

État de situation sur la présence de pesticides au lac Saint-Pierre



2018

Photos de la page couverture : MDDELCC

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée sous la coordination de la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC).

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez remplir le formulaire disponible à cette adresse :

www.mddelcc.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp.

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 656-5974

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boul. René-Lévesque Est, 7^e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Ce document peut être consulté sur le site du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques à l'adresse suivante : www.mddelcc.gouv.qc.ca.

Référence à citer :

GIROUX, I. (2018) *État de situation sur la présence de pesticides au lac Saint-Pierre*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur les milieux aquatiques. [En ligne] www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/etat-presence-pesticides.pdf

Dépôt légal – 2018
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018
ISBN 978-2-550-81692-8 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays

© Gouvernement du Québec, 2018

RÉALISATION

Rédaction	Isabelle Giroux Direction de l'information sur les milieux aquatiques (DIMAQ) Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)
Coordination du suivi	Isabelle Giroux DIMAQ – MDDELCC Philippe Brodeur Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP)
Révision scientifique	Marc Simoneau DIMAQ – MDDELCC Julie Corriveau Direction des matières dangereuses et des pesticides (MDDELCC) Philippe Juneau Département des sciences biologiques (UQAM)
Échantillonnage	Francine Rochette Stéphanie Locas Sylvie Legendre Michel Côté Jean-Philippe Baillargeon Christian Godin Guillaume Desrosiers Marie-Ève Thériault DIMAQ – MDDELCC Rémi Bacon Nicolas Auclair Geneviève Richard Philippe Brodeur MFFP Claude Lemire Daniel Dolan GVL Environnement Dominic Faucher Ministère de la Défense nationale
Analyses de laboratoire	Sébastien Côté Marie-Claire Grenon Benoît Sarrasin Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ)

Mots clés : pesticides, lac Saint-Pierre, glyphosate, néonicotinoïdes, atrazine, métolachlore, thiaméthoxame, clothianidine

RÉSUMÉ

Au cours de la dernière décennie, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a documenté la présence de pesticides dans plusieurs tributaires agricoles du lac Saint-Pierre. Mis à part l'échantillonnage réalisé en 2008, on disposait de peu d'information concernant la présence de pesticides dans le lac Saint-Pierre lui-même. Au cours des campagnes d'échantillonnage menées en 2008, puis en 2013, 2014, 2015 et 2016, 8 sites du lac, 11 sites dans les lieux de fraie et d'alevinage de la perchaude et 3 sites destinés à l'examen des sédiments ont été échantillonnés.

Les résultats montrent que des pesticides sont présents dans les eaux peu profondes bordant le lac Saint-Pierre. Selon l'année et le site d'échantillonnage, de 12 à 21 pesticides sont détectés. Plusieurs herbicides sont détectés dans l'eau en juin et en juillet, avec des pointes de concentrations plus élevées entre la mi-juin et la fin juin. Les principaux herbicides détectés sont l'atrazine, le β -métochlorure et le glyphosate, mais plusieurs autres herbicides sont aussi détectés (méso-trione, dicamba, bentazone, imazéthapyr, etc.). La valeur de 1,8 µg/l correspondant au critère de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques en ce qui concerne l'atrazine (critère de vie aquatique chronique – CVAC) est parfois dépassée, mais aucun autre herbicide ne dépasse les critères. Leur présence conjuguée pourrait néanmoins avoir des effets sur certaines algues ou plantes aquatiques sensibles.

L'échantillonnage exploratoire des sédiments de fond réalisé en 2016 montre que le glyphosate est présent en concentrations appréciables en juin dans les sédiments de deux des trois stations échantillonnées. Les effets potentiels de la présence de glyphosate dans les sédiments sur les plantes aquatiques sont néanmoins peu documentés.

Les insecticides néonicotinoïdes, soit la clothianidine et le thiaméthoxame, sont également détectés dans l'eau à toutes les stations du lac Saint-Pierre. Ces deux produits dépassent le CVAC dans 10 % à 55 % des échantillons selon les stations et les années. Des effets directs et indirects de ces produits sur les espèces aquatiques sont donc plausibles. D'ailleurs, la documentation scientifique indique que les rayons UV peuvent agir en synergie avec les néonicotinoïdes en accentuant la mortalité chez les larves de perchaude. Comme ces insecticides sont très toxiques pour certains insectes aquatiques, ils peuvent affecter les poissons de manière indirecte en affectant les proies dont ils se nourrissent.

Au printemps 2013, des zones inondées identifiées comme des sites de fraie pour la perchaude présentent de faibles concentrations des herbicides atrazine, β -métochlorure et glyphosate ainsi que des concentrations de l'AMPA, le produit de la dégradation du glyphosate. C'est l'AMPA qui a été détecté en concentration un peu plus élevée que les autres, ce qui confirme qu'en période printanière les sites de fraie de la perchaude recèlent encore des résidus de pesticides de l'année précédente. Lors de cette campagne d'échantillonnage, les insecticides néonicotinoïdes n'avaient pas été recherchés, mais la documentation scientifique consultée depuis lors indique que des résidus de ces produits peuvent demeurer dans les champs jusqu'à un an après leur application.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MÉTHODOLOGIE	2
Échantillonnage de l'eau	2
Échantillonnage de l'eau aux sites de reproduction et d'alevinage de la perchaude en 2013	3
Échantillonnage des sédiments en 2016.....	5
2. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES DANS L'EAU DU LAC SAINT-PIERRE	7
Pesticides détectés.....	7
Profil des concentrations	10
3. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES AU PRINTEMPS DANS L'EAU DES SITES DE REPRODUCTION DE LA PERCHAUDE.....	14
4. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES DANS LES SÉDIMENTS DU LAC SAINT-PIERRE.....	15
5. DISCUSSION.....	16
Contribution des tributaires agricoles à l'apport en pesticides au lac Saint-Pierre.....	16
Effets des herbicides sur les plantes aquatiques et les algues	19
Présence de glyphosate dans les sédiments.....	20
Effets des pesticides sur les poissons.....	20
CONCLUSION	22
BIBLIOGRAPHIE.....	23

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Méthodologie	27
Annexe 2	Résultats pour les paramètres complémentaires.....	29
Annexe 3	Concentrations de pesticides dans l'eau aux stations du lac Saint-Pierre	31
Annexe 4	Analyse de la conductivité	35

LISTE DES TABLEAUX

Figure 1	Stations échantillonnées pour les pesticides dans le lac Saint-Pierre entre 2008 et 2016	6
Figure 2	Concentrations d'atrazine et de β -métochloré aux stations A et B du lac Saint-Pierre et à l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François	11
Figure 3	Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre en 2014	12
Figure 4	Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre et précipitations en 2015	13
Figure 5	Superficie des bassins versants (en km ²) et proportion en cultures à grand interligne.....	17
Figure 6	Proportion relative des masses d'eau dans le lac Saint-Pierre (6 juin 2017)	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Stations échantillonnées pour les pesticides dans le lac Saint-Pierre entre 2008 et 2016	6
Figure 2	Concentrations d'atrazine et de β -métochloré aux stations A et B du lac Saint-Pierre et à l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François	11
Figure 3	Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre en 2014	12
Figure 4	Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre et précipitations en 2015	13
Figure 5	Superficie des bassins versants (en km ²) et proportion en cultures à grand interligne.....	17
Figure 6	Proportion relative des masses d'eau dans le lac Saint-Pierre (6 juin 2017)	18

INTRODUCTION

Au cœur du corridor fluvial que constitue le Saint-Laurent, le lac Saint-Pierre s'étend sur une longueur de 30 km et une largeur de 13 km entre Sorel-Tracy et Trois-Rivières. Depuis novembre 2000, le lac Saint Pierre est reconnu par l'UNESCO comme une réserve mondiale de la biosphère en raison de la présence de milieux humides d'une diversité biologique exceptionnelle.

Au cours des dernières années toutefois, plusieurs changements ont perturbé cet écosystème (MDDEFP, 2013). Des modifications physiques comme les changements du débit, l'utilisation de la plaine inondable à des fins agricoles, la diminution du couvert de glace et la formation de frasil transforment le régime hydrique du milieu. La pression des activités humaines, notamment des activités agricoles, dans son bassin versant et dans la plaine inondable a amené une mauvaise qualité de l'eau. Les communautés biologiques sont elles aussi perturbées. On assiste à la transformation des herbiers : les plantes vasculaires submergées diminuent et les algues filamenteuses augmentent (De La Chenelière *et al.*, 2014).

Parmi les changements importants, on note aussi le déclin de la population de perchaudes. La situation est telle qu'un moratoire de cinq ans sur la pêche commerciale et sportive dans le lac Saint-Pierre a été décrété en 2012. Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) assure un suivi annuel afin d'évaluer l'abondance des stades larvaires et juvéniles de la perchaude (Mingelbier *et al.*, 2016). D'autres espèces de poissons, comme le crapet-soleil, le grand brochet, le crapet de roche, le queue à tache noire et la barbotte brune, qui utilisent également les herbiers littoraux et riverains pour se reproduire, ont aussi connu une diminution dans le lac Saint-Pierre.

Plusieurs chercheurs universitaires ainsi que des professionnels de certains ministères dont le MDDELCC sont mobilisés pour tenter de mieux décrire ces perturbations et de mieux comprendre leurs interrelations, l'objectif étant d'aider à la prise de décision dans le cadre du Plan d'action pour la restauration du lac Saint-Pierre, actuellement en cours d'élaboration.

Entre 2012 et 2014, des programmes de suivi menés par le MDDELCC montraient la présence de pesticides à l'embouchure des rivières Chaloupe, Bayonne, Chicot, Maskinongé, du Loup et Yamachiche sur la rive nord du lac Saint-Pierre ainsi que dans les rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet sur la rive sud du lac (Giroux, 2015). Des données recueillies au cours des années antérieures par Environnement Canada montraient également la présence de pesticides à l'embouchure des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet (Trudeau *et al.*, 2011). Environnement Canada avait aussi mesuré des triazines dans le fleuve aux stations de Cornwall et de Carillon en amont, et de Lévis en aval (Pham *et al.*, 2000), mais ces données reflétaient davantage l'eau du chenal central du fleuve.

Jusqu'à tout récemment, on disposait de peu d'information sur la présence de pesticides dans le lac Saint-Pierre lui-même, notamment dans les eaux réceptrices peu profondes bordant les rives de part et d'autre du lac. Ce rapport présente les résultats des suivis des pesticides réalisés par le MDDELCC dans le lac Saint-Pierre en 2008, en 2014 et en 2015, dans les sites de fraie de la perchaude au printemps 2013 ainsi que dans les sédiments du lac en 2016.

1. MÉTHODOLOGIE

Échantillonnage de l'eau

Entre 2008 et 2015, 119 échantillons d'eau, issus de 8 sites, ont été prélevés dans le lac Saint-Pierre pour y vérifier la présence de pesticides (tableau 1 et figure 1). Les échantillons ont été prélevés à partir d'une embarcation au moyen d'un échantillonneur porte-bouteilles. Les échantillons étaient conservés au frais dans des glacières et transportés au laboratoire le jour même. En 2008, 56 pesticides étaient analysés et de 2014 à 2016, une centaine de pesticides étaient couverts par les analyses. Les analyses ont été réalisées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Les coordonnées des stations, la description des méthodes d'analyse, la liste des pesticides pour chaque analyse ainsi que les limites de détection sont présentées à l'annexe 1. Des relevés pour des paramètres complémentaires ont aussi été enregistrés : profondeur, température de l'eau, oxygène dissous, pH et conductivité. La mesure de la conductivité était utilisée notamment comme indicateur du panache des rivières Yamaska et Saint-François.



Échantillonnage en embarcation dans le lac Saint-Pierre (Sources des photos : à gauche, Jean-Philippe Baillargeon, MDDELCC 2008; et à droite, Michel Côté, MDDELCC, 2016).



Les échantillons d'eau ont été prélevés à environ 1 mètre de profondeur à l'aide d'un échantillonneur porte-bouteilles. Des paramètres complémentaires comme la conductivité et l'oxygène dissous sont enregistrés à chaque station (Source des photos : Christian Godin, MDDELCC, 2014).

Tableau 1 Échantillons d'eau provenant du lac Saint-Pierre de 2008 à 2015

Sites	Nombre d'échantillons	Période d'échantillonnage	Analyses	Numéro d'analyse
2008	A et B	du 4 juin au 13 août	OPS	MA 403- Pest 3.1
			PESARY	MA 403 - P. chip 2.0
			GLY-AMPA	MA 403 - GlyAmp 1.0
2014	1 à 5	du 5 juin au 17 juillet	OPS+	MA 400 - Pest 1.0
			PESARY	MA 400 - P. chip 1.0
			GLY-AMPA	MA 400 - Glyphosate
2015	1, 3, 4 et 6	du 4 juin au 14 juillet	OPS+	MA 400 - Pest 1.0
			PESARY	MA 400 - P. chip 1.0
			GLY-AMPA	MA 400 - Glyphosate
			FRIN	MA 403 - FRIN 1.2

Echantillonnage de l'eau aux sites de reproduction et d'alévinage de la perchaude en 2013

Au printemps 2013, les seules données disponibles sur la présence de pesticides dans le lac Saint-Pierre étaient celles concernant les stations A et B échantillonnées en 2008, deux stations situées dans le lac immédiatement en aval des rivières Yamaska et Saint-François. On disposait donc de peu d'information sur la présence de pesticides dans les parties du lac situées plus en aval. Le moratoire sur la pêche à la perchaude et l'adoption de la Stratégie d'intervention pour l'avenir du lac Saint-Pierre avaient mobilisé les intervenants gouvernementaux pour tenter d'expliquer les causes du déclin de cette espèce. Ce suivi a été réalisé en collaboration avec le secteur de la faune du Ministère¹. L'objectif était de mieux documenter la présence de pesticides à divers sites de reproduction et d'alévinage de la perchaude de la mi-avril au début juin, période critique durant laquelle se produisent la fraie, l'éclosion des œufs et l'alévinage. Plusieurs des sites retenus sont des zones inondées en période printanière.

Onze sites dont 9 du côté sud du lac (figure 1) ont été échantillonnés par l'équipe du secteur de la faune entre le 19 avril et le 13 juin 2013. Selon le site, de deux à neuf prélèvements ont été effectués (tableau 2). Le site de la Baie Maskinongé, localisé sur le côté nord du lac, a été ajouté plus tard en saison.

Pour chaque date d'échantillonnage, deux analyses ont été réalisées : l'analyse OPS+, qui couvre environ 70 pesticides, et l'analyse GLY-AMPA, qui couvre l'herbicide glyphosate, son produit de dégradation l'AMPA et l'herbicide glufosinate. Les insecticides néonicotinoïdes n'ont pas été analysés, la problématique de ces produits étant encore émergente au début de l'année 2013.

¹ En 2013, le secteur de la faune faisait partie du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, alors qu'il fait maintenant partie du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Tableau 2 Échantillons d'eau provenant de sites de reproduction de la perchaude en 2013

Catégorie de site	Sites	Dates d'échantillonnage et stades de développement de la perchaude								
		Reproduction				Incubation		Alevinage		
		19 avril	23 avril	26 avril	1 mai	9 mai	14 mai	23 mai	31 mai	13 juin
Sites témoins	Site témoin 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Site témoin 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lac Saint-Pierre	Baie-du-Febvre	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Nicolet	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sarcel 8	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Champs inondés au printemps	Blondin	X	X	X	X	X	X			
	Brielle	X	X	X	X	X	X			
	Colbert	X	X	X	X	X	X			
Haltes migratoires	Sarcel 4					X	X			
	Sarcel 6					X	X			
Autre site	Baie Maskinongé					X	X	X		

Les sites ont été choisis pour présenter un certain gradient (fort, moyen, faible) de contamination par les pesticides. Certains sites étaient situés dans des zones de cultures de maïs ou de soya et l'on s'attendait à ce qu'ils soient plus affectés par la présence de pesticides. Ce sont les sites regroupés sous les catégories « champs inondés au printemps » et « haltes migratoires ». Pour ce qui est des sites du lac Saint-Pierre (Baie-du-Febvre et Nicolet), on s'attendait à une contamination moyenne, alors que pour les sites témoins (sites témoins 1 et 2 et Baie Maskinongé) une faible contamination était anticipée.



Zones inondées échantillonnées au printemps 2013 dans les zones de fraie de la perchaude : rivière Brielle (en haut à gauche), rivière Colbert (en haut à droite), Sarcel 6 (en bas à gauche), Sarcel 8 (en bas à droite) (Photos : Philippe Brodeur, MFFP).

Échantillonnage des sédiments en 2016

Les matières en suspension provenant des tributaires agricoles peuvent sédimenter dans les eaux peu profondes à courant lent qui bordent le lac. Bien que la plupart des pesticides en usage aujourd'hui soient relativement solubles dans l'eau, l'objectif de ce volet exploratoire était de vérifier la présence de pesticides dans les sédiments du lac, notamment ceux qui sont couramment détectés dans la colonne d'eau comme l'atrazine, le γ -métolachlore, le glyphosate et les insecticides néonicotinoïdes.

Les sédiments ont été prélevés à trois sites, soit les stations 1, 2 et 4 où l'échantillonnage de l'eau avait été réalisé en 2014 et en 2015 (figure 1). Ces trois sites ont été échantillonnés trois fois durant l'été (16 juin, 29 juin et 8 juillet). À chaque site, des sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne à sédiments de type Ekman qui prélève environ 2 ou 3 cm de sédiments de surface. Dans les zones de sédiments sableux (station 4), jusqu'à trois plongées de la benne ont été nécessaires pour recueillir la quantité de sédiments requise pour les analyses. À partir du volume total recueilli, des sous-échantillons ont été constitués, soit 100 g pour le glyphosate-AMPA, 100 g pour l'imidaclopride et autres néonicotinoïdes et 200 g pour OPS+ (atrazine et γ -métolachlore).



À des fins de sécurité, la première campagne d'échantillonnage a été réalisée avec la collaboration du ministère de la Défense nationale afin d'identifier, à l'aide d'un détecteur de métal, la présence éventuelle d'engins explosifs (en haut à gauche). Les échantillons sont prélevés à l'aide d'une benne et sont déposés dans un bac de plastique avant d'être transférés dans des contenants de verre ambré (source photos : Francine Rochette, MDELCC, 2016).

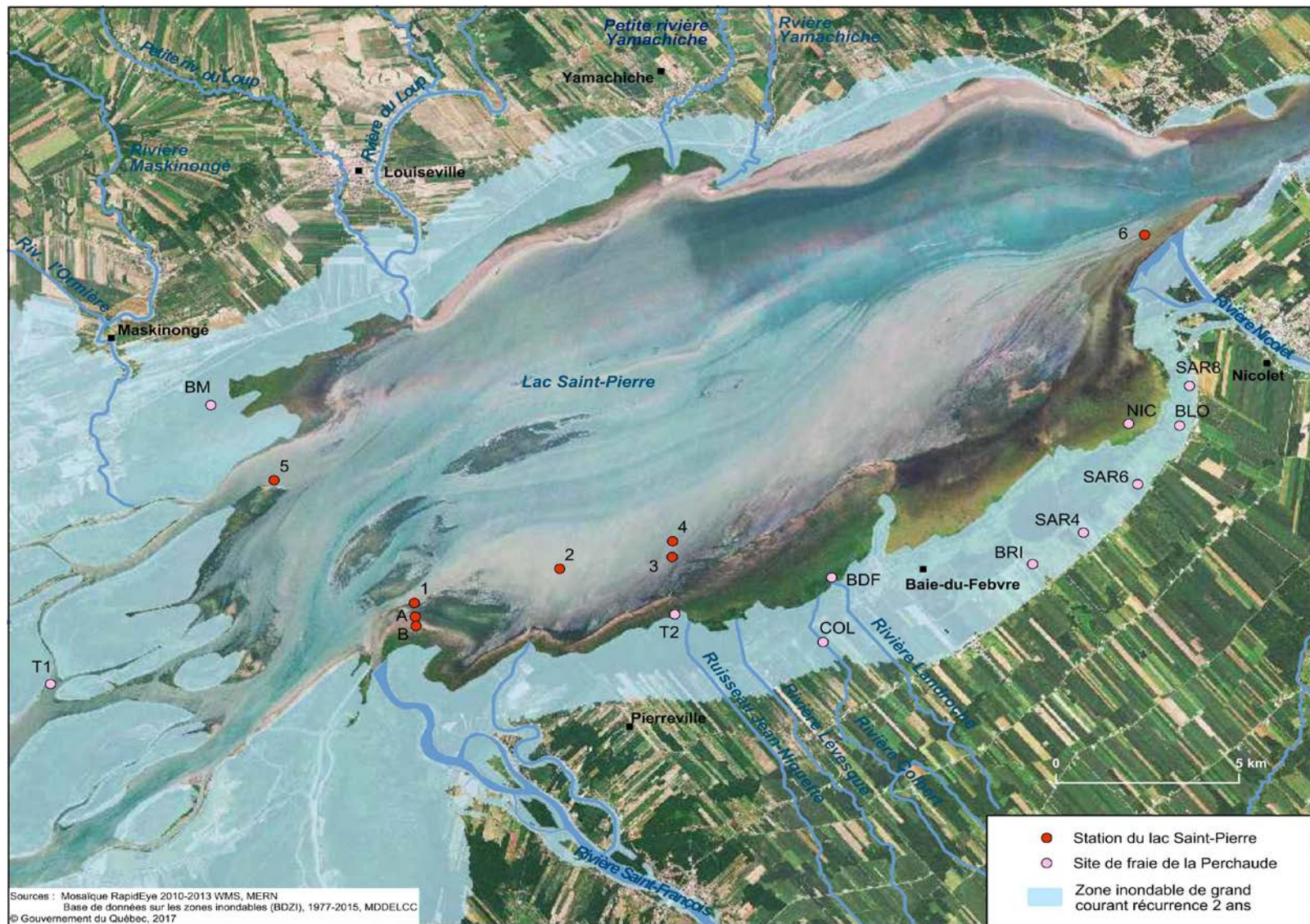


Figure 1 Stations échantillonnées pour les pesticides dans le lac Saint-Pierre entre 2008 et 2016

2. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES DANS L'EAU DU LAC SAINT-PIERRE

En 2008, 2014 et 2015, 119 échantillons d'eau ont été prélevés pour vérifier la présence de pesticides dans le lac Saint-Pierre. Des paramètres complémentaires ont également été analysés, notamment la conductivité pour tenter de préciser si les échantillons des stations de la rive sud étaient situés dans le panache de la rivière Yamaska (annexe 2).

Pesticides détectés

Le tableau 3 présente une synthèse des principaux pesticides détectés et leur fréquence de détection aux stations du lac Saint-Pierre en 2008, 2014 et 2015. Les résultats pour tous les pesticides détectés dans l'eau sont présentés à l'annexe 3.

La plupart des pesticides détectés sont des herbicides. Pour l'ensemble de la période, 19 herbicides et 3 produits de dégradation d'herbicides sont détectés dans le lac Saint-Pierre. Les herbicides présents le plus souvent, soit dans presque 100 % des échantillons, sont l'atrazine et le β -métolachlore. Plusieurs autres herbicides sont détectés dans environ la moitié des échantillons prélevés. Ce sont le glyphosate, le métribuzine, le mésotrione, l'imazéthapyr et le diméthénamide. Une dizaine d'autres herbicides sont détectés de façon plus épisodique.

Parmi les produits de dégradation, le dééthyl-atrazine (DEA), produit de la dégradation de l'atrazine, est le plus souvent détecté, soit dans 30 % à 100 % des échantillons selon les stations et les années. Le désisopropyl-atrazine (DIA), un autre produit de dégradation de l'atrazine, ainsi que l'AMPA, produit de la dégradation du glyphosate, sont détectés dans environ 11 % des échantillons.

Sur l'ensemble des quatre années d'échantillonnage, cinq insecticides et un produit de dégradation d'insecticide sont détectés. Ce sont les deux insecticides néonicotinoïdes, thiaméthoxame et clothianidine, ainsi que le chlorantraniliprole, le chlorpyrifos, le carbaryl et son produit de dégradation, le 1-naphtol. Le thiaméthoxame est détecté dans 67 % à 100 % des échantillons, alors que la clothianidine est détecté dans 33 % à 90 % des échantillons selon les stations et les années. Le chlorantraniliprole est détecté dans moins de 22 % des échantillons, alors que le chlorpyrifos, le carbaryl et son produit de dégradation n'ont été détectés que dans un seul échantillon en 2008. Le seul fongicide détecté est le myclobutanil, détecté ponctuellement en 2008.

Au cours de la saison estivale, on trouve toujours plusieurs pesticides en même temps dans l'eau du lac. Leur présence simultanée pourrait avoir des effets néfastes sur certaines espèces aquatiques. Quatre pesticides, soit l'atrazine, le thiaméthoxame, la clothianidine et le chlorpyrifos, dépassent parfois les critères de qualité de l'eau établis pour la protection des espèces aquatiques (tableau 4). Le critère de qualité de l'eau de 1,8 µg/l pour l'atrazine a été dépassé à quelques reprises en 2014. En 2014 et en 2015, selon le site, le critère de 0,0083 µg/l pour le thiaméthoxame est dépassé dans 10 % à 55 % des échantillons pour le thiaméthoxame et dans 10 % à 44 % des échantillons pour la clothianidine. Un dépassement ponctuel du critère de qualité de l'eau de 0,002 µg/l pour le chlorpyrifos est observé en 2008.

Tableau 3 Pesticides détectés et fréquence de détection (%) aux différents sites échantillonnés dans le lac Saint-Pierre entre 2008 et 2016

	2008		2014					2015			
	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	-
<i>s</i> -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	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-
Bentazone	33,3	29,4	33,3	22,2	33,3	33,3	33,3	10	10	10	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
Chlorantranilprole	NA	NA	22,2	11,1	11,1	22,2	22,2	-	-	-	-
Chlorpyrifos	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbaryl	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>1-Naphtol</i>	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FONGICIDE											
Myclobutanil	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azoxysrobine	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Nombre d'échantillons	18	17	9	9	9	9	9	10	10	10	10

NA : Produit non analysé

Tableau 4 Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau CVAC (%)

	CVAC ($\mu\text{g/l}$)	2008		2014					2015			
		A	B	1	2	3	4	5	1	3	4	6
HERBICIDE												
Atrazine	1,8	-	-	11,1	-	22,2	11,1	-	-	-	-	-
INSECTICIDES												
Thiaméthoxame	0,0083	NA	NA	55,5	33,3	55,5	33,3	22,2	30	20	20	10
Clothianidine	0,0083	NA	NA	44,4	33,3	44,4	33,3	22,2	20	10	20	10
Chlorpyrifos	0,002	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CVAC : Critère de vie aquatique chronique

NA : Produit non analysé

C'est en 2014 que les concentrations maximales les plus élevées sont observées pour les différentes substances (tableau 5). Les valeurs maximales mesurées lors de ces campagnes sont de 4,4 µg/l pour le δ -métolachlore, de 1,9 µg/l pour l'atrazine, de 1,6 µg/l pour le glyphosate et de 0,69 µg/l pour le mésotrione. Les valeurs maximales mesurées pour les insecticides néonicotinoïdes sont de 0,24 µg/l pour le thiaméthoxame mesuré à la station 1 et de 0,11 µg/l pour la clothianidine à la station 4. Pour ce qui est des insecticides de la famille des néonicotinoïdes, dont les concentrations dépassent le plus souvent le critère, les valeurs maximales mesurées représentent respectivement une amplitude de 29 fois le CVAC de 0,0083 µg/l pour le thiaméthoxame et de 13 fois le CVAC pour la clothianidine. Les six stations échantillonnées en 2014-2015 ont montré des dépassements du CVAC pour ces produits à plusieurs reprises. Pour chacune des stations, l'amplitude maximale du dépassement a atteint 29, 9, 15, 23, 10 et 4,5 fois le critère respectivement pour les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Tableau 5 Concentrations maximales mesurées (µg/l)

	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	-
δ -Métolachlore	7,8	2,3	1,8	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	65 ou 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	-	-	-	-	-	-	-	-	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	0,0083	NA	NA	0,24	0,076	0,13	0,19	0,085	0,018	0,016	0,04	0,01
Clothianidine	0,0083	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FONGICIDE												
Myclobutanil	11	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NA : Produit non analysé

Profil des concentrations

La figure 2 montre le profil des concentrations aux stations A et B en 2008 en comparaison des concentrations mesurées par Environnement Canada (2013) dans les rivières Yamaska et Saint-François au cours de la même période. On remarque des pointes similaires ou plus élevées qu'à l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François pour le β -métochlorure et l'atrazine.

Les figures 3 et 4 montrent le profil des concentrations en 2014 et en 2015 pour quelques pesticides le plus souvent détectés dans le lac Saint-Pierre. Les figures présentent également les précipitations survenues au cours de la période d'échantillonnage telles qu'enregistrées à la station météorologique de Pierreville pour les stations 1 à 4 situées sur la rive sud et à la station météorologique de Louiseville pour la station 5. La station 5, échantillonnée du côté nord du lac, montre la présence des mêmes pesticides, mais les concentrations mesurées sont beaucoup plus faibles. Les superficies cultivées étant moins grandes sur la rive nord que sur la rive sud du lac Saint-Pierre, les quantités de pesticides épandues sont moins importantes, ce qui se reflète dans les concentrations mesurées.

Les herbicides présentent des concentrations plus élevées que les insecticides, mais seules quelques pointes pour l'atrazine dépassent le CVAC. Malgré des concentrations plus faibles que les herbicides, les insecticides, notamment les néonicotinoïdes, sont parfois présents en concentrations qui dépassent le CVAC.

En 2014, deux pointes de concentrations sont observées, l'une le 16 juin et l'autre le 26 juin (figure 3), lesquelles correspondent à des événements de fortes précipitations. Ce constat est cohérent avec ce qui est habituellement observé dans les rivières où les pointes surviennent lors des pluies qui suivent la période d'application des pesticides aux champs. À l'exception de la station 2, qui montre des concentrations un peu plus faibles, les concentrations de pesticides mesurées aux stations 3 et 4, situées à environ 7 km en aval de la station 1, sont néanmoins comparables à celles de la station 1. Ce constat semble indiquer que les concentrations de pesticides provenant des tributaires se conservent sans dilution notable sur une distance appréciable le long de la rive sud du lac.

En 2015, des pluies importantes sont survenues entre le 7 et le 10 juin (figure 4). Des prélèvements d'eau étaient prévus dans le lac le 11 juin. Toutefois, en raison de forts vents et des dommages causés aux rampes d'accès des marinas par les pluies des jours précédents, l'échantillonnage n'a pas pu être réalisé (date identifiée par une flèche sur les graphiques). Comme cette date aurait sans doute été la plus significative pour illustrer les pointes de concentrations maximales de pesticides, il apparaît que les profils de 2015 ainsi que les valeurs maximales mesurées reflètent moins bien la situation réelle puisque le pic des concentrations élevées n'a pas été échantillonné. D'ailleurs, la pointe de concentration plus élevée de β -métochlorure enregistrée le 15 juin à la station la plus en aval dans le lac (station 6) pourrait résulter du passage de cette masse d'eau plus fortement chargée.

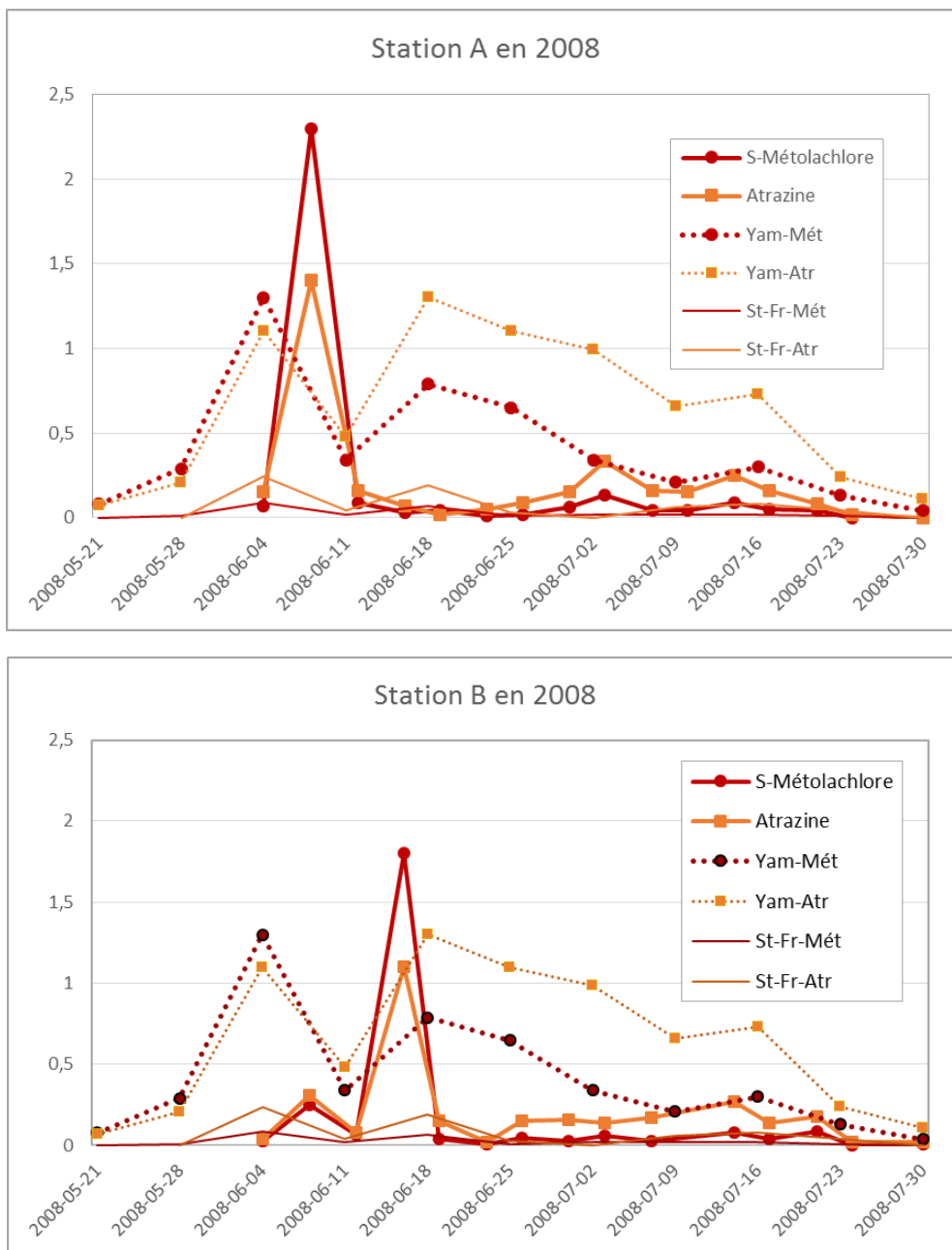
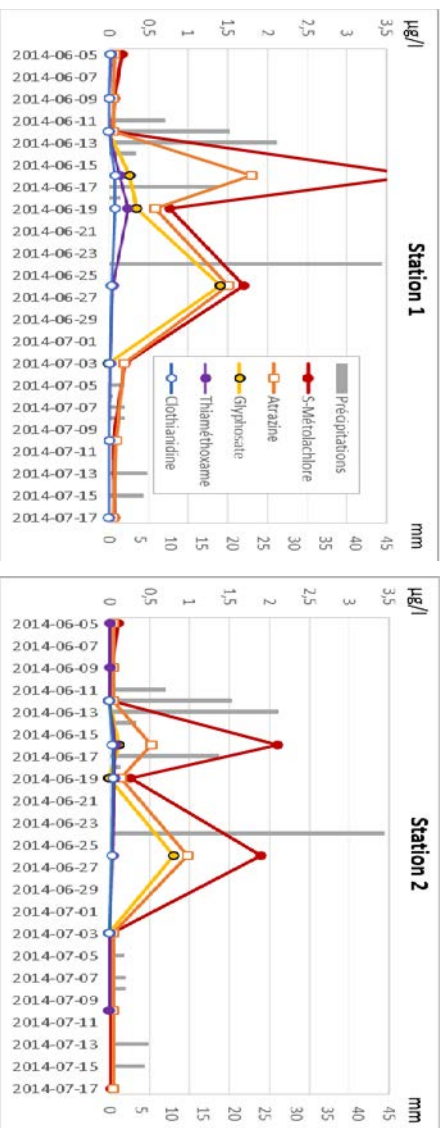
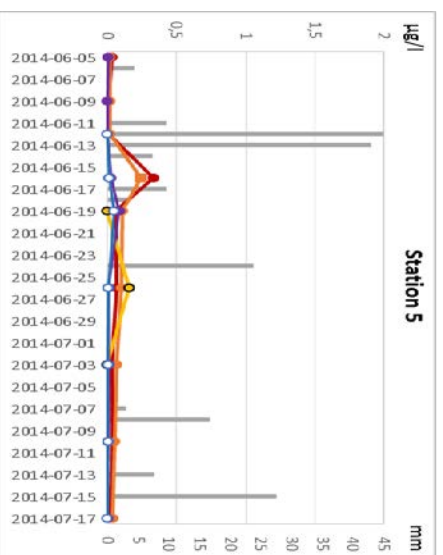
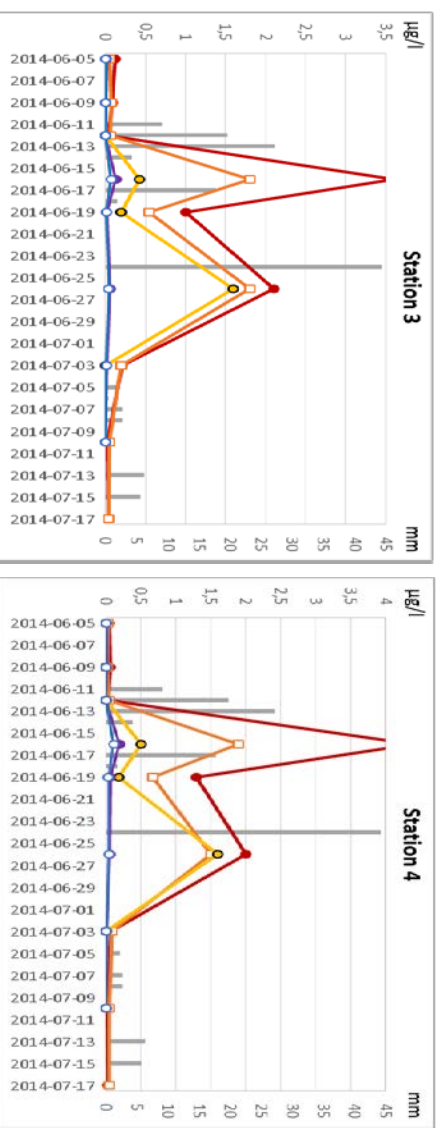


Figure 2 Concentrations d’atrazine et de β -métolachlore aux stations A et B du lac Saint-Pierre et à l’embouchure des rivières Yamaska et Saint-François²

² Source des données de pesticides pour les rivières Yamaska et Saint-François en 2008 : Environnement Canada, 2013.

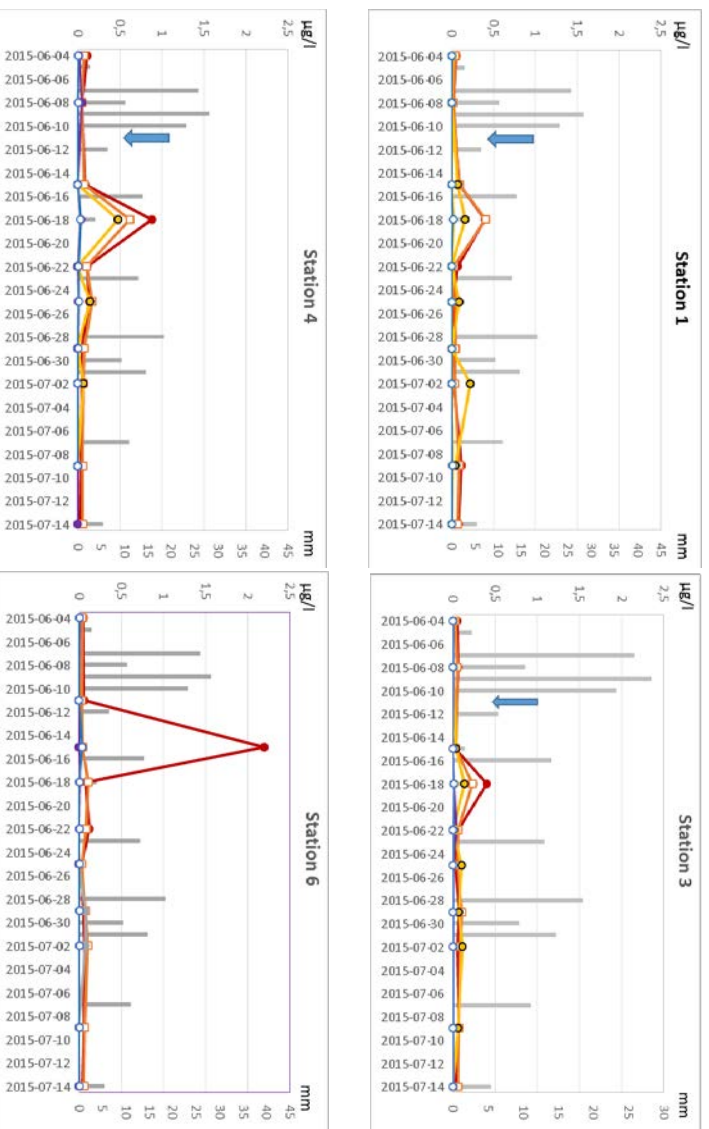


Note :



Aux stations 1 à 4, les précipitations sont celles de la station météorologique de Pierreville sur la rive sud du lac et celles de la station 5 sont pour la station météorologique de Louiseville sur la rive nord.

Figure 3 Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre en 2014



Note : Les flèches indiquent la date du 11 juin 2015, où un prélèvement était prévu mais n'a pas pu être réalisé, les fortes pluies des jours précédents ayant brisé les accès pour la mise à l'eau de l'embarcation.

Figure 4 Profils des concentrations de quelques pesticides dans le lac Saint-Pierre et précipitations en 2015

3. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES AU PRINTEMPS DANS L'EAU DES SITES DE REPRODUCTION DE LA PERCHAUDE

Au printemps 2013, des sites de fraie ou d'alevinage ont été échantillonnés. Ce sont des secteurs inondés bordant le lac Saint-Pierre et quelques sites dans le lac lui-même. Les concentrations de pesticides mesurées entre le 19 avril et le 23 mai aux 11 sites échantillonnés sont vraisemblablement des concentrations résiduelles des applications de l'année précédente (tableau 6), puisque les travaux aux champs n'étaient pas encore commencés à cette période.

Les produits détectés sont l'atrazine, le *s*-métolachlore, le glyphosate, le glufosinate, le métribuzine et les produits de dégradation AMPA et dééthyl-atrazine. L'AMPA est le produit détecté en plus forte concentration. La concentration la plus élevée (0,89 µg/l) est mesurée au site Sarcel 6 le 9 mai, donc avant l'application de pesticides dans les champs et avant la vidange de l'eau des haltes migratoires. Les concentrations des pesticides détectés respectent les critères établis pour la protection des espèces aquatiques. Les insecticides néonicotinoïdes, dont la problématique était moins connue à cette époque, n'avaient pas été analysés dans le cadre de ce projet.

À partir du 31 mai, les concentrations de pesticides dans le lac commencent à augmenter. Les concentrations mesurées le 31 mai et le 13 juin à certains sites du lac (Baie-du-Febvre, Nicolet, site témoin 2) résultent vraisemblablement des premières applications de pesticides de la saison 2013.

Tableau 6 Concentrations de pesticides dans les sites de fraie de la perchaude en 2013

	Sites	Pesticides	Dates d'échantillonnage / stades de développement de la perchaude								
			Reproduction			Incubation			Alevinage		
			19 avril	23 avril	26 avril	1 ^{er} mai	9 mai	14 mai	23 mai	31 mai	13 juin
Lac Saint-Pierre	Site témoin 1	<i>s</i> -Métolachlore	0,01	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,02
		Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03
		Glyphosate	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-
	Site témoin 2	<i>s</i> -Métolachlore	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
		Atrazine	-	-	0,02	0,02	0,03	-	0,02	0,02	0,04
		Glyphosate	-	-	-	-	-	-	-	0,82	-
		AMPA	0,34	-	-	-	-	-	-	0,85	-
	Baie Maskinongé	<i>s</i> -Métolachlore	NE	NE	NE	NE	-	0,01	0,01	NE	NE
		Glyphosate	NE	NE	NE	NE	-	-	-	NE	NE
	Baie-du-Febvre	<i>s</i> -Métolachlore	0,02	0,01	-	0,01	0,02	0,01	0,02	0,53	0,26
		Métribuzine	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-
		Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05
		DEA	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-
		Glyphosate	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-
	Nicolet	<i>s</i> -Métolachlore	0,07	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,58	0,38
		Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,09
		DEA	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-
		Glyphosate	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,27
Champs inondés au printemps	Sarcel 8	<i>s</i> -Métolachlore	-	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,17
		Atrazine	-	-	-	-	-	-	0,02	0,07	0,36
		DEA	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
		Glyphosate	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
		AMPA	-	0,21	-	-	-	-	-	-	-
		Glufosinate	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-
	Blondin	<i>s</i> -Métolachlore	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	NE	NE	NE
		Atrazine	0,04	-	0,02	-	0,02	-	NE	NE	NE
		DEA	0,03	-	-	-	-	-	NE	NE	NE
		AMPA	-	0,27	-	0,61	-	-	NE	NE	NE
	Brielle	<i>s</i> -Métolachlore	0,01	0,03	0,011	0,06	0,03	0,04	NE	NE	NE
		Atrazine	-	0,02	0,02	-	0,03	-	NE	NE	NE
		AMPA	-	-	-	-	0,51	-	NE	NE	NE
	Colbert	<i>s</i> -Métolachlore	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,32	NE	NE	NE
		Métribuzine	-	-	-	-	-	0,07	NE	NE	NE
		AMPA	0,45	-	-	-	0,25	0,21	NE	NE	NE
		Glufosinate	0,05	-	-	-	-	-	NE	NE	NE
	Haltes migratoires	Sarcel 4	Atrazine	NE	NE	NE	NE	0,02	-	NE	NE
<i>s</i> -Métolachlore			NE	NE	NE	NE	0,22	0,11	NE	NE	NE
AMPA			NE	NE	NE	NE	0,79	0,54	NE	NE	NE
Sarcel 6		<i>s</i> -Métolachlore	NE	NE	NE	NE	0,01	0,02	NE	NE	NE
	AMPA	NE	NE	NE	NE	0,89	0,48	NE	NE	NE	

NE : Station non échantillonnée à cette date

4. CONCENTRATIONS DE PESTICIDES DANS LES SÉDIMENTS DU LAC SAINT-PIERRE

L'échantillonnage exploratoire des sédiments du lac Saint-Pierre en 2016 montre la présence du glyphosate et de l'AMPA dans deux des neuf échantillons de sédiments prélevés, alors que ces deux produits n'ont pas été détectés dans la colonne d'eau aux mêmes dates. Rappelons que les échantillons d'eau étaient prélevés à titre complémentaire seulement, puisqu'une si faible fréquence d'échantillonnage dans l'eau est insuffisante pour tirer des conclusions sur l'occurrence des produits et les dépassements de critères de qualité de l'eau.

Les deux produits sont détectés dans les sédiments des stations 1 et 2 à la première date d'échantillonnage seulement, soit le 16 juin 2016. Aucun pesticide n'est détecté dans les sédiments de la station 4 (tableau 7) et aucun autre pesticide n'est détecté dans les sédiments. Ni les herbicides atrazine et β -métolachlore, ni les insecticides néonicotinoïdes n'ont été détectés dans les sédiments. Il n'y a pas de critère de qualité relativement à la présence de glyphosate dans les sédiments.

Tableau 7 Pesticides détectés dans l'eau et les sédiments du lac Saint-Pierre en 2016

		Station 1			Station 2			Station 4		
		Juin		Juillet	Juin		Juillet	Juin		Juillet
		16	29	8	16	29	8	16	29	8
EAU ($\mu\text{g/l}$)	HERBICIDES									
	Atrazine	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04
	DEA	-	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	S-Métolachlore	0,08	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
	Glyphosate	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AMPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	INSECTICIDES									
	Clothianidine	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Thiaméthoxame	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FONGICIDE									
Azoxystrobine	0,001	0,001	0,001	-	0,001	-	0,001	0,001	0,001	
SÉDIMENTS ($\mu\text{g/g}$)	HERBICIDES									
	Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S-Métolachlore	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Glyphosate	0,39	-	-	7,1	-	-	-	-	-
	AMPA	0,45	-	-	1,1	-	-	-	-	-
	INSECTICIDES									
	Clothianidine	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Thiaméthoxame	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FONGICIDE									
Azoxystrobine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TEXTURE APPARENTE	Sable fin et un peu de limon	Sable et limon 50-50 %	Limon et sable	Sable et limon	Limon et sable : environ 70 % limon	Sable	Très sablonneux et un peu de limon	Très sablonneux	70 % limon	

La texture apparente des sédiments a été notée pour chacun des sites échantillonnés. Celle-ci a varié d'une date à l'autre pour un même site, soit parce ce que l'emplacement du prélèvement a changé de quelques mètres entre les dates de prélèvement, soit en raison du brassage des sédiments au cours de la période. Notons que le 16 juin, date où le glyphosate et l'AMPA ont été détectés, les stations 1 et 2 étaient caractérisées par des sédiments plus fins que ceux de la station 4.

L'utilisation d'une benne a permis de prélever, comme prévu, les premiers centimètres de sédiments, mais ne permettait pas de conserver l'intégrité stratigraphique des échantillons, notamment pour les échantillons plus sableux. Si une autre campagne était réalisée, il serait souhaitable d'utiliser un échantillonneur de type carottier afin de s'assurer de faire analyser la couche superficielle des sédiments.

5. DISCUSSION

Contribution des tributaires agricoles à l'apport en pesticides au lac Saint-Pierre

Les suivis en rivières réalisés entre 2011 et 2014 ont montré la présence de pesticides dans tous les tributaires au nord et au sud du lac Saint-Pierre et dans plusieurs rivières se jetant dans le fleuve en amont de celui-ci (Giroux, 2015). Des données de 2003 à 2008 (Trudeau *et al.*, 2011) montraient également la présence de pesticides dans les rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet. De manière générale, les superficies agricoles étant plus importantes du côté sud du lac, les rivières qui s'y jettent, en particulier la rivière Yamaska, sont les plus susceptibles de contribuer à l'apport en pesticides au lac. Les données sur l'occupation du territoire montrent que les cultures à grand interligne (Simoneau, 2017), susceptibles de recevoir des pesticides, sont importantes dans les bassins des rivières Yamaska, Richelieu et Saint-François (figure 5). On devrait donc s'attendre à ce que les quantités de pesticides épandues y soient plus importantes et que les concentrations retrouvées dans les rivières influencent celles détectées dans le lac Saint-Pierre. De manière générale, les résultats des suivis réalisés dans les tributaires ces dernières années confirment que la rivière Yamaska présente un débit plus faible (Simoneau, 2017) et des concentrations de pesticides plus élevées que la rivière Saint-François (Giroux, 2015).

De plus, quelque 5 000 hectares de la plaine inondable du lac Saint-Pierre sont aujourd'hui en cultures annuelles de maïs et de soya (TCRLSP, 2016). Plusieurs petits cours d'eau drainent ces zones agricoles de la plaine inondable (bassins versants orphelins identifiés à la figure 5). Ce sont par exemple le ruisseau Jean-Niquette et les rivières Colbert, Landeroche et Lévesque sur la rive sud ou les décharges du Brûlé et de la Ligne des Mères sur la rive nord. Malgré leur faible débit, ils peuvent aussi contribuer à l'apport en pesticides dans les eaux peu profondes du lac Saint-Pierre.

Les travaux de modélisation réalisés au cours des 10 dernières années, et depuis 2017, la disponibilité de la modélisation des masses d'eau en temps réel, réalisée à partir de données de conductivité prises dans le lac Saint-Pierre et ses tributaires (Martin *et al.*, 2016) précisent davantage les panaches d'écoulement des principaux tributaires du lac Saint-Pierre. À l'aide de quelques cartes de modélisation en temps réel, la figure 6 montre des exemples de panache de trois tributaires du lac en juin 2017. Selon les conditions météorologiques, ces panaches peuvent se déplacer d'un jour à l'autre de sorte qu'au moment de l'échantillonnage, il est difficile de savoir au préalable quelle masse d'eau influence le plus la station échantillonnée.

Comme la conductivité est différente d'un tributaire à l'autre, les données de conductivité recueillies dans le lac Saint-Pierre en complément des pesticides lors des campagnes de 2008, de 2014 et de 2015 avaient pour but de préciser l'origine de la masse d'eau échantillonnée, du moins pour les stations situées du côté sud du lac. Bien qu'on formule l'hypothèse que la rivière Yamaska influence davantage les concentrations de pesticides mesurées dans toute la portion sud du lac Saint-Pierre, l'analyse des données de conductivité (annexe 4) n'a pas permis de le déterminer clairement.

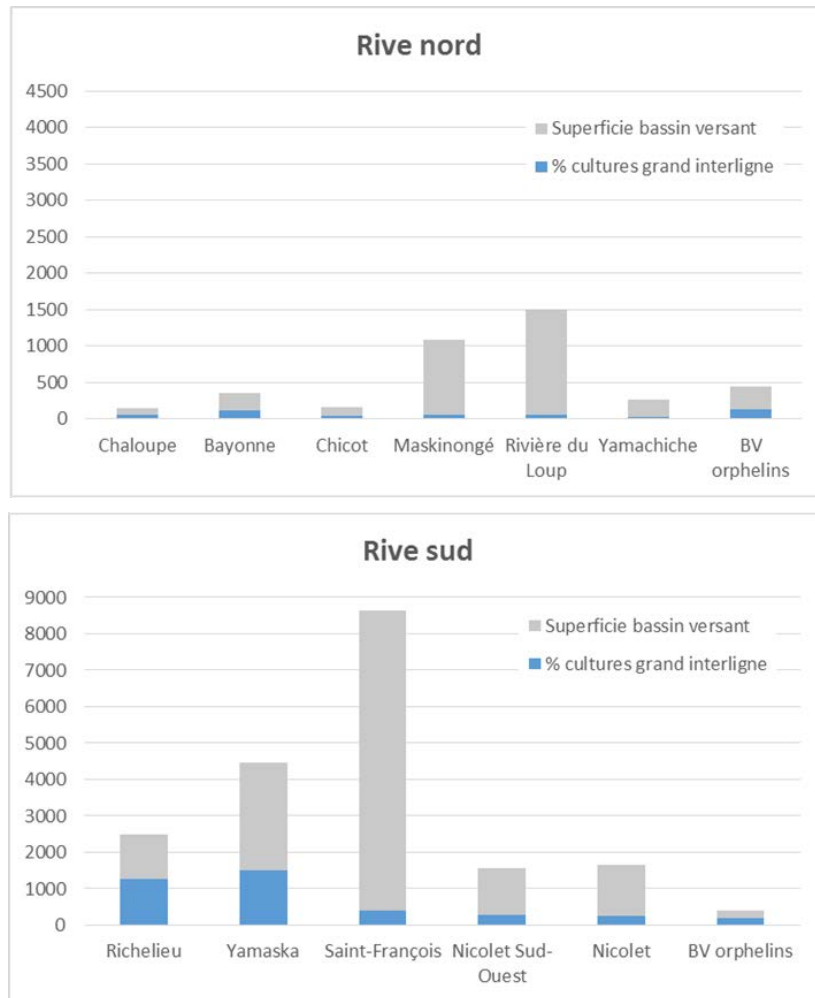


Figure 5 Superficie des bassins versants (en km²) et proportion en cultures à grand interligne³

³ (Adapté de Simoneau, 2017)

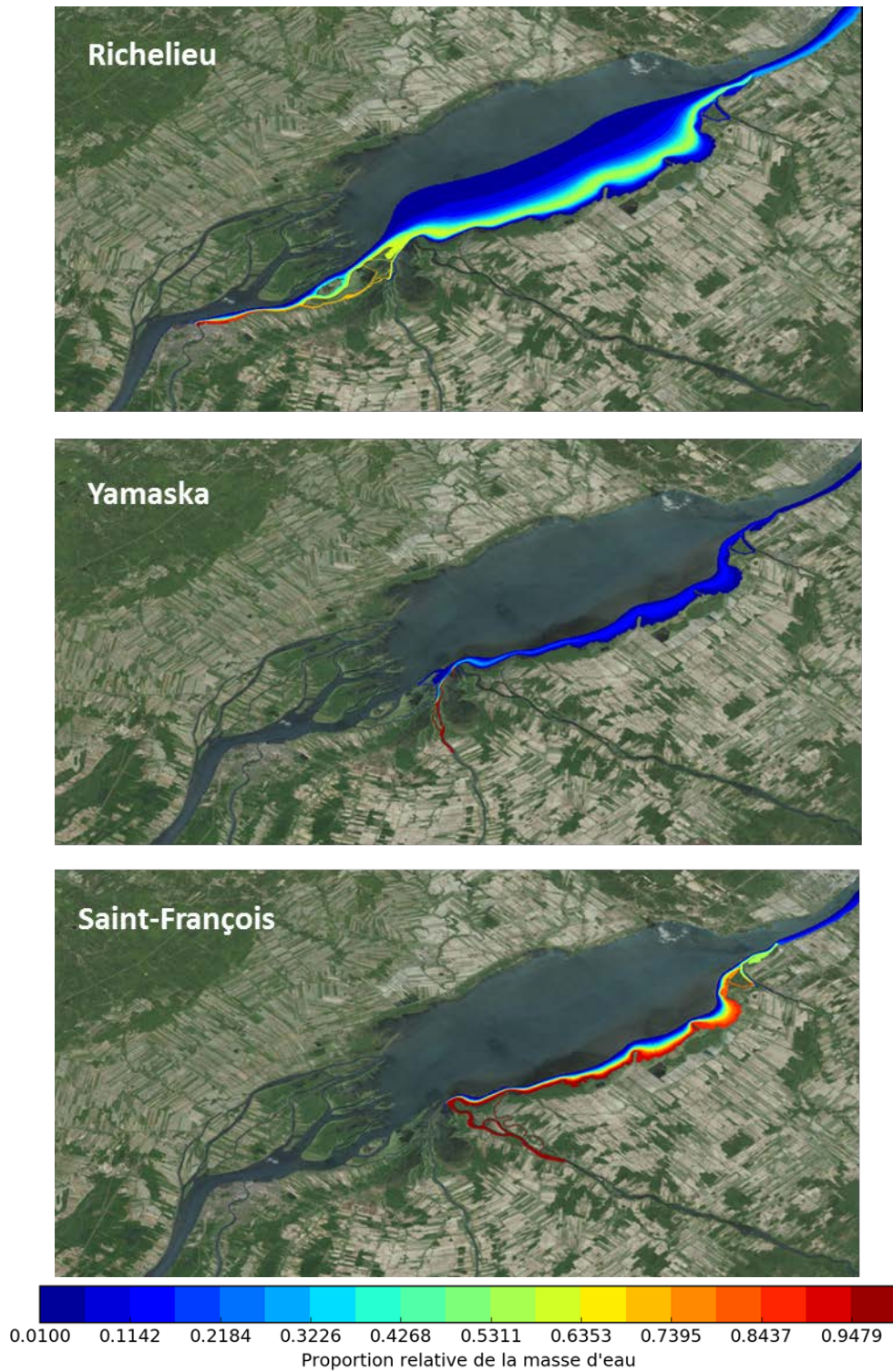


Figure 6 Proportion relative des masses d'eau dans le lac Saint-Pierre (6 juin 2017)⁴

⁴ Source : Adapté des données d'Environnement et Changement climatique Canada, 2017, <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/SHOP>.

Effets des herbicides sur les plantes aquatiques et les algues

Une disparition progressive des herbiers de macrophytes dans les zones peu profondes du lac Saint-Pierre a été observée au cours des 10 dernières années. Les superficies des herbiers de macrophytes, autrefois dominées par la vallisnérie (*Vallisneria americana*), diminuent au profit de cyanobactéries benthiques filamenteuses (De la Chenelière *et al.*, 2014).

Diverses études tendent à relier cette situation à l'enrichissement en éléments nutritifs dans les secteurs plus riches en macrophytes, notamment près de l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François, et à un déficit en azote dans les secteurs plus en aval et dominés par les cyanobactéries benthiques (*Lyngbya wollei* et *Gloeotrichia pismum*) (Hudon *et al.*, 2012; Hudon et Carignan, 2008). Dans ces secteurs, les cyanobactéries benthiques, qui ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique, seraient favorisées au détriment des autres types de plantes aquatiques. Par contre, d'autres études américaines et canadiennes citées par Hudon *et al.* (2014) indiquent qu'il n'y a pas nécessairement de corrélation entre l'abondance de *Lyngbya wollei* et un gradient de nutriments dans les plans d'eau testés. Au lac Saint-Pierre, il est donc possible que d'autres facteurs, incluant la présence d'herbicides, soient aussi en cause.

En effet, l'utilisation des pesticides a changé au Québec depuis les 10 dernières années. Avec l'accroissement des superficies en cultures génétiquement modifiées, les superficies traitées avec l'herbicide glyphosate ont doublé entre 2006 et 2012 (Giroux, 2015). Le glyphosate est maintenant détecté dans l'eau des tributaires agricoles et dans le lac Saint-Pierre, où il s'est ajouté aux autres herbicides comme l'atrazine et le *s*-métolachlore déjà présents depuis longtemps. Bien que les concentrations de glyphosate dans l'eau soient largement en deçà du CVAC visant la protection des espèces aquatiques, sa présence conjuguée à celle d'autres herbicides pourrait avoir un effet cumulatif sur les communautés de plantes aquatiques. Plusieurs auteurs ont d'ailleurs rapporté les effets cumulatifs de **mélanges de pesticides** (Villa *et al.*, 2012; Belden *et al.*, 2007; Arrhenius, *et al.*, 2004; Altenburger *et al.*, 2000).

De plus, les résultats obtenus dans la présente étude montrent que le glyphosate est présent dans les sédiments à certains endroits du lac et qu'il est possible que son relargage dans la colonne d'eau ou son absorption par les racines puisse affecter les plantes aquatiques les plus sensibles.

En Argentine, des études en mésocosmes ont montré qu'une exposition à des concentrations de 6 mg/l, 8 mg/l et 12 mg/l de glyphosate, en formulation commerciale, entraînait une augmentation du phosphore total dans l'eau ainsi qu'une diminution de l'abondance du micro et du nanophytoplancton, alors que l'abondance de picocyanobactéries augmentait par un facteur de 40 (Perez *et al.*, 2007). Les installations montraient une transition de mésocosmes clairs à turbides où les cyanobactéries sont favorisées au détriment des algues (Vera *et al.*, 2009). L'application de 3,5 mg/l de glyphosate (en formulation commerciale) dans des microcosmes extérieurs semble favoriser le développement du périphyton, en particulier d'algues filamenteuses (chlorophytes *Oedogonium* sp et *Mougeotia* sp) (Vera *et al.*, 2012)

Perez *et al.* (2011) soulignent que les macrophytes sont parmi les plantes les plus sensibles au glyphosate. Toutefois, les concentrations les plus faibles dans l'eau pour lesquelles des effets ont été observés chez les macrophytes (EC50 : 0,22 mg/l inhibition de la croissance et de la chlorophylle a chez *Myriophyllum aquaticum*) sont beaucoup plus élevées que la concentration maximale mesurée dans l'eau du lac Saint-Pierre (1,6 µg/l), bien que cette valeur ne reflète pas nécessairement les valeurs extrêmes susceptibles d'être mesurées au lac Saint-Pierre.

Dans une revue de littérature portant sur les effets du glyphosate sur les écosystèmes aquatiques, Perez *et al.* (2011) rapportent deux études qui indiquent des effets sur la structure des communautés aquatiques microbiennes à des concentrations de l'ordre de 10 µg/l, ce qui se rapproche des concentrations mesurées dans le lac Saint-Pierre. Dans des expériences en microcosmes, Khadra *et al.* (2016) ont noté une augmentation de la production de trois acides aminés dans des biofilms périphytiques testés. Dans les lacs, le périphyton constitue un producteur primaire important et les chercheurs croient que l'effet du glyphosate sur le périphyton pourrait entraîner un effet de cascade trophique jusqu'aux poissons. Smedbol (2013) a démontré que des

concentrations entre 5 µg/l et 10 µg/l de glyphosate (en formulation) peuvent affecter la structure des communautés phytoplanctoniques.

Par ailleurs, Forlani *et al.* (2008) ont montré que plusieurs genres de cyanobactéries sont tolérants au glyphosate à des concentrations micromolaires, certaines utilisant le glyphosate comme source de phosphore. Dans des microcosmes en laboratoire, Saxton *et al.* (2011) ont exposé deux genres de cyanobactéries présentes dans le lac Érié à diverses concentrations de glyphosate. L'objectif était de vérifier les effets sur leur croissance et leur abondance. À des concentrations de 0,1 mM, le glyphosate a provoqué une diminution de *Microcystis spp.* mais une augmentation de *Planktothrix spp.*

Présence de glyphosate dans les sédiments

Plusieurs recherches indiquent que le glyphosate peut s'adsorber aux sédiments, constituant ainsi une voie de dispersion du produit dans l'environnement aquatique (Ronco *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016; Degenhardt *et al.*, 2012; Perruzo *et al.*, 2008). La détection du glyphosate aux stations 1 et 2 dans le cadre du suivi exploratoire de 2016 confirme sa présence dans certaines zones de dépôt de sédiments fins du lac Saint-Pierre. Même si le glyphosate est très soluble, il peut être fortement adsorbé aux oxydes de fer et d'aluminium. La présence de sédiments fins comme l'argile et le limon, typiquement riches en oxydes, contribue à retirer le glyphosate de la colonne d'eau (Wang *et al.*, 2016). En Argentine, Ronco *et al.* (2016) rapportent une concentration moyenne de 0,6 µg/l de glyphosate dans l'eau du fleuve Paraná, alors que la concentration moyenne dans les sédiments se situe autour de 742 µg/kg et de 521 µg/kg respectivement pour le glyphosate et l'AMPA. En comparaison, les concentrations moyennes de glyphosate dans l'eau aux stations 1 et 2 du lac Saint-Pierre en 2014 sont de 0,14 µg/l et de 0,10 µg/l, alors que les concentrations dans les sédiments sont de 390 µg/kg et de 7 100 µg/kg respectivement pour le glyphosate et de 450 µg/kg et de 1 100 µg/kg pour l'AMPA.

Dans une étude en laboratoire sur un système biotique eau-sédiments (possibilité de dégradation biologique mais sans présence de plantes aquatiques), Wang *et al.* (2016) ont montré qu'après 80 jours d'incubation, 56 % du glyphosate appliqué était minéralisé. Une portion non minéralisée demeurerait donc pendant un certain temps dans les sédiments.

On trouve peu ou pas d'information dans la documentation scientifique sur les possibilités d'absorption du glyphosate (ou de l'AMPA) par le système racinaire des plantes aquatiques ni sur les effets toxiques potentiels de cette voie d'absorption. Cependant, puisque l'on sait que, selon leur disponibilité dans la colonne d'eau ou dans les sédiments, les macrophytes peuvent assimiler les nutriments soit par les feuilles, soit par les racines (Blanchet, 2008), il apparaît plausible que le glyphosate puisse suivre ces mêmes voies d'absorption. D'ailleurs, en milieu terrestre, des études ont montré qu'un enrichissement du sol en phosphore augmente le taux d'absorption du glyphosate par les racines du saule (Gomes *et al.*, 2015; Gomes *et al.*, 2016). Par ailleurs, en plus des effets reconnus du glyphosate sur l'inhibition de l'EPSP synthétase (empêchant la production des acides aminés), Gomes et Juneau (2016) ont montré que des concentrations de l'ordre de 500 mg/l de l'ingrédient actif glyphosate pouvaient également induire un stress oxydatif chez la plante aquatique *Lemna minor*. Les auteurs en déduisent que ce mécanisme d'action pourrait entraîner une baisse de croissance et de productivité chez les espèces sensibles.

Effets des pesticides sur les poissons

Plusieurs pesticides peuvent avoir des effets sur les poissons. Dans un mémoire de maîtrise portant sur les effets de l'exposition chronique aux pesticides, Camiré (2007) a montré que des perchaudes pêchées dans la rivière Yamaska près de l'embouchure présentaient une moins bonne condition que celles du site témoin et que leur réponse aux facteurs de stress était affaiblie. Signalons que les teneurs en pesticides dans le lac Saint-Pierre sont en plusieurs endroits

comparables à celles mesurées dans la rivière Yamaska. Parmi les effets et biomarqueurs considérés, l'auteur note un effet négatif sur la croissance des perchaudes. Le taux de cortisol plasmatique (réponse au stress) est diminué par rapport au contrôle. Les spécimens montraient une accumulation de glycogène hépatique (biomarqueurs du métabolisme énergétique), ainsi qu'un indice hépatosomatique plus élevé (indicateur de l'état de santé général). L'activité des enzymes Na⁺/K⁺-ATPase des branchies était plus élevée, révélant une perturbation du système d'osmorégulation.

Des chercheurs ont aussi montré que l'atrazine à des concentrations de l'ordre de 0,5 à 5 µg/l, donc semblables à ce qui est mesuré dans le lac Saint-Pierre, ainsi que des mélanges de pesticides pouvaient avoir des effets sur le système olfactif des salmonidés, ce qui risquait d'affecter leur capacité à repérer les signaux de reconnaissance olfactive leur permettant de localiser leur site de fraie ou leur habitat (Moore *et al.*, 2007; Tierney *et al.*, 2008).

Tillitt *et al.* (2010) ont montré qu'une exposition de 30 jours, du méné tête-de-boule à 0,5 µg/l d'atrazine, réduisait de 25 % la production totale d'œufs au moment de la fraie. Selon les auteurs, cette diminution serait due à un effet de l'atrazine sur le processus de maturation des ovocytes chez les spécimens femelles.

Depuis les années 2009-2010, 100 % des semences de maïs et environ 50 % des semences de soya sont traitées avec les insecticides néonicotinoïdes (Giroux, 2015). Ces produits sont détectés dans l'eau du lac Saint-Pierre durant toute la période estivale et sont parfois présents en concentrations qui dépassent le CVAC. Il est probable qu'ils soient aussi présents dans les champs inondés en période printanière et fréquentés par la perchaude adulte au moment de la fraie ainsi que par les jeunes larves. Ces insecticides pourraient être présents dans l'eau, le sol et les résidus de cultures des secteurs inondés. D'ailleurs, les néonicotinoïdes ont été détectés dans l'eau de ruissellement et de drainage souterrain de champs de maïs traités avec ces produits (Chrétien *et al.*, 2017) et dans les mares d'eau des champs semés avec des semences traitées (Samson-Robert *et al.*, 2014). Main *et al.* (2016) ont également détecté les néonicotinoïdes dans l'eau de fonte de neige, ce qui suggère leur persistance dans les champs traités au-delà de la période de récolte et jusqu'au printemps suivant.

De manière générale, les insecticides néonicotinoïdes sont considérés comme peu toxiques pour les poissons (Gibbons *et al.*, 2015). Toutefois, des études québécoises sont en cours pour vérifier leurs effets sur la perchaude, notamment aux premiers stades de son cycle de vie. Des résultats préliminaires obtenus par Paquet-Walsh *et al.* (2016) pour des concentrations de l'ordre de 0,13 µg/l indiquent que les rayons UV agiraient en synergie avec les néonicotinoïdes en accentuant la mortalité des larves de perchaude. Selon Gibbons *et al.* (2015), les insecticides néonicotinoïdes peuvent affecter les poissons de manière indirecte en affectant les proies dont ils se nourrissent. Les insecticides néonicotinoïdes sont très toxiques pour les macroinvertébrés benthiques (Van der Sluijs *et al.*, 2015). Des concentrations comparables à ce qui est détecté dans le lac Saint-Pierre peuvent causer une diminution de l'abondance et de l'émergence de certains taxons comme les éphéméroptères et les trichoptères (Van Dijk *et al.*, 2013; Roessink *et al.*, 2013; Mohr *et al.*, 2012; Alexander *et al.*, 2007).

CONCLUSION

Selon les stations et les années, de 12 à 21 pesticides sont détectés dans les eaux peu profondes du lac Saint-Pierre, notamment du côté sud du lac. Plusieurs herbicides sont détectés dans l'eau en juin et en juillet, avec des pointes de concentrations plus élevées entre la mi-juin et la fin juin. Parmi les herbicides, l'atrazine dépasse occasionnellement le critère de qualité de l'eau de 1,8 µg/l pour la protection de la vie aquatique. L'échantillonnage exploratoire des sédiments réalisé en 2016 montre que le glyphosate était présent en concentrations appréciables en juin dans les sédiments de deux des trois stations échantillonnées. Les dépassements du CVAC pour l'atrazine, la présence conjuguée de plusieurs herbicides ainsi que la présence du glyphosate à la fois dans l'eau et dans les sédiments pourraient contribuer à la régression des herbiers aquatiques.

Par ailleurs, les insecticides de la famille des néonicotinoïdes, soit la clothianidine et le thiaméthoxame, sont détectés en concentrations qui dépassent le CVAC de 0,0083 µg/l dans 10 % à 55 % des échantillons d'eau. Quoique ces produits soient généralement considérés comme peu toxiques pour les poissons, la documentation scientifique récente montre qu'ils pourraient agir en synergie avec les rayons UV et accentuer la mortalité des larves de perchaude. La présence de concentrations résiduelles de divers pesticides de l'année précédente dans les champs inondés fréquentés par la perchaude au printemps pour la fraie pourrait également affecter la survie des jeunes larves. De plus, les insecticides néonicotinoïdes sont très toxiques pour les invertébrés aquatiques. Ils pourraient aussi affecter les poissons, y compris la perchaude, de manière indirecte en limitant l'abondance des insectes et invertébrés aquatiques dont ils se nourrissent.

Les poissons sont particulièrement vulnérables au cours de leurs premiers stades de vie. L'absence de recrutement observée pour la population de perchaudes suggère qu'en plus de la dégradation des habitats de reproduction (diminution des herbiers), la mauvaise qualité de l'eau qui découle, entre autres, de la présence simultanée de plusieurs pesticides constitue une menace pour le développement des œufs et des larves de poissons.

À l'échelle du Québec, la [Stratégie québécoise sur les pesticides 2015-2018](#) instaurée par le Ministère a déjà pour objectif de réduire l'usage des pesticides les plus à risque en milieu agricole, y compris les insecticides néonicotinoïdes. Selon un calendrier d'entrée en vigueur progressif de la réglementation, la mise en terre ainsi que l'application des pesticides les plus à risque (atrazine, chlorpyrifos, clothianidine, imidaclopride et thiaméthoxame) sont interdites, sauf si elles sont préalablement justifiées par un agronome. Ceci réduira substantiellement le recours systématique à ces pesticides sans qu'il ne soit justifié, ce qui, globalement, devrait contribuer à réduire le risque pour les espèces aquatiques. De plus, les actuelles distances d'éloignement par rapport aux lacs, aux cours d'eau, aux milieux humides, aux sites de prélèvement d'eau et aux fossés lors de la mise en terre ou sur la terre des néonicotinoïdes enrobant les semences de certaines cultures devront être respectées, à compter du 8 septembre 2018.

De plus, en mars 2018, le gouvernement annonçait une subvention pour la conservation du lac Saint-Pierre. En plus de la restauration de milieux prioritaires, comme les habitats fauniques par exemple, cette subvention a comme objectif la recherche de pratiques agricoles durables mieux adaptées aux conditions particulières du lac Saint-Pierre.

La Table de concertation régionale (TCR) du lac Saint-Pierre et ses autres partenaires travaillent à l'élaboration d'un Plan de gestion intégrée régionale (PGIR), accompagné d'un plan d'action quinquennal, pour la zone de gestion du lac Saint-Pierre. Ce document doit être déposé au ministère pour évaluation.

Le Ministère entend poursuivre le suivi environnemental des pesticides au lac Saint-Pierre, au cours des prochaines années afin d'évaluer les gains réalisés.

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER, A. C., J.M. CULP, K. LIBER et A.J. CESSNA (2007). "Effects of Insecticide Exposure on Feeding Inhibition in Mayflies and Oligochaetes", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 26, n° 8, p. 1726-1732.

ALTENBURGER, R., T. BACKHAUS, W. BOEDEKER, M. FAUST, M. SCHOLZE, H. GRIMME (2000). "Predictability of the toxicity of multiple chemical mixtures to *Vibrio fischeri* : Mixtures composed of similarly acting chemicals", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 19, n° 9, p. 2341-2347.

ARRHENIUS, A., F. GRONVALL, M. SCHOLZE, T. BACKHAUS et H. BLANCK (2004). "Predictability of the mixture of 12 similarly acting congeneric inhibitors of photosystem II in marine periphyton and epipsammon communities", *Aquatic Toxicology*, vol. 68, p. 351-367.

BELDEN, J.B., R.J. GILLIOM, J.D. MARTIN et M.J. LYDY (2007). "Relative toxicity and occurrence patterns of pesticide mixtures in streams draining agricultural watersheds dominated by corn and soybean production", *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 3, n° 1, p. 90-100.

BLANCHET, C. (2008). *Le contenu en azote de Vallisneria Americana, un élément intégrateur de l'hétérogénéité spatiale et temporelle du lac St-Pierre, un lac fluvial du fleuve St-Laurent*, Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 84 p.

CAMIRÉ, M. (2007). *Effets de l'exposition chronique aux pesticides sur le statut physiologique du poisson d'eau douce*, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 87 p.

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*, vol. 224, p. 255-264.

DEGENHARDT, D., D. HUMPHRIES, A.J. CESSNA, P. MESSING, P.H. BADIOU, R. RAINA, A. FARENHORST et D.J. PENNOCK (2012). "Dissipation of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in water and sediment of two Canadian prairie wetlands", *Journal of Environmental Science and Health, Part b*, vol. 47, p. 631-639.

DE LA CHENELIÈRE, V., P. BRODEUR et M. MINGELBIER (2014). « Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude », *Le Naturaliste Canadien*, vol. 138, n° 2, p. 50-61.

ENVIRONNEMENT CANADA (2013). *Des pesticides voyagent jusqu'au fleuve Saint-Laurent par ses tributaires*, <https://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=45B1191F-1>.

FORLANI, G., M. PAVAN, M. GRAMEK, P. KAFARSKI et J. LIPOK (2008). "Biochemical Bases for widespread tolerance of cyanobacteria to the phosphonate herbicide glyphosate", *Plant & Cell Physiology*, vol. 49, n° 3, p. 443-456.

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*, vol. 22, p. 103-118.

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*, Québec, ministère du développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-73603-5, 47 p. + 5 ann.

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*, vol. 140, n° 2, p. 26-34.

GOMES, M.P., et P. JUNEAU (2016). "Oxidative stress in duckweed (*Lemna minor* L.) induced by glyphosate: Is the mitochondrial electron transport chain a target of this herbicide?", *Environmental Pollution*, vol. 218, p. 402-409.

GOMES, M.P., S. MACCARIO, M. LUCOTTE, M. LABRECQUE et P. JUNEAU (2015). "Consequences of phosphate application on glyphosate uptake by roots: Impacts for environmental management practices", *Science of the Total Environment*, vol. 537, p. 115-119.

GOMES, M.P., S. GINGRAS LE MANAC'H, M. MOINGT, E. SMEDBOL, S. PAQUET, M. LABRECQUE, M. LUCOTTE et P. JUNEAU (2016). "Impact of phosphate on glyphosate uptake and toxicity in willow", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 304, p. 269-279.

HUDON, C., M. DE SEVE et A. CATTANEO (2014). "Increasing occurrence of the benthic, filamentous cyanobacterium *Lyngbya wollei*: a symptom of freshwater ecosystem degradation", *Freshwater Science*, vol. 33, p. 606-618.

HUDON, C., A. CATTANEO, A.-M. TOURVILLE-POIRIER, P. BRODEUR, P. DUMONT, Y. MAILHOT, J.-P. AMYOT, S.P. DESPATIE et Y. DE LAFONTAINE (2012). "Oligotrophication from wetland epuration alters the riverine trophic network and carrying capacity for fish", *Aquatic Sciences*, vol. 74, n° 3, p. 495-511.

HUDON, C., et R. CARRIGNAN (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*, vol. 65, p. 1165-1180.

KHADRA, M., D. PLANAS et M. AMYOT (2016). « Effets du glyphosate sur les biofilms périphytiques : études en microcosmes », *Compte-rendu du 20^e Colloque annuel du Chapitre Saint-Laurent*, SRA-SETAC, 61 p.

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*, vol. 215, p. 76-84.

MARTIN, S., O. CHAMPOUX et J. MORIN (2016). *Modélisation des masses d'eau du fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Pierre en support au suivi de la qualité de l'eau*, Note technique NT-118, Service météorologique du Canada, Environnement et Changement climatique Canada, Québec, 30 p.

MDDEFP (2013). *Le lac Saint-Pierre, un joyau à restaurer*, gouvernement du Québec, ISBN 978-2-550-69237 (PDF), 28 p.

MINGELBIER, M., Y. PARADIS, P. BRODEUR, V. DE LA CHENELIÈRE, F. LECOMTE, D. HATIN et G. VERREAULT (2016). « Gestion des poissons d'eau douce et migrateurs dans le Saint-Laurent : mandats, enjeux et perspectives », *Le Naturaliste canadien*, vol. 140, n° 2, p. 74-90.

MOHR, S., R. BERGHAN, R. SCHMIEDICHE, V. HUBNER, S. LOTH, M. FEIBICKE, W. MAILLAIN et J. WOGRAM (2012). "Macroinvertebrate Community Response to Repeated Short-Term Pulses of the Insecticide Imidacloprid", *Aquatic Toxicology*, vol. 110-111, p. 25-36.

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*, vol. 273, p. 350-359.

PEREZ, G.L., M.S. VERA et L.A. MIRANDA (2011). "Effects of herbicide glyphosate and glyphosate-based formulations on aquatic ecosystems", *Herbicides and Environment*, Andreas Kortekamp (Ed.), ISBN : 978-953-307-476-4.

PEREZ, G.L., A. TORREMORRELL, H. MUGNI, P. RODRIGUEZ, M.S. VERA, M. DO NASCIMENTO, L. ALLENDE, J. BUSTINGORRY, R. ESCARAY, M. FERRARO, I. IZAGUIRRE, H. PIZARRO, C. BONETTO, D.P. MORRIS et H. ZAGARESE (2007). "Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: A mesocosm study", *Ecological Applications*, vol. 17, n° 8, p. 2310-2332.

PHAM, T.T., B. RONDEAU, H. SABIK, S. PROULX et D. COSSA (2000). "Lake Ontario : the predominant source of triazine herbicides in the St Lawrence River", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 57 (Suppl. 1), p. 78-85.

PAQUET-WALSH, A., M. BOILY, C. LANDRY, L. DESCHAMPS, P. BRODEUR, M. HOUDE et A. BERTOLO (2016), « Effets des néonicotinoïdes et du rayonnement ultraviolet sur la survie de la perchaude (*Perca flavescens*) », *Compte-rendu du 20^e Colloque annuel du Chapitre Saint-Laurent*, SRA-SETAC, 61 p.

PERRUZO, P.J., A.A. PORTA et A.E. RONCO (2008). "Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina", *Environmental Pollution*, vol. 156, p. 61-66.

ROESSINK, I., L.B. MERGA, H.J. ZWEERS et P.J. VAN DEN BRINK (2013). "The Neonicotinoid Imidacloprid Shows High Chronic Toxicity to Mayfly Nymphs", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 32, n° 5, p. 1096-1100.

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*, vol. 188, p. 458-471.

SAMSON-ROBERT, O., G. LABRIE, M. CHAGNON et V. FOURNIER (2014). "Neonicotinoid-Contaminated puddles of water intoxication for Honey Bees", *PLOS-One*, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0108443>.

SAXTON, M.A., E.A. MORROW, R.A. BOURBONNIERE et S.W. WILHELM (2011). "Glyphosate influence on phytoplankton community structure in Lake Erie", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 37, p. 683-690.

SIMONEAU, M. (2017). *Qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Pierre : évolution temporelle 1979-2014 et portrait récent 2012-2014*. Québec, 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, ISBN 978-2-550-76229-4 (PDF), 54 p. + 13 ann. [En ligne]. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/qualite-eau-tributaires.pdf>.

SMEDBOL, É. (2013) *Toxicité d'un herbicide à base de glyphosate sur des cellules et des communautés d'algues et de cyanobactéries*, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal. (Article scientifique en voie de publication).

TCRLSP (2016). *Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre, Fiche synthèse*, Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre, 36 p., <http://comiteziplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/TCR/TCRLSP/TCRLSP%20-%20Cohabitation%20agriculture-faune%20en%20zone%20littorale%20au%20lac%20Saint-Pierre%20-%20Fiche%20synth%C3%A8se%20%5B2017.03.23%5D.pdf>.

TIERNEY, K., 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 And Technology*, vol. 42, p. 4996-5001.

TILLITT, D.E., D.M. PAPOULIAS, J.J. WHYTE et C.A. RICHTER (2010). "Atrazine reduces reproduction in fathead minnow (*Pimephales promelas*)", *Aquatic Toxicology*, vol. 99, p. 149-159.

TRUDEAU, V., M. RONDEAU et A. SIMARD (2011). *Pesticides aux embouchures de tributaires du lac Saint-Pierre (2003-2008)*, Environnement Canada, Direction des sciences et de la technologie de l'eau, Section monitoring et surveillance de la qualité de l'eau, Montréal, xiv + 62 p.

VAN DER SLUIJS, J.P ET COLL. (29) (2015). "Conclusions of the Worldwide integrated assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning". Editorial, *Environmental Science and Pollution Research*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3229-5>.

VAN DIJK, T., M.A. VAN STAALDUINEN et J.P. VAN DER SLUIJS (2013). "Macro-Invertebrate Decline in Surface Water Polluted with Imidacloprid", *PLOS-One*, vol. 8, n° 5, p. 1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0062374.

VERA, M.S., E. DI FIORI, L. LAGOMARSINO, R. SINISTRO, R. ESCARAY, M.M. IUMMATO, A. JUAREZ, M. DEL CARME RIOS DE MOLINAS, G. TELL et H. PIZARRO (2012). "Direct and indirect effects of the glyphosate formulation Glifosato Atanor on freshwater microbial communities", *Ecotoxicology*, vol. 21, p. 1805-1816.

VERA, M.S., L. LAGOMARSINO, M. SYLVESTER, G.L.PEREZ, P. RODRIGUEZ, H. MUGNI, R. SINISTRO, M. FERRARO, C. BONETTO, H. ZAGARESE et H. PIZARRO (2009). "New evidences of Roundup (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems", *Ecotoxicology*, vol. 19, n° 4, p. 710-721.

VILLA, S., S. MIGLIORATI, G.S. MONTI et M. VIGHI (2012). "Toxicity on the luminescent bacterium *Vibrio fischeri* (Beijerinck). II: Response to complex mixtures of heterogenous chemicals at low levels of individual components", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 86, p. 93-100.

WANG, S., B. SEIWER, M. KASTNER, A. MILTNER, A. SCHAFFER, T. REEMTSMA, Q. YANG et K.M. NOWAK (2016). "(Bio)degradation of glyphosate in water-sediment microcosms – A stable isotope co-labeling approach", *Water Research*, vol. 99, p. 91-100.

ANNEXES

Annexe 1 Méthodologie

Coordonnées des stations pour le suivi dans l'eau et les sédiments

Station	NAD 83 (degrés décimaux)		WGS84		BQMA
	Latitude	Longitude	Lat DD MM.dec	Long DD MM.dec	
A	46,138055	-72,914444	-	-	00004056
B	46,135555	-72,913888	-	-	00004057
1	46,141702	-72,915088	46 8,502	-72 54,905	00004062
2	46,152941	-72,864596	46 9,178	-72 51,876	00004058
3	46,157813	-72,825088	46 9,469	-72 49,505	00004059
4	46,162066	-72,825241	46 9,725	-72 49,514	00004060
5	46,172246	-72,967563	46 10,335	-72 58,054	00004061
6	46,250633	-72,665416	46 13,27	- 72 40,84	00004065

Coordonnées des stations pour le suivi dans les sites de fraie de la perchaude en 2013

Station		BQMA
Code	Nom	
T1	Site témoin 1	00000173
T2	Site témoin 2	00000174
BDF	Baie-du-Febvre	00000175
NIC	Nicolet	00000176
SAR8	Sarcelle 8	03870002
BLO	Blondin	03870001
BRI	Brielle	03310002
COL	Colbert	03290002
SAR4	Sarcelle 4	03870004
SAR6	Sarcelle 6	03870003
BM	Baie Maskinongé	00000177

BQMA : correspond au numéro de la station dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique

Paramètres analysés et limites de détection des analyses dans l'eau et dans les sédiments

OPS+	2008	2013	2014	2015	2016	2016 (s)	OPS+	2008	2013	2014	2015	2016	2016 (s)
Aldrine	-	0,06	0,01	0,01	0,01		EPTC	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	
Atrazine	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01		Fénitrothion	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	
Dééthyl-atrazine	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02		Fludioxonil	-	0,04	0,03	0,03	0,03	
Déisopropyl-atrazine	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01		Fonofos	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Azinphos-méthyl	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		Iprodion	-	-	0,08	0,08	0,08	
Azoxystrobine	-	-	0,1	0,1	0,03		Linuron	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	
Bendiocarbe	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02		Malathion	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Boscalide	-	-	0,07	0,07	0,07		Métalaxyl	-	-	0,05	0,05	0,05	
Bromacil	-	-	0,12	0,12	0,12		Méthidathion	0,02	0,06	0,03	0,03	0,03	
Busan	-	0,04	0,03	0,03	0,03		Méthoxychlore	-	0,02	0,02	0,02	0,02	
Butilate	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03		Méthyl-parathion	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	
Captafol	-	0,04	0,04	0,04	0,04		s-Métolachlore	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Captane	-	0,06	0,02	0,02	0,02		Métribuzine	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	
Carbaryl	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04		Mévinphos	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	
Carbofuran	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02		Myclobutanil	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	
Carfentrazone-éthyl	-	-	0,03	0,03	0,03		1-Naphtol	0,03	0,07	0,04	0,04	0,04	
Chlorfenvinfos	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04		Napropamide	-	0,06	0,06	0,06	0,06	
Chloronébe	-	-	-	0,06	0,06		Parathion	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	
Chlorothalonil	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04		Pendiméthaline	-	-	0,03	0,03	0,03	
Chloroxuron	0,13	0,05	0,18	0,18	0,18		Perméthrine	-	0,09	0,13	0,13	0,13	
Chlorpropham	-	-	0,03	0,03	0,03		Phorate	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02	
Chlorpyrifos	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01		Phosalone	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	
Cyanazine	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03		Phosmet	-	0,05	0,05	0,05	0,05	
Cyhalothrine	-	0,04	0,04	0,04	0,04		Pirimicarbe	-	0,05	0,03	0,03	0,03	
Cyperméthrine	-	0,07	0,07	0,07	0,07		Propoxur	-	0,03	0,02	0,02	0,02	
Deltaméthrine	-	0,1	0,08	0,08	0,08		Propiconazole	-	-	0,24	0,24	0,24	
Diazinon	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01		Propyzamide	-	-	0,03	0,03	0,03	
Dichlobénil	-	0,04	0,04	0,04	0,04		Pyraclostrobin	-	0,21	0,33	0,33	0,13	
BAM	-	0,02	0,02	0,02	0,02		Quintozène	-	-	0,03	0,03	0,03	
Dichlorvos	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05		Simazine	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	
Dieldrine	-	0,03	0,02	0,02	0,02		Tébutiuron	0,29	0,31	0,24	0,24	0,24	
Diméthazone	-	-	0,03	0,03	0,03		Terbufos	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	
Diméthénamide	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02		Trifloxystrobine	-	-	0,03	0,03	0,03	
Diméthoate	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02		Trifluraline	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	
Diméthomorphe	-	0,42	0,17	0,17	0,17		Trinexapac-éthyl	-	-	0,75	0,75	0,75	
Disulfoton	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01		Triticonazole	-	-	0,34	0,34	0,34	
Diuron	0,24	0,28	0,28	0,28	0,28								
PESARY	2008	2013	2014	2015	2016	2016 (s)	FRIN	2008	2013	2014	2015	2016	2016
2,4-D	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Flumetsulame	-	-	0,007	0,007	0,007	-
2,4-DB	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Imazapyr	-	-	0,003	0,003	0,003	-
2,4-DP	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-	Imazéthapyr	-	-	0,009	0,009	0,009	-
2,4,5-T	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	Mésotrione	-	-	0,01	0,01	0,01	-
Bentazone	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	Nicosulfuron	-	-	0,002	0,002	0,002	-
Bromoxynil	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Rimsulfuron	-	-	0,001	0,001	0,001	-
Clopyralide	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-	Sulfosulfuron	-	-	0,001	0,001	0,001	-
Dicamba	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-	Chlorantraniliprole	-	-	0,002	0,002	0,002	-
Diclofop-méthyl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Clothianidine	-	-	0,002	0,002	0,002	-
Dinosébe	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	Thiaméthoxame	-	-	0,001	0,001	0,001	-
Fénoprop	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	IMIDA (sédiments) 2016						
MCPA	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	Acétamipride						
MCPB	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	Azoxystrobine						
Mécoprop	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	Clothianidine						
Piclorame	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Fénamidone						
Triclopyr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	Fénamidone-métabolite						
GLY-AMPA	2008	2013	2014	2015	2016	2016 (s)	Imidaclopride						
Glyphosate	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		Imidaclopride-urée						
AMPA	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		Imidaclopride-guanidine						
Glufosinate	-	-	0,05	0,05	0,05		Imidaclopride-oléfine						
							Thiaméthoxame						

Annexe 2 Résultats pour les paramètres complémentaires

Les huit stations échantillonnées sont situées dans les eaux peu profondes bordant les rives du lac Saint-Pierre. Les stations les moins profondes sont les stations A, B, 1 et 6, dont la profondeur varie entre 0,7 et 1,4 m, alors que la station 5 sur la rive nord est la plus profonde (de 3,1 à 4,5 m). Rappelons cependant que les échantillons ont tous été prélevés à une profondeur d'environ 1 m. La température de l'eau durant la période d'échantillonnage a varié entre 15°C (début juin) et 25°C (vers la mi-juillet) alors que le pH se situait entre 7,1 et 8,93. Pour chacune des stations, l'oxygène dissous et la conductivité ont varié considérablement au cours de la période d'échantillonnage, soit entre 6,4 mg/l et 13,81 mg/l pour l'oxygène dissous et entre 112 μ S/cm et 282 μ S/cm pour la conductivité. L'eau de pluie, peu minéralisée, tend à diminuer la conductivité, alors que celle des tributaires ayant capté les eaux de ruissellement fait augmenter la conductivité.

Annexe 2 Résultats pour les paramètres complémentaires (suite)

N° BQMA N° STATION	PARAMÈTRE	2014									2015									2016					
		Juin						Juillet			Juin						Juillet			Juin		Juillet			
		5	9	12	16	19	26	3	10	17	4	8	15	18	22	25	29	2	9	14	16	29	8		
00004062	PROF	11	4	4,4	5	-	4,8	3	2,5	3,3	3	2,8	3,1	4,3	3,4	2,9	2,4	2,8	3,2	3,4					
1	TEMP	18,5	20,2	19,1	18,61	20,5	20,5	24,7	23	22,3	15,3	17,1	18,7	19,7	21,6	21,7	20,3	20,1	24,4	24,4	19,5	22	21,1		
	pH	7,4	7,6	7,7	7,59	7,6	7,45	8,06	8,3	8	7,73	8,08	8,1	7,7	7,94	8,64	8,65	8,33	8,93	8,54	8,48	8,27	8,43		
	O2	7,6	8,1	8,1	6,7	6,9	6,85	7,06	7,6	7,3	10,53	8,95	9,56	9	9,41	9,29	9,22	8,84	11,7	9,66	9,51	7,67	9,64		
	COND	190	193	196	223	192	198	223	205	232	99,7	144,1	116,9	152,3	149,1	177,7	185,7	195,9	276,5	282,1	242,8	256,5	262,2		
00004058	PROF	10,3	9,2	9,1	9,8	-	10,4	8,3	7,5	8,2	NE									NE			8,2	7,1	5,8
2	TEMP	17	18,1	17,6	17,9	19,2	19,8	22,4	21,4	21,2	NE									NE			17,6	21,9	20,9
	pH	7,3	7,7	8,1	8,11	7,7	7,5	8,25	8,4	8,4	NE									NE			8,29	8,21	8,42
	O2	8,6	8,7	8,8	8,18	8	7,45	7,75	7,7	8,1	NE									NE			10,54	7,7	8,08
	COND	185	198	200	214	201	212	232	231	232	NE									NE			248,2	262,4	267,1
00004059	PROF	8	6,9	6,9	9,1	-	7,7	6	5	5,7	5,6	5,2	5,4	6	5,2	5,6	4,8	4,5	5,4	4,6	NE				
3	TEMP	18	20,4	18	18,4	20,4	20,7	24,3	21,5	21,8	15,6	16,5	19,6	19,6	20,9	20,4	18,5	18,9	23,4	24,2	NE				
	pH	7,6	7,8	7,95	7,35	7,7	7,8	8,04	8,2	7,9	7,63	8	7,78	7,6	7,9	8,09	8,14	8,2	8,82	8,3	NE				
	O2	8	8,2	8,4	7,53	6,4	7,1	6,74	7,5	7,6	9,37	9,17	9,2	8,95	8,8	8,64	8,28	8,58	10,95	9,46	NE				
	COND	174	202	195	209	226	181	223	216	225	120,1	176,2	127,4	128,4	163,2	178,1	218	235,3	269,9	276,7	NE				
00004060	PROF	9	7,7	7,5	9,4	-	8,8	7	6,1	6,6	6,7	6,3	6,8	6,9	6,2	5,6	5,4	6,2	6,2	4,1	7,1	5,1	5,8		
4	TEMP	17,1	19,7	17,8	18,4	20,1	20,2	22,9	21,4	21,4	16,1	16,6	19,6	19,6	20,6	20,1	19,1	18,8	22,1	23,3	17,9	21,6	21,9		
	pH	7,4	7,6	7,9	7,75	7,7	7,55	8,15	8,2	8,2	7,75	8,16	7,89	7,66	9,39	8,14	8,19	8,2	8,34	8,4	8,38	8,16	8,5		
	O2	8,2	8,3	8,6	7,16	6,85	7,1	7,52	7,8	7,9	9,49	9,41	9,05	8,92	7,95	8,71	7,81	8,65	9,31	9,42	9,58	7,56	8,15		
	COND	169	197	198	232	253	186	230	222	231	137,4	217,2	157	187	192,5	227,8	220,4	234,6	264	276,9	249,6	265,6	266,4		
00004061	PROF	11	12,5	11,1	14,8	-	13,5	11,8	10,1	11,1	NE									NE			NE		
5	TEMP	17,8	18,8	18,4	18,11	19,4	20,3	22,7	21,4	21,6	NE									NE			NE		
	pH	7,1	7,31	7,6	7,72	7,8	7,6	8,01	8	8,1	NE									NE			NE		
	O2	10,3	8,25	8,4	7,82	7,5	7,5	8,09	7,3	7,3	NE									NE			NE		
	COND	125	147	163	136	161	169	208	207	197	NE									NE			NE		
00004065	PROF	NE						NE			3,6	3,5	3,5	4,6	4,6	3,5	2,4	3,5	4,1	4,1	NE				
6	TEMP	NE						NE			17,6	22	22,6	20,1	21,2	19,6	18,4	18,7	23,3	24,1	NE				
	pH	NE						NE			8,81	7,97	7,74	7,58	8,01	8,15	8,51	8,23	8,71	8,49	NE				
	O2	NE						NE			11,74	6,13	6,34	8,26	9,5	9,07	9,12	8,88	9,45	9,63	NE				
	COND	NE						NE			199	412,4	412,3	112,3	152,3	163,4	175,7	212,4	247,8	277,3	NE				

NE : Station non échantillonnée cette année-là

PROF : pi
TEMP : °C
O2 : mg/l
COND : µS/cm

Station A. Concentrations de pesticides près de l'herbier de la Grande Commune en 2008 (µg/l)

PESTICIDES	Juin				Juillet						Août					
	4	8	12	16	19	23	26	30	3	7	10	14	17	21	24	30
HERBICIDES	0,15	1,4	0,16	0,07	0,14	0,05	0,09	0,15	0,33	0,16	0,15	0,25	0,16	0,08	0,02	-
Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dééthyl-atrazine	-	0,18	0,04	-	-	-	-	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	-	0,04	-	-
Désopropyl-atrazine	-	0,1	0,06	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	0,04	-	-
S-Métolachlore	0,07	2,3	0,09	0,03	0,04	0,01	0,02	0,13	0,04	0,04	0,09	0,05	0,04	-	-	-
EPTC	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diméthénamide	-	0,1	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Métribuzine	-	0,08	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simazine	-	-	0,03	-	-	-	-	0,09	0,07	0,06	0,09	0,07	0,05	-	-	-
Bentazone	0,05	0,06	0,03	-	-	-	-	-	0,07	0,21	0,03	-	-	-	-	-
Dicamba	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-
2,4-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MCPA	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glyphosate	-	-	0,06	-	-	-	0,09	-	0,07	-	0,08	-	0,05	-	-	-
AMPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INSECTICIDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbaryl	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-naphthol	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FONGICIDE	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Myclobutanil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-

Station B. Concentrations de pesticides à 1 km en aval de l'herbier de la Grande Commune en 2008 (µg/l)

PESTICIDES	Juin				Juillet						Août				
	4	8	12	16	19	23	26	30	3	7	14	17	21	24	30
HERBICIDES	0,04	0,31	0,08	1,1	0,15	0,02	0,15	0,16	0,14	0,17	0,27	0,14	0,18	0,02	0,02
Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dééthyl-atrazine	-	0,04	-	0,1	-	-	-	-	0,04	0,09	0,04	0,09	0,05	-	-
Désopropyl-atrazine	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,08	0,04	0,09	0,01
S-Métolachlore	0,03	0,25	0,07	1,8	0,04	0,01	0,05	0,03	0,06	0,03	0,08	0,04	0,09	-	-
EPTC	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diméthénamide	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Métribuzine	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bentazone	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,05	0,06	0,06	0,06	0,12	-	-
Dicamba	-	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06	0,07	-	-	-
2,4-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MCPA	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glyphosate	-	-	1,1	-	-	-	-	-	0,1	-	0,05	0,06	0,11	-	-
AMPA	-	-	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	-	-
INSECTICIDE	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorpyrifos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 3 Concentrations de pesticides dans l'eau aux stations du lac Saint-Pierre (suite)

Concentrations de pesticides aux stations 1 et 2 du lac Saint-Pierre (µg/l)

Station 1 - 2014										Station 1 - 2015											
PESTICIDES	Juin						Juillet				PESTICIDES	Juin						Juillet			
	5	9	12	16	19	26	3	10	17	4		8	11	15	18	22	25	29	2	9	14
HERBICIDES										HERBICIDES											
Atrazine	0,07	0,06	0,06	1,8	0,58	1,5	0,19	0,09	0,06	Atrazine	0,05	0,02		0,09	0,41	0,03	0,05	0,05	0,04	0,09	0,07
Dééthyl-atrazine	-	0,02	0,02	0,12	0,05	0,11	0,03	0,02	-	Dééthyl-atrazine	-	-		0,02	0,03	-	-	-	-	0,03	0,03
Déisopropyl-atrazine	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	Déisopropyl-atrazine	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
s-Métolachlore	0,17	0,07	0,04	3,9	0,77	1,7	0,2	0,06	0,07	s-Métolachlore	0,06	0,02		0,09	0,4	0,07	0,02	0,03	0,03	0,12	0,08
Diméthénamide	0,05	-	-	0,17	0,02	0,06	-	-	-	Métribuzine	0,01	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Métribuzine	0,05	0,02	-	0,28	0,05	0,04	-	-	-	Glyphosate	-	-		0,07	0,16	-	0,09	-	0,22	0,05	-
Glyphosate	-	-	-	0,26	0,35	1,4	-	-	-	Glufosinate	-	-		-	-	-	0,05	-	-	-	-
AMPA	-	-	-	-	-	0,31	-	-	-	Bentazone	-	-		-	0,45	-	-	-	-	-	-
Bentazone	-	-	-	0,39	0,12	0,23	-	-	-	Dicamba	0,08	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Dicamba	0,07	-	-	0,1	0,05	0,04	0,09	-	-	MCPA	-	-		-	0,24	-	-	-	-	-	-
MCPA	-	-	-	0,12	0,03	0,05	-	-	-	Bromoxynil	-	-		-	0,03	-	-	-	-	-	-
Bromoxynil	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	Imazéthapyr	-	-		-	0,11	-	-	-	-	0,024	-
2,4-D	-	-	-	0,06	-	-	0,33	-	-	Mésotrione	0,02	-		0,02	0,11	0,02	-	-	-	0,02	-
Rimsulfuron	0,001	-	-	0,005	0,008	0,003	-	-	-	Flumetsulam	0,009	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Imazéthapyr	0,035	-	-	0,15	0,31	0,16	0,026	-	-	INSECTICIDES											
Mésotrione	0,01	-	-	0,47	0,29	0,2	0,03	-	-	Clothianidine	0,006	-		0,018	-	-	-	0,002	0,009	0,0040	-
Flumetsulam	-	-	-	0,014	0,012	-	-	-	-	Thiaméthoxame	0,014	0,003		0,018	-	-	0,003	0,003	0,009	0,0020	-
Nicosulfuron	-	-	-	0,003	-	0,002	-	-	-	Faible taux de récupération											
INSECTICIDES										Échantillon manquant: trop fortes pluies, bris des accès											
Clothianidine	0,014	0,003	-	0,077	0,077	0,035	0,008	0,003	-												
Thiaméthoxame	0,025	0,004	0,002	0,14	0,24	0,051	0,013	0,002	0,002												
Chlorantraniliprole	-	-	-	-	0,012	0,003	-	-	-												

Station 2 - 2014										
PESTICIDES	Juin						Juillet			
	5	9	12	16	19	26	3	10	17	
HERBICIDES										
Atrazine	0,04	0,04	0,05	0,52	0,14	0,98	0,05	0,05	0,05	
Dééthyl-atrazine	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,09	0,02	0,02	0,03	
Déisopropyl-atrazine	-	-	-	0,02	-	0,03	-	-	-	
s-Métolachlore	0,11	0,03	0,02	2,1	0,27	1,9	0,03	0,02	0,02	
Diméthénamide	-	-	-	0,3	0,03	0,07	-	-	-	
Métribuzine	0,03	0,01	-	0,86	0,05	0,09	-	-	-	
Glyphosate	-	-	-	0,12	-	0,81	-	-	-	
AMPA	-	-	-	-	-	0,23	-	-	-	
Bentazone	-	-	-	0,19	-	0,37	-	-	-	
Dicamba	-	-	-	0,09	0,04	0,05	-	-	-	
MCPA	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	
Rimsulfuron	-	-	-	0,004	0,003	0,003	-	-	-	
Imazéthapyr	0,013	-	-	0,15	0,06	0,16	-	-	-	
Mésotrione	-	-	-	0,13	0,14	0,17	-	-	-	
Flumetsulam	-	-	-	0,019	0,008	-	-	-	-	
Nicosulfuron	-	-	-	-	0,002	0,002	-	-	-	
INSECTICIDES										
Clothianidine	-	-	-	0,034	0,043	0,028	-	-	-	
Thiaméthoxame	0,006	0,001	-	0,076	0,065	0,042	0,002	-	-	
Chlorantraniliprole	-	-	-	-	-	0,002	-	-	-	

Annexe 3 Concentrations de pesticides dans l'eau aux stations du lac Saint-Pierre (suite)

Concentrations de pesticides aux stations 3 et 4 du lac Saint-Pierre (µg/l)

Station 3 - 2014										Station 3 - 2015											
PESTICIDES	Juin						Juillet			PESTICIDES	Juin						Juillet				
	5	9	12	16	19	26	3	10	17		4	8	11	15	18	22	25	29	2	9	14
HERBICIDES										HERBICIDES											
Atrazine	0,05	0,08	0,06	1,8	0,55	1,8	0,19	0,05	0,04	0,03	0,05		0,04	0,23	0,06	0,05	0,1	0,09	0,07	0,06	
Dééthyl-atrazine	-	0,02	0,02	0,16	0,06	0,14	0,03	0,02	0,02	-	-		-	0,02	-	-	0,02	0,03	0,02	0,03	
Déisopropyl-atrazine	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-		-	0,03	0,4	0,06	0,04	0,07	0,05	0,07	0,03
s-Métolachlore	0,12	0,09	0,04	3,6	1	2,1	0,21	0,02	0,04	-	-		-	0,01	-	-	-	-	-	-	
Diméthénamide	0,02	-	-	0,16	0,03	0,05	-	-	-	-	-		0,04	0,14	-	0,1	0,07	0,11	0,06	-	
Métribuzine	-	-	-	0,28	0,06	0,04	-	-	-	-	-		-	0,1	-	-	-	-	-	-	
Glyphosate	-	-	-	0,42	0,2	1,6	-	-	-	-	-		0,05	-	-	-	-	-	-	-	
AMPA	-	-	-	-	-	0,35	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
Bentazone	-	-	-	0,27	0,16	0,53	-	-	-	-	-		-	0,1	-	-	-	-	-	-	
Dicamba	0,06	-	-	0,1	0,05	0,05	-	-	-	-	-		0,05	-	-	-	-	-	-	-	
MCPA	-	-	-	0,08	-	0,08	-	-	-	-	-		-	0,01	-	-	-	-	-	-	
Bromoxnyl	-	-	-	0,02	-	0,03	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
Rimsulfuron	-	-	-	0,005	-	0,005	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
Imazéthapyr	0,014	-	-	0,12	0,027	0,24	0,026	-	-	-	-		-	0,046	-	-	-	-	-	-	
Mésotrione	-	-	-	0,4	0,03	0,21	0,04	-	-	-	-		0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	-	-	-	
Fiumetsulam	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
Nicosulfuron	-	-	-	0,003	-	0,004	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
INSECTICIDES										INSECTICIDES											
Clothianidine	0,006	0,004	-	0,071	0,009	0,042	0,011	-	-	0,004	0,004		-	0,014	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,0030	
Thiaméthoxame	0,017	0,005	-	0,13	0,016	0,06	0,016	-	-	0,01	0,007		-	0,016	0,004	0,002	0,004	0,003	0,004	0,0010	
Chlorantraniliprole	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
										Échantillon manquant: trop fortes pluies, bris des accès											

Station 4 - 2014										Station 4 - 2015										
PESTICIDES	Juin						Juillet			PESTICIDES	Juin						Juillet			
	5	9	12	16	19	26	3	10	17		4	8	11	15	18	22	25	29	2	9
HERBICIDES										HERBICIDES										
Atrazine	0,03	0,02	0,05	1,9	0,67	1,5	0,08	0,04	0,04	0,08	0,05		0,08	0,62	0,1	0,17	0,08	0,07	0,06	0,06
Dééthyl-atrazine	-	0,02	0,02	0,14	0,07	0,12	0,03	0,02	0,02	-	-		0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Déisopropyl-atrazine	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-		-	0,01	-	-	-	-	-	-
s-Métolachlore	0,05	0,06	0,03	4,4	1,3	2	0,07	0,02	0,03	-	-		0,09	0,88	0,11	0,14	0,05	0,05	0,04	0,03
Diméthénamide	-	-	-	0,24	0,05	0,05	-	-	-	-	-		-	0,02	-	-	-	-	-	-
Métribuzine	0,01	0,02	-	0,46	0,09	0,05	-	-	-	-	-		-	0,48	-	0,15	-	0,07	-	-
Glyphosate	-	-	-	0,5	0,18	1,6	-	-	-	-	-		-	0,1	-	-	-	-	-	-
AMPA	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-		-	0,11	-	-	-	-	-	-
Bentazone	-	-	-	0,4	0,2	0,45	-	-	-	-	-		-	0,002	-	-	-	-	-	-
Dicamba	-	-	-	0,12	0,06	0,05	-	-	-	-	-		0,01	-	-	-	-	-	-	-
MCPA	-	-	-	0,11	-	0,06	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
2,4-D	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-		0,015	-	-	0,094	-	0,016	-	-
Bromoxnyl	-	-	-	0,03	-	0,02	-	-	-	-	-		0,02	0,18	0,02	0,03	-	-	-	-
Rimsulfuron	-	-	-	0,007	0,002	0,004	-	-	-	-	-		-	0,003	-	-	-	-	-	-
Imazéthapyr	0,01	-	-	0,21	0,062	0,23	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Mésotrione	-	-	-	0,61	0,19	0,2	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Fiumetsulam	-	-	-	0,024	0,01	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Nicosulfuron	-	-	-	0,005	0,002	0,005	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
INSECTICIDES										INSECTICIDES										
Clothianidine	0,003	-	-	0,11	0,034	0,04	0,002	-	-	0,007	0,004		-	0,037	0,007	0,013	0,004	0,002	-	-
Thiaméthoxame	0,007	0,003	-	0,19	0,064	0,056	0,003	-	-	0,018	0,005		-	0,04	0,006	0,008	0,002	0,002	0,003	-
Chlorantraniliprole	-	-	-	0,002	-	-	-	-	0,013	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 3 Concentrations de pesticides dans l'eau aux stations du lac Saint-Pierre (suite)

Concentrations de pesticides aux stations 5 et 6 du lac Saint-Pierre (µg/l)

Station 5 (Rive nord)- 2014									
PESTICIDES	Juin						Juillet		
	5	9	12	16	19	26	3	10	17
HERBICIDES									
Atrazine	0,02	0,02	0,02	0,24	0,11	0,1	0,07	0,05	0,04
Dééthyl-atrazine	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<i>s</i> -Métolachlore	0,03	0,01	0,01	0,33	0,06	0,07	0,03	0,04	0,02
Diméthénamide	-	-	-	0,05	0,06	0,03	0,02	-	-
Métribuzine	0,01	-	-	0,05	0,02	0,02	0,02	-	-
Glyphosate	-	-	-	-	-	0,16	-	-	-
Bentazone	-	-	-	0,06	-	0,04	0,04	-	-
Dicamba	-	-	-	0,08	0,06	0,05	-	-	-
MCPA	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-
2,4-D	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
Rimsulfuron	-	-	-	0,002	0,003	-	-	-	-
Imazéthapyr	-	-	-	0,021	0,078	0,025	0,027	0,013	-
Mésotrione	-	-	-	0,03	0,23	-	-	-	-
Flumetsulam	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-
Nicosulfuron	-	-	-	-	0,002	-	-	-	-
INSECTICIDES									
Clothianidine	-	-	-	0,011	0,047	0,004	0,003	0,002	-
Thiaméthoxame	0,004	-	-	0,028	0,085	0,008	0,008	0,004	0,002
Chlorantraniliprole	-	-	-	0,003	0,002	-	-	-	-

Station 6 - 2015											
PESTICIDES	Juin								Juillet		
	4 (St6)	8	11 (6A)	15 (6A)	18 (6B)	22 (6B)	25(6B)	29 (6B)	2 (6B)	9 (6B)	14(6B)
HERBICIDES											
Atrazine	0,04		0,03	0,04	0,11	0,09	0,03	0,08	0,1	0,07	0,06
<i>Dééthyl-atrazine</i>	-		0,02	0,05	-	-	-	-	0,03	0,03	0,03
<i>s</i> -Métolachlore	0,05		0,06	2,2	0,09	0,12	0,03	0,05	0,07	0,06	0,04
Glyphosate	-		-	-	-	-	-	0,08	0,08	-	-
Bentazone	-		-	0,1	-	0,05	-	-	-	-	-
MCPA	-		-	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Imazéthapyr	-		0,094	0,17	-	0,012	-	-	-	-	-
Mésotrione	0,01		-	0,69	0,03	0,03	-	0,01	0,01	-	-
INSECTICIDES											
Clothianidine	0,004		-	0,038	0,006	0,006	0,003	0,003	0,005	0,004	0,0030
Thiaméthoxame	0,007		-	-	0,01	0,006	-	0,003	0,003	0,003	0,0020

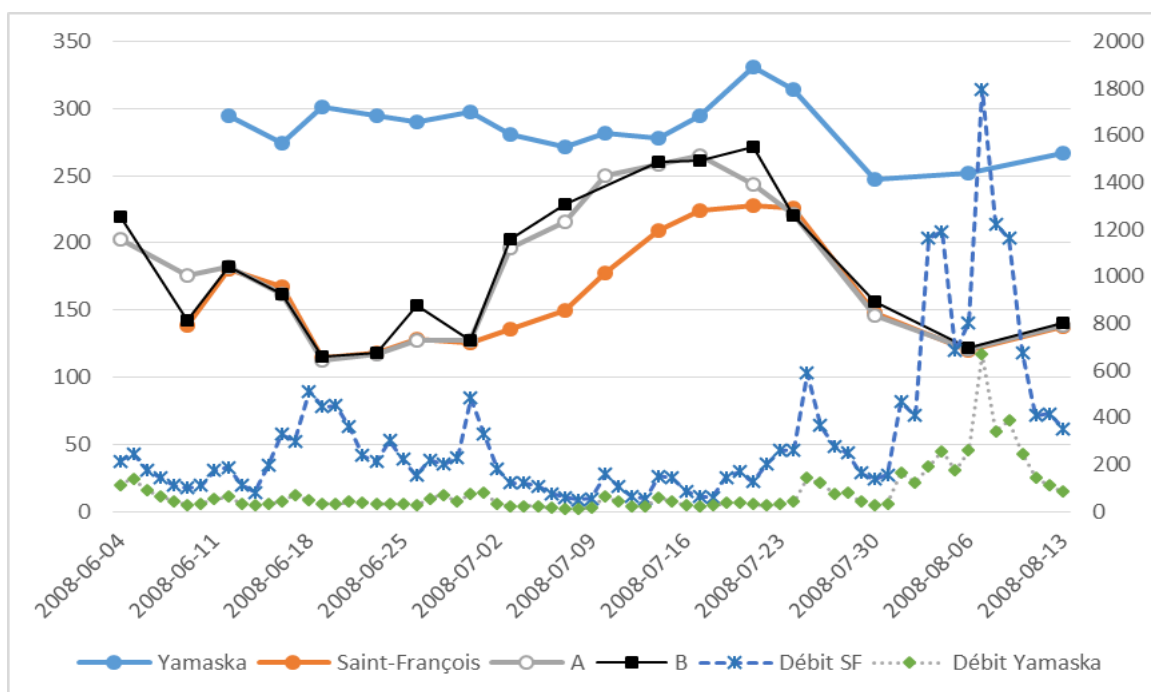
Échantillon manquant : trop fortes pluies, bris des accès

Annexe 4 Analyse de la conductivité

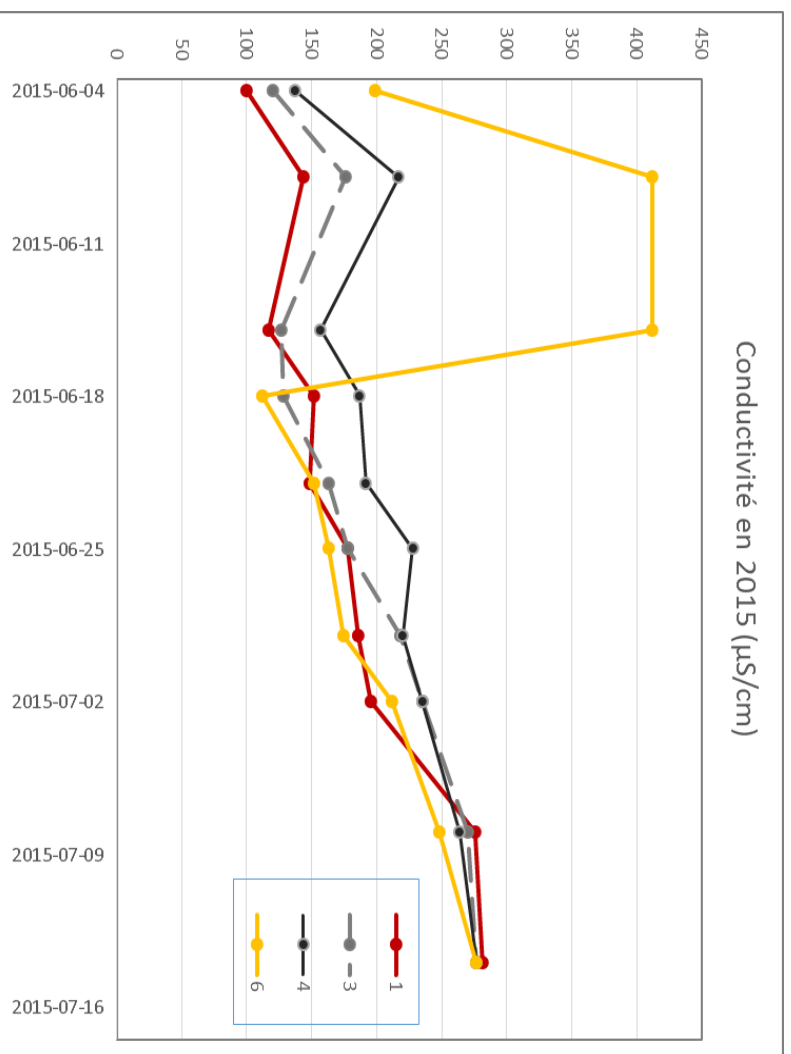
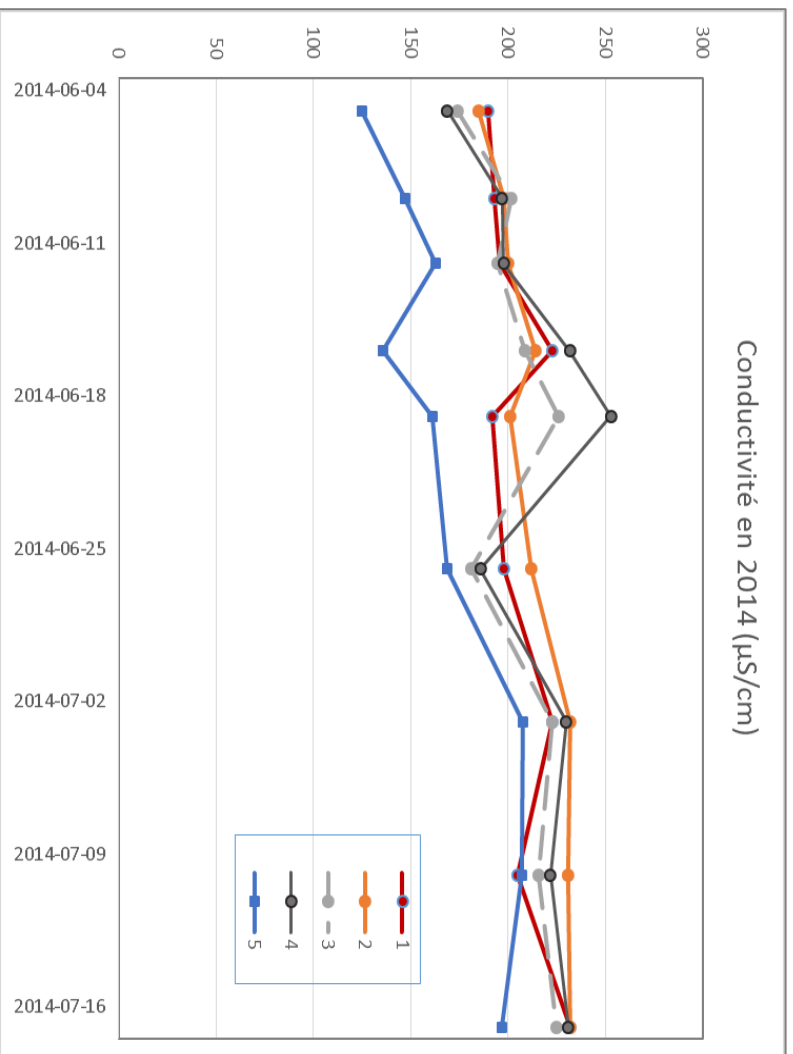
Lors de l'échantillonnage de 2008, les données de conductivité recueillies à l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François et aux stations A et B du lac Saint-Pierre ont été comparées afin de déterminer si les points A et B se situaient davantage dans le panache de la rivière Yamaska ou dans celui de la Saint-François. Pour une grande partie de la période, la conductivité des stations A et B est semblable à celle de la rivière Saint-François, ce qui suggère que celle-ci constitue l'essentiel de la masse d'eau aux deux stations. Cependant, en période d'étiage de la rivière Saint-François, en juillet, les conductivités des stations A et B s'élèvent, ce qui porte à croire qu'à ce moment la rivière Yamaska contribue davantage à la charge en substances dissoutes aux stations A et B. Toutefois, les pesticides ne suivent pas le même profil. Les pointes de concentrations élevées de pesticides aux stations A et B ainsi qu'aux embouchures des deux tributaires sont observées en juin (voir figure 2 du rapport), ce qui laisse croire que c'est plutôt la rivière Yamaska qui a influencé, à ce moment-là, les concentrations à ces deux stations.

Les données de conductivité recueillies aux stations 1 à 6 en 2014 et en 2015 sur le côté sud du lac montrent des valeurs qui se situent entre la conductivité de la rivière Yamaska et celle de la rivière Saint-François. Même la station 6, la plus en aval, présente des valeurs de conductivité semblables aux autres stations de la rive sud, ce qui suggère une conductivité relativement homogène d'amont en aval du lac et qui augmente au cours de la saison. Une pointe de conductivité élevée (412 µS/cm) a été observée à la station 6 les 11 et 15 juin 2015. Cette situation est probablement attribuable aux pluies diluviennes survenues dans la nuit du 10 au 11 juin. Ces très fortes pluies avaient d'ailleurs compromis l'échantillonnage des autres stations prévu le 11 juin.

Seule la conductivité de la station 5, sur la rive nord, se distingue par des valeurs plus faibles que les autres stations. Toutefois la conductivité y augmente au cours de la saison pour rejoindre celle des autres stations.



Conductivité mesurée en 2008 aux stations A et B et dans les rivières Yamaska et Saint-François en fonction des débits



Conductivité mesurée aux stations échantillonnées dans le lac Saint-Pierre en 2014 et en 2015

**Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques**

Québec 