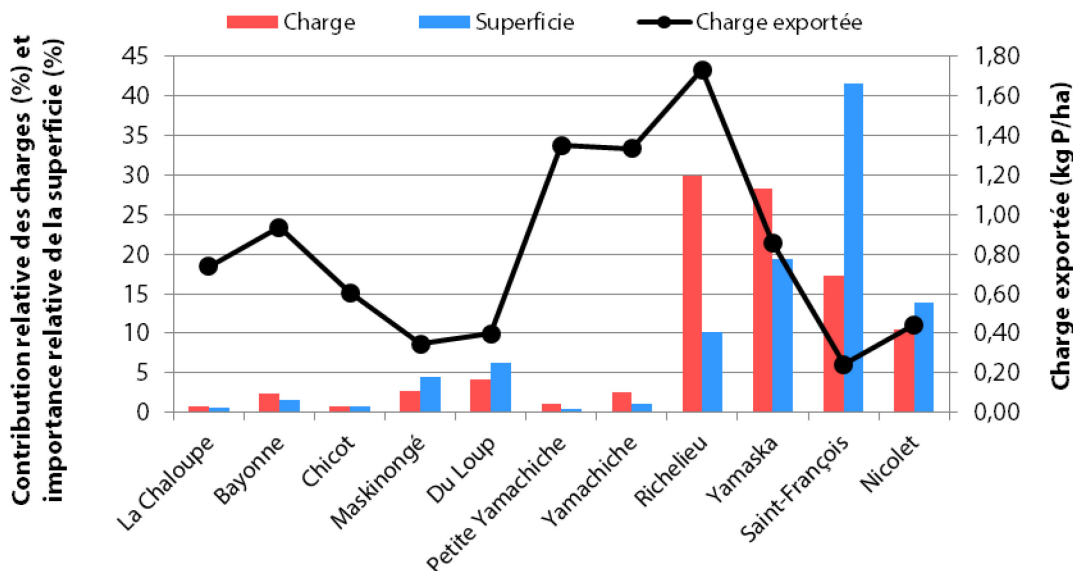
En 2017, les charges annuelles moyennes 2009-2012 de phosphore total (P), d'azote total (N) et MES à l'embouchure des rivières du Québec ont été estimées par le MDDELCC⁵². Les données relatives aux principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre* ont fait l'objet de bilans individuels, et la moyenne annuelle des charges excédentaires pour chacun des paramètres a également été analysée.

Pour cette période, il est estimé qu'environ 1 444 t de P, 27 000 t de N et 988 085 t de MES sont transportées annuellement vers le lac Saint-Pierre par ses principaux tributaires directs⁵². Pour l'ensemble de ces paramètres, les charges les plus importantes sont transportées par les tributaires directs de la rive sud. Pour l'ensemble des apports que le lac Saint-Pierre reçoit des tributaires directs (total des rives nord et sud), les tributaires de la rive sud contribuent pour 86 %, 91 % et 88 % des charges de P, de N et de MES respectivement. Pour les tributaires de la rive nord, cette contribution est de 14 %, 9 % et 12 % des charges de P, de N et de MES respectivement (Annexe 7).

Les charges exportées par hectare dans les bassins versants ont également été analysées pour chaque tributaire. Celles-ci correspondent aux charges (kg) exportées par unité de surface (ha) dans un bassin versant pour chacun des cours d'eau et sans considération de l'occupation du sol (p. ex. agriculture, forêts, etc.) dans les tributaires directs. De par cette analyse, il est donc possible de constater que la rivière Richelieu située sur la rive sud est le cours d'eau dont l'exportation des charges par unité de surface est la plus élevée, et ce, pour les trois paramètres : phosphore, azote et matières en suspension. Bien que le bassin versant de la rivière Richelieu soit le plus petit des tributaires de la rive sud, en superficie, ce dernier exporte le plus de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'hectare. Il contribue le plus aux charges qui atteignent le lac Saint-Pierre pour ces trois paramètres, ce qui représente entre 30 % et 40 % des charges exportées (Figure 6, Figure 7 et Figure 8). Sur la rive sud, les rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet exportent vers le lac Saint-Pierre les plus importantes charges des trois paramètres (excluant la rivière Richelieu).

Contrairement aux tributaires de la rive sud, l'exportation des charges vers le lac Saint-Pierre par les tributaires de la rive nord diffère entre ces derniers pour les trois paramètres. Pour le phosphore, la rivière Yamachiche et la Petite rivière Yamachiche présentent les charges exportées en phosphore par hectare les plus élevées, suivies des rivières Bayonne et La Chaloupe. Cependant, ce sont les rivières du Loup, Maskinongé et Bayonne qui contribuent le plus aux charges en phosphore que le lac Saint-Pierre reçoit, bien qu'elles soient de loin inférieures aux charges exportées par les cours d'eau de la rive sud (Figure 6).

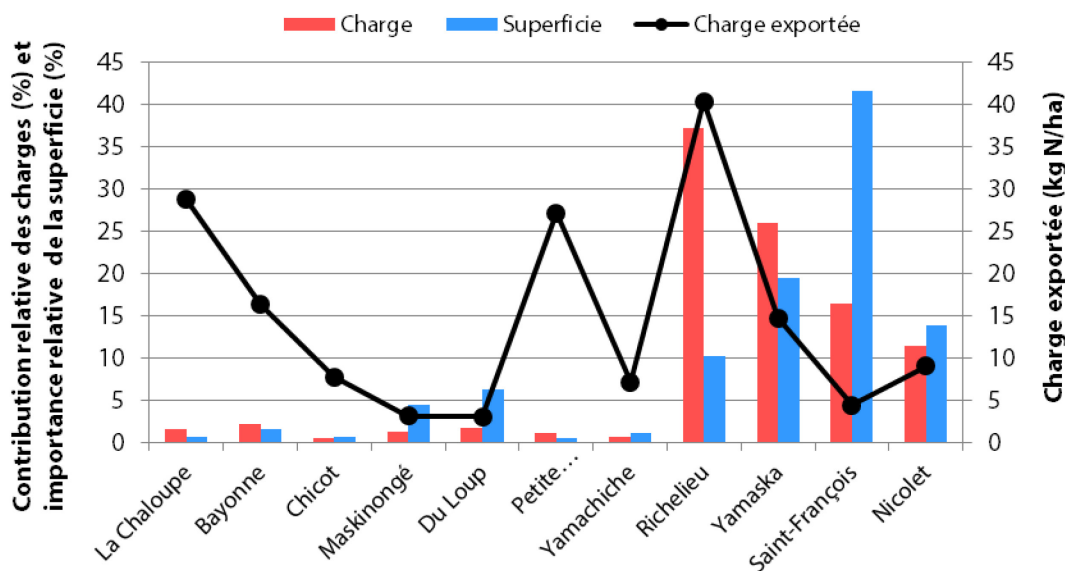
* Dans l'étude de Patoine (2017), les données du bassin versant (BV) de la rivière Richelieu excluent les charges de la partie drainée à la station près de la frontière des États-Unis. Toutefois, les données provenant de la portion québécoise du BV de la baie Missisquoi sont incluses dans les données de la rivière Richelieu. Le territoire et ses données utilisées dans cette étude diffèrent de ceux du territoire utilisé par le Comité sur l'amélioration de la qualité de l'eau.



Source des données: Données adaptées de Simoneau (2017¹⁵)

Figure 6. Contribution relative des charges en phosphore, importance relative des superficies des tributaires par rapport à l'ensemble du territoire des tributaires directs considérés et charges exportées par hectare (kg P/ha) pour la période 2009-2012

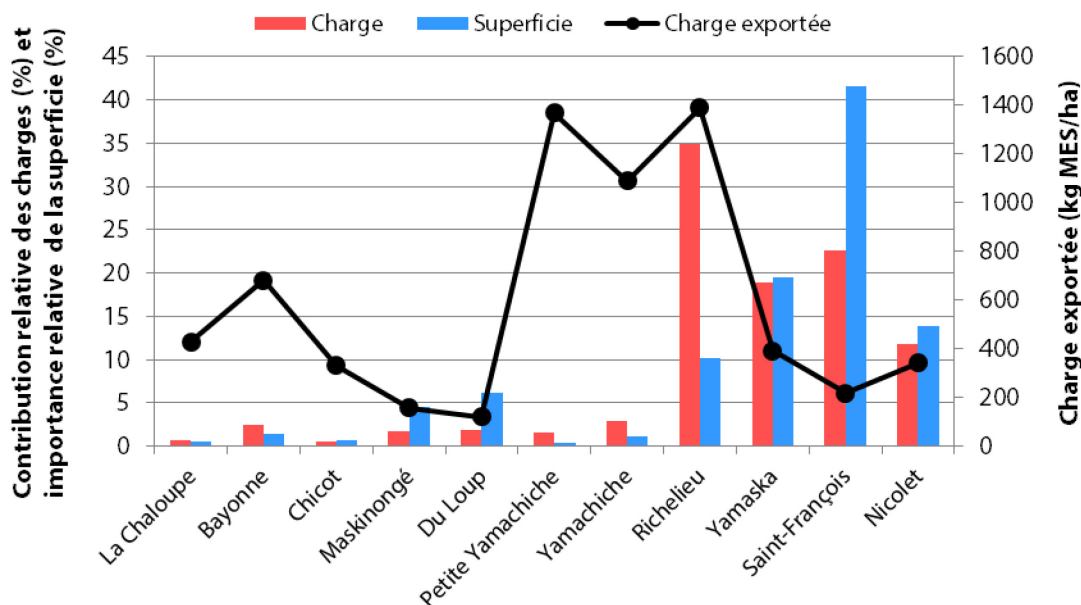
Du côté de l'azote total, la rivière La Chaloupe et la Petite rivière Yamachiche ont les charges exportées les plus grandes, après la rivière Richelieu. La contribution relative des charges en azote que le lac Saint-Pierre reçoit est plus importante pour les rivières Richelieu et Yamaska (Figure 7).



Source des données: Données adaptées de Simoneau (2017¹⁵)

Figure 7. Contribution relative des charges d'azote, importance relative des superficies des tributaires par rapport à l'ensemble du territoire des tributaires directs considérés et charges exportées par hectare (kg N/ha) pour la période 2009-2012

Finalement, après la rivière Richelieu, la Petite rivière Yamachiche et les rivières Yamachiche et Bayonne présentent les plus grandes charges de MES exportées par hectare, alors que les plus grandes contributions relatives des charges proviennent des rivières Richelieu, Saint-François et Yamaska (Figure 8)¹⁵.



Source des données: Données adaptées de Simoneau (2017¹⁵)

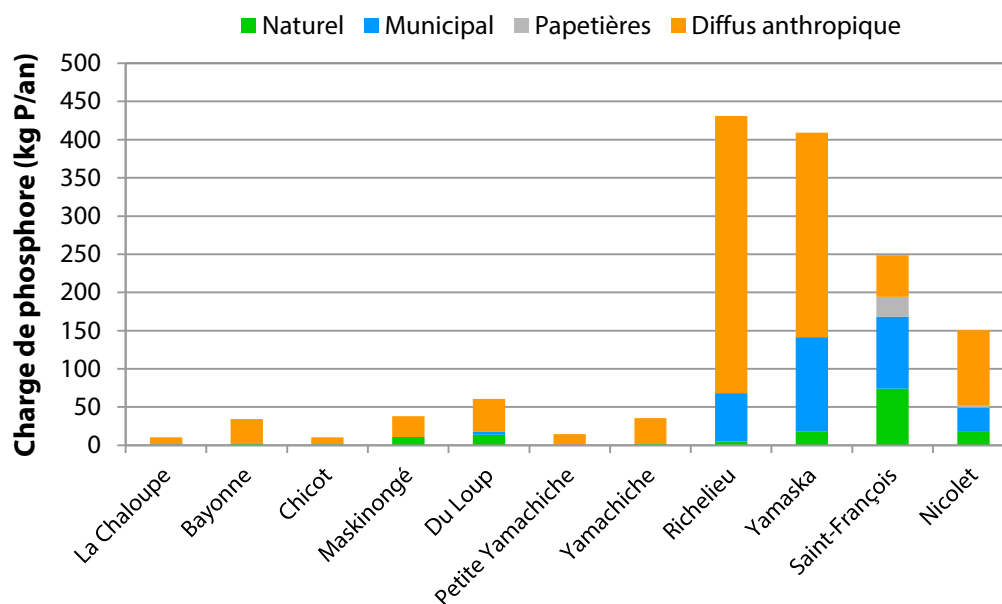
Figure 8. Contribution relative des charges des matières en suspension, importance relative des superficies des tributaires par rapport à l'ensemble du territoire des tributaires directs considérés et charges exportées par hectare (kg MES/ha) pour la période 2009-2012

Chacun des tributaires de la rive nord contribue pour moins de 5 % des charges en phosphore, en azote et en matières en suspension atteignant le lac Saint-Pierre. Alors que pour chacun des tributaires de la rive sud, la contribution des charges au lac Saint-Pierre se situe entre 10 % et 37 % pour ces trois paramètres.

Les contributions relatives des différentes sources de phosphore soient, provenant des milieux naturels, des réseaux d'égout municipaux (eaux usées traitées), des rejets des papetières et des apports diffus anthropiques ont également été estimés pour 2009-2012. La charge annuelle totale en phosphore rejoignant le lac Saint-Pierre provient majoritairement (66 %) des apports de sources diffuses anthropiques. Les apports de sources agricoles contribuent fortement aux charges diffuses anthropiques à l'échelle des bassins versants (Figure 9). D'autres sources diffuses, telles que les rejets des résidences isolées ainsi que les débordements des ouvrages de surverse des réseaux d'égout peuvent toutefois se révéler problématiques à une échelle plus fine. À leur tour, les sources ponctuelles municipales, les apports de sources naturelles et les apports des papetières hors réseau d'égout municipal comptent pour respectivement 22 %, 10 % et 2 % de l'ensemble des apports en phosphore rejetés dans le lac Saint-Pierre⁵².

C'est dans les tributaires directs de la rive sud que les apports en phosphore provenant des sources diffuses anthropiques sont les plus importantes (Figure 9). Pour ces mêmes cours d'eau, les sources ponctuelles municipales sont les plus élevées alors qu'ils représentent entre 15 % et 38 % des charges annuelles de ces tributaires rejoignant le lac Saint-Pierre (Figure 9). Par ailleurs, la rivière Saint-François se démarque comme le seul bassin versant où les sources diffuses anthropiques ne sont pas dominantes (seulement 22 % des apports). Les sources municipales et naturelles sont alors plus importantes (respectivement 38 % et 30 %).

De plus, les charges de phosphore en provenance des papetières proviennent principalement de ce bassin versant¹⁵. Pour la contribution en phosphore des tributaires de la rive nord, ce sont surtout les sources diffuses anthropiques qui sont les plus importantes.



Source des données: Données adaptées de Simoneau (2017)¹⁵

Figure 9. Charges annuelles moyennes des différentes sources de phosphore à l'embouchure des principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre au cours de la période 2009-2012

Le bilan de la moyenne annuelle 2009-2012 des charges excédentaires de phosphore total, d'azote total et de MES a été réalisé pour les principaux tributaires directs⁵². Pour effectuer ce bilan, une charge moyenne annuelle tolérable de ces paramètres a été calculée à partir du critère de protection phosphore, des critères de qualité de l'eau pour les MES et l'azote ainsi que du débit moyen annuel. Cette approche suppose une concentration égale au critère du phosphore (0,03 mg/L), de l'azote total 1 mg/L et des MES (13 mg/L)* chaque jour de l'année pour le calcul de la charge tolérable par station⁵². Ainsi, lorsque la charge calculée à une station est égale ou inférieure à la charge tolérable, le tributaire n'enregistre aucune charge excédentaire et aucun dépassement du critère pour les paramètres de qualité de l'eau retenus.

Au cours de la période 2009-2012, toutes les stations échantillonnées pour les tributaires directs ont enregistré une charge moyenne de phosphore supérieure à la charge tolérable en fonction du critère retenu pour prévenir l'eutrophisation accélérée des cours d'eau (0,03 mg/L) (Tableau 11). Les charges excédentaires de phosphore se situent entre 20 % et 87 % de la charge tolérable et totalisent annuellement environ 728 t P/an. Les rivières Yamaska et Richelieu contribuent à 65 % du total des charges excédentaires.

* Pour l'azote total, en l'absence de critère de qualité de l'eau, le MDDELCC utilise un critère de qualité de l'eau de 1 mg/L. Dans le cas des MES, en raison de la difficulté à déterminer la concentration naturelle pour l'application du critère de qualité de l'eau, le MDDELCC utilise à titre indicatif une valeur de 13 mg/L.

Tableau 11. Charge excédentaire en phosphore, en azote et en matières en suspension aux stations de qualité de l'eau du lac Saint-Pierre entre 2009 et 2012 ⁵²

Station	Charge excédentaire ^a					
	Phosphore total		Azote total filtré		Matières en suspension	
	(t P/an)	(%)	(t N/an)	(%)	(t MES/an)	(%)
Rive nord						
La Chaloupe, Rivière	8	76,3	325	79,6	4 992	82,2
Bayonne, Rivière	27	80,6	375	63,0	21 957	88,5
Chicot, Rivière	6	66,3	33	24,2	4 446	77,0
Maskinongé, Rivière	17	45,3	—	—	8 272	48,1
Du Loup, Rivière	27	49,6	—	—	6 352	34,7
Yamachiche, Petite rivière	12	86,8	235	79,4	14 122	94,7
Yamachiche	31	86,6	31	16,4	26 924	92,9
Rive sud						
Richelieu, Rivière ^b	151	25,0	—	—	149 025	43,1
Yamaska, Rivière	321	80,0	4 342	61,8	152 382	81,4
Saint-François, Rivière ^c	49	19,9	—	—	137 422	61,7
Nicolet Sud-Ouest, Rivière	42	57,0	412	28,3	30 648	69,3
Nicolet, Rivière	37	52,1	479	29,7	57 385	79,6
Total	728		6 232		613 927	

a : Charge excédentaire supérieure à la charge tolérable, cette dernière étant calculée à l'aide du critère de concentration de phosphore de 0,03 mg/L pour la prévention de l'eutrophisation ou des critères de qualité de l'eau de 1 mg/L pour l'azote total et de 13 mg/L pour les MES aux stations de qualité de l'eau entre 2009 et 2012. L'excédent en pourcentage est exprimé par rapport à la charge totale de la rivière à la station de qualité de l'eau.

b : Inclus la portion québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi, mais exclus la partie du bassin versant drainée à la station située près de la frontière des États-Unis.

c : Inclus la partie du bassin versant drainée à la station située près de la frontière des États-Unis.

Des excédents en azote total ont été observés dans 8 des 12 principaux tributaires directs entre 2009 et 2012 (Tableau 11). Leur ampleur représente entre 16 % et 80 % de la charge tolérable sur la base du critère de qualité de l'eau (1 mg/L). La charge excédentaire totale de l'azote s'élève à 6 232 t N/an, dont près de 70 % sont attribuables à la rivière Yamaska. Quant aux MES, à l'instar du phosphore total, la charge moyenne annuelle dépasse la charge tolérable dans l'ensemble des tributaires (Tableau 11). Les excédents varient de 35 % à 95 % de la charge tolérable calculée selon le critère de qualité de l'eau (13 mg/L). Au total, la charge excédentaire de MES est de 613 927 t/an, dont 71 % sont issus des rivières Yamaska, Richelieu et Saint-François.

Ainsi, dans 8 des 12 principaux tributaires du lac Saint-Pierre, des charges excédentaires ont été observées à la fois pour le phosphore total, l'azote total et les matières en suspension. Ces informations sont utiles, car les charges excédentaires permettent aux gestionnaires de l'eau de déterminer pour quelles rivières les prochains efforts d'assainissement devraient être déployés.

Modélisation des concentrations de phosphore

Les relations qui existent entre l'utilisation du territoire et la qualité de l'eau sont complexes puisque cette dernière est influencée par des facteurs de nature anthropique, hydrologique, géologique et édaphique (relatif au sol). De plus, l'utilisation du sol et la qualité de l'eau dépendent toutes deux de facteurs relatifs à l'échelle d'analyse et à l'organisation spatiale. Afin de prioriser les secteurs les plus affectés par ces relations complexes et qui nécessitent des interventions pour améliorer la qualité de l'eau, un projet de développement de modèles prédictifs de l'état physicochimique de l'eau des rivières du sud du Québec a été mis sur pied par le MDDELCC. Parmi les 69 bassins versants ayant été soumis à une caractérisation géomatique pour la période 2009-2012, on y retrouve l'ensemble des tributaires directs du lac Saint-Pierre dotés d'une station d'échantillonnage de l'IQBP₆ (cf. Figure 5). Cette caractérisation a notamment permis de prédire les concentrations de phosphore dans ces rivières, et ce, à l'aide de 58 variables décrivant le territoire. Parmi ces variables, on retrouve notamment les différents types de dépôts de surface (alluvionnaires, éoliens, glaciomarins, etc.), le drainage, les différents types de milieux naturels, les grands types de cultures et les charges moyennes en phosphore provenant des émissaires municipaux et des papetières en amont des bassins versants⁵³.



La représentation graphique des prédictions de concentrations en phosphore dans les principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre pour la période 2009-2012 a été réalisée en fonction de la classification des valeurs de qualité de l'eau pour le phosphore (de classe A à E). De ce fait, les points bleus sur la carte correspondent à des valeurs égales ou inférieures à 0,03 mg/L. Cette valeur représente le critère de prévention de l'eutrophisation des cours d'eau. De l'autre côté du spectre de couleur, les points rouges sont synonymes d'une classe E de qualité de l'eau pour le phosphore et correspondent à des secteurs plus problématiques. Grâce aux travaux de Hébert et Blais⁵³, il a été possible de réaliser des modèles prédictifs pour les tronçons longitudinaux des tributaires directs du lac Saint-Pierre (Figure 10).

Il est possible de noter de fortes variations dans les concentrations de phosphore, principalement entre les tronçons de cours d'eau situés à l'intérieur et à l'extérieur des Basses-terres du Saint-Laurent. La plupart des concentrations en phosphore supérieures à 0,05 mg/L (classe C à E; Figure 10) se trouvent dans les tronçons des cours d'eau dont la majorité du bassin versant est à l'intérieur des Basses-terres du Saint-Laurent. De plus, les concentrations en phosphore sont, de manière générale, plus faibles à l'embouchure des tributaires de la rive nord puisque les rivières Bayonne, Maskinongé, du Loup et Yamachiche présentent des concentrations inférieures à 0,05 mg/L. Sur la rive sud, seule la rivière Saint-François, à son embouchure, présente des concentrations en phosphore inférieures à 0,05 mg/L.

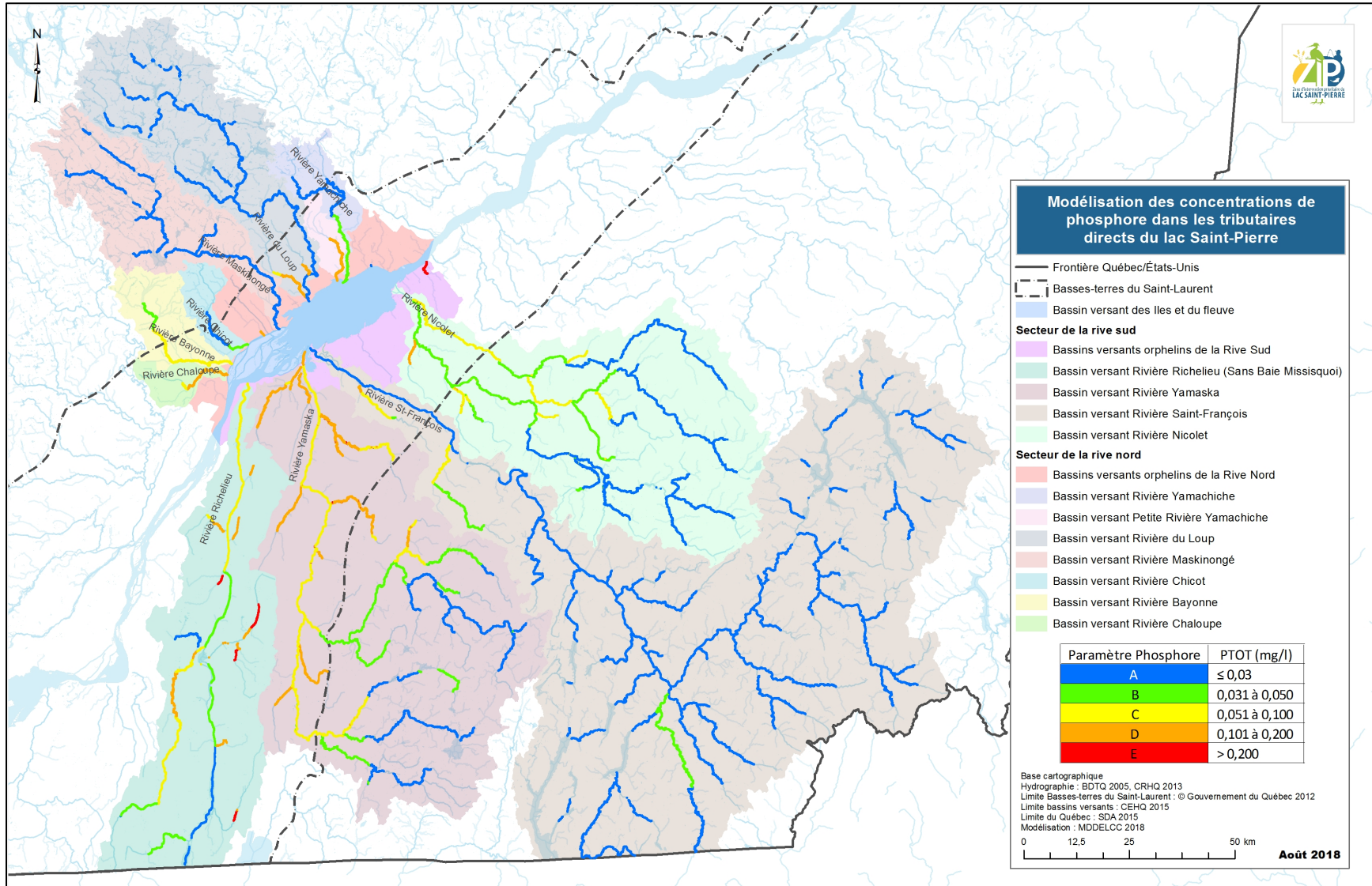


Figure 10. Modélisation des concentrations de phosphore dans les principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre, pour la période 2009-2012

Autres paramètres de la qualité de l'eau

Pesticides

Les pesticides, aussi appelés produits phytosanitaires en agriculture, comprennent les herbicides, les insecticides et les fongicides. Ils sont définis comme étant un produit conçu pour détruire des organismes considérés comme indésirables ou nuisibles. Lorsqu'utilisés en agriculture, ou dans d'autres secteurs d'activités, les pesticides n'atteignent pas que la cible et peuvent se retrouver dans l'environnement et, ultimement, dans les milieux aquatiques.

En 2016, 9 500 t de pesticides commercialisés ont été vendues au Québec, ce qui représente une baisse de 2,5 % des ventes par rapport à 2015. Les pesticides en milieu agricole comptent pour près de 82 % des ventes totales, et les herbicides représentent 68 % des ventes de ce secteur (55 % des ventes totales, tous secteurs confondus). Malgré la place importante des pesticides en agriculture, les autres secteurs (milieu urbain, foresterie, emprises et corridors de transport routier, industries et contrôle des insectes piqueurs) contribuent à 18 % des ventes totales en 2016. Dans les autres secteurs, les biopesticides à usage domestique sont les pesticides les plus achetés, représentant 6,5 % des ventes totales de 2016 (266 t). Dans le bilan des ventes de pesticides de 2016, des réductions par rapport aux statistiques de 2015 ont été relevées dans plusieurs secteurs. En milieu agricole, ces diminutions touchent aux pesticides pour la production végétale, les élevages et d'autres travaux agricoles. En milieu urbain, une réduction de la vente de pesticides a été observée pour l'entretien des espaces verts. Toutefois, plusieurs hausses dans les ventes ont également été détectées. En effet, il y a eu plus de vente de stérilisants de sol (secteur agricole) ainsi que de pesticides à usages domestiques et pour la gestion parasitaire (secteur urbain). Le secteur des emprises et corridors de transport a également connu une hausse marquée de la vente de pesticides pour le dégagement des emprises routières⁵⁴.

L'intensification de l'agriculture avec l'émergence des cultures de céréales à grande surface a entraîné une plus grande utilisation d'engrais chimique et de pesticides. D'ailleurs, la présence de pesticides dans le lac Saint-Pierre et à l'embouchure de certains tributaires directs résulte principalement des usages agricoles. Par ailleurs, le nombre de pesticides détectés et leur fréquence de détection dans chaque rivière semblent liés à la proportion des superficies en culture de maïs et de soya dans chaque bassin versant. Dans les tributaires directs échantillonnés entre 2012 et 2014 par le MDDELCC, le nombre de pesticides détectés dans chaque rivière varie entre 4 et 23 (Tableau 12). C'est dans les rivières La Chaloupe et Yamaska que le plus grand nombre de pesticides a été observé. Ce sont aussi les bassins versants qui présentent les plus hautes proportions de surfaces cultivées, soit 71 % et 56 % de leurs territoires respectifs dont les cultures sont en majorité du maïs et du soya. Parmi les pesticides répertoriés, on retrouve dans les eaux des tributaires des herbicides, dont le glyphosate fréquemment utilisé pour les cultures de maïs et de soya; des insecticides de la famille des néonicotinoïdes et quelques fongicides parfois employés, surtout pour la culture des céréales⁵⁵.



Tableau 12. Fréquence de détection (%) des principaux pesticides et nombre total de pesticides détectés dans certains tributaires directs du lac Saint-Pierre entre 2012 et 2014

Rivière	Rive nord	La Chaloupe	Bayonne	Chicot	Maskinongé	Du Loup	Yamachiche	Rive sud	Yamaska	Saint-François	Nicolet
Année	2012	2012	2012	2013	2013	2013	2014	2014	2014	2014	2014
Herbicides											
S-métolachlore	90,9	72,7	45,4	27,3	54,5	63,6	100	90,9	81,8		
Atrazine	72,7	63,6	36,4	27,3	36,4	27,3	100	90,9	90,9		
Glyphosate	36,4	18,2	—	9,1	54,5	27,3	63,6	27,3	18,2		
Dicamba	90,9	18,2	—	—	—	—	27,3	—	9,1		
Bentazone	100	100	60	9,1	—	—	45,4	—	9,1		
Imazéthapyr	100	54,5	18,2	9,1	—	—	100	—	9,1		
Mésotrione	18,2	27,3	9,1	9,1	—	—	80	9,1	18,2		
Insecticides											
Thiaméthoxame	80	n. a.	n. a.	n. a.	50	50	100	54,5	45,4		
Clothianidine	100	90,9	72,7	27,3	100	100	100	18,2	72,7		
Fongicides											
Azoxystrobine	30	—	—	—	—	—	n. a.	—	—		
n^{bre} de pesticides détectés	23	15	9	9	10	4	21	8	17		

Note : n. a. : non analysé; — : produit non détecté.

Source des données : Données modifiées de Giroux (2015⁵⁵.)

Pour évaluer la pollution par les pesticides, un indicateur couramment utilisé est le critère de vie aquatique chronique (CVAC) qui correspond à la concentration maximale d'un produit à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pendant toute leur vie sans subir d'effets néfastes. Entre 2011 et 2014, la fréquence de dépassement du CVAC varie entre 9 % et 100 % parmi les tributaires directs étudiés⁵⁵. Lors de travaux d'échantillonnages réalisés par le MDDELCC en 2014 dans le lac, cette fréquence de dépassement était en moyenne de 40 %⁵⁶. Ce sont les insecticides clothianidine et thiaméthoxame qui ont les fréquences de dépassement des CVAC les plus élevées, et c'est la rivière Yamaska qui est la plus fortement affectée (80 % de dépassement pour les deux insecticides). Le CVAC comporte toutefois des limites puisqu'il n'est pas disponible pour tous les pesticides et prend en compte la toxicité d'une seule substance à la fois. Puisque l'effet cumulé de plusieurs pesticides n'est pas pris en compte, il se peut qu'il y ait une sous-estimation des risques écotoxicologiques⁵⁵.

Pendant les années 2008, 2013, 2014, 2015 et 2016, plusieurs campagnes d'échantillonnage ont eu lieu pour 8 sites du lac Saint-Pierre, 11 sites situés dans les lieux de fraie et d'alevinage de la perchaude ainsi que pour 3 sites servant à l'examen des sédiments (Figure 11)⁵⁷.



© Comité ZIPLSP



Figure 11. Stations échantillonnées pour les pesticides dans le lac Saint-Pierre entre 2008 et 2016⁵⁷

En 2008, des prélèvements dans le panache des rivières Saint-François et Yamaska (stations A et B; Figure 11), près de l'herbier de l'île de la Grande Commune, ont permis de détecter 18 pesticides, soit 14 herbicides, 3 insecticides et 1 fongicide. De plus, en 2014, les résultats de 9 prélèvements effectués à 5 stations dans le lac (stations 1 à 5) ont permis de détecter jusqu'à 18 herbicides et 3 insecticides par station. Des travaux similaires ont été effectués en 2015 sur la rive sud du lac (stations 1, 3, 4 et 6); les résultats obtenus sont similaires à ceux de l'année précédente. En tout, 18 herbicides et 2 insecticides ont été détectés. Il est à noter que la fréquence de détection de 8 de ces herbicides n'est que de 10 % (1 échantillon sur 10) et ils n'ont été détectés qu'à une seule des quatre stations à la fois (Annexe 9)⁵⁷.

Dans l'ensemble, entre 2014 et 2015, 20 herbicides et 3 produits de dégradation d'herbicides ont été détectés dans le lac Saint-Pierre. Les principaux produits détectés à toutes les stations sont les herbicides et les insecticides néonicotinoïdes associés aux cultures de maïs et de soya. Dans presque 100 % des échantillons récoltés, l'atrazine et le S-métolachlore étaient présents alors que le glyphosate, le métribuzine, le mésotrione, l'imazéthapyr et le diméthénamide étaient présents dans environ la moitié des échantillons. En ce qui concerne les produits de dégradation d'herbicides, le plus fréquemment retrouvé est le DEA (30 % à 100 % des échantillons). Quant aux produits de dégradation des insecticides, le thiaméthoxame est celui qui a été détecté le plus souvent (67 % à 100 % des échantillons), suivi de la clothianidine (33 % à 90 % des échantillons; Tableau 13)⁵⁷.

Tableau 13. Fréquence de détection (%) des principaux pesticides détectés dans le lac Saint-Pierre en 2014 et 2015, par station d'échantillonnage

Pesticides	2014					2015			
	1	2	3	4	5	1	3	4	6
Herbicides									
Atrazine	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DEA	77,8	100	88,9	88,9	77,8	40	50	80	50
S-métolachlore	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Métribuzine	55,5	55,5	33,3	55,5	55,5	10	10	10	—
Glyphosate	33,3	22,2	33,3	33,3	11,1	50	60	30	20
Bentazone	33,3	22,2	33,3	33,3	11,1	50	60	30	20
Mésotrione	55,5	33,3	44,4	33,3	22,2	50	60	50	60
Imazéthapyr	55,5	33,3	55,5	44,4	55,5	20	20	30	30
Insecticides									
Thiaméthoxame	100	66,7	66,7	66,7	77,8	70	90	80	70
Clothianidine	77,8	33,3	66,7	55,5	55,5	50	90	70	90

Note : — : produit non détecté.

Source des données : Données modifiées de Giroux (2018⁵⁷)

Le dépassement des CVAC a également été analysé en 2014 et 2015. Parmi les pesticides détectés, seuls l'atrazine, le thiaméthoxame et la clothianidine ont dépassé leur critère respectif (Tableau 14, Annexe 10)⁵⁷.

Tableau 14. Concentrations maximales mesurées (µg/L) pour les pesticides détectés dans le lac Saint-Pierre ayant dépassé leur CVAC en 2014 et 2015, par station d'échantillonnage

Pesticides	CVAC (µg/L)	2014					2015			
		1	2	3	4	5	1	3	4	6
Herbicides										
Atrazine	1,8	1,8	0,98	1,8	1,9	0,24	0,41	0,23	0,62	0,11
Insecticides										
Thiaméthoxame	0,008 3	0,24	0,076	0,13	0,19	0,085	0,018	0,016	0,04	0,01
Clothianidine	0,008 3	0,077	0,043	0,071	0,11	0,047	0,018	0,014	0,037	0,038

Note : Les chiffres en gras sont équivalents ou supérieurs à leur valeur respective de CVAC.

Source des données : Données modifiées de Giroux (2018⁵⁷)

En 2014, le thiaméthoxame avait dépassé son critère dans 22 % à 55 % des échantillons selon la station, alors que la clothianidine a dépassé le sien dans 22 % à 44 % des échantillons. En 2015, les pourcentages de dépassement ont diminué pour les deux insecticides, soit de 10 % à 30 % pour le thiaméthoxame et de 10 % à 20 % pour la clothianidine. Pour ces deux néonicotinoïdes, les concentrations maximales mesurées représentent respectivement 29 fois et 13 fois leur CVAC. Pour les stations échantillonnées en 2014, l'herbicide atrazine a quant à lui dépassé son CVAC dans 10 % à 20 % des échantillons⁵⁷.

En 2013, la présence de pesticides dans les sites de fraie de la perchaude a été évaluée dans 11 sites témoins situés dans la zone inondable 0-2 ans du lac Saint-Pierre, dont 9 sont du côté sud du lac (Figure 11). Ces échantillonnages ont permis de détecter la présence de certains pesticides résiduels, car la période de prélèvement a commencé avant le début des activités agricoles. Pendant la période de reproduction, la présence d'AMPA, un produit de dégradation du glyphosate, a été détectée à une concentration entre 0,20 µg/L et 0,61 µg/L, et ce, à plusieurs stations. Ces concentrations signifient que,

lors de la période printanière, il y a encore des traces de pesticides de l'année précédente dans les sites de fraie. Dans le lac, la quantité d'AMPA a augmenté lors de la période d'alevinage, atteignant une concentration de 0,85 µg/L. Ce pesticide n'a pas été échantillonné pendant cette période dans les champs inondés et dans les haltes migratoires. Toutefois, il a été détecté un peu plus tôt durant la saison, lors de la période d'incubation. À ce moment, les concentrations variaient entre 0,21 µg/L et 0,51 µg/L dans les champs et entre 0,48 µg/L et 0,89 µg/L dans les haltes migratoires, signifiant que l'apport des champs inondés et des haltes migratoires relativement à ce pesticide dans l'eau est important⁵⁷.

Dans les stations étudiées pendant la période d'alevinage (de fin mai à mi-juin), plusieurs pesticides ont été détectés à des concentrations très variables. Les trois pesticides présents en plus grande concentration sont généralement l'AMPA, le glyphosate et le S-métolachlore, mais il y a également présence de plusieurs produits résiduels. Il est à noter que les néonicotinoïdes n'ont pas été mesurés lors des périodes d'échantillonnages de 2013, car la problématique relative à ces produits était encore considérée comme émergente au moment des travaux. Toutefois, la documentation scientifique mentionne que ces produits peuvent être présents dans les champs, et ce, jusqu'à un an après leur application⁵⁷.

En 2016, les pesticides ont été échantillonnés aux stations 1, 2 et 4 (Figure 11). Bien que les échantillons soient trop peu nombreux pour être en mesure d'observer l'évolution des pics de concentrations des pesticides dans les sédiments, ils ont tout de même donné un aperçu de ce qui est présent dans ces derniers ainsi que dans la colonne d'eau*. Les échantillons ont permis de détecter la présence de deux herbicides (glyphosate et AMPA). Le dépassement du CVAC n'a pas été étudié, car il n'y en a pas pour les concentrations de pesticides dans les sédiments. Toutefois, une comparaison avec la littérature scientifique a permis de voir que les résultats obtenus dans les sédiments du lac Saint-Pierre sont très similaires à ceux observés ailleurs. En plus de l'absence de CVAC, peu d'informations sont disponibles sur les effets de la présence du glyphosate et de l'AMPA dans les sédiments, plus spécifiquement sur les plantes aquatiques⁵⁸.

Les bilans annuels de ventes permettent d'obtenir des données à propos des indicateurs de risque des pesticides du Québec (IRPeQ). Ces outils permettent de donner une valeur indicatrice relative au risque potentiel de l'utilisation des pesticides⁵⁴ et d'effectuer un suivi spatial et temporel des risques de l'utilisation de ces pesticides⁵⁹. En milieu agricole, ils permettent de faciliter le choix de pesticides afin d'utiliser ceux représentant le moins de risque pour l'environnement et la santé humaine. Dans les autres secteurs, ils sont utiles pour analyser l'évolution des risques liés à l'utilisation de pesticides, que ce soit par une entreprise ou un secteur d'activité. Ils permettent également de considérer les risques relatifs à l'emploi de pesticides pendant la planification saisonnière des interventions phytosanitaires et des stratégies de lutte contre les nuisances dans les cultures⁵⁹. Alors que l'IRPeQ-environnement permet d'évaluer les risques écotoxicologiques et les impacts potentiels sur l'environnement de l'utilisation des pesticides, l'IRPeQ-santé est un indicateur de risque toxicologique et s'appuie notamment sur des indices de toxicité aiguë et chronique des pesticides et considère le potentiel de biodisponibilité de ces derniers⁵⁹.

Les deux volets de l'IRPeQ ont été calculés en 2016 et ils montrent une diminution de la contribution des herbicides par rapport à la période de référence (2006-2008), mais ces derniers demeurent toutefois les principaux contributeurs de risque pour les deux indicateurs (> 50 %). Cette importance des herbicides est notamment expliquée par le volume de vente en 2016 (68 % des ventes pour la production végétale). La contribution des insecticides est également à la baisse. Bien qu'ils ne comptent que pour 10 % des ventes

* I. Giroux, MDDELCC, comm. pers. 2018.

pour la production végétale, leur contribution à l'IRPeQ-environnement est de 25 %. À l'inverse, les fongicides ont augmenté leur contribution et représentent 13,4 % des ventes de production végétale⁵⁴.

Même si l'utilisation des pesticides diffère entre les secteurs, tous doivent mettre en place des actions permettant de réduire l'utilisation de pesticides, voire interdire l'utilisation de certains types. Pour ce faire, les différents acteurs ont plusieurs outils et documents à leur disposition. Du côté des municipalités, ces dernières ont la possibilité d'adopter un règlement sur l'usage des pesticides qui est en accord avec le *Code de gestion des pesticides* (CGP; Annexe 1) et le *Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides*. Au total, 35 municipalités ayant adopté un tel règlement sont situées partiellement ou totalement dans les bassins versants des tributaires directs et comptabilisent 853 075 habitants (Annexe 8). Il est à noter que la liste des municipalités ayant adopté ce règlement peut ne pas être complète, puisque ces dernières n'ont pas à faire approuver leur règlement par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)^{60,17}.

Au fil des ans, diverses stratégies ministérielles ont été mises en place pour contrôler et réduire l'utilisation des pesticides. En 1992, une première stratégie phytosanitaire voyait le jour et visait à réduire de 50 % l'utilisation des pesticides dans le secteur agricole pour 2000⁶¹. Une nouvelle stratégie est en cours, soit la *Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021*, et a pour objectif de réduire de 25 % les risques pour la santé et l'environnement liés à l'utilisation des pesticides en milieu agricole ainsi que d'accroître la lutte antiparasitaire intégrée. Cette stratégie comporte trois plans d'action, dont le dernier (2018-2021) sera déposé et adopté à l'automne 2018*. Il y a également la *Stratégie québécoise sur les pesticides 2015-2018* du MDDELCC, qui a pour but de diminuer l'utilisation systématique et sans justification des pesticides les plus à risque en milieu agricole. Depuis le 8 septembre 2018, le CGP cible aussi les néonicotinoïdes clothianidine, imidaclopride et thiaméthoxame⁵⁷.

Les agriculteurs ont la possibilité de faire appel à un service-conseil non affilié, ou à un service-conseil et de vente, afin de les aider à gérer leurs terres de la façon qui convient le mieux à leur situation. Ils ont aussi accès à deux outils gratuits, dont le Réseau d'avertissement phytosanitaire, un outil d'informations générales avisant de la présence et de l'évolution des ennemis agricoles qui se retrouvent dans les 16 groupes de cultures visés. Il les informe aussi sur les stratégies d'intervention les plus appropriées dans un contexte de gestion intégrée des cultures et de développement durable. Le deuxième outil est une application regroupant tous les produits de protection des cultures homologués au Canada et permet de faire un choix éclairé parmi plusieurs produits applicables à une même problématique, mais dont les risques pour la santé et l'environnement sont différents⁶².

En plus des outils, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) encourage les agriculteurs à utiliser des techniques d'épandage qui visent la prévention. Il y a de choisir les pesticides en tenant compte du développement de la résistance des ennemis des cultures, d'effectuer une rotation des cultures pour éviter ces résistances et les maladies, d'utiliser des seuils d'intervention lors de l'application d'insecticides ou de fongicides, de réduire le désherbage mécanique ainsi que d'entretenir et régler le pulvérisateur de pesticides de manière adéquate*.

Également, depuis le 8 mars 2018, il est obligatoire pour les agriculteurs de tenir deux registres (achat et vente) qui recensent l'utilisation de pesticides par l'agriculteur pour toute application de pesticides ainsi que pour la mise en terre ou l'application à la volée des néonicotinoïdes⁶³.

* M-H. April, MAPAQ, comm. pers. 2018

Métaux

Un cours d'eau reçoit naturellement un apport de métaux via l'érosion des sols et de la roche mère, et la composition de cet apport varie en fonction de la géologie locale²⁰. Or, les activités anthropiques, telles que les exploitations minières, les fonderies, les rejets municipaux et industriels, ainsi que les sites d'enfouissement sont des sources de métaux pouvant contribuer à une surcharge de ces éléments dans les cours d'eau. De 2004 à 2008, le MDDEP a réalisé une étude portant sur les concentrations de 20 métaux* à 12 stations réparties le long du fleuve Saint-Laurent, dont trois en amont et en aval du lac Saint-Pierre. Cette étude a permis de conclure à une quasi-absence de dépassement des critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique pour les métaux^{20, 36}. Aux environs du lac Saint-Pierre, seul le fer se trouvait au-dessus des limites dans 25 % à 50 % des cas à l'embouchure de la rivière Yamaska²⁰. Selon une étude plus récente réalisée entre 2008 et 2011 par Duchemin et Hébert⁶⁴, les concentrations des métaux n'étaient pas préoccupantes à l'embouchure des tributaires directs du lac Saint-Pierre (étude excluant les bassins versants orphelins et celui de la rivière Saint-François). Aucun dépassement de CVAC pour les métaux n'a été observé dans ces tributaires. Cette étude, qui a analysé les échantillons provenant de 41 rivières du sud-ouest du Québec, indique que la présence de métaux résulterait principalement de la vulnérabilité des bassins versants aux processus d'altération de la roche mère et d'érosion des sols.

Le mercure est aussi analysé au lac Saint-Pierre. Ce contaminant historique est surtout d'origine industrielle (industrie des métaux, industrie chimique, matières résiduelles), ou il est lié à la production d'énergie (centrales thermiques, combustion d'énergie fossile, bois de chauffage)²⁰. Puisqu'il se bioaccumule dans la chair et se bioamplifie[†] dans la chaîne alimentaire, le mercure peut être particulièrement dommageable pour les organismes vivants^{20, 36}. Son transfert des tributaires au lac Saint-Pierre est facilité par l'érosion d'importantes superficies de sols agricoles dans les rivières Yamaska et Saint-François⁶⁵. En fait, la majorité du mercure dans les particules en suspension provient de la matière organique terrigène et a été transporté par l'érosion de sols agricoles. Toutefois, au début des années 2000, les concentrations en mercure du Saint-Laurent ainsi que des rivières Yamaska et Saint-François étaient jugées relativement faibles pour des bassins versants agricoles⁶⁶.

Des données récentes indiquent que le doré jaune et le grand brochet affichent des concentrations de mercure non préoccupantes, soit en dessous de la directive de Santé Canada (0,5 mg/kg)³⁶. Au niveau de la faune aviaire, on note une diminution de 13 % en dix ans en ce qui concerne la contamination retrouvée dans les œufs des grands hérons à la Grande Île. Le taux de mercure était alors jugé dans les normes.

En plus de la présence de métaux dans la colonne d'eau, ces derniers sont aussi présents dans les sédiments du lac Saint-Pierre. Au lac Saint-Pierre, on enregistre une diminution des concentrations de mercure de 90 % depuis les trois dernières décennies⁶⁷. En effet, son niveau est passé de toxique à sous le seuil des critères pouvant causer des effets délétères sur le milieu benthique (0,17 µg/g). De plus, les concentrations en arsenic, cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb et zinc ont diminué de moitié depuis 1986 et affichent maintenant des concentrations proches des teneurs préindustrielles^{68, 69}. Seuls l'arsenic, le chrome et le cuivre dépassent le seuil d'effets rares, sans pour autant franchir le seuil d'effets probables ou fréquents, dans la portion sud-ouest du lac Saint-Pierre, entre l'embouchure de la rivière Saint-François et la pointe de Baie-du-Febvre⁷⁰.

* Antimoine, argent, arsenic, baryum, béryllium, bore, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, fer, manganèse, molybdène, nickel, plomb, sélénium, strontium, uranium, vanadium et zinc.

† Processus d'augmentation progressive de la concentration d'une substance chimique lors de la progression dans la chaîne trophique.

Contaminants émergents

Les contaminants émergents sont des produits chimiques dont la présence dans l'environnement n'est connue que depuis peu d'années et qui ne font souvent pas encore l'objet de critères de qualité de l'eau. Ils comprennent entre autres les PBDE, les produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP), les composés perfluorés et les nonylphénols éthoxylés (NPE)²⁰.

Les PBDE sont des retardateurs de flammes incorporés aux matières plastiques, aux textiles ou aux produits électroniques dans le but de réduire les risques d'inflammation. Ils sont également persistants et bioaccumulables⁷¹. Entre 2004 à 2007, des échantillonnages effectués ont montré une concentration médiane des PBDE totaux dans l'eau brute de 316 pg/L à la hauteur de Sorel-Tracy et de 48 pg/L dans la rivière Nicolet⁷². Les concentrations résiduelles dans l'eau potable traitée sont néanmoins faibles, démontrant l'efficacité des stations d'épuration quant à l'élimination des PBDE^{20,56}. Les PPSP font, quant à eux, référence aux médicaments en vente libre ou sur ordonnance (principalement des analgésiques, stimulants et antiseptiques) ainsi qu'aux produits de soins personnels tels que les savons et les shampoings²⁰. Dans le fleuve, les analgésiques et anti-inflammatoires les plus fréquents (acétaminophène, ibuprofène, naproxène et acide salicylique) ont tous été détectés à la hauteur de Sorel-Tracy. Toutefois, seul l'acétaminophène a été détecté à la hauteur de Trois-Rivières. De l'ibuprofène et du naproxène ont également été détectés à la hauteur de Bécancour⁷³. Néanmoins, les concentrations de PPSP et d'hormones dans les eaux traitées sont indétectables ou à l'état de trace. Les stations municipales de traitement des eaux usées traitent partiellement les PPSP⁷³.

Les composés perfluorés persistant dans l'environnement se retrouvent principalement dans les enduits protecteurs et les produits antisalissures. En amont de Sorel-Tracy et dans la rivière Saint-François, on mesurait une concentration médiane entre 2 ng/L et 9,9 ng/L de composés perfluorés totaux en 2007-2008, ce qui est en deçà des critères provisoires pour l'eau potable de l'Agence américaine de protection de l'environnement (> 100 ng/L)²⁰. Bien que les concentrations mesurées pour l'eau brute et l'eau traitée soient les mêmes, indiquant ainsi que les ouvrages d'épuration sont inefficaces pour éliminer ce type de substance⁵⁶, les concentrations mesurées au lac Saint-Pierre ne sont pas problématiques. La situation est similaire pour les NPE, un surfactant utilisé dans les détergents, dont les concentrations dans l'ensemble des cours d'eau du Québec ont diminué de plus de 90 % à la suite des mesures de contrôle gouvernementales mises en place entre 2004 et 2009, ramenant toutes les concentrations sous les critères de qualité de l'eau⁵⁶.

Actuellement, c'est dans le lac Saint-Pierre que l'on observe les sédiments de surface les plus contaminés en PBDE parmi les lacs fluviaux du Saint-Laurent, alors que les concentrations sont parfois aussi élevées que dans les Grands Lacs⁷¹. La concentration médiane d'un regroupement de PBDE est neuf fois plus élevée au lac Saint-Pierre (1,65 ng/g en 2003), comparativement au lac Saint-François (0,18 ng/g en 2008). Les butylétains sont aussi des contaminants émergents utilisés principalement comme biocides dans les peintures antisalissures. Certaines formes de ces composés organométalliques sont très nocives et aujourd'hui interdites ou réglementées. Malgré tout, étant donné leur nature, les butylétains et leurs produits de dégradation demeurent persistants dans l'environnement et peuvent s'accumuler dans la chaîne trophique⁷⁴. Heureusement, en 2003-2004, les concentrations mesurées dans les sédiments du lac Saint-Pierre ne dépassaient pas 5 ng étain/g, soit une concentration plus faible que celle enregistrée dans les zones portuaires et les marinas⁶⁷. Un suivi à l'échelle du fleuve Saint-Laurent indique que la majorité des stations du fleuve Saint-Laurent (74 %) sont peu ou pas contaminées par les butylétains (< 5 ng/g)⁷⁴.

SECTEUR MUNICIPAL

En 2016, la population des tributaires directs du lac Saint-Pierre comptait un peu plus de 1,5 million d'habitants, comparativement à 1,14 million en 1986^{3, 75}. Cette hausse de population a entraîné une multitude de changements sur le territoire, dont une expansion des périmètres urbains et une diversification des activités anthropique. Ces changements majeurs affectent la qualité de l'eau du lac Saint-Pierre et de ses tributaires directs, l'expansion urbaine étant notamment liée, à l'augmentation du nombre de constructions, à l'expansion du réseau routier ainsi qu'à l'agrandissement des réseaux d'égout et d'eau potable, le tout empiétant sur les milieux naturels garants de l'assainissement des eaux de surface.

Urbanisation et imperméabilisation des surfaces

Le territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre est présentement parcouru par 11 autoroutes et 24 routes nationales⁷⁶, 7 compagnies de chemins de fer⁷⁷ ainsi qu'une multitude de routes municipales. L'élargissement du réseau routier, survenu notamment en raison de la croissance démographique et les nombreux échanges commerciaux, n'est pas sans conséquence alors que plusieurs routes traversent ou bordent des milieux naturels sensibles. À titre d'exemple, l'autoroute 40 longe le fleuve Saint-Laurent ainsi que le lac Saint-Pierre, notamment dans la zone inondable à récurrence 0-2 ans (Figure 12).



Figure 12. Vue aérienne de l'autoroute 40 dans la zone inondable du lac Saint-Pierre

Un des effets majeurs résultant de l'urbanisation et de la présence d'un réseau routier est l'imperméabilisation des surfaces. Le remplacement de sols perméables peut avoir des effets sur le cycle naturel de l'eau, notamment en augmentant les débits et les volumes de ruissellement et en contribuant à une dégradation des milieux récepteurs. En temps normal, lorsque le sol est perméable, les épisodes de faibles pluies ne génèrent pas de ruissellement, car les précipitations sont interceptées et infiltrées dans le sol, ou subissent de l'évapotranspiration. Lorsque les sols sont moins perméables, la situation inverse se produit et les précipitations ruisselleront davantage. Toutefois, la relation entre la quantité d'eau ruisselée et le pourcentage de surface imperméable n'est pas linéaire. En effet, plusieurs variables entrent en ligne de compte, dont l'intensité des précipitations, la présence de surfaces perméables, la rugosité et l'état des surfaces imperméables ainsi que la connectivité de ces dernières à un réseau de drainage. Dans un objectif de préservation de la qualité de l'eau, il est impératif de gérer efficacement les eaux de ruissellement et les

surfaces imperméables, et ce, au fur et à mesure de l'expansion urbaine⁷⁸. Bien que la problématique des surfaces imperméabilisées soit connue, les informations sur le sujet le sont beaucoup moins dans les bassins versants. Par exemple, dans les plans directeurs de l'eau des OBV des tributaires directs, seuls ceux des rivières Bayonne et Yamaska évoquent le pourcentage de surfaces imperméabilisées sur leur territoire. Par conséquent, il est impossible à l'heure actuelle d'évaluer le pourcentage de ces surfaces dans l'ensemble du territoire à l'étude.

L'expansion du réseau routier est également associée à une plus grande demande au niveau des entretiens routiers. En saison hivernale, ces derniers sont synonymes de l'épandage et de l'entreposage de sels de voiries ainsi que de l'élimination des neiges usées. Une fois au sol, les sels atteignent facilement le sol en bordure des routes et la végétation. De plus, une certaine quantité des composés de sels de voiries se solubilisent dans l'eau et rejoignent les eaux de surface⁷⁹. Dans les tributaires directs, les quantités de sels et d'abrasifs épandues chaque année sont non négligeables. À titre d'exemple, dans la portion estrienne du bassin versant de la rivière Saint-François, plus de 40 000 t de sels sont épandues annuellement²⁹. Les impacts des produits pour déglacer les routes sont aussi présents à l'entreposage et à l'élimination des neiges usées. Il a été observé que les neiges usées des secteurs résidentiels vont généralement présenter des concentrations de contaminants (chlorures, MES, plomb, etc.) plus élevées que ce qui est retrouvé dans les eaux usées des réseaux d'égouts unitaires et pluviaux. Ces concentrations sont par ailleurs trop élevées pour que les neiges usées soient directement rejetées dans les milieux récepteurs⁸⁰. Puisque ces dernières représentent une source de contaminants, elles doivent être disposées dans les sites de dépôt à neige, ou déversées dans les égouts, afin d'être traitées. Cette disposition se doit d'être en accord avec le Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige⁸¹. Il est toutefois difficile de prévoir la concentration exacte de contaminants pouvant être rejetés dans l'environnement, notamment en raison des facteurs climatique (p. ex. quantité de neige tombée) et humain (p. ex. circulation)⁸⁰.

Selon les informations du Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO) du MDDELCC, il y aurait, dans le territoire des tributaires directs, 85 sites de dépôt à neige. Parmi ces sites, la grande majorité (82 %) est située dans les bassins versants de la rive sud et un peu plus de 50 % des 85 sites sont situés dans les bassins versants des rivières Richelieu et Yamaska⁸². Toutefois, selon les données 2015 de codification des immeubles du Système d'information et de gestion en aménagement du territoire, il n'y a que 4 sites sur les 85 qui sont enregistrés comme site officiel⁸³. Deux de ces sites sont situés dans les bassins versants orphelins de la rive nord et les deux autres sont dans le bassin versant de la rivière Saint-François ainsi que dans un bassin versant orphelin de la rive sud. Les autres sites de dépôt de neiges usées sont répertoriés sous une autre appellation dans le code des immeubles : soit ils sont utilisés à d'autres fins lors des mois sans neige, soit ils sont considérés comme étant non autorisés.

Eaux usées : réseaux municipaux et résidences isolées

Les tributaires directs du lac Saint-Pierre reçoivent les eaux usées de 253 municipalités (Tableau 15), dont la majorité se retrouve sur la rive sud (89 %). Il est à noter que 9 municipalités dans le territoire à l'étude rejettent leurs eaux usées directement dans le fleuve, et non dans un bassin versant. La majorité des 262 municipalités traite leurs eaux usées, mais 22 % d'entre elles ne possèdent pas de réseau d'égout et traitent leurs eaux usées par des installations septiques individuelles. Également, 3 % d'entre elles disposent d'un réseau non raccordé à une station d'épuration et ne traitent pas leurs eaux usées^{16, 84}.

Tableau 15. Municipalités rejetant des eaux usées dans les tributaires directs en 2017, par type d'assainissement

Bassin versant	Avec réseau et traitement ^a	Avec réseau, sans traitement ^b	Sans réseau	Total
Rive nord	20	0	7	27
La Chaloupe, Rivière	1	0	0	1
Bayonne, Rivière	3	0	3	6
Chicot, Rivière	1	0	0	1
Maskinongé, Rivière	5	0	2	7
Du Loup, Rivière	6	0	1	7
Yamachiche, Petite rivière	2	0	0	2
Yamachiche, Rivière	1	0	1	2
Bassin versant orphelin	1	0	0	1
Rive sud	171	7	48	226
Richelieu, Rivière	42	0	4	46
Yamaska, Rivière	50	0	13	63
Saint-François, Rivière	59	0	19	48
Nicolet, Rivière	18	7	11	36
Bassin versant orphelin	2	0	1	3
Fleuve	8	0	1	9
Total	199	7	56	262

a : Municipalités avec réseau d'égout desservi par une station d'épuration.

b : Municipalités avec réseau d'égout non desservi par une station d'épuration.

Source des données : Données extraites et modifiées de couches d'informations géographiques du navigateur cartographique du MDDELCC (2017⁸⁴ et 2018¹⁶)

Selon les données de recensement 2016^{16, 17}, les municipalités sans réseau d'égout sur leur territoire comptent 54 020 personnes. Près de la moitié de ces résidents vivent dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François (Annexe 11). En ce qui concerne les municipalités possédant un réseau d'égout, mais dont les eaux usées sont non traitées, deux d'entre elles sont reliées à une station d'épuration considérée non active, trois rejettent leurs eaux usées directement dans l'environnement et l'information relative aux deux autres est inconnue⁸⁴. Au total, ces 7 municipalités comptaient 5 367 habitants en 2016¹⁷.

Pour les municipalités possédant un réseau d'égout dont les eaux usées sont acheminées à une station d'épuration, la majorité d'entre elles ont une proportion de leur population qui est non desservie par ce réseau. Les résidences non raccordées sont dites « isolées »; elles sont dotées d'installations individuelles (champs d'épuration, fosses septiques, etc.) pour traiter et entreposer leurs eaux usées. Afin de consigner les données relatives à ces installations, les MRC possèdent un outil permettant d'effectuer le suivi des conditions d'exploitation exigées par le *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (RETEURI) (Annexe 1). Cet outil, le Suivi des ouvrages individuels de traitement des eaux usées, permet d'effectuer le suivi des vidanges de fosses septiques, des contrats d'entretien, des rapports d'entretien, des résultats d'analyse d'effluents des systèmes de traitement tertiaire et le suivi des plaintes, dont les éléments de non-conformité⁸⁵. Bien que les installations individuelles soient assujetties à une réglementation, certaines fuient dans l'environnement et les eaux usées peuvent alors être lessivées dans les milieux aquatiques. Il est également difficile d'évaluer l'ampleur exacte de l'impact des résidences isolées sur la qualité de l'eau, car il n'existe pas de registre des installations non conformes, et le nombre exact de résidences isolées dans les tributaires directs est inconnu.

Depuis la mise en place du *Programme d'assainissement des eaux du Québec* en 1978 (maintenant le *Programme d'assainissement des eaux municipales*), 198 stations d'épuration sont entrées en activité dans

les municipalités où s'écoulent les tributaires directs du lac Saint-Pierre. En 2017, ces dernières desservent 199 municipalités et comptabilisaient 1 152 255 personnes (Tableau 16)¹⁷.

Tableau 16. Portrait général des stations d'épuration dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre

Bassin versant	n ^{bre} de stations	n ^{bre} de municipalités desservies ^a	n ^{bre} de stations effectuant de la déphosphatation	n ^{bre} de mois de déphosphatation			Population	
				12	5-6	0	2016	conception ^b
Rive nord								
La Chaloupe	1	1	0	0	0	1	3 249	1 190
Bayonne	3	3	3	0	3	0	8 767	2 346
Chicot	1	1	1	0	1	0	1 862	488
Maskinongé	5	5	4	1	3	1	8 738	6 625
Du Loup	7	6	4	0	4	3	14 484	13 095
Petite Yamachiche	2	2	2	0	2	0	4 026	2 135
Yamachiche	1	1	0	0	0	1	953	421
Bassin versant orphelin	1	1	0	0	0	1	1 934	482
Rive sud								
Richelieu	33	42	32	11	21	1	342 997	268 935
Yamaska	48	50	44	4	40	4	257 770	163 490
Saint-François	70	59	64 ^c	23	40	5	363 786	298 420
Nicolet	19	18	17	2	13	2	81 583	64 153
Bassin versant orphelin	2	2	0	0	0	2	1 464	858
Fleuve	5	8	3	0	3	2	6 0642	6 3919
Total	198	199	174	46	127	23	1 152 255	886 557

a : Nombre de municipalités desservies par une station d'épuration. Les municipalités desservies par une station située dans une autre municipalité sont comptabilisées dans le même bassin versant que cette dernière.

b : Estimée lors de la conception de la station d'épuration et correspond au nombre de personnes qui devraient être desservies par la station.

c : La station de Kingsbury, entrée en activité en 2017, a été comptabilisée uniquement dans le nombre de stations. La station d'Odanak a été comptabilisée dans le nombre de stations avec déphosphatation, mais les données relatives au nombre de mois sont inconnues.

Source des données : Données des stations d'épuration et population de conception extraites et modifiées des couches d'informations géographiques du navigateur cartographique du MDDELCC (2017⁸⁴ et 2018¹⁶). Données de déphosphatation obtenues des rapports d'évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour les années 2013 à 2016. Données de recensement provincial 2016¹⁷

Toutes proportions gardées, environ 76,9 % de la population des tributaires directs seraient raccordés à une station d'épuration. Cependant, le nombre de personnes desservies par municipalité peut ne pas être représentatif de la réalité s'il existe d'autres stations d'épuration hors territoire à l'étude. Également, puisque les populations varient au fil du temps, la population de conception établie à l'ouverture d'une station peut ne plus être représentative du nombre d'habitants actuellement desservis. À l'inverse, une population de conception peut être de 0 si une station ne dessert qu'une industrie ou une usine de filtration d'eau potable. C'est le cas notamment de la station située dans la municipalité de Carignan¹⁶. Lors de l'établissement de la population de conception, les municipalités peuvent aussi prévoir l'influence des industries reliées à leur réseau d'égout à l'aide d'une comparaison entre l'apport industriel et le débit total de la station. Cet apport peut être déterminant dans l'établissement de la catégorie de taille de la station et des exigences de performances et de suivi de cette dernière⁸⁶. À cet effet, l'article 2 du *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* (ROMAEU; Annexe 1)⁸⁷ détermine qu'il faut prendre en compte les apports industriels des eaux de procédés industriels, notamment celles des secteurs de prospection ou de mise en valeur des ressources (minières, forestières, pétrolières, gazières), des industries manufacturières ou de fabrication, des industries de transformation ainsi que du transport aérien ou maritime. Également, le lixiviat des sites d'enfouissement, l'effluent d'un site de traitement des boues ou de matières résiduelles ainsi que les rejets d'hôpitaux et de laboratoires, excluant les postes de soins infirmiers, sont à prendre en considération.

Charges en phosphore

Parmi les 198 stations d'épuration en opération en 2017, la majorité d'entre elles procèdent à la déphosphatation de leurs eaux usées (88 %, Tableau 16). En tout, 23 stations n'effectuent pas ce traitement et rejettent 4 636 kg P/an, ce qui représente 1,4 % des charges annuelles moyennes de phosphore aux émissaires des stations d'épuration des eaux usées des tributaires directs⁸⁸. Quant aux stations avec déphosphatation, 127 d'entre elles (73 %) procèdent au traitement de mai à octobre/novembre seulement, permettant ainsi d'éliminer environ 48 % des rejets de phosphore chaque année. Cependant, si elles fonctionnaient à l'année, environ 86 % des charges seraient réduites. Les frais de fonctionnement d'une telle amélioration seraient facilement calculables*. Toutefois, la végétation aquatique étant presque absente pendant l'hiver, les impacts positifs sur la santé de l'écosystème aquatique devraient être moins importants que ceux de la déphosphatation pendant la saison de croissance des végétaux.

En plus des tributaires directs, le lac Saint-Pierre reçoit les eaux usées de 61 municipalités situées en amont et qui comptent 3,3 millions de personnes². Cette population est desservie par un total de 45 stations d'épuration qui traitent quotidiennement un volume d'eau usée de plus de 4 millions m³/jour, dont environ 3,5 millions m³ proviennent de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM)⁸⁹. De ce nombre, 27 stations (95 % du volume traité quotidiennement) procèdent à une déphosphatation. Selon une étude de 2008 par Hudon et Carignan⁸⁹, les effluents municipaux de la grande région métropolitaine de Montréal accroissent les concentrations de phosphore et de MES de 20 % et 11 % respectivement⁹⁰, alors que la CMM rejette environ 1,5 t de phosphore total et 66 t de MES. À elle seule, la station d'épuration physicochimique de la Ville de Montréal rejette 71 % des eaux usées de la CMM, ce qui représente 66 % et 72 % des charges quotidiennes de phosphore total et de MES respectivement.⁸⁹

La charge annuelle moyenne de phosphore rejetée entre 2009 et 2012 a été calculée pour les stations d'épuration en opération en 2012 dans l'ensemble des tributaires directs. Les ouvrages d'assainissement dont l'émissaire est situé dans ces tributaires rejettent en moyenne 317 t P/an (Tableau 17)⁸⁸. Les stations des municipalités rejetant leurs eaux usées dans le fleuve (en amont ou à la hauteur de l'archipel) ont une charge annuelle moyenne d'environ 768 t P/an, dont presque la moitié provient de la station de l'île de Montréal (376 t P/an). La charge annuelle provenant de l'amont est 2,4 fois plus élevée que celle des municipalités rejetant leurs eaux usées dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre. Toutefois, aussi importante soit-elle, cette charge est transportée rapidement dans le chenal par la masse d'eau centrale qui ne se mélange que très lentement avec les eaux peu profondes qui coulent lentement le long des rives nord et sud. Le temps de résidence est donc beaucoup plus élevé en rive que dans le chenal, particulièrement lors de l'étiage d'été¹¹. Ainsi, la qualité de l'eau dans les milieux riverains est particulièrement vulnérable aux charges en phosphore en provenance des tributaires directs.

Il est également important de considérer l'importance des autres secteurs émetteurs de phosphore. Bien que la charge annuelle moyenne en provenance du secteur urbain/industriel de Montréal soit de 376 t P/an, elle reste néanmoins beaucoup moins importante que la charge annuelle en phosphore d'origine diffuse anthropique des tributaires directs du lac Saint-Pierre. Cette charge équivaut à 951 t P/an, soit 3,5 fois la charge en provenance des eaux usées de Montréal.

* M. Simoneau, MDDELCC, comm. pers. 2016

Tableau 17. Charge annuelle moyenne de phosphore aux émissaires des stations d'épuration situées dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre et en amont dans le fleuve Saint-Laurent, entre 2009 et 2012

Émissaire des stations	Charge annuelle moyenne (kg P/an)	(%)	Stations
Bassins versants du lac Saint-Pierre	316 894	29	173
Rive nord			
La Chaloupe, Rivière	706	~0	1
Bayonne, Rivière	994	~0	3
Chicot, Rivière	20	~0	1
Maskinongé, Rivière	1 439	~0	5
Du Loup, Rivière	4 149	~0	7
Yamachiche, Petite rivière	703	~0	2
Yamachiche, Rivière	225	~0	1
Sarrazin, Ruisseau	179	~0	1
Rive sud			
Richelieu, Rivière	62 915	6	28
Yamaska, Rivière	122 819	11	40
Saint-François, Rivière	91 659	8	65
Nicolet, Rivière	30 929	3	18
Des Frères, Ruisseau	157	~0	1
Fleuve Saint-Laurent	767 546	71	45
À la hauteur de l'archipel du lac Saint-Pierre	18 310	2	3
Montréal (agglomération)	376 449	35	1
Autres stations en amont du lac Saint-Pierre	372 787	34	41
Total	1 084 440	100	218

Note : Cette compilation ne tient pas compte des stations d'épuration rejetant des eaux usées dans les tributaires se jetant dans le fleuve Saint-Laurent en amont du lac Saint-Pierre.

Source des données : Données transmises par le MDDELCC en mars 2014⁸⁸.

Ouvrages de surverse et raccordements inversés

Les ouvrages de surverse permettent l'évacuation des surplus d'eaux usées non traitées en réponse à une surcharge du système d'égout. En effet, ces ouvrages comprennent deux parties, soit l'ouvrage de contrôle qui achemine les eaux vers la station d'épuration et le trop-plein qui redirige les surplus hors du système. L'excédent des eaux s'écoule alors vers le cours d'eau récepteur, tel le lac Saint-Pierre ou un de ses tributaires, et n'emprunte plus le chemin vers la station d'épuration⁹¹. Les surverses se produisent généralement en cas de forte pluie, à la fonte des neiges ou en raison d'une situation d'urgence, et sont problématiques pour la qualité de l'eau, particulièrement lorsqu'elles ont lieu par temps sec. Cependant, ces derniers sont peu nombreux, comparativement à d'autres types de débordement. Par exemple, sur les 10 386 débordements d'ouvrages de surverse survenus en 2013 dans les tributaires directs, seulement 1 % se sont produits par temps sec alors que 73 % ont été causés par temps de pluie, 14 % par la fonte des neiges, 9 % en raison d'une situation d'urgence et 3 % pour une raison autre⁹². Selon le ROMAEU, les débordements et les dérivations d'eaux usées qui ont lieu lors de la fonte des neiges, lors d'une forte pluie ou en cas d'urgence sont tolérés et ne sont pas visés par les normes de débordements du règlement. Les débordements par temps sec, quant à eux, sont interdits et généralement causés par une sous-capacité des pompes ou d'un régulateur de l'ouvrage, par une élévation insuffisante du muret déversoir, ou encore, par un mauvais arrangement géométrique de l'ouvrage. Ces diverses problématiques entraînent des débordements récurrents des ouvrages de surverse. Les délais d'intervention déraisonnables visant à régler un problème de débordement (bris ou remplacement d'équipement, obstruction, blocage des pompes, etc.) sont également une cause de débordements problématiques⁹¹.

Il existe trois types de réseaux d'égout, soit unitaire, pseudo-domestique et domestique. Dans un réseau unitaire, les eaux usées domestiques et celles de procédé (commerces/industries), les eaux de pluie, les eaux de ruissellement, les eaux de la fonte des neiges et les drains de fondation des bâtiments sont acheminés à une station d'épuration par un réseau combiné. Dans un réseau pseudo-domestique, les eaux de ruissellement et celles de la fonte des neiges sont acheminées séparément des autres eaux. Finalement, dans un réseau domestique, les eaux pluviales (ruissellement et autres ainsi que les drains de fondation des bâtiments) sont rejetées directement dans un cours d'eau tandis que les eaux domestiques et celles de procédé sont acheminées vers une station d'épuration. En raison de leur double fonction, les réseaux unitaires et pseudo-domestiques sont beaucoup plus sensibles à la surcharge⁹³. Par exemple, l'agglomération montréalaise (ensemble des municipalités de l'île de Montréal) connaît de nombreux épisodes de débordements de son réseau d'égout, et ce, depuis plusieurs années. Ces débordements sont principalement causés par la présence d'une majorité de réseaux unitaires (67 % des réseaux) qui ne sont plus adaptés aux grandes surfaces imperméables et aux précipitations actuelles⁹⁴.

L'entrée en vigueur du ROMAEU en 2014 permet d'effectuer un contrôle des débordements des ouvrages de surverse. Ce règlement poursuit des objectifs semblables à ceux de la *Stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'eaux usées municipales*, mise en place en 2009. Le Québec, bien qu'il n'ait pas adopté cette stratégie, vise les mêmes objectifs, dont celui de réduire les débordements des ouvrages de surverse, notamment en définissant le contenu des attestations d'assainissement délivrées aux municipalités pour l'ensemble de leurs ouvrages d'assainissement. Des mesures compensatoires, permettant d'éviter les augmentations de fréquence de débordements d'égouts, doivent être prévues pour tous les projets d'expansion de réseau susceptible d'entraîner cette augmentation⁹⁵. De plus, le ROMAEU prévoit que l'exploitant d'un ouvrage municipal d'assainissement devait se doter d'un appareil permettant d'enregistrer les débordements d'eaux usées si un ou plusieurs de ses ouvrages de surverse ont connu au moins un débordement non causé par un cas d'urgence au cours des trois années précédant le 11 janvier 2014. Ainsi, depuis le 31 décembre 2015, chaque ouvrage de surverse visé par cet article réglementaire doit posséder un appareil enregistrant la fréquence des débordements, le moment où ils se produisent et leur durée cumulée quotidienne (art. 30 et 31⁸⁷). Il existe également des types d'enregistreurs de débordement qui, en plus de répondre aux caractéristiques précédentes, permettent de calculer le volume cumulé quotidien des débordements. Ce type d'enregistreur n'est toutefois pas obligatoire⁹⁶.

En plus des ouvrages de surverse, une autre problématique de débordement provient des raccordements inversés. D'ailleurs, ces derniers représentent la principale cause de rejets d'eaux usées par temps sec et sont susceptibles d'être une source importante de pollution des milieux humides, des cours d'eau et des lacs. Bien que la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) interdise les rejets de contaminants dans l'environnement (Annexe 1), il arrive toutefois que les raccordements inversés aient été faits volontairement, ou non, car il était plus facile d'opter pour l'écoulement gravitaire. Il est donc important que les exploitants des réseaux d'égout posent des actions afin de prévenir et d'éliminer les déversements causés par ces raccordements^{97, 98}. Par définition, les raccordements inversés se définissent comme suit :

« Branchement ou défectuosité à un équipement qui permet à des eaux usées sanitaires de se déverser ailleurs que dans un réseau d'égout domestique ou unitaire, soit dans un réseau d'égout pluvial, sur le sol, dans un fossé ou dans un cours d'eau, alors que l'immeuble concerné est desservi par un réseau d'égout domestique ou unitaire. »⁹⁸

Il est à noter que les déversements d'eaux usées des installations septiques déficientes sont exclus de la définition de raccordements inversés, ces dernières devant être corrigées par l'application du RETEURI et

de la LQE. Également, les déversements d'eaux usées sanitaires survenant à des ouvrages de surverse devant respecter des exigences de rejet, car leur débit moyen annuel est supérieur à 10 m³/jour, et qui font l'objet d'un programme de suivi du MELCC ne sont pas considérés comme des raccordements inversés⁹⁸. Cette exclusion des ouvrages de surverse touche l'ensemble des ouvrages situés dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre.

La problématique principale entourant les raccordements inversés est le manque de connaissances que possèdent les municipalités à leur sujet. De nombreuses municipalités ont déjà en leur possession des plans détaillés de leur réseau, mais plusieurs autres ont des informations incomplètes, dispersées ou restreintes aux connaissances d'un seul individu et qui ne sont pas consignées sur papier. Il existe toutefois une méthode de recherche et d'élimination des raccordements inversés qui est disponible pour les municipalités^{97, 98}. Bien que ce travail de documentation soit une tâche imposante, il est d'autant plus important, car peu de données sont disponibles à ce sujet et l'impact réel des raccordements inversés sur la qualité de l'eau des tributaires directs ne peut être quantifié convenablement.

Exigences de conformité

En plus du respect de la législation et de la réglementation, certains exploitants de stations d'épuration devaient ou devront également se conformer à certaines exigences (Tableau 18). Ces exigences ne concernent que certains exploitants dans les tributaires directs, les autres étant déjà aux normes.

Tableau 18. Exigences de conformité des stations d'assainissement des eaux usées concernant les tributaires directs du lac Saint-Pierre

Exigence	Instance ministérielle	But	Année d'échéance	n ^{bre} de stations concernées
Équipement déphosphatation	Position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique	Respect des exigences de déphosphatation en fonction de l'emplacement de la station Les exploitants concernés doivent se doter d'équipements de déphosphatation.	1 ^{er} janvier 2017	2
			1 ^{er} janvier 2018	12
Raccordement à une station d'épuration	ROMAEU	L'exploitant d'un réseau d'égout domestique, pseudo-domestique ou unitaire non relié à une station d'épuration en date de 2014 doit aménager une station d'épuration reliée à son réseau.	31 décembre 2020	7
Respect des normes de rejets (pH, MES et DBO ₅ C ^a)	ROMAEU	Les exploitants concernés doivent procéder à la réalisation de travaux visant l'agrandissement, la modernisation ou le remplacement de leur station.	2030	4
			2040	5

a : La DBO₅C correspond à la demande biochimique en oxygène 5 jours, partie carbonée.

La première exigence découle de la position ministérielle de 2009 visant la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées domestiques et qui découle elle-même du *Plan d'intervention sur les algues bleu-vert 2007-2017*⁹⁵. Selon cette position, les stations rejetant en amont d'un lac ou dans ce dernier

doivent procéder à une déphosphatation annuelle, alors que celles se déversant dans un bassin versant en surplus de phosphore ou autre type de cours d'eau doivent effectuer une déphosphatation semi-annuelle ou annuelle. Certaines stations ne sont toutefois pas assujetties aux exigences fixées par le MDDELCC. Parmi les 23 stations du territoire à l'étude ne faisant pas de déphosphatation, deux d'entre elles rejetant en amont d'un lac dit « préoccupant » devaient se doter d'équipements de déphosphatation au plus tard le 1^{er} janvier 2017 et 12 autres sont situées dans un bassin versant à surplus de phosphore et devaient se doter du même type d'équipement au plus tard le 1^{er} janvier 2018. Les neuf autres stations qui ne font pas de déphosphatation sont soit non assujetties aux exigences de rejets, soit en attente d'un statut, soit non concernées par la position ministérielle, car elles rejettent leurs eaux directement dans le fleuve⁹⁹. Il est à noter que les données relatives à la déphosphatation sont datées de 2016 et, par conséquent, il est possible que les exploitants des 14 stations devant se conformer aux exigences de rejets aient procédé aux changements nécessaires.

Les deuxième et troisième exigences proviennent toutes deux du ROMAEU. Dans le premier cas, l'exigence d'aménager une station d'épuration d'ici 2020 concerne les sept municipalités avec un réseau d'égout, mais sans traitement des eaux usées. À l'instar des municipalités déjà raccordées à une station d'épuration, les municipalités devant se conformer à l'exigence de raccordement du ROMAEU devront également respecter des normes de rejets tels qu'exigés par le règlement (3^e exigence). Ces normes visent à respecter une certaine valeur de pH ainsi qu'une certaine concentration de DBO₅C et de MES. Toutefois, l'annexe III du ROMAEU prévoit quelques exceptions pour des stations d'épuration qui, en 2013, n'étaient pas en mesure de respecter les normes de rejets visées par les paragraphes 1 et 2 du premier alinéa de l'article 6 (DBO₅C et MES). Les exploitants de ces neuf stations ont donc jusqu'en 2030 ou 2040 pour réaliser les travaux visant l'agrandissement, la modernisation ou le remplacement de leur station⁸⁷.

Prélèvement d'eau potable

Au lac Saint-Pierre, quatre municipalités s'approvisionnent en eau potable à partir des eaux de surface dans l'archipel du lac Saint-Pierre. Il s'agit de Berthierville, Sainte-Geneviève-de-Berthier, La-Visitation-de-l'Île-Dupas et Saint-Ignace-de-Loyola¹⁰⁰. Au total, 8 206 personnes sont desservies par leur réseau municipal de distribution d'eau potable. Le site de prélèvement d'eau est alors la station de purification de Berthierville. Les autres municipalités riveraines s'approvisionnent à partir d'une rivière ou d'eau souterraine. Au total, dans l'ensemble des tributaires directs du lac Saint-Pierre, près de 40 % de la population (≈ 620 000 personnes) est approvisionné en eau potable par une source d'eau de surface, que ce soit le fleuve, un lac, une rivière, un ruisseau, ou par une alimentation mixte (eau de surface et eau souterraine)¹⁰⁰. L'approvisionnement en eau potable dépend fortement de l'eau en amont des sources, non seulement pour la quantité, mais également pour la qualité. Des eaux usées contaminées en amont affecteront les eaux utilisées en aval. La gestion de ces eaux est donc importante, non seulement pour le lac Saint-Pierre et sa biodiversité, mais également pour la santé humaine des communautés en amont de ce dernier. Il est important de souligner que près de 82 % des habitants desservis par une source d'eau de surface résident sur la rive sud, là où le secteur agricole est plus important. Les eaux drainant ces terres sont enrichies en nutriments et plus enclines à la prolifération des cyanobactéries¹⁰¹.

Il existe certaines contraintes relatives aux sites de prélèvement en eau dans le but de contrôler et de réduire les impacts des installations sur l'environnement. De ce fait, le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (RPEP) et le CGP (Annexe 1) réglementent les activités permises ainsi que les superficies

d'aire de protection immédiate à conserver autour des sites de prélèvements. Le RPEP a notamment pour objectif d'imposer des mesures de protection en périphérie immédiate des installations. Ces mesures visent notamment l'interdiction ou les modifications de certaines activités agricoles lorsque ces dernières sont réalisées à proximité d'une installation de prélèvement d'eau de surface pour un réseau d'aqueduc desservant minimalement 21 personnes. Lorsqu'une zone de protection immédiate est déterminée sont interdites les activités agricoles de pâturage ainsi que celles d'épandage et de stockage à même le sol de déjections animales, de compost de ferme, de matières fertilisantes azotées ou de matières résiduelles fertilisantes. Il est à noter que les zones de protection incluent les bandes riveraines de 10 m à partir de la LHE¹⁰². Du côté du CGP, ce dernier interdit notamment l'épandage de pesticides à moins de 100 m d'un site de prélèvement d'eau desservant plus de 21 personnes (art. 50)¹⁰³. Ces obligations sont applicables à l'ensemble des sites de prélèvement d'eau de surface présents dans les tributaires directs.

Il est également possible pour une municipalité d'utiliser son pouvoir d'adoption d'un règlement relatif à l'application des pesticides pour restreindre davantage l'épandage de pesticides. Bien que ce règlement ne nécessite pas l'approbation du ministre du MELCC, les municipalités ne peuvent pas adopter un règlement moins sévère que ce qui est inscrit dans le CGP, sous peine qu'il soit jugé inconciliable avec le code.¹⁰²

SECTEUR INDUSTRIEL ET AUTRE

Les tributaires directs du lac Saint-Pierre sont situés sur le territoire de régions administratives qui ont maintenu une activité industrielle importante et variée, entre autres dans les secteurs des pâtes et papiers, des produits du bois, de l'agroalimentaire, des produits chimiques et plastiques, du caoutchouc ainsi que de la métallurgie^{3, 15}. En plus des industries, les tributaires comprennent de nombreux sites commerciaux. Toutefois, malgré la présence nombreuse de ces derniers, l'accent sera mis sur les industries et les terrains de golf en raison de leur nombre, leur impact environnemental et leur présence à proximité des différents plans d'eau des tributaires directs.



Principales industries

Le SAGO du MDDELCC répertorie les installations où s'exercent des opérations présentant un intérêt pour ce ministère, car elles sont susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement par leurs rejets ou leur utilisation des ressources*. La compilation du SAGO effectuée en 2017 révèle la présence de 1 707 industries et 13 fabriques de pâtes et papier dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre (Figure 13 et Tableau 19). La plupart des industries de pâtes et papiers se trouvent dans les bassins versants des rivières Saint-François et Nicolet. Plus de la moitié (55 %) des autres industries se trouvent, quant à elles, dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François¹⁰⁴.

* Plusieurs variables sont à considérer afin de déterminer en quoi ces usages sont potentiellement plus problématiques pour la qualité de l'eau. La sélection retenue pour l'emplacement des établissements choisi a été réalisée par le MDDELCC afin de prendre en compte les endroits où il y a plus de risques de déversements ou de rejets dans les cours d'eau à proximité, ou encore, de procédé de rejets d'eaux usées par infiltration dans le sol, lorsque les établissements ne sont pas reliés à un réseau d'égout.

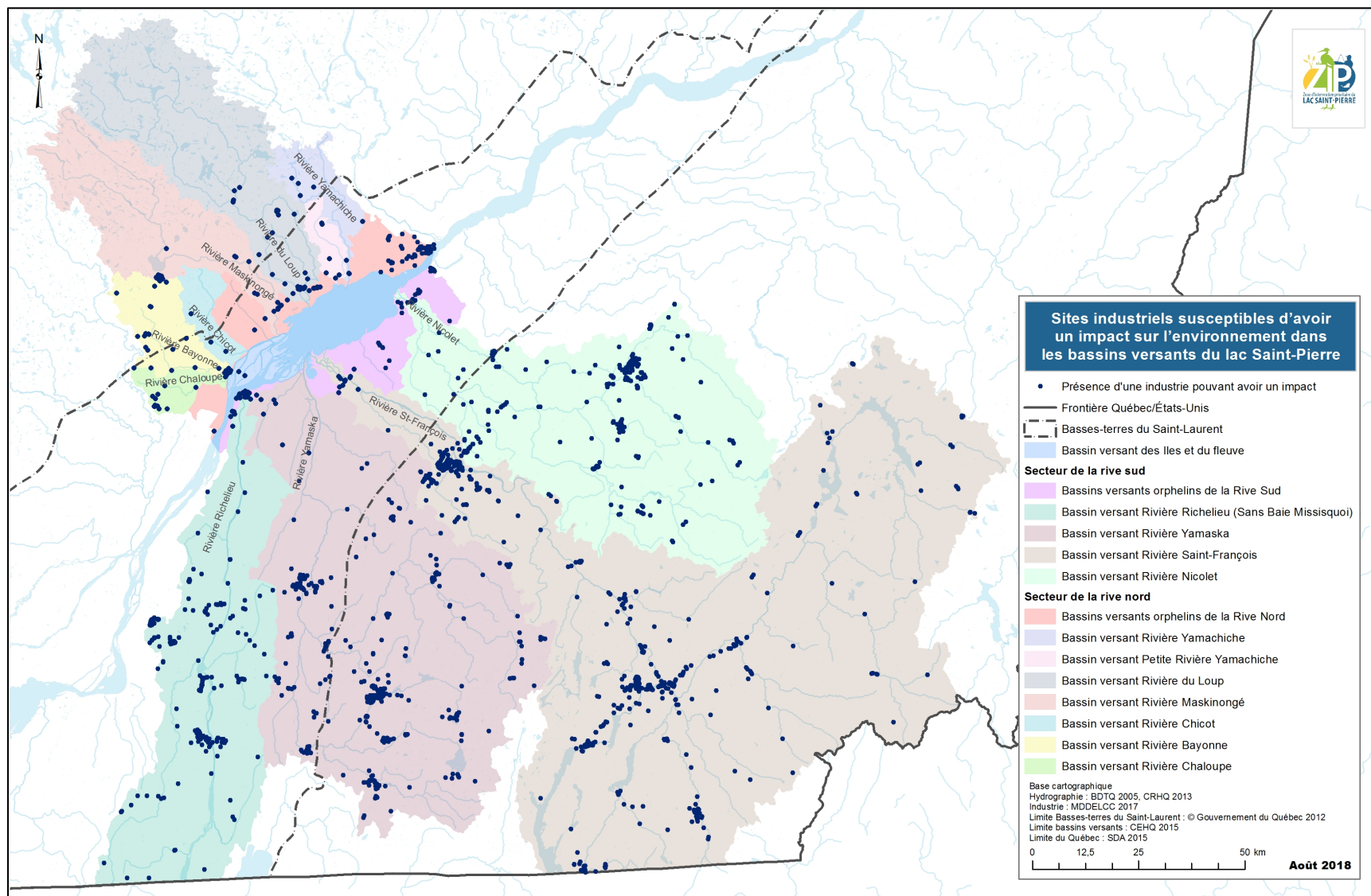


Figure 13. Sites industriels susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, en date de 2017¹⁰⁴

Tableau 19. Industries et fabriques de pâtes et papiers actives répertoriés par le SAGO dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre en 2017

Bassin versant	Fabrique de pâtes et papier	Industrie	Total
Rive nord	2	192	194
La Chaloupe, Rivière	0	14	14
Bayonne, Rivière	0	25	25
Chicot, Rivière	0	3	3
Maskinongé, Rivière	0	20	20
Du Loup, Rivière	1	32	33
Yamachiche, Petite rivière	0	6	6
Yamachiche, Rivière	0	8	8
Bassins versants orphelins	1	84	85
Rive sud	11	1 512	1 523
Richelieu, Rivière ^a	0	221	221
Yamaska, Rivière	0	406	406
Saint-François, Rivière ^a	6	541	547
Nicolet, Rivière	5	298	303
Bassins versants orphelins	0	46	46
Îles et fleuve	0	3	3
Total	13	1 707	1 720

a : Ce décompte n'inclut que les industries dans les portions québécoises des tributaires directs.

Source des données : Données extraites et adaptées de SAGO du MDDELCC (2017¹⁰⁴)

La majorité des sites susceptibles d'être problématiques pour la qualité de l'eau de surface se retrouvent à l'extérieur des périmètres urbains (PU) des municipalités. À cet effet, une étude réalisée par le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire en 2013 a permis de démontrer que 65 % des pressions identifiées à l'extérieur des PU des tributaires directs du lac Saint-Pierre et à moins de 100 mètres d'un cours d'eau sont causées par des usages pouvant entraîner une contamination industrielle (industries diverses, lieux d'enfouissement, entreprises d'extraction de minerai et autres). Les usages de types touristiques (restauration, hébergement, golf, camping et base de plein air) représentent 31 % des pressions anthropiques, et le dernier 4 % est constitué des usages récréatifs liés directement à l'eau (plage, port de plaisance, marina, activités nautiques, etc.). En plus des rejets industriels potentiels, il est plus probable que les industries situées à l'extérieur des PU ne soient pas raccordées aux réseaux d'égout municipaux et, par conséquent, doivent procéder eux-mêmes au traitement complet de leurs effluents afin de respecter les normes de rejets dans les eaux de surface¹⁵.

Parmi les sites industriels problématiques les plus fréquemment retrouvés dans les tributaires directs, on retrouve les sites d'extraction du sable et du gravier, les entreprises d'excavation, de nivellement, de défrichage et d'installation de fosses septiques, les sites d'extraction de la pierre pour le concassage et l'enrochement, ainsi que les industries de l'abattage et du conditionnement de la viande (excepté la volaille et le petit gibier)⁸³. Il y a également, dans le territoire à l'étude, plusieurs sites industriels producteurs de pollution diffuse, tels que les dépotoirs et les lieux d'enfouissement sanitaires. À petite échelle, ces sites représentent une pollution ponctuelle, et la percolation qui en résulte a une grande influence sur les milieux naturels à proximité. Toutefois, à l'échelle des bassins versants, la pollution émise par ces sites peut être davantage considérée comme étant diffuse et a un effet beaucoup plus faible, en comparaison à d'autres sources de polluants. Toutefois, l'attention qui doit être portée à ces sites résulte du fait que les contaminants qui percolent dans le sol à ces endroits ne sont pas toujours les mêmes, car les déchets qui y sont déposés ou enfouis peuvent varier. Si des déchets contenant des substances toxiques y

sont acheminés, ces dernières se retrouveront dans les eaux de ruissellement et risquent d'atteindre les eaux de surface à proximité. Également, contrairement à d'autres sources de polluants, les dépotoirs et lieux d'enfouissement sanitaires continuent d'émettre de la pollution par percolation, et ce, même après leur fermeture. À l'extérieur des PU des tributaires directs, il y a 24 dépotoirs actifs ainsi que 22 lieux d'enfouissement sanitaire. À l'intérieur des PU, il y a 3 dépotoirs actifs⁸³.

Rejets industriels

Parmi les industries présentes dans les tributaires directs, certaines d'entre elles sont assujetties à la réalisation de bilans de conformité environnementale. Il y a également des industries qui, en plus du bilan de conformité, sont soumises à une attestation d'assainissement. Cette attestation qui découle du *Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel* (Annexe 1) et adoptée en 1993 devient l'outil légal qui rend opérationnel le *Programme de réduction des rejets industriels* (PRRI), mis en place en 1988. Ce programme contraint les industries des pâtes et papiers, les industries minérales et celles de la première transformation des métaux à l'obtention d'une attestation d'assainissement. Sur le territoire à l'étude, on retrouve 20 sites assujettis à l'une ou l'autre de ces deux exigences et parmi ceux-ci, 11 se retrouvent dans le bassin versant de la rivière Saint-François. La majorité des sites industriels sont des fabriques de pâtes et papiers alors que le reste se partage entre les secteurs des matières résiduelles et de métallurgie primaire et le secteur minier (Tableau 20). Deux de ces sites ne rejettent aucun effluent, mais la plupart des sites industriels rejettent soit un effluent industriel, soit un effluent rejeté au réseau municipal.

Tableau 20. Nombre de sites industriels assujettis au bilan de conformité ou à une attestation d'assainissement dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, par secteur d'activité

Secteur	n^{bre} de sites industriels
Fabriques de pâtes et papiers	10
Carton	2
Matériaux de construction	1
Pâtes et papiers blanchis	1
Pâtes et papiers non blanchis	6
Matières résiduelles	5
Lieu d'enfouissement de pâtes et papiers	5
Métallurgie primaire	1
Fer et ilménite	1
Minier	4
Fer et ilménite	1
Métaux usuels	1
Minéraux industriels	2
Total	20

Source des données: Données extraites et adaptées de la couche d'informations géographique du navigateur cartographique du MDDELCC (2016¹⁰⁵)

Parmi les 20 sites industriels mentionnés, il n'y a que ceux du secteur des matières résiduelles qui doivent uniquement produire un bilan de conformité. Les sites industriels des trois autres secteurs (pâtes et papiers, minier, métallurgie primaire) doivent réaliser un bilan de conformité, en plus d'obtenir une attestation d'assainissement. Renouvelée tous les cinq ans, l'attestation établit les conditions environnementales (rejets dans l'eau, émissions atmosphériques, matières résiduelles, milieux récepteurs) auxquelles l'établissement industriel ciblé doit se conformer afin d'exercer ses activités. Puisque

l'attestation est renouvelable, elle permet un resserrement progressif des exigences environnementales afin de réduire les rejets industriels¹⁰⁶. Bien qu'à l'heure actuelle, il n'y ait que trois secteurs industriels assujettis au PRRI, le MDDELCC prévoit étendre l'application du programme aux secteurs de la chimie organique et inorganique, au secteur de la transformation du métal (traitement de surface et métallurgie secondaire) ainsi qu'au secteur de l'industrie agroalimentaire, de la transformation du bois et des textiles. En somme, le MDDELCC prévoit assujettir quelque 250 établissements industriels majeurs au Québec¹⁰⁶.

Sur les 20 sites industriels (Tableau 20), quatre d'entre eux rejettent leurs effluents dans un réseau d'égout municipal, sont soumis aux règlements municipaux et peuvent devoir effectuer un prétraitement de leurs eaux avant leur rejet dans le réseau d'égout. Parmi les autres sites, douze possèdent un effluent connu servant au rejet de leurs eaux usées. Un des sites miniers possède à lui seul trois effluents, et deux autres sites ont le fleuve comme milieu récepteur de leurs rejets industriels. L'exutoire d'aire d'accumulation (« parc à résidus ») d'un lieu d'enfouissement de pâtes et papiers dans la ville de Trois-Rivières est le seul effluent industriel faisant l'objet d'aucun traitement de ses eaux usées alors que son milieu récepteur est un fossé s'écoulant vers le fleuve. Également, le type de traitement utilisé est inconnu pour deux autres effluents industriels du même genre (exutoire d'aire d'accumulation)¹⁰⁵.

D'autres industries sont présentes sur le territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre, mais ne sont pas répertoriées dans les données de conformité environnementale. C'est le cas du bassin versant de la rivière La Chaloupe, où l'on retrouve en amont une cimenterie non inscrite au répertoire*. À ce jour, il n'existe pas de liste exhaustive des sites industriels avec effluents raccordés à un réseau d'égout municipal, ou des sites industriels effectuant un traitement des eaux usées avant le rejet.

Malgré un manque de connaissance exhaustive sur les industries en général, le secteur des pâtes et papiers, pour sa part, est bien documenté. Avec les données actuelles, il est possible de déterminer la charge annuelle moyenne de phosphore total des papeteries situées près des tributaires directs et qui possèdent un effluent non raccordé à un réseau d'égout municipal. Selon la compilation effectuée, les apports des papeteries seraient responsables d'environ 2 % des charges annuelles moyennes de phosphore dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre⁵². Ces charges de source industrielle proviennent surtout du bassin versant de la rivière Saint-François (25 997 kg P/an) où, pour la période 2009 à 2012, la contribution des papeteries atteint environ 10 % de la charge annuelle en phosphore de ce bassin versant. Une autre papetière non raccordée se situe quant à elle dans le bassin versant de la rivière Nicolet et, pour la même période, sa charge moyenne annuelle était de 3 178 kg P/an¹⁰⁷.

En plus des bilans de conformité et des attestations d'assainissement, il existe un outil gouvernemental qui permet de connaître les quantités annuelles de phosphore rejetées par les industries. L'*Inventaire national des rejets de polluants* (INRP) est l'inventaire public national des polluants ponctuels rejetés dans l'atmosphère, l'eau ou le sol ainsi qu'éliminés et recyclés. Cet inventaire comprend l'information déclarée à Environnement Canada en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Selon cette loi, un propriétaire ou un exploitant d'installation doit obligatoirement déclarer chaque année à l'INRP sa quantité de rejets, d'élimination et de transferts de polluants à des fins de recyclage, et ce, s'il fabrique, traite, utilise ou rejette une ou plusieurs substances de l'INRP, qu'il atteint les seuils de déclaration et qu'il remplit d'autres critères¹⁰⁸. En 2016, dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, 26 établissements ont fourni une

* J.-P. Gagnon, OBV Zone Bayonne, comm. pers. 2017.

déclaration à l'INRP et seulement 14 ont des rejets dans l'eau, totalisant 62 900 kg de phosphore total. Cependant, dix de ces 14 établissements sont des réseaux d'aqueduc et d'égout et leur apport en phosphore est de 45 960 kg¹⁰⁹. Parmi les établissements restants, deux proviennent du secteur de la fabrication d'autres produits minéraux non métalliques ainsi que du secteur de la sidérurgie. Les apports en phosphore dans l'eau provenant de ces deux industries sont minimes en comparaison à d'autres activités (2 460 kg et 60 kg respectivement). Les deux autres industries inscrites au répertoire sont des usines de pâtes et papier. Il s'agit de l'usine Kruger à Trois-Rivières et de l'usine de Domtar de Windsor¹⁰⁹.

Malgré l'importance des industries concernant les rejets d'eaux usées et de phosphore, il est important de souligner les mesures mises en place pour réduire ces apports de polluants. Par exemple, la réglementation sur les rejets industriels des papetières a beaucoup évolué depuis les années 1970. En 1979, le *Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers* a été adopté au Québec. Celui-ci a entre autres établi des normes environnementales relatives à la qualité des effluents ainsi qu'à l'obligation de surveiller la qualité des effluents et d'en faire rapport au ministre. Ce règlement a notamment permis de diminuer les rejets de MES en provenance des papetières¹⁵. Un deuxième *Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers* (Annexe 1) a éventuellement été adopté en 1992 afin de renforcer et d'ajouter certaines exigences au premier règlement. Également, grâce au *Plan d'action Saint-Laurent 1988-1993*, les rejets industriels ont grandement diminué, alors qu'en 1995, on estimait leur réduction à 96 %, notamment attribuable à de nouvelles exigences réglementaires appliquées aux fabriques de pâtes et papiers¹¹⁰. À ce jour, les papetières utilisent les technologies actuelles leur permettant de réduire leur impact environnemental. En effet, avec des normes réglementaires de plus en plus exigeantes au fil des 30 dernières années, les fabriques de pâtes et papiers ont su diminuer considérablement leurs rejets, et ce, fréquemment au-delà des diminutions observées dans les autres secteurs industriels. Ainsi, de manière générale, les rejets de ce secteur sont bien en dessous des normes réglementaires¹¹¹. Les efforts fournis par les papetières sont remarquables. À titre d'exemple, la quantité de phosphore total rejetée dans l'eau par l'usine de Domtar à Windsor est passée de 16 290 kg en 2014 à 9 880 kg en 2016. En seulement deux ans, cette usine a réduit de 60 % sa quantité de phosphore rejetée dans l'eau^{109, 112}. Grâce aux progrès réalisés par les industries papetières, ce secteur est maintenant considéré comme un exemple d'adoption de bonnes pratiques environnementales, notamment par sa façon d'évaluer ses rejets d'eaux usées au regard du milieu récepteur¹¹¹. Il serait possible d'établir des actions de réduction des rejets en phosphore pour les autres secteurs industriels, et ce, en se basant sur les progrès des papetières.

Terrains de golf

Le territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre inclut 89 terrains de golf d'une superficie totale de 4 682 ha, dont la majorité est dans les bassins versants des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François. En raison de l'utilisation d'engrais, les terrains de golf représentent une source de pollution diffuse en nutriments, en plus d'employer d'importantes quantités d'eau et de pesticides pour entretenir les terrains. L'arrosage et l'irrigation facilitent ainsi le transport de fertilisants et de pesticides vers les cours d'eau. Toutefois, depuis 2006, les exploitants de terrain de golf doivent développer un plan de réduction des pesticides tous les trois ans afin de se conformer au CGP¹¹³. À l'échelle du Québec, les pesticides utilisés sur les parcours de golf sont des fongicides (83 %), des herbicides (10 %) et des insecticides (7 %). Les données du bilan 2012-2014 des plans de réduction des pesticides sur les terrains de golf du Québec indiquent que, par rapport à la période de référence 2003-2005, l'indicateur de risque pour la santé a globalement diminué de 3,3 %, mais a augmenté au Centre-du-Québec, en Mauricie et dans Chaudière-Appalaches.

L'indicateur de risque pour l'environnement, quant à lui, a globalement diminué de 14 %, mais a augmenté en Mauricie et au Centre-du-Québec¹¹³.

Les impacts des terrains de golf sur la qualité de l'eau pourraient s'accroître avec les changements climatiques qui augmenteront les besoins en irrigation dans un contexte de baisse de niveau d'eau¹¹⁴.

SECTEUR AGRICOLE

Au Québec, l'agriculture a fortement contribué à façonner les milieux ruraux au fil du temps. Dans la dernière moitié du siècle, une transformation importante du paysage agricole s'est produite via trois phénomènes principaux : la concentration, la spécialisation et l'intensification de l'agriculture¹¹⁵. Dès lors, les paysages agricoles ont subi d'importantes modifications telles que le redressement des cours d'eau, le drainage souterrain et le drainage des milieux humides, la réduction des superficies boisées et la conversion des pâturages et des cultures pérennes en cultures annuelles¹¹⁶.

Types de cultures et d'élevages

Dans le sud des Basses-terres du Saint-Laurent, les activités agricoles se sont intensifiées entre 1981 et 2006 alors qu'une diminution de la proportion des terres forestières improductives, laissées en friche ou utilisées comme prairie ou pâturage, a été observée¹¹⁷. Une intensification de l'agriculture depuis le milieu du siècle, principalement en Montérégie et au Centre-du-Québec, aurait été facilitée par l'avènement de nouvelles technologies et de machineries spécialisées ainsi que par le développement de nouveaux intrants chimiques (pesticides et fertilisants)¹¹⁸. Atteignant un tournant au début des années 1990 au Québec, l'intensification de l'agriculture s'est traduite par une augmentation de la culture annuelle (maïs, blé) et de la culture de soya, de l'ordre de 225 %¹¹⁹. Dans le littoral du lac Saint-Pierre, les cultures annuelles ont remplacé quelque 2 500 ha de cultures pérennes (fourrages, pâturages), mais aussi environ 350 ha de milieux humides et 102 ha de friches¹¹⁶.

Les cultures pérennes ne sont pas les seules à avoir été affectées par l'expansion des cultures annuelles. Les différents secteurs de productions animales ont également connu une régression au fil des années. Malgré la très grande importance du secteur de la production laitière, ce dernier a connu un rythme rapide de diminution du nombre de fermes au cours des 40 dernières années et un rythme très lent de croissance de la taille moyenne des cheptels. Le secteur de la production avicole est également en baisse depuis 1971. En comparaison, le secteur de la production porcine connaît une croissance depuis les années 1970¹²⁰.

En 2013, le territoire des tributaires directs du lac Saint-Pierre est constitué de 9 307 km² de terres agricoles, dont plus de 50 % sont occupées par les cultures à grand interligne (majorité de maïs et de soya). Les cultures à grand interligne dominent sur la rive nord, sur la rive sud et sur les îles de l'archipel avec respectivement 58 %, 52 % et 49 % des terres ensemencées. Le fourrage occupe entre 19 % et 28 % du sol en milieu agricole alors que les cultures à interligne étroit occupent entre 5 % et 8 % dans ces trois secteurs. Les bassins versants des rivières Richelieu et Chicot et les bassins versants orphelins de la rive sud se démarquent par l'importance de leurs cultures à grand interligne, avec plus de 70 % des terres cultivées. Les tributaires directs comptabilisent aussi plus de 920 000 unités animales (Tableau 21 et Tableau 22).

Tableau 21. Utilisation du sol en milieu agricole en 2013 dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre

Bassin versant	Type de culture en km ² (% de l'occupation du sol par tributaire)					Total
	Grand interligne	Interligne étroit	Fourrage	Autres cultures	Agriculture indifférenciée	
Rive nord	598 (58)	85 (8)	192 (19)	2 (0)	162 (16)	1 038
La Chaloupe, Rivière	62 (60)	10 (10)	11 (11)	<1 ^a (0)	19 (19)	103
Bayonne, Rivière	112 (55)	15 (8)	41 (20)	<1 (0)	34 (17)	203
Chicot, Rivière	47 (70)	4 (6)	8 (12)	—	7 (11)	66
Maskinongé, Rivière	59 (47)	8 (6)	32 (25)	—	27 (22)	125
Du Loup, Rivière	104 (54)	18 (9)	43 (22)	<1 (0)	26 (14)	191
Yamachiche, Petite rivière	55 (62)	9 (10)	14 (16)	<1 (0)	11 (12)	89
Yamachiche, Rivière	27 (50)	4 (8)	13 (23)	<1 (0)	10 (19)	55
Bassins versants orphelins	113 (64)	17 (8)	30 (15)	1 (1)	26 (13)	207
Rive sud	4 263 (52)	403 (5)	2 034 (25)	39 (0)	1 492 (18)	8 231
Richelieu, Rivière	1 311 (74)	82 (5)	159 (9)	11 (1)	212 (12)	1 774
Yamaska, Rivière	1 696 (64)	118 (4)	449 (17)	20 (1)	383 (14)	2 667
Saint-François, Rivière	415 (21)	86 (4)	884 (45)	4 (0)	557 (29)	1 946
Nicolet, Rivière	621 (40)	95 (6)	501 (33)	4 (0)	316 (21)	1 537
Bassins versants orphelins	203 (75)	20 (7)	30 (11)	<1 (0)	17 (6)	271
Îles et lac Saint-Pierre	18 (49)	2 (6)	10 (28)	—	6 (17)	37
Total^b	4 879 (52)	491 (5)	2 236 (24)	41 (0)	1 660 (18)	9 307

a : Les superficies couvrant moins de 1 km² n'ont pas été considérées dans les calculs de superficies totales.

b : Le total a été calculé à partir des sous-totaux (en gras) de la rive nord, de la rive sud et des îles et du lac Saint-Pierre.

Source des données : Données extraites et modifiées de la couche d'informations géographiques matricielles obtenues par l'entente ACRIgéo (2014¹⁸).

Tableau 22. Unités et densité animales dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, en 2013

Bassin versant	Superficie du BV (km ²) ^a	Unité animale (UA) ^b	Densité animale (UA/km ²)
Rive nord	3 773	84 995	0,23
La Chaloupe, Rivière	150	6 090	0,42
Bayonne, Rivière	362	26 883	0,74
Chicot, Rivière	178	2 011	0,11
Maskinongé, Rivière	1 106	13 461	0,12
Du Loup, Rivière	1 603	23 120	0,14
Yamachiche, Petite rivière	109	7 378	0,68
Yamachiche, Rivière	265	6 052	0,23
Rive sud	20 809	803 037	0,39
Richelieu, Rivière ^c	3 910	115 721	0,30
Yamaska, Rivière	4 794	395 472	0,82
Saint-François, Rivière	8 695	161 252	0,19
Nicolet, Rivière	3 410	130 592	0,38
BV orphelins^d	831	32 695	0,39
Total	25 413	920 727	0,36

a : Les superficies diffèrent de celles de la zone d'étude, car les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du MAPAQ n'ont pas les mêmes limites que les bassins versants. Certaines entreprises agricoles peuvent être propriétaires de terres à l'intérieur et à l'extérieur de la zone d'étude.

b : Unité de regroupement permettant de quantifier les animaux sur une base équivalente de poids (500 kg).

c : Les données du bassin versant de la rivière Richelieu comprennent les données du bassin versant de la baie Missisquoi.

d : Les bassins versants orphelins des deux rives sont combinés en une seule catégorie dans les fiches d'exploitations agricoles.

Source des données : Données extraites et adaptées des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du Québec (2013¹²¹)

Pour ce qui est des élevages, près de 90 % des unités animales sont présentes dans les tributaires directs de la rive sud, là où les superficies agricoles sont les plus grandes. Toutefois, la densité moyenne (UA/km²) de ces tributaires est équivalente à celle des bassins versants orphelins. Les tributaires possédant le plus d'unités animales par km² de superficie sont les rivières Yamaska, Bayonne et la Petite rivière Yamachiche. En ce qui concerne les types d'élevage, les plus fréquents sont dans l'ordre : les élevages de bovins laitiers et de production laitière, les bovins de boucherie, les porcs ainsi que les poulets et les dindons.

Types de pratiques culturales

Afin de récolter leurs cultures et entretenir leurs terres, les producteurs agricoles des tributaires directs du lac Saint-Pierre on recourt à plusieurs types de pratiques culturales et agroenvironnementales.

Fertilisation et stockage des fumiers au champ

La fertilisation permet de maximiser la rentabilité des cultures en maintenant l'équilibre de la fertilité du sol¹²². La quantité de fertilisant à appliquer doit tenir compte des besoins de la culture et de la qualité nutritive du sol. La plupart des engrais vont fournir des apports en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K), des éléments essentiels pour la croissance des plantes. Pour le soya, l'ajout d'engrais ou de fumier est négligeable, car cette culture répond faiblement ou pas du tout à la fertilisation¹²³. Pour le maïs et les autres céréales, l'application de déjections animales comme fertilisant se fait généralement à petite dose. Deux épandages d'engrais de synthèse à base de N, P et K sont souvent nécessaires pour le maïs alors que l'épandage d'engrais est peu commun pour les céréales.

Les agriculteurs vont aussi stocker le fumier. Le « stockage en amas au champ » consiste à déposer régulièrement les déjections animales solides en amas sur les terres agricoles et d'attendre la période propice aux épandages. Cette méthode est largement répandue, malgré les nombreuses restrictions découlant des modifications au *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA; Annexe 1)¹²⁴. Adopté en 2002, ce règlement succède à plusieurs mesures visant à améliorer la fertilisation ainsi que l'entreposage et l'épandage des déjections animales. Ces mesures comprennent la mise en place des clubs-conseils en agroenvironnement et l'entrée en vigueur du *Règlement sur la prévention de la pollution de l'eau par les établissements de production animale* (RPPEPA) en 1981, du *Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers* (1988), du *Programme d'aide à l'investissement en agroenvironnement* (1997-1999) ainsi que du *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) en 1997. Le RRPOA succède au RPPEPA et met de l'avant le *Plan agroenvironnemental de fertilisation* (PAEF). Ce dernier est obligatoire et vise à réduire la pollution agricole diffuse en améliorant la gestion des fumiers par une fertilisation équilibrée selon les besoins des cultures et la richesse du sol. L'élaboration d'un PAEF est un des services offerts par les clubs-conseils en agroenvironnement. L'entreposage étanche des déjections animales se poursuit aussi grâce au programme de soutien financier Prime-Vert, lancé en 1999, qui vise à promouvoir l'agroenvironnement.

Dans les tributaires directs, le stockage au champ est réalisé par 1 571 exploitations agricoles (EA), soit environ 14 % de l'ensemble des EA (Tableau 23). Le bassin versant de la rivière Yamachiche compte le plus de stockage, avec 39 % des unités animales (UA) utilisées pour cette pratique. Globalement, les tributaires de la rive nord ont des proportions des fumiers stockés au champ légèrement supérieures à celles des tributaires de la rive sud. Pour la densité de fumiers stockés (UA/km²), c'est le bassin versant de la rivière Bayonne qui a la plus forte densité (22 UA/km²), les autres bassins versants ayant moins de 10 UA/km².

Tableau 23. Stockage au champ et techniques de travail au sol dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, en 2013

Bassin versant	Superficie (km ²) ^a	EA ^b (n ^{bre})	Stockage au champ			Travail réduit du sol		Semis direct	
			EA (n ^{bre})	UA (n ^{bre})	Proportion des fumiers stockés au champ (% UA au champ/UA totales) ^c	EA (n ^{bre})	km ²	EA (n ^{bre})	km ²
Rive nord									
La Chaloupe, Rivière	150	132	16	1 422	23 %	55	59	27	26
Bayonne, Rivière	362	292	46	8 057	30 %	81	72	29	24
Chicot, Rivière	178	78	10	192	10 %	32	36	9	15
Maskinongé, Rivière	1 106	141	37	2 015	15 %	39	23	9	6
Du Loup, Rivière	1 603	243	39	2 787	12 %	66	39	28	10
Yamachiche, Petite rivière	109	113	16	1 056	15 %	39	29	12	7
Yamachiche, Rivière	265	101	26	2 362	39 %	31	21	4	2
Rive sud									
Richelieu, Rivière ^d	3 910	2 316	360	16 605	14 %	916	768	496	370
Yamaska, Rivière	4 794	3 545	609	47 645	12 %	1 217	837	605	299
Saint-François, Rivière	8 695	2 556	15	611	22 %	615	302	263	116
Nicolet, Rivière	3 410	1 793	336	19 185	15 %	567	317	354	166
Bassins versants orphelins^e	831	537	61	5 040	15 %	225	205	109	75
Total ou moyenne	25 415	10 997	1 571	106 977	4,21	3 484	2 215	1 743	941

a : Les superficies diffèrent de celles de la zone d'étude, car les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du MAPAQ n'ont pas les mêmes limites que les bassins versants. Certaines entreprises agricoles peuvent être propriétaires de terres à l'intérieur et à l'extérieur de la zone d'étude.

b : EA : exploitations agricoles.

c : Unité de regroupement permettant de quantifier les animaux sur une base équivalente de poids (500 kg).

d : Les données du bassin versant de la rivière Richelieu comprennent les données du bassin versant de la baie Missisquoi.

e : Les bassins versants orphelins des deux rives sont combinés en une seule catégorie dans les fiches d'exploitations agricoles.

Source des données : Données extraites et adaptées des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du Québec (2013¹²¹)

Techniques de travail du sol

Il existe trois grandes catégories de travail du sol dont l'usage varie selon le type de culture : le travail conventionnel (ou le labour), le travail réduit et le semis direct. Effectué à l'aide d'une charrue, le travail conventionnel permet d'enfouir les résidus, de façonner le terrain, d'incorporer le fumier et de réchauffer le sol^{125, 126}. Les appareils utilisés pour ce travail du sol labourent près de quatre pouces de terre. Bien qu'elle augmente la compaction des sols et les risques d'érosion hydrique et éolienne, qu'elle soit coûteuse et qu'elle nécessite davantage de ressources (équipements, carburant, main-d'œuvre), cette méthode est la plus utilisée.

Le travail réduit du sol est, par définition, moins intensif et ne met pas le sol à nu; il laisse 30 % de sa couverture avec des résidus de la culture passée. Le sol est donc moins exposé à l'érosion, mais le contrôle des mauvaises herbes devient plus important. La déchaumeuse et les appareils de travail en bande (chisels, disques lourds) sont les outils associés à cette technique de travail du sol^{125, 126}. En 2013, le travail réduit était utilisé par 3 484 exploitations agricoles dans les tributaires directs, totalisant 2 215 km² de terres agricoles (Tableau 23). À l'échelle du territoire, cela représente 32 % des superficies cultivées et 9 % de l'ensemble de la zone d'étude. Plus de la moitié des superficies agricoles employant cette pratique sont dans les bassins des rivières La Chaloupe, Chicot et Yamachiche et les bassins versants orphelins.

De plus en plus populaire, le semis direct est la technique la plus rapide et la moins coûteuse une fois que l'investissement de départ pour la machinerie – souvent plus dispendieuse que les appareils conventionnels – est rentabilisé¹²⁷. Cette technique consiste en l'application directe des semis à l'aide d'un semoir, une alternative permettant de conserver les sols. L'absence de travail du sol améliore sa structure et la rugosité du terrain et favorise l'infiltration, ce qui réduit l'érosion et la pollution de l'eau¹²⁵, bien que le sol soit parfois plus lent à se réchauffer et qu'une bonne gestion des mauvaises herbes est recommandée¹²⁶. La transition entre le labour et le semis direct peut prendre plusieurs années*, car ce dernier nécessite un sol en bonne condition physique et chimique. En général, le rendement est plus faible la première année, mais s'améliore les années subséquentes. Cette pratique est utilisée par 1 743 exploitations agricoles dans les tributaires directs, pour un total de 941 km², soit environ 14 % des superficies cultivées et 4 % de l'ensemble du territoire des tributaires directs. Les tributaires où cette technique est la plus répandue sont les rivières La Chaloupe, Chicot et Richelieu. Toutefois, les superficies où le semis direct est pratiqué ne comptent que pour 21 % à 34 % des superficies totales cultivées.

Phytoprotection

L'intensification de l'agriculture avec l'émergence des cultures de céréales à grande surface a entraîné une plus grande utilisation d'engrais chimique et de pesticides¹²⁸. Le contrôle des mauvaises herbes se fait principalement à l'aide d'herbicides qui sont surtout appliqués en début de saison au mois de mai ou de juin. Les herbicides sont souvent utilisés pour les cultures de maïs et de soya. L'un des plus répandus, le glyphosate (p. ex. Roundup®), est appliqué sur près de 1 900 000 ha de terres chaque année au Québec⁵⁵. Les insecticides servent quant à eux au contrôle des insectes ravageurs. Les cultivateurs de soya font face, entre autres, aux pucerons du soya, aux scarabées japonais adultes, aux hannetons communs et aux limaces alors que les producteurs de maïs doivent protéger leurs champs contre la pyrale du maïs, la légionnaire uniponctué, l'altise et le puceron du maïs^{129, 130}. Depuis 2011, il est estimé que la quasi-totalité

* H. Bernard, MAPAQ, comm. pers. 2015.

des semences de maïs et près de la moitié des semences de soya sont traitées aux insecticides, comme la clothianidine, ou un mélange d'insecticides et de fongicides, tel le métalaxyl⁵⁵. Les agriculteurs ont parfois recours aux fongicides dans les cultures céréalières de maïs et de soya afin de contrôler certaines maladies telles que la fusariose ou la rouille asiatique¹³¹. Néanmoins, l'utilisation des insecticides et des fongicides peut parfois être réduite ou omise par une bonne rotation des cultures de maïs-soya, car cela permet de réduire la résurgence des insectes ravageurs et des maladies fongiques spécialistes d'une espèce précise.

Plusieurs études ont été réalisées au lac Saint-Pierre afin de détecter la présence de pesticides utilisés en périphérie du lac, notamment en milieu agricole (cf. Autres paramètres de la qualité de l'eau).

Drainage

Un enjeu important pour le rendement des terres agricoles est le drainage adéquat. Le drainage agricole comprend le drainage souterrain et de surface ainsi que le réseau hydraulique. Le drainage souterrain permet d'évacuer l'eau gravitaire dans le sol et d'abaisser la nappe phréatique pour que le niveau d'eau soit optimal à la croissance des plantes. De plus en plus utilisés, les avantages sont notamment :

- « de travailler le sol dans de meilleures conditions;
- d'améliorer la structure du sol;
- d'ensemencer plus tôt au printemps;
- de récolter dans de bonnes conditions et d'améliorer l'efficacité des machineries. »¹³²

À l'inverse, le drainage de surface, de moins en moins présent, permet d'éliminer les accumulations d'eau à la surface des terres¹³², mais favorise les apports en phosphore et en MES dans les cours d'eau.

Le réseau hydraulique, quant à lui, est l'ensemble des structures hydroagricoles qui permettent d'évacuer de façon sécuritaire le surplus d'eau d'un champ¹³². Ainsi, les cultivateurs ont généralement recours à des drains ou divers ouvrages hydroagricoles tels que les avaloirs, les voies d'eau engazonnées et les rigoles d'interception, les puits d'infiltration ou les tranchées filtrantes¹²⁵. Ces aménagements font partie des pratiques agroenvironnementales et permettent de réduire l'érosion, d'améliorer l'écoulement de l'eau de surface, de stabiliser les berges et d'améliorer la qualité de l'eau.

Pratiques agroenvironnementales

Le type de culture et d'élevage ainsi que les différentes pratiques agricoles ont divers impacts sur la qualité de l'eau. Au fil des ans, les mesures d'amélioration de cette dernière ont notamment porté sur les progrès possibles dans le secteur agricole. Le REA, qui a succédé au RRPOA en 2002, a contribué à l'atteinte de bilans phosphore équilibrés et a précisé des objectifs de réduction des impacts agroenvironnementaux, faisant du PAEF le principal outil de gestion optimale et économique des matières fertilisantes¹³³. D'ailleurs, l'application des PAEF a permis d'apporter une certaine amélioration de l'équilibre entre les apports de fertilisants et les besoins des cultures¹⁵. En plus du REA, le programme Prime-Vert a permis d'opérer un virage agroenvironnemental en appuyant et en subventionnant de bonnes pratiques pour les exploitations agricoles. Il est à noter que le programme 2013-2018 a pris fin le 31 mars 2018 et que le nouveau programme 2018-2023 est en vigueur depuis juin 2018.

En 2013, sur les 10 997 exploitations agricoles présentes dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, le programme Prime-Vert en subventionnait 2 863 et en appuyait 4 053 (Tableau 24).

Tableau 24. Exploitations agricoles subventionnées et appuyées par le programme Prime-Vert en 2013 dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, par type d'interventions agroenvironnementales

Bassin versant	Exploitations agricoles subventionnées (n ^{bre})	Exploitations agricoles appuyées (n ^{bre})												
		Stockage des déjections animales			Épandage des fumiers	Accompagnement	Gestion des effluents de production		Pratiques de conservation des sols		Réduction de la pollution diffuse		Réduction des pesticides	Total des exploitations agricoles appuyées (n ^{bre})
		Ouvrage de stockage	Aménagement alternatif	Traitement			Eaux de laiterie	Eaux de lavage	Couvre-sols	Semis direct	Retrait permanent	Ouvrage hydroagricole, bande riveraine, brise-vent		
Rive nord	315	69	1	0	5	100	6	0	32	60	2	165	19	459
La Chaloupe, Rivière	31	6	0	0	0	14	0	0	1	3	0	15	3	42
Bayonne, Rivière	92	32	0	0	0	16	3	0	3	11	0	44	6	115
Chicot, Rivière	24	7	0	0	0	4	1	0	1	5	0	15	4	37
Maskinongé, Rivière	50	10	0	0	0	32	0	0	6	7	2	28	1	86
Du Loup, Rivière	68	7	1	0	4	33	0	0	10	18	0	34	2	109
Yamachiche, Petite rivière	31	3	0	0	1	1	1	0	8	12	0	17	2	45
Yamachiche, Rivière	19	4	0	0	0	0	1	0	3	4	0	12	1	25
Rive sud	2 574	408	13	6	71	508	28	1	202	559	4	1 490	332	3 622
Richelieu, Rivière ^a	657	56	1	0	8	191	4	1	65	145	2	385	141	999
Yamaska, Rivière	936	159	3	6	36	203	10	0	60	153	2	540	141	1 313
Saint-François, Rivière	541	117	4	0	17	66	5	0	47	123	0	327	24	730
Nicolet, Rivière	440	76	5	0	10	48	9	0	30	138	0	238	26	580
Bassins versants orphelins^b	163	22	0	0	4	25	2	0	18	67	0	86	13	237
Total^c	2 863	478	13	6	75	588	34	1	230	629	6	1 656	337	4 053

a : Les données du bassin versant de la rivière Richelieu comprennent les données du bassin versant de la baie Missisquoi.

b : Les bassins versants orphelins des deux rives sont combinés en une seule catégorie dans les fiches d'exploitations agricoles du MAPAQ.

c : Le total correspond aux données des fiches d'exploitations du MAPAQ, après éliminations des doublons. Le total ne correspond donc pas à la somme des sous-totaux

Source des données : Données extraites et adaptés des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du Québec (2013¹²¹)

Les pratiques agroenvironnementales les plus utilisées par les agriculteurs sont les ouvrages hydroagricoles, les bandes riveraines et les brise-vent (40 % de l'appui). Règle générale, les catégories de pratiques qui sont privilégiées sont la réduction de la pollution diffuse, les pratiques de conservation des sols et l'accompagnement de la démarche agroenvironnementale. Cette dernière vise à aider les agriculteurs à se conformer aux règles environnementales en vigueur et à améliorer leurs pratiques¹³⁴. Dans une moindre mesure, les ouvrages de stockage des déjections animales représentent seulement 12 % des exploitations agricoles. Toutefois, l'aide financière versée pour cette pratique compte pour plus de 60 % de la somme totale de 2013. En effet, pour cette année-là, la totalité de l'aide financière accordée aux pratiques agroenvironnementale s'élève à plus de 58 M\$ et plus de 36 M\$ étaient pour la mise en place d'ouvrages de stockage des déjections animales (Annexe 12).



Malgré l'appui du programme Prime-Vert, les connaissances relatives aux pratiques agroenvironnementales sont encore limitées, notamment en ce qui concerne les aménagements hydroagricoles et la protection du milieu riverain¹³⁵. En effet, les pratiques améliorant la qualité de l'eau ne sont pas bien répertoriées ou quantifiées, et il n'y a pas d'indicateurs calculant la progression des changements de pratiques. Une amélioration des connaissances relatives aux aménagements hydroagricoles présentant le meilleur rapport coût-bénéfice pour l'amélioration de la qualité de l'eau doit également être soulevée.

Cours d'eau en milieu agricole

Depuis de nombreuses années, les cours d'eau en milieu agricole ont subi plusieurs transformations, principalement liées à leur linéarisation par la suppression des méandres. Toutefois, ces travaux, combinés à la gestion actuelle des cours d'eau en milieu agricole, ne répondent pas aux principes actuels de développement durable du gouvernement du Québec. La gestion actuelle vise surtout le drainage rapide des champs, et ce, au détriment des aspects hydrogéomorphologiques, environnementaux et même économiques. En effet, les coûts d'entretien (p. ex. retrait des sédiments accumulés) récurrents des cours d'eau actuels ne sont pas optimaux pour les agriculteurs, en comparaison à des solutions pérennes¹³⁶.

Bien que le MAPAQ ait abandonné les interventions dans les cours d'eau en milieu agricole en 1994 afin de redonner aux municipalités la gestion de l'entretien et de l'aménagement de ces cours d'eau, plus de 30 000 km linéaires de cours d'eau ont été aménagés au Québec durant les 30 ans d'implication de ce ministère. Cela représente une augmentation de près du double de l'hydrographie du sud du Québec, et plus du tiers ont entièrement été créés artificiellement dans un objectif de drainage agricole. Une linéarisation aussi importante a eu pour effet de modifier le régime hydrologique de nombreux cours d'eau, notamment en augmentant la vitesse d'écoulement et les débits de pointe¹³⁷, accroissant ainsi les phénomènes d'érosion.

ESPACE DE LIBERTÉ DES COURS D'EAU – UN MODE DE GESTION DURABLE DES COURS D'EAU

Avec les changements climatiques anticipés, les phénomènes naturels seront accentués alors que les crues seront plus fréquentes et les périodes d'étiages plus prononcées. Ces changements menaceront non seulement les écosystèmes fluviaux, mais aussi la sécurité publique (p. ex. inondations de secteurs habités), et c'est afin de minimiser ces impacts qu'un cadre de gestion intégrée a vu le jour. Ce dernier, nommé « Espace de liberté des cours d'eau » vise à identifier des espaces d'inondabilité et de mobilité des cours d'eau où il n'y aura pas d'interventions pour modeler ces derniers. Les cours d'eau évolueront de manière naturelle. Cette gestion durable des cours d'eau permet d'en maintenir les fonctions physiques naturelles (transport de l'eau et des sédiments) afin d'en accroître la résilience.¹³⁸

Dans l'approche d'espace de liberté, les milieux humides (p. ex. les plaines inondables) constituent non seulement une partie de l'espace minimale dont les cours d'eau ont besoin, mais contribuent également à la connectivité entre la rivière et la nappe phréatique, à l'atténuation des crues et des étiages ainsi qu'à une amélioration de la qualité de l'eau.¹³⁸

Bien que ce concept de gestion soit durable, il est difficile à réaliser, notamment en raison des coûts. Cette approche entraîne de l'expropriation, des pertes de droits de construction et des pertes de droits de culture et nécessite de la restauration et de l'aménagement des cours d'eau. Toutefois, les gains relatifs à l'espace de liberté dépasseraient les coûts. C'est ce qui a été observé dans le cadre d'un projet de développement d'une approche de gestion des cours d'eau basée sur les concepts d'espace de liberté pour les cours d'eau du Québec. Pour les trois cours d'eau du projet (rivières de la Roche, Yamaska Sud-Est et Matane), les coûts devant être déboursés s'élevaient respectivement à 0,3 M\$, 4,4 M\$ et 1,0 M\$. Cependant, après avoir ajouté l'estimation des gains, les profits obtenus pour ces trois cours d'eau sont respectivement de 0,7 M\$, 2,4 M\$ et 3,7 M\$ sur 50 ans. Les gains obtenus concernent la réduction des coûts de protection des berges, la réduction des dommages liés aux inondations, la protection des milieux humides et l'élargissement de la bande riveraine. Ces deux derniers gains correspondent d'ailleurs à des services écosystémiques.¹³⁸

Malgré des projets de recherche concluant, à l'heure actuelle, il n'y a aucun projet d'espace de liberté mis en application.¹³⁹

En temps normal, les agriculteurs doivent respecter la PPRLPI en ce qui concerne la bande de protection riveraine des cours d'eau de leurs terres. En effet, une bande de végétation de 3 m, incluant au moins 1 m sur le replat du talus (s'il y en a un et que son sommet se situe à moins de 3 m de la ligne des hautes eaux), doit minimalement être respectée en permanence pour toute culture du sol à des fins d'exploitation agricole située dans la rive. Le respect de la bande minimale végétale ne fait pas partie des exigences environnementales de la *Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole*, mais les agriculteurs doivent tout de même entretenir leurs cours d'eau pas le creusement et l'enlèvement des sédiments. Lors de ces travaux, ils doivent stabiliser la base des talus et effectuer le retalutage en pente plus faible¹⁴⁰. En soi, l'application de la PPRLPI et de ses exigences de bandes riveraines relève des municipalités. Cet aspect de la PPRLPI est un enjeu important de la gestion des cours d'eau en milieu agricole en raison des effets de la présence de bandes riveraines sur la qualité de l'eau, la vulnérabilité des rives à l'érosion, la diversité biologique ainsi que la connectivité des habitats¹³⁶. Par ailleurs, les données du bilan des travaux d'entretien de cours d'eau en milieu agricole réalisés au Québec en 2012 ont permis d'avancer que le taux de conformité à la PPRLPI vis-à-vis le respect de la bande de 3 m sans culture est relativement faible. À cet effet, plusieurs cultures sont observées dans des sols cultivés systématiquement jusqu'à 1 m en haut du replat du talus¹³⁶.

Plusieurs exploitations agricoles dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre (y compris la portion québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi) ont des bandes riveraines végétalisées ou, à tout le moins, maintiennent une protection de la bande riveraine de 1 m. En 2013, sur les 10 997 exploitations agricoles présentes, 5 309 avait une bande de protection de 1 m, soit environ 48 % des exploitations, contre seulement 12 % (1 362 exploitations) qui avaient des aménagements¹²¹. Il est à rappeler que l'aménagement de bandes riveraines végétalisées fait partie de l'aide financière versée par le programme Prime-Vert.

Malgré que le respect de la bande riveraine relève des municipalités locales, certaines MRC font preuve de bonnes initiatives à ce sujet. C'est le cas notamment de la MRC Brome-Missisquoi qui, dans son plan d'action régional en gestion de l'eau, a inclus un volet sur les bandes de protection riveraine. Parmi les exigences établies, il y a la renaturalisation sur 3 m en haut de talus lorsqu'il y a présence de pelouse ou de sol à nu. Il y a également le respect d'une bande riveraine minimale de 2 m en haut de talus en milieu agricole, avec fauchage permis; le respect de bandes riveraines pour tous les milieux humides de 0,5 ha et plus; ainsi que le respect d'une rive de 15 m pour tous les nouveaux terrains¹⁴¹.

DÉMARCHE D'ACCOMPAGNEMENT EN MILIEU AGRICOLE DANS BROME-MISSISQUOI¹⁴¹

Certaines MRC font preuve d'initiative en ce qui concerne la gestion des cours d'eau en milieu agricole. C'est le cas notamment de la MRC Brome-Missisquoi qui possède une démarche d'accompagnement en milieu agricole et qu'elle subventionne en partie. Cette démarche est incluse dans son plan d'action régional en gestion de l'eau et se détaille en deux volets, soit l'élaboration des plans d'intervention et les travaux d'entretien de cours d'eau. La démarche d'accompagnement comporte six étapes principales :

- Mise en place d'un comité de travail;
- Diagnostic du bassin versant ciblé;
- Identification de pistes de solution pour les cours d'eau;
- Rencontre individuelle avec les propriétaires;
- Accompagnement, en concertation avec tous les intervenants impliqués, pour la mise en œuvre d'actions;
- Approche volontaire.

La démarche d'accompagnement en milieu agricole permet d'améliorer l'égouttement des terres, de diminuer les problèmes d'érosion et donc d'améliorer les rendements. Également, elle permet de réduire la fréquence des travaux d'entretien des cours d'eau agricoles, ce qui permettra de créer des économies sur le long terme ainsi que de réduire les impacts sur l'environnement.

Le phénomène d'érosion des berges est un processus naturel qui se décrit comme étant le détachement et le transport des particules de sol. Il n'est pas forcément problématique en l'absence d'activités anthropiques; il fait d'ailleurs partie des processus normaux de la dynamique des cours d'eau, mais peut contribuer à plusieurs problèmes environnementaux lorsque créé par les activités humaines. Par exemple, les activités agricoles telles que certaines techniques de travail du sol peuvent accélérer le processus d'érosion¹⁴² (Figure 14). De plus, le développement urbain ou agricole restreint l'espace alloué aux cours d'eau¹³⁸, entraîne des effets tels que l'absence de végétation sur les rives ou augmente les débits de pointe des cours d'eau et des crues. Ces effets peuvent tous contribuer à accentuer le phénomène d'érosion.



Figure 14. Absence de bandes riveraines et présence d'érosion (photo de gauche) en comparaison à la présence d'une bande riveraine adéquate (photo de droite)

Il est à noter que les responsabilités relatives aux cours d'eau sont partagées par divers paliers gouvernementaux. Alors que la réglementation à propos de la largeur des bandes riveraines relève des municipalités locales (PPRLPI, règlement d'urbanisme), les MRC s'occupent de l'entretien des cours d'eau (*Loi sur les compétences municipales*, Annexe 1) et les gouvernements provincial et fédéral gèrent la protection de l'environnement (LQE) et de la faune (*Loi sur les pêches*). Ce partage de rôle met un frein aux interventions de chacun et rend complexe l'application réglementaire relative à l'environnement¹³⁶.

PROBLÉMATIQUES LIÉES À LA QUALITÉ DE L'EAU

Les trois secteurs d'activités ciblés (municipal, industriel et agricole) par le comité d'expert ont tous des impacts sur la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre et dans ses tributaires directs, notamment en raison de leur proximité avec les cours d'eau (Figure 15). Au fil des ans, les diverses activités issues de ces trois secteurs (et autres secteurs secondaires) ont entraîné des problématiques liées à la qualité de l'eau. Parmi celles-ci, les apports en nutriments, en sédiments et en contaminants ont des impacts majeurs sur les trois sphères suivantes : les habitats et la vie aquatique, les activités récréatives et les facteurs esthétiques, ainsi que l'approvisionnement en eau potable (Tableau 25).



Figure 15. Activités des secteurs municipaux, industriels et agricoles à la hauteur de Sorel, en bordure du lac Saint-Pierre

Tableau 25. Problématiques liées à la qualité de l'eau, leurs causes ainsi que les principaux impacts des problématiques affectant les habitats et la vie aquatique, les activités récréatives et l'esthétisme, et l'approvisionnement en eau potable

Problématique	Secteurs responsables	Causes de la problématique	Principaux impacts de la problématique
Apport en nutriments (p. ex. phosphore et azote)	<ul style="list-style-type: none"> • Municipal • Industriel • Agricole • Autre 	<ul style="list-style-type: none"> • Imperméabilisation des sols • Rejets d'eaux usées • Absence de bandes riveraines • Pratiques culturelles inadéquates en milieu agricole • Entretien inadéquat des cours d'eau • Érosion des berges et érosion par ruissellement • Lacune concernant le respect des lois et règlements 	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrophisation des cours d'eau et du lac Saint-Pierre • Prolifération d'algues et de cyanobactéries • Changement dans les herbiers aquatiques au lac Saint-Pierre • Changements dans la biodiversité • Perte d'usage de l'eau (récréatif et esthétique) • Problèmes de santé humaine • Augmentation des coûts de traitement de l'eau potable
Apport en sédiments	<ul style="list-style-type: none"> • Municipal • Industrie • Agricole • Autre 	<ul style="list-style-type: none"> • Imperméabilisation des sols • Entretien inadéquat des routes et neiges usées • Absence de bandes riveraines • Pratiques culturelles inadéquates en milieu agricole • Entretien inadéquat des cours d'eau • Érosion des berges et érosion par ruissellement • Marnage accentuant les phénomènes d'érosion • Lacune concernant le respect des lois et règlements 	<ul style="list-style-type: none"> • Modifications et pertes d'habitats aquatiques • Changements dans la biodiversité • Perte d'usage de l'eau (récréatif et esthétique) • Augmentation des coûts de traitement de l'eau potable
Apport en contaminants (coliformes fécaux, métaux lourds, pesticides, contaminants émergents, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Municipal • Industriel • Agricole • Autre 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesticides et autres produits • Ruissellement • Rejets d'eaux usées et autres rejets • Entretien inadéquat des routes et neiges usées • Pollution diffuse industrielle • Absence de bandes riveraines • Pratiques culturelles inadéquates en milieu agricole • Lacune concernant le respect des lois et règlements 	<ul style="list-style-type: none"> • Changements dans la biodiversité • Perte d'usage de l'eau (récréatif) • Contamination de la chair des poissons • Augmentation des coûts de traitement de l'eau potable • Maladies d'origine hydrique (santé humaine)

Impacts sur les habitats et la vie aquatique

Les différents habitats naturels présents au lac Saint-Pierre et dans les cours d'eau de ses tributaires directs ainsi que la vie aquatique qui les occupe sont influencés par les trois principales problématiques liées à la qualité de l'eau, soit l'apport en nutriments, en sédiments et en contaminants. Les secteurs municipaux, industriels et agricoles représentent tous une source d'activités entraînant une cascade de répercussions sur les habitats et la vie aquatique.

Eutrophisation des cours d'eau

L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est un phénomène de vieillissement qui se produit naturellement après une certaine période de temps. Ce processus consiste en l'enrichissement graduel d'un plan d'eau en matières nutritives, engendrant une hausse de la production biologique (Figure 16 et cf. Figure 4). Le passage des milieux aquatiques à l'état eutrophe peut toutefois être accéléré par les activités anthropiques et ainsi causer le vieillissement prématuré du plan d'eau. En effet, les charges élevées en azote et en phosphore transportées par ruissellement vers les cours d'eau contribuent fortement à l'eutrophisation de ces derniers¹⁴³. Dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, le phosphore et l'azote proviennent notamment des rejets d'eaux usées municipales et industrielles. Cela concerne autant les établissements non raccordés possédant des installations septiques individuelles, des champs d'épuration ou autres, que ceux raccordés à un réseau d'égout municipal et dont les eaux sont traitées par une station d'épuration. Également, les activités agricoles mènent à une utilisation importante d'engrais azotés et phosphatés¹⁴⁴ et les cultures à grand interligne laissent les sols vulnérables au ruissellement et à l'érosion, deux facteurs facilitant l'exportation de nutriments dans les eaux de surface et, par conséquent, contribuant à l'eutrophisation¹⁴⁵.



Figure 16. Cours d'eau avec hyper-eutrophisation à proximité du lac Saint-Pierre

Rappelons qu'au cours de la période 2009-2012, la charge moyenne de phosphore était supérieure à la charge tolérable en fonction du critère retenu pour prévenir l'eutrophisation accélérée des cours d'eau (0,03 mg/L) pour tous les tributaires directs du lac Saint-Pierre. La charge totale excédentaire était annuellement d'environ 728 t P/an (entre 20 % et 87 % de la charge tolérable des tributaires) et les plus

grands contributeurs étaient les rivières Yamaska et Richelieu (65 % de la charge excédentaire totale). Toutefois, ce sont la Petite rivière Yamachiche et les rivières Yamachiche, Bayonne et Yamaska qui ont les quantités excédentaires les plus importantes, lorsque mises en rapport avec leur superficie (ratio charge/superficie)⁵².

Pour l'azote, des charges excédentaires ont été observées dans 8 des 12 principaux tributaires directs, avec une valeur située entre 16 % et 80 % de la charge tolérable sur la base du critère de qualité de l'eau de 1 mg/L. La charge excédentaire totale s'élève à 6 232 t N/an, dont près de 70 % sont attribuables à la rivière Yamaska. Les rivières Chaloupe, Bayonne et Yamaska et la Petite rivière Yamachiche sont toutefois celles qui présentent les charges excédentaires les plus élevées une fois rapportées sur leur charge tolérable⁵².

Au cours de la période de mai à octobre pour les années 2014 à 2016, l'ensemble des 14 tributaires directs échantillonnés ont présenté des dépassements du critère phosphore et pour plus de la moitié d'entre eux, ces dépassements ont été observés dans tous les échantillons analysés³⁸. Il est également possible de repérer les signes d'eutrophisation à partir des concentrations de chlorophylle-a échantillonné pour l'IQBP₆. Ce pigment végétal est utilisé comme indicateur de la biomasse des algues microscopiques en suspension dans l'eau, et des concentrations trop élevées révèlent des problèmes d'eutrophisation. Une concentration de 8,6 µg/L représente le critère de qualité de l'eau pour ce paramètre, et pour la période 2014-2016, 12 des 14 tributaires échantillonnés pour l'IQBP₆ ont dépassé cette valeur.

Dans une moindre mesure, le phosphore et l'azote proviennent aussi de l'érosion des berges. Ce phénomène est accentué par l'absence de bandes riveraines, l'aménagement et l'entretien des cours d'eau, ainsi que certaines pratiques agricoles (labour, culture à grand interligne et drainage). L'augmentation des débits résultant de la rectification des cours d'eau et du drainage des terres agricoles favorisent l'érosion. Ces pressions anthropiques ont notamment augmenté les vitesses d'écoulement des eaux et modifié les débits de pointe¹³⁵. En 2013, seulement 48 % des exploitations agricoles avaient une bande de protection riveraine de 1 m¹²⁰. L'entretien hivernal des routes joue également un rôle, car les chlorures utilisés dans les sels de déglacage affectent la végétation environnante et contribuent à accélérer l'érosion⁷⁹.

En plus des nutriments, l'érosion contribue à exporter davantage de sédiments et de contaminants dans l'eau. Les cours d'eau agricoles érodés près des exploitations agricoles où les apports d'intrants (fertilisants et pesticides) sont importants transporteront plus de matières nutritives et de pesticides dans les plans d'eau de proximité. Certains de ces produits, comme le glyphosate et l'atrazine, lorsque présents à une certaine concentration, peuvent entraîner des changements de structure des communautés d'algues et de plantes aquatiques¹⁴⁶.

Dans les eaux relativement stagnantes de la zone littorale peu profonde du lac, une croissance de cyanobactéries benthiques, incluant *Gloetrichia pisum* et des lits de *Lyngbya wollei*, a été observée. Ces dernières sont des algues potentiellement toxiques et indiquent une eutrophisation causée par des apports excessifs d'éléments nutritifs par les rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François¹⁴⁷.

Le changement d'un plan d'eau d'un état oligotrophe ou mésotrophe vers un état eutrophe a des répercussions sur les habitats aquatiques et les espèces qui y vivent. En raison de la productivité biologique plus élevée en milieu eutrophe, les algues microscopiques et les plantes aquatiques de plus en plus présentes modifient les caractéristiques du milieu : plus grande accumulation de sédiments et de matières organiques, réduction de la concentration d'oxygène dissous, remplacement de certains organismes par des espèces mieux adaptées, etc.¹⁴³

Prolifération d'algues et de cyanobactéries

Un des impacts de l'eutrophisation est la croissance d'algues et de cyanobactéries (Figure 17). Cela est notamment causé par l'effet cumulé de différents stress d'origines anthropiques contribuant aux apports élevés en nutriments (dont l'azote et le phosphore), en sédiments et en contaminants.

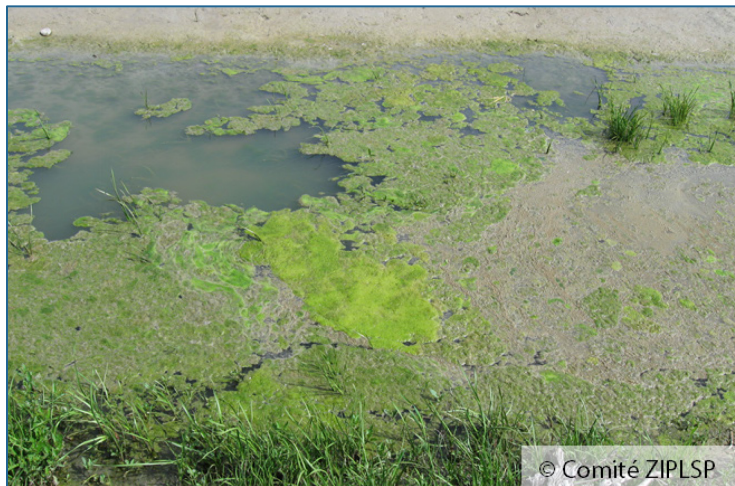


Figure 17. Prolifération d'algues dans un cours d'eau, rive nord du lac Saint-Pierre

Dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, le phosphore et l'azote proviennent, entre autres, des rejets d'eaux usées municipales et industrielles. Le phosphore rejeté dans les eaux usées peut stimuler de façon excessive la croissance des algues microscopiques et des plantes aquatiques²⁰. Rappelons qu'entre 2009 et 2012, les charges annuelles moyennes de phosphore provenant des rejets d'eaux usées des stations d'épuration municipales et des papetières hors réseau municipal étaient respectivement de 316 t P/an⁸⁸ et 29 t P/an¹⁰⁷. Le traitement des eaux usées est également une source de pollution résiduelle, car il permet la transformation de l'azote organique et ammoniacal en nitrates¹⁵.

Les charges en phosphore et en azote en provenance des secteurs municipaux, industriels et agricoles sont, entre autres, exportées dans l'environnement par le phénomène de ruissellement des eaux. Ce phénomène est en partie accentué par l'imperméabilisation des sols et par les cultures à grand interligne. Souvent associées au maïs-grain ou au soya, ces cultures nécessitent généralement des quantités d'intrants plus élevées que les cultures à interligne étroit, que ce soit pour les engrais de synthèse, les engrais organiques ou les pesticides¹⁴⁵. Ainsi, des sols rendus moins perméables par l'urbanisation et des sols dénudés par la pratique de cultures à grand interligne augmentent le volume de ruissellement et l'érosion des berges, tout en favorisant l'exportation des nutriments, des sédiments et des contaminants présents dans le sol^{78,145}. Malgré un manque d'informations sur les proportions de surfaces imperméabilisées dans les tributaires directs, il est possible de mentionner que les cultures à grand interligne comptent pour plus de 50 % des cultures dans les tributaires directs et près de 20 % de l'occupation du sol dans le territoire à l'étude¹⁸.

Pour l'ensemble des secteurs, la charge annuelle moyenne de phosphore transportée vers le lac Saint-Pierre pour la période 2009-2012 est de 1 444 t P/an¹⁵, tandis que celle de l'azote varie entre 135 t N/an et 10 045 t N/an, selon les tributaires⁵². Également, sur l'ensemble des 20 stations d'échantillonnages étudiées pour l'IQBP₆, 15 d'entre elles ont dépassé le critère de phosphore de 0,03 mg/L entre 17 % et 100 % du

temps. En ce qui concerne l'azote, huit stations ont dépassé le critère de 2,9 mg/L, entre 6 % et 94 % du temps⁴⁷.

Les cours d'eau agricoles érodés à proximité des exploitations agricoles où les apports d'intrants (fertilisants et pesticides) sont importants transporteront plus de matières nutritives et de pesticides dans les plans d'eau. À des concentrations se situant entre 6 mg/L et 12 mg/L, le glyphosate a pour effet d'augmenter la quantité de phosphore présente dans le milieu et d'occasionner une transition de population de phytoplancton vers une population de cyanobactéries¹⁴⁸. Le glyphosate et l'atrazine ont été échantillonnés dans la majorité des tributaires étudiés entre 2012 et 2014⁵⁵ ainsi que dans le lac Saint-Pierre en 2014 et 2015⁵⁷. L'exportation de sédiments par l'érosion peut également contribuer à la prolifération des cyanobactéries, notamment si le glyphosate est adsorbé aux sédiments qui représentent une voie de dispersion du produit dans l'environnement aquatique^{58, 149}.

Les variations des niveaux d'eau dans les cours d'eau des tributaires directs du lac Saint-Pierre ont aussi un impact sur la croissance des cyanobactéries, car des variations importantes créent de l'érosion, augmentant ainsi les quantités de matières en suspension et de sédiments dans le fond de l'eau, en plus de transporter une plus grande quantité de nutriments¹².

Un apport de nutriments en eaux peu profondes et de faibles courants favorise le développement de vastes lits de végétation émergente et submergée. Ces plantes aquatiques créent une résistance au courant et favorisent la sédimentation des particules¹⁴⁷. Des eaux relativement stagnantes et polluées s'accumulent dans une grande portion de la zone littorale peu profonde du lac Saint-Pierre¹¹. Le lent passage de ces eaux enrichies au travers des herbiers aquatiques augmente leur transparence et réduit les concentrations en azote inorganique dissous. Cet appauvrissement coïncide avec un déclin de la biomasse de plantes aquatiques submergées^{150, 151} et la croissance de cyanobactéries benthiques¹⁴⁷. La prolifération de ces organismes favorise l'eutrophisation des cours d'eau et modifie les habitats aquatiques et le réseau trophique¹⁵².

Herbiers aquatiques

Les herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre sont formés de macrophytes* qui jouent un rôle majeur dans les milieux humides du littoral en fournissant une structure d'habitat, en favorisant la production primaire (végétaux aquatiques) et secondaire (p. ex. invertébrés aquatiques), en plus de servir d'abri et de source d'alimentation pour les poissons¹⁵³. D'ailleurs, les herbiers aquatiques ont une fonction clé dans le recrutement des poissons d'eau douce¹⁵⁴. La richesse des communautés d'invertébrés et de poissons qui caractérisent les herbiers aquatiques attire naturellement des oiseaux aquatiques et des mammifères. Or, depuis 2005, les grands herbiers disparaissent dans les zones peu profondes du lac Saint-Pierre au profit de cyanobactéries benthiques formant des tapis filamenteux¹⁵⁵. Un déclin important de l'abondance de plantes aquatiques a d'ailleurs été observé dans la portion entre l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François et le secteur Longue Pointe (Baie-du-Febvre)¹⁵³. Une forte diminution de la biomasse de la végétation aquatique submergée a également été observée ailleurs dans le lac Saint-Pierre, allant même jusqu'à disparaître dans le secteur nord-est de ce dernier en 2016¹⁵⁶. Cette diminution est probablement causée par une forte turbidité de l'eau, l'érosion des berges du littoral et un fort apport de matières particulaires en provenance des tributaires¹⁵⁷.

* Végétaux aquatiques (plantes herbacées aquatiques et macro algues coloniales), submergés (totalement immergées dans l'eau), flottants (au moins une partie des feuilles flottent à la surface de l'eau) ou émergés (feuilles dressées à l'extérieur de l'eau).

La turbidité augmente notamment en raison d'une plus grande concentration de MES dans l'eau. Rappelons que pour la période 2009-2012, la charge moyenne annuelle dépasse la charge tolérable dans l'ensemble des tributaires directs. Au total, la charge excédentaire de MES est de 613 927 t/an, dont 71 % sont issus des rivières Yamaska, Richelieu et Saint-François. Soulignons que, les MES transportent du phosphore particulaire pouvant contribuer à l'augmentation de ce nutriment dans l'eau. Les excédents en MES les plus importants par rapport à la charge tolérable sont toutefois observés dans la Petite rivière Yamachiche ainsi que dans les rivières Yamachiche, Bayonne, Chaloupe et Yamaska⁵². Par ailleurs, les MES représentent le paramètre déclassant de l'IQBP₆ 2014-2016 pour 7 des 14 tributaires, dont la rivière Yamachiche et la Petite rivière Yamachiche qui ont tous deux une classe E (très mauvaise) ainsi que la Petite rivière du Loup qui a une classe D (mauvaise). Ces trois tributaires, entre 2009 et 2012, avaient également les plus grandes contributions relatives parmi les tributaires, avec plus de 1 000 kg MES/ha⁵². L'apport de MES provient notamment de l'érosion causée par l'absence de bandes riveraines, le ruissellement des sols en milieu agricole, le travail du sol conventionnel (p. ex. labours d'automne) et la variation des niveaux d'eau. Les rejets d'eaux usées municipales et industrielles, l'imperméabilisation des sols et l'entretien des routes ont aussi un rôle important dans l'apport en sédiments au lac Saint-Pierre.

Les activités anthropiques favorisant la prolifération d'algues et de cyanobactéries ainsi que l'eutrophisation affectent également les herbiers en diminuant leur nombre. Une autre problématique touchant ces habitats est la présence de pesticides dans les sédiments, notamment la présence conjuguée de ces produits. Le mélange de plusieurs herbicides, tel le glyphosate, et de concentrations d'atrazine dépassant le CVAC dans les sédiments pourrait contribuer à la détérioration des herbiers aquatiques⁵⁷. En ce qui concerne le glyphosate, les macrophytes sont parmi les plantes les plus sensibles à cet herbicide, alors qu'une concentration de 0,22 mg/L est suffisante pour entraîner une inhibition de leur croissance¹⁵⁸.

Une autre pression anthropique affectant plus directement les herbiers est le passage de véhicules motorisés (Figure 18) pouvant arracher la végétation sur leur passage. Les déversements accidentels d'eaux usées des embarcations de plaisance peuvent également contribuer à la croissance des algues¹⁵⁹.



Figure 18. Passage de véhicules motorisés dans les herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre

En 2012, il a été possible de mesurer les impacts d'une épuration des habitats aquatiques le long de la rive sud du lac Saint-Pierre en comparant un secteur enrichi en amont (embouchure des rivières Yamaska et Saint-François) à un secteur appauvri en aval et dominé par les cyanobactéries *Gloeotrichia pismus* et *Lyngbya wollei*. Les résultats démontrent une cascade d'effets négatifs sur la qualité de l'habitat du poisson, sur la quantité et l'accessibilité des proies (invertébrés) qui sont moins nombreuses ou plus difficiles à

attraper selon l'espèce, ainsi qu'une diminution du recrutement chez la perchaude. En effet, la faible taille atteinte par les juvéniles de cette espèce au cours de l'automne qui résulte de la disponibilité réduite des invertébrés entraîne la réduction de leur potentiel de survie hivernale. La disparition des herbiers, qui constituent des habitats de croissance, de reproduction, d'alevinage et un abri pour diverses espèces aquatiques du lac Saint-Pierre, représente une perte de capacité de support du lac¹⁵³.

Biodiversité

En plus de la disparition des herbiers causée par l'eutrophisation et la détérioration générale de la qualité de l'eau provenant des tributaires à forte vocation agricole, la biodiversité du lac Saint-Pierre est affectée par les pesticides, les rejets d'eaux et de neige usées ainsi que la pollution diffuse industrielle. Ces pressions anthropiques entraînent des apports en nutriments, en sédiments et en contaminants qui affectent plusieurs espèces. L'érosion des sols et des berges, le ruissellement et le marnage vont aussi favoriser le transport de ces éléments jusqu'au lac Saint-Pierre. De plus, une forte variabilité des niveaux d'eau tend à favoriser la croissance des espèces opportunistes* ou exotiques¹⁵⁶.

Plusieurs conséquences sur les espèces aquatiques peuvent découler de l'eutrophisation des cours d'eau. Tout d'abord, la dégradation de fortes biomasses générées lors de la prolifération massive de végétaux aquatiques entraîne un appauvrissement en oxygène dissous, pouvant aller jusqu'à l'hypoxie ou l'anoxie du milieu†. Cela s'explique par le fait que les microorganismes responsables de la décomposition de ces plantes consomment une quantité importante d'oxygène dissous. Dans les milieux aquatiques dépourvus d'oxygène, d'autres microorganismes provoquent aussi la formation de certains gaz toxiques comme le méthane et l'hydrogène sulfuré. Ces changements liés à la qualité de l'eau créent des zones mortes temporaires ou permanentes qui provoquent la disparition de la plupart des organismes fixés au substrat de même que le déplacement des espèces plus mobiles. Cela peut donc entraîner la diminution de la biodiversité d'origine. La présence de cyanobactéries peut également nuire à plusieurs organismes aquatiques. Les toxines associées à certaines de ces espèces peuvent causer la mort de plusieurs poissons. Aussi, l'obstruction des branchies par les cyanobactéries peut s'avérer mortelle dans certains cas¹⁶⁰.

La disparition des herbiers, en plus d'affecter la perchaude, aura également une incidence sur d'autres espèces qui dépendent de ces milieux comme le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), le grand brochet, le crapet de roche (*Ambloplites rupestris*) et la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*)^{153, 161}.

En ce qui concerne les pesticides retrouvés dans l'eau et les sédiments de la zone d'étude, certains d'entre eux présentent des effets rapportés sur la biodiversité qui sont connus et documentés. C'est le cas notamment de l'atrazine, du glyphosate et des néonicotinoïdes. Pour l'atrazine, les effets rapportés sur les espèces fauniques sont reconnus et ces derniers peuvent être observés au lac Saint-Pierre en raison des concentrations présentes (entre 0,11 µg/L et 1,9 µg/L, Annexe 10)⁵⁷. Une concentration située entre 0,5 µg/L et 5 µg/L peut avoir des impacts sur les salmonidés, plus précisément sur leur système olfactif, et perturbe leur capacité à repérer leur site de fraie ou leur habitat. Ces impacts sont également observés en présence de certains mélanges de pesticides^{162, 163}. L'atrazine affecte aussi le méné tête-de-boule (*Pimephales promelas*), dont une exposition à ce pesticide durant un mois à une concentration de 0,5 µg/L, affecte le processus de maturation des ovocytes chez les femelles. Cela provoque une réduction

* Les espèces opportunistes sont capables de s'adapter et de vivre dans une gamme variée d'habitats, ou d'adapter leur régime alimentaire aux ressources immédiates.

† L'hypoxie des eaux (manque d'oxygène dans l'eau permettant la vie des poissons) peut conduire un milieu aquatique à changer d'état et entrer en anoxie (absence d'oxygène dissout dans l'eau et qui ne permet pas le maintien de la plupart des formes de vie).

de 25 % de la production totale d'œufs au moment de la fraie¹⁶⁴. Les mâles de la grenouille léopard (*Lithobates pipiens*), quant à eux, peuvent montrer des oocytes (cellules femelles) dans leurs tissus testiculaires, lorsqu'exposés à des concentrations d'atrazine de 0,1 µg/L¹⁶⁵.

En comparaison, les concentrations rapportées de glyphosate qui ont un impact sur la biodiversité sont nettement plus élevées que celles présentes au lac Saint-Pierre (entre 0,08 µg/L et 1,6 µg/L, Annexe 10). Rappelons que le CVAC du glyphosate est de 800 µg/L. Toutefois, il y a un risque que sa présence conjuguée à celle d'autres herbicides ait un effet cumulatif sur les communautés de plantes aquatiques⁵⁷. Il est à noter qu'à partir d'une concentration de 10 µg/L dans l'eau, la structure des communautés microbiennes exposées à ce pesticide est affectée¹⁵⁸. De leur côté, les communautés phytoplanctoniques sont touchées lorsque le glyphosate atteint une concentration se situant entre 5 µg/L et 10 µg/L¹⁶⁶.

Tout comme le glyphosate, les concentrations de néonicotinoïdes doivent être surveillées au lac Saint-Pierre. La probabilité de leur présence dans le sol et les résidus de cultures des secteurs inondés en période printanière qui sont fréquentés par la perchaude adulte et les jeunes larves est problématique. Différentes études ont permis de détecter ces insecticides dans l'eau de ruissellement et de drainage souterrain de champs de maïs¹⁶⁷ ainsi que dans l'eau de fonte de neige. Ce dernier cas suggère une persistance de ces produits dans les champs traités, et ce, même après la période de récolte¹⁶⁸. Bien que les concentrations détectées au lac Saint-Pierre soient majoritairement en dessous de celles occasionnant des effets sur les espèces aquatiques, un dépassement du CVAC (0,0083 µg/L) par la clothianidine et le thiaméthoxame a été observé dans 10 % à 55 % des échantillons en 2014 et 2015⁵⁷. Parmi les effets répertoriés de ces pesticides, il y a une diminution de l'abondance de certains taxons de macroinvertébrés benthiques¹⁶⁹ ainsi qu'une réduction de l'alimentation et du taux de survie et une augmentation de la mortalité chez certains taxons de macroinvertébrés^{170, 171}. Une réduction dans l'abondance de ces espèces a un impact sur les poissons et les amphibiens¹⁷² qui s'alimentent de macroinvertébrés. Également, ce type de pesticides augmente le taux de mortalité des larves de perchaude lorsque des concentrations de 0,13 µg/L de néonicotinoïdes sont en synergie avec les rayons ultraviolets¹⁷³.

Les eaux usées municipales et industrielles, ainsi que les neiges usées sont des sources de contaminants organiques et inorganiques qui peuvent se bioaccumuler dans la chaîne alimentaire et qui sont potentiellement toxiques pour la biodiversité et les humains⁷⁸. Dans les eaux usées, la présence de contaminants émergents a été observée. En ce qui concerne les composés perfluorés et les nonylphénols éthoxylés, les concentrations actuelles ne semblent pas être problématiques au lac Saint-Pierre⁵⁶. Pour les PBDE, leur présence dans l'environnement a grandement augmenté à partir des années 1980⁶⁷. Rappelons qu'actuellement, le lac Saint-Pierre est le lac fluvial du Saint-Laurent où l'on observe les sédiments de surface les plus contaminés. La présence de PBDE a des effets toxiques, dont le développement de cancers et la perturbation du système endocrinien. Leur faible solubilité dans l'eau et leur résistance à la dégradation en font des composés bioaccumulables dans les organismes aquatiques⁷¹. Pour les PPSP et les hormones, leurs concentrations dans les eaux usées traitées sont indétectables ou à l'état de trace, notamment puisque les stations municipales de traitement des eaux usées traitent partiellement les PPSP. Cependant, les méthodes d'analyse et de détection ne s'appliquent qu'aux substances mères et non aux sous-produits de dégradation. Il y a donc une possibilité que les sous-produits de PPSP soient toujours sous une forme toxique active. L'absence de méthodes d'analyse pouvant détecter les sous-produits est également valable pour les autres contaminants émergents. De ce fait, les impacts possibles sur la qualité de l'eau et la biodiversité sont inconnus⁷³.

Dans cette même optique, le traitement effectué par les stations d'assainissement des eaux usées n'est pas conçu pour éliminer toutes les formes de pollution. Il est possible que les eaux usées traitées qui sont rejetées présentent une toxicité résiduelle provenant d'une multitude de produits chimiques d'usage courant (détergents, produits de soins corporels, médicaments, etc.). Ces produits peuvent provenir du secteur municipal et des industries raccordées au réseau d'égout municipal¹⁵.

En raison du manque de données concernant l'ensemble des contaminants émergents, des pesticides et de leurs sous-produits de dégradation, il est difficile d'évaluer avec précision l'ampleur des impacts des produits individuels et des « cocktails » sur la biodiversité et les humains. Certains effets généraux combinés sont toutefois connus. Par exemple, la charge élevée en nutriments, pesticides et sédiments dans les zones moins profondes favorise la disparition des herbiers aquatiques et la prolifération de cyanobactéries benthiques dans les zones de croissance des perchaudes. Malgré la mise en place de mesures de gestion, la population de perchaudes du lac Saint-Pierre est encore aujourd'hui dans un état précaire. Engagée dans un lent processus de reconstruction, cette population compte peu de jeunes individus, comparativement au début des années 2000¹⁷⁴. Ce constat a motivé, en 2017, la prolongation du moratoire de la pêche à la perchaude pour cinq années supplémentaires¹⁷⁵.

L'entretien des routes a aussi des répercussions sur les espèces aquatiques, car lors de l'épandage, les sels de voiries atteignent facilement le sol en bordure des routes, la végétation et les cours d'eau à proximité. De plus, une forte quantité de ces sels peut modifier complètement un écosystème aquatique et entraîner une perte de biodiversité. Par exemple, une forte concentration de chlorure de sodium peut altérer la densité de l'eau et avoir une incidence sur le mélange vertical de l'eau, ce qui aura un impact négatif sur la redistribution de l'oxygène et des nutriments dans l'eau. Ces deux facteurs sont essentiels à la survie des espèces aquatiques¹⁷⁶. De plus, une forte libération d'ions chlorure apporte de nombreux impacts négatifs à court et à long terme dans l'environnement, dont une facilitation de la remise en suspension dans les sédiments de certains métaux lourds qui y sont emprisonnés, tels que le mercure, le cadmium et le zinc⁷⁹. En ce qui concerne le mercure, ce contaminant inorganique important des sédiments du fleuve Saint-Laurent peut être létal à forte dose pour les organismes benthiques ou entraîner une diminution de la fécondité et un développement anormal durant les premiers stades de vie¹⁷⁷. L'entretien des routes et un déversement de neiges usées rejettent différents contaminants inorganiques dans les cours d'eau, dont chacun a des impacts potentiels sur les espèces aquatiques (Tableau 26).

Tableau 26. Impacts potentiels sur les espèces aquatiques des rejets de neiges usées dans les cours d'eau⁸⁰

Contaminant	Impacts potentiels
Débris	Recouvrement du benthos, dommages aux frayères, nuisance après ingestion par les organismes
Matières en suspension	Augmentation de la turbidité, diminution de la photosynthèse, accroissement de la température de l'eau et maintien de la stratification de couches d'eau
Huiles et graisses	Effets mutagènes et cancérigènes possibles, baisse de l'échange avec l'air et de la pénétration de la lumière
Chlorures	Effets sur l'osmorégulation, danger pour certains poissons
Plomb	Effets sur les reins, la fertilité et le cerveau, présence dans la chaîne alimentaire
Manganèse, fer	Modification de la couleur de l'eau, possibilité d'effet sur l'éclosion des œufs de poissons
Chrome	Toxicité aiguë et chronique identifiée pour la vie aquatique

Du côté des MES, elles peuvent provoquer l'abrasion des branchies des poissons et affecter leur respiration. Elles peuvent aussi colmater le lit des ruisseaux et réduire l'apport en oxygène des œufs de poissons¹⁷⁸.

Les différents contaminants organiques et inorganiques peuvent aussi provenir de la pollution diffuse des sites d'enfouissement, des rejets industriels et des dépôts de matériaux dangereux⁷⁸. Le non-respect des exigences réglementaires de rejets qui visent les polluants et les contaminants pouvant avoir un impact sur la qualité de l'eau et la biodiversité peut également contribuer à la problématique des contaminants.

Impacts sur les usages récréatifs et esthétiques

Les différents usages de l'eau au lac Saint-Pierre et dans ses tributaires directs sont affectés par les trois problématiques principales, soit l'apport en nutriments, en sédiments et en contaminants. Les secteurs municipaux, industriels et agricoles représentent tous une source d'activités ayant des impacts menant à la perte d'usage ou à la diminution du facteur d'esthétisme.

Pertes d'usages de l'eau — aspects récréatifs

Le lac Saint-Pierre et ses tributaires directs sont des endroits très fréquentés par les plaisanciers, plus particulièrement l'archipel constitué d'une centaine d'îles. Pour la saison estivale de 2009, 16 128 bateaux et 45 797 plaisanciers ont été recensés sur le lac, et une grande variété d'embarcations de plaisance sont utilisées telles que le canot, le kayak, le bateau à moteur, le voilier, la motomarine, etc.¹⁷⁹ Afin de préserver les usages, les critères de qualité pour la protection des activités récréatives et esthétiques sont utilisés. Les critères liés aux activités récréatives visent à prévenir les dangers pour la santé, mais préservent également les aspects esthétiques de la ressource. Ces critères se divisent en deux catégories : la première concerne les activités à usages directs (activités où tout le corps, y compris la tête, est régulièrement en contact avec l'eau) et la deuxième, les usages indirects (activités où le corps est moins fréquemment en contact avec l'eau)¹⁸⁰. Les critères d'activités récréatives sont de 200 UFC/100 ml de coliformes fécaux pour les activités de contact direct et de 1 000 UFC/100 ml pour les activités de contacts indirects.

Toutefois, les activités récréatives au lac Saint-Pierre et dans ses tributaires directs sont menacées lorsque la qualité de l'eau du lac est touchée par des problèmes d'eutrophisation et une diminution de la qualité bactériologique de l'eau. Dans le premier cas, les plans d'eau affectés par l'eutrophisation sont généralement aux prises avec la prolifération de plantes aquatiques et d'algues, ce qui peut notamment empêcher la baignade. En effet, en plus de dégrader l'aspect esthétique du plan d'eau, certaines cyanobactéries vont produire des toxines qui peuvent affecter le foie, le système nerveux ou la peau¹⁸¹. Dans les tributaires directs étudiés, les rivières Chaloupe, Bayonne, Chicot, Saint-Zéphirin et Nicolet sont ceux dont le facteur déclassant de l'IQBP₆ est soit le phosphore ou les nitrates-nitrites (contributeurs en azote) et, parmi eux, seule la rivière Nicolet a un indice supérieur à la classe D. Toutefois, ces paramètres sont également problématiques dans la majorité des tributaires (Annexe 2). Il y a donc une possibilité que ces cours d'eau soient plus prédisposés à l'eutrophisation. Rappelons que les apports en phosphore et en azote proviennent majoritairement des rejets d'eaux usées municipales et industrielles, du ruissellement des eaux, notamment par l'imperméabilisation des sols, de l'érosion des berges, par certaines pratiques culturelles, ainsi que par l'utilisation de fertilisants azotés et phosphatés en milieu agricole.

Les apports en coliformes fécaux ont également une grande importance dans la perte des usages récréatifs. En effet, la contamination bactériologique est problématique et provient principalement des débordements d'égouts, des rejets d'eaux usées traitées non désinfectées ainsi que de l'épandage des fumiers sur les terres agricoles³⁸. Malgré la présence de stations d'épuration des eaux usées, les débordements d'ouvrages de surverse qui surviennent tout au long de l'année entraînent le rejet d'eaux usées non traitées dans les plans d'eau. Cette problématique est d'autant plus importante lorsque les

réseaux d'égout sont unitaires. Rappelons qu'en 2013, 10 386 débordements d'ouvrages de surverses dans les tributaires directs ont eu lieu. En plus des ouvrages, les installations septiques et les raccordements inversés sont également fautifs⁷⁸. La contamination microbienne causée par les eaux usées est beaucoup plus marquée à proximité des grands centres urbains. Une autre source de contamination bactériologique diffuse est située surtout en milieu agricole, le ruissellement des eaux et la fonte des neiges au printemps sur les sols laissés à nu entraînant de multiples contaminants et bactéries vers les plans d'eau à proximité. Les effets du ruissellement se font d'autant plus ressentir lorsqu'il y a une absence de végétation en bordure de l'eau, car les plantes ne peuvent effectuer leur rôle de filtration de contaminants et de nutriments³⁸.

Une concentration élevée de coliformes fécaux peut menacer la santé des baigneurs du lac Saint-Pierre. Le contact avec une eau de mauvaise qualité bactériologique peut engendrer des infections et des troubles gastro-intestinaux ou des problèmes de peau. Par exemple, la dermatite du baigneur qui occasionne des rougeurs et des démangeaisons peut être contractée lors d'une baignade dans des eaux de mauvaise qualité, mais également en fréquentant des plages ayant une bonne qualité de l'eau d'après les concentrations de coliformes fécaux échantillonnées³⁸. Cette infection peut aussi être contractée lorsqu'il y a des larves de cercaires dans l'eau¹⁸². Rappelons que selon l'IQBP₆ de 2014-2016, les usages récréatifs directs et indirects sont compromis pour plusieurs tributaires ainsi que dans les masses d'eau en amont et en aval du lac Saint-Pierre (cf. Tableau 9). Dans les bassins versants des Petites rivières du Loup et Yamachiche ainsi que dans les masses d'eau du nord et du centre en amont du lac, tous les usages récréatifs sont compromis (> 1000 UFC/100 ml). Pour cette même période, les tributaires étudiés ont dépassé à au moins une reprise le critère de qualité pour les usages directs, compromettant ainsi la baignade, le ski nautique, la planche à voile et la planche aérotractée. De plus, seules la rivière Richelieu et la masse d'eau du sud en amont du lac Saint-Pierre n'ont pas dépassé le critère de qualité pour les usages indirects tels le canotage, le kayak ou la pêche sportive.

En plus des risques pour les humains, certains facteurs anthropiques ont aussi une influence indirecte sur les usages de l'eau. Par exemple, un écosystème riverain ou aquatique dégradé est plus propice aux hausses de températures de l'eau, à une augmentation de l'opacité de l'eau par les matières en suspension, ou encore à tendre vers un état eutrophe. Ces changements affecteront la diversité biologique du milieu, ce qui aura des conséquences sur les activités de villégiature et de pêche¹³⁵. Or, la pêche sportive constitue depuis longtemps une activité prisée par plusieurs usagers du lac Saint-Pierre. Une variété intéressante d'espèces de poissons s'offre aux pêcheurs, notamment le doré jaune, le doré noir (*Sander canadensis*), le grand brochet, les achigans, les crapets, le maskinongé (*Esox masquinongy*), l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) et la barbotte brune³. Cette activité récréative représente des revenus considérables pour la région. En 2003, les retombées économiques associées à la pêche sur glace s'élevaient à près de 932 000 \$ alors que celles en eau libre étaient de 1 300 000 \$^{183, 184}.

L'industrie de la pêche sportive au lac Saint-Pierre fut toutefois ébranlée en 2012 à la suite de l'annonce du moratoire sur la pêche à la perchaude, interdisant le prélèvement de cette espèce emblématique pour les cinq années subséquentes. Cette décision fut prise à la suite de l'effondrement des stocks de perchaudes observé depuis les années 1990. En effet, la population de femelles reproductrices est passée de 4,4 millions à 0,6 million au cours de la période 1986-1991 et 2003, équivalant à une baisse de 86 %. La diminution de la population de perchaudes s'est ensuite poursuivie en raison du faible recrutement et des pressions que subissent les premiers stades de vie de l'espèce¹⁵⁵. La faible qualité de l'eau du lac Saint-Pierre et de ses tributaires directs constitue l'une des principales pressions sur la perchaude puisqu'elle

affecte son habitat et, malgré la mise en place de plusieurs mesures de gestion, la population de perchaudes est encore aujourd'hui dans un état précaire. Puisque la perchaude s'avérait être l'espèce la plus convoitée par les usagers du lac, l'instauration et la prolongation du moratoire jusqu'en 2023 a eu et aura certainement une incidence sur les retombées économiques de cette activité. Bien que plusieurs pêcheurs se soient tournés vers le doré³, il est probable que l'interdiction de pêcher la perchaude au lac Saint-Pierre en ait dissuadé plusieurs.

D'autres espèces de poissons souffrent également de la mauvaise qualité de l'eau. Le crapet de roche, le crapet-soleil et le grand brochet montrent effectivement des signes de déclin, en raison notamment de la disparition des herbiers aquatiques³. À long terme, cela pourrait avoir un impact négatif sur la pêche sportive.

Perte d'usages de l'eau — aspect esthétique

Les critères de qualité pour la protection des activités récréatives et esthétiques visent à préserver les aménagements riverains (parcs, haltes routières, lieux de séjour et campings) contre les éventuels impacts visuels négatifs¹⁸⁰. La prolifération d'algues et de cyanobactéries (Figure 17) ainsi que les matières en suspension (Figure 19) sont deux impacts visuels importants. Le phénomène d'eutrophisation entraîne aussi des répercussions alors qu'il affecte la qualité esthétique, le goût et l'odeur de l'eau¹⁸⁵.



Figure 19. Qualité de l'eau affectée par les matières en suspension dans les cours d'eau situés dans les Basses-terres du Saint-Laurent

La qualité de vie des riverains peut être affectée par une mauvaise qualité de l'eau, notamment par les floraisons de cyanobactéries, puisqu'il est possible que ces floraisons amenuisent l'intérêt du site pour la pratique d'activités récréatives¹⁸⁶. En raison du potentiel toxique de certaines espèces de cyanobactéries et de leur risque pour la santé, un sentiment de crainte peut aussi apparaître chez certains¹⁸⁷. Par ailleurs, les habitations à proximité des plans d'eau touchés peuvent perdre de la valeur, en particulier si le phénomène est récurrent¹⁸⁸. Les pertes liées à l'occupation et à la valeur des zones riveraines peuvent aussi être causées par la contamination bactériologique, créant d'importantes pertes socio-économiques³⁸.

D'autres facteurs, tels que la présence d'infrastructures (bâtiments, routes) et de champs agricoles et l'absence de végétation, ont également un impact visuel négatif sur le paysage naturel du lac Saint-Pierre et de ses tributaires directs.

Impacts sur l'approvisionnement en eau potable

Au lac Saint-Pierre, quatre municipalités (total de 8 206 personnes) s'approvisionnent en eau potable à partir des eaux de surface dans l'archipel du lac Saint-Pierre. Dans l'ensemble des tributaires directs du lac Saint-Pierre, près de 40 % (\approx 620 000 personnes) de la population est approvisionnée en eau potable par une source d'eau de surface, que ce soit le fleuve, un lac, une rivière ou un ruisseau, ou par une source d'alimentation mixte (eau de surface et eau souterraine).¹⁰⁰

L'approvisionnement en eau de surface dans la zone d'étude est directement influencé par les apports en sédiments et en contaminants, et est indirectement affecté par les apports en nutriment. Les secteurs municipaux, industriels et agricoles représentent tous une source d'activités ayant des répercussions sur la santé humaine et l'approvisionnement en eau potable.

Santé humaine

Une mauvaise qualité de l'eau peut avoir des impacts importants sur la santé humaine lors de la consommation de l'eau ou du contact avec cette dernière. L'ensemble des pressions anthropiques menant au développement d'algues et de cyanobactéries ou à une contamination bactériologique présentera un risque pour la santé humaine. De plus, les conséquences des activités anthropiques, telles que l'érosion et le ruissellement, ont une influence sur la santé humaine, en raison de leur rôle dans le transport des nutriments, des sédiments et des contaminants.

L'apport excessif en nutriments accélère la croissance de la végétation aquatique, ce qui mène progressivement à l'eutrophisation du plan d'eau. Ce phénomène peut être néfaste pour la santé humaine, notamment en raison du développement de fleurs d'eau de cyanobactéries ou de la libération de cyanotoxines par certaines espèces de cyanobactéries. Le type et la quantité de ces toxines dépendent des conditions du milieu. Les trois principales catégories sont les endotoxines, les hépatotoxines et les neurotoxines¹⁸⁹. Les endotoxines* sont présentes chez toutes les espèces d'algues bleu vert. Elles provoquent généralement une irritation de la peau ou des muqueuses et peuvent être responsables de problèmes allergiques. Les hépatotoxines, quant à elles, s'attaquent surtout au foie alors que les neurotoxines peuvent engendrer des problèmes liés au système nerveux^{Erreur ! Signet non défini.}.

Certains problèmes de santé surviennent à la suite d'un contact direct avec l'eau contaminée et d'autres lors de l'ingestion de celle-ci. L'irritation ou des infections de la peau et des yeux, de même que les maux de gorge, sont des problèmes susceptibles d'apparaître à la suite d'une activité récréative comme la baignade. La consommation d'eau contenant des cyanotoxines peut quant à elle provoquer des douleurs abdominales, de la diarrhée, des vomissements, de la fièvre, des problèmes de gastroentérites et des problèmes gastro-intestinaux^{Erreur ! Signet non défini., 190}. Bien qu'aucun décès en lien avec les cyanobactéries n'ait encore été recensé au Québec, certains pays comme le Brésil en compte déjà plusieurs.

Une concentration élevée de coliformes fécaux peut menacer la santé des usagers du lac Saint-Pierre. En général, l'ingestion d'une eau de mauvaise qualité bactériologique peut engendrer des infections et des troubles gastro-intestinaux¹⁸². L'agriculture a un rôle important dans la contamination microbienne, car les élevages représentent une source de déjections animales qui, lorsqu'épandues, peuvent être entraînées

* Toxines situées dans la membrane externe de certaines bactéries de nature lipopolysaccharidique. Les lipopolysaccharides sont un composant essentiel de la paroi bactérienne de certains types de bactéries.

vers les plans d'eau de proximité et les contaminer. Le bassin versant de la rivière Yamaska est particulièrement touché par la contamination de l'eau en raison de ses cultures et de ses élevages intensifs³⁸.

Les eaux usées traitées des municipalités, mais non désinfectées peuvent également accentuer la contamination, car les coliformes fécaux restent présents lorsque les eaux sont rejetées. Au Québec, 60 % des eaux usées traitées sont rejetées sans désinfection³⁸. Parmi les 196 stations d'épuration des eaux usées présentes dans la zone d'étude dont les informations sur les désinfections sont connues, seulement 26 (13 %) ont ce type de traitement¹⁶. De plus, malgré un système de désinfection, il n'est pas exclu que les bactéries persistent, car les MES peuvent protéger les micro-organismes pathogènes contre la désinfection chimique ou les rayons ultraviolets¹⁹¹.

En ce qui concerne les déjections animales, bien que la présence de virus, de bactéries et de parasites pathogènes dans les fumiers soit bien connue, il y a un manque de connaissances par rapport aux risques que représentent les fumiers sur la santé humaine. Pour ce qui est de l'indicateur de qualité bactériologique qui se base sur les coliformes fécaux, bien qu'il possède ses limites et ne protège pas entièrement contre les risques pour la santé humaine, il est néanmoins un très bon outil pour prévenir certains problèmes de santé³⁸.

Traitement de l'eau potable

Les installations de production d'eau potable sont affectées par deux principales variables, soit la qualité de l'eau les approvisionnant ainsi que la performance globale des traitements en place¹⁰¹. Or, une mauvaise qualité de l'eau engendre des coûts de traitement supplémentaire, car il faut mieux adapter ou améliorer les traitements. Ainsi, la mauvaise qualité de l'eau échantillonnée au lac Saint-Pierre et dans ses tributaires directs peut mener à une augmentation des coûts de traitement de l'eau potable. Toutes les activités des secteurs municipaux, industriels et agricoles qui contribuent aux apports en nutriments, en sédiments et en contaminants (coliformes fécaux) sont susceptibles de détériorer la qualité de l'eau de surface qui approvisionne près de 40 % de la population des tributaires directs¹⁰⁰. Les principaux paramètres qui engendrent des coûts de traitement plus élevés sont la qualité bactériologique liée principalement aux eaux usées et aux fumiers, les nitrates-nitrites provenant des eaux usées et des activités agricoles ainsi que les MES provenant du ruissellement urbain et agricole, de l'érosion, des activités industrielles et d'autres sources potentielles. Rappelons que seulement 26 stations d'épurations des tributaires directs (13 %) effectuent la désinfection de leurs eaux usées¹⁶.

Il est également possible que le coût de traitement de l'eau potable soit augmenté en raison de la présence de cyanobactéries dans l'eau. Lorsque ces organismes meurent, les toxines qu'ils contenaient sont relarguées dans l'eau et un traitement de l'eau plus poussé est généralement requis pour les éliminer. Parmi les traitements disponibles, seules l'oxydation et la biodégradation permettent de détruire les cyanotoxines¹⁰¹.

Les municipalités qui s'approvisionnent en eau potable de surface sont dépendantes de la qualité de l'eau qui provient de l'amont de leur station de prélèvement. Une eau de mauvaise qualité augmente les coûts de traitement nécessaire pour assurer une eau potable aux citoyens. Dans cette même optique, les municipalités ont également un rôle à jouer en ce qui concerne la qualité des eaux qu'elles rejettent, car ces eaux auront des répercussions sur les municipalités plus en aval d'un même bassin versant. Les prélèvements d'eau de surface ont un impact sur la quantité présente dans les cours d'eau, et cet impact

est d'autant plus important lors des périodes d'étiage. Durant ces périodes, les débits d'eau sont beaucoup plus faibles, ce qui rend difficiles l'approvisionnement en eau et la protection du milieu naturel. De plus, la qualité de l'eau est diminuée, car la charge polluante est la même, mais pour un volume d'eau réduit. Ainsi, des périodes d'étiage sévère dégraderaient le milieu naturel, en plus d'entraîner des coûts supplémentaires de traitement de l'eau¹⁹².

Changements climatiques et qualité de l'eau

Les changements climatiques ont des effets appréhendés sur les apports en nutriments, en sédiments et en contaminants, notamment en exacerbant les impacts des pressions anthropiques sur la qualité de l'eau.

Température et régime des précipitations

Selon différents scénarios, un réchauffement global de la planète dont l'amplitude est comprise entre 1 °C et 7,5 °C est appréhendé¹⁹³. Les changements climatiques auront des impacts bien au-delà des températures de l'air et affecteront les patrons de précipitations, l'humidité des sols de même que la fréquence et la sévérité des événements météorologiques extrêmes¹⁹⁴. Dans le sud du Québec, la température pourrait s'accroître de 2 °C à 4 °C à l'horizon 2050, avec une hausse plus marquée au cours de la saison hivernale¹¹⁴. Des précipitations hivernales plus abondantes pourraient aussi être remarquées. Cependant, l'accumulation de neige au sol tendrait à diminuer en raison d'une saison froide écourtée¹¹⁴.

Quantité d'eau

Les changements climatiques auront certainement un impact sur le régime hydrique du Québec méridional¹⁹⁵. En fait, des modifications du climat sont déjà en cours dans la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent : les hivers raccourcissent, la température moyenne annuelle augmente, la couverture de glace persiste moins longtemps au sol et les épisodes de pluies de forte intensité deviennent plus fréquents¹⁹⁶. S'il est difficile de prévoir les effets des changements climatiques sur les crues printanières d'ici 2050, il est fortement probable que celles-ci soient plus hâtives dans le sud du Québec¹⁹⁵. De plus, les étiages d'été seront plus longs et plus sévères. Enfin, la variabilité des débits devrait s'amplifier et une augmentation des situations de stress ponctuelles sur les systèmes hydriques devrait être observée¹¹⁴.

Au cours du siècle prochain, les scénarios de changements climatiques indiquent, en général, une baisse du débit sortant des Grands Lacs. Les changements appréhendés au niveau des précipitations comportent toutefois une forte marge d'erreur de sorte que l'ampleur de la baisse du débit pourrait être plus ou moins importante¹⁹³. Les changements climatiques devraient également avoir une influence sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent. D'ici 2050, malgré l'augmentation prévue du niveau de la mer – dont l'effet s'amenuise vers l'amont – le niveau moyen du fleuve à la hauteur du lac Saint-Pierre entre mai et novembre pourrait diminuer, mais l'ampleur de cet abaissement pourrait être plus ou moins importante¹⁹⁷. De plus, les conditions hydrologiques au lac Saint-Pierre pourraient aussi être similaires à celles en dents de scie observées depuis quelques années, soit des épisodes de faibles crues printanières suivis d'inondations soudaines pendant l'été et l'hiver¹⁹⁸.

Impacts appréhendés sur la qualité de l'eau

En raison de sa faible profondeur, l'écosystème du lac Saint-Pierre est particulièrement vulnérable aux variations de débits qu'entraîneront les changements climatiques. Une baisse du niveau d'eau du lac réduirait sa superficie et celle de sa plaine d'inondation. Ces modifications amorceraient une transition vers

un écosystème plus marécageux, en plus d'augmenter l'accessibilité et la vulnérabilité du rivage aux activités humaines¹⁹⁸. En menaçant ses milieux naturels, les changements climatiques pourraient entraîner une perte des fonctions écologiques du lac Saint-Pierre qui ont des effets positifs sur la qualité de l'eau (p. ex. assainissement de l'eau par les milieux humides, protection contre l'érosion, régularisation des débits).

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements de pluies intenses aura un impact sur le ruissellement et les débordements des réseaux d'égout et des ouvrages de surverse. Une hausse des précipitations augmentera le volume d'eau ruisselé sur les surfaces imperméables et une plus grande quantité d'eau sera amenée au cours d'eau à proximité⁷⁸. Les débordements des réseaux d'égout et des ouvrages de surverse par temps de pluie augmenteront, car ils ne seront pas forcément adaptés aux précipitations supplémentaires. Cette éventualité est d'autant plus problématique pour les réseaux unitaires, où les eaux pluviales et sanitaires sont mélangées. Dans les cours d'eau, des débits plus forts auront également pour effet d'accroître la pollution dans l'eau (phosphore, sédiments, etc.), rendant d'autant plus importants les efforts de réduction des sources de pollution diffuse.

De façon plus directe, le réchauffement de l'eau et les réductions de débits risquent de contribuer à la dégradation de certains paramètres de qualité de l'eau¹¹⁴ et de favoriser l'accroissement des cyanobactéries. En effet, les superficies colonisées par ces dernières pourraient s'accroître en réponse à la baisse des niveaux d'eau et à l'intensification des phénomènes naturels anticipés¹⁹⁹, alors que la température optimale de formation des fleurs de cyanobactéries (légèrement inférieure à 25 °C) devrait être atteinte sur une plus longue période chaque année²⁰⁰. L'augmentation de la sévérité et de la durée des étiages aurait pour effet de concentrer les polluants et contaminants (réduction de l'effet de dilution). De plus, la variation des débits jumelée à l'augmentation des risques de crues subites serait plus favorable à l'érosion des berges. La réduction de la période annuelle d'englacement hivernal risque aussi d'accroître l'érosion puisque la couverture de glace permet de diminuer l'impact des vagues sur les berges²⁰¹.

En ce qui concerne l'approvisionnement en eau potable, les volumes d'eau disponibles seront affectés par les variations des régimes de pluies, dont les périodes de sécheresse accentuées. Cela créera des contraintes inhabituelles pour les systèmes de production et de distribution d'eau potable. Dans la même optique, une augmentation de la pluviométrie pourrait aussi affecter la qualité de l'eau aux sites de prélèvement, affectant non seulement la biodiversité, mais également la santé humaine²⁰².

PLAN D'ACTION

POURSUITE DU COMITÉ D'EXPERTS

Le Comité d'experts sur l'amélioration de la qualité a été mis en place le 8 décembre 2016. À l'heure actuelle, les rencontres déjà effectuées ont permis d'émettre des propositions d'actions et de recommandations préliminaires. Toutefois, les trois secteurs étudiés, soit municipal, industriel et agricole, n'ont pas fait l'objet d'un approfondissement similaire. Dans cette optique, le comité d'experts poursuivra ses travaux sur l'horizon 2018-2019 au bout duquel des actions seront élaborées. Ces actions viseront à répondre à la vision du comité qui est de « redonner au lac Saint-Pierre une qualité de l'eau pouvant supporter un écosystème en santé ainsi que les usages anthropiques liés à la ressource en eau ».

ACQUISITION DE CONNAISSANCES

À la suite des travaux préliminaires du Comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau, un manque de connaissances relatives à divers sujets touchant à la qualité de l'eau, et ce, tant pour le secteur municipal que pour les secteurs industriel ou agricole, ont été notés. Les thématiques nécessitant davantage d'approfondissement sont l'imperméabilisation des sols, les eaux usées, les rejets industriels, les pratiques agroenvironnementales présentant le meilleur rapport coût-bénéfice pour l'amélioration de la qualité de l'eau ainsi que les effets synergiques des pesticides et des contaminants émergents sur les milieux aquatiques.

L'acquisition de connaissances se fera parallèlement à la poursuite du comité d'experts. Ce dernier continuera de mettre de l'avant et de discuter des lacunes de connaissances qui affectent la qualité de l'eau.

LIVRABLES

Les travaux du comité d'experts étant toujours en cours, la présente fiche synthèse et son plan d'action ne sont que préliminaires. De ce fait, au terme des rencontres du comité, une mise à jour de la fiche synthèse sur l'amélioration de la qualité de l'eau et de son plan d'action complet et détaillé sera effectuée. Par la suite, ces deux documents seront présentés à la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre pour approbation.

PLAN D'ACTION DÉTAILLÉ

OBJECTIFS	ACTIONS	HORIZON TEMPOREL
1. Comité	A Poursuivre le travail du comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau	2018-2019
2. Connaissances	A Acquérir des connaissances relatives aux divers sujets soulevés par le comité d'experts	
3. Livrables	A Rédiger la fiche synthèse sur l'amélioration de la qualité de l'eau et son plan d'action détaillé	
	B Faire approuver la mise à jour de la fiche synthèse et son plan d'action par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre	2019

PROGRAMME DE SUIVI DE LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN D'ACTION

OBJECTIFS	ACTIONS	HORIZON TEMPOREL	ACTEURS CONCERNÉS	AVANCEMENT		
				EN COURS	RÉALISÉ	À VENIR
1. Comité	A Poursuivre le travail du comité d'experts sur l'amélioration de la qualité de l'eau	2018-2019	À venir	X		
2. Connaissances	A Acquérir des connaissances relatives aux divers sujets soulevés par le comité d'experts			X		
3. Livrables	A Rédiger la fiche synthèse sur l'amélioration de la qualité de l'eau et son plan d'action détaillé			X		
	B Faire approuver la mise à jour de la fiche synthèse et son plan d'action par la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre					X

ANNEXES

Annexe 1. Législations importantes liées à la qualité de l'eau du lac Saint-Pierre ou aux enjeux qui l'influencent

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Législation canadienne		
Loi sur les ressources en eau du Canada (L.R.C. [1985], ch. C-11)	Application relevant du ministre de l'Environnement du Canada. <ul style="list-style-type: none"> Gestion des ressources en eau et leur qualité environnementale. 	<ul style="list-style-type: none"> Quantité Qualité
Loi sur les pêches (L.R.C. [1985], ch. F-14)	Application relevant du ministère de l'Environnement et Changement climatique Canada et du ministère des Pêches et des Océans du Canada. <ul style="list-style-type: none"> Prévention de la pollution par l'interdiction du dépôt de substances nocives dans les eaux où vivent les poissons, à moins d'une autorisation valide. La définition de poissons inclut les mollusques, les crustacés et les animaux marins. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité
Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada (L. C. 2001, ch. 26)	Application relevant principalement du ministre des Transports du Canada. <ul style="list-style-type: none"> Gestion de la sécurité du transport maritime et de la navigation de plaisance, de même que la protection du milieu marin. 	<ul style="list-style-type: none"> Navigation
Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux (DORS/2012-69)	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction pour tout navire et toute personne de rejeter des eaux usées ou des boues d'épuration d'un navire, sauf exception : <ul style="list-style-type: none"> Des rejets sont autorisés dans les eaux internes (dont le lac Saint-Pierre) seulement avec un appareil d'épuration marine et dont l'effluent contient moins de 250 UFC/100 ml de coliformes fécaux. Dispositions générales et particulières concernant les hydrocarbures, les substances liquides nocives et les produits chimiques dangereux, les eaux usées, les ordures, les substances polluantes, les systèmes antisalissures et les eaux grises. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux usées Navigation
Législation québécoise		
Code civil du Québec (RLRQ, c. CCQ-1991)	<ul style="list-style-type: none"> Désignation comme propriété de l'État du lit des lacs et cours d'eau navigables et flottables jusqu'à la « ligne de hautes eaux ». Règles générales concernant l'appropriation, la circulation et l'utilisation et la conservation de la qualité de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) <i>(RLRQ, c. Q-2)</i>	Cadre législatif en matière d'environnement au Québec Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). <ul style="list-style-type: none"> • Dispositions relatives aux milieux humides et hydriques, plus précisément, éviter la perte de ces milieux et favoriser les projets minimisant leurs impacts sur ces milieux. • Exigences quant aux demandes de certificats d'autorisation (CA) pour des projets situés dans ces milieux. • Mesures de compensation pour des travaux à impacts négatifs inévitables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Conservation
Règlement sur l'application de l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement <i>(RLRQ, c. Q-2, r. 2)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Soustraction à une autorisation du ministre (MDDELCC) de certains travaux d'aqueduc ou d'égout à faible incidence environnementale (municipalités et campements industriels temporaires). • Regroupement de certaines demandes d'autorisation de travaux d'aqueduc et d'égout dans des plans quinquennaux des municipalités. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Eau potable • Eaux pluviales • Eaux usées
Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement <i>(RLRQ, c. Q-2, r. 3)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Définition des interventions, des types de projets ou d'activités (dans un cours d'eau, un lac ou un milieu humide) qui ne requièrent pas de certificat d'autorisation (CA) en vertu de l'article 22 de la LQE. • Règles pour les interventions et les constructions requérant un CA. • Exigences quant aux demandes de CA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Eaux usées
Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel <i>(RLRQ, c. Q-2, r. 5)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Assujettissement à l'obtention d'une attestation d'assainissement pour les établissements industriels des secteurs des pâtes et papiers, de l'industrie minérale et de l'industrie de la première transformation des métaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Industrie
Règlement concernant le cadre d'autorisation de certains projets de transfert d'eau hors du bassin du fleuve Saint-Laurent <i>(RLRQ, c. Q-2, r. 5.1)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. • Interdiction des transferts d'eau à l'extérieur du bassin du Saint-Laurent. • Encadrement serré de certains cas d'exception liés exclusivement à l'approvisionnement en eau potable dans des municipalités comprises minimalement dans une MRC chevauchant la ligne de partage des eaux. <ul style="list-style-type: none"> ○ Demande d'autorisation et conditions. ○ Détermination des quantités d'eau transférées ou consommées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement • Eau potable • Quantité • Industrie • Municipal

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Règlement sur les carrières et sablières (RLRQ, c. Q-2, r. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Définition des activités nécessitant un certificat d'autorisation ou sa modification en vertu de l'article 22 de la LQE. • Détermination de normes de localisation. <ul style="list-style-type: none"> ○ Distance minimale de 30 m d'un milieu hydrique ou d'un marécage et de 100 m d'une tourbière ouverte. ○ Distance de 1 km d'une prise d'eau potable (sauf exception). • Prévention de la pollution des eaux (normes de pH et de concentrations en hydrocarbures pétroliers et matières en suspension). • Définition des conditions de restauration du sol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées • Industrie
Règlement sur la circulation de véhicules motorisés dans certains milieux fragiles (RLRQ, c. Q-2, r. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction de courses et de compétitions dans certains milieux fragiles, dont les milieux humides. • Interdiction de véhicules motorisés (sauf motoneiges) dans certains milieux fragiles du littoral du Saint-Laurent en aval du pont Laviolette (Trois-Rivières). <ul style="list-style-type: none"> ○ Les milieux fragiles du littoral du lac Saint-Pierre ne sont pas protégés par cette disposition. ○ Plusieurs exceptions, par exemple pour les activités reliées à la chasse, à la pêche ou au piégeage ou pour l'accès à une propriété privée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Récréotourisme
Règlement sur les déchets biomédicaux (RLRQ, c. Q-2, r. 12)	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion et transport des déchets biomédicaux. <ul style="list-style-type: none"> ○ Interdiction de tout rejet dans un réseau d'égout. • Définition des activités nécessitant un certificat d'autorisation et une étude d'impact. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées • Industrie
Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (RLRQ, c. Q-2, r. 14)	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. • Établissement des exigences relatives au suivi et à la déclaration des quantités d'eau prélevées au Québec, entre autres : <ul style="list-style-type: none"> ○ Obligation pour tout grand premier préleveur (>75 000 L/jour) d'effectuer une déclaration générale annuelle. ○ Conditions relatives aux équipements de mesure. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement • Quantité • Industrie • Municipal
Règlement sur les effluents liquides des raffineries de pétrole (RLRQ, c. Q-2, r. 16)	<ul style="list-style-type: none"> • Définition des normes pour les rejets d'huiles, de graisses, de phénols, de matières en suspension et d'autres contaminants dans l'environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées • Industrie

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (RLRQ, c. Q-2, r. 18)	<ul style="list-style-type: none"> Encadrement de l'aménagement, l'exploitation, la fermeture et le suivi post-fermeture des lieux d'enfouissement de sols contaminés. Conditions générales sur l'aménagement d'un lieu d'enfouissement de sols contaminés. <ul style="list-style-type: none"> Interdiction d'aménager dans une zone d'inondation de récurrence de 100 ans. Zone tampon d'une largeur minimale de 50 m ne comportant aucun cours ou plan d'eau. Distance minimale de 1 km à l'amont hydraulique de toute prise d'eau de surface d'un réseau d'aqueduc. Interdiction d'aménager à l'intérieur de l'aire d'alimentation d'un ouvrage de captage d'eau souterraine destiné à l'alimentation d'un réseau d'aqueduc ou au-dessus d'une nappe libre au potentiel aquifère élevé. Exigences quant à l'étanchéité, le captage et le traitement du lixiviat ainsi que le captage des eaux de surface des lieux d'enfouissement. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité Industrie
Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (RLRQ, c. Q-2, r. 19)	<ul style="list-style-type: none"> Règlementation de l'établissement, l'exploitation et la fermeture des installations d'enfouissement et d'incinération des matières résiduelles. Zone tampon d'une largeur minimale de 50 m ne comportant aucun cours ou plan d'eau autour des lieux d'enfouissement technique et en tranchée. Normes de localisation protégeant les installations de captage des eaux de surface ou souterraines, les zones inondables et les zones à fort potentiel aquifère. Distance minimale, mesurée à partir de la LHE, d'au moins 150 m entre certaines catégories de lieu d'enfouissement et tout cours ou plan d'eau (incluant étangs, marais et marécages). 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité Industrie
Règlement sur les aqueducs et égouts privés (RLRQ, c. Q-2, r. 4.01)	<ul style="list-style-type: none"> Conformité des constructions et installations d'équipement d'aqueduc et d'égout à l'autorisation délivrée en vertu de l'article 32 de la LQE. Permis d'exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> Eau potable Eaux usées
Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (RETEURI) (RLRQ, c. Q-2, r. 22)	<p>Encadrement de l'évacuation et du traitement des eaux usées de résidences, bâtiments et lieux non raccordés à des réseaux d'égout municipaux ni à des ouvrages d'assainissement collectifs.</p> <ul style="list-style-type: none"> Prohibition de rejeter dans l'environnement des eaux usées sans traitement approprié. Demande de permis à la municipalité locale. Établissement des variantes orientant le choix d'un dispositif de traitement des eaux usées. Normes de localisation selon l'étanchéité des systèmes de traitement. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux usées Municipal
Règlement sur les exploitations agricoles (REA) (RLRQ, c. Q-2, r. 26)	<p>Protection de l'environnement contre la pollution causée par certaines activités agricoles.</p> <ul style="list-style-type: none"> Normes sur les distances qui doivent séparer les cours d'eau des zones d'épandage de matières fertilisantes ou des installations d'élevage. Utilisation des rampes d'épandage. Exigences quant aux installations de stockage des déjections animales. Gestion des matières fertilisantes à l'aide du Plan agroenvironnemental de fertilisation. Retrait du bétail des plans d'eau et des bandes riveraines. Interdiction d'augmenter les superficies en culture pour certaines municipalités dans des bassins versants dégradés. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité Agriculture

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers (RLRQ, c. Q-2, r. 27)	<ul style="list-style-type: none"> Règlementation quant aux eaux usées, dont celles liées à la gestion des matières résiduelles de fabrique. Obligations de respect de normes environnementales de la qualité des effluents et d'autosurveillance. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux usées Industrie
Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées (ROMAEU) (RLRQ, c. Q-2, r. 34.1)	<ul style="list-style-type: none"> Attestations d'assainissement pour chaque ouvrage municipal d'assainissement des eaux usées. Intégration des exigences de la Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales du Conseil canadien des ministres de l'Environnement. Normes de rejet à l'effluent et normes applicables aux débordements d'eaux usées brutes. Suivi des rejets et des débordements. Obligation pour tout réseau d'égout domestique, pseudo-domestique ou unitaire d'être relié à une station d'épuration. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux usées Municipal
Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) (RLRQ, c. Q-2, r. 35)	<ul style="list-style-type: none"> Détermination d'un cadre normatif minimal devant être appliqué par les municipalités. Précision des types d'interventions permises dans les rives, le littoral et les plaines inondables. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux pluviales Industrie Municipal Agriculture
Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RLRQ, c. Q-2, r. 35.2)	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre du régime d'autorisation des prélèvements d'eau et définition des critères d'assujettissement à une autorisation Règlementation de la protection des sources destinées à l'alimentation en eau potable. <ul style="list-style-type: none"> Mesures concernant les activités d'exploration et d'exploitation pétrolières et gazières (sondage stratigraphique et sites de forages). Mesures concernant les activités agricoles (distance d'épandage d'un site de prélèvement d'eau souterraine en fonction de sa vulnérabilité). 	<ul style="list-style-type: none"> Eau potable Eaux souterraines Prélèvement Industrie Agriculture
Règlement sur la protection des eaux contre les rejets des embarcations de plaisance (RLRQ, c. Q-2, r. 36)	<p>Protection des eaux de certains lacs et certaines rivières inscrits en annexe Application par les municipalités locales.</p> <ul style="list-style-type: none"> Interdiction de rejet de tous rebus organiques ou inorganiques (autres que les eaux grises et les rejets des systèmes de propulsion, de refroidissement et d'élimination des eaux de cales). Obligations quant aux toilettes fixes ou portatives à bord des embarcations. Les eaux du lac Saint-Pierre et de son archipel ne sont pas protégées par ce règlement. 	<ul style="list-style-type: none"> Navigation de plaisance Eaux usées
Règlement sur la qualité de l'eau potable (RLRQ, c. Q-2, r. 40)	<ul style="list-style-type: none"> Normes de qualité de l'eau potable à satisfaire pour tous les systèmes de distribution d'eau destinée à la consommation humaine. Obligation de contrôle de la qualité de l'eau (suivi et traitement) pour les systèmes desservant plus de 20 personnes. Exigences de qualification des opérateurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Eau potable Municipal

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Règlement sur la redevance exigible pour l'utilisation de l'eau (RLRQ, c. Q-2, r. 42.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Assujettissement à une redevance des utilisateurs utilisant 75 m³ d'eau ou plus par jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Taux de 0,0025 \$/m³ pour la plupart des industries. ○ Taux de 0,07 \$/m³ pour certaines industries (p. ex. fabrication de boissons, extraction de pétrole et de gaz). • Redevances versées au Fonds vert afin d'assurer la gouvernance de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement • Quantité • Industrie
Règlement sur les usines de béton bitumineux (RLRQ, c. Q-2, r. 48)	<ul style="list-style-type: none"> • Exigence d'un certificat d'autorisation conformément à l'article 22 de la LQE. • Normes de localisation. <ul style="list-style-type: none"> ○ Distance minimale de 100 m de tout lac naturel et de 60 m de tout ruisseau, rivière, fleuve et milieu humide (sauf exception). • Prévention de la pollution des eaux (normes de pH et de concentrations en huiles, graisses, goudrons d'origine minérale et matières en suspension). 	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées • Industrie
Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (RLRQ, c. A-18.1)	<p>Loi instituant le régime forestier québécois</p> <p>Application relevant du ministre des Forêts, de la Faune et des Parcs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Industrie
Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RLRQ, c. A-18.1, r. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Protection des rives, des lacs et des cours d'eau. <ul style="list-style-type: none"> ○ Dispositions prescrivant la conservation d'une lisière boisée sur les rives de certains milieux humides, cours d'eau et plan d'eau. • Protection de la qualité de l'eau, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bande de protection le long de cours d'eau en ce qui concerne le passage de la machinerie. ○ Détournement des eaux de ruissellement de la surface de chemins et d'ornières vers une zone de végétation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Industrie
Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU) (RLRQ, c. A-19.1)	<p>Application relevant du ministre des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Harmonisation des schémas d'aménagement et de développement (SAD) des MRC avec la PPRLPI. • Conformité des règles d'urbanisme des municipalités avec le SAD des MRC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité • Eaux pluviales
Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (RLRQ, c. C-6.2)	<p>Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.</p> <p>Entrée en vigueur grâce au <i>Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection</i> (RLRQ, c. Q-2, r. 35.2).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définition de l'eau comme ressource collective. • Gestion intégrée et concertée de la ressource en eau et des milieux associés dans les unités hydrographiques désignées, en particulier dans l'unité hydrographique du Saint-Laurent. • Établissement du régime d'autorisation pour les prélèvements d'eau. • Interdiction de transférer hors du bassin du fleuve Saint-Laurent l'eau qui y est prélevée (sauf exception). • Précision du rôle des organismes de bassin versant et des tables de concertation régionales. • Élaboration et mise en œuvre, par le ministre, de programmes visant à restaurer et à créer de nouveaux milieux humides et hydriques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux pluviales • Prélèvement • Quantité • Conservation

LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Loi sur les compétences municipales (LCM) (RLRQ, c. C-47.1)	Application relevant du ministre des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire. <ul style="list-style-type: none"> Énoncé des compétences des municipalités locales et des municipalités régionales de comté, notamment en ce qui concerne les cours d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux pluviales Municipal
Loi concernant des mesures de compensation pour la réalisation de projets affectant un milieu humide ou hydrique (RLRQ, c. M-11.4)	Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <ul style="list-style-type: none"> Le ministre peut exiger du demandeur d'autorisation des mesures de compensation visant notamment la restauration, la création, la protection ou la valorisation écologique d'un milieu humide, hydrique ou terrestre, et ce, dans le cadre d'une demande d'autorisation en vertu des articles 22 ou 32 de la LQE pour un projet affectant un milieu humide ou hydrique. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux pluviales
Loi sur les pesticides (RLRQ, c. P-9.3)	Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et, en partie, du ministre des Affaires municipales et de l'Organisation du territoire.	<ul style="list-style-type: none"> Qualité Agriculture
Code de gestion des pesticides (RLRQ, c. P-9.3, r. 1)	<ul style="list-style-type: none"> Normes d'utilisation des pesticides. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualité Agriculture
Loi sur le régime des eaux (RLRQ, c. R-13)	Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et du ministre des Ressources naturelles et de la Faune. <ul style="list-style-type: none"> Accorde une priorité d'usage pour l'exploitation des forces hydrauliques, la régularisation de l'eau et le flottage du bois. Encadrement de la construction et du maintien d'ouvrages dans les lacs et cours d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Eaux pluviales Quantité
Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (LCCMHH) (projet de loi n° 132, 2017, c. 14 [RLRQ, c. Q-2])	Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <ul style="list-style-type: none"> Objectif d'aucune perte nette. Objectif de réduire la perte de milieux humides, de faire des gains nets de ces milieux et de prévoir des mesures de compensation. Pouvoir du ministre d'élaborer et de mettre en œuvre des programmes favorisant la restauration et la création de milieux humides et hydriques. Exigence pour le ministre de produire différents bilans en lien avec l'évolution de la situation des milieux humides et hydriques. Obligation pour les MRC d'élaborer et de mettre en œuvre un plan régional des milieux humides et hydriques. 	<ul style="list-style-type: none"> Conservation Qualité Quantité

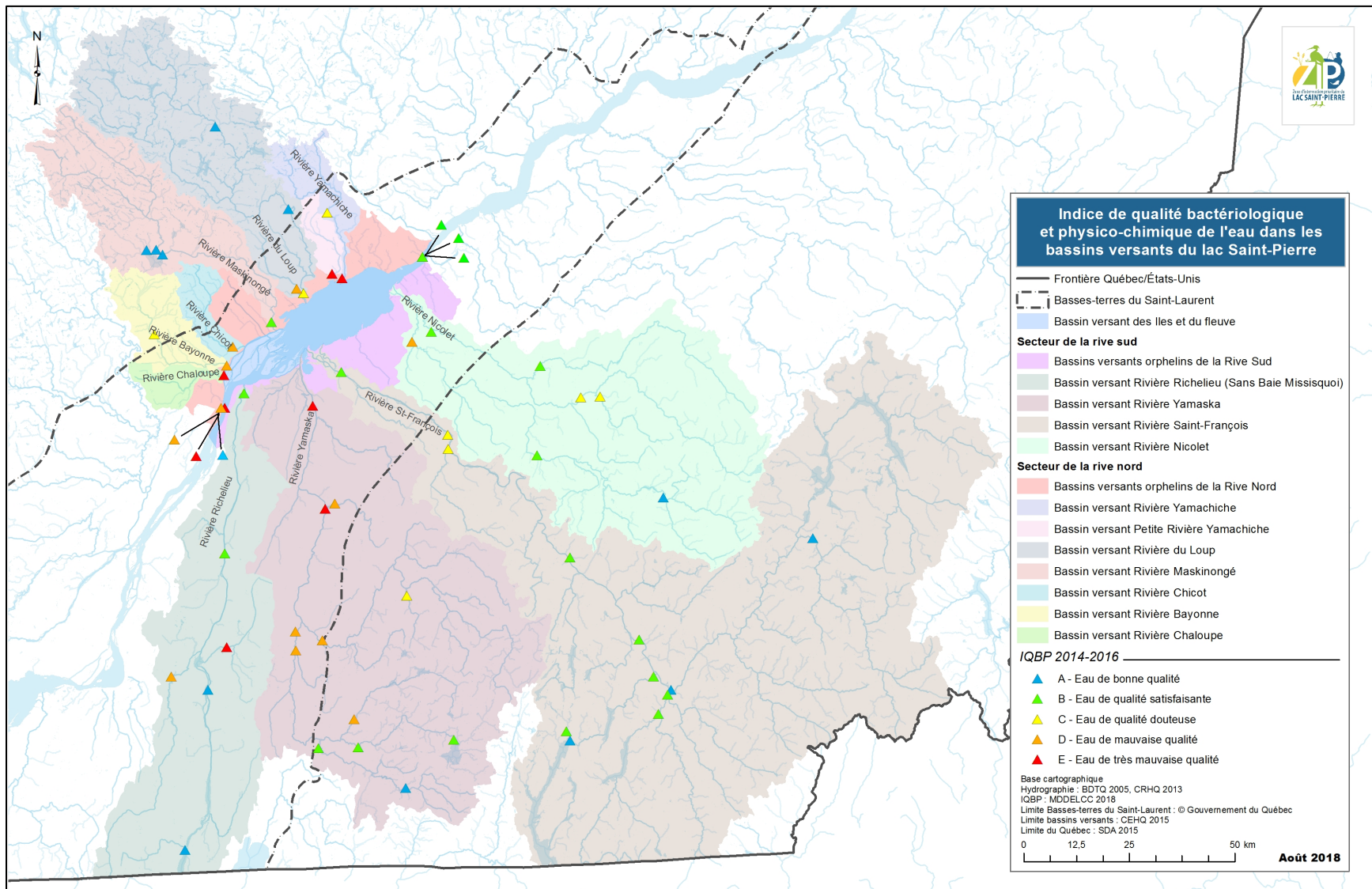
LOI, RÈGLEMENT OU POLITIQUE	FONCTIONS DU TEXTE ET ÉLÉMENTS IMPORTANTS	ENJEUX
Loi sur le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (RLRQ, c. M-30.001)	<p>Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rôle du ministre dans le maintien des fonctions écologiques rendues par les écosystèmes composant le patrimoine naturel. • Rôle du ministre dans la mise en place de mesures relatives à la conservation, la restauration ou la création de milieux humides et hydriques. • Rôle du ministre pour la protection, l'utilisation durable et la surveillance des aires protégées qui relèvent de sa responsabilité et des autres milieux bénéficiant de mesures particulières de conservation, notamment les milieux humides et hydriques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation • Qualité • Quantité
Loi sur la conservation du patrimoine naturel (LCPN) (RLRQ, c. C-61.01)	<p>Application relevant du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensemble de mesures établies afin d'assurer le maintien du patrimoine naturel et des écosystèmes qui le composent et qui visent notamment leur préservation, leur protection, leur restauration et leur utilisation. • Exigences quant aux demandes de CA. • Régime d'activités dans les réserves écologiques, les réserves aquatiques, les réserves de biodiversité et les paysages humanisés projetés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation • Qualité

Annexe 2. Indice de qualité bactériologique et physicochimique des stations situées dans la zone littorale du lac Saint-Pierre, pour la période 2014 à 2016

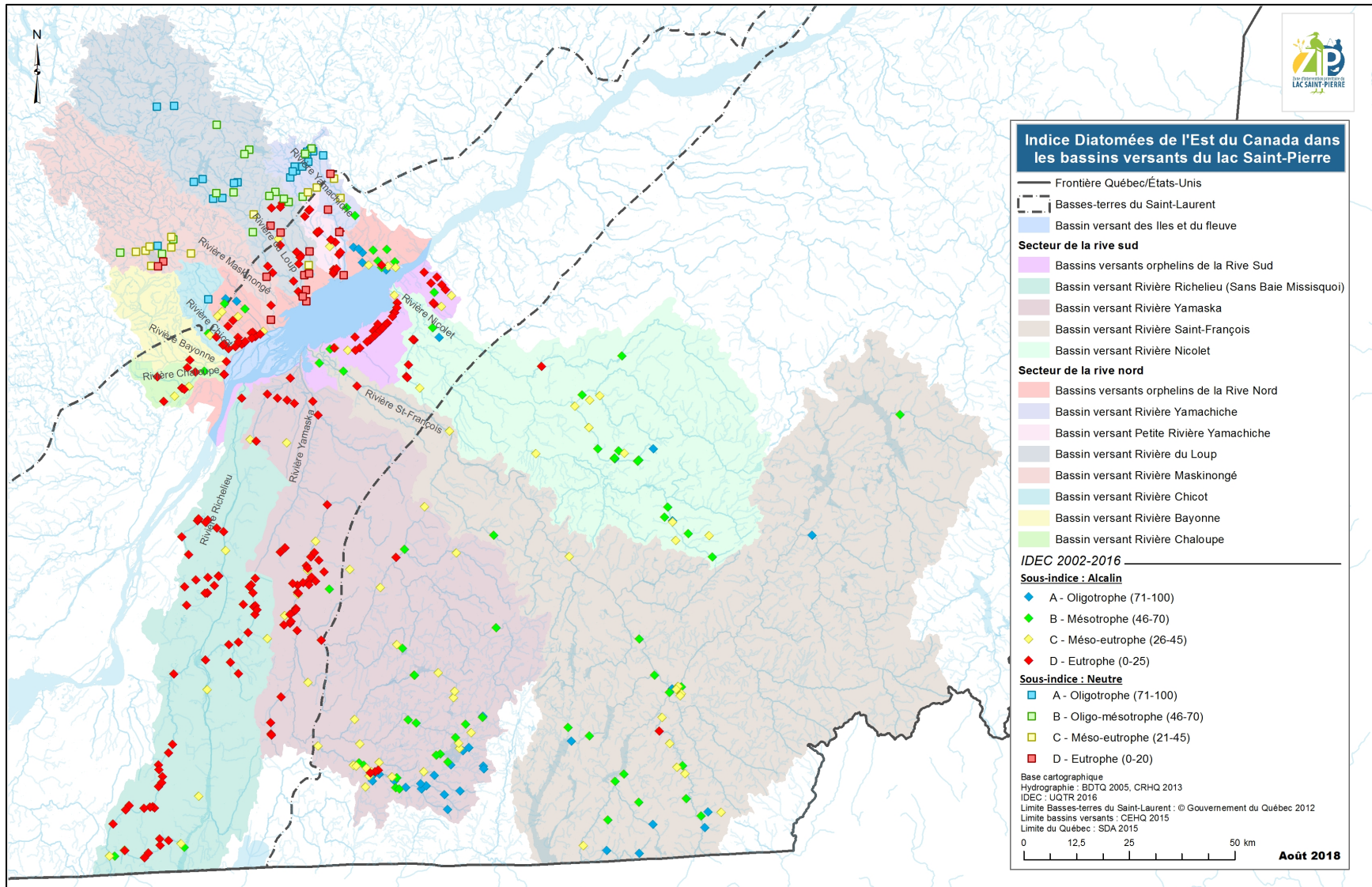
Cours d'eau	Valeur IQBP	Classe IQBP	Paramètres problématiques déclassant (autres paramètres problématiques)
Rive nord			
La Chaloupe, Rivière	10	E	Nitrates-nitrites (NO_x) Phosphore (PTOT)
Bayonne, Rivière	33	D	Phosphore (PTOT) Matières en suspension (MES), nitrates-nitrites (NO _x)
Chicot, Rivière	36	D	Phosphore (PTOT) Matières en suspension (MES), nitrates-nitrites (NO _x)
Maskinongé, Rivière	71	B	Matières en suspension (MES)
Du Loup, Petite rivière	20	D	Matières en suspension (MES) Phosphore (PTOT), nitrates-nitrites (NO _x), coliformes fécaux (CF)
Du Loup, Rivière	53	C	Matières en suspension (MES)
Yamachiche, Petite rivière	0	E	Matières en suspension (MES) Phosphore (PTOT), nitrates-nitrites (NO _x), coliformes fécaux (CF)
Yamachiche, Rivière	19	E	Matières en suspension (MES) Phosphore (PTOT), nitrates-nitrites (NO _x)
Rive sud			
Richelieu, Rivière	62	B	Matières en suspension (MES)
Yamaska, Rivière	0	E	Chlorophylle-a (CHLA) Phosphore (PTOT), nitrates-nitrites (NO _x), matières en suspension (MES)
Saint-François, Rivière	69	B	Matières en suspension (MES)
Saint-Zéphirin, Rivière	25	D	Phosphore (PTOT) Phosphore (PTOT), nitrates-nitrites (NO _x), chlorophylle-a (CHLA)
Nicolet Sud-Ouest, Rivière	49	C	Chlorophylle-a (CHLA)
Nicolet, Rivière	63	B	Nitrates-nitrites (NO_x)
Fleuve (amont)			
Sorel-Tracy (nord)	39	D	Coliformes fécaux (CF)
Sorel-Tracy (centre)	6	E	Coliformes fécaux (CF)
Sorel-Tracy (sud)	88	A	Matières en suspension (MES)
Fleuve (aval)			
Trois-Rivières (nord)	67	B	Coliformes fécaux (CF)
Trois-Rivières (centre)	67	B	Coliformes fécaux (CF)
Trois-Rivières (sud)	76	B	Coliformes fécaux (CF)

Source des données : Données extraites et adaptées de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (2018⁴⁸)

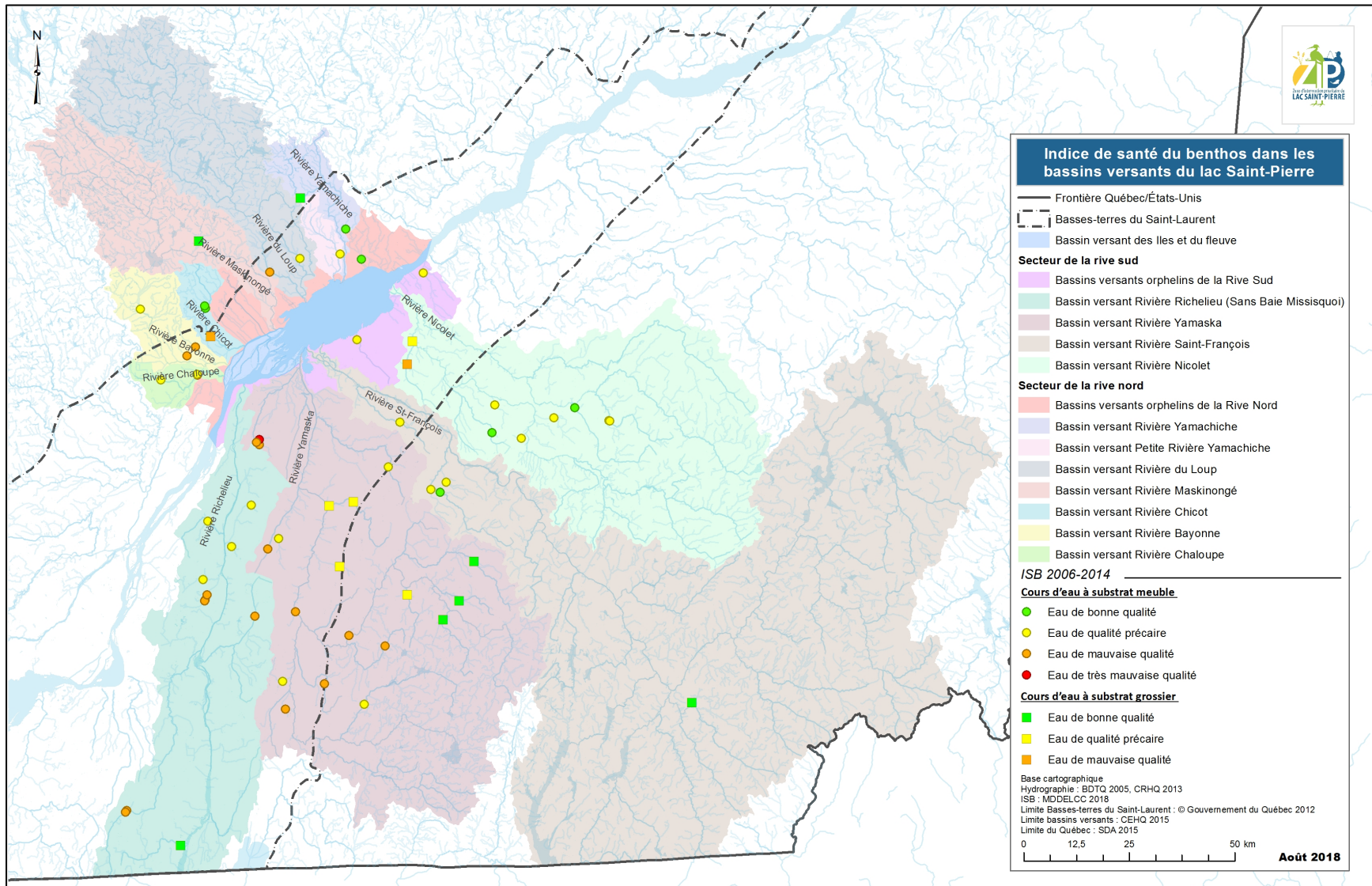
Annexe 3. Indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, pour la période 2014-2016⁴⁸



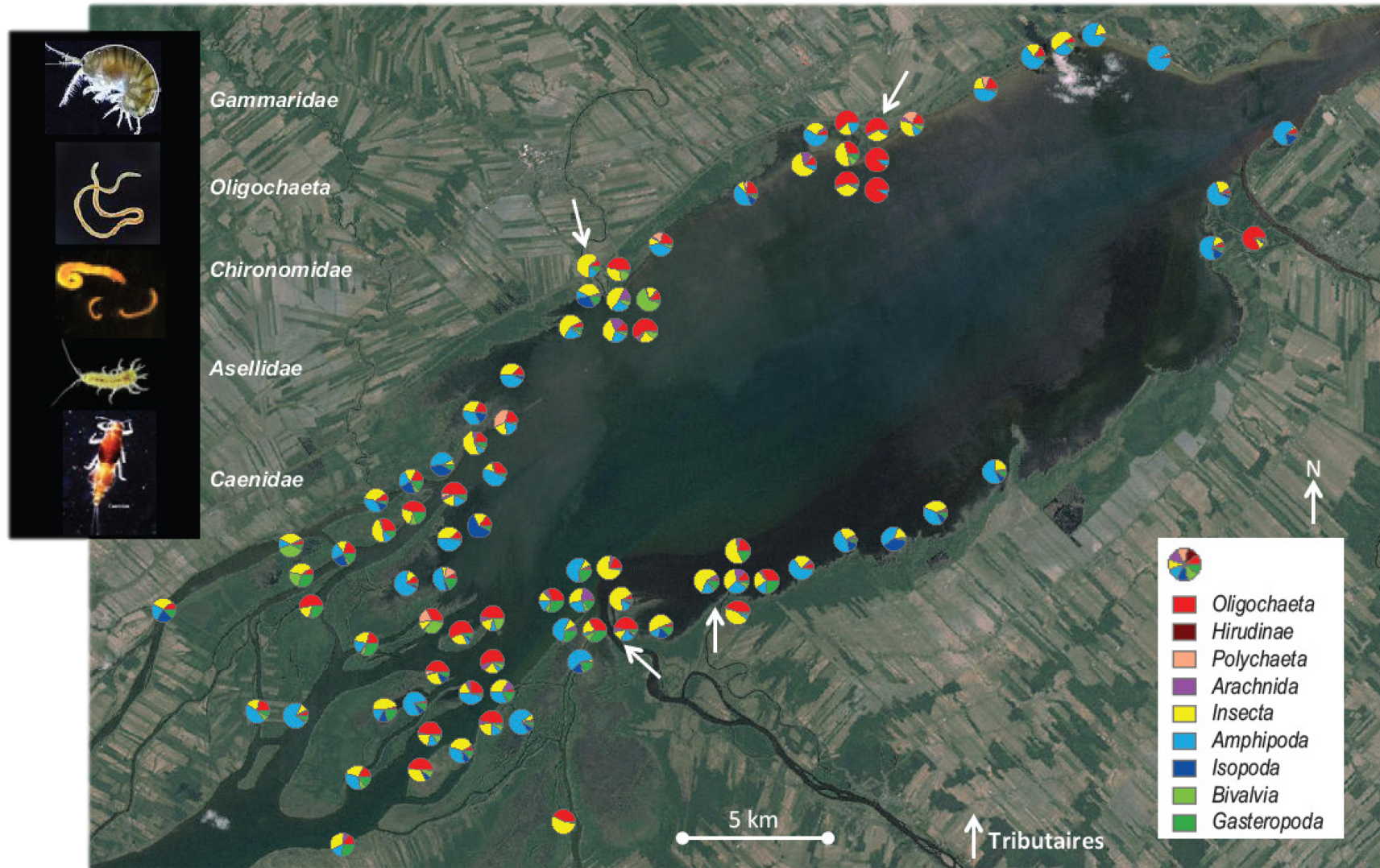
Annexe 4. Indice Diatomées de l'Est du Canada dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, échantillonnages entre 2002 et 2016⁴⁹



Annexe 5. Indice de santé du benthos dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre, échantillonnages entre 2003 et 2015⁴⁸



Annexe 6. Répartition des macroinvertébrés dominants au lac Saint-Pierre, entre 2004 et 2011⁴⁴



Annexe 7. Bilan des charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension dans les principaux tributaires directs du lac Saint-Pierre, pour la période 2009-2012

Bassin versant	Superficie		Phosphore (P)			Azote (N)			Matières en suspension (MES)		
	km ²	%	Charge kg/an	Contribution relative (%)	Charges exportées (kg/ha)	Charge kg/an	Contribution relative (%)	Charges exportées (kg/ha)	Charge kg/an	Contribution relative (%)	Charges exportées (kg/ha)
Rive nord^a	3 674	15,0	203 893	14,1	0,82	2 424 000	9,0	13,31	116 053 000	11,7	596,29
La Chaloupe	142	0,6	10 504	0,7	0,74	408 000	1,5	28,73	6 071 000	0,6	427,54
Bayonne	364	1,5	34 053	2,4	0,94	595 000	2,2	16,35	24 816 000	2,5	681,76
Chicot	175,0	0,7	10 585	0,7	0,60	135 000	0,5	7,71	5 775 000	0,6	330,00
Maskinongé	1 095	4,5	37 932	2,6	0,35	343 000	1,3	3,13	17 208 000	1,7	157,15
Du Loup	1 523	6,2	60 597	4,2	0,40	458 000	1,7	3,01	18 295 000	1,9	120,12
Petite rivière Yamachiche	109	0,4	14 737	1,0	1,35	296 000	1,1	27,16	14 913 000	1,5	1 368,17
Yamachiche	266	1,1	35 485	2,5	1,33	189 000	0,7	7,11	28 975 000	2,9	1 089,29
Rive sud^a	20 863	85,0	1 239 944	85,9	0,82	24 593 000	91,0	17,12	872 032 000	88,3	585,46
Richelieu	2 488	10,1	431 101	29,9	1,73	10 045 000	37,2	40,37	345 526 000	35,0	1 388,77
Yamaska	4 771	19,4	409 306	28,3	0,86	7 028 000	26,0	14,73	187 306 000	19,0	392,59
Saint-François	10 203	41,6	248 875	17,2	0,24	4 452 000	16,5	4,36	222 864 000	22,6	218,43
Nicolet	3 401	13,9	150 662	10,4	0,44	3 068 000	11,4	9,02	116 336 000	11,8	342,06
Total^b	24 537	100	1 443 837	100	0,82	27 017 000	100	15,22	988 085 000	100	590,88

a : Les sous-totaux de superficies, des charges (kg/an) et de la contribution relative (%) ont été calculés pour chacun des tributaires directs des rives nord et sud du lac Saint-Pierre. Les charges exportées (kg/ha) des tributaires directs de chaque rive du lac Saint-Pierre (sud et nord) correspondent à la moyenne calculée pour chaque bassin versant.

b : Le total a été calculé à partir des sous-totaux (en gras) de la rive nord et de la rive sud, selon la même méthode de calcul que pour les sous-totaux.

Source des données : Données adaptées de Patoine (2017⁵²).

Annexe 8. Municipalités des bassins versants des tributaires directs du lac Saint-Pierre qui réglementent l'usage des pesticides, en date de mai 2018

Région administrative	Municipalité
Centre-du-Québec	<ul style="list-style-type: none"> • Drummondville • Nicolet • Saint-Ferdinand • Saint-Rémi-de-Tingwick
Chaudière-Appalaches	<ul style="list-style-type: none"> • Adstock • Disraeli • Saint-Joseph-de-Coleraine
Estrie	<ul style="list-style-type: none"> • Asbestos • Austin • Ayer's Cliff • Dudswell • East Angus • Magog • North Hatley • Orford • Saint-Denis-de-Brompton • Saint-Herménégilde • Sherbrooke
Lanaudière	<ul style="list-style-type: none"> • Notre-Dame-des-Prairies
Montérégie	<ul style="list-style-type: none"> • Beloeil • Bolton-Ouest • Boucherville • Brossard • Granby • Lac-Brome • Lacolle • Longueuil • Mont-Saint-Hilaire • Napierville • Otterburn Park • Saint-Bruno-de-Montarville • Saint-Liboire • Saint-Marc-sur-Richelieu • Shefford • Waterloo

Source des données : Liste du MDDELCC des municipalités réglementant l'usage des pesticides⁶⁰ et données du recensement national de 2016¹⁷.

Annexe 9. Fréquence de détection (%) et nombre de pesticides détectés dans le lac Saint-Pierre en 2008, 2014 et 2015, par station d'échantillonnage

Pesticide	Année	2008		2014					2015			
	Stations	A	B	1	2	3	4	5	1	3	4	6
Herbicides												
Atrazine		83,3	88,2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DEA		27,8	35,3	77,8	100	88,9	88,9	77,8	40	50	80	50
DIA		11,1	11,7	11,1	22,2	11,1	11,1	—	—	—	10	—
S-métolachlore		77,8	82,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Métribuzine		16,7	5,9	55,5	55,5	33,3	55,5	55,5	10	10	10	—
Diméthénamide		5,5	5,9	44,4	22,2	44,4	33,3	44,4	—	—	—	—
Simazine		5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EPTC		5,5	5,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fongicides												
Glyphosate		27,8	29,4	33,3	22,2	33,3	33,3	11,1	50	60	30	20
AMPA		—	11,7	11,1	11,1	11,1	11,1	—	10	—	—	—
Glufosinate		NA	NA	—	—	—	—	—	10	—	—	—
Insecticides												
Bentazone		33,3	29,4	33,3	22,2	33,3	33,3	11,1	50	60	30	20
Dicamba		33,3	23,5	55,5	33,3	33,3	33,3	33,3	10	10	—	—
2,4-D		11,1	11,8	22,2	—	—	11,1	11,1	—	—	—	—
MCPA		5,5	5,9	33,3	11,1	22,2	22,2	11,1	10	10	20	10
Bromoxynil		—	—	11,1	—	22,2	22,2	—	10	—	—	—
Mésotrione		NA	NA	55,5	33,3	44,4	33,3	22,2	50	60	50	60
Imazéthapyr		NA	NA	55,5	33,3	55,5	44,4	55,5	20	20	30	30
Flumetsulam		NA	NA	22,2	22,2	11,1	22,2	11,1	10	—	—	—
Rimsulfuron		NA	NA	44,4	33,3	22,2	33,3	22,2	—	—	10	—
Nicosulfuron		NA	NA	22,2	22,2	22,2	33,3	11,1	—	—	10	—
Imazapyr		NA	NA	—	—	—	—	—	—	—	10	—
Insecticides												
Thiaméthoxame		NA	NA	100	66,7	66,7	66,7	77,8	70	90	80	70
Clothianidine		NA	NA	77,8	33,3	66,7	55,5	55,5	50	90	70	90
Chlorantraniliprole		NA	NA	22,2	11,1	11,1	22,2	22,2	—	—	—	—
Chlorpyrifos		—	5,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbaryl		5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-Naphtol		5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fongicides												
Myclobutanil		11,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n^{bre} d'échantillons		18	17	9	9	9	9	9	10	10	10	10
n^{bre} de pesticides détectés		16	14	21	19	20	21	18	16	12	15	10

Note : — : Produit non détecté; NA : produit non analysé.

Source des données : Données adaptées de Giroux (2018⁵⁷).

Annexe 10. Concentrations maximales mesurées (µg/L) des pesticides détectés dans le lac Saint-Pierre en 2008, 2014 et 2015, par station d'échantillonnage

Pesticide	CVAC (µg/L)	2008		2014					2015			
		A	B	1	2	3	4	5	1	3	4	6
Herbicides												
Atrazine	1,8	1,4	1,1	1,8	0,98	1,8	1,9	0,24	0,41	0,23	0,62	0,11
DEA	—	0,18	0,1	0,12	0,09	0,16	0,14	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05
DIA	—	0,1	0,05	0,03	0,02	0,04	0,03	—	—	—	0,01	—
S-Métolachlore	7,8	2,3	1,08	3,9	2,1	3,6	4,4	0,33	0,4	0,4	0,88	2,2
Métribuzine	1	0,08	0,02	0,28	0,86	0,28	0,46	0,05	0,01	0,01	0,02	—
Diméthénamide	5,6	0,1	0,07	0,17	0,07	0,16	0,24	0,06	—	—	—	—
Simazine	10	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EPTC	39	0,03	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Glyphosate	800	0,09	1,1	1,4	0,81	1,6	1,6	0,16	0,22	0,14	0,48	0,08
AMPA	—	—	0,36	0,31	0,23	0,35	0,3	—	—	—	—	—
Glufosinate	—	NA	NA	—	—	—	—	—	0,05	—	—	—
Bentazone	510	0,09	0,12	0,39	0,37	0,53	0,45	0,06	0,45	0,1	0,1	0,1
Dicamba	10	0,21	0,06	0,1	0,09	0,1	0,12	0,08	0,08	0,05	—	—
2,4-D	220	0,08	0,07	0,33	—	—	0,08	0,02	—	—	—	—
MCPA	2,6	0,02	0,02	0,12	0,05	0,08	0,11	0,03	0,24	0,01	0,11	0,02
Bromoxynil	5	—	—	0,05	—	0,03	0,03	—	0,03	—	—	—
Mésotrione	—	NA	NA	0,47	0,17	0,4	0,61	0,23	0,11	0,1	0,18	0,69
Imazéthapyr	8,1	NA	NA	0,31	0,16	0,24	0,23	0,078	0,11	0,046	0,094	0,17
Flumetsulam	3,1	NA	NA	0,014	0,019	0,01	0,024	0,008	0,009	—	—	—
Rimsulfuron	4,6	NA	NA	0,008	0,004	0,005	0,007	0,003	—	—	0,002	—
Nicosulfuron	—	NA	NA	0,003	0,002	0,004	0,005	0,002	—	—	0,003	—
Imazapyr	—	NA	NA	—	—	—	—	—	—	—	0,009	—
Insecticides												
Thiaméthoxame	0,008 3	NA	NA	0,24	0,076	0,13	0,19	0,085	0,018	0,016	0,04	0,01
Clothianidine	0,008 3	NA	NA	0,077	0,043	0,071	0,11	0,047	0,018	0,014	0,037	0,038
Chlorantraniliprole	—	NA	NA	0,012	0,002	0,007	0,013	0,003	—	—	—	—
Chlorpyrifos	0,002	—	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbaryl	0,2	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-Naphtol	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fongicides												
Myclobutanil	11	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Note₁ : — : Produit non détecté; NA : Produit non analysé.

Note₂ : Les chiffres en gras sont équivalents ou supérieurs à leur valeur respective de CVAC.

Source des données : Données adaptées de Giroux (2018⁵⁷).

Annexe 11. Municipalités sans réseau d'égout et leur population en 2016

Bassin Versant	Municipalités	Population totale
Rive nord		10 624
Bayonne, Rivière		5 645
	Notre-Dame-de-Lourdes	2 783
	Saint-Cléophas-de-Brandon	227
	Saint-Gabriel-de-Brandon	2 635
Maskinongé, Rivière		2 841
	Mandeville	2 189
	Saint-Didace	652
Du Loup, Rivière		302
	Saint-Sévère	302
Yamachiche, Rivière		1 836
	Saint-Élie-de-Caxton	1 836
Rive sud		42 770
Richelieu, Rivière		5 881
	Calixa-Lavallée	523
	Hemmingford	1 900
	Saint-Blaise-sur-Richelieu	1 909
	Saint-Bernard-de-Lacolle	1 549
Yamaska, Rivière		11 310
	Béthanie	322
	Bolton-Ouest	630
	Brome	296
	Durham-Sud	1 043
	East Farnham	554
	Roxton	1 086
	Sainte-Cécile-de-Milton	2 160
	Sainte-Christine	730
	Saint-Edmond-de-Grantham	762
	Saint-Eugène	1 126
	Saint-Gérard-Majella	242
	Saint-Joachim-de-Shefford	1 301
	Stukely-Sud	1 058
	Saint-François, Rivière	
Saint-Majorique-de-Grantham		1 388
Saint-Pie-de-Guire		451
Sainte-Praxède		327
Disraeli		1 123
Lefebvre		904
Cleveland		1 541
Ulverton		418
Lingwick		428
Westbury		1 006
Maricourt		416
Saint-Hilaire-de-Dorset		95
Melbourne		1 063
Stanstead-Est		584

Bassin Versant	Municipalités	Population totale
Saint-François, Rivière (suite)	Barnston-Ouest	816
	Austin	1 485
	Hatley	2 106
	Ogden	741
	Hampden	176
	Newport	733
Nicolet, Rivière		9 508
	Ham-Sud	235
	Notre-Dame-de-Ham	411
	Notre-Dame-du-Bon-Conseil	949
	Saint-Camille	529
	Saint-Christophe-d'Arthabaska	3 021
	Sainte-Élizabeth-de-Warwick	372
	Sainte-Hélène-de-Chester	374
	Sainte-Séraphine	355
	Saint-Lucien	1 647
	Saint-Norbert-d'Arthabaska	1 157
	Saint-Rémi-de-Tingwick	458
Bassins versants orphelins		270
	Saint-Elphège	270
Fleuve		626
	La Visitation de l'Île-Dupas	626

Note : Les valeurs en gras correspondent à la population totale pour chaque bassin versant ainsi que pour chaque rive et le fleuve.

Source des données : Données extraites et modifiées de la couche d'informations géographique vectorielle du MDDELCC et du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (2016²⁰³) et données du recensement national de 2016¹⁷.

Annexe 12. Aide financière versée par le programme Prime-Vert, en 2013, ventilé par type d'interventions agroenvironnementales pour les entreprises agricoles situées dans les tributaires directs du lac Saint-Pierre

Pratiques agroenvironnementales		Aide financière versée
Stockage des déjections animales	Ouvrage de stockage	36 786 478 \$
	Aménagement alternatif	575 737 \$
	Traitement	1 695 000 \$
Gestion des effluents de production	Eaux de laiterie	637 892 \$
	Eaux de lavage	50 000 \$
Épandage des fumiers		403 760 \$
Démarche d'accompagnement		666 703 \$
Pratiques de conservation des sols	Couvre-sols	314 812 \$
	Semis direct	1 815 051 \$
Réduction de la pollution diffuse	Retrait permanent	29 097 \$
	Ouvrage hydroagricole, bande riveraine et brise-vent	13 264 018 \$
Réduction des pesticides		1 945 322 \$
Total		58 183 869 \$

Source des données : Données extraites et adaptés des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles du Québec (2013¹²¹)

RÉFÉRENCES DU DOCUMENT

- 1 MASSICOTTE, P. et J.-J. FRENETTE. 2013. A mechanistic-based framework to understand how dissolved organic carbon is processed in a large fluvial lake. *Limnology and Oceanography : Fluids and Environments*, 3, p. 139-155.
- 2 SIMONEAU, M. 2016. Qualité de l'eau du lac Saint-Pierre et de ses tributaires : évolution 1979-2014 et portrait 2012-2014. Présentation. Réunion de la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre. 12 avril 2016, Baie-du-Febvre.
- 3 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. Le lac Saint-Pierre : un joyau à restaurer. MDDEFP. 34 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/doc-synthese.pdf>
- 4 CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC. 2015. Bassins hydrographiques multiéchelles du Québec. Version 1.0. Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Dernière mise à jour en janvier 2015. Couche d'informations géographique vectorielle.
- 5 FRENETTE, J.-J., M. T. ARTS et J. MORIN. 2003. Spectral gradient of downwelling light in a fluvial lake (Lake Saint-Pierre, St. Lawrence River). *Aquatic Ecology*, 37, p. 77-85.
- 6 CENTREAU (Centre de Recherches sur l'eau). 1974. Étude du fleuve Saint-Laurent, aspects physiques et sédimentologiques (rapport général). Université Laval, Québec, 266 p.
- 7 FRENETTE, J.-J., M. T. ARTS, J. MORIN, D. GRATTON et C. MARTIN. 2006. Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre. *Limnology and Oceanography*, 51, p. 2632-2645.
- 8 LAPIERRE, J.-F. et J.-J. FRENETTE. 2009. Effects of macrophytes and terrestrial inputs on fluorescent dissolved organic matter in a large river system. *Aquatic Sciences*, 71, p. 15-24.
- 9 MINGELBIER, M., P. BRODEUR et J. MORIN. 2005. Recommandations concernant les poissons et leurs habitats dans le Saint-Laurent fluvial et évaluation des critères de régularisation du Système lac Ontario–Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche sur la faune. 141 p. Disponible en ligne. URL : ftp://ftp.mrnf.gouv.qc.ca/Public/Defh/Sfa/PDF_OGSL/Mingelbier%20et%20al.%202005%20CMI-IJC.pdf
- 10 FRENETTE, M., C. BARBEAU et J.-L. VERRETTE. 1989. Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent. Hydrotech Inc. Experts-conseils, pour Environnement Canada et Gouvernement du Québec, Projet de mise en valeur du Saint-Laurent, Québec. 185 p.
- 11 HUDON, C. et R. CARRIGAN. 2008. Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint-Pierre, Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65, p. 1165-1180.
- 12 ORGANISME DES BASSINS VERSANTS DE LA CAPITALE (OBV de la Capitale). 2015. Marnage. OBV de la Capitale. URL : <http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic/section-3-problematiques-associees-a-la-quantite-et-a-la-securite/3-3-marnage>.
- 13 CHOQUETTE, C., E. GUILHERMONT et M.-P. GOYETTE NOËL. 2011. La gestion du niveau d'eau des barrages-réservoirs au Québec : aspects juridiques et environnementaux. *Les Cahiers de droit*, 51(3-4), p.827-857.
- 14 COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE (CMI). 2014. Plan 2014 : Régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent, Protection contre les niveaux extrêmes, restauration des milieux humides et préparation aux changements climatiques. CMI. 54 p. Disponible en ligne. URL :

- http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/ijc/E95-2-18-2014-fra.pdf
- 15 SIMONEAU, M. 2017. Qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Pierre : évolution temporelle 1979-2014 et portrait récent 2012-2014. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement. 54 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/qualite-eau-tributaires.pdf>
 - 16 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2018. Stations d'épuration - Émissaire. Système de suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées (SOMAEU) du MELCC et Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO) du MELCC. Couche d'informations géographique extrait le 8 mars 2018 du navigateur cartographique ministériel.
 - 17 STATISTIQUE CANADA. s. d. Provinces, divisions de recensement, municipalités. Base de données du recensement de 2016, version mise à jour le 21 juillet 2017. URL : <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/search-recherche/Lst/results-resultats.cfm?Lang=F&TABID=1&G=1&Geo1=&Code1=&Geo2=&Code2=&GEOCODE=24#>
 - 18 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2014. Utilisation du territoire : Méthodologie et description de la couche d'information géographique. Version 1.0. Gouvernement du Québec. Couche d'informations géographique matricielle obtenue via l'entente ACRIgéo.
 - 19 ALLIANCE POUR UNE GESTION INTÉGRÉE ET RESPONSABLE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE DU DIABLE. s. d. Plan directeur de l'eau. Disponible en ligne. URL : http://www.agirpouurladiable.org/portail/liens/Localisation_et_description_bv.pdf
 - 20 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2012. Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008. Québec. MDDEP, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 97 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/portrait/eaux-surface1999-2008/Portrait_Quebec1999-2008.pdf
 - 21 PELLERIN, S. et M. POULIN. 2013. Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable. 2e édition. Centre de la Science et de la Biodiversité du Québec, 104 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/Analyse-situation-milieux-humides-recommandations.pdf>
 - 22 *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques*, projet de loi n° 132, 2017, c. 14 (RLRQ, c. Q-2, art. 22).
 - 23 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). s. d. Projets de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole – Rivière la Chaloupe. URL: http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroinvertebre/benthos/fiches/la_chaloupe.pdf
 - 24 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Projets de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole- Rivière Chicot. MELCC. URL: http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroinvertebre/benthos/fiches/chicot.pdf
 - 25 ORGANISME DE BASSIN VERSANT DE LA ZONE BAYONNE. 2011. Portrait du bassin versant de la rivière Bayonne. Plan directeur de l'eau du bassin versant de la rivière Bayonne, Saint-Cléophas-de-Brandon. 160 p.
 - 26 ASSOCIATION DE LA GESTION INTÉGRÉE DE LA RIVIÈRE MASKINONGÉ (AGIR Maskinongé). 2017. Plan directeur de l'eau. AGIR Maskinongé. URL : <http://www.agirmaskinonge.com/plan-directeur-de-leau>
 - 27 ORGANISME DES BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES DU LOUP ET DES YAMACHICHE (OBVRLY). 2016. Caractérisation terrain des principaux cours d'eau de l'OBVRLY, 2012 à 2014. Rapport final, Yamachiche, 134 p.

- Disponible en ligne. URL : https://docs.wixstatic.com/ugd/0b7df5_249ac601d5c24a8fa476a35ef5d3ee3d.pdf
- 28 COMITÉ DE CONCERTATION ET DE VALORISATION DE LA RIVIÈRE RICHELIEU (COVABAR). 2014. Plan directeur de l'eau – Version Préliminaire. Portrait et diagnostic du bassin versant de la Rivière Richelieu et de la zone Saint-Laurent. COVABAR, Beloeil. 362 p.
- 29 CONSEIL DE GOUVERNANCE DE L'EAU DES BASSINS VERSANTS DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS (COGESAF). 2006. Analyse du bassin versant de la rivière Saint-François : Partie 1 – Portrait. URL : <http://cogesaf.qc.ca/analyse-du-bassin-versant-de-la-riviere-saint-francois/>
- 30 ORGANISME DE BASSIN VERSANT DE LA YAMASKA (OBV Yamaska). 2014. Plan directeur de l'eau, 2e version. Organisme de bassin versant de la Yamaska, 409 p. Disponible en ligne. URL : <https://drive.google.com/file/d/0B6llpmejajcWFFBYUo3MnBZVTQ/view>
- 31 ORGANISME DE CONCERTATION POUR L'EAU DES BASSINS VERSANTS DE LA RIVIÈRE NICOLET (COPERNIC). 2015. Plan directeur de l'eau (PDE) de la zone Nicolet - Section Portrait. URL : http://www.copernicinfo.qc.ca/COPERNIC_Portrait_Final.pdf
- 32 *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, RLRQ, c. Q-2, r. 35.
- 33 LALIBERTÉ, D. 2011. Teneurs en polybromodiphényléthers (PBDE) dans les poissons du fleuve Saint-Laurent et des lacs et rivières du Québec (2002-2008). Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 48 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/pbde2002-2008/rapport.pdf
- 34 LALIBERTÉ, D. 2016. La contamination des poissons d'eau douce par les toxiques, 3e édition. Suivi de l'état du Saint-Laurent. Plan d'action Saint-Laurent, Gouvernements du Canada et du Québec. 6 p. Disponible en ligne. URL : www.planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Francais/2016_Contamination_des_poissons.pdf
- 35 MINGELBIER, M. et collab. 2008. Les communautés de poissons d'eau douce du Saint-Laurent (suivi de l'état du Saint-Laurent). Plan Saint-Laurent pour un développement durable. 8 p. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/PDFs_accessible/commu_poissons_2008_f_FINAL_v1.0.pdf
- 36 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. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/portrait/Portrait_global_2014_300_FR.pdf
- 37 HÉBERT, S. 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques. 20 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/indice/IQBP.pdf
- 38 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. La qualité de l'eau et les usages récréatifs. MELCC. URL : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/recreative/index.htm>
- 39 LAVOIE, I., S. CAMPEAU, M. GRENIER et P. DILLON. 2006. A diatom-based index for the biological assessment of Eastern Canadian rivers: an application of correspondence analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63, p. 1793-1811.
- 40 CAMPEAU, S., I. LAVOIE et M. GRENIER. 2013. Le suivi de la qualité de l'eau des rivières à l'aide de l'indice IDEC. Guide d'utilisation de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (version 3). Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières. 25 p. Disponible en ligne. URL :

- https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1902/F1076843089_Guide_IDEC_2013.pdf
- 41 ORGANISME DE BASSIN VERSANT DE LA ZONE BAYONNE (OBVZB). s. d. La problématique des lacs au Québec. OBVZB. URL : <https://www.zonebayonne.com/2015/pages/LACS/eutrophisation.html>
- 42 CAMPEAU, S. 2018. Quelle est la différence entre l'IDEC et l'IQBP? Université du Québec à Trois-Rivières. URL : https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=1902&owa_no_fiche=36&owa_bottin=
- 43 ARMELLIN, A. 2010. Les communautés de macroinvertébrés benthiques : un indicateur de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre. Fiche du Programme Suivi de l'état du Saint-Laurent. 8 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/ec/En84-81-2010-fra.pdf
- 44 SAVAGE, C., A. ARMELLIN et M. JEAN. 2013. Les communautés de macroinvertébrés benthiques : un indicateur de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques appliqué au fleuve Saint-Laurent. 2e édition. Fiche du Programme Suivi de l'état du Saint-Laurent. 10 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/ec/En84-81-1-2013-fra.pdf
- 45 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Benthos – Des macroinvertébrés benthiques comme indicateurs de la santé des cours d'eau. MELCC. URL : http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroiinvertebre/benthos/index.htm
- 46 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. 2e édition. Québec. MDDEFP, Direction du suivi de l'état de l'environnement), 90 p.
- 47 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2012. Élaboration d'un indice d'intégrité biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques et mise en application en milieu agricole – Cours d'eau peu profonds à substrat meuble. MDDEFP, Direction de suivi de l'état de l'environnement. 47 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroiinvertebre/indice-integrite/rapport-substrat-meuble.pdf
- 48 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2018. Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA). MELCC, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.
- 49 CAMPEAU, S. 2017. Indice diatomées de l'Est du Canada (IDEC). Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières. Couche d'informations géographique vectorielle transmise en janvier 2017. URL : www.uqtr.ca/IDEC
- 50 HIRSCH, R. M., D. L. MOYER et S. A. ARCHFIELD. 2010. Weighted regressions on time, discharge, and season (WRTDS), with an application to Chesapeake Bay river inputs. *Journal of the American Water Resources Association*, 46, p. 857-880.
- 51 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA). Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.
- 52 PATOINE, M. 2017. Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement. 39 p.
- 53 HÉBERT, S. et D. BLAIS. 2017. Territoire et qualité de l'eau : développement de modèles prédictifs. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement et Direction de l'expertise en biodiversité. 30p.

-
- 54 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDELCC). 2016. Bilan des ventes de pesticides au Québec 2016. URL : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/index.htm>
- 55 GIROUX, I. 2015. Présence de pesticides dans l'eau au Québec : portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2011 à 2014. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction du suivi de l'état de l'environnement, 47 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/maïs_soya/portrait2011-2014/rapport2011-2014.pdf
- 56 GIROUX, I., S. HÉBERT et D. BERRYMAN. 2016. Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents. *Le Naturaliste Canadien*, 140, p.26-34.
- 57 GIROUX, I. 2018. État de situation sur la présence de pesticides au lac Saint-Pierre. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur les milieux aquatiques. 36 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/etat-presence-pesticides.pdf>
- 58 RONCO, A.E., D.J. G. MARINO, M. ABELANDO, P. ALMADA et C.D. APARTIN. 2016. Water quality of the main tributaries of the Parana basin: glyphosate and AMPA in surface water and bottom sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, p. 58-471.
- 59 SAMUEL, O., S. DION, L. ST-LAURENT, M.-H. APRIL. 2012. Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement [en ligne]. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et Institut national de santé publique du Québec, 48 p.
- 60 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDELCC). 2018. Municipalités du Québec qui réglementent l'usage des pesticides. MELCC. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/Liste-municipalites.pdf>
- 61 Gouvernement du Québec. 2011. Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ministère de la Santé et des Services sociaux et Union des producteurs agricoles. 23 p. Disponible en ligne. URL : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Strategie_phytosanitaire.pdf
- 62 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC (MAPAQ). 2018. Protection des cultures. MAPAQ. URL : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Protectiondescultures/Pages/Protectiondescultures.aspx>
- 63 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2018. Règlement modifiant le Code de gestion des pesticides, Règlement modifiant le Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides : Agir ensemble pour protéger la santé, les pollinisateurs et l'environnement – Les faits saillants. MELCC. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/permis/modif-reglements2017/index.htm>
- 64 DUCHEMIN, M. et S. HÉBERT. 2014. Les métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec (2008-2011). Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 24 p. Disponible en ligne. URL: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/metaux-rivieres.pdf>
- 65 CARON, S., M. LUCOTTE et R. TEISSERENC. 2008. Mercury transfer from watersheds to aquatic environments following the erosion of agrarian soils: a molecular biomarker approach. *Canadian Journal of Soil Science*, 88, p. 801-811.
- 66 CARON, S. et M. LUCOTTE. 2008. Regional and seasonal inputs of mercury into Lake St. Pierre (St. Lawrence River), a major commercial and sports fisheries. *Water, Air, and Soil Pollution*, 195, p. 85-97.

-
- 67 PELLETIER, M. 2008. Évolution spatiale et temporelle de la dynamique et de la géochimie des sédiments du lac Saint-Pierre. Environnement Canada – Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec. Rapport scientifique et technique ST-240, 94 p.
- 68 ENVIRONNEMENT CANADA et MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS. 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration. Plan d'action Saint-Laurent. 41 p. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/diverses/Qualite_criteres_sediments_f.pdf
- 69 SAULNIER I. et C. GAGNON. 2006. Background Levels of Metals in St. Lawrence River Sediments: Implications for Sediment Quality Criteria and Environmental Management. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2, p.126-141.
- 70 SAINT-LAURENT, D., M. HÄHNI et S. A. BARRETT. 2010. Analyse des sédiments contaminés de la portion sud-ouest du lac Saint-Pierre (Québec, Canada). *Revue des sciences de l'eau*, 23, p.119-131.
- 71 PELLETIER, M. et M. RONDEAU. 2013. Les polybromodiphényléthers (PBDE) dans les matières en suspension et les sédiments du fleuve Saint-Laurent. Suivi de l'état du Saint-Laurent. 12 p. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/SESL/PBDE_f.pdf
- 72 BERRYMAN, D. et collab. 2009. Les polybromodiphényléthers (PBDE) dans quelques cours d'eau du Québec méridional et dans l'eau de consommation produite à deux stations de traitement d'eau potable. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 28 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/Rapport_PBDE.pdf
- 73 BERRYMAN, D., M. RONDEAU et V. TRUDEAU. 2014. Concentration de médicaments, d'hormones et de quelques autres contaminants d'intérêt émergent dans le Saint-Laurent et dans trois de ses tributaires. Plan d'action Saint-Laurent. Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec. 14 p. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/Resultats_2011-2016/Qualite_eau/10_1_2/Fiche_qualite_de_l_eau_fr_2015.pdf
- 74 PELLETIER, M., M. DESROSIERS, S. LEPAGE et Y. DE LAFONTAINE. 2014. Les butylétains dans les sédiments du fleuve Saint-Laurent. Fiche du suivi de l'état du Saint-Laurent. 7 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/ec/En14-111-2013-fra.pdf
- 75 STATISTIQUE CANADA. s. d. Population et structure par âge et sexe – Régions administratives : Population totale, 1986-2017. URL : <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/index.html>
- 76 DONNÉES QUÉBEC. 2016. Système de référence linéaire- Transport Québec. URL : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/systeme-de-reference-lineaire-transports-quebec/resource/aca68531-930a-49bf-b28d-c688b388c761>
- 77 DONNÉES QUÉBEC. 2016. Réseau ferroviaire du Québec. URL : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/reseau-ferroviaire/resource/bdf44b86-acdb-4e81-b4aa-0b0232e0a47f>
- 78 RIVARD, G. 2011. Guide de gestion des eaux pluviales : Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Gouvernement du Québec. 386 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
- 79 ENVIRONNEMENT CANADA (EC) et SANTÉ CANADA (SC). 2001. Liste des substances d'intérêt prioritaire – Rapport d'évaluation – Sels de voirie. EC et SC. 188 p. Disponible en ligne. URL : https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/road_salt_sels_voirie/road_salt_sels_voirie-fra.pdf

-
- 80 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2003. Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige. Québec. MDDEP. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/guide.htm
- 81 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige. MELCC. URL: http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/gestion_partie1chap5-6.htm#gestion-environnementale
- 82 SYSTÈME D'AIDE À LA GESTION DES OPÉRATIONS DU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. Mise à jour en continu. Consulté en avril 2018.
- 83 SYSTÈME D'INFORMATION ET DE GESTION EN AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE DU MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE. Mise à jour en novembre 2015. Consulté en avril 2018.
- 84 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. Localisation des émissaires municipaux. Banque de données sur la localisation des émissaires municipaux du MDDELCC et Système d'aide à la gestion des opérations du MDDELCC. Couche d'informations géographique extraite le 20 mars 2017 du navigateur cartographique ministériel.
- 85 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Suivi des ouvrages individuels de traitement des eaux usées SOITEAU. MELCC. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/SOITEAU/index.htm>
- 86 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2018. Description des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées (DOMAEU) – Guide de rédaction. MDDELCC, Direction générale des politiques de l'eau, Direction des eaux usées. 80 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/domaeu-guide-redaction.pdf>
- 87 *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*, RLRQ, c. Q-2, r. 34.1.
- 88 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2014. Données transmises par le MDDELCC concernant les charges annuelles de phosphore aux émissaires des stations d'épuration des eaux usées. MDDELCC, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, Direction de l'information sur les milieux aquatiques.
- 89 MARCOGLIESE, D.J. et collab. 2014. Effets of a major municipal effluent on the St. Lawrence River: A case study. *Ambio*, 44(4), p. 257-274.
- 90 HUDON, C. et R. CARRIGNAN. 2008. Le fleuve Saint-Laurent, témoin de la situation environnementale du Québec. Colloque en agroenvironnement. Le respect de l'environnement : tout simplement essentiel! 27 novembre 2008. Drummondville.
- 91 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2014. Guide d'interprétation du règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. MDDELCC, Direction générale des politiques de l'eau. 63 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/guide-interpretation.pdf>
- 92 MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE (MAMOT). 2014. Ouvrages de surverses et stations d'épuration – Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013. MAMOT, Direction des infrastructures. 229 p.
- 93 VILLE DE SHERBROOKE. 2003. Guide des pratiques préventives : Comment prévenir les inondations dans le sous-

- sol de ma résidence. 66 p. Disponible en ligne. URL :
https://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/environnementsherbrooke.ca/Gouttieres/guide_inondation.pdf
- 94 GARANT, D. 2009. La problématique des surverses dans l'agglomération montréalaise; les aménagements alternatifs et complémentaires aux bassins de rétention. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, Maîtrise en environnement. 81 p.
- 95 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. 2014. État de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec : L'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques, La qualité de l'eau – Que fait-on pour y remédier? URL :
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique-qualite-eau-remedier.htm>
- 96 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. Système SOMAEU – Module 1.1 Inscription 2017. MDDELCC. 47 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/somaeu/Module11.pdf>
- 97 MCFADDEN, N. 2006. Guide d'élaboration d'un plan d'action pour l'élimination des raccordements inversés dans les réseaux de collecte d'eaux usées municipales. Ministère des Affaires municipales et des Régions, Direction des infrastructures. 19p. Disponible en ligne. URL :
https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/infrastructures/plan_intervention_renouvellement/guide_plan_action_raccordements_inverses.pdf
- 98 LAVOIE, A. 2006. Guide méthodologique pour la recherche et l'élimination des raccordements inversés dans les réseaux de collecte d'eaux usées municipales. Québec, ministère des Affaires municipales et des Régions, Direction des infrastructures. 43p.
- 99 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2015. Position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique. Dernière mise à jour le 16 juillet 2015. MDDELCC. URL :
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/reduc-phosphore/index.htm>
- 100 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2016. Répertoire de tous les réseaux municipaux de distribution d'eau potable. Dernière mise à jour le 18 mars 2016. MDDELCC. URL :
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/index.asp>
- 101 BARBEAU, B., A. CARRIÈRE, M. PRÉVOST, A. ZAMYADI et P. CHEVALIER. 2008. Changements climatiques au Québec méridional, Analyse de la vulnérabilité des installations québécoises de production d'eau potable aux cyanobactéries toxiques : résumé. Institut national de santé publique du Québec. 15p. Disponible en ligne. URL :
https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/867_res_eaucyanobac_web.pdf
- 102 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2016. Guide sur les principes d'atténuation et de compensation des activités agricoles relativement aux installations de prélèvement d'eau. MDDELCC. 42 p. Disponible en ligne. URL :
http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/guide_compensation.pdf
- 103 *Code de gestion des pesticides*, R.L.R.Q. c. P-9.3, r.1.
- 104 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO) du MDDELCC. Couche d'informations géographique extraite le 17 avril 2017 du navigateur cartographique ministériel.
- 105 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS

- CLIMATIQUES (MDDELCC). 2016. Sites et effluents industriels. Bilans de conformité environnementale, attestations d'assainissement pour les secteurs industriels assujettis au programme de réduction des rejets industriels. Couche d'informations géographique extraite en août 2016 du navigateur cartographique ministériel.
- 106 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). s. d. Le Programme de réduction des rejets industriels et l'attestation d'assainissement. MDDELCC. URL : <http://mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/prri/index.htm>
- 107 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2012. Données du Programme de réduction des rejets industriels (PRRI). MDDELCC, Direction des eaux usées.
- 108 GOUVERNEMENT DU CANADA. 2017. Foire aux questions : l'Inventaire national des rejets de polluants. Canada. URL : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/inventaire-national-rejets-polluants/foire-questions.html#ws7786DB31>
- 109 ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2017. Données déclarées par les installations à l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) pour 2016.
- 110 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC (MENV). 1999. 25 ans d'assainissement des eaux usées industrielles au Québec : un bilan. Québec, Les Publications du Québec. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/industrielles/index.htm>
- 111 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2010. Évaluation des rejets d'eaux usées des usines de pâtes et papiers du Québec en fonction du milieu récepteur. Québec. MDDEP, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés. 111 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/prri/eval-rejet-eauxusees-usinepp.pdf>
- 112 ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA. 2017. Données déclarées par les installations à l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) pour 2014.
- 113 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2016. Bilan des plans de réduction des pesticides sur les terrains de golf au Québec pendant la période 2012-2014. MDDELCC. 36 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/permis/code-gestion/guide-golf/Bilan2012-2014.pdf>
- 114 DESJARLAIS, C. et collab. 2010. Savoir s'adapter aux changements climatiques. Consortium de recherche sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, initiative conjointe du gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et du Service météorologique du Canada avec la participation d'OURANOS. Montréal, 128 p.
- 115 RUIZ, J. et G. DOMON. 2005. Les paysages de l'agriculture en mutation. Presses de l'Université de Montréal, série « Paysages », Montréal, p. 47-97. Disponible en ligne. URL : http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Ruiz_Domon1.pdf
- 116 DAUPHIN, D. et B. JOBIN. 2016. Changements de l'occupation du sol dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre entre les années 1950 et 1997. *Le Naturaliste Canadien*, 140, p. 42-52.
- 117 FORTIER, J. 2014. La santé agroriveraine : Théorie, concepts et indicateurs potentiels. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale. 65 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aafc/A59-14-2014-fra.pdf
- 118 LATENDRESSE, C., B. JOBIN, C. MAISONNEUVE, A. SEBBANE et M. GRENIER. 2008. Changements de l'occupation du

- sol dans le Québec méridional entre 1993 et 2001. *Le Naturaliste Canadien*, 132. P. 14-23.
- 119 RICHARD, G., D. CÔTÉ, M. MINGELBIER, B. JOBIN, J. MORIN et P. BRODEUR. 2011. Utilisation du sol dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent) durant les périodes 1950, 1964 et 1997 : interprétation de photos aériennes, numérisation et préparation d'une base de données géoréférencées, Rapport technique préparé pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune et Environnement Canada, Québec. 46 p.
- 120 GROUPE AGÉCO. 2014. Structures des exploitations agricoles au Québec : Évolution, diversité et comparaison avec certains concurrents. Rapport synthèse. 45p.
- 121 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC. 2013. Données extraites à partir des fiches d'enregistrements des exploitations agricoles du Québec.
- 122 CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC INC (CPVQ). 2000. Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Module 4 – Fertilisation, 4-B-1 à 4-B-16. 16 p. Disponible en ligne. URL : <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Feuillet4B.pdf>
- 123 TREMBLAY, G. 2002. Le soya peut-il se passer d'engrais chimique? Centre de recherche sur les grains inc., bulletin technique No 3.03. 4 p. Disponible en ligne. URL : <https://cerom.qc.ca/assets/contenu/docs/bulletins/B303.pdf>
- 124 NOLET, J., M. HERNANDEZ, R. SANCHEZ, L.-S. JACQUES et C. SAUVÉ. 2007. Évaluation des impacts de la réglementation concernant la pratique du stockage de fumier au champ dans le secteur agricole – Rapport final. 70p. Disponible en ligne. URL : http://www.caaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/DOC%20REFERENCE/Evaluation_impacts_reglementation_stockage_fumier.pdf
- 125 FONDATION DE LA FAUNE DU QUÉBEC (FFQ) et UNION DES PRODUCTEURS AGRICOLES (UPA). 2011. Manuel d'accompagnement pour la mise en valeur de la biodiversité des cours d'eau en milieu agricole. FFQ et UPA. 122 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.coursdeauagricoles.com/pdf-chapitre/manuel-biodiversite-agricole.pdf>
- 126 CANTIN, P.-M. s. d. La production des céréales, savoir contrôler. La COOP fédérée. Présentation.
- 127 MAROIS-MAINGUY, O. 2014. Préparation du sol : le coût des systèmes. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Montérégie Ouest. Comparaison des systèmes de travail du sol et semis. 4 p. Disponible en ligne. URL : https://www.agrireseau.net/documents/Document_88909.pdf
- 128 TRUDEAU, V., M. RONDEAU et A. SIMARD. 2010. Pesticides aux embouchures de tributaires du lac Saint-Pierre (2003-2008). Montréal, Environnement Canada, Direction des sciences de la technologie de l'eau, Section Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec. 62 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En84-82-2010-fra.pdf
- 129 JEAN, C. et J. BOISCLAIR. 2001. Ravageurs et maladies du maïs sucré : manuel de l'observateur. Institut de recherche et développement en agroenvironnement, Sainte-Foy, Québec. 95 p. Disponible en ligne. URL : https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/jean-boisclair-2001_guide_ravageurs_maladies_maïs-sucre.pdf
- 130 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES DE L'ONTARIO. 2016. Déprédateurs des grandes cultures : ravageurs du soya. URL : <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/pub811/13soybean.htm>
- 131 RIOUX, S. 2013. Évaluation de fongicides dans les cultures de céréale à paille en stations expérimentales, CERO-1-LUT-11-1531. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 7 p. Disponible en ligne. URL : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Recherche_Innovation/Grandescultures/1531.pdf
- 132 SAVOIE, V. 2009. Le drainage de surface – Formation pour OAQ. 37p.

-
- 133 TRUELLE, M. 2002. Le contenu du PAEF et du PAEV de l'entreprise agricole : pertinence et difficultés rencontrées. Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec. 4 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/FULI6.pdf>
- 134 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC (MAPAQ). s. d. L'accompagnement agroenvironnemental : Des Solutions à votre portée. Dépliant informatif. MAPAQ. 2p.
- 135 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC (MENV). 2003. Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec. MENV, Direction des politiques du secteur agricole. Envirodoq ENV/2003/0025. 143 p. Disponible en ligne. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/synthese-info/synthese-info-enviro-agricole.pdf
- 136 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES et MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS. 2015. Bilan des travaux d'entretien de cours d'eau en milieu agricole réalisés en 2011 et 2012 – Avis portant sur la mise en place de la Procédure d'entretien de cours d'eau en milieu agricole. 95 p. Disponible en ligne. URL : https://mffp.gouv.qc.ca/ministere/acces/documents/201701-22_DO.pdf
- 137 BEAULIEU, R. 2001. Historique des travaux de drainage au Québec et état du réseau hydrographique – Colloque régional sur les cours d'eau. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de la Montérégie, secteur Ouest, 12 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/Bio115.pdf>
- 138 BIRON, P. et collab. 2013. Espace de liberté : un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques. Ouranos. 140p.
- 139 MARCOUX-VIEL, P. 2015. Espace de liberté des cours d'eau : s'inspirer des meilleures pratiques pour définir un cadre de gestion québécois. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, Maîtrise en environnement. 78 p.
- 140 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDELCC) et MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2016. Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole. Direction générale des politiques de l'eau pôle d'expertise des secteurs hydriques et naturel du MDELCC et direction générale adjointes des politiques, des programmes et des partenariats du MFFP. 17p. Disponible en ligne. URL : <https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2012/04/Procedure-entretien-des-cours-deau-en-milieu-agricole-24-f%C3%A9vrier-2016.pdf>
- 141 LAJEUNESSE, S. 2017. Démarche d'accompagnement en milieu agricole dans Brome-Missisquoi et outils géomatiques pour la gestion des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques. Présentation dans le cadre du Forum de l'eau de la Yamaska de 2017.
- 142 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES DE L'ONTARIO. 2015. L'érosion du sol – Causes et effets. OMAFRA. URL : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm>
- 143 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Le réseau de surveillance volontaire des lacs. MELCC. URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm#surveiller>
- 144 GOYETTE, J.-O., E. M. BENNETT, R. W. HOWARTH et R. MARANGER. 2016. Changes in anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to the St. Lawrence sub-basin over 110 years and impacts on riverine export. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(7), p. 1000-1014.
- 145 GASSER, M.-O. et collab. 2010. Impacts agroenvironnementaux associés à la culture et au prélèvement de biomasses végétales agricoles pour la production de bioproduits industriels. Rapport final. Institut de recherche

- et de développement en agroenvironnement. Québec. 200 p.
- 146 DALTON, R.L. et C. BOUTIN. 2010. Evaluation of phytotoxicity testing: Comparing the effects of herbicides on non-target plants grown singly and in microcosms. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(10), p. 2304-2315.
- 147 TALBOT, A. 2006. Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le fleuve Saint-Laurent – Synthèse environnementale. Environnement Canada, Montréal. 215 p. Disponible en ligne. URL : http://publications.gc.ca/collections/collection_2010/ec/En154-43-2006-fra.pdf
- 148 PEREZ G.L. et collab. 2007. Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecological Applications*, 17, p. 2310-2322.
- 149 WANG, S. et collab. 2016. (Bio) degradation of glyphosate in water-sediment microcosms – A stable isotope co-labeling approach. *Water Research*, 99, p. 91-100.
- 150 VIS, C., A. CATTANEO et C. HUDON. 2008. Shift from chlorophytes to cyanobacteria in benthic macroalgae along a gradient of nitrate depletion. *Journal of Phycology*, 44, p. 38-44.
- 151 HUDON, C., A. CATTANEO et P. GAGNON. 2009. Epiphytic cyanobacterium *Gloeotrichia pismus* as an indicator of nitrogen depletion. *Aquatic Microbial Ecology*, 57, p. 191-202.
- 152 HUDON, C., M. DE SÈVE et A. CATTANEO. 2014. Increasing occurrence of the benthic filamentous cyanobacterium *Lyngbya wollei*: a symptom of freshwater ecosystem degradation. *Freshwater Science*, 33, p. 606-618.
- 153 HUDON, C. et collab. 2012. Oligotrophication from wetland epuration alters the riverine trophic network and carrying capacity for fish. *Aquatic Sciences*, 74(3), p. 495-511.
- 154 MASSICOTTE, P., A. BERTOLO, P. BRODEUR, C. HUDON, M. MINGELBIER et P. MAGNAN. 2015. Influence of the aquatic vegetation landscape on larval fish abundance. *Journal of Great Lakes Research*, 41, p. 873-880.
- 155 DE LA CHENELIÈRE, P. BRODEUR et M. MINGELBIER. 2014. Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude. *Le Naturaliste canadien*, 138(2), p. 50-61.
- 156 HUDON, C. M. JEAN et G. LÉTOURNEAU. 2018. Temporal (1970-2016) changes in human pressures and wetland response in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Science of the Total Environment*, 643, p.1137-1151.
- 157 HUDON, C. et collab. 2017. Hydrological and biological processes modulate carbon, nitrogen and phosphorus flux from the St. Lawrence River to its estuary (Québec, Canada). *Biogeochemistry*, 135, p. 251-276.
- 158 PEREZ, G.L., M.S. VERA et L. MIRANDA. 2011. Effects of herbicide glyphosate and glyphosate-based formulations on aquatic ecosystems, *Herbicides and Environment*. *InTech*, 16, p. 343-368.
- 159 FÉDÉRATION QUÉBÉCOISE DE LA FAUNE et INFO SÉCURE. s. d. Impact des véhicules récréatifs motorisés sur la faune et les habitats aquatiques et riverains. Dépliant informatif. URL : <http://www.fedecp.com/media/1160/impact-des-vehicules-motorises-sur-la-faune.pdf>
- 160 PINAY, G. et collab. 2017. L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS. Ifremer, Institut national de la recherche agronomique, Irstea, France. 144 p. Disponible en ligne. URL: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00408/51903/52526.pdf>
- 161 HUDON, C. 2004. Managing St. Lawrence River discharge in times of climatic uncertainty: how water quantity affects wildlife, recreation and the economy. Transactions of the 69th North American Wildlife and Natural Resources Conference, p. 165-181.
- 162 MOORE, A., N. LOWER, I. MAYER et L. GREENWOOD. 2007. The impact of a pesticide on migratory activity and olfactory function in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture*, 273(2-3), p. 350-359.
- 163 TIERNEY, K.B., J.L. SAMPSON, P.S. ROSS, M.A. SEKELA et C.J. KENNEDY. 2008. Salmon olfaction is impaired by an environmentally realistic pesticide mixture. *Environmental Science & Technology*, 42(13), p. 4996-5001.
- 164 TILLIT, D.E., D.M. PAPOULIAS, J.J. WHYTE et C.A. RICHTER. 2010. Atrazine reduces reproduction in fathead

- minnow (*Pimephales promelas*). *Aquatic Toxicology*, 99(2), p. 149-159.
- 165 HAYES, T. K. HASTON, M. TSUI, A. HOANG, C. HAEFFELE et A. VONK. 2003. Atrazine-induced hermaphroditism at 0.1 ppb in American leopard frogs (*Rana pipiens*): laboratory and field evidence. *Environmental Health Perspectives*, 111(4), p. 568-575.
- 166 SMEDBOL, E. 2013. Toxicité d'un herbicide à base de glyphosate sur des cellules et des communautés d'algues et de cyanobactéries. Mémoire de maîtrise présenté à l'Université de Montréal. Québec, Canada. Maîtrise en biologie. 100 p.
- 167 CHRÉTIEN, F., I. GIROUX, G. THÉRIAULT, P. GAGNON et J. CORRIVEAU. 2017. Surface runoff and subsurface tile drain losses of neonicotinoides and companion herbicides at edge-of-field. *Environmental Pollution*, 224, p. 255-264.
- 168 MAIN, A.R., N.L. MICHEL, M.C. CAVALLARO, J.V. HEADLEY, K.M. PERU et C.A. MORISSEY. 2016. Snowmelt transport of neonicotinoid insecticides to Canadian Prairie wetlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 215, p. 76-84.
- 169 VAN DER SLUIJS et collab. 2015. Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, p. 148-154.
- 170 VAN DIJK, T.C., M.A. VAN STAALDUINEN et J.P. VAN DER SLUIJS. 2013. Macro-invertebrate decline in surface water polluted with Imidacloprid. *PLoS One*, 8(5), p. 1-10.
- 171 ROESSINK, I., L.B. MERGA, H.L. ZWEERS et P.J. VAN DER BRINK. 2013. The neonicotinoid imidacloprid shows high chronic toxicity to mayfly nymphs. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32, p. 1096-1100.
- 172 GIBBONS, D., C. MORRISSEY, et P. MINEAU. 2015. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, p. 103-118.
- 173 PAQUET-WALSH, A. et collab. 2016. Effets des néonicotinoïdes et du rayonnement ultraviolet sur la survie de la perchaude. Affiche présentée au 20e colloque annuel du Chapitre Saint-Laurent, 2 et 3 juin, Québec.
- 174 MAGNAN, P. et collab. 2017. État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre en 2016. Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre. Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces. Université du Québec à Trois-Rivières et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 34 p.
- 175 MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2017. Pêche à la perchaude au lac Saint-Pierre – Reconduction du moratoire jusqu'en 2022. Communiqué de presse. Disponible en ligne. URL : <https://mffp.gouv.qc.ca/peche-perchaude-lac-saint-pierre-moratoire-2022/>
- 176 MINISTÈRE DES TRANSPORT DU QUÉBEC (MTQ). 2013. Guide de gestion des zones vulnérables aux sels de voirie – Une démarche à l'intention des municipalités. MTQ, Direction de l'environnement et de la recherche, Direction des communications du ministère des Transport du Québec. 35 p.
- 177 CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique – mercure. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg. 5 p. Disponible en ligne. URL : <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/153>
- 178 MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). s. d. Suivi des rivières et petits cours d'eau. MELCC. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/parties1-2.htm
- 179 COMITÉ ZONE D'INTERVENTION PRIORITAIRE DU LAC SAINT-PIERRE (Comité ZIPLSP). 2010. Mémoire sur l'utilisation du territoire. Présenté dans le cadre de la proposition pour la consultation publique sur le plan d'affectation du territoire public de la Mauricie, lac Saint-Pierre. 81 p.
- 180 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS

- CLIMATIQUES (MDDELCC). s. d. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. URL : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp
- 181 BLAIS, S. et M. PATOINE. s. d. Le phosphore en milieu aquatique dans les agrosystèmes. Colloque sur le phosphore. 19 p. Disponible en ligne. URL : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/BIO98-5.pdf>
- 182 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. 2014. État de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec : L'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques, La qualité de l'eau – Quels sont les effets sur vous? URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique-qualite-eau-Effets-sur-vs.htm>
- 183 BCDM CONSEIL INC. 2005. Rapport III : La pêche sportive au lac Saint-Pierre en 2003. Pêche sur la glace : évaluation des retombées économiques. Pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Direction de la recherche sur la faune, Québec. 67 p.
- 184 BCDM CONSEIL INC. 2005. Rapport IV : La pêche sportive au lac Saint-Pierre en 2003. Pêche en eau libre : évaluation des retombées économiques. Pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Direction de la recherche sur la faune, Québec. 89 p.
- 185 REGROUPEMENT DES ASSOCIATIONS POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DES LACS ET DES BASSINS VERSANTS (RAPPEL). s. d. L'eutrophisation (vieillesse) des lacs. RAPPEL. URL : <https://www.rappel.qc.ca/publications/informations-techniques/lac/eutrophisation.html>
- 186 STEFFENSEN, D. A. 2008. Economic cost of cyanobacterial blooms. Dans cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. *New-York*. p. 855-866.
- 187 INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. 2012. Dimensions sociales associées à la prolifération des cyanobactéries au Québec : Résultats d'une étude ethnographique auprès des acteurs sociaux de trois lacs québécois. Gouvernement du Québec, 7 p.
- 188 PRETTY, J. N., C. F. MASON, D. B. NEDWELL, R. E. HINE, S. LEAF et R. DILS. 2003. Environnemental costs of Freshwater eutrophication in England and Wales. *Environmental Science & Technology*, 37(2), p. 201-208.
- 189 BEAUDIN, I. 2006. Revue de littérature. La mobilité du phosphore. Version finale. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Québec. 137 p.
- 190 MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC (MAPAQ). 2008. Les algues bleu vert et l'eau de consommation. MAPAQ. URL : <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Guidecyanobacteries.pdf>
- 191 SANTÉ CANADA. 2006. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique. – Les coliformes fécaux Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnemental et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada. Ottawa. 35p.
- 192 FOURNIER, E. 2014. Détermination de la valeur ultime du prélèvement d'eau brute en rivière pour une ville du sud-ouest québécois. Mémoire présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, Maîtrise en environnement. 269 p.
- 193 BOUCHARD, A. et J.-F. CANTIN. 2015. Évolution des niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent. Suivi de l'état du Saint-Laurent. Gouvernement du Canada et gouvernement du Québec. 8 p. Disponible en ligne. URL : http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Fiche-debits_niveaux_eau_F_final.pdf
- 194 MORTSCH, L. et collab. 2000. Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system. *Revue canadienne des ressources hydriques*, 25(2), p 153-179.

-
- 195 CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). 2015. Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. CEHQ. 81 p. Disponible en ligne. URL : https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/atlas_hydroclimatique.pdf
- 196 KLING, G. W. et collab. 2003. Confronting climate change in the Great Lakes region: impacts on our communities and ecosystems. Union of Concerned Scientists. 104 p.
- 197 LEFAIVRE, D. 2005. Effet des changements climatiques sur les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec : Projections pour les années 2050. Pêches et Océans Canada. Préparé pour le Comité de concertation Navigation – Plan d'action Saint-Laurent, phase 4.
- 198 CARIGNAN, R. 2004. Le lac Saint-Pierre en péril. Québec Science. p .20-27.
- 199 LÉVESQUE, D. 2015. Écologie et implications trophiques de la cyanobactérie *Lyngbya wollei* dans le fleuve Saint-Laurent. Thèse de doctorat présentée à l'Université de Montréal. Québec, Canada. 178 p.
- 200 DE TONI, A., A. TOURON-BODILIS et F. WALLET. 2009. Effet du changement climatique sur les micro-organismes aquatiques pathogènes : quelques exemples. *Environnement, Risques & Santé*, 8(4), p. 311-321.
- 201 MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (MSP). 2012. Incidence des changements climatiques. MSP. URL : <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance-du-territoire/erosion-cotiere/incidence-climat.html>
- 202 MAILHOT, A. S. DUCHESNE, G. TALBOT, A.N. ROUSSEAU et D. CHAUMONT. 2008. Changements climatiques au Québec méridional, Approvisionnement en eau potable et santé publique : projections climatiques en matière de précipitations et d'écoulements pour le sud du Québec (résumé). Gouvernement du Québec, Institut national de santé publique du Québec. 16p. Disponible en ligne. URL : <https://www.inspq.qc.ca/publications/866>
- 203 MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES et MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE. 2016. Municipalités sans réseau d'égout sanitaire. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Couche d'informations géographique vectorielle acquises le 20 mars 2017 sur le système géomatique de gouvernance de l'eau. Dernière mise à jour effectuée en juillet 2016. Gouvernement du Québec.