

Réfection des reversoires de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Étude de base du milieu physique – revue des informations existantes





Travaux publics et Services gouvernementaux Canada
1550, D'Estimauville, Québec (Québec), G1J 0C7

Ministère des Pêches et Océans, Région du Québec,
104, Dalhousie, Québec (Québec), G1K 7Y7

Réfection des reervoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Étude de base du milieu physique – Revue des informations existantes

60599846 – Version finale

Février 2020

Réserves et Limites

Le rapport ci-joint (le « Rapport ») a été préparé par AECOM Consultants Inc. (« Consultant ») au bénéfice du client (« Client ») conformément à l'entente entre le Consultant et le Client, y compris l'étendue détaillée des services (le « Contrat »).

Les informations, données, recommandations et conclusions contenues dans le Rapport (collectivement, les « Informations ») :

- sont soumises à la portée des services, à l'échéancier et aux autres contraintes et limites contenues au Contrat ainsi qu'aux réserves et limites formulées dans le Rapport (les « Limites »);
- représentent le jugement professionnel du Consultant à la lumière des Limites et des standards de l'industrie pour la préparation de rapports similaires;
- peuvent être basées sur des informations fournies au Consultant qui n'ont pas été vérifiées de façon indépendante;
- n'ont pas été mises à jour depuis la date d'émission du Rapport et leur exactitude est limitée à la période de temps et aux circonstances dans lesquelles elles ont été collectées, traitées, produites ou émises;
- doivent être lues comme un tout et, par conséquent, aucune section du Rapport ne devrait être lue hors de ce contexte;
- ont été préparées pour les fins précises décrites dans le Rapport et le Contrat;
- dans le cas de conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, peuvent être basées sur des tests limités et sur l'hypothèse que de telles conditions sont uniformes et ne varient pas géographiquement ou dans le temps.

Le Consultant est en droit de se fier sur les informations qui lui ont été fournies et d'en présumer l'exactitude et l'exhaustivité et n'a pas l'obligation de mettre à jour ces informations. Le Consultant n'accepte aucune responsabilité pour les événements ou les circonstances qui pourraient être survenus depuis la date à laquelle le Rapport a été préparé et, dans le cas de conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, n'est pas responsable de toute variation dans de telles conditions, que ce soit géographiquement ou dans le temps.

Le Consultant convient que le Rapport représente son jugement professionnel tel que décrit ci-dessus et que l'Information a été préparée dans le but spécifique et pour l'utilisation décrite dans le Rapport et le Contrat, mais ne fait aucune autre représentation ou garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, en ce qui concerne le Rapport, les Informations ou toute partie de ceux-ci.

Sans limiter de quelque façon la généralité de ce qui précède, toute estimation ou opinion fournies par le Consultant concernant les coûts et l'échéancier de travaux construction ou de toute autre activité professionnelle décrite dans le Contrat représentent le jugement professionnel du Consultant à la lumière de son expérience et de la connaissance et des informations dont il dispose au moment de la préparation du Rapport. N'ayant aucun contrôle sur le marché, les conditions économiques, le prix de la main-d'œuvre, du matériel et des équipements de construction ou les procédures d'appel d'offres, le Consultant, ses administrateurs, dirigeants et employés ne sont en mesure de faire aucune représentation ou garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, quant à l'exactitude de ces estimations et opinions ou quant à l'écart possible entre celles-ci et les coûts et échéanciers de construction réels ou de toute autre activité professionnelle décrite dans le Contrat, et n'acceptent aucune responsabilité pour tout dommage ou perte découlant ou lié de quelque façon à celles-ci. Toute personne se fiant sur ces estimations ou opinions le fait à ses propres risques.

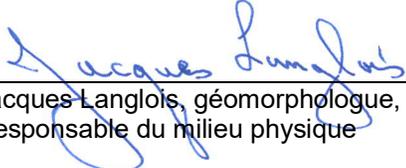
À moins que (1) le Consultant et le Client n'en conviennent autrement par écrit; (2) que ce soit requis en vertu d'une loi ou d'un règlement; ou (3) que ce soit utilisé par un organisme gouvernemental révisant une demande de permis ou d'approbation, seul le Client est en droit de se fier ou d'utiliser le Rapport et les Informations.

Le Consultant n'accepte et n'assume aucune responsabilité de quelque nature que ce soit envers toute partie, autre que le Client, qui pourrait avoir accès au Rapport ou à l'Information et l'utiliser, s'y fier ou prendre des décisions qui en découlent, à moins que cette dernière n'ait obtenu l'autorisation écrite préalable du Consultant par rapport à un tel usage (« Usage non conforme »). Tout dommage, blessure ou perte découlant d'un Usage non conforme du Rapport ou des Informations sera aux propres risques de la partie faisant un tel Usage.

Ces Réserves et Limites font partie intégrante du Rapport et toute utilisation du Rapport est sujette à ces Réserves et Limites.

Signatures

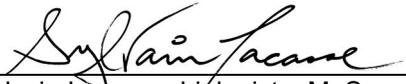
Rapport préparé par :



Jacques Langlois, géomorphologue, Ph. D.
Responsable du milieu physique

Le 10 février 2020

Rapport vérifié par :



Sylvain Lacasse, biologiste, M. Sc.
Directeur de projet

Le 10 février 2020

Équipe de réalisation

Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO)

Direction régionale Biens Immobiliers, Environnement, Sécurité et Santé (BIESS)

Serge Tourangeau, biologiste, M. Sc.

Agent de programme de gestion de l'environnement

Mathieu Gagnon, ingénieur, M. Sc.

Ingénieur principal de projet

AECOM

Sylvain Lacasse, biologiste, M. Sc.

Directeur de projet

Julie D'Amours, biologiste, M. Sc.

Chargée de projet

Jacques Langlois, géomorphologue, Ph. D.

Responsable du milieu physique, analyse et rédaction

Maude Thériault Gauthier, biologiste, M. Sc.

Analyse et rédaction

Yannick Rousseau, hydrogéomorphologue, Ph. D.

Analyse et rédaction

Fabien Hugues, hydrogéomorphologue, Ph. D.

Recherche d'informations

Josée Dubois, biologiste/géomaticienne

Géomatique et cartographie

Josée Moreau, secrétaire

Édition du rapport

Michèle Gagnon, secrétaire

Édition du rapport

Référence à citer

AECOM. 2020. *Réfection des reverts de l'archipel du Lac Saint-Pierre. Étude de base du milieu physique – Revue des informations existantes*. Rapport préparé pour Pêches et Océans Canada. 96 pages et annexes.

Table des matières

Équipe de réalisation.....	v
1 Introduction.....	1
1.1 Historique des reervoirs et mise en contexte du projet.....	1
1.2 Description du projet.....	1
1.3 Objectifs de l'étude de base.....	2
1.4 Localisation du projet.....	2
1.5 Définition des zones d'étude.....	2
1.6 Identification des enjeux environnementaux du milieu physique.....	5
2 Méthodologie	7
2.1 Données obtenues.....	7
2.2 Données consultées en ligne.....	7
3 Description du milieu	9
3.1 Climat et qualité de l'air ambiant.....	9
3.1.1 Conditions climatiques existantes	9
3.1.2 Changements climatiques projetés.....	11
3.1.3 Qualité de l'air ambiant.....	15
3.1.4 Sources d'émissions de contaminants atmosphériques et de gaz à effet de serre	17
3.2 Physiographie, géologie et dépôts de surface.....	17
3.2.1 Physiographie.....	17
3.2.2 Géologie.....	17
3.2.3 Dépôts de surface.....	18
3.3 Topographie et bathymétrie	31
3.4 Hydrologie et hydraulique.....	39
3.4.1 Hydrographie	39
3.4.2 Hydrologie.....	40
3.4.3 Projections des débits en réponse aux changements climatiques	47
3.4.4 Modélisation hydraulique	51
3.4.5 Régime des glaces.....	57
3.5 Hydrogéomorphologie et régime sédimentaire.....	59
3.5.1 Substrat du lit des cours d'eau.....	59
3.5.2 Apports sédimentaires et érosion des berges	61
3.6 Qualité des eaux de surface.....	72
3.7 Contamination des sédiments	78
3.8 Zones inondables	82

3.8.1	Cotes d'inondation de récurrence de 20 ans et de 100 ans	82
3.8.2	Zone d'intervention spéciale	87
4	Identification préliminaire des composantes valorisées de l'environnement (CVE).....	91
	Références	93

Liste des tableaux

Tableau 1-1 :	Localisation des reversoires.....	2
Tableau 3-1 :	Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de Sorel (46°02'00,000" N, 73°07'00,000" O).....	9
Tableau 3-2 :	Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de Verchères (45°46'00,000" N, 73°22'00,000" O).....	10
Tableau 3-3 :	Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de l'aéroport de Saint-Hubert (45°31'00,000" N, 73°25'00,000" O).....	11
Tableau 3-4 :	Superficie des différentes classes d'altitude dans les zones d'étude locale, élargie et d'influence	31
Tableau 3-5 :	Superficie des bassins versants des affluents sur les rives sud et nord de la zone d'étude locale.....	39
Tableau 3-6 :	Projections hydrologiques à trois stations hydrométriques localisées sur des tributaires se jetant dans la zone d'influence	49
Tableau 3-7 :	Épaisseur de la glace mesurée entre 1983 et 2001 à deux sites situés sur le lac Saint-Pierre.....	57
Tableau 3-8 :	Pourcentage de débit transitant par les reversoires par rapport au débit total selon la saison	58
Tableau 3-9 :	Épaisseur de la glace mesurée entre 1985 et 2001 au site P5 situé près de l'île Saint-Ours	58
Tableau 3-10 :	Épaisseur de la glace mesurée à quatre sites dans la zone d'influence	59
Tableau 3-11 :	Recul moyen des berges en érosion sévère des îles dans le tronçon Montréal – Sorel entre 1964 et 2002.....	63
Tableau 3-12 :	Recul moyen des berges en érosion sévère, par secteur, dans le tronçon Montréal - Sorel	64
Tableau 3-13 :	Recul moyen des berges en érosion sévère des îles dans le tronçon Montréal – Sorel entre 1998 et 2008.....	66
Tableau 3-14 :	Qualité globale de l'eau de surface selon l'indice de la qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) aux stations de la zone d'étude élargie entre 2015 et 2017	75
Tableau 3-15 :	Tendances et variation de l'évolution temporelle des concentrations médianes mensuelles des six paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau aux stations de la zone d'étude élargie entre 2002 et 2011	76
Tableau 3-16 :	Concentrations de matières en suspension (MES) aux stations de la zone d'étude élargie entre 2015 et 2017.....	77
Tableau 3-17 :	Superficie de la ZIS dans les zones d'étude locale, élargie et d'influence	87

Liste des figures

Figure 3-1 :	Projection des moyennes annuelles des températures pour la région de la Montérégie.....	12
Figure 3-2 :	Projection des moyennes annuelles des températures pour la région de Lanaudière.....	13
Figure 3-3 :	Projection des moyennes annuelles des températures pour Montréal et Laval	13
Figure 3-4 :	Projection des précipitations annuelles totales pour la région de Montérégie.....	14
Figure 3-5 :	Projection des précipitations annuelles totales pour la région de Lanaudière.....	14
Figure 3-6 :	Projection des précipitations annuelles totales pour Montréal et Laval.....	15
Figure 3-7 :	Évolution des concentrations moyennes annuelles de dioxyde de soufre (SO ₂) à la station de Saint-Joseph-de-Sorel (06678) entre 1988 et 2016	16
Figure 3-8 :	Carte des sols réalisée sur une partie des îles de l'archipel dans le comté Berthier (Ministère de l'Agriculture, 1957). Sml : série Saint-Samuel, J : série Saint-Jude; Ce : série Chaloupe; Dp et Dp-m: série Dupas; Bh : série Berthier).....	21
Figure 3-9 :	Modèle numérique d'altitude dans la région du lac Saint-Pierre obtenu du LiDAR de 2001	32
Figure 3-10 :	Carte bathymétrique du lac Saint-Pierre.....	35
Figure 3-11 :	Bathymétrie au droit des reversoires.....	38
Figure 3-12 :	Distribution des masses d'eau dans la zone d'étude locale (août 2006).....	43
Figure 3-13 :	Débit du Saint-Laurent calculé à la station Sorel de décembre 1932 à décembre 2012.....	43
Figure 3-14 :	Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Sorel-Tracy (station 02OJ032), de 1912 à 2010.....	44
Figure 3-15 :	Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Lanoraie (station 02OB011), de 1897 à 2018	45
Figure 3-16 :	Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Varenne (station 02OA050), de 1897 à 2010	46
Figure 3-17 :	Distribution des masses d'eau dans la zone d'influence	47
Figure 3-18 :	Débit annuel moyen à Sorel pour la période de référence (en noir) et les scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) pour la période de 2015 à 2064.....	48
Figure 3-19 :	Relations entre les niveaux d'eau à Sorel et les débits des reversoires obtenues avec le modèle HEC-RAS (2000-2002).....	52
Figure 3-20 :	Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour le lac Saint-Pierre	53
Figure 3-21 :	Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour la région de Contrecoeur	54
Figure 3-22 :	Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour la région de Varennes.....	55
Figure 3-23 :	Exemples de vitesses d'écoulement (à gauche) et de niveaux d'eau (à droite) calculés par le modèle SHOP pour la région du port de Montréal et des îles de Boucherville	56
Figure 3-24 :	Nature du substrat superficiel dans l'archipel et le lac Saint-Pierre (Centre Saint-Laurent, 1996).....	60
Figure 3-25 :	Nature du substrat dans le tronçon Varennes – Sorel et dans la région de Montréal.....	61

Figure 3-26 :	Localisation des rives en érosion sévère (zones en mauve) dans l'archipel du Lac Saint-Pierre pendant la période 1964-1983	68
Figure 3-27 :	Recul annuel moyen des rives (m) entre 1964 – 1997 dans l'archipel du Lac Saint-Pierre	69
Figure 3-28 :	Localisation des rives en érosion sévère (zones en mauve) dans l'archipel de Contrecoeur durant la période 1964-1983	70
Figure 3-29 :	Recul moyen annuel des berges en divers secteurs situés entre le lac Saint-Pierre et Montréal	71
Figure 3-30 :	Qualité générale de l'eau du fleuve et des tributaires du lac Saint-Pierre, évaluée au moyen de l'IQBP6 calculé à partir des données de la période 2012-2014	73
Figure 3-31 :	Localisation des cinq transects d'échantillonnage (T1 à T5) de Hudon et Carignan (2008)	75
Figure 3-32 :	Qualité des sédiments dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent compris entre Montréal et Contrecoeur entre 2004 et 2014	79
Figure 3-33 :	Évolution des concentrations de mercure dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1976 et 2013	79
Figure 3-34 :	Évolution de l'indice métaux dans les sédiments de surface du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1976 et 2013	80
Figure 3-35 :	Évolution des concentrations de BPC dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1986 et 2013	80
Figure 3-36 :	Évolution des concentrations de BDE-99 dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 2003 et 2013	81
Figure 3-37 :	Concentrations de HAP, de dioxines et de furanes dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel en 2013	81
Figure 3-38 :	Zones inondables de l'archipel du Lac Saint-Pierre pour trois périodes de retour	83
Figure 3-39 :	Zones inondables de la MRC Pierre-de-Saurel déterminées sur la base d'un relevé LiDAR	83
Figure 3-40 :	Zones inondables à Saint-Sulpice	84
Figure 3-41 :	Zones inondables sur l'île Deschaillons	85
Figure 3-42 :	Zones inondables à Verchères	86
Figure 3-43 :	Zones inondables à Boucherville	86

Liste des cartes

Carte 1-1 :	Zones d'étude et stations de mesure	3
Carte 3-1 :	Zones géologiques	19
Carte 3-2 :	Dépôt de surface – Secteur de l'archipel du Lac Saint-Pierre	23
Carte 3-3 :	Dépôt de surface – Secteur du fleuve Saint-Laurent (nord)	25
Carte 3-4 :	Dépôt de surface – Secteur du fleuve Saint-Laurent (centre)	27
Carte 3-5 :	Dépôt de surface – Secteur du fleuve Saint-Laurent (sud)	29
Carte 3-6 :	Modèle numérique d'altitude	33

Carte 3-7 :	Milieu physique – Hydrographie – Secteur de l'archipel du Lac Saint-Pierre	41
Carte 3-8 :	Zone d'intervention spéciale sur l'ensemble de la zone d'étude	89

Liste des annexes

Annexe A	Photographies du couvert de glace à proximité des reervoirs prises le 6 février 2019 par le MPO	
----------	---	--

1 Introduction

1.1 Historique des reversoires et mise en contexte du projet

Le projet consiste en la réfection de cinq reversoires localisés dans l'archipel du lac Saint-Pierre, dans le fleuve Saint-Laurent. Situés dans les chenaux secondaires séparant les différentes îles de l'archipel, de part et d'autre du chenal de navigation du Saint-Laurent, les reversoires sont des ouvrages en enrochement servant à dévier partiellement les eaux vers le chenal maritime et ainsi rehausser le niveau d'eau entre l'archipel du lac Saint-Pierre et le port de Montréal. Ces ouvrages appartiennent au ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO).

Mis en place il y a environ 90 ans, entre 1928 et 1931, les reversoires ont subi périodiquement au fil des ans plusieurs réfections afin de prolonger leur durée de vie utile. Les relevés effectués au cours des douze dernières années par la Garde côtière canadienne (GCC) montrent que ces structures sont endommagées et qu'elles continuent de se détériorer. Certains reversoires (n^{os} 1, 2 et 3) montrent des signes de détérioration avancée. Pour leur part, les reversoires n^{os} 4 et 5 ont été restaurés pour la dernière fois en 1996 par l'ajout d'une aile pour contrer l'érosion des rives au droit des ouvrages. Les dommages subis par ces différents ouvrages affectent leur efficacité à retenir l'eau et pourraient compromettre leur intégrité structurale. La capacité des reversoires à rehausser le niveau d'eau à l'amont s'en trouve également réduite, affectant ainsi la capacité de navigation vers le port de Montréal, spécialement en périodes d'étiage. Cette situation a des répercussions économiques très importantes pour les armateurs et l'industrie maritime de la région.

En plus de s'inscrire dans les priorités organisationnelles du MPO, le projet de réfection des reversoires de l'archipel du lac Saint-Pierre s'intègre également dans le partenariat du Plan d'action Saint-Laurent et la stratégie maritime du Québec. Ce partenariat entre les gouvernements fédéral et provincial du Québec vise à conserver, restaurer, protéger et mettre en valeur le fleuve Saint-Laurent tout en favorisant la compétitivité du chenal maritime.

En vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCÉE, 2012), le MPO doit réaliser une évaluation environnementale du projet de réfection des reversoires afin de s'assurer que ce dernier ne cause pas d'effets négatifs importants à l'environnement. Le MPO a demandé à Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) à ce que le projet soit « désigné » en vertu du paragraphe 14(2) de la LCÉE (2012) et qu'il soit ainsi soumis à une évaluation environnementale de type « approfondie » qui sera chapeauté par l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACÉE).

1.2 Description du projet

Le projet de réfection des reversoires vise un double objectif soit, d'une part, d'assurer la pérennité des ouvrages existants pour une durée de vie utile d'environ 40 ans et, d'autre part, d'augmenter la hauteur de la colonne d'eau dans le chenal de navigation du Saint-Laurent entre les villes de Sorel-Tracy et Montréal. Tel qu'envisagé présentement par le MPO, le projet de réfection consiste essentiellement à colmater les brèches observées au droit des ouvrages et à rehausser leur crête jusqu'à leur élévation d'origine (4,385 m IGLD85¹).

Plusieurs options de restauration sont envisageables et la conception des travaux sera définie plus précisément au cours des prochaines phases du projet. Dans le cadre de l'évaluation environnementale du projet, le résultat des consultations publiques et autochtones ainsi que l'analyse des différentes options possibles permettant l'atteinte des objectifs du projet seront pris en compte afin d'optimiser le projet et de finaliser la conception des travaux.

¹ IGLD85 : International Great Lakes Datum 1985 (zéro des cartes). L'IGLD85 est une référence altimétrique développée pour la voie maritime du Saint-Laurent et les Grands Lacs. La référence altimétrique utilisée correspond au niveau moyen de l'eau au marégraphe de Rimouski.

1.3 Objectifs de l'étude de base

L'étude de base consiste à réaliser une revue des informations existantes sur la zone d'étude du projet afin de documenter les caractéristiques environnementales actuelles et passées du milieu dans lequel s'insère le projet. Les informations existantes utilisées à cette étape sont les rapports d'étude, les banques de données et les bases cartographiques qui sont accessibles de façon publique, ainsi que les informations fournies par les différentes instances gouvernementales consultées (municipales, provinciales et fédérales). La réalisation de l'étude de base constitue une étape essentielle à l'évaluation environnementale de tout projet.

Dans le cadre du présent mandat, trois études de base ont été préparées par AECOM afin de décrire respectivement les milieux physique, biologique et humain.

1.4 Localisation du projet

Comme mentionné précédemment, le projet de réfection des reversoires est localisé dans l'archipel du lac Saint-Pierre. Les cinq reversoires sont situés sur le territoire de trois municipalités, soit Sainte-Anne-de-Sorel, Saint-Ignace-de-Loyola et La-Visitation-de-l'île-Dupas. La première municipalité se situe dans la MRC de Pierre-de-Saurel (région administrative de la Montérégie), alors que les deux autres sont situées dans la MRC de D'Autray (région de Lanaudière) (tableau 1-1). Les reversoires n^{os} 3, 4 et 5 sont accessibles par voie terrestre, alors que les reversoires n^{os} 1 et 2 ne sont accessibles que par voie maritime.

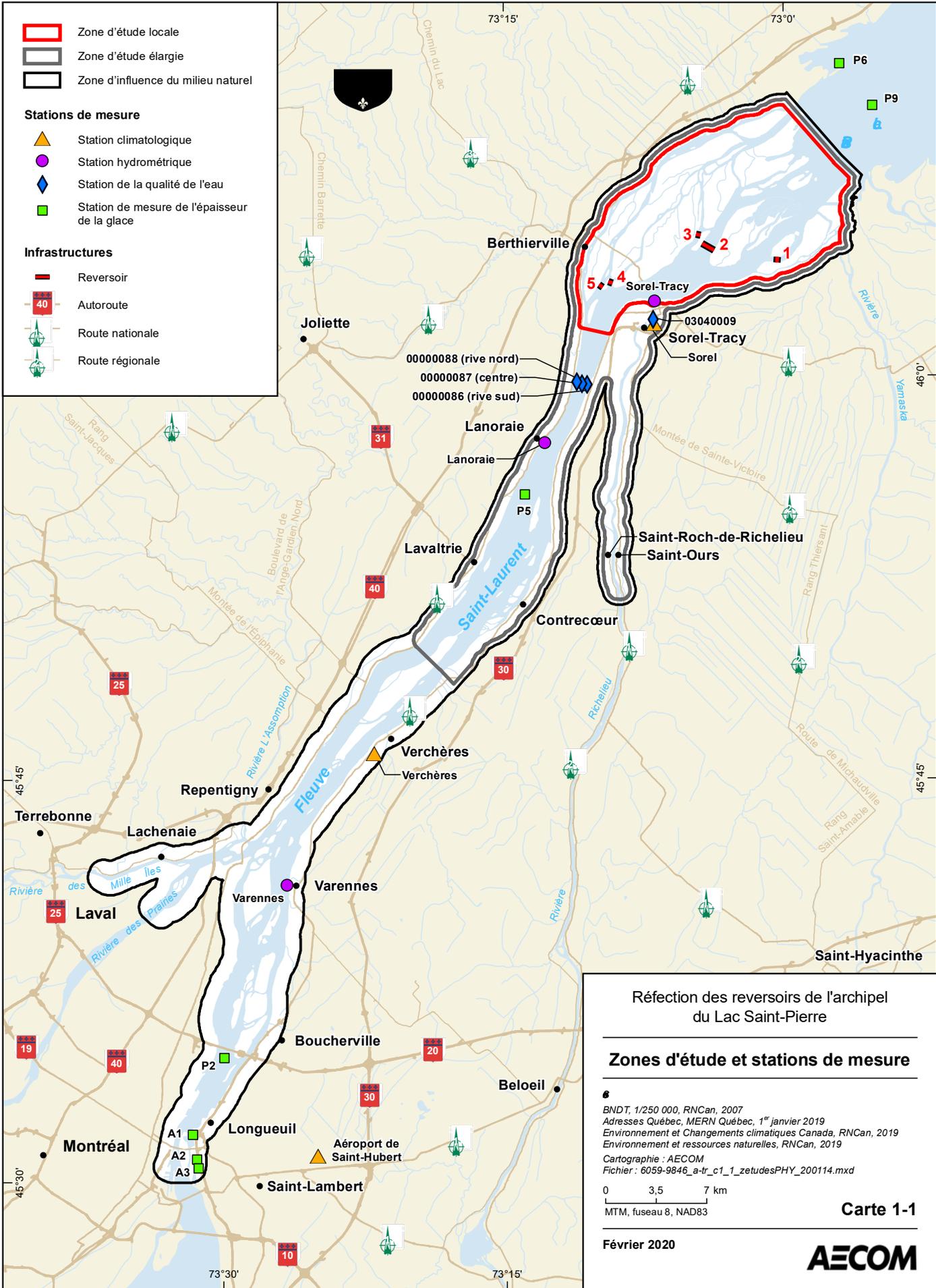
Tableau 1-1 : Localisation des reversoires

N°	Localisation	Municipalité	MRC	Région administrative
1	Entre les îles du Moine et des Barques	Sainte-Anne-de-Sorel	Pierre-de-Saurel	Montérégie
2	Entre les îles de Grâce et Ronde	Sainte-Anne-de-Sorel Saint-Ignace-de-Loyola	Pierre-de-Saurel D'Autray	Montérégie Lanaudière
3	Entre les îles Ronde et Madame	Saint-Ignace-de-Loyola	D'Autray	Lanaudière
4	Entre les îles Saint-Ignace et aux Cochons	Saint-Ignace-de-Loyola La-Visitation-de-l'île-Dupas	D'Autray	Lanaudière
5	Entre les îles aux Cochons et du Mitan	La-Visitation-de-l'île-Dupas	D'Autray	Lanaudière

1.5 Définition des zones d'étude

L'acquisition de connaissances sur le milieu s'appuie sur trois zones d'étude (carte 1-1). Ces zones ont été délimitées de façon à englober toutes les composantes du milieu susceptibles d'être touchées au cours des différentes étapes du projet.

- **Zone d'étude locale** : Cette zone englobe le territoire susceptible de subir les impacts directs des travaux de construction du projet. Elle comprend les sites des travaux, soit les reversoires n^{os} 1 à 5, les accès à ces différents reversoires, ainsi que l'ensemble de l'archipel du lac Saint-Pierre où les impacts hydrauliques et sédimentaires en phase de construction sont susceptibles de se faire sentir. Une description détaillée des milieux physique, biologique et humain sera réalisée pour la zone d'étude locale.



- Zone d'étude locale
- Zone d'étude élargie
- Zone d'influence du milieu naturel

- Stations de mesure**
- ▲ Station climatologique
 - Station hydrométrique
 - ◆ Station de la qualité de l'eau
 - Station de mesure de l'épaisseur de la glace

- Infrastructures**
- Reservoir
 - 40 Autoroute
 - Route nationale
 - Route régionale

Réfection des réservoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Zones d'étude et stations de mesure

6
 BNDT, 1/250 000, RNCAN, 2007
 Adresses Québec, MERN Québec, 1^{er} janvier 2019
 Environnement et Changements climatiques Canada, RNCAN, 2019
 Environnement et ressources naturelles, RNCAN, 2019
 Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c1_1_zetudesPHY_200114.mxd

0 3,5 7 km
 MTM, fuseau 8, NAD83

Carte 1-1

Février 2020



Les limites amont et aval de la zone d'étude locale ont été établies de façon à englober l'ensemble des îles composant l'archipel du lac Saint-Pierre. Il est à noter que sur la rive sud, la limite aval de la zone d'étude locale se termine à l'embouchure de la rivière Saint-François en excluant toutefois celle-ci.

- **Zone d'étude élargie** : Cette zone englobe le territoire susceptible d'être le plus touché par les changements des niveaux d'eau entraînés par la réfection des reversoirs, soit le tronçon du fleuve Saint-Laurent qui s'étend de la limite aval de l'archipel du lac Saint-Pierre jusqu'à la limite ouest de la municipalité de Contrecoeur. Cette zone d'étude inclut également l'embouchure de la rivière Richelieu jusqu'au barrage de l'écluse Saint-Ours situé environ 22 km en amont. Une bande de terrain d'une largeur de 1 km de part et d'autre des rives du fleuve et de la rivière Richelieu est considérée comme faisant partie de la zone d'étude élargie. Une description générale des milieux physique, biologique et humain sera réalisée pour la zone d'étude élargie.

La limite aval de la zone d'étude élargie est identique à celle de la zone d'étude locale, alors que sa limite amont correspond à la limite ouest de Contrecoeur.

- **Zone d'influence** : Cette zone comprend l'ensemble du territoire pouvant être touché par le projet, soit à partir de la limite aval de l'archipel du lac Saint-Pierre jusqu'au port de Montréal. L'embouchure des rivières des Prairies, des Mille Îles et L'Assomption, jusqu'aux premiers rapides ou au premier barrage rencontré, est également incluse dans cette zone d'étude. Une description sommaire des milieux physique, biologique et humain, sans inventaire sur le terrain, sera réalisée pour la zone d'influence à partir des informations disponibles dans la documentation existante.

Précisons que le lac Saint-Pierre, situé en aval de l'archipel du même nom, n'est pas inclus dans les différentes zones d'étude de ce projet, étant donné qu'aucun impact significatif sur ce plan d'eau n'est susceptible d'être engendré par la réalisation du projet, autant en phases de construction que d'exploitation des ouvrages. En effet, les modifications hydrauliques engendrées par le projet seront pratiquement imperceptibles en entrant dans la portion amont du lac Saint-Pierre.

1.6 Identification des enjeux environnementaux du milieu physique

Les principaux effets du projet sont liés au rehaussement du niveau d'eau engendré par la réfection des reversoirs. En effet, le rehaussement du niveau d'eau modifiera les débits, les vitesses de courant, le régime sédimentaire et le régime des glaces, tant en amont et en aval des reversoirs, que dans le chenal de navigation du Saint-Laurent et les nombreux chenaux formés par les îles de l'archipel du Lac Saint-Pierre. Ces modifications influenceront à leur tour les caractéristiques physiques ainsi que les composantes biologiques et humaines des milieux aquatique et riverain.

En ce qui concerne le milieu physique, le principal enjeu du projet concerne l'augmentation des risques d'érosion dans la zone d'étude :

- **Augmentation des risques d'érosion**

Le rehaussement du niveau d'eau risque d'accentuer l'érosion des berges déjà présente par endroits. Avec le rehaussement, l'attaque du talus par les vagues se fera sentir non seulement à sa base, mais jusqu'au centre ou dans le haut du talus. L'augmentation des vitesses d'écoulement dans le chenal de navigation (au droit de l'archipel) pourrait également favoriser l'érosion de ses berges.

L'évolution du transport maritime attendue à la suite du rehaussement du niveau d'eau, et le batillage en découlant, pourraient aussi contribuer à l'augmentation de l'érosion.

Par l'érosion, les substrats des berges se détachent et sont emportés par l'eau sous forme de particules fines qui sont déposées plus loin en aval. L'érosion des rives du Saint-Laurent et des îles qui s'y trouvent occasionne non seulement une dégradation de la qualité de l'eau causée par l'augmentation des particules en suspension et de la turbidité de l'eau, mais aussi la dégradation ou la destruction de plages, de bandes riveraines, de milieux humides et d'habitats fauniques et floristiques.

2 Méthodologie

L'objectif de cette étude de base est de documenter les principales composantes du milieu physique pouvant être affectées par le projet à l'aide des informations disponibles. La revue documentaire a mis l'accent sur les caractéristiques spécifiques du milieu, notamment celles pouvant augmenter l'érosion des berges, soit le principal enjeu environnemental du projet pour le milieu physique.

2.1 Données obtenues

AECOM a obtenu de la part du MPO des informations sur leur modèle hydraulique 2D et les données de l'épaisseur de la couche de glace colligées par le MPO entre 1971 et 2002 dans les zones d'étude.

2.2 Données consultées en ligne

Plusieurs sources documentaires en ligne ont été utilisées afin de décrire le milieu physique. La documentation provenant des sites des MRC, du Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre Changements climatiques, et d'Ouranos a été mise à profit. De plus, des articles scientifiques et des ouvrages de référence en ligne ont aussi été consultés.

Par ailleurs, AECOM a téléchargé les données spatiales (« shape files ») énumérées ci-dessous pour les traiter par SIG :

- Données géologiques : AECOM a téléchargé les informations sur le couvert géologique des zones d'étude sur le site SIGÉOM du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr). Le SIGÉOM est un système d'information géominière à référence spatiale unique en son genre. Il contient toutes les données géoscientifiques québécoises recueillies depuis 150 ans. Ces données ont été intégrées à un SIG à des fins cartographiques.
- Informations sur les dépôts de surface : Les données spatiales des dépôts de surface recouvrant les zones d'études sont tirées du site Internet : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/depots-de-surface>. Le site Données Québec est une plateforme de données ouvertes, née de la collaboration entre le gouvernement du Québec et les municipalités. La cartographie des dépôts de surface a été réalisée par le Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs.
- Données topographiques : La topographie a été décrite en utilisant le LiDAR avec une résolution de 1 mètre qui a été récemment mis en ligne par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/produits-derives-de-base-du-lidar>).

De plus, AECOM a consulté des données et/ou des sommaires statistiques provenant des sites suivants :

- Statistiques climatologiques : À la fin de chaque décennie, Environnement et Changement climatique Canada met à jour ses normales climatologiques pour le plus grand nombre possible de stations et de caractéristiques climatologiques. Les normales climatologiques, moyennes et extrêmes climatologiques, offertes sur le site http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html reposent sur les stations climatologiques canadiennes ayant au moins 15 années de données entre 1981 à 2010. AECOM a consulté le site pour trois stations climatologiques situées dans les zones d'étude du projet ou à proximité (Sorel, Verchères et Saint-Hubert).
- Données de la qualité de l'air : Les données de la qualité de l'air ambiant proviennent du Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec (<http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/reseau-surveillance/Carte.asp>). Le réseau se compose d'une soixantaine de stations réparties sur le territoire québécois. Les stations du RSQAQ sont exploitées par le Ministère à l'exception d'une station exploitée par Environnement et Changement climatique Canada à Saint-Anicet et de celles situées sur l'île de Montréal.

- Données hydrologiques : Les données hydrométriques historiques sur les niveaux d'eau et les débits de trois stations hydrométriques (Sorel-Tracy, Lanoraie et Varennes) sur le site d'Environnement et Changement climatique Canada (https://eau.ec.gc.ca/mainmenu/historical_data_index_f.html).
- Données sur la qualité de l'eau : Les données colligées dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique et disponibles dans l'Atlas interactif de la qualité des eaux et des écosystèmes aquatiques http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/stations/stations_fleuve.asp#onglets. Cette banque collige toutes les données que le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques a recueillies sur les milieux aquatiques du Québec depuis 1979.
- Épaisseur de la glace : les données proviennent du programme d'épaisseur de la glace (1947-2002) d'Environnement et Changement climatique Canada (<http://donnees.ec.gc.ca/data/ice/products/ice-thickness-program-collection/ice-thickness-program-collection-1947-2002/?lang=fr>). Le nombre de relevés d'épaisseur de la glace varie selon le nombre d'années d'activité des stations. Ces mesures sont prises sur une base hebdomadaire chaque saison, toujours aux mêmes endroits et aussitôt qu'il est sécuritaire de marcher sur la glace, de la période de gel jusqu'au moment du dégel où il devient dangereux de circuler sur la glace.

Finalement, AECOM a consulté les cartes interactives des sites suivants :

- Projections climatiques : Ouranos a mis sur son site web <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/>) des scénarios climatiques où il est possible de visualiser une information climatique spatialisée afin de mieux évaluer l'ampleur des changements attendus pour une région d'intérêt.
- Zones inondables : AECOM a consulté la carte interactive hébergée sur le site Internet du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (<https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>). Cette carte présente les rapports et les cartes des zones inondables produits originellement par le gouvernement du Québec ou certaines entités municipales.

3 Description du milieu

3.1 Climat et qualité de l'air ambiant

3.1.1 Conditions climatiques existantes

Les trois zones d'étude du projet sont caractérisées par un climat modéré subhumide à longue période de croissance végétative (Ministère de l'Environnement, 2001). Les paragraphes ci-dessous présentent les conditions climatiques moyennes qui ont été observées entre 1981 et 2010 dans les trois zones d'études. La localisation des stations climatologiques figure sur la carte 1-1.

Zone d'étude locale

Le tableau 3-1 présente les moyennes des températures et les précipitations mesurées à la station climatique de Sorel de 1981 à 2010. On constate que la température moyenne annuelle est de 6,3 °C, le mois le plus chaud étant juillet (21,1 °C) tandis que le mois le plus froid étant janvier (-10,7 °C), pour une variation annuelle moyenne de 31,7 °C.

Les précipitations annuelles moyennes totalisent 999,7 mm, dont 801,2 mm tombent sous forme de pluie et 198,7 mm sous forme de neige. Les précipitations sont les plus abondantes en juillet (98,9 mm) alors que le mois de mars est le plus sec (60,5 mm). En saison hivernale, le mois de février est celui où la couverture de neige moyenne est la plus épaisse (35 cm).

Tableau 3-1 : Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de Sorel (46°02'00,000" N, 73°07'00,000" O)

Mois	Température		Précipitation			
	Moyenne quotidienne (°C)	Écart type (°C)	Chute de pluie (mm)	Chute de neige (cm)*	Précipitation (mm)*	Couverture de neige moyenne (cm)
Janvier	-10,7	3,4	24,3	49,3	73,6	27
Février	-8,5	2,5	19,5	42,9	62,3	35
Mars	-2,7	2,1	28,1	32,4	60,5	26
Avril	6,0	1,5	68,4	9,5	77,7	1
Mai	13,2	1,7	86,4	0,1	86,4	0
Juin	18,7	1,2	96,8	0	96,8	0
Juillet	21,1	1,0	98,9	0	98,9	0
Août	20,0	1,2	96,1	0	96,1	0
Septembre	15,2	1,5	80,6	0	80,6	0
Octobre	8,2	1,3	93,5	1,1	94,6	0
Novembre	1,7	1,6	77,0	14,8	91,8	1
Décembre	-6,1	3,1	31,8	48,7	80,4	14
Année	6,3	1,9	801,2	198,7	999,7	9

Source : Gouvernement du Canada, 2019 (http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?stnID=5532&autofwd=1)

* En météorologie, 1 cm de neige = 1 mm de pluie.

Zone d'étude élargie

La station climatique la plus proche de l'emplacement de la zone d'étude élargie est celle de Verchères, située à environ 15 km au sud-ouest de Contrecoeur, sur la rive sud du Saint-Laurent. Les normales climatiques les plus récentes compilées par Environnement et Changement climatique Canada pour cette station couvrent la période de 1981 à 2010. Elles sont présentées au tableau 3-2 ci-dessous.

Tableau 3-2 : Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de Verchères (45°46'00,000" N, 73°22'00,000" O)

Mois	Température		Précipitation			Couverture de neige moyenne (cm)
	Moyenne quotidienne (°C)	Écart-type (°C)	Chute de pluie (mm)	Chute de neige (cm)*	Précipitation (mm)*	
Janvier	-10,0	3,3	26,2	47,5	73,6	22
Février	-7,9	2,6	18,5	37,8	56,4	30
Mars	-2,2	2,0	27,0	32,2	59,2	24
Avril	6,3	1,5	66,5	6,3	72,6	2
Mai	13,4	1,6	84,5	0	84,5	0
Juin	18,6	1,3	98,6	0	98,6	0
Juillet	21,1	1,1	93,2	0	93,2	0
Août	20,1	1,1	93,6	0	93,6	0
Septembre	15,4	1,4	87,4	0	87,4	0
Octobre	8,5	1,4	92,6	0,5	93,0	0
Novembre	2,0	1,5	77,4	12,5	89,9	1
Décembre	-5,6	3,0	32,2	49,4	81,6	11
Année	6,6	0,9	797,6	186,2	983,6	8

Source :

http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?searchType=stnName&txtStationName=vercheres&searchMethod=cont&txtCentralLatMin=0&txtCentralLatSec=0&txtCentralLongMin=0&txtCentralLongSec=0&stnID=5564&dispBack=1

* En météorologie, 1 cm de neige = 1 mm de pluie.

En somme, l'analyse des normales climatiques à la station de Verchères révèle que la température moyenne annuelle est de 6,6 °C, ce qui est 0,3 °C supérieur à la station de Sorel.

Avec des précipitations totales annuelles de 983,6 mm, la station de Verchères reçoit en moyenne 16 mm de moins que la station de Sorel au cours d'une année. Les précipitations mensuelles maximales et minimales ne surviennent pas pendant les mêmes mois qu'à la station de Sorel avec respectivement 98,6 mm en juin et 56,4 mm en février

Zone d'influence

La station climatique la plus proche du port de Montréal est celle de l'aéroport de Saint-Hubert située à environ 11 km à l'est sur la rive sud du Saint-Laurent. Les normales climatiques les plus récentes compilées par Environnement et Changement climatique Canada pour cette station couvrent également la période de 1981 à 2010. Elles sont présentées au tableau 3-3 ci-dessous.

Tableau 3-3 : Températures et précipitations moyennes (1981-2010) à la station de l'aéroport de Saint-Hubert (45°31'00,000" N, 73°25'00,000" O)

Mois	Température		Précipitation			
	Moyenne quotidienne (°C)	Écart type (°C)	Chute de pluie (mm)	Chute de neige (cm)*	Précipitation (mm)*	Couverture de neige moyenne (cm)
Janvier	-10,4	3,3	26,4	52	75,8	17
Février	-8,2	2,9	22,8	39	61,9	19
Mars	-2,5	1,9	33,9	36,5	71,6	13
Avril	5,7	1,4	67,8	13,4	82,7	1
Mai	12,9	1,6	81,5	0,2	81,7	0
Juin	17,9	1,3	87,3	0	87,3	0
Juillet	20,6	1,0	96,8	0	96,8	0
Août	19,5	1,2	88,3	0	88,3	0
Septembre	14,7	1,4	84,5	0	84,5	0
Octobre	7,9	1,4	85,3	1,4	87,0	0
Novembre	1,5	1,5	84,4	18	104,3	1
Décembre	-5,8	3,2	39,4	48,8	88,8	9
Année	6,2	3,2	798,6	209,1	1010,6	5

Source :

http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?searchType=stnProx&txtRadius=25&optProxType=city&selCity=45%7C31%7C73%7C39%7CMontr%C3%A9al&selPark=&txtCentralLatDeg=&txtCentralLatMin=0&txtCentralLatSec=0&txtCentralLongDeg=&txtCentralLongMin=0&txtCentralLongSec=0&stnID=5490&dispBack=0

* En météorologie, 1 cm de neige = 1 mm de pluie.

Selon les normales climatiques, la température moyenne annuelle à la station de Saint-Hubert (6,2 °C) est similaire à celle observée à la station de Sorel (0,1 °C plus froid).

Avec des précipitations annuelles totales de 1 010,6 mm, la station de Saint-Hubert reçoit 11 mm de plus que la station de Sorel au cours d'une année. Les précipitations mensuelles maximales surviennent au même mois qu'à la station de Sorel (juillet), tandis que les précipitations minimales surviennent à la même période qu'à la station de Verchères (février).

3.1.2 Changements climatiques projetés

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant généralement pendant des décennies ou plus (Pascal, 2010). Par ailleurs, le paragraphe 2 de l'article 1 de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)² indique également ce qui suit :

« On entend par "changements climatiques" des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. »

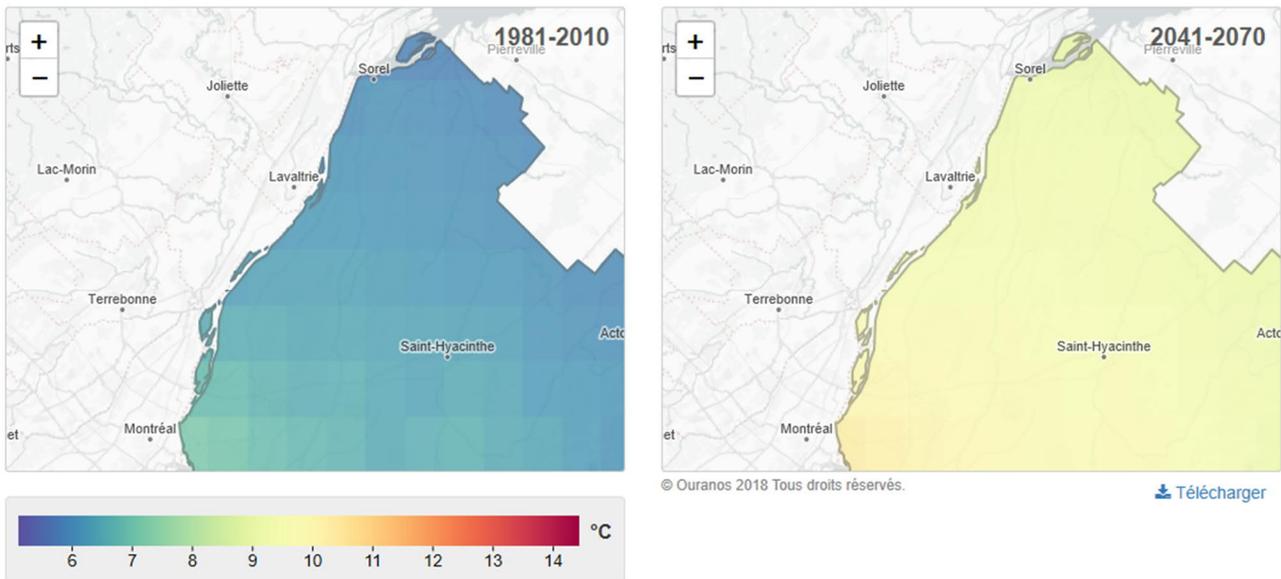
² Disponible à l'adresse suivante : <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>

Le réchauffement climatique affecte le cycle hydrologique en modifiant les précipitations, en haussant les températures et en diminuant la couverture de neige et de glace, ce qui a pour effet d'augmenter les taux d'évaporation.

Ouranos a mis en ligne un site web³ permettant de visualiser de l'information climatique spatialisée afin de mieux évaluer l'ampleur des changements attendus pour une région d'intérêt. Les résultats pour la période de références et les horizons futurs sont calculés à partir d'une série de 11 simulations climatiques. Le site présente les projections de huit indices climatiques en réponse à deux scénarios d'émission (RCP 4.5 et RCP 8.5)⁴ et ce pour deux horizons (2041-2070 et 2071-2100). Le texte ci-dessous présente les résultats pour les projections de température et de précipitation selon le scénario d'émission élevée (RCP 8.5) et l'horizon 2041-2070. Le lecteur est invité à consulter le site Internet d'Ouranos pour visualiser les autres combinaisons.

Température

Selon les cartes consultées sur ce site, la température moyenne annuelle des zones d'étude locale, élargie et d'influence augmenterait de près de 3,2°C (50^e percentile) pendant l'horizon 2041-2070⁵ (figures 3-1 à 3-4).



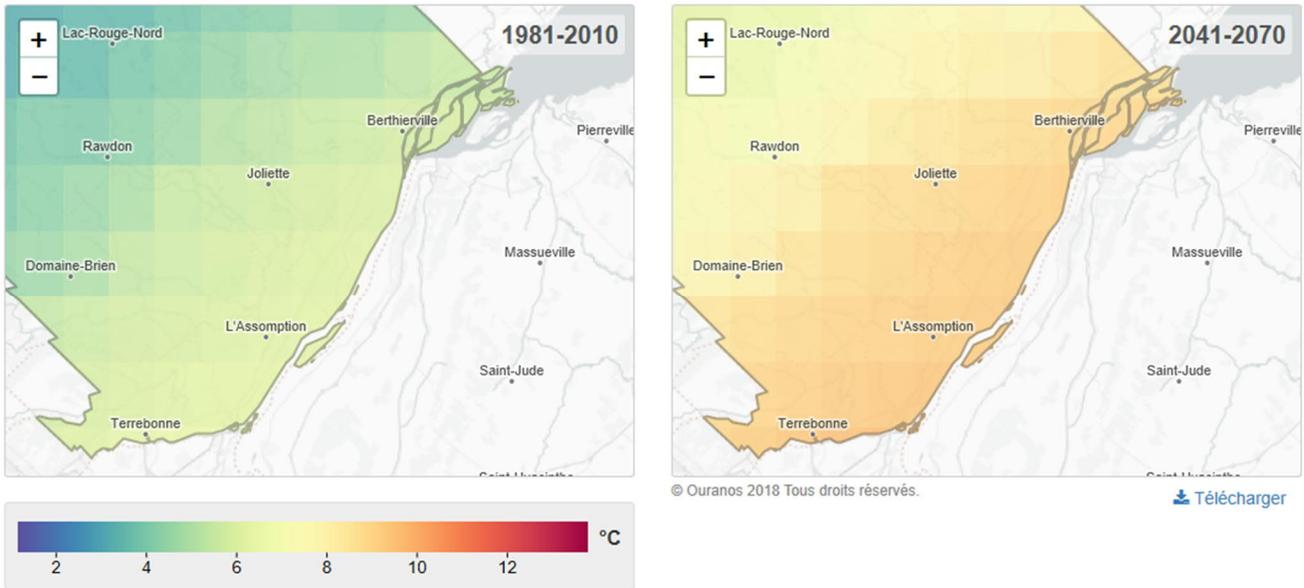
Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/23>

Figure 3-1 : Projection des moyennes annuelles des températures pour la région de la Montérégie

³ <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/>

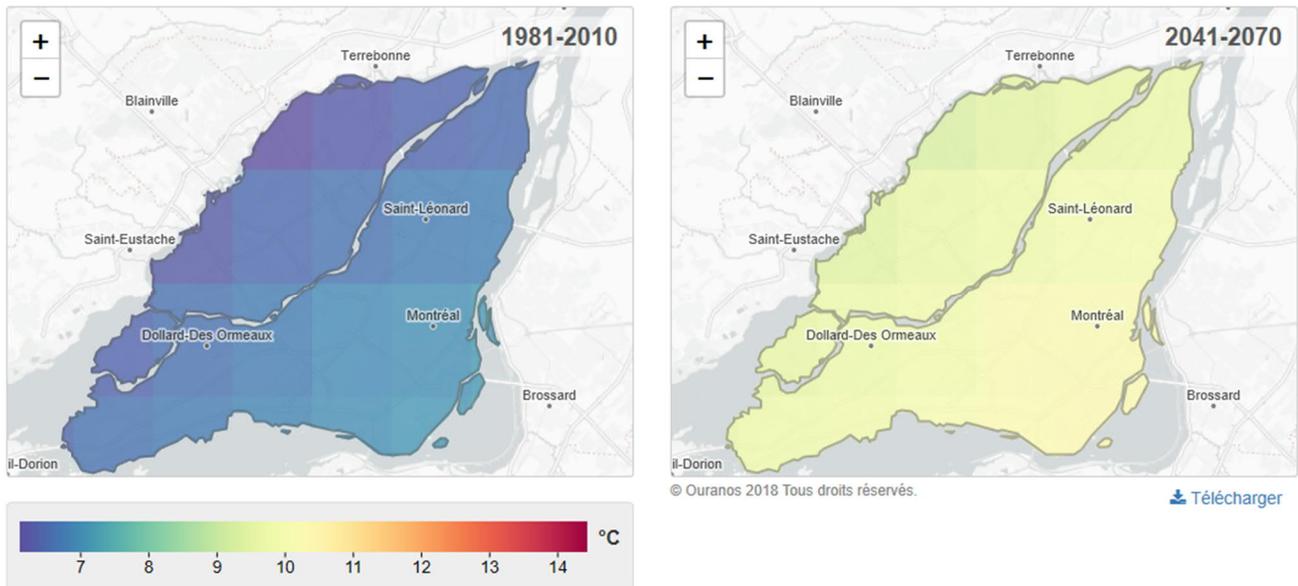
⁴ « RCP » signifie « representative concentration pathway », en français : « trajectoire de concentration représentative ». Avec un RCP 4.5 (scénario optimiste possible), de fortes atténuations sont requises pour stabiliser les émissions de GES en 2080 à la moitié du niveau d'émission actuel. Avec un RCP 8.5 (scénario pessimiste représentant le pire cas), les émissions continuent d'augmenter à la vitesse actuelle et l'élévation de la température moyenne de la terre en 2100 est estimée entre +2 et +4 °C.

⁵ En supposant une augmentation des émissions de GES jusqu'à la fin du siècle (RCP 8.5) et un percentile de 50.



Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/17>

Figure 3-2 : Projection des moyennes annuelles des températures pour la région de Lanaudière

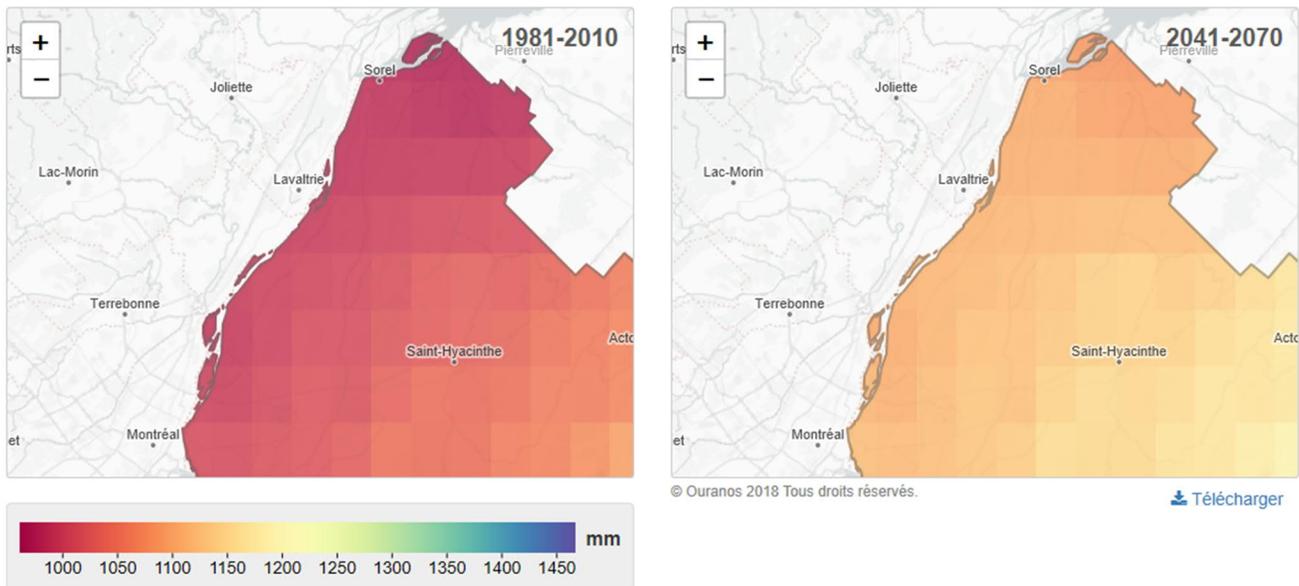


Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/24>

Figure 3-3 : Projection des moyennes annuelles des températures pour Montréal et Laval

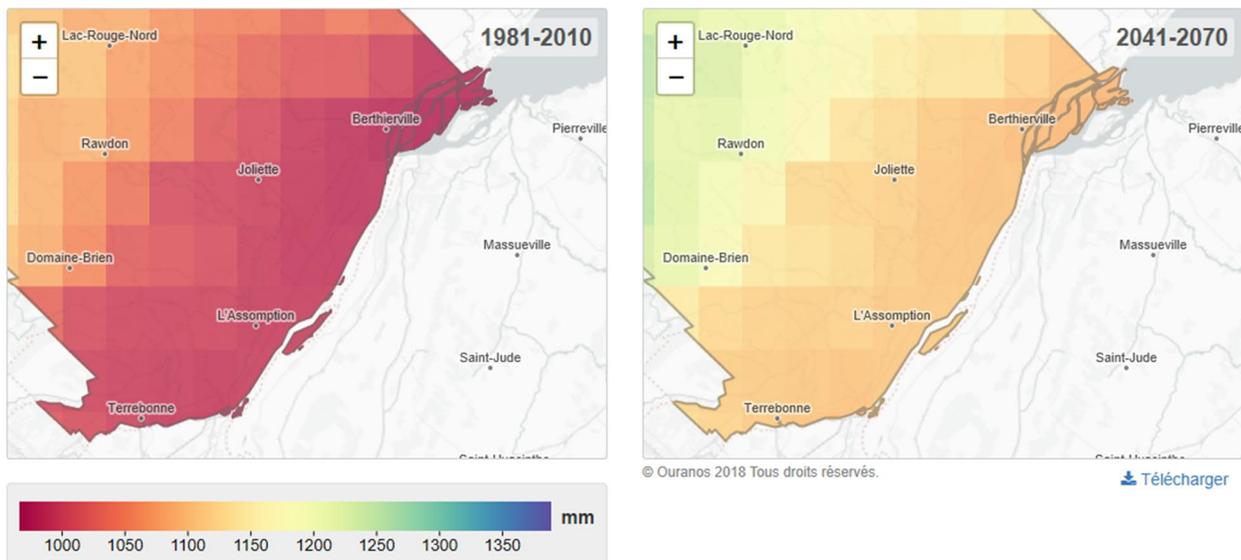
Pluviosité

Selon les projections d'Ouranos (RCP 8.5), la pluviosité totale annuelle devrait augmenter de 127 à 131 mm sur la rive sud dans les zones d'étude élargie et locale (figures 3-5 et 3-6). Pour sa part, la rive nord des zones élargie et locale devrait expérimenter une hausse de 118 mm de la précipitation totale annuelle. Finalement, la région de Montréal devrait recevoir environ 110 mm de plus (figure 3-6).



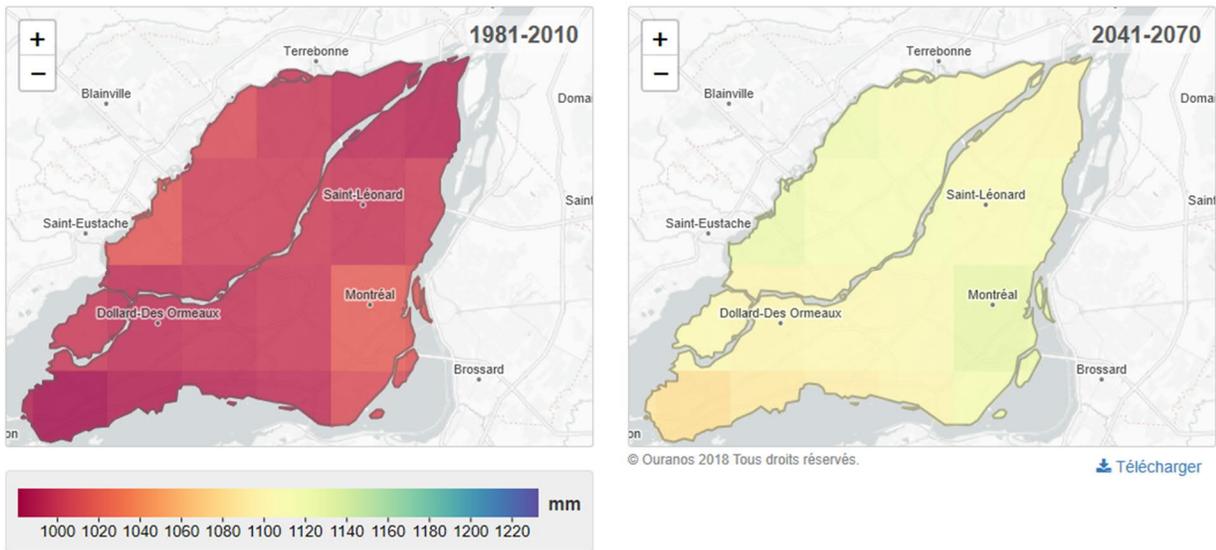
Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/23>

Figure 3-4 : Projection des précipitations annuelles totales pour la région de Montérégie



Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/17>

Figure 3-5 : Projection des précipitations annuelles totales pour la région de Lanaudière



Source : <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/24>

Figure 3-6 : Projection des précipitations annuelles totales pour Montréal et Laval

3.1.3 Qualité de l'air ambiant

Les concentrations mesurées de différents contaminants atmosphériques dans l'air ambiant peuvent être comparées à des valeurs de référence (normes, critères, valeurs guides, lignes directrices). Au Québec, les normes utilisées par le MELCC proviennent du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA)⁶. Il est à noter qu'il existe également des normes au sein du Système de gestion de la qualité de l'air (SGQA) mis de l'avant par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). Toutefois, ce système n'est pas utilisé au Québec, car les exigences du SGQA pour les émissions industrielles font double emploi avec le RAA⁷.

Zone d'étude locale

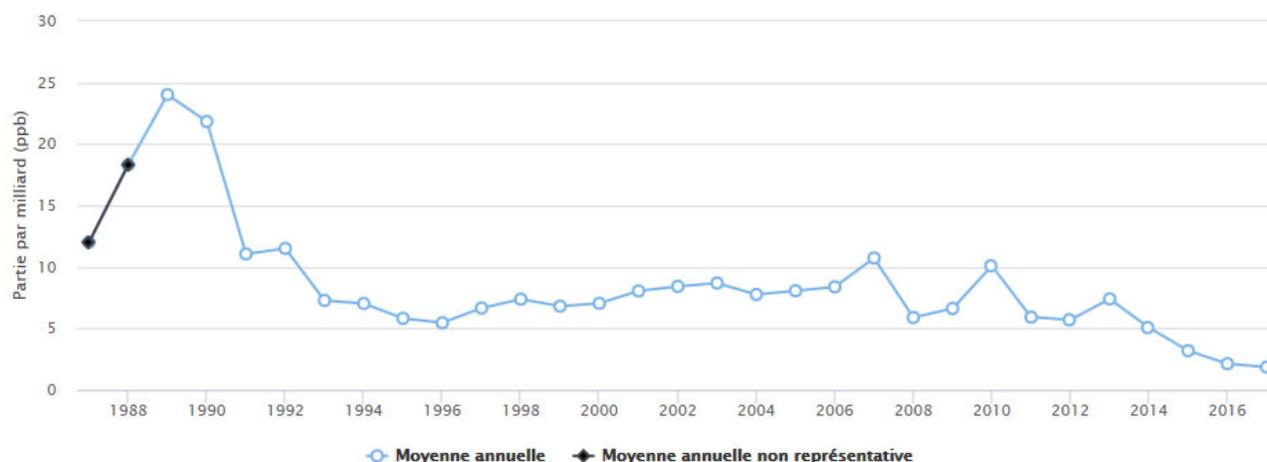
Depuis 1987, le Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec (RSQAQ) mesure de façon continue la teneur de SO₂ à une station située à l'école Martel de la municipalité de Saint-Joseph-de-Sorel (station n° 06678) et une autre localisée dans le vieux Sorel (station n° 06672).

La concentration moyenne de SO₂ en 2016 était de 0,78 et 2,13 ppb respectivement pour les stations Sorel-Tracy – Vieux-Sorel et Saint-Joseph-de-Sorel – École Martel (Foucreault, 2019). Le graphique ci-dessous montre qu'aucun dépassement de la norme québécoise de qualité de l'atmosphère concernant la moyenne annuelle d'anhydride sulfureux (20 ppb SO₂)⁸ n'a été observé à la station Saint-Joseph-de-Sorel depuis 1991 (figure 3-7).

⁶ <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2.%20r.%204.1>. Les valeurs des normes de la qualité de l'atmosphère sont disponibles à l'Annexe K.

⁷ <https://www.ccme.ca/fr/resources/air/aqms.html>

⁸ Voir article 196 du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (Q-2, r 4.1).



Source : http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/reseau-surveillance/graphiques.asp?nom_contaminant=SO2&station=06678

Figure 3-7 : Évolution des concentrations moyennes annuelles de dioxyde de soufre (SO₂) à la station de Saint-Joseph-de-Sorel (06678) entre 1988 et 2016

Zone d'étude élargie

Le Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec (RSQAQ) mesure en continu les teneurs en ozone, dioxyde d'azote, monoxyde d'azote, particules fines et monoxyde de carbone à la station de L'Assomption (n° 06500). Selon le MELCC (Foucreault, 2019), les teneurs enregistrées en 2016 à cette station étaient les suivantes :

- ozone (O₃) : la concentration moyenne de l'année était de 25,40 ppb⁹; la norme horaire (82 ppb) du *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA)* n'a pas été dépassée et la norme sur huit heures du RAA (65 ppb) a été dépassée à 11 reprises en 2016;
- dioxyde d'azote (NO₂) : la concentration moyenne de l'année était de 4,66 ppb¹⁰; les normes horaires (220 ppb), journalières (111 ppb) et annuelles (55 ppb) du RAA n'ont pas été dépassées en 2016;
- monoxyde d'azote (NO) : la concentration moyenne de l'année était 1,12 ppb¹¹ (aucune valeur limite applicable);
- particules fines (PM_{2,5}) : la concentration moyenne de l'année était de 6,43 µg/m³; la norme journalière du RAA (30 µg/m³) n'a pas été dépassée en 2016;
- monoxyde de carbone (CO) : la concentration moyenne et maximale de l'année était respectivement de 0,19 ppm¹² et 0,85 ppm. Ainsi, les normes horaires (30 ppm) et sur huit heures (13 ppm) du RAA n'ont pas été dépassées en 2016.

⁹ Les facteurs de conversion de l'O₃ est 1 µg/m³ = 0,51 ppb (0 degré Celsius et 101,3 kPa).

¹⁰ Le facteur de conversion du NO₂ est 1 µg/m³ = 0,53 ppb (0 degré Celsius et 101,3 kPa).

¹¹ Le facteur de conversion du NO est 1 µg/m³ = 0,81 ppb (0 degré Celsius et 101,3 kPa).

¹² Le facteur de conversion du CO est 1 µg/m³ = 0,87 ppb (0 degré Celsius et 101,3 kPa).

3.1.4 Sources d'émissions de contaminants atmosphériques et de gaz à effet de serre

En raison de la nature et de l'envergure des travaux, il est plausible de penser que le projet de réfection des reervoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre aura un impact marginal sur la qualité de l'air et les émissions de GES. Dans ce contexte, seules les zones d'études locale et élargie ont été considérées dans cette section.

Les zones d'étude locale et élargie comportent une multitude de sources d'émissions de contaminants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES). La liste ci-dessous présente les établissements qui ont déclaré des émissions totales au-dessus du seuil de 10 000 tonnes en équivalent CO₂ (t éq. CO₂) en 2018¹³.

Au sein de la zone d'étude locale :

- Rio Tinto Fer et Titane – Complexe métallurgique (ancien QIT) à Sorel-Tracy (799 525 t éq. CO₂);
- Finkl Steel – (présentée sous le nom de « *Les Forges de Sorel et cie* » dans l'inventaire québécois des émissions atmosphériques) à Saint-Joseph-de-Sorel (47 086 t éq. CO₂);
- Les poudres métalliques du Québec Ltée à Sorel-Tracy (31 947 t éq. CO₂);
- Kildair Service ULC à Sorel-Tracy (12 956 t éq. CO₂).

Au sein de la zone d'étude élargie :

- ArcelorMittal Produits longs Canada à Contrecœur Est (1 032 685 t éq. CO₂);
- ArcelorMittal Produits longs Canada à Contrecœur Ouest (111 978 t éq. CO₂).

3.2 Physiographie, géologie et dépôts de surface

La section ci-après présente un portrait géomorphologique des zones à l'étude, suivi d'une description du socle rocheux et des dépôts qui le recouvre.

3.2.1 Physiographie

L'archipel du lac Saint-Pierre est le delta du fleuve Saint-Laurent et il est composé d'une centaine d'îles et de chenaux. Juste en aval de ce delta, le fleuve s'élargit sur une quarantaine de kilomètres pour former le lac Saint-Pierre. Ce dernier marque la limite aval du tronçon fluvial du Saint-Laurent, car l'influence réelle des ondes de marées sur le régime hydrodynamique fluvial n'est plus ressentie de façon notable en amont du lac Saint-Pierre, à l'exception des oscillations semi-mensuelles du cycle de marée ayant une hauteur de l'ordre de 0,20 m au port de Montréal (Centre Saint-Laurent, 1996).

À une plus vaste échelle, les trois zones d'études sont situées dans l'unité physiographique des basses terres de la vallée du Saint-Laurent et plus précisément dans la zone des basses-terres du Centre¹⁴. Cette unité physiographique est bordée par les Laurentides au nord et par les Appalaches au sud (Benoît *et al.*, 1987).

3.2.2 Géologie

La description de la géologie est fondée sur la carte géologique des basses-terres du Saint-Laurent mis à jour par Robert Thériault (Énergie et Ressources naturelles, 2014). La carte 3-1 présente le résultat du traitement de ces données dans le SIG pour l'ensemble des zones d'étude.

¹³ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/registre/index.htm>

¹⁴ <http://atlas.gc.ca/phys/fr/#Lesbassesterresdusaintlaurent>

Zone d'étude locale

L'archipel du Lac Saint-Pierre siège dans la Province géologique des basses-terres du Saint-Laurent, plus précisément dans la formation de Nicolet, laquelle appartient au Groupe de Lorraine (âge d'Ordovicien supérieur). Selon la carte de la géologie des basses-terres du Saint-Laurent (Énergie et Ressources naturelles, 2014), cette formation est constituée de shale avec des interlits de grès, de siltstone et de calcaire.

L'assise rocheuse de la région du lac Saint-Pierre est constituée de formations de calcaires et de schistes, mais qui n'est pas observable à la surface sous la forme d'affleurement rocheux. En effet, le socle rocheux est situé à une moyenne de 70 m de profondeur, car il a été recouvert dans un premier temps de dépôts de la dernière glaciation composés majoritairement d'argile de la mer de Champlain puis ensuite de silt et de sable fluviatile (voir section 3.2.3).

Zone d'étude élargie

Le socle rocheux des rives du Saint-Laurent et de la rivière Richelieu dans la zone élargie est caractérisé par les formations de Nicolet et de Pontgravé, qui appartient également au Groupe de Lorraine. Cette dernière est constituée de calcaire silteux avec des interlits de shale et de grès (Énergie et Ressources naturelles, 2014). La formation de Bécancour (Groupe de Queenston) s'observe également sur les berges de la rivière Richelieu. Celle-ci est caractérisée par du shale rouge, grès vert, siltstone, gypse et anhydrite.

Zone d'influence

Le socle rocheux des deux rives du fleuve, entre Montréal et Verchères, est principalement caractérisé par les formations de Nicolet, Pontgravé, Shales d'Utica et Tétreauville. La formation des Shales d'Utica est composée de shale gris foncé à noir calcaireux avec des interlits de calcaire argileux. Pour sa part, la formation de Tétreauville regroupe du calcaire argileux gris foncé avec des interlits de shale calcaireux (Énergie et Ressources naturelles, 2014).

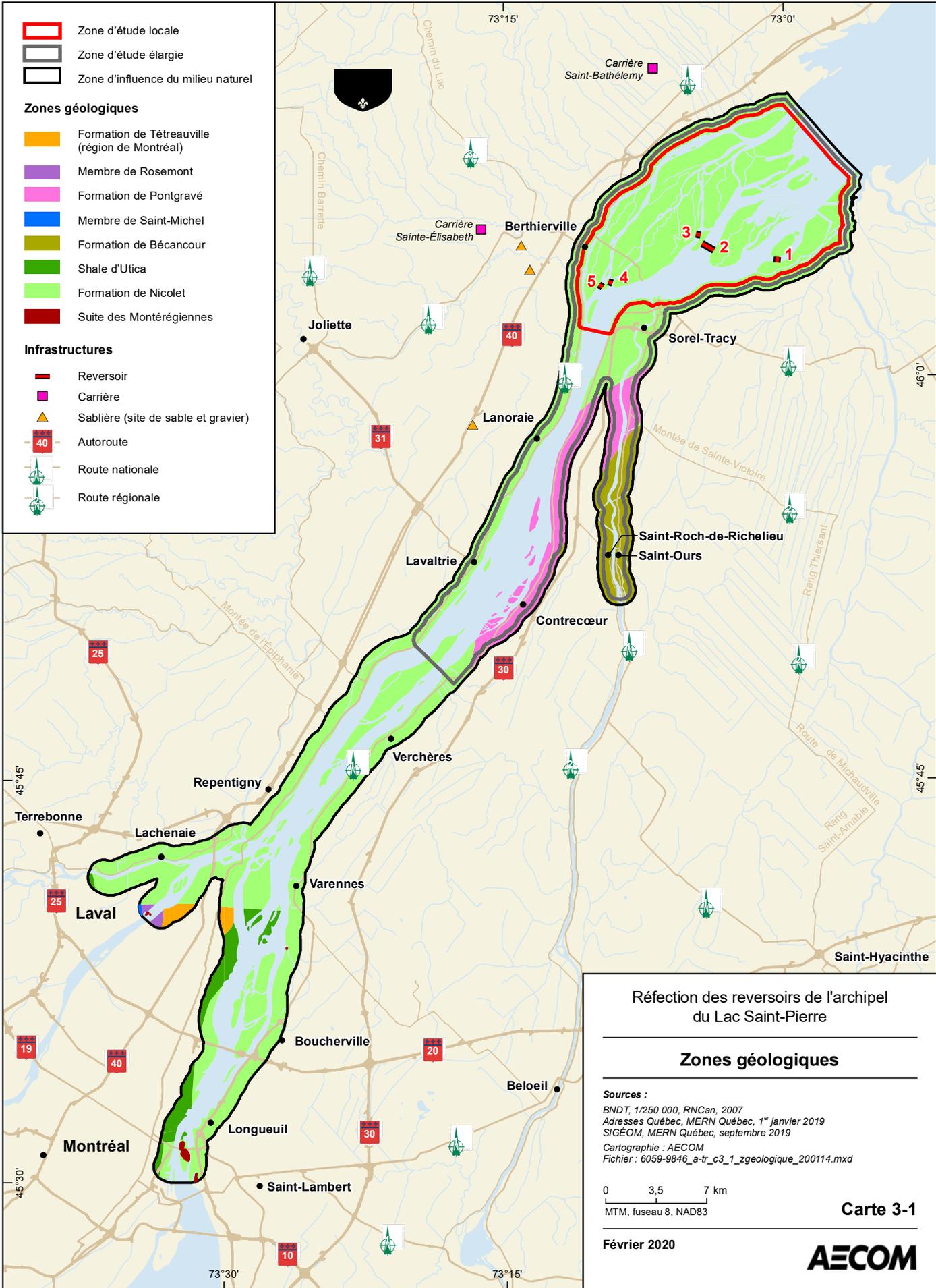
Le socle rocheux de l'extrémité amont de la zone d'influence près de la rivière des Prairies est constitué de la formation géologique de Montréal et plus précisément par les membres de Rosemont et Saint-Michel. Le premier est caractérisé par des calcaires argileux et quelques interlits de shale calcaireux tandis que le second est composé de calcarénite avec des interlits de shale calcaireux (Énergie et Ressources naturelles, 2014).

Finalement, la suite des Montérégiennes forme l'assise rocheuse des îles Notre-Dame et Sainte-Hélène. Celle-ci est constituée de roches alcalines non différenciées et de brèches associées, kimberlite et fragments de calcaire dévonien (Énergie et Ressources naturelles, 2014).

3.2.3 Dépôts de surface

Le dépôt de surface est la couche de matériau meuble qui recouvre le roc. Dans la présente étude, leur description est fondée sur les cartes obtenues du site Internet de Données Québec (<https://www.donneesquebec.ca/fr/>) et celles tirées de rapports pédologiques. Les cartes 3-2 à 3-5 présentent l'intégration de ces cartes dans le SIG pour l'ensemble des zones d'étude. Il est à noter que la présente section aborde les dépôts sur les terres émergées et non le substrat recouvrant le lit des cours d'eau. Ce dernier sera traité dans la section 3.5.1.

Aucune carrière ni sablière ne se trouve dans la zone d'étude locale. Il existe cependant deux carrières et deux sablières en exploitation dans un rayon de 10 km des reversoires et elles sont toutes situées à Berthierville et à Saint-Barthélemy (carte 3-1).



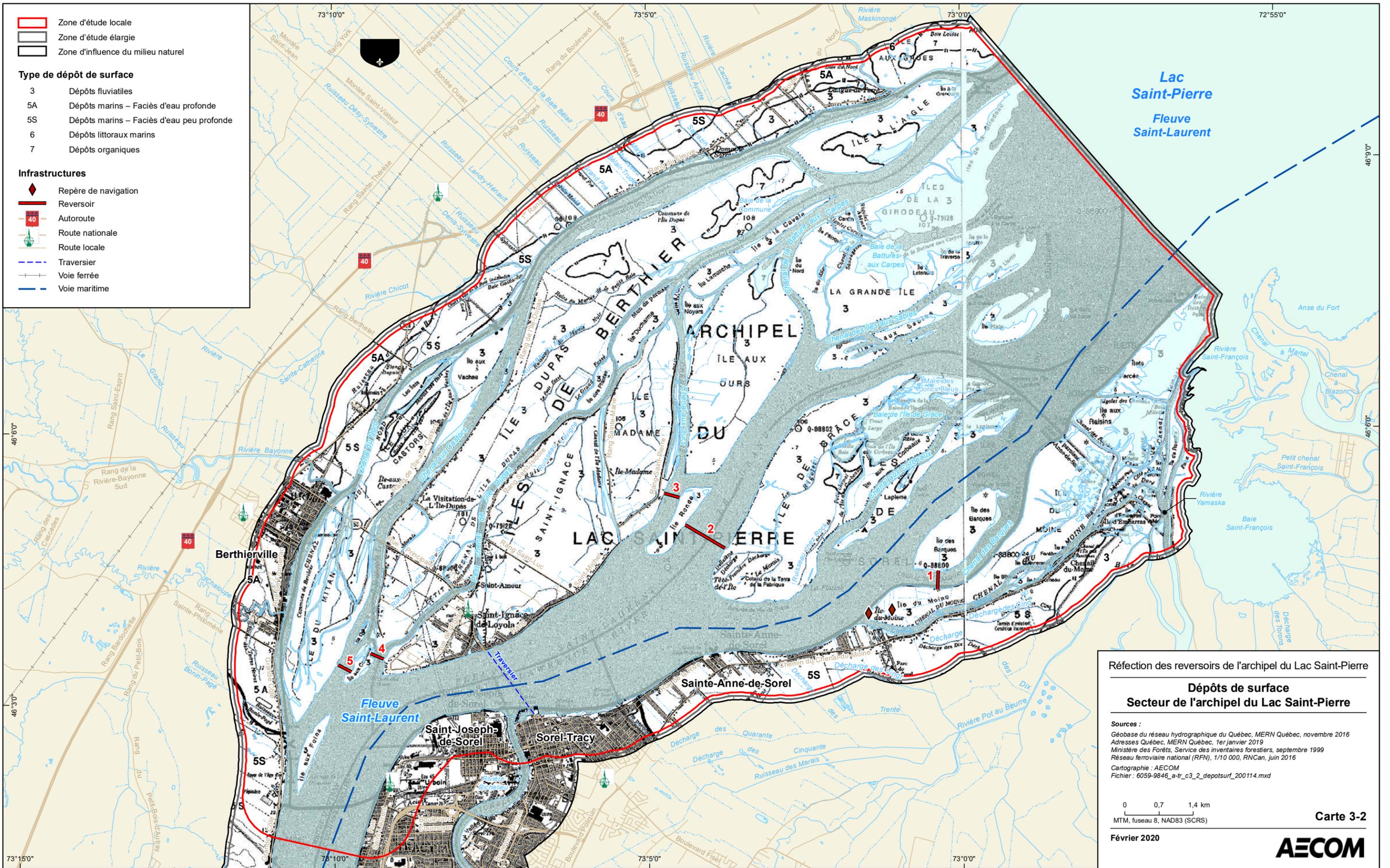
Zone d'étude élargie

Les berges du Saint-Laurent et de la rivière Richelieu dans la zone d'étude élargie sont principalement recouvertes de dépôts marins (carte 3-3). Des dépôts fluviatiles s'observent sur les îles des deux cours d'eau. Il est à noter la présence de deux zones de dépôts littoraux sur la rive nord du fleuve.

Selon le Système d'information géomorphologique du Québec, une sablière en exploitation est située à Lavaltrie.

Zone d'influence

À l'instar de la zone d'étude élargie, les berges du fleuve et des rivières des Prairies, des Mille Îles et L'Assomption sont recouvertes de dépôts marins et les îles sont caractérisées par des dépôts fluviatiles. Une zone de dépôt organique (Marais Giguère) s'observe sur l'île Bouchard (carte 3-4) et des dépôts glaciaires à Longueuil (carte 3-5).



- Zone d'étude locale
- Zone d'étude élargie
- Zone d'influence du milieu naturel

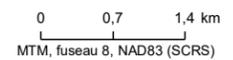
- Type de dépôt de surface**
- 3 Dépôts fluviatiles
 - 5A Dépôts marins – Faciès d'eau profonde
 - 5S Dépôts marins – Faciès d'eau peu profonde
 - 6 Dépôts littoraux marins
 - 7 Dépôts organiques

- Infrastructures**
- ◆ Repère de navigation
 - Reservoir
 - Autoroute
 - Route nationale
 - Route locale
 - Traversier
 - Voie ferrée
 - Voie maritime

Réfection des réservoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Dépôts de surface
Secteur de l'archipel du Lac Saint-Pierre

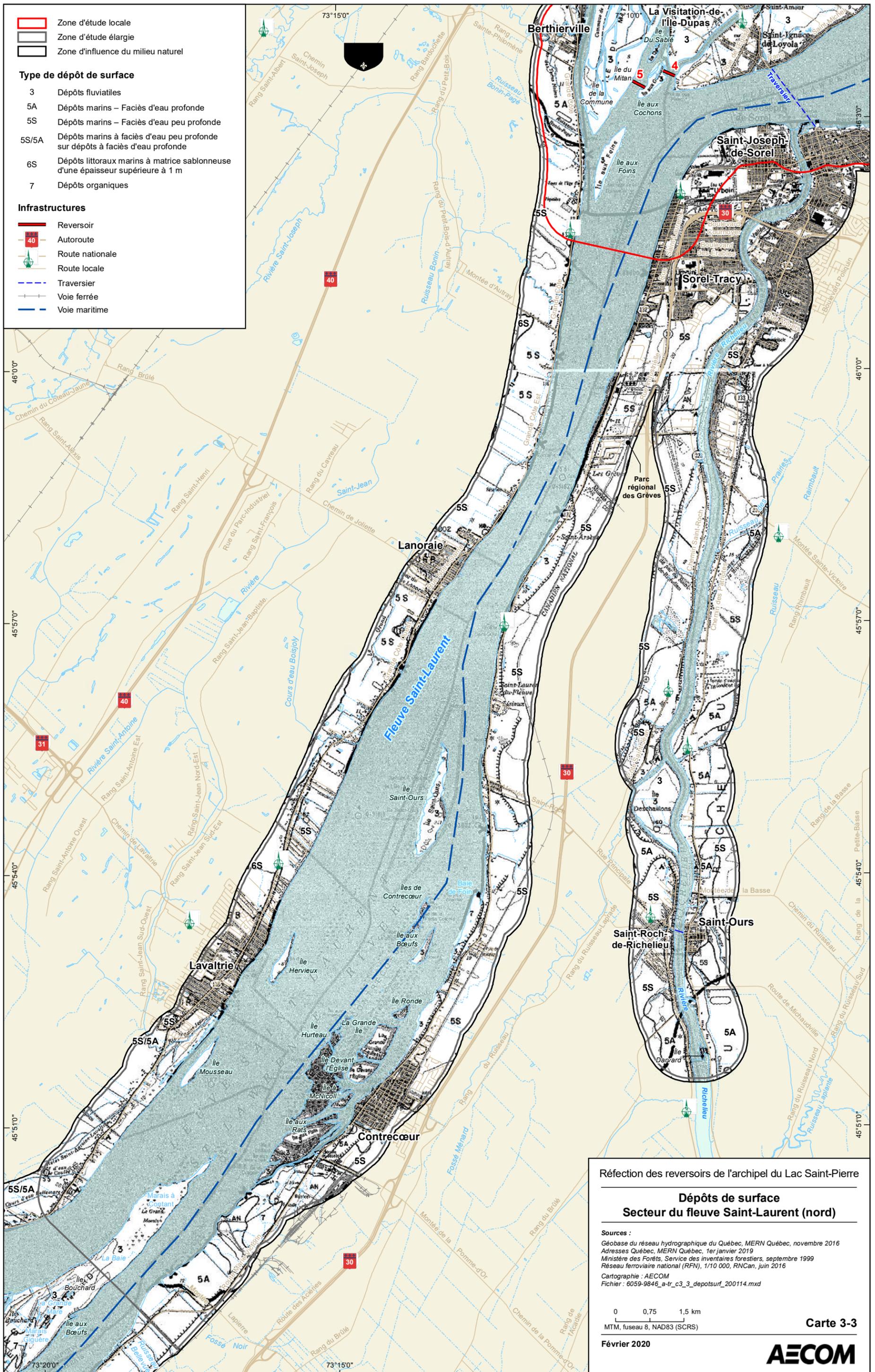
Sources :
 Géobase du réseau hydrographique du Québec, MERN Québec, novembre 2016
 Adresses Québec, MERN Québec, 1er janvier 2019
 Ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers, septembre 1999
 Réseau ferroviaire national (RFN), 1/10 000, RNCan, juin 2016
 Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_2_depotsurf_200114.mxd



Février 2020

Carte 3-2





- Zone d'étude locale
- Zone d'étude élargie
- Zone d'influence du milieu naturel

- Type de dépôt de surface**
- 3 Dépôts fluviatiles
 - 5A Dépôts marins – Faciès d'eau profonde
 - 5S Dépôts marins – Faciès d'eau peu profonde
 - 5S/5A Dépôts marins à faciès d'eau peu profonde sur dépôts à faciès d'eau profonde
 - 6S Dépôts littoraux marins à matrice sablonneuse d'une épaisseur supérieure à 1 m
 - 7 Dépôts organiques

- Infrastructures**
- Reversoir
 - 40 Autoroute
 - Route nationale
 - Route locale
 - Traversier
 - Voie ferrée
 - Voie maritime

Réfection des reversoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Dépôts de surface
Secteur du fleuve Saint-Laurent (nord)

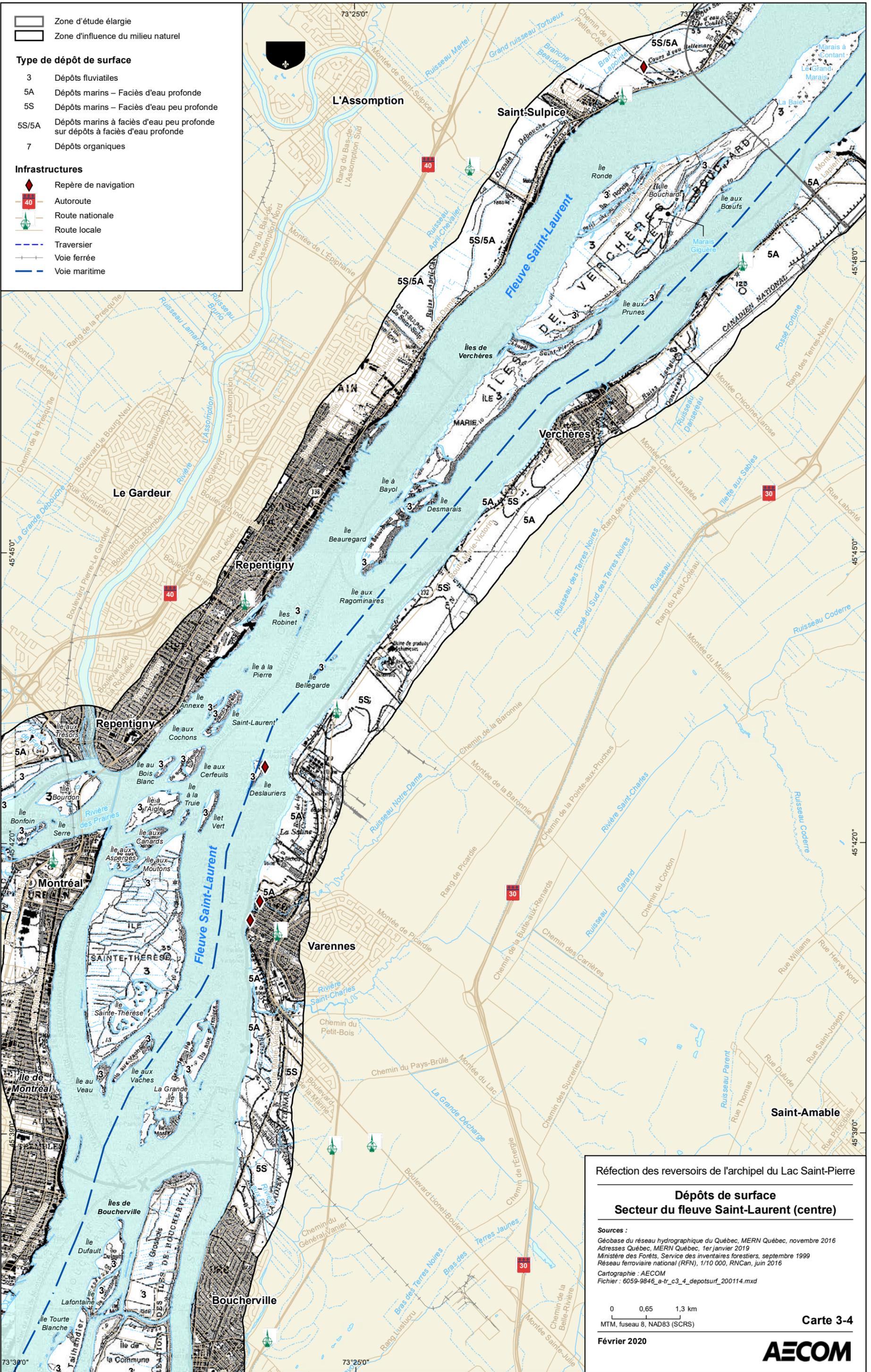
Sources :
 Géobase du réseau hydrographique du Québec, MERN Québec, novembre 2016
 Adresses Québec, MERN Québec, 1er janvier 2019
 Ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers, septembre 1999
 Réseau ferroviaire national (RFN), 1/10 000, RNCan, juin 2016
 Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_3_depotsurf_200114.mxd

0 0,75 1,5 km
 MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)

Février 2020

Carte 3-3





- Zone d'étude élargie
- Zone d'influence du milieu naturel

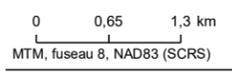
- Type de dépôt de surface**
- 3 Dépôts fluviatiles
 - 5A Dépôts marins – Faciès d'eau profonde
 - 5S Dépôts marins – Faciès d'eau peu profonde
 - 5S/5A Dépôts marins à faciès d'eau peu profonde sur dépôts à faciès d'eau profonde
 - 7 Dépôts organiques

- Infrastructures**
- ◆ Repère de navigation
 - 40 Autoroute
 - Route nationale
 - Route locale
 - Traversier
 - Voie ferrée
 - Voie maritime

Réfection des revertsors de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Dépôts de surface
Secteur du fleuve Saint-Laurent (centre)

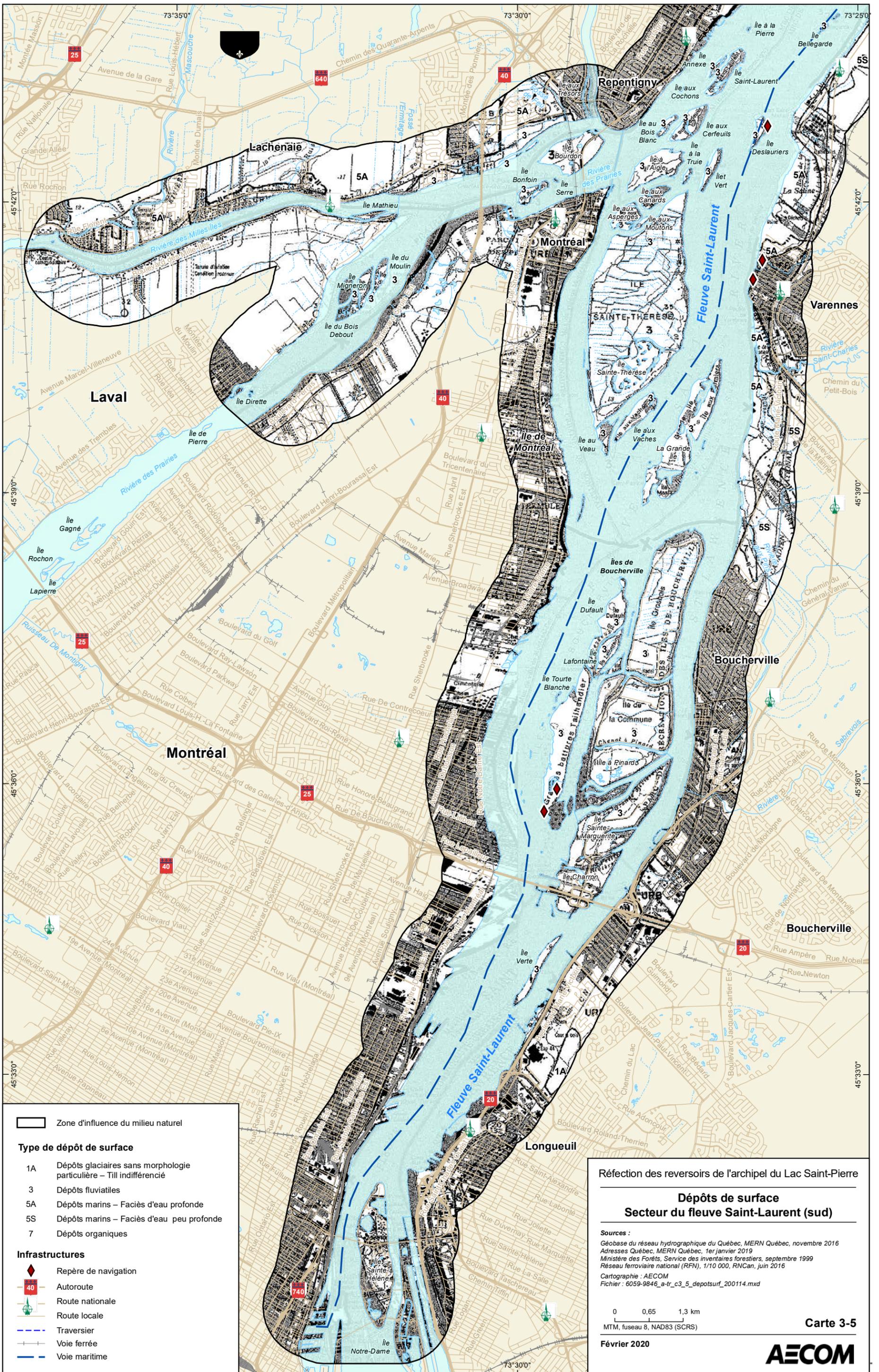
Sources :
 Géobase du réseau hydrographique du Québec, MERN Québec, novembre 2016
 Adresses Québec, MERN Québec, 1er janvier 2019
 Ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers, septembre 1999
 Réseau ferroviaire national (RFN), 1/10 000, RNCan, juin 2016
Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_4_depotsurf_200114.mxd



Carte 3-4

Février 2020





- Zone d'influence du milieu naturel
- Type de dépôt de surface**
- 1A Dépôts glaciaires sans morphologie particulière – Till indifférencié
 - 3 Dépôts fluviaux
 - 5A Dépôts marins – Faciès d'eau profonde
 - 5S Dépôts marins – Faciès d'eau peu profonde
 - 7 Dépôts organiques

- Infrastructures**
- ◆ Repère de navigation
 - 40 Autoroute
 - Route nationale
 - Route locale
 - - - Traversier
 - +— Voie ferrée
 - Voie maritime

Réfection des reverts de l'archipel du Lac Saint-Pierre

**Dépôts de surface
Secteur du fleuve Saint-Laurent (sud)**

Sources :
 Géobase du réseau hydrographique du Québec, MERN Québec, novembre 2016
 Adresses Québec, MERN Québec, 1er janvier 2019
 Ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers, septembre 1999
 Réseau ferroviaire national (RFN), 1/10 000, RNCAN, juin 2016

Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_5_depotsurf_200114.mxd

0 0,65 1,3 km
 MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)

Février 2020

Carte 3-5



3.3 Topographie et bathymétrie

La section ci-après brosse un portrait du relief et de la bathymétrie des zones à l'étude. Les données d'élévation sur l'ensemble des trois zones d'étude ont été cartographiées à partir du modèle numérique de terrain (résolution spatiale : 1 m) provenant des données LiDAR du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) (carte 3-6).

Zone d'étude locale

Les rives sud et nord de la zone d'étude locale sont caractérisées par une topographie relativement plane, ainsi qu'une élévation et des pentes faibles. Sur la rive sud, l'élévation de la zone riveraine augmente graduellement, passant de 1 m au-dessus du niveau moyen de la mer (NMM) à Sainte-Anne-de-Sorel à 15 m à Sorel-Tracy, au sud-ouest. Les pentes sont généralement de l'ordre de 1 % sur ce territoire (MRC de Pierre-de-Saurel, 2016). Pour sa part, le relief de la rive nord du fleuve est plat et l'élévation est faible, variant entre 1 et 2 m au-dessus du niveau moyen de la mer (MRC de D'Autray, 2010).

Il est à noter que le comité de la zone d'intervention prioritaire (ZIP) du lac Saint-Pierre a réalisé en 2016 un modèle numérique d'élévation du littoral du lac Saint-Pierre en utilisant des données LiDAR (figure 3-9) recueillies par Environnement et Changement climatique Canada en 2001 (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2016).

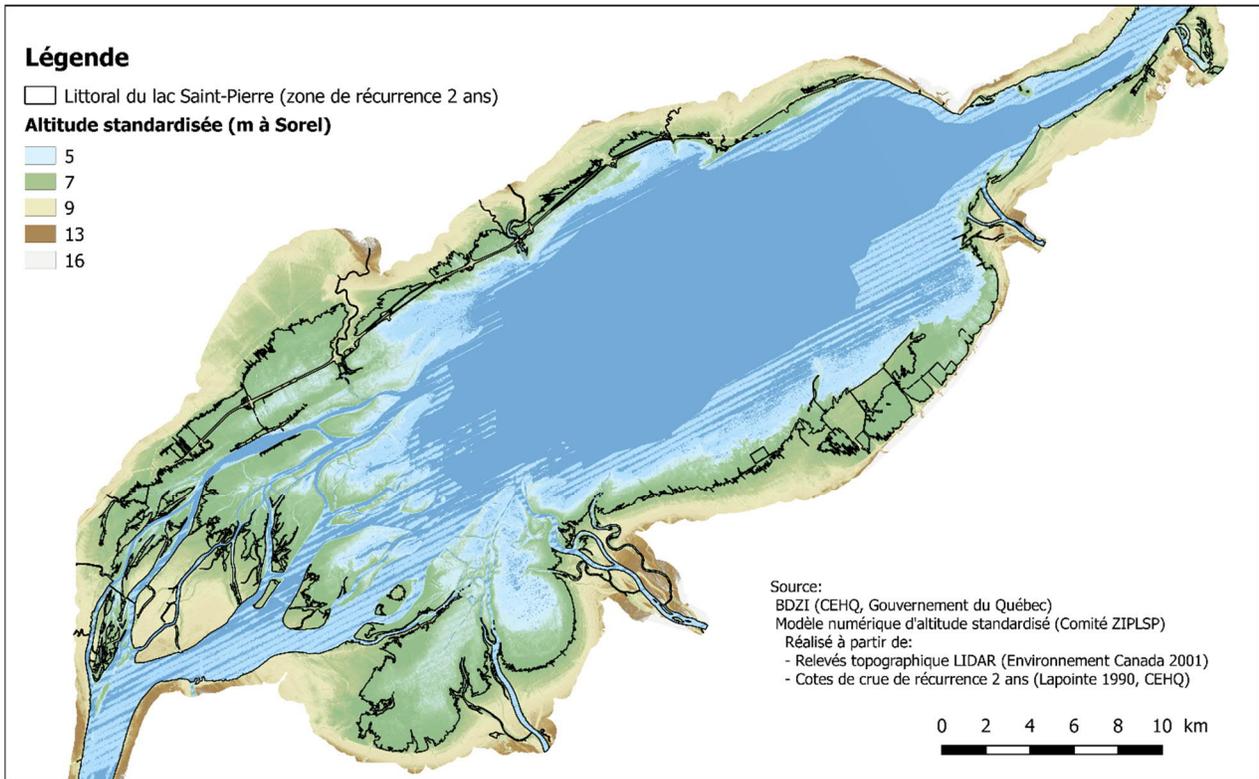
La topographie des îles de l'archipel est également plane avec quelques bas-reliefs. Selon le LiDAR du MFFP, les élévations sont principalement sous les 6 m et à peine 6 % du territoire est situé à une altitude supérieure à 10 m dans la zone d'étude locale (tableau 3-4).

Tableau 3-4 : Superficie des différentes classes d'altitude dans les zones d'étude locale, élargie et d'influence

Altitude (m) *	Zone d'étude locale		Zone d'étude élargie		Zone d'influence	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
< 6	123,37	60,8%	189,35	51,5%	270,38	45,1%
6 à 8	49,28	24,3%	55,88	15,2%	76,91	12,8%
8 à 10	18,11	8,9%	24,36	6,6%	44,25	7,4%
10 à 12	6,56	3,2%	16,92	4,6%	61,11	10,2%
12 à 15	5,42	2,7%	37,39	10,2%	71,64	11,9%
15 à 20	0,18	0,1%	23,33	6,3%	47,66	7,9%
20 à 30	0,02	<0,1%	20,17	5,5%	27,13	4,5%
30 à 43	0	0%	0,02	<0,1%	0,42	0,1%

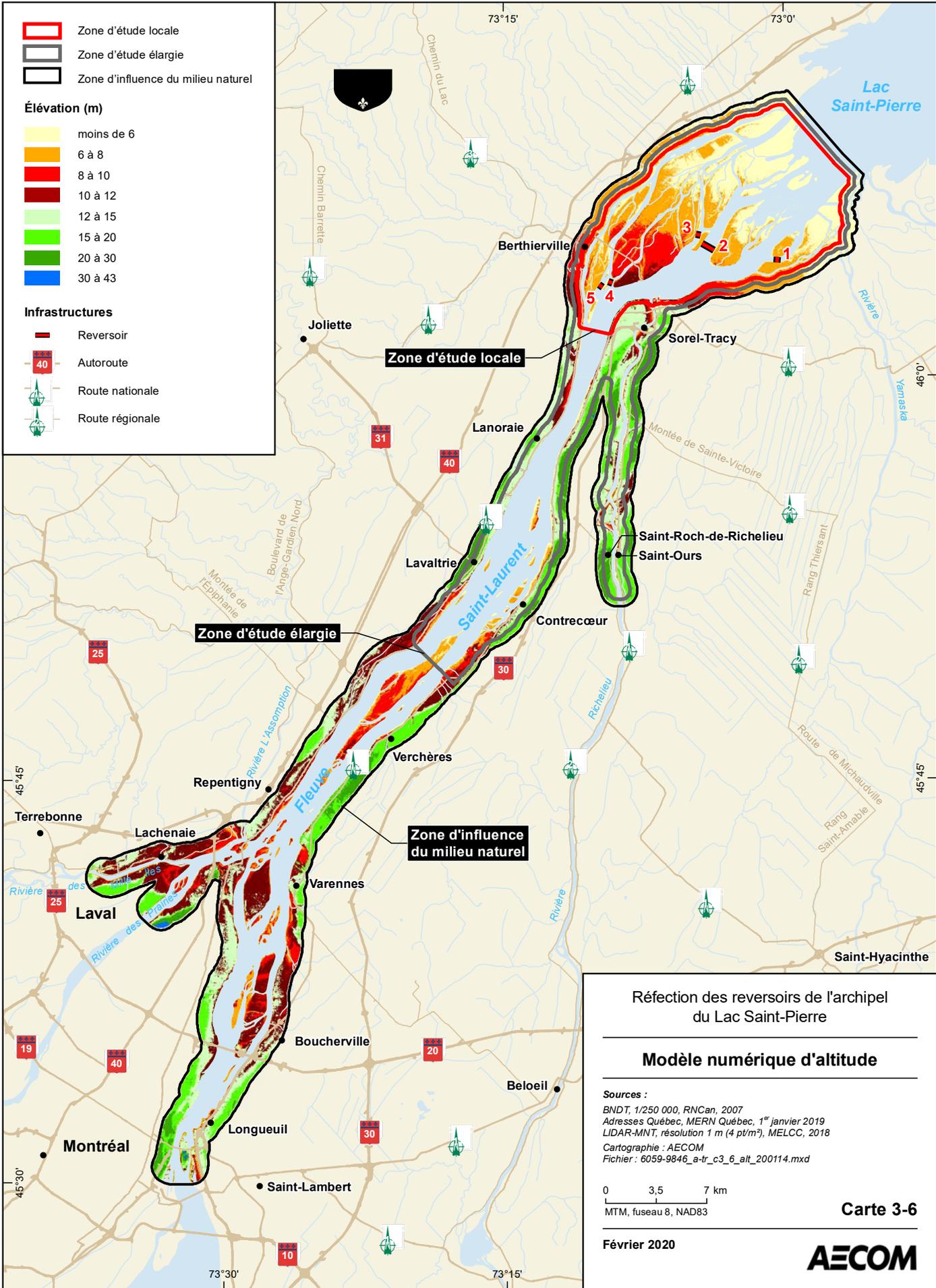
* Altitude (m) au-dessus du niveau moyen de la mer (NMM).

Modèle numérique d'altitude standardisé pour le niveau de crue de récurrence 2 ans à la station de Sorel

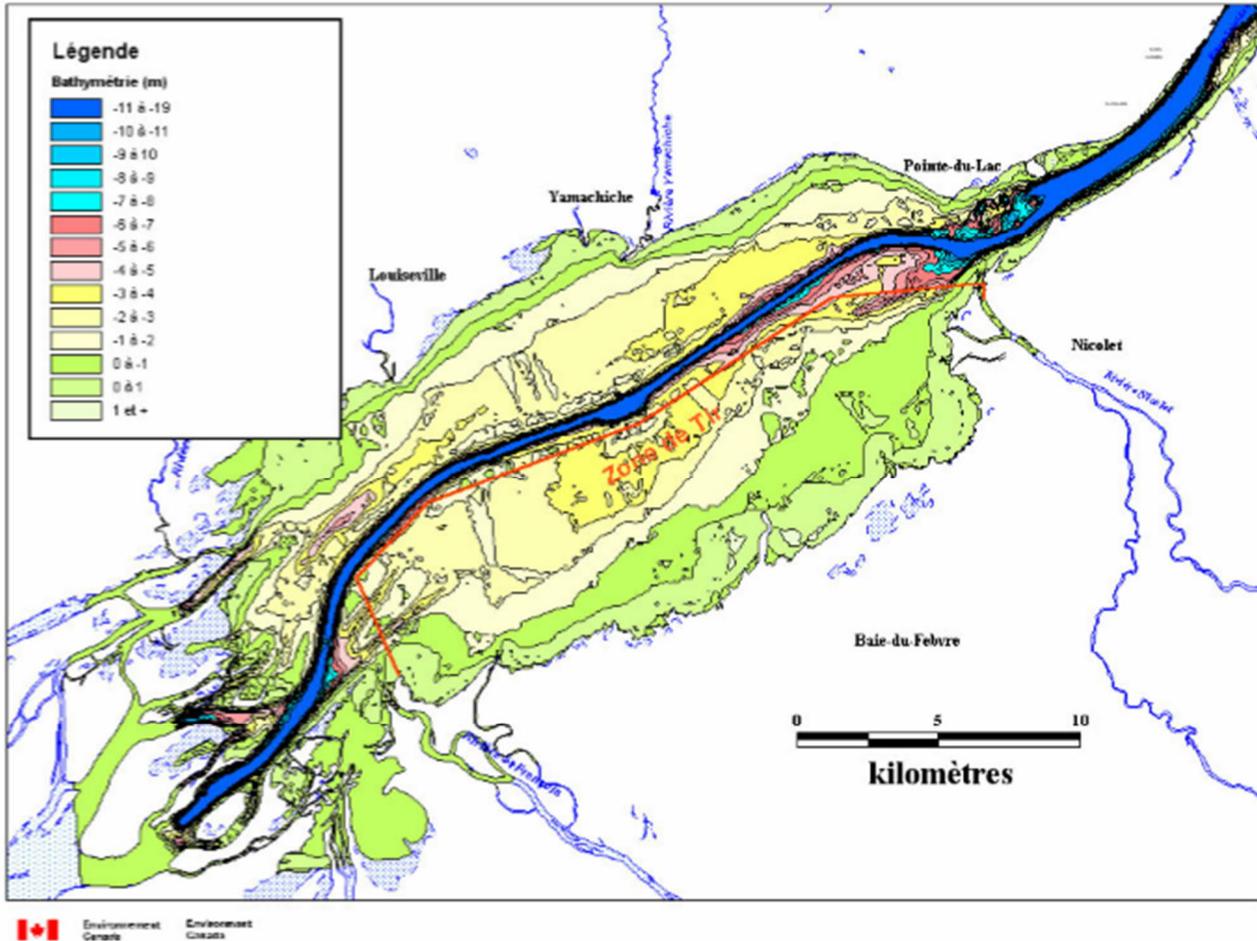


Source : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2016.

Figure 3-9 : Modèle numérique d'altitude dans la région du lac Saint-Pierre obtenu du LiDAR de 2001



En ce qui concerne la bathymétrie, le lac Saint-Pierre présente une profondeur moyenne de 3 m, à l'exception du chenal de navigation où la profondeur est d'un peu plus de 11 m sur une largeur maximale de 540 m (Morin & Côté, 2003; MDDEFP 2013). La figure 3-10 ci-dessous présente la bathymétrie sur l'ensemble du lac.



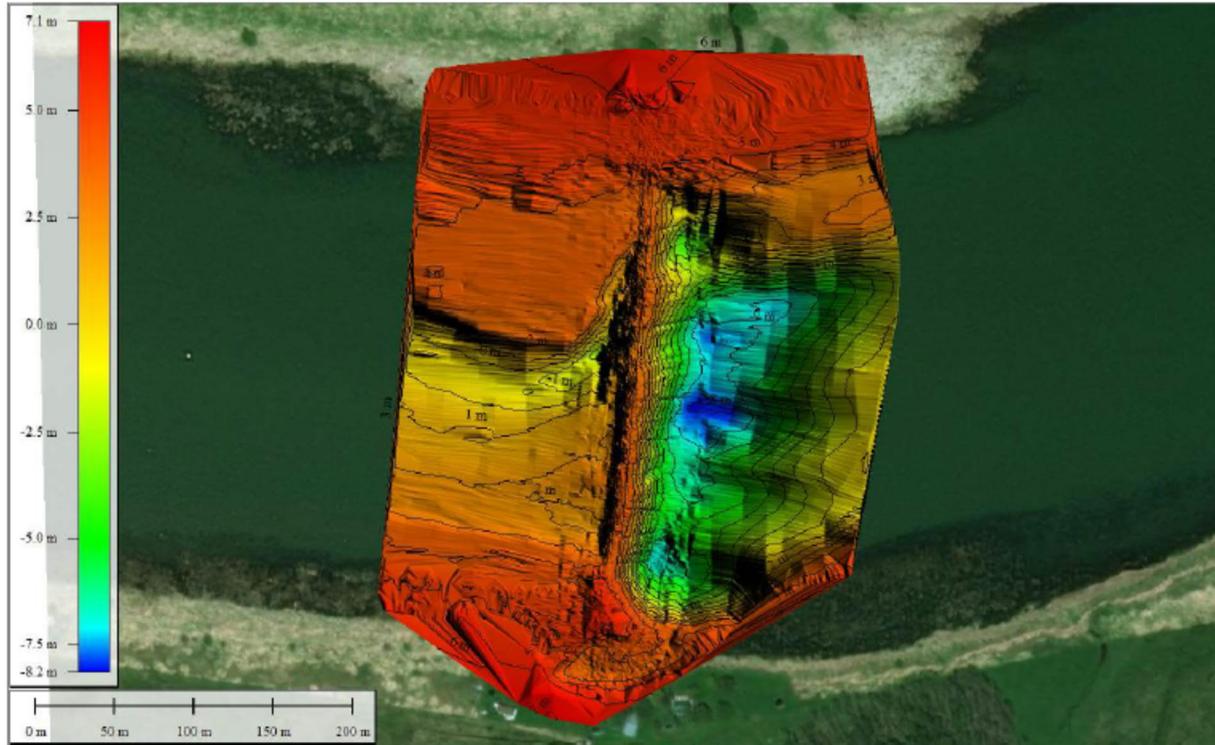
Source : Lalonde *et al.* 2003

Figure 3-10 : Carte bathymétrique du lac Saint-Pierre

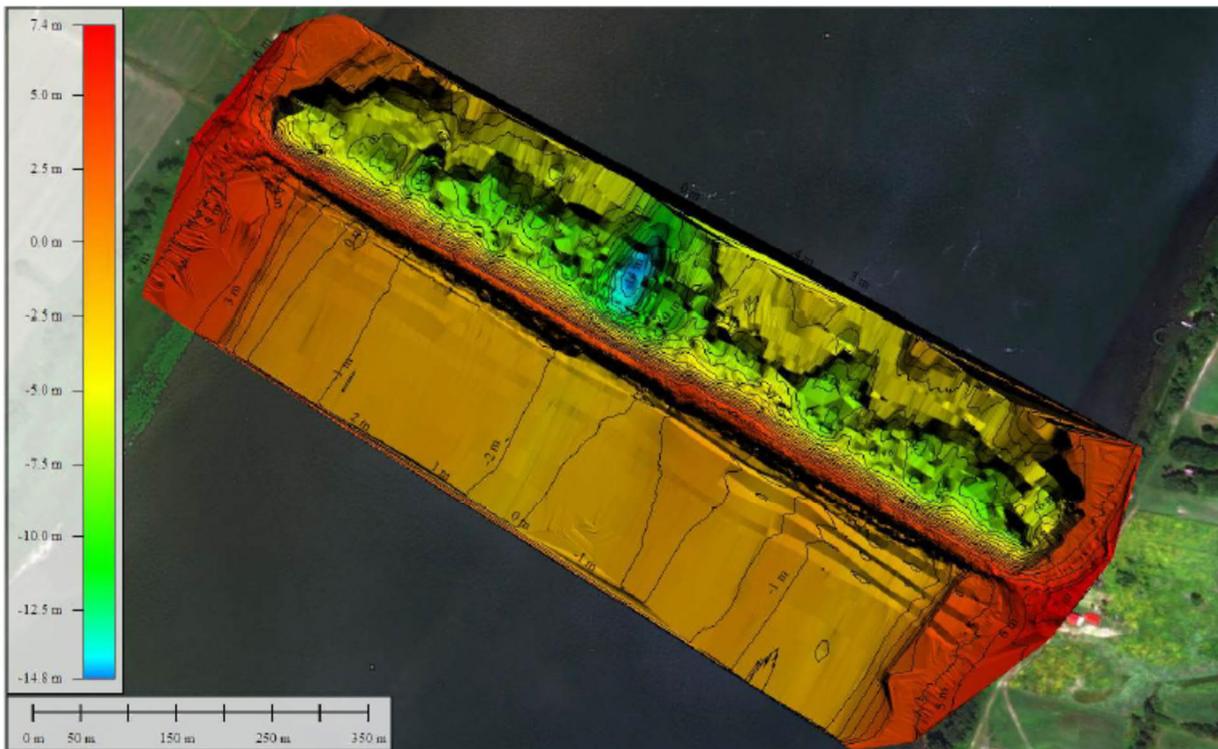
Le MPO a élaboré des modèles numériques de terrain à partir de relevés bathymétriques réalisés par la Garde côtière canadienne de part et d'autre des cinq revertsors (figure 3-11). Pour chaque revertsor, la partie aval est toujours plus profonde que sa partie amont et la différence de profondeur peut atteindre jusqu'à près de 15 m dans le cas du revertsor 2. Les revertsors 1, 3 et 5 ont des différences de profondeurs de plus de 8 m entre leurs parties aval et amont. Le revertsor 4 est celui présentant la plus faible différence avec environ 3 m.

Finalement, le chenal de la rivière Richelieu a une profondeur minimale de 5,7 m depuis son embouchure jusqu'au pont routier fixe de l'autoroute 30 (Pêches et Océans Canada, 2009).

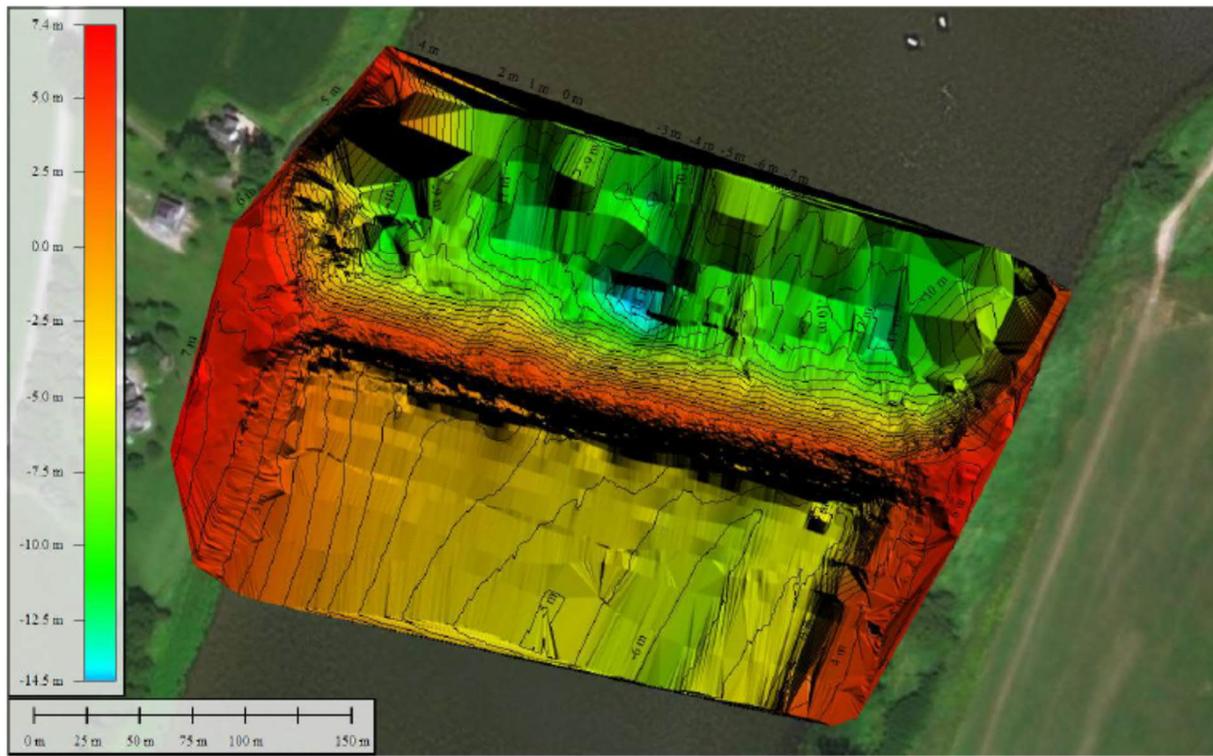
a) Bathymétrie au droit du reervoir 1. L'eau circule vers la droite



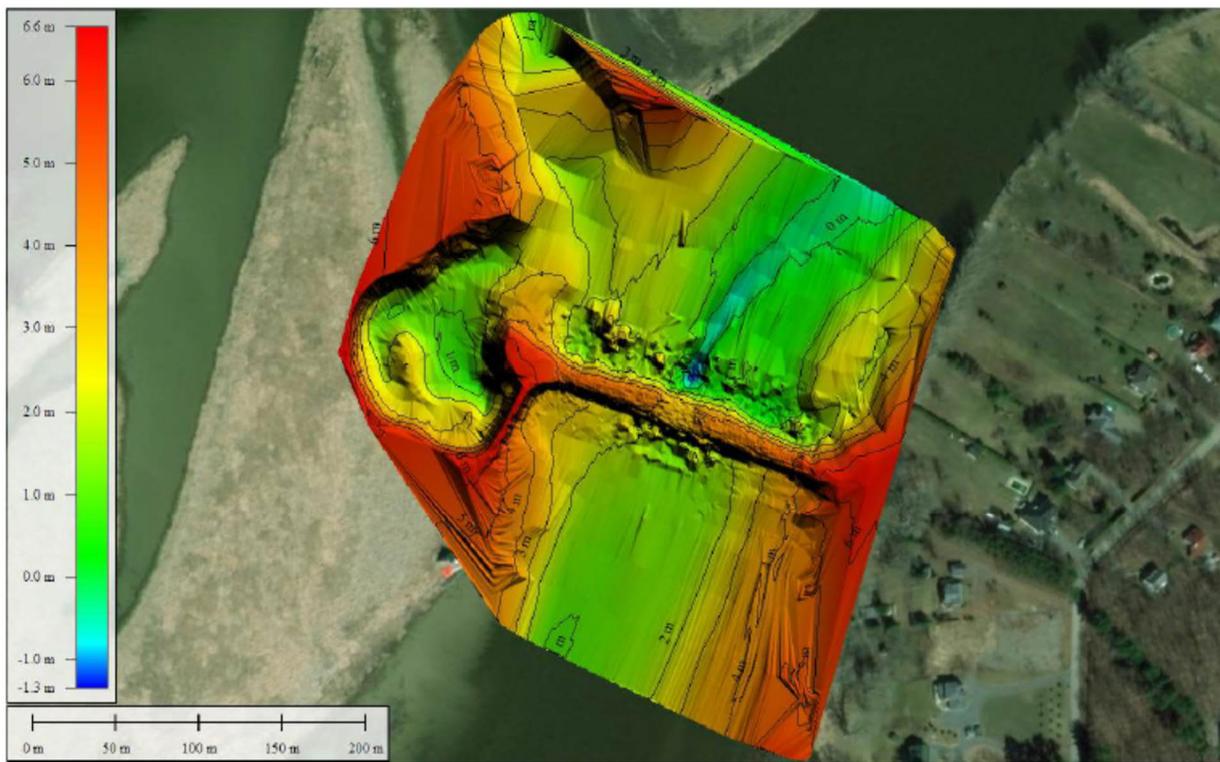
b) Bathymétrie au droit du reervoir 2. L'eau circule vers le haut



c) Bathymétrie au droit du réservoir 3. L'eau circule vers le haut



d) Bathymétrie au droit du réservoir 4. L'eau circule vers le haut



e) Bathymétrie au droit du revoir 5. L'eau circule vers le haut



Source : MPO, communication personnelle

Figure 3-11 : Bathymétrie au droit des revoirs

Zone d'étude élargie

Un peu plus de la moitié du territoire est située à un niveau inférieur à 6 m d'élévation (tableau 3-4). Les élévations les plus importantes s'observent principalement sur la rive sud du Saint-Laurent (entre 20 et 30 m) et les plus basses sur les îles du Saint-Laurent (inférieur à 6 m).

Zone d'influence

Près de 58 % du territoire à une élévation inférieure à 8 m (tableau 3-4), alors que le point le plus élevé (43 m) est situé près de la berge droite de la rivière des Prairies.

3.4 Hydrologie et hydraulique

3.4.1 Hydrographie

Zone d'étude locale

Dans l'archipel, le fleuve Saint-Laurent se divise en plusieurs chenaux qui forment un delta qui se jette dans le lac Saint-Pierre. Le chenal navigable se trouve dans le chenal principal.

En plus des eaux du fleuve Saint-Laurent, provenant essentiellement des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais, l'archipel reçoit directement les eaux de la rivière Richelieu sur la rive sud et des rivières Chicot, Bayonne, la Chaloupe et Maskinongé sur la rive nord (tableau 3-5 et carte 3-7). Mentionnons que les rivières Yamaska et Saint-François sur la rive sud se déversent à la limite aval de la zone d'étude locale et elles ne sont donc pas incluses dans la description du milieu.

Tableau 3-5 : Superficie des bassins versants des affluents sur les rives sud et nord de la zone d'étude locale

Rivières	Superficie du bassin versant (km ²)
Richelieu	23 698
Chicot	198
Bayonne	347
la Chaloupe	135
Maskinongé	1 140

Source : Benoît *et al.*, 1987

Zone d'étude élargie

De l'archipel du Lac Saint-Pierre jusqu'aux environs de Contrecoeur, le fleuve Saint-Laurent reçoit les eaux de plusieurs ruisseaux.

Pour sa part, la rivière Richelieu rencontre deux îles dans la zone d'étude élargie. La première est l'île Deschaillons où le chenal principal passe à l'est de l'île et le chenal à l'ouest s'assèche presque en périodes de basses eaux. Plus en amont, la rivière Richelieu rencontre une deuxième île (Darvard) dont le chenal à l'ouest de l'île, autrefois un rapide, a été fermé par une digue. L'écluse du canal de Saint-Ours se trouve entre la partie est de l'île Darvard et la berge du Richelieu et permet de franchir une dénivelée de 1,5 m. Cette écluse a été inaugurée en 1849 pour permettre aux bateaux de franchir le dernier obstacle sur la voie navigable entre Montréal et New York¹⁵. De nos jours, l'écluse de Saint-Ours sert surtout aux plaisanciers qui peuvent, grâce à elle, rallier le Saint-Laurent à partir du lac Champlain aux États-Unis et vice-versa.

Zone d'influence

Le lac Saint-Pierre est alimenté en eau par le fleuve Saint-Laurent dont le bassin versant se déploie vers l'ouest jusqu'au lac Ontario et jusqu'à la réserve faunique La Vérendrye où siège la source de la rivière des Outaouais.

La zone d'influence comprend également l'embouchure des rivières des Prairies, des Mille Îles et L'Assomption, jusqu'aux premiers rapides ou au premier barrage rencontré sur ces rivières.

¹⁵ <https://www.pc.gc.ca/fr/lhn-nhs/qc/saintours>

La rivière des Prairies prend sa source dans le lac des Deux Montagnes, coule entre les villes de Montréal et de Laval et se déverse dans le Saint-Laurent à la pointe de l'île de Montréal. On note la présence d'un barrage à mi-chemin sur cette rivière à la hauteur des îles de la Visitation¹⁶.

La rivière des Mille Îles prend également sa source dans le lac des Deux Montagnes et se jette dans la rivière des Prairies après un parcours de 42 km. Il existe un ouvrage de contrôle des débits (barrage du Grand Moulin) à la tête de la rivière des Mille Îles pour faire dévier une partie du débit de crue vers la rivière des Prairies et le fleuve Saint-Laurent (Canards Illimités Canada, 2012).

Finalement, la rivière L'Assomption prend sa source dans le massif du parc national du Mont-Tremblant et son bassin versant couvre une superficie totale de 4 220 km² (MRC de l'Assomption, 2012). La rivière recueille, sur son parcours de 200 km, les eaux des rivières Ouareau, Noire, de l'Achigan et Saint-Esprit.

3.4.2 Hydrologie

La régularisation de l'eau des Grands Lacs a une influence directe sur la zone d'étude du projet, car ces lacs contribuent à près de 60 % du débit du lac Saint-Pierre au printemps, soit entre 6 000 et 9 000 m³/s (Brodeur *et al.*, 2004). Or, même si le régime hydrologique du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais est géré, le niveau d'eau fluctue de manière saisonnière. Les prochains paragraphes présentent ces fluctuations dans les trois zones étudiées à l'aide de données colligées par des stations hydrométriques. Ces dernières sont localisées sur la carte 3-7.

Zone d'étude locale

À l'entrée de l'archipel du Lac Saint-Pierre, le débit moyen annuel du fleuve Saint-Laurent est de 9 725 m³/s (Lessard, 1991). Frenette *et al.* (2012) ont cartographié la provenance des masses d'eau dans le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et le lac Saint-Pierre en analysant par télédétection une image satellite prise au mois d'août 2006 (figure 3-12). À l'échelle de la zone d'étude locale, le reversoir 1 reçoit les eaux de la rivière Richelieu tandis que les autres reversoirs sont principalement alimentés par les eaux de la rivière des Outaouais (figure 3-12). Pour leur part, les eaux des Grands Lacs s'écoulent principalement à l'intérieur du chenal de navigation. Cette répartition des masses d'eau dans les différents chenaux de l'archipel peut toutefois varier dans le temps en fonction des débits et des niveaux d'eau du fleuve.

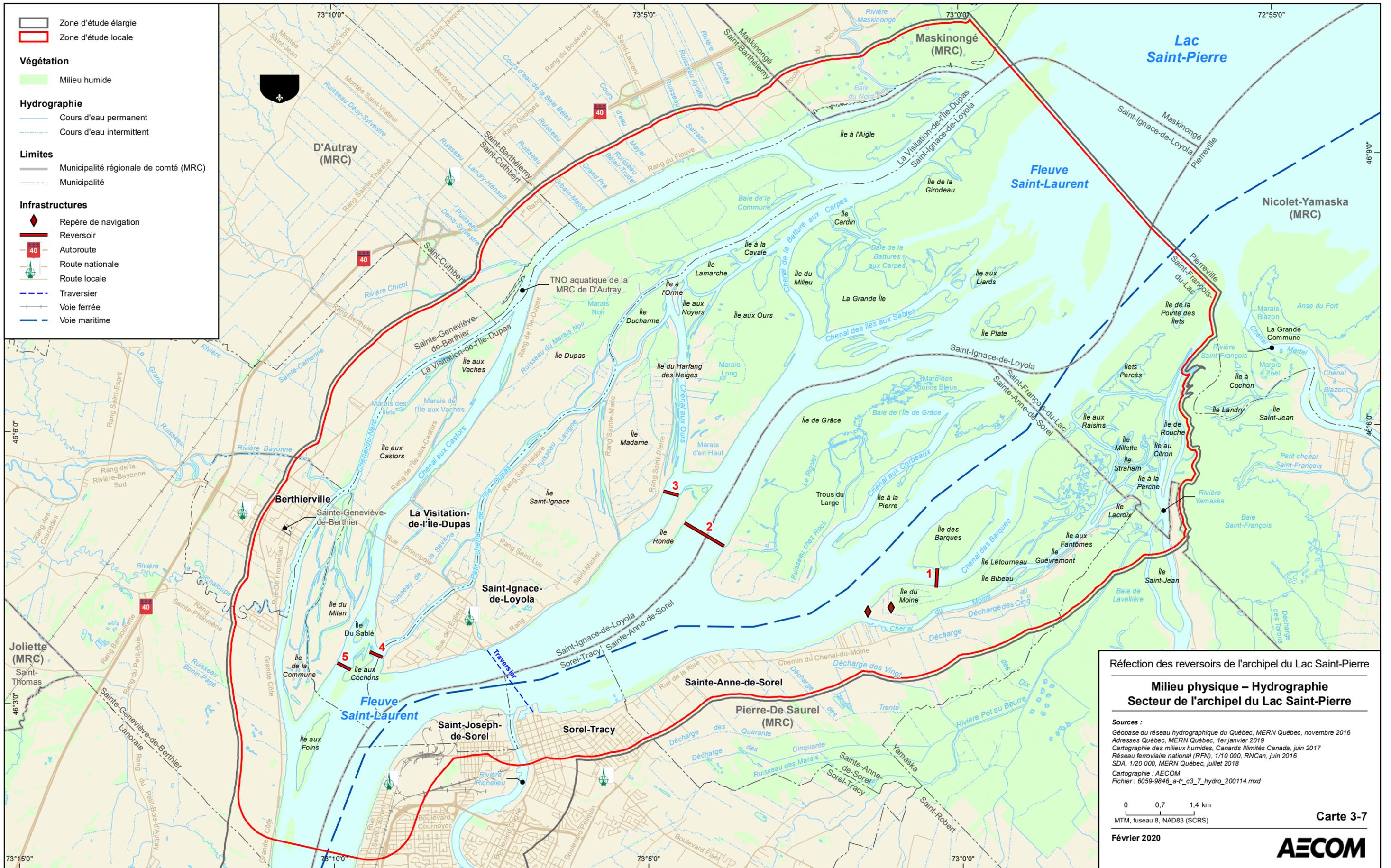
Selon l'étude effectuée par SNC-Lavalin en 2003 visant à déterminer l'influence des reversoirs et des courbes du chenal de navigation dans le lac Saint-Pierre sur la formation d'embâcles, le fleuve s'écoule principalement au sein de l'archipel par le chenal navigable, le reversoir 2, le chenal aux Corbeaux¹⁷ et le reversoir 3. Ces quatre chenaux permettent l'écoulement de plus de 96 % du débit provenant du Saint-Laurent. Le débit dans le chenal navigable est influencé par le niveau du fleuve à Sorel. Un niveau d'eau élevé augmente la proportion du débit qui transite dans les chenaux secondaires et diminue par conséquent le pourcentage du débit passant par le chenal navigable.

Il existe une station hydrométrique exploitée par Pêches et Océans Canada à Sorel, en amont de la confluence avec la rivière Richelieu (la station Sorel - 02OJ032). Le Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026 y a étudié l'évolution temporelle du débit de 1932 à 2012¹⁸. Ils ont noté que les débits ont fluctué d'environ 6 000 m³/s à environ 20 000 m³/s (figure 3-13). Depuis le début des années 2000, les plus faibles débits ont été mesurés en septembre 2001 (7 014 m³/s), septembre 2007 (6 940 m³/s) et juillet 2012 (7 020 m³/s).

¹⁶ <http://www.zipvillemarie.org/cours-deau.html>

¹⁷ Le chenal aux Corbeaux est situé entre l'île de Grâce et l'île à la Pierre (carte 8).

¹⁸ http://planstlaurent.qc.ca/fr/suivi_de_leat/les_fiches_de_suivi/evolution_des_niveaux_et_debits_du_fleuve_saint_laurent.html



- Zone d'étude élargie
 - Zone d'étude locale
- Végétation**
- Milieu humide
- Hydrographie**
- Cours d'eau permanent
 - Cours d'eau intermittent
- Limites**
- Municipalité régionale de comté (MRC)
 - Municipalité
- Infrastructures**
- Repère de navigation
 - Reservoir
 - Autoroute
 - Route nationale
 - Route locale
 - Traversier
 - Voie ferrée
 - Voie maritime

Réfection des réservoirs de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Milieu physique – Hydrographie
Secteur de l'archipel du Lac Saint-Pierre

Sources :
 Géobase du réseau hydrographique du Québec, MERN Québec, novembre 2016
 Adresses Québec, MERN Québec, 1er janvier 2019
 Cartographie des milieux humides, Canards Illimités Canada, juin 2017
 Réseau ferroviaire national (RFN), 1/10 000, RNCAN, juin 2016
 SDA, 1/20 000, MERN Québec, juillet 2018
 Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_7_hydro_200114.mxd

0 0,7 1,4 km
 MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)

Février 2020

Carte 3-7



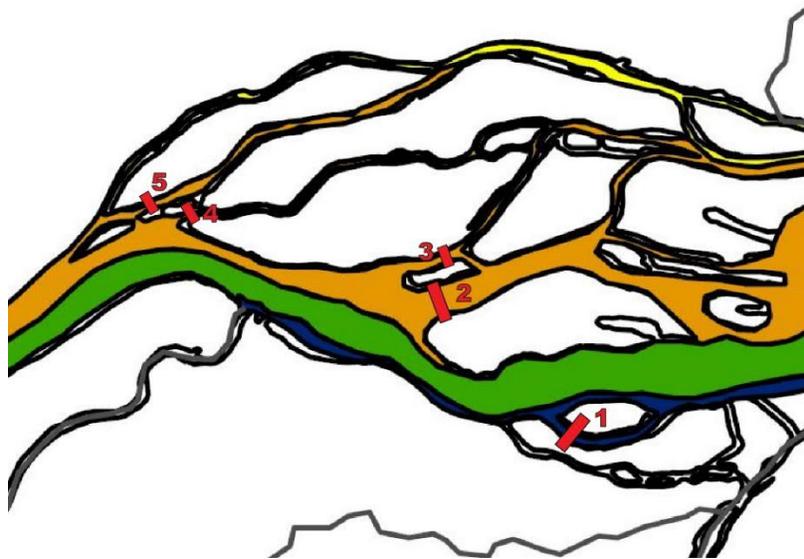
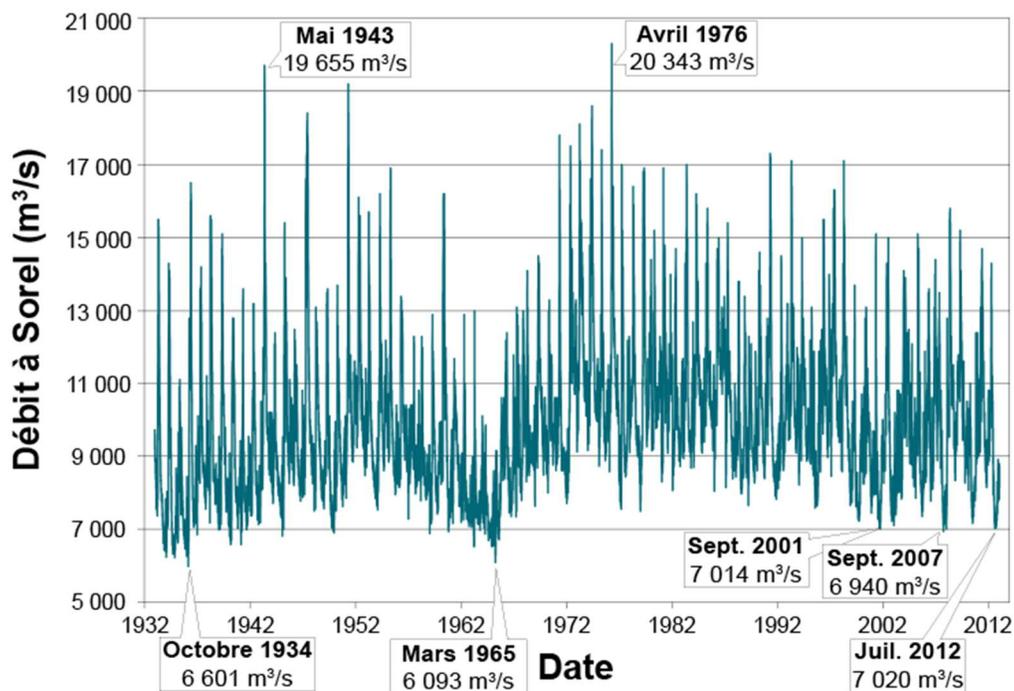


Figure 3-12 : Distribution des masses d'eau dans la zone d'étude locale (août 2006)

Note : Les couleurs sur la figure 3-12 représentent respectivement les eaux provenant des Grands Lacs (vert), de la rivière des Outaouais (orange), de la rivière Richelieu (bleu) et des tributaires nord-ouest du fleuve (jaune) (Source : Massicotte *et al.*, 2013). Les lignes rouges localisent les cinq reervoirs.

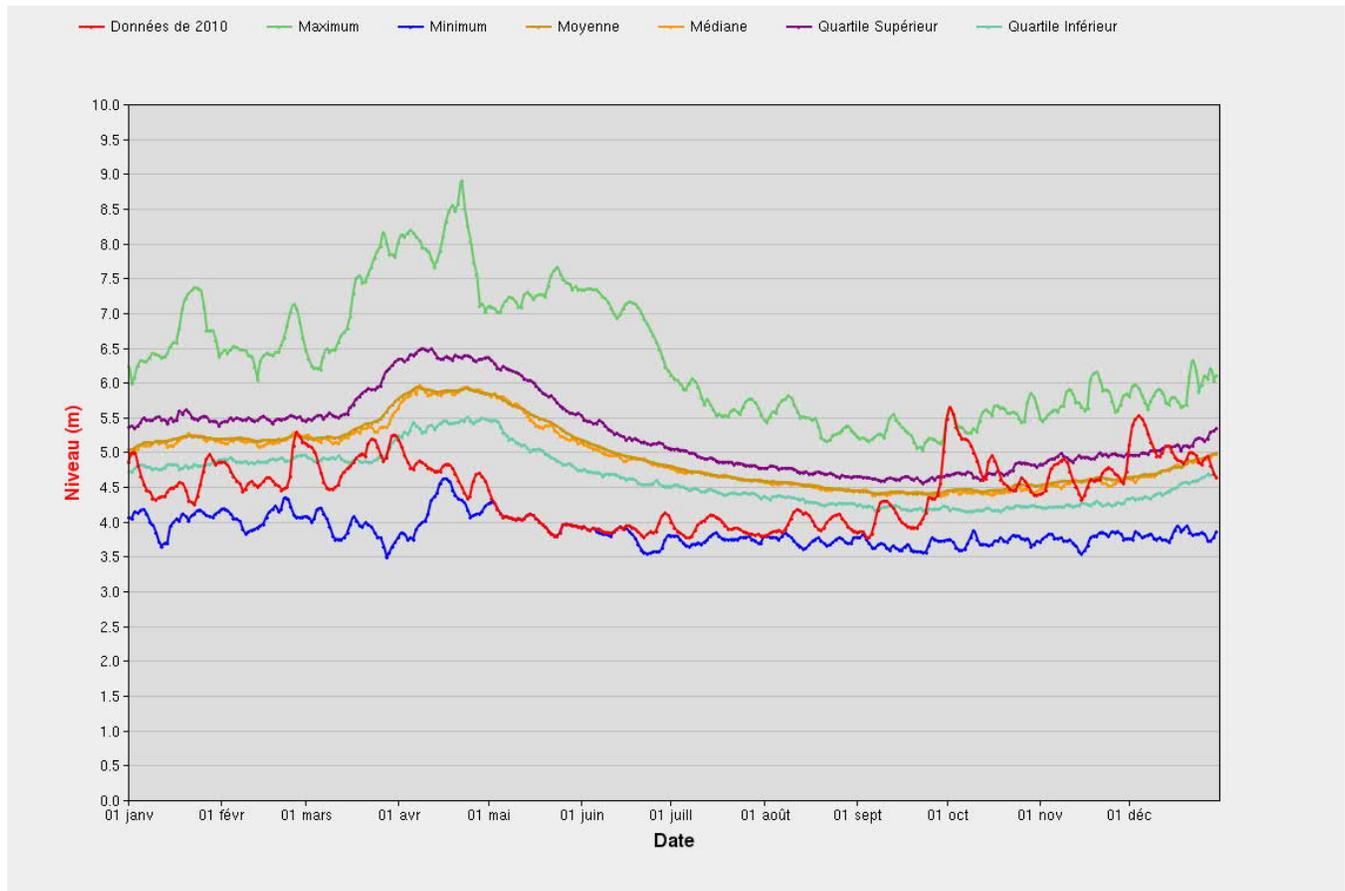


Source : <http://planstlaurent.qc.ca/index.php?id=659#fige1>

Figure 3-13 : Débit du Saint-Laurent calculé à la station Sorel de décembre 1932 à décembre 2012

Pour cette même station (02OJ032), Environnement Canada a calculé les statistiques mensuelles du niveau de l'eau du fleuve pour 99 années de données, soit de 1912 à 2010 (figure 3-14). Lors de cette période, le niveau de l'eau moyen à la hauteur de Sorel-Tracy se situe entre 4,5 et 6 m (IGLD85). La crue printanière survient généralement vers la fin du mois d'avril, alors que les périodes d'étiage surviennent généralement à la fin d'août et début septembre.

Le niveau de l'eau maximum enregistré durant la période de 1912 à 2010 se situe à environ 9 m, tandis que le niveau le plus faible se situe à environ 3,5 m, ce qui représente une variation d'environ 5,5 m au cours de la période analysée. Enfin, la figure montre que la courbe de niveau de l'année 2010 (données les plus récentes disponibles) suit sensiblement le même parcours que la courbe de niveau minimum entre mai et septembre.



Source :

https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?mode=Graph&type=&stn=02OJ022&dataType=Daily¶meterType=Level&year=2010&y1Max=1&y1Min=1&y1Mean=1&y1Median=1&y1Upper=1&y1Lower=1&scale=normal

Figure 3-14 : Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Sorel-Tracy (station 02OJ032), de 1912 à 2010

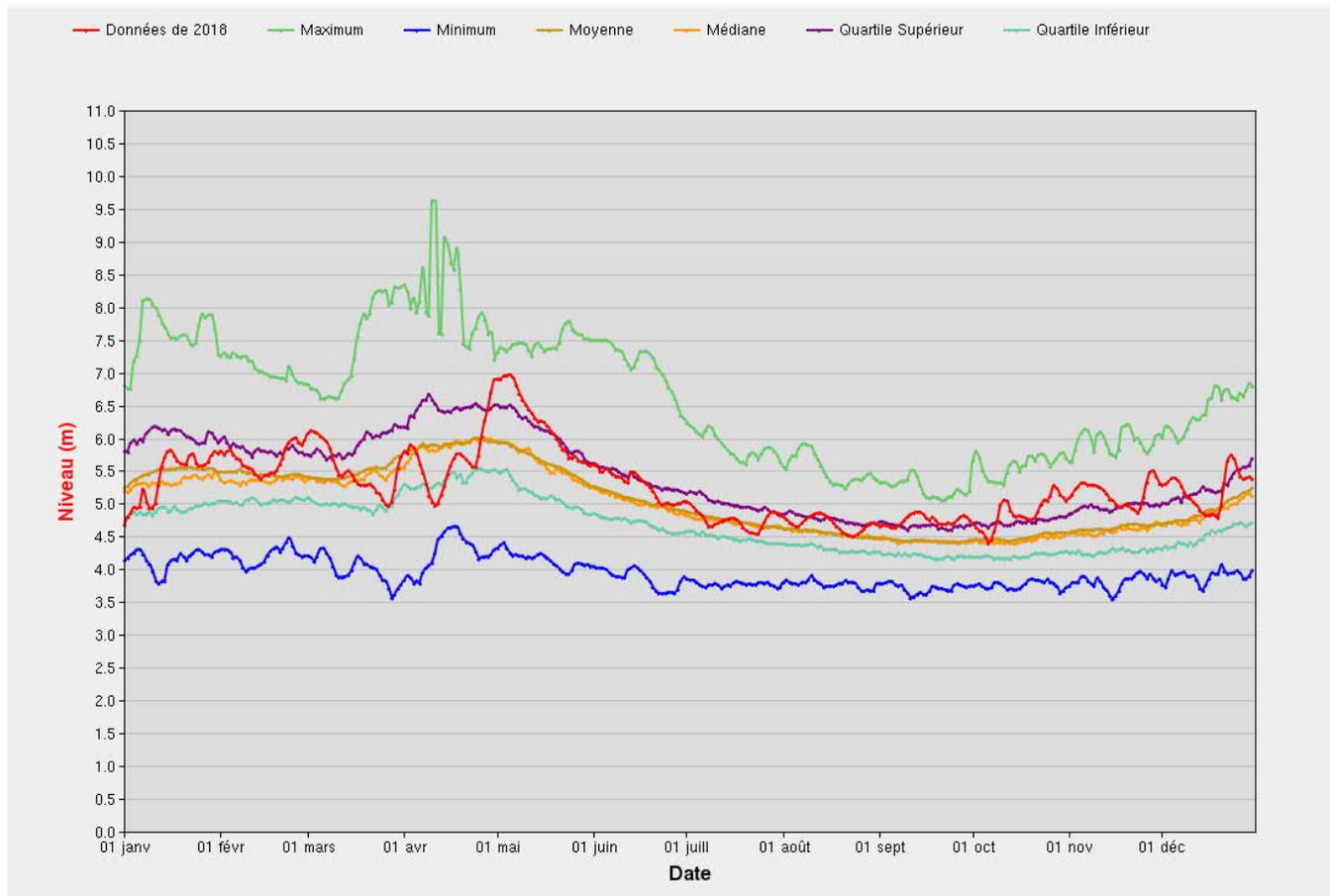
Les tributaires présents en rive nord dans la zone d'étude locale possèdent de faibles débits annuels. On y trouve les rivières la Chaloupe (2,1 m³/s), Bayonne (5,8 m³/s), Chicot (3,1 m³/s) et Maskinongé (19 m³/s), (MLCP, 1983).

Pour sa part, le débit annuel moyen de la rivière Richelieu à la hauteur de Sorel-Tracy a été estimé à 484 m³/s durant la période 2004-2013 (Laliberté, 2015).

Zone d'étude élargie

Le Service météorologique du Canada (région du Québec) exploite une station hydrométrique à Lanoraie (02OB011). Lors de la période 1897-2018, le niveau de l'eau moyen à cette station se situait entre 4,5 et 6 m. La crue printanière et la période d'étiage surviennent généralement aux mêmes moments qu'à la station de Sorel (figure 3-15).

Le niveau d'eau maximum enregistré durant la période de 1897 à 2018 se situe à plus de 9,5 m, tandis que le niveau le plus faible se situe à environ 3,5 m, ce qui représente une variation d'environ 6 m au cours de la période analysée (figure 3-15).



Source :

https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?mode=Graph&type=&stn=02OB011&dataType=Daily¶meterType=Level&year=2018&y1Max=1&y1Min=1&y1Mean=1&y1Median=1&y1Upper=1&y1Lower=1&scale=normal

Figure 3-15 : Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Lanoraie (station 02OB011), de 1897 à 2018

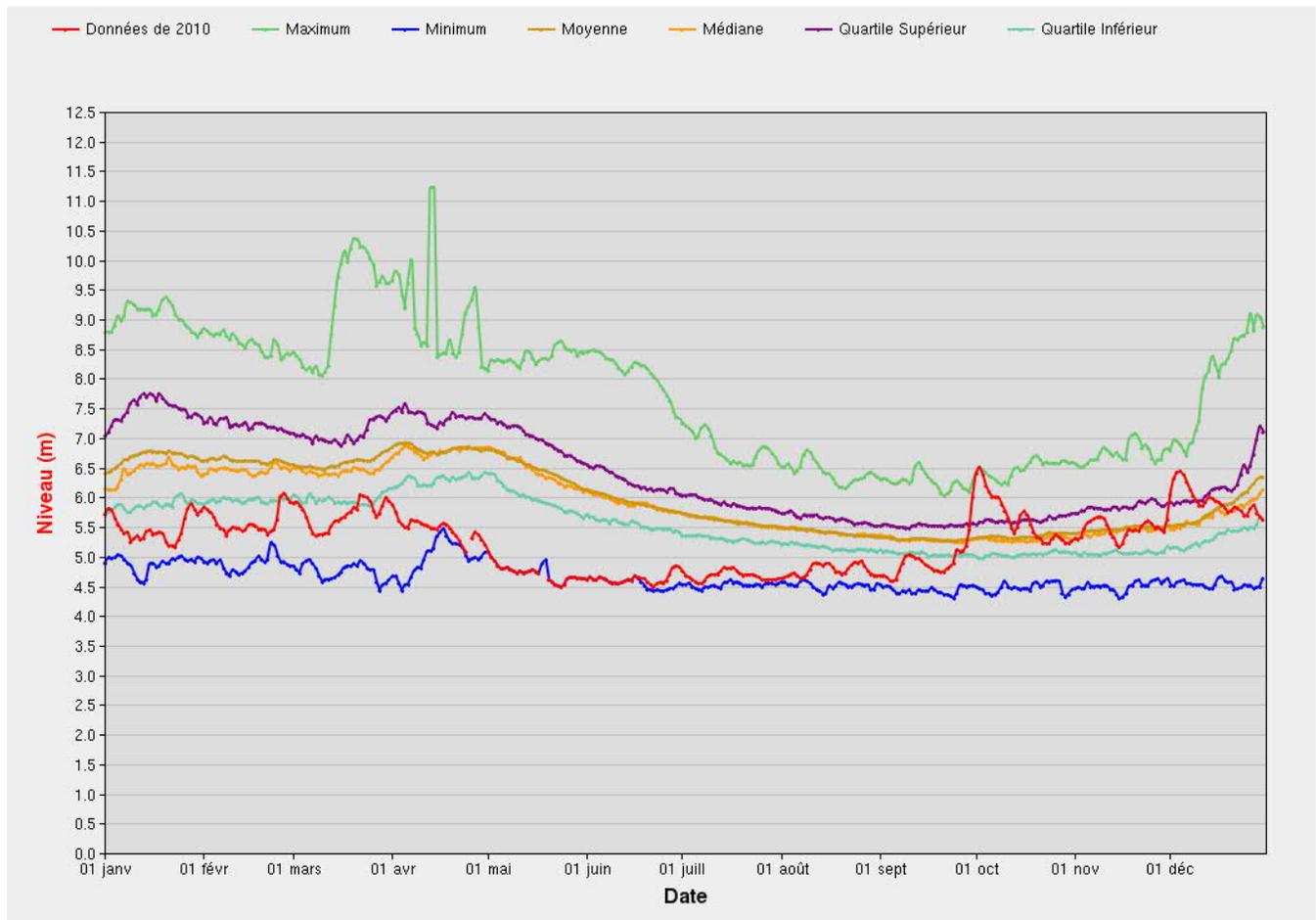
Zone d'influence

Le niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent dans le tronçon à l'étude a été étudié à partir d'une série temporelle obtenue à la station de Varennes (02OA050) pour la période 1897 à 2010 (figure 3-16).

Lors de cette période, le niveau d'eau moyen à cette station se situait entre 5 et 7 m. La crue printanière survient généralement à deux moments, soit au début et à la fin du mois d'avril, alors que la période d'étiage survient généralement au mois de septembre et octobre.

Le niveau d'eau maximum enregistré durant la période de 1897 à 2010 se situe à plus de 11 m, tandis que le niveau le plus faible se situe à environ 4,5 m. Ainsi, le niveau de l'eau atteint environ 2 m plus haut qu'aux stations de Lanoraie et Sorel.

La figure 3-16 montre également qu'il existe une variation d'environ 7 m entre les niveaux d'eau maximum et minimum au cours de la période analysée. Cette variation est la plus élevée parmi les trois stations.



Source :

https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?mode=Graph&type=&stn=02OA050&dataType=Daily¶meterType=Level&year=2010&y1Max=1&y1Min=1&y1Mean=1&y1Median=1&y1Upper=1&y1Lower=1&scale=normal

Figure 3-16 : Niveau (IGLD85) du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Varenne (station 02OA050), de 1897 à 2010

Les masses d'eau dans la zone d'influence du projet proviennent principalement des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais (figure 3-17).

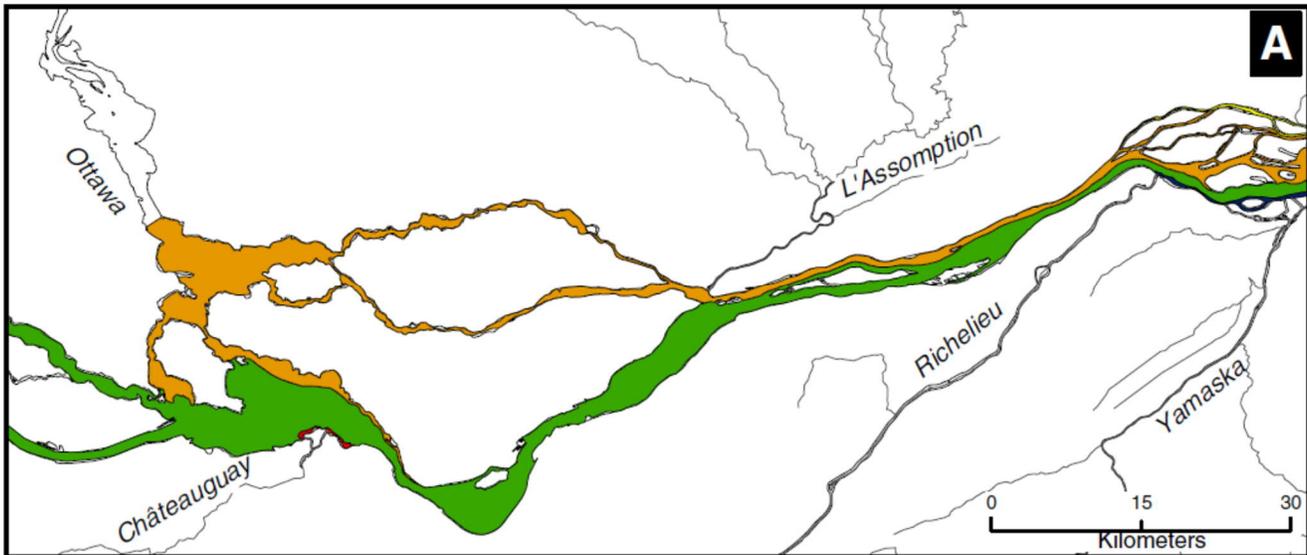


Figure 3-17 : Distribution des masses d'eau dans la zone d'influence

Note : Les couleurs verte et orange, représentent respectivement les eaux provenant des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais (Source : Massicotte *et al.*, 2013).

3.4.3 Projections des débits en réponse aux changements climatiques

Zone d'étude locale

Boyer *et al.* (2010) ont utilisé le modèle HSAMI pour réaliser des simulations hydrologiques entre 2010 et 2099 sur les rivières Richelieu et Saint-François pour six projections climatiques. Pour le Richelieu, le modèle a estimé que les débits de pointe pendant l'hiver et au début du printemps à son embouchure dans le lac Saint-Pierre devraient être maintenus pendant une période plus longue que celle observée au printemps entre 1937 à 2005. De plus, la fréquence des débits élevés serait plus importante en hiver et au printemps dans l'avenir par rapport à celle observée entre 1937 à 2005.

Zone d'influence

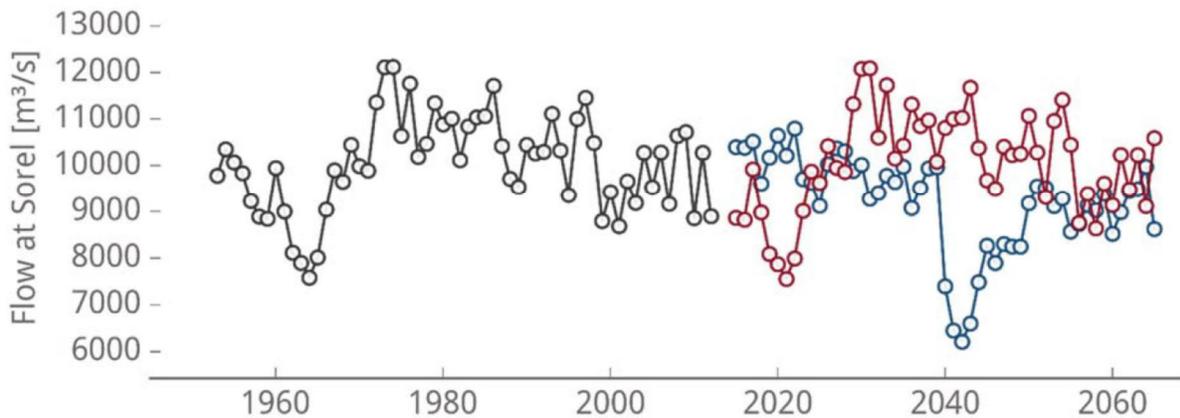
Fleuve Saint-Laurent

L'équipe d'Ouranos a estimé les variations des débits annuels à Sorel pour la période 2015–2064 sur la base de deux scénarios différents de projections climatiques sur les Grands Lacs (Larrivée *et al.*, 2016).

Le premier scénario hypothétique utilise le Modèle couplé climatique global canadien de deuxième génération (MCCG2) du Centre canadien de modélisation et d'analyse du climat pour la période 2040–2064. Les séries de températures et de précipitations synthétiques décrivant un futur plus chaud ont été entrées dans le modèle d'écoulement du bassin versant des Grands Lacs, qui à son tour influence les débits sortants du lac Ontario vers le fleuve Saint-Laurent. Les changements dans le débit des tributaires du fleuve sont évalués en transposant les changements attendus dans le bassin des Grands Lacs aux régions avoisinantes. Selon ce scénario, les débits diminueraient graduellement et atteindraient des conditions critiques dans les années 2040 similaires à celles

observées dans les années 1960 et n'augmenteraient que partiellement par la suite (figure 3-18). Pendant cette période, le cycle annuel s'aplatirait; la crue printanière se produirait plus tôt et s'affaiblirait.

Pour sa part, le second scénario hypothétique s'appuie sur l'analyse d'un ensemble de simulations du Modèle climatique régional canadien (Music *et al.*, 2015) afin de déterminer les changements attendus dans l'apport net au bassin des Grands Lacs. Les changements mensuels relatifs de l'apport net au bassin ont été transposés aux débits mensuels à Sorel, avec un décalage de deux semaines pour tenir compte du transfert entre le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent. Les résultats de cette modélisation démontrent que les débits diminueraient rapidement et atteindraient leur point le plus bas dans les années 2020 avant de revenir à des niveaux historiquement élevés, puis de diminuer peu à peu encore une fois (figure 3-18). Le cycle annuel s'amplifierait progressivement sur la période de 50 ans, avec des minima annuels qui diminueraient en août et septembre.



Source : Larrivée *et al.*, 2016

Figure 3-18 : Débit annuel moyen à Sorel pour la période de référence (en noir) et les scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) pour la période de 2015 à 2064

Tributaires du fleuve Saint-Laurent dans la zone d'influence

En 2015, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a publié un atlas hydroclimatique présentant une synthèse de l'état des connaissances décrivant l'impact attendu des changements climatiques sur le régime hydrique du Québec méridional. Ils ont utilisé une modélisation hydrologique pour simuler des débits en rivière à 50 stations hydrométriques à partir de données observées de précipitation et de température. Les stations utilisées ne devaient pas subir l'influence de l'opération de barrages situés en amont. Trois stations hydrométriques siégeant dans la zone d'influence se retrouvent dans l'atlas, soit L'Assomption (052219), de l'Achigan (052233) et Ouareau (052212). Le tableau 3-6 présente une synthèse des résultats des projections pour les scénarios d'émission RCP 4.5 et 8.5. À l'horizon 2050, la pointe des crues devrait généralement diminuer au printemps et augmenter en été et en automne, alors que les débits d'étiage devraient augmenter pendant l'hiver et diminuer pendant l'été pour les deux scénarios d'émission. De façon globale, les débits moyens devraient augmenter durant les saisons hivernale et printanière, mais diminuer durant les saisons estivale et automnale.

Tableau 3-6 : Projections hydrologiques à trois stations hydrométriques localisées sur des tributaires se jetant dans la zone d'influence

Phénomène hydrologique	Question	Description	Ampleur du changement selon les scénarios d'émission					
			RCP 4.5 (2041-2070)			RCP 8.5 (2041-2070)		
			L'Assomption	de l'Achigan	Ouareau	L'Assomption	de l'Achigan	Ouareau
Crues printanières	À l'horizon 2050, la pointe des crues printanières sera-t-elle plus élevée?	Débit journalier maximal annuel de récurrence de 2 ans au printemps	- 6 à -10%	-10 à -14%	- 6 à -10%	-2 à -6%	-10 à -14%	-6 à -10%
		Débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps	-2 à -6%	-6 à 10%	-2 à 6%	+2 à -2%	-6 à 10%	-2 à 6%
	À l'horizon 2050, le volume des crues printanières sera-t-il plus fort?	Débit moyen sur 14 jours maximal annuel de récurrence de 2 ans au printemps	-3 à -9%	-9 à -15%	-3 à -9%	-3 à -9%	-9 à -15%	-3 à -9%
		Débit moyen sur 14 jours maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps	-2 à -6%	-2 à -6%	-2 à -6%	-2 à -6%	-2 à -6%	-6 à -10%
	À l'horizon 2050, les crues printanières seront-elles plus hâtives?	Jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal annuel au printemps	-9 à -15%	-9 à -15%	-9 à -15%	-9 à -15%	-9 à -15%	-9 à -15%
Crues estivales et automnales	À l'horizon 2050, la pointe des crues estivales et automnales sera-t-elle plus élevée?	Débit journalier maximal annuel de récurrence de 2 ans à l'été et à l'automne	-3 à -9%	-3 à -9%	3 à -3%	-9 à -15%	-9 à -15%	-9 à -15%
		Débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans à l'été et à l'automne	5 à 15%	5 à 15%	5 à -5%	5 à -5%	5 à 15%	5 à -5%

Tableau 3-6 : Projections hydrologiques à trois stations hydrométriques localisées sur des tributaires se jetant dans la zone d'influence (suite)

Phénomène hydrologique	Question	Description	Ampleur du changement selon les scénarios d'émission					
			RCP 4.5 (2041-2070)			RCP 8.5 (2041-2070)		
			L'Assomption	de l'Achigan	Ouareau	L'Assomption	de l'Achigan	Ouareau
Étiages hivernaux	À l'horizon 2050, les étiages hivernaux seront-ils plus sévères?	Débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 2 ans à l'hiver	6 à 18%	6 à 18%	18 à 30%	6 à 18%	6 à 18%	18 à 30%
		Débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 10 ans à l'hiver	5 à 15%	5 à 15%	5 à 15%	5 à 15%	5 à 15%	15 à 25%
		Débit moyen sur 30 jours minimal annuel de récurrence de 5 ans à l'hiver	10 à 30%	10 à 30%	30 à 50%	30 à 50%	30 à 50%	30 à 50%
Étiages estivaux	À l'horizon 2050, les étiages estivaux seront-ils plus sévères?	Débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 2 ans à l'été	-6 à -18%	-18 à -30%	-18 à -30%	-18 à 30%	-18 à 30%	-18 à 30%
		Débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 10 ans à l'été	-9 à -27%	-9 à -27%	-9 à -27%	-9 à -27%	-9 à -27%	-9 à -27%
		Débit moyen sur 30 jours minimal annuel de récurrence de 5 ans à l'été	-8 à -24%	-8 à -24%	-8 à -24%	-8 à -24%	-24 à -40%	-24 à -40%
Hydraulicité **	À l'horizon 2050, l'hydraulicité sera-t-elle modifiée?	Débit moyen annuel	-2 à -6%	-2 à -6%	-2 à -6%	-2 à -6%	-6 à -10%	-2 à -6%
		Débit moyen sur la période hiver-printemps	6 à 10%	6 à 10%	6 à 10%	10 à 14%	10 à 14%	10 à 14%
		Débit moyen sur la période été-automne	-5 à -15%	-15 à -25%	-5 à -15%	-15 à -25%	-15 à -25%	-15 à -25%

** Le lecteur est invité à consulter l'atlas (CEHQ, 2015) pour visualiser les projections pour chaque mois.

3.4.4 Modélisation hydraulique

Zone d'étude locale

En 1994, Cantin a développé pour le reversoir 3 une équation hydraulique dont les paramètres ont été calibrés à partir des données de débit et de niveau disponibles. Cette équation a ensuite été adaptée aux autres revoirs. Pour les chenaux naturels, Cantin (1994) a également développé des relations entre la surface de l'écoulement et le rayon hydraulique de la section par rapport au niveau d'eau.

Le débit dans le chenal navigable est ensuite obtenu en retranchant le débit des chenaux du débit mesuré à Sorel. La répartition du débit dans le delta a ainsi pu être estimée pour des conditions estivales. Cette approche a été reprise et complétée par Godin (1995) qui, en plus d'utiliser les nouvelles données à sa disposition, a considéré chaque reversoir comme étant constitué d'une multitude de revoirs de petite largeur dont la somme des débits constitue le débit total du reversoir considéré.

SNC-Lavalin (2003) a simulé l'effet qu'auraient d'éventuelles modifications apportées aux revoirs sur l'écoulement dans l'archipel du Lac Saint-Pierre à l'aide du modèle HEC-RAS 3.0. Dans un premier temps, les conditions estivales ont été reproduites en se basant sur les mesures de débit et de niveau disponibles. Ensuite, plusieurs scénarios de couvert de glace ont été étudiés. Une relation mathématique entre le débit dans chaque chenal et le niveau d'eau à Sorel a été obtenue par régression effectuée sur les résultats du modèle HEC-RAS. Les résultats de ces modélisations sont illustrés à la figure 3-19.

Dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, une entente est survenue entre le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec. Cette entente stipule, entre autres, que les agences suivantes développeront des modèles hydrauliques¹⁹ :

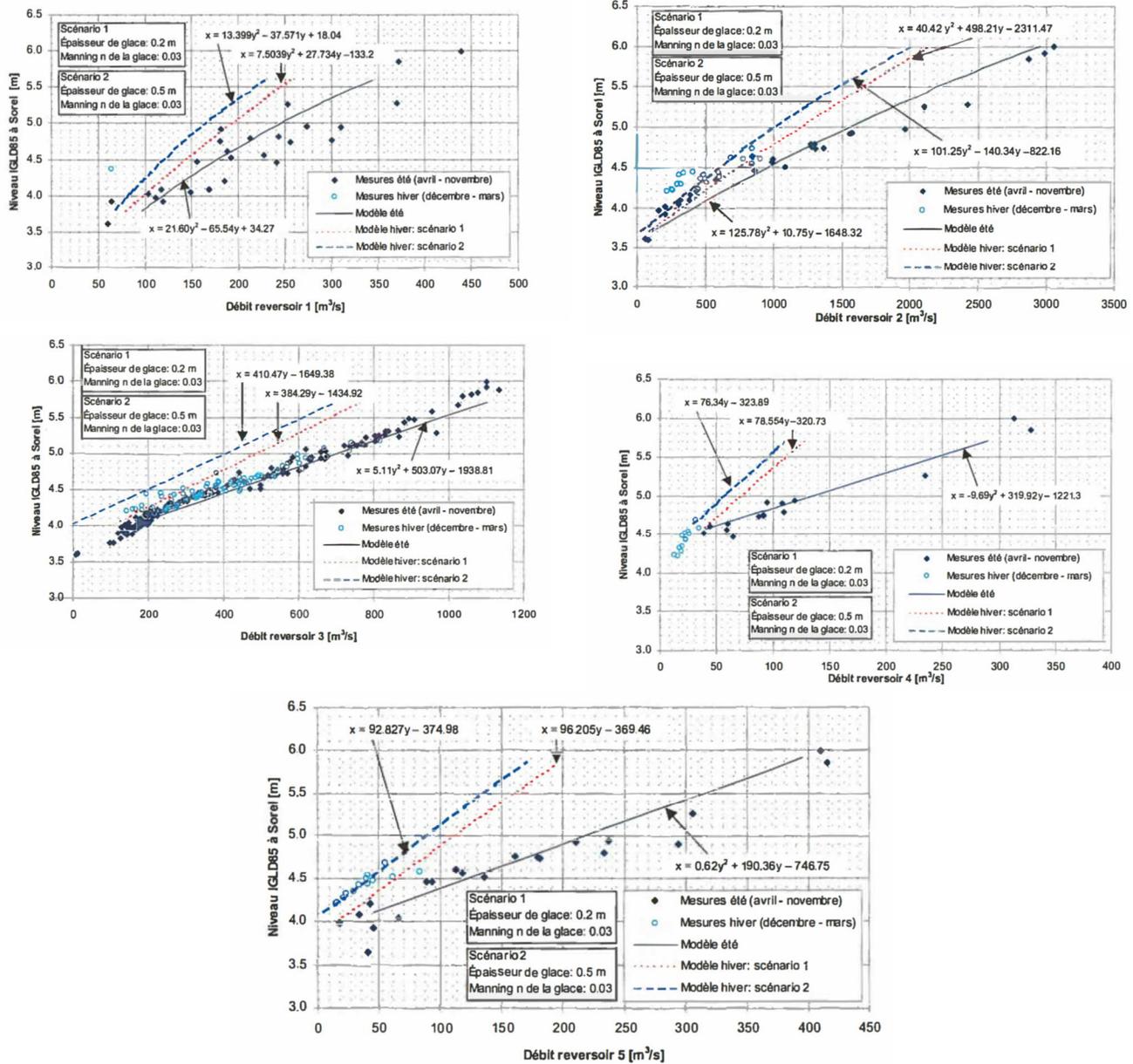
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) développera et intégrera des mécanismes de modélisation hydraulique qui visent la simulation des écoulements en cours d'eau sur des tributaires du Saint-Laurent pour renforcer sa capacité à réaliser des applications en délimitation de zones d'inondations et diverses autres applications en modélisation hydrauliques.
- Pêches et Océans Canada (MPO) développera et intégrera un système opérationnel de modélisation 1D sur le fleuve Saint-Laurent pour calculer des niveaux d'eau. Ce modèle utilise des débits à l'aide de courbes de tarage dans le delta de Sorel obtenues à plus de 25 stations hydrométriques réparties sur les rivières des Prairies (2), des Mille Îles (1), L'Assomption (4), Richelieu (2), Yamaska (4), Saint-François (2), Nicolet (3), Maskinongé (2), du Loup (5) et sur le fleuve Saint-Laurent (une station à LaSalle). Le modèle permet d'estimer des niveaux d'eau qui sont validés à plus de huit stations situées entre Montréal et Trois-Rivières, dont Contrecoeur et Sorel dans la zone d'étude élargie.
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) développera et intégrera un système de modélisation intégrée du fleuve Saint-Laurent, utilisant des simulations hydrodynamiques bidimensionnelles (SHOP) qui couvrent l'ensemble du fleuve, combinées à des simulations de vagues naturelles, de qualité d'eau et de sédimentation.

Ainsi, le modèle SHOP (simulation hydrodynamique opérationnelle) a été élaboré par ECCC entre Montréal et Trois-Rivières. Ce modèle permet de calculer la vitesse d'écoulement (m/s) et le niveau de l'eau (m)²⁰. La figure 3-20 illustre des exemples d'extrait pour la zone d'étude locale.

Il est à noter qu'un modèle 3D (Delft3D) pour une portion du lac Saint-Pierre située en aval de la zone d'étude locale a été développé récemment (Bulat *et al.*, 2019). Ce modèle a la particularité de prendre en compte l'impact de la résistance des plantes aquatiques sur l'écoulement.

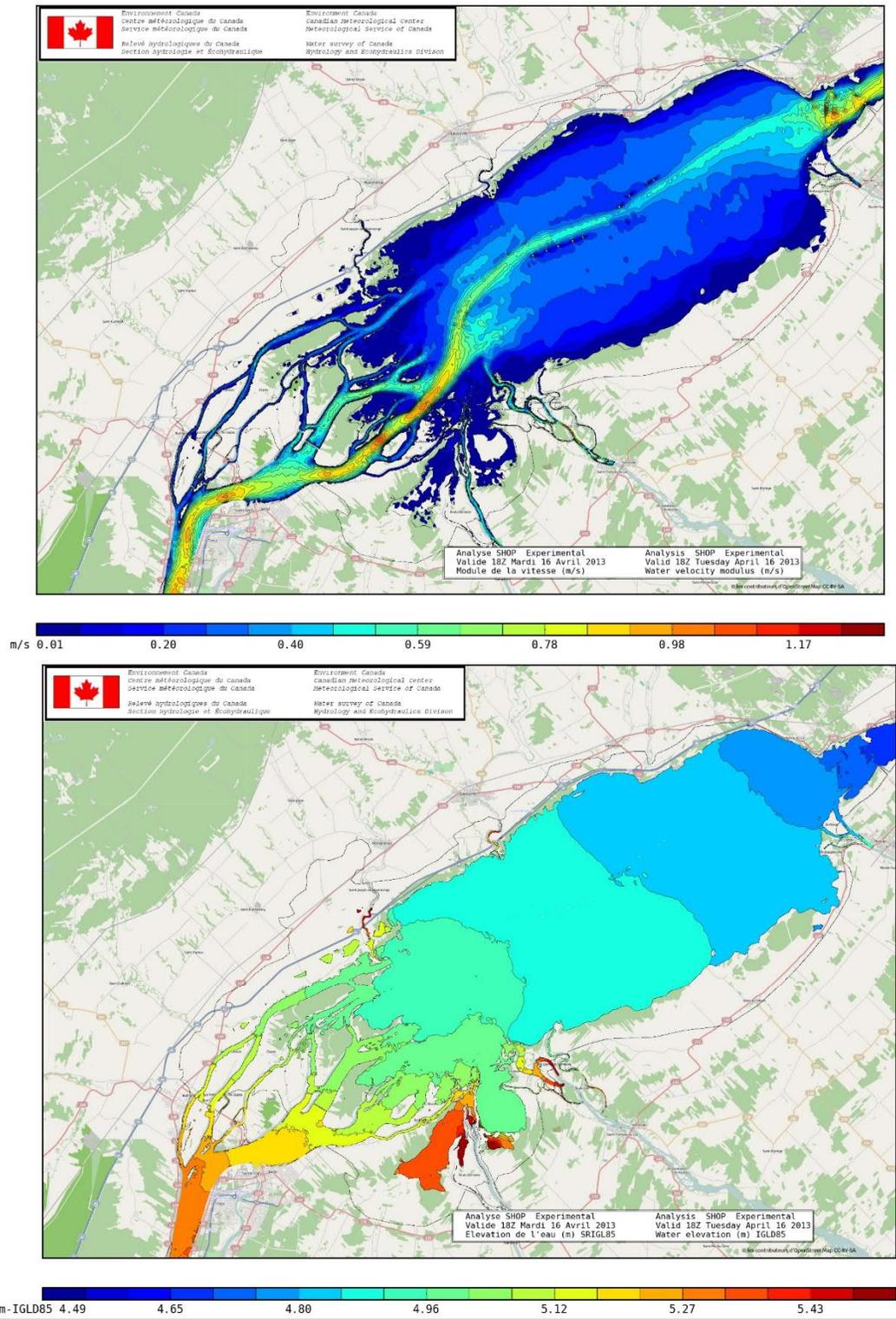
¹⁹ http://planstlaurent.gc.ca/fr/accueil/a_notre_sujet/entente.html

²⁰ http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/cmc/cmoi/product_guide/submenus/shop_f.html#produitsimages



Source : SNC-Lavalin, 2003.

Figure 3-19 : Relations entre les niveaux d'eau à Sorel et les débits des reervoirs obtenues avec le modèle HEC-RAS (2000-2002)

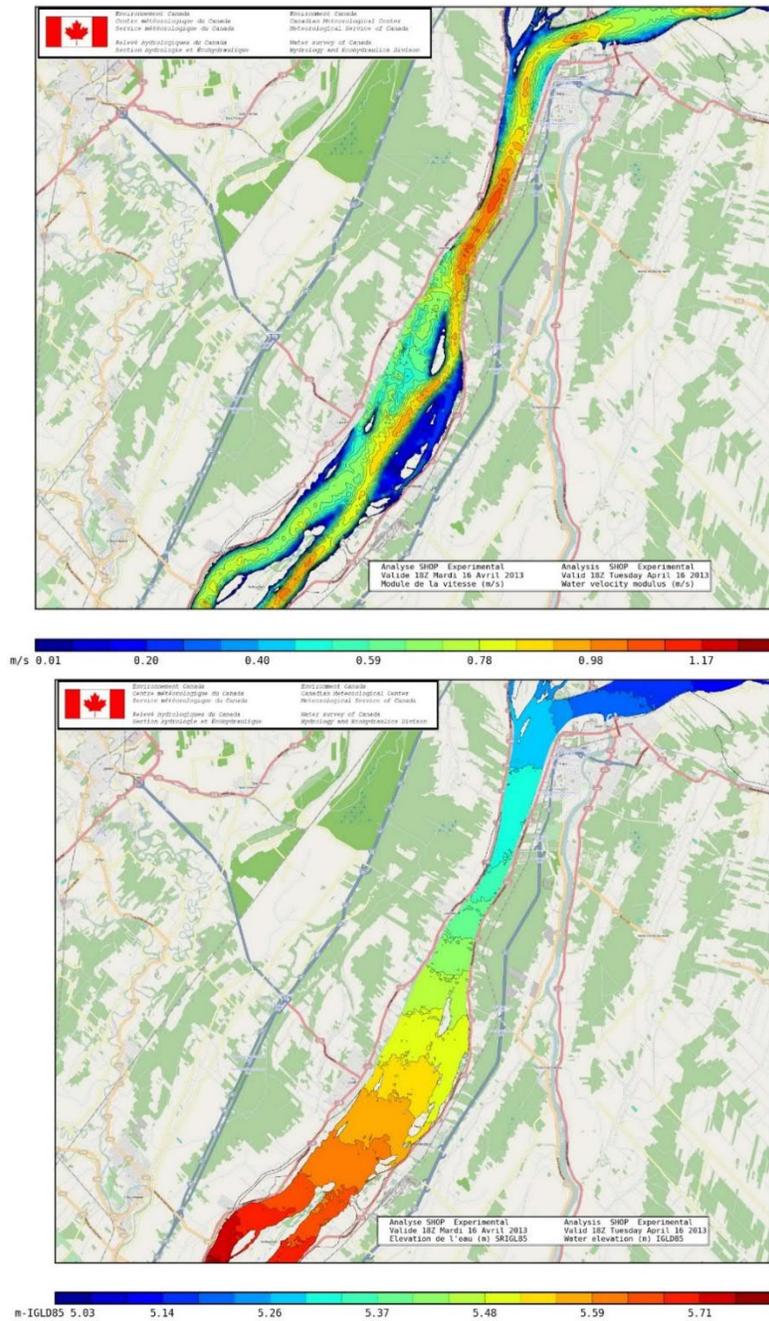


Source : http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/cmc/cmoi/product_guide/submenu/shop_f.html#produitsimages

Figure 3-20 : Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour le lac Saint-Pierre

Zone d'étude élargie

La figure 3-21 présente des exemples d'extrait du modèle SHOP pour la région de Contrecoeur développé par ECCC.



Source : http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/cmc/cmoi/product_guide/submenus/shop_f.html#produitsimages

Figure 3-21 : Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour la région de Contrecoeur

Zone d'influence

Les figures 3-22 et 3-23 présentent des exemples d'extrant du modèle SHOP pour la région de Varennes et le port de Montréal.

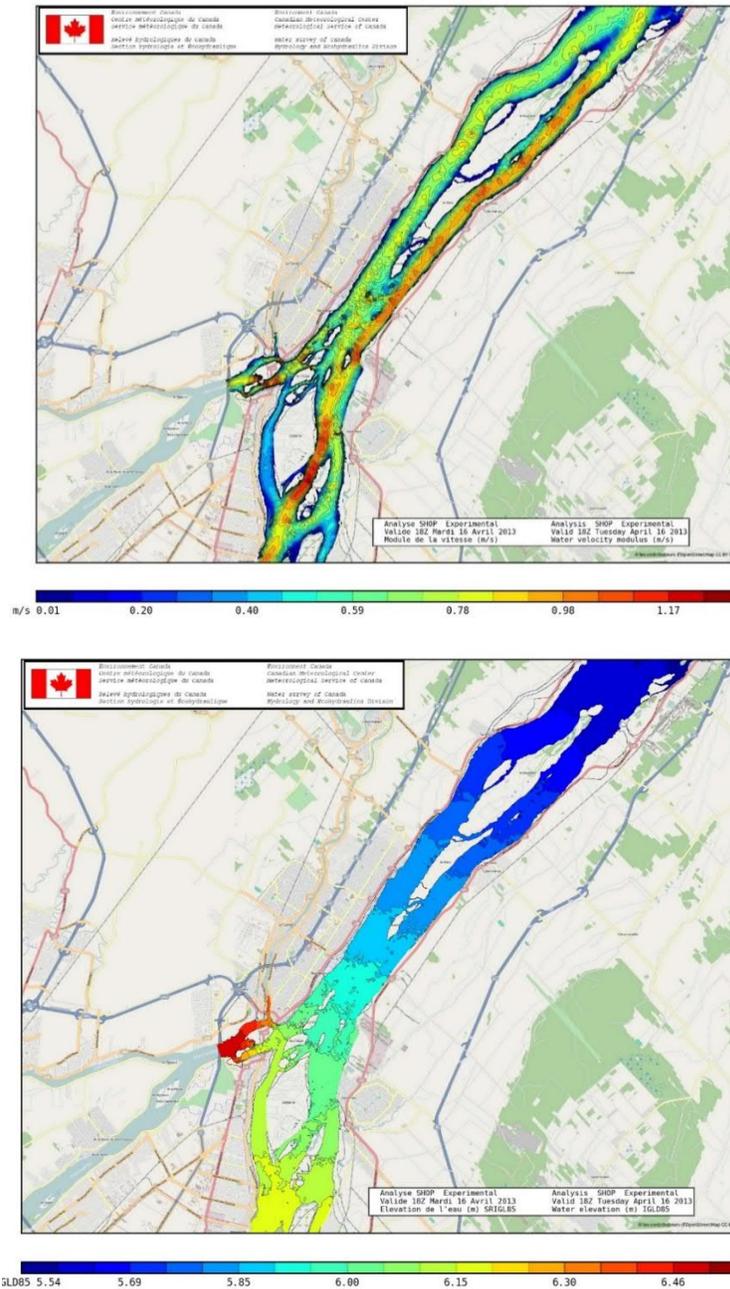
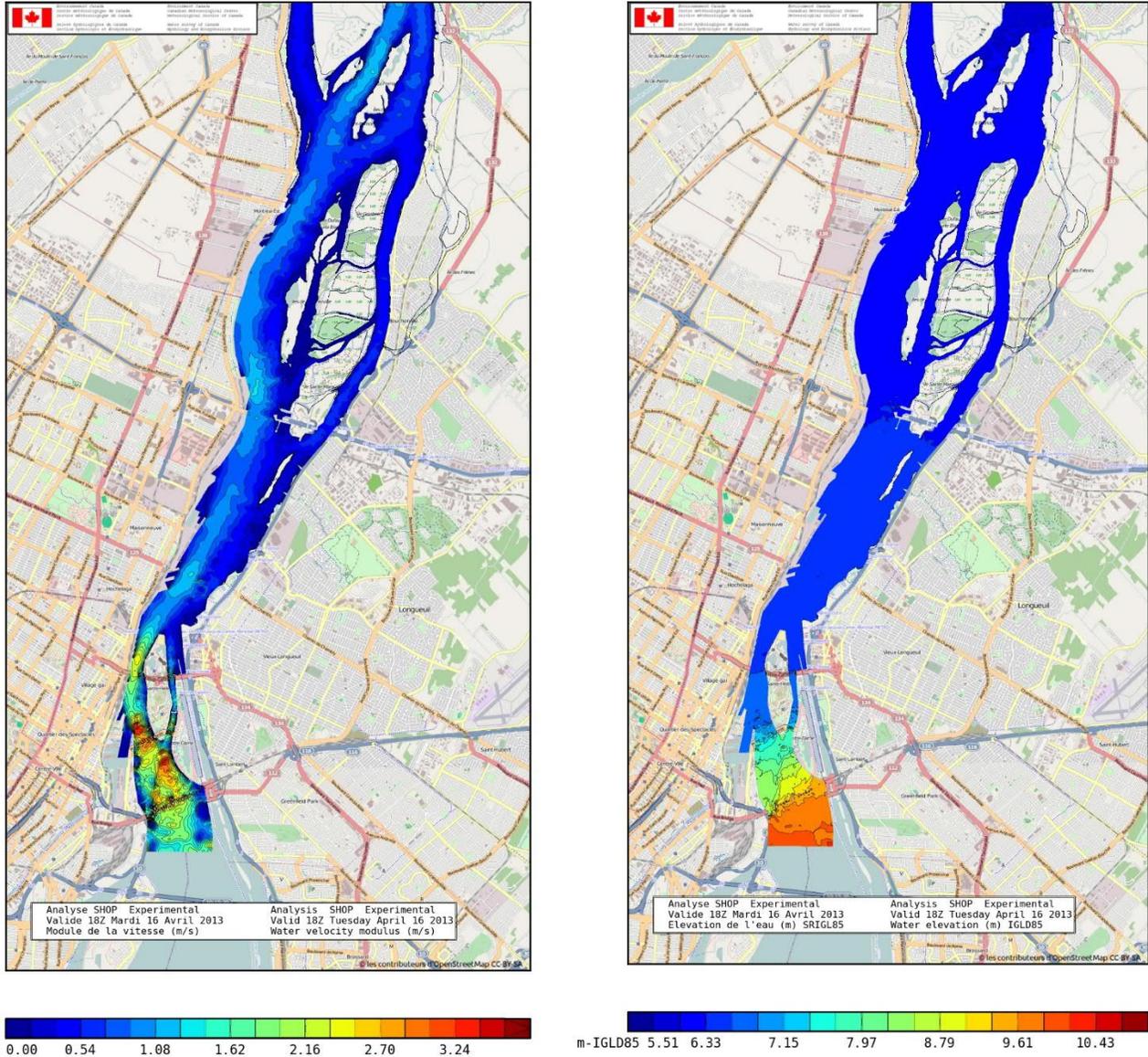


Figure 3-22 : Exemples de vitesses d'écoulement (en haut) et de niveaux d'eau (en bas) calculés par le modèle SHOP pour la région de Varennes



Source : http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/cmc/cmoi/product_guide/submenus/shop_f.html#produitsimages

Figure 3-23 : Exemples de vitesses d'écoulement (à gauche) et de niveaux d'eau (à droite) calculés par le modèle SHOP pour la région du port de Montréal et des îles de Boucherville

3.4.5 Régime des glaces

Des zones particulièrement étendues de banquise côtière se forment dans le lac Saint-Pierre, dans les eaux entre ce lac et Montréal où les îles retiennent la glace, et dans les chenaux non navigables entre Montréal et Sorel (Pêches et Océans Canada, 2012). La glace commence à se former pendant la première quinzaine de décembre entre Montréal et Québec. Le déglacement commence d'ordinaire sur le fleuve vers la mi-mars dans les zones sous le vent et les régions où la glace est plus mince. Le fleuve est normalement libre de toute glace à la première semaine d'avril (Pêches et Océans Canada, 2012).

Le gouvernement fédéral a colligé l'épaisseur de la glace entre 1947-2002 sur plus d'une centaine de sites au Canada, dont sept sites localisés dans les trois zones d'étude ou à proximité (carte 3-7). Ces mesures ont été prises sur une base hebdomadaire chaque saison, toujours aux mêmes endroits et aussitôt qu'il est sécuritaire de marcher sur la glace, de la période de gel jusqu'au moment du dégel où il devient dangereux de circuler sur la glace. Les paragraphes ci-dessous présentent les résultats du traitement statistique de l'épaisseur de la glace et les principales opérations qui sont effectuées pour gérer les embâcles.

Zone d'étude locale

Épaisseur de la glace

Les sites P6 et P9 du programme de suivi de l'épaisseur de la glace sont les sites les plus près de l'archipel du lac Saint-Pierre (environ 4 km en aval). À ces sites, les glaces peuvent se former dès décembre pour disparaître en mars. L'épaisseur de la glace s'épaissit au cours de l'hiver, l'augmentation moyenne atteignant près de 13 cm entre les mois de janvier et février (tableau 3-7). La glace a déjà atteint 80 cm d'épaisseur au mois de février 2000.

Tableau 3-7 : Épaisseur de la glace mesurée entre 1983 et 2001 à deux sites situés sur le lac Saint-Pierre

Mois	P6			P9		
	Nombre de mesures	Moyenne (cm)	Maximum (cm)	Nombre de mesures	Moyenne (cm)	Maximum (cm)
Décembre*	3	33,0	48,0	3	38,3	45,0
Janvier	36	40,0	65,0	41	40,8	71,0
Février	40	52,6	72,0	42	53,9	80,0
Mars	8	63,6	75,0	6	57,0	72,0
Année		47,7	75,0		47,8	80,0

* Basés sur trois mesures (1989, 1995 et 2000).

Source : Statistiques calculées sur la base des données d'ECCC (<http://donnees.ec.gc.ca/data/ice/products/ice-thickness-program-collection/ice-thickness-program-collection-1947-2002/?lang=fr>).

Dans l'archipel, il arrive parfois que les zones à proximité des reversoires puissent être partiellement libres de glace, comme ce fut le cas le 6 février 2019 (communication personnelle de Serge Tourangeau du MPO, 2019). De tous les reversoires, les deux où le débit est le plus important (reversoires 2 et 3) étaient libres de glace en amont des ouvrages, tandis que les deux reversoires concentrant le plus faible débit (reversoires 4 et 5) étaient libres de glace en aval (voir les photos à l'annexe A). Quant au reversoire 1, celui-ci présentait ce jour-là un couvert continu de glace de part et d'autre de l'ouvrage.

Gestion de la glace

Le couvert de glace dans l'archipel influence la répartition des débits entre le chenal navigable et les reversoires (SNC-Lavalin, 2003). En effet, le tableau 3-8 montre le pourcentage du débit transitant par l'ensemble des cinq reversoires par rapport à la totalité du débit entrant dans l'archipel en fonction du niveau d'eau à Sorel. Dans des conditions hivernales, le pourcentage du débit total passant par les reversoires varie de 4 à 20 % selon le niveau d'eau, soit jusqu'à 10 % de moins en moyenne que dans des conditions sans couvert de glace. Les reversoires

permettraient ainsi une meilleure évacuation de la glace, car ils concentrent le débit dans le chenal de navigation (de façon plus efficace en hiver qu'en été).

Tableau 3-8 : Pourcentage de débit transitant par les reversoires par rapport au débit total selon la saison

Niveau d'eau à Sorel (m)	Pourcentage de débit des 5 reversoires			
	Données 2000-2001		Données 2000-2002	
	Été	Hiver	Été	Hiver
4,0	8,7	4,0	8,7	3,9
4,5	17,6	10,3	17,6	10,2
5,0	24,9	15,5	24,9	15,4
5,5	31,0	19,9	31,0	19,8

Source : SNC-Lavalin (2003).

Fondé sur des simulations hydrauliques, Dumont (1996) a même conclu que le retrait des reversoires serait néfaste pour l'évacuation des glaces dans le lac Saint-Pierre. Pour sa part, Simard (1985) a rapporté que le rehaussement des reversoires a provoqué une augmentation de la vitesse de l'écoulement dans le chenal navigable près de l'île aux Raisins, mais une augmentation trop faible en aval de cette même courbe pour aider substantiellement à l'évacuation de la glace.

Zone d'étude élargie

Épaisseur de la glace

En moyenne, la glace est environ un centimètre (1 cm) plus mince près de l'île Saint-Ours (située en aval de Contrecoeur) que dans le lac Saint-Pierre en aval de l'archipel (tableau 3-9). Toutefois, la glace y est plus épaisse de près de 5 cm au mois de janvier, mais plus mince d'environ 10 cm en mars. L'épaisseur maximale de glace (68 cm) a été mesurée au mois de mars 1990.

Tableau 3-9 : Épaisseur de la glace mesurée entre 1985 et 2001 au site P5 situé près de l'île Saint-Ours

Mois	Nombre de mesures	Moyenne (cm)	Maximum (cm)
Janvier	27	45,3	64,0
Février	35	46,9	67,0
Mars	7	52,7	68,0
Année		46,9	68,0

Source : Statistiques calculées sur la base des données d'ECCC (<http://donnees.ec.gc.ca/data/ice/products/ice-thickness-program-collection/ice-thickness-program-collection-1947-2002/?lang=fr>).

Gestion de la glace

La Garde côtière canadienne déploie avant l'hiver deux systèmes d'estacades dans la zone d'étude élargie, soit à Lavaltrie et Lanoraie. Ces systèmes favorisent la formation d'un couvert de glace solide et stable à l'amont des structures de retenue des glaces. Cette stabilisation permet d'isoler l'eau de l'air froid réduisant ainsi le risque de production de nouvelles glaces qui pourraient dériver dans le chenal de navigation²¹.

²¹ <http://www.gc.dfo-mpo.gc.ca/infoceans/201510/article3-fra.html>

Zone d'influence

Épaisseur de la glace

L'épaisseur de la glace était mesurée à quatre sites dans la zone d'influence dont trois dans la voie maritime du Saint-Laurent (A1, A2 et A3). Le quatrième site était localisé près de l'île Charron (P2).

Le site P2 présente une épaisseur de glace similaire aux autres sites en aval (tableau 3-10). Pour leur part, les sites localisés dans la voie maritime sont en moyenne de 10 à 17 cm plus minces que les sites en aval. La glace la plus épaisse (89 cm) a été mesurée au site A1 au mois de mars 1972.

Gestion de la glace

Dans le port de Montréal, les aménagements de contrôle des glaces et les rapides de Lachine ont pour effets conjugués de maintenir la dispersion des glaces pendant tout l'hiver (Pêches et Océans Canada, 2012).

Tableau 3-10 : Épaisseur de la glace mesurée à quatre sites dans la zone d'influence

Mois	P2 (1984-2001)			A1 (1971-1996)			A2 (1974-1996)			A3 (1971-1996)		
	N	Moyenne (cm)	Maximum (cm)									
Janvier	28	44,7	75,0	82	30,9	69,0	67	27,4	46,0	73	29,1	50,0
Février	34	48,4	71,0	101	40,3	76,0	87	34,0	55,0	92	37,7	66,0
Mars	6	60,0	78,0	28	41,2	89,0	23	29,6	55,0	21	35,6	74,0
Année		47,9	78,0		36,8	89,0		30,9	55,0		34,2	74,0

Source : Statistiques calculées sur la base des données d'ECCC (<http://donnees.ec.gc.ca/data/ice/products/ice-thickness-program-collection/ice-thickness-program-collection-1947-2002/?lang=fr>).

N : nombre de mesures.

3.5 Hydrogéomorphologie et régime sédimentaire

3.5.1 Substrat du lit des cours d'eau

En 1996, le Centre Saint-Laurent a réalisé une compilation de la nature des fonds dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent. Les paragraphes ci-après présentent les faits saillants de cette compilation pour les trois zones d'étude.

Zone d'étude locale

Une partie du substrat des chenaux entre les îles de l'archipel a été caractérisée (figure 3-24). Du limon et du sable s'observent à l'embouchure de la rivière Richelieu et à l'extrémité est de l'archipel. Des dépôts de sable ont été observés entre les îles Dupas, Saint-Ignace et du Milieu, soit près des reversoires 4 et 5. Finalement, deux zones de substrat de limon grossier sont localisées près des reversoires 2 et 3.

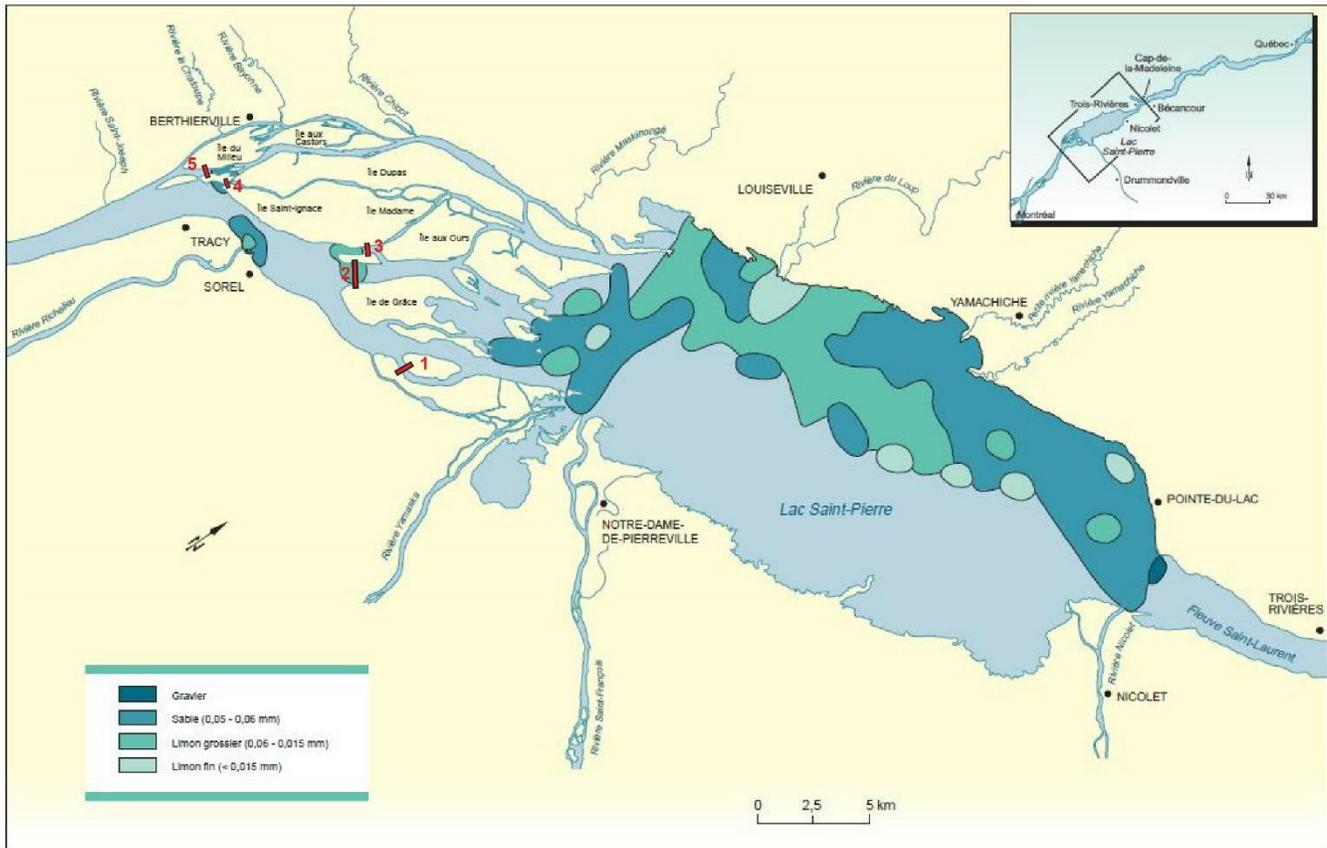


Figure 3-24 : Nature du substrat superficiel dans l'archipel et le lac Saint-Pierre (Centre Saint-Laurent, 1996)

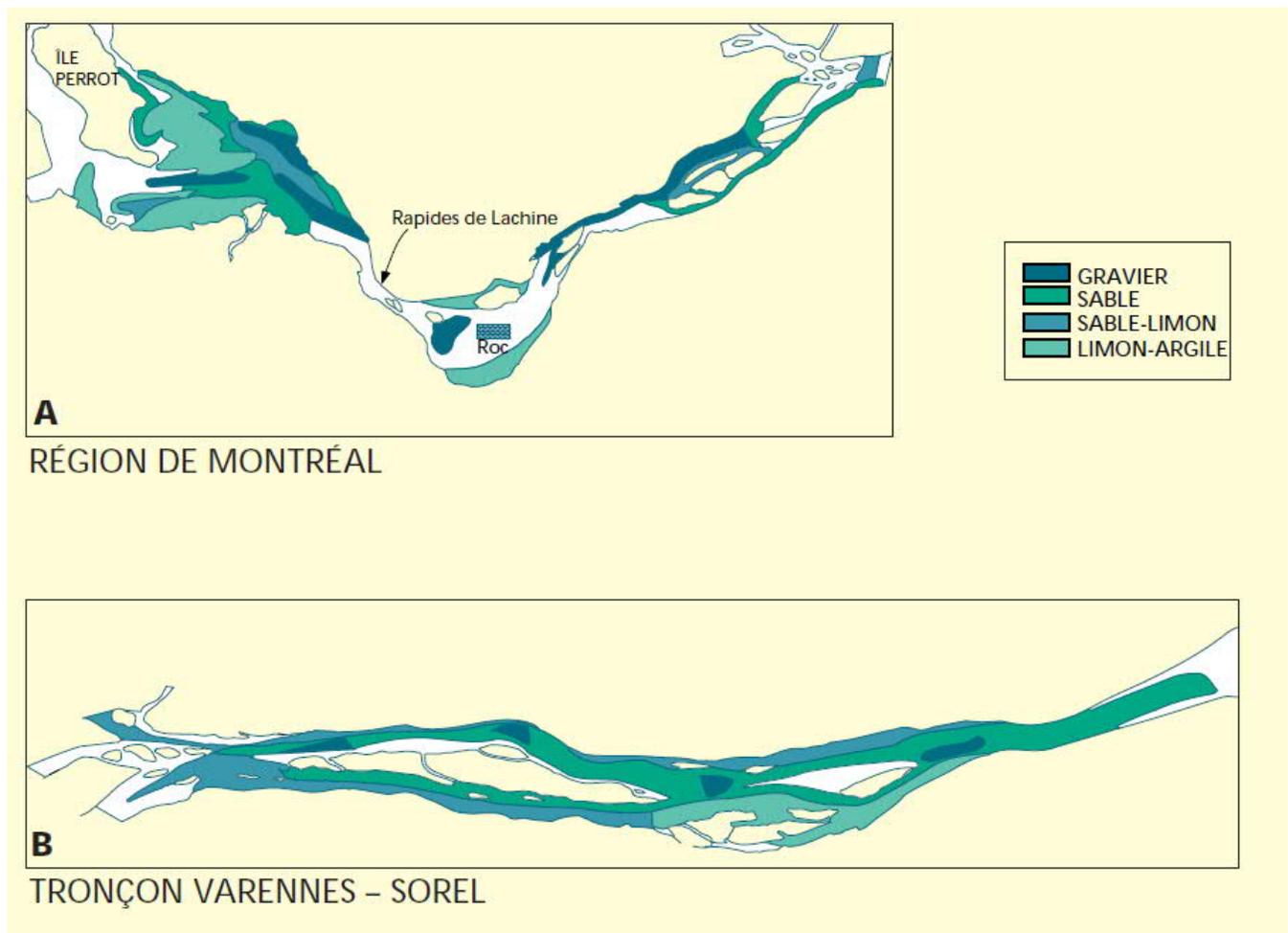
Note : Les lignes rouges localisent les cinq reervoirs.

Zone d'étude élargie

La compilation cartographique du substrat (Centre Saint-Laurent, 1996) indique que le substrat est principalement constitué de sable et de gravier dans la partie centrale du fleuve (figure 3-25). Les zones près des rives sont pour leur part recouvertes de matériaux plus fins, soit du sable-limon sur la rive nord et du limon-argile sur la rive sud, notamment pour le tronçon Varennes-Sorel (figure 3-25 B).

Zone d'influence

La partie aval de la zone d'influence est recouverte de sable-limon sur la rive sud tandis que le substrat de la partie amont de cette zone (près du port de Montréal) est caractérisé par des zones de gravier et de sable (figure 3-25 A).



Source : Centre Saint-Laurent (1996)

Figure 3-25 : Nature du substrat dans le tronçon Varennes – Sorel et dans la région de Montréal

3.5.2 Apports sédimentaires et érosion des berges

Le transport des matériaux solides dans un cours d'eau se fait principalement par deux modes. Les matériaux grossiers sont transportés près du lit par transport de fond, alors que les matériaux plus fins sont transportés en suspension au sein de l'écoulement. Pour leur part, les matériaux de dimensions intermédiaires sont transportés par saltation, tantôt sur le fond, tantôt en suspension (Centre Saint-Laurent, 1996).

Rondeau *et al.* (2000) ont démontré que la principale source (65 %) de matières en suspension au Saint-Laurent provenait de l'érosion des berges et du lit du fleuve. Parmi les facteurs naturels qui agissent sur l'érosion des berges, Richard (2010) a noté :

- les variations naturelles des niveaux d'eau et des conditions de vent;
- les courants;
- les hautes vagues produites lors des tempêtes;
- le ruissellement de l'eau dû aux fortes pluies ou à la fonte des neiges;
- la nature du sol et la pente de la rive;

- la dessiccation et la défloculation des argiles;
- les mouvements des glaces au printemps;
- le gel et le dégel.

Pour ce qui est des facteurs humains, on retrouve :

- le batillage;
- la destruction de la végétation naturelle;
- les barrages ou les seuils sur les rivières;
- l'artificialisation des rives (remblais, structures de protection, etc.).

Selon Richard (2010), la principale cause de l'érosion des berges est la fluctuation des niveaux d'eau, car elle détermine la vitesse du courant (donc le pouvoir érosif) et l'érodabilité des argiles (en influençant leur assèchement et leurs cycles de gel-dégel).

L'étude de Dauphin (2000) a permis de mesurer le taux d'érosion des berges des îles dans le tronçon fluvial compris entre Montréal et l'archipel du Lac Saint-Pierre. Ceci a été effectué en interprétant des photographies aériennes de 1964 à 1983. Dauphin (2000) a classé les données recueillies en six secteurs : Boucherville, Sainte-Thérèse, Varennes, Verchères, Contrecoeur et Berthier-Sorel. L'érosion aurait grugé 710 000 m³ de matériaux sur les rives du tronçon Montréal-Sorel pendant cette période, soit un taux de recul moyen de 1,6 m/an.

Une nouvelle estimation du taux d'érosion des berges par interprétation de photographies aériennes et de données récoltées *in situ* à l'aide d'un réseau de piquets repères a été réalisée par Dauphin et Lehoux (2004) pour la période de 1983 à 2002. Les taux de recul ont été estimés aux mêmes emplacements que pour l'étude précédente de Dauphin (2000). L'étude de Dauphin et Lehoux (2004) a démontré qu'environ 63 % des 400 km de rives situées dans le tronçon Montréal-Sorel sont en érosion, soit 250 km de rives. De ce nombre, 36 km de rives au total, répartis sur 99 segments, étaient considérés en érosion sévère²².

L'analyse de l'ensemble des 99 segments sévèrement érodés a révélé une réduction moyenne de 75 % des taux de recul annuels entre 1964 et 2002 puisque le taux de recul moyen des berges sévèrement érodées a diminué de 2,50 m/a entre 1964-1983 à 0,66 m/a entre 1998-2002 (tableau 3-11).

Il importe de noter que la diminution des taux de recul moyens entre 1964 et 2002 n'a pas été détectée dans tous les secteurs. Par exemple, le taux de recul était bas à Berthier-Sorel entre 1983-1997 alors qu'il a atteint sa valeur maximale à Varennes pendant cette même période. Cette variabilité des taux de recul moyens d'un secteur à l'autre peut en partie être expliquée par le fait que les îles ne sont pas assujetties aux mêmes conditions hydrauliques et aux mêmes activités humaines.

²² Dauphin et Lehoux (2004) ont dans un premier temps segmenté les rives sur la base de leurs caractéristiques biophysiques ou anthropiques et du niveau de la stabilité de la berge ou de l'importance de l'érosion. Par la suite, les auteurs ont retiré de l'étude les segments qui présentaient soit un recul inférieur à 1 mètre par année pendant la période 1964-1983 ou un talus ayant une hauteur inférieure à 50 cm. Ainsi, les segments retenus ont été identifiés comme sévèrement érodés.

Tableau 3-11 : Recul moyen des berges en érosion sévère des îles dans le tronçon Montréal – Sorel entre 1964 et 2002

Zone d'étude et secteur	Année		
	1964-1983	1983-1997	1998-2002
Zone locale			
Berthier-Sorel	2,60	0,40	0,37
Zone élargie			
Contrecoeur	2,30	2,60	1,76
Zone d'influence			
Sainte-Thérèse	2,30	1,20	0,44
Îles de la Paix	2,70	1,30	0,76
Varenes	1,70	2,30	1,11
Verchères	2,80	0,80	1,02
Toutes les zones			
Montréal-Sorel	2,50	0,80	0,66

Source: Dauphin et Lehoux (2004).

Les taux de recul varient également à l'intérieur d'une zone (tableau 3-12). Par exemple, dans la zone Berthier-Sorel, le recul était moindre aux Îlets Percés qu'à l'île Ducharme, à l'île de Grâce, et à l'île des Barques. Également, même si le recul était presque absent entre 1983 et 1997, un recul substantiel a été mesuré dans quelques secteurs. Le recul mesuré au segment 804B de l'île de Grâce en est un exemple. Finalement, le recul varie également à l'intérieur d'un secteur. Par exemple, les segments 805, 806A et 811 de l'île Lapierre ont subi un recul moindre que les autres secteurs de cette île.

Finalement, Dauphin et Lehoux (2004) ont noté que plus de 20 % des segments pour lesquels des données de recul étaient disponibles entre 1998 et 2002 (soit 19 segments sur 89) ne présentaient aucune érosion pendant cette période. Or, ces segments avaient un taux de recul moyen de 2,28 m/an entre 1964 et 1983 et certains d'entre eux présentaient des taux de recul supérieurs à 4,0 m/an.

Tableau 3-12 : Recul moyen des berges en érosion sévère, par secteur, dans le tronçon Montréal - Sorel

Île	Segment	Année		
		1964-1983	1983-1997	1998-2002
Zone locale - Berthier-Sorel				
aux Vaches	631A	3,00	0,00	0,94
des Plantes	669	3,00	0,00	N.D.
Saint-Amour	677A	1,30	0,00	0,00
Madame	703A	1,30	0,00	0,00
Ducharme	714A	3,00	0,00	0,00
Ducharme	716	3,00	0,00	0,19
Ducharme	717	3,00	0,90	0,13
Ducharme	720	3,00	0,00	0,10
à l'Orme	722	3,00	0,00	0,07
Lamarche	728A	3,00	0,00	0,20
Ronde	738A	3,00	0,00	0,00
Ronde	740A	1,30	0,20	1,20
Ronde	742	3,00	0,20	0,66
du Milieu	760	1,30	0,00	0,55
aux Corbeaux	797	1,30	0,40	0,21
aux Corbeaux	801	1,30	0,40	0,20
de Grâce	802A	1,30	0,20	0,25
de Grâce	804A	4,00	0,20	0,00
de Grâce	804B	4,00	2,10	0,04
de Grâce	804C	4,00	0,40	N.D.
Lapierre	805	1,30	0,00	0,00
Lapierre	806A	1,30	0,40	0,17
Lapierre	811	1,30	0,00	1,07
Lapierre	815A	3,00	0,40	2,13
Lapierre	818A	3,00	0,90	2,42
Lapierre	820	3,00	1,00	2,13
Lapierre	821	3,00	0,70	N.D.
des Barques	822	5,60	1,00	4,29
des Barques	823	5,60	0,60	N.D.
des Barques	825A	5,60	2,10	1,78
des Barques	827A	5,60	0,30	3,75
des Barques	828	5,60	0,40	N.D.
des Barques	829A	2,00	1,30	N.D.
du Moine	841A	3,00	0,40	0,57
du Moine	843A	1,30	0,20	0,00
du Moine	847A	1,30	0,20	0,18
du Moine	849A	2,70	1,10	0,52
Millette	859A	3,00	0,20	0,35
aux Raisins	861	1,30	0,10	0,37
Îlets Percés	887	1,30	0,00	0,36
Îlets Percés	888	1,30	0,20	0,62
Îlets Percés	889	1,30	0,20	0,62

Tableau 3-12 : Recul moyen des berges en érosion sévère, par secteur, dans le tronçon Montréal - Sorel (suite)

Île	Segment	Année		
		1964-1983	1983-1997	1998-2002
Zone locale - Berthier-Sorel				
Îlets Percés	890	1,30	0,20	0,62
Îlets Percés	891	1,30	0,00	0,62
Îlets Percés	892A	1,30	0,00	0,53
Zone élargie - Contrecœur				
Îlets à Lacroix	588B	2,60	0,90	1,13
Duval	593A	2,30	0,90	2,46
Duval	593D	2,30	0,70	2,90
Saint-Ours	596A	1,30	4,30	0,90
Saint-Ours	596B	1,30	3,60	2,85
Saint-Ours	599A	4,40	1,10	0,00
Saint-Ours	599B	4,40	1,30	0,00
Saint-Ours	601A	4,40	1,20	2,35
Zone d'influence - Sainte-Thérèse				
aux Vaches	456A	2,00	0,00	0,00
aux Vaches	457	2,00	0,00	0,00
Sainte-Thérèse	466B	1,70	2,10	0,00
Sainte-Thérèse	468A	2,90	1,40	N.D.
Sainte-Thérèse	468C	2,90	0,40	N.D.
Sainte-Thérèse	469A	2,90	0,90	0,80
Sainte-Thérèse	470	2,90	2,10	1,27
Sainte-Thérèse	472	1,30	1,40	0,55
au Veau	479A	1,00	0,00	0,13
au Veau	479C	1,00	0,00	0,08
Deslauriers	491	3,30	1,90	0,76
à la Pierre	513A	1,00	0,50	0,00
Zone d'influence - Île de la Paix				
La Grande Île	534A	3,00	0,50	1,00
La Grande Île	535A	3,00	0,70	0,85
Ronde	538	1,30	0,40	0,14
Ronde	540A	3,00	0,50	0,54
à Thomas	541A	3,00	1,10	0,57
aux Plaines	555	3,00	1,00	1,02
aux Plaines	556	2,30	2,10	0,6
Zone d'influence - Varennes				
Saint-Patrice	437A	1,50	1,10	1,27
Saint-Patrice	438	1,50	1,40	1,41
Saint-Patrice	439	1,50	1,10	1,22
La Grande Île	440	1,50	2,90	2,00
aux Fermiers	442	2,90	1,30	2,17
Masta	447	2,90	0,70	1,97

Tableau 3-12 : Recul moyen des berges en érosion sévère, par secteur, dans le tronçon Montréal - Sorel (suite)

Île	Segment	Année		
		1964-1983	1983-1997	1998-2002
Zone d'influence - Verchères				
Bellegarde	516A	4,50	2,10	1,21
Bellegarde	517A	4,50	1,40	1,96
Beauregard	519A	3,00	0,70	0,12
Beauregard	519B	3,00	0,40	0,00
Marie	529	2,40	1,10	0,00
Marie	530	1,80	0,70	0,00
Marie	532	2,00	0,40	0,00
Marie	537A	1,60	0,40	0,00
L'îlet	538A	2,40	1,10	0,00
Desmarais	540	2,40	0,70	0,62
Beauregard	543	1,30	0,50	0,00
aux Prunes	546	3,10	1,10	1,97
Bouchard	556A	2,30	0,40	1,30
Bouchard	556B	2,30	0,40	2,00
Bouchard	556C	2,30	0,40	1,40
Bouchard	556D	2,30	0,40	0,32
Bouchard	557A	4,50	0,40	0,54
Bouchard	558A	4,50	0,40	0,17
Bouchard	561A	4,50	0,40	0,76
Bouchard	563A	2,60	0,20	0,30
aux Boeufs	574	3,40	0,60	0,53

Source : Dauphin et Lehoux (2004).

Entre 1998 et 2008, le suivi de l'érosion des berges a été effectué à l'aide d'un réseau de piquets repères mis en place par le Service canadien de la faune. Ce réseau était constitué de plus de 120 stations qui sont réparties dans la partie amont du Saint-Laurent, entre le lac Saint-Louis et Saint-Pierre-les-Becquets. La majorité des stations sont localisées dans le secteur de l'archipel du Lac Saint-Pierre. Un sommaire des taux de recul des berges estimés entre 1998 et 2008 (par zone) est présenté au tableau 3-13.

Tableau 3-13 : Recul moyen des berges en érosion sévère des îles dans le tronçon Montréal – Sorel entre 1998 et 2008

Zone d'étude et secteur	Année			
	1998-2002	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Zone locale				
Berthier-Sorel	0,43	0,75	1,22	0,22
Zone élargie				
Contrecoeur	1,60	0,75	4,25	1,50
Zone d'influence				
Varenes	0,90	1,15	1,80	0,45
Verchères	1,05	1,30	1,75	0,85

Source : Richard (2010).

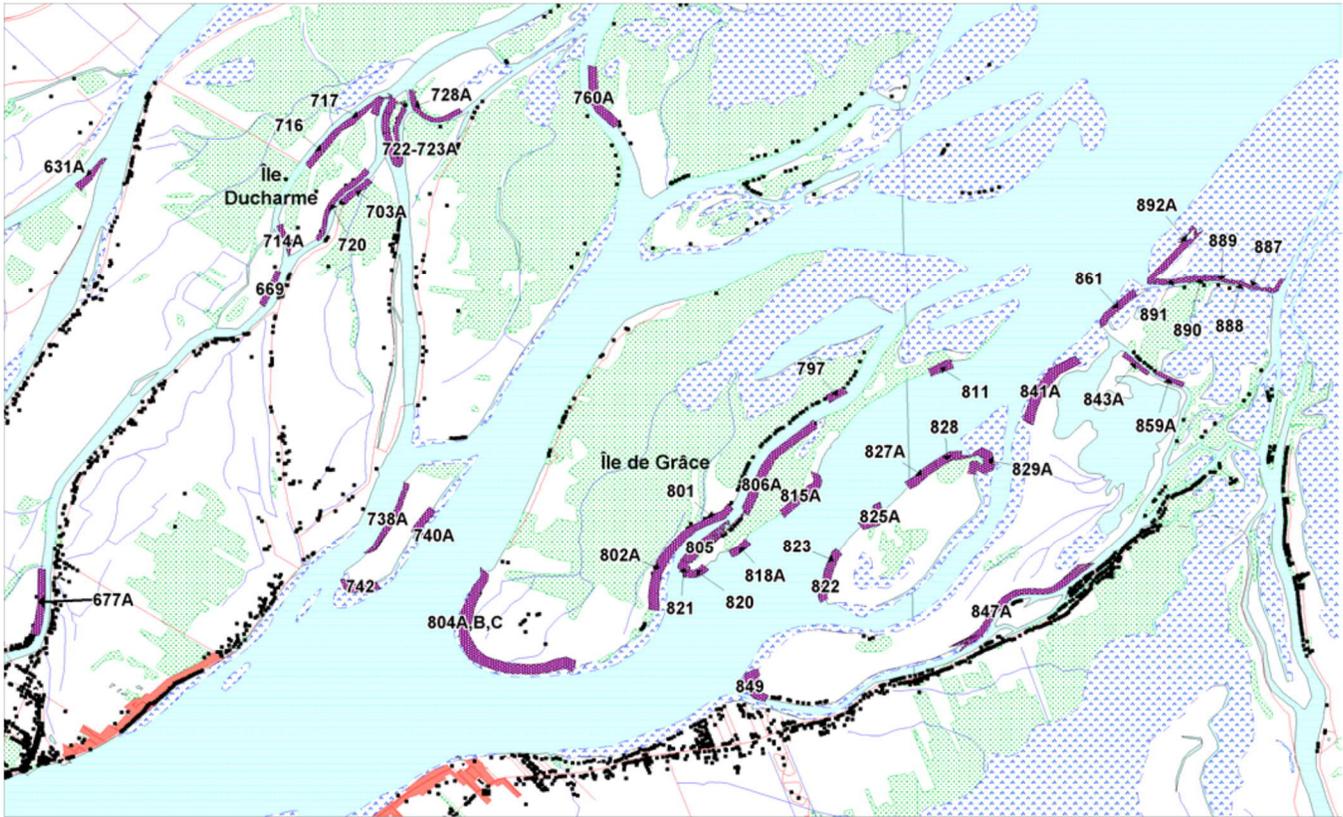
Zone d'étude locale

La moitié des rives en érosion sévère entre 1964 et 2002 était située dans certaines îles de l'archipel du Lac Saint-Pierre. Toutefois, le recul moyen de 1,48 m/an calculé dans ces îles entre 1964 et 2002 est relativement faible en comparaison de celui caractérisant les autres secteurs étudiés (Dauphin et Lehoux, 2004). Les taux de recul étaient élevés dans les îles de l'archipel entre 1964 et 1983 (figure 3-26 et tableau 3-11) et entre 2006 et 2007 (tableau 3-13). À l'opposé, le recul des berges n'était pas ou peu perceptible dans la majorité des secteurs de cette zone entre 1964 et 1997 (figure 3-27).

Une tendance distincte a été observée à l'île des Barques. Le taux était très élevé en 2005-2006 (recul de 16,40 m/an dans le segment aval; Richard, 2010) alors que le taux mesuré en 2007-2008 était à la baisse (3,84 m/an), mais restait de beaucoup supérieur à ceux mesurés ailleurs sur l'île (0,70 m/an) et ailleurs dans l'archipel du Lac Saint-Pierre (0,22 m/an). L'étude de Richard (2010) a démontré que la partie nord-est de l'île des Barques est la plus touchée par l'érosion. Le recul des berges a été de 15 m/an, en moyenne, entre 2005 et 2007. Ce recul serait principalement dû à l'effet érosif des vagues générées par les vents qui soufflent sur le lac Saint-Pierre. Les vents soufflent en direction de la pointe aval de l'île sur une plus longue distance (fetch), ce qui permet de générer des vagues d'une plus grande puissance, comparativement au restant des îles. La proximité au chenal de navigation, situé à seulement 280 m, pourrait également expliquer l'érosion accrue à cet endroit. De plus, la faible hauteur d'eau entre l'île des Barques et le chenal, combinée à la forme de l'île, font en sorte que les vagues de batillage sont plus puissantes à l'aval de l'île qu'à son centre.

Il est à noter qu'en 2006-2007, alors que toutes les stations montraient une augmentation du recul annuel des berges à cause de la hausse du niveau du fleuve, la station aval de l'île des Barques enregistrait une diminution (de 16,4 m/an à 13,5 m/an). Les vents provenant du lac Saint-Pierre pourraient être plus déterminants dans ce secteur que les fluctuations du niveau de l'eau (Richard, 2010), quoiqu'une variation spatiale des caractéristiques du sol pourrait également expliquer cette différence. En 2007-2008, l'érosion n'a été que de 3,84 m/an à la station aval de l'île des Barques. Cette différence marquée (entre 2006-2007 et 2007-2008) est la conséquence directe des très bas niveaux d'eau. Cette diminution du recul des berges est encore plus importante sur les autres stations de l'île des Barques où l'érosion est passée de plus de 6,0 m/an à moins de 0,7 m/an.

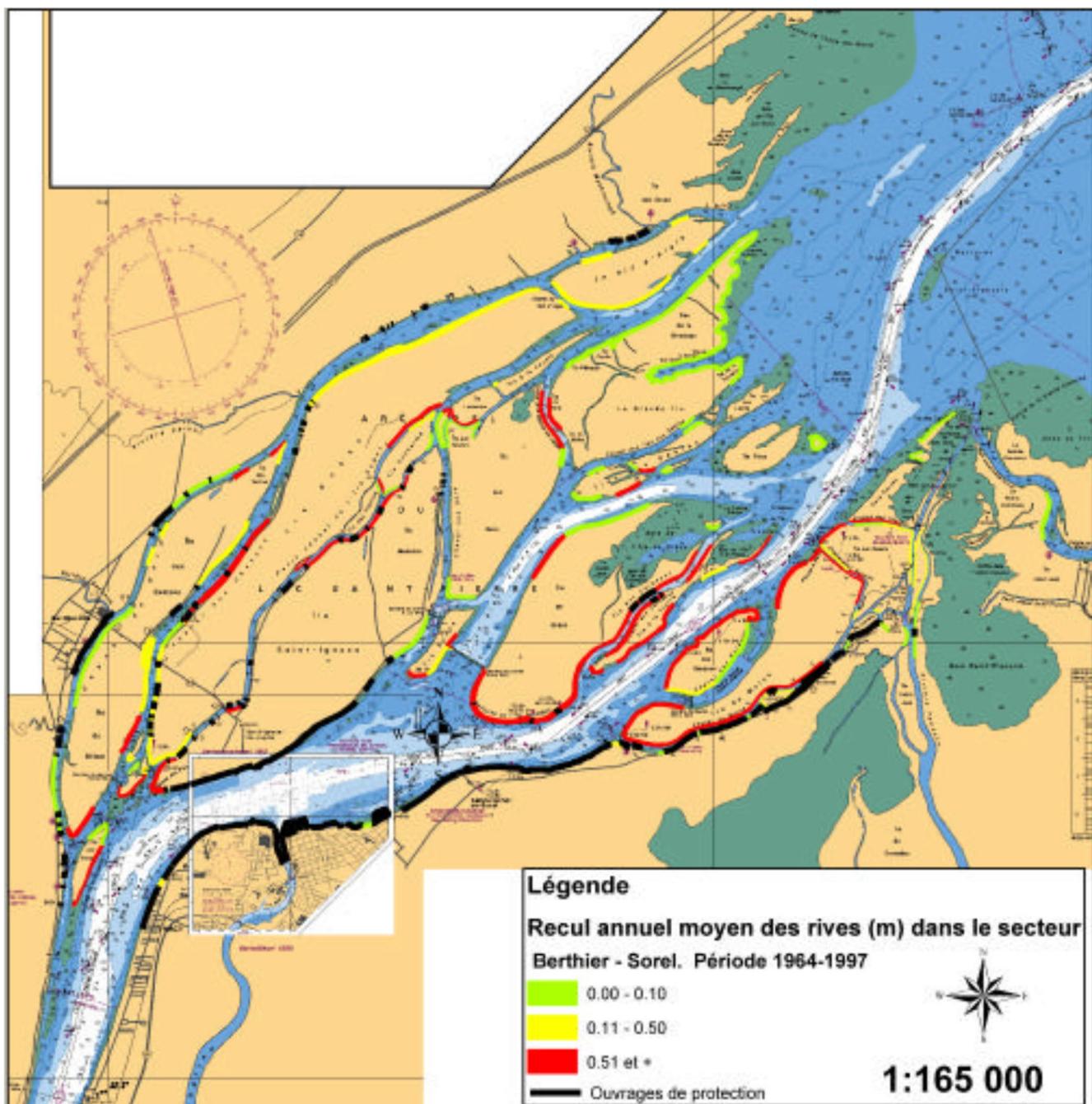
En ce qui a trait à la rivière Richelieu, Boyer *et al.* (2010) ont utilisé le modèle SEDROUT4-M pour simuler ses apports de sédiments dans le lac Saint-Pierre sur la base de six projections climatiques entre 2010 et 2099 (voir section 3.4.3). Comparativement à la période 2000-2004, le modèle a prédit que le volume annuel moyen de sédiments apportés à l'embouchure de la rivière Richelieu augmentera jusqu'à 530 %, avec des apports atteignant 116 000 m³/an d'ici 2099.



Source : Dauphin et Lehoux (2004)

Figure 3-26 : Localisation des rives en érosion sévère (zones en mauve) dans l'archipel du Lac Saint-Pierre pendant la période 1964-1983

Note : Les libellés sur cette figure correspondent aux emplacements qui ont été retenus par Dauphin et Lehoux (2004) pour l'application de mesures de protection contre l'érosion.

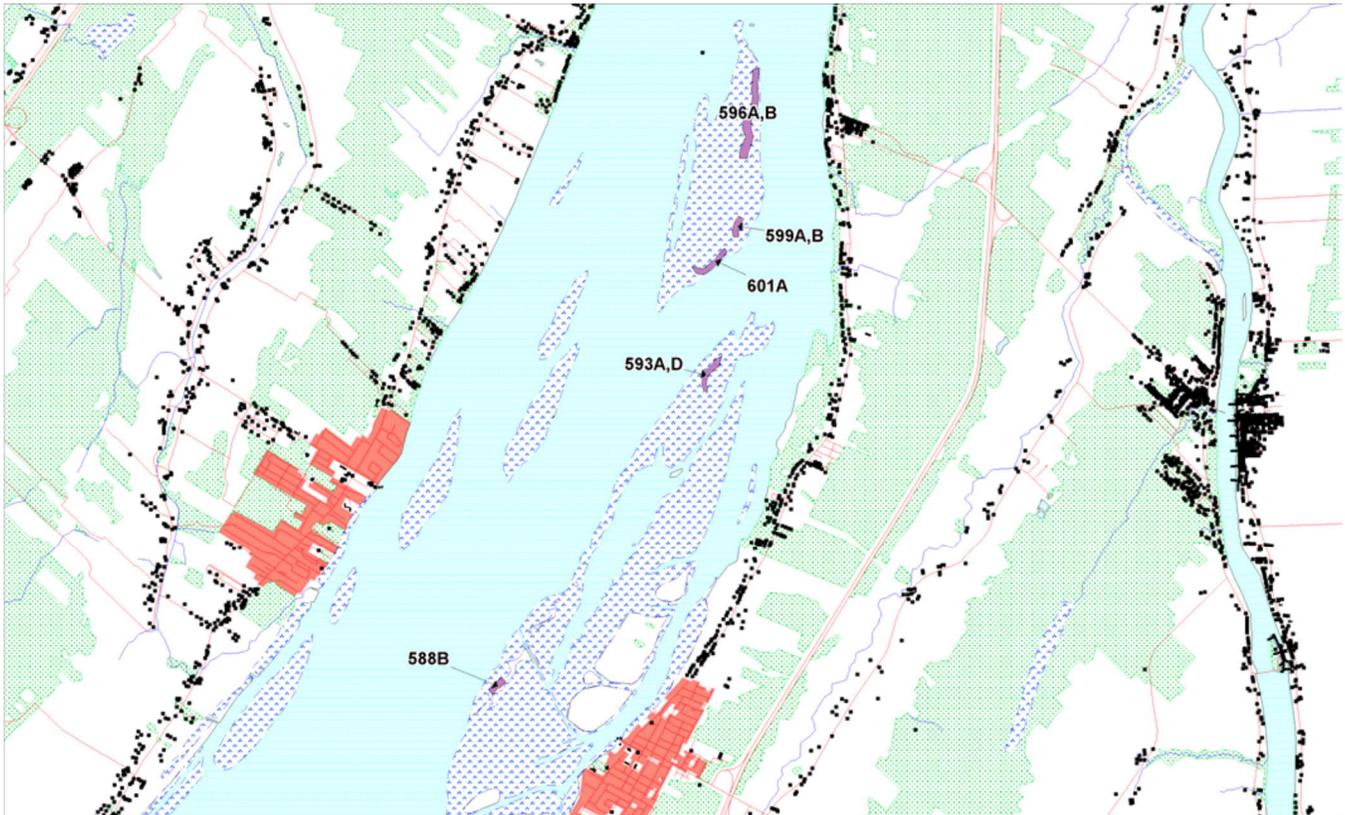


Source : http://www.marinfo.gc.ca/doc/erosion/erosion_des_berges_fr.pdf

Figure 3-27 : Recul annuel moyen des rives (m) entre 1964 – 1997 dans l'archipel du Lac Saint-Pierre

Zone d'étude élargie

Des taux de recul élevés sont observés dans les îles de Contrecœur (tableaux 3-11 et 3-13). En effet, on y observe des taux variant entre 0,70 et 4,40 m/an (moyenne de 2,30, 2,60 et 1,76 m/an respectivement pour les périodes 1964-1983, 1983-1997 et 1998-2002). Le taux calculé pour la période 2006-2007 par Richard (2010), soit 4,25 m/an, est supérieur à la moyenne des taux mesurés sur les berges sévèrement érodées entre 1964 et 2002 par Dauphin et Lehoux (2004) sur huit segments des îles de l'archipel de Contrecœur (leur emplacement est présenté à la figure 3-28). En revanche, les taux étaient plus bas en 2005-2006 (0,75 m/an) et en 2007-2008 (1,50 m/an).



Source : Dauphin et Lehoux (2004)

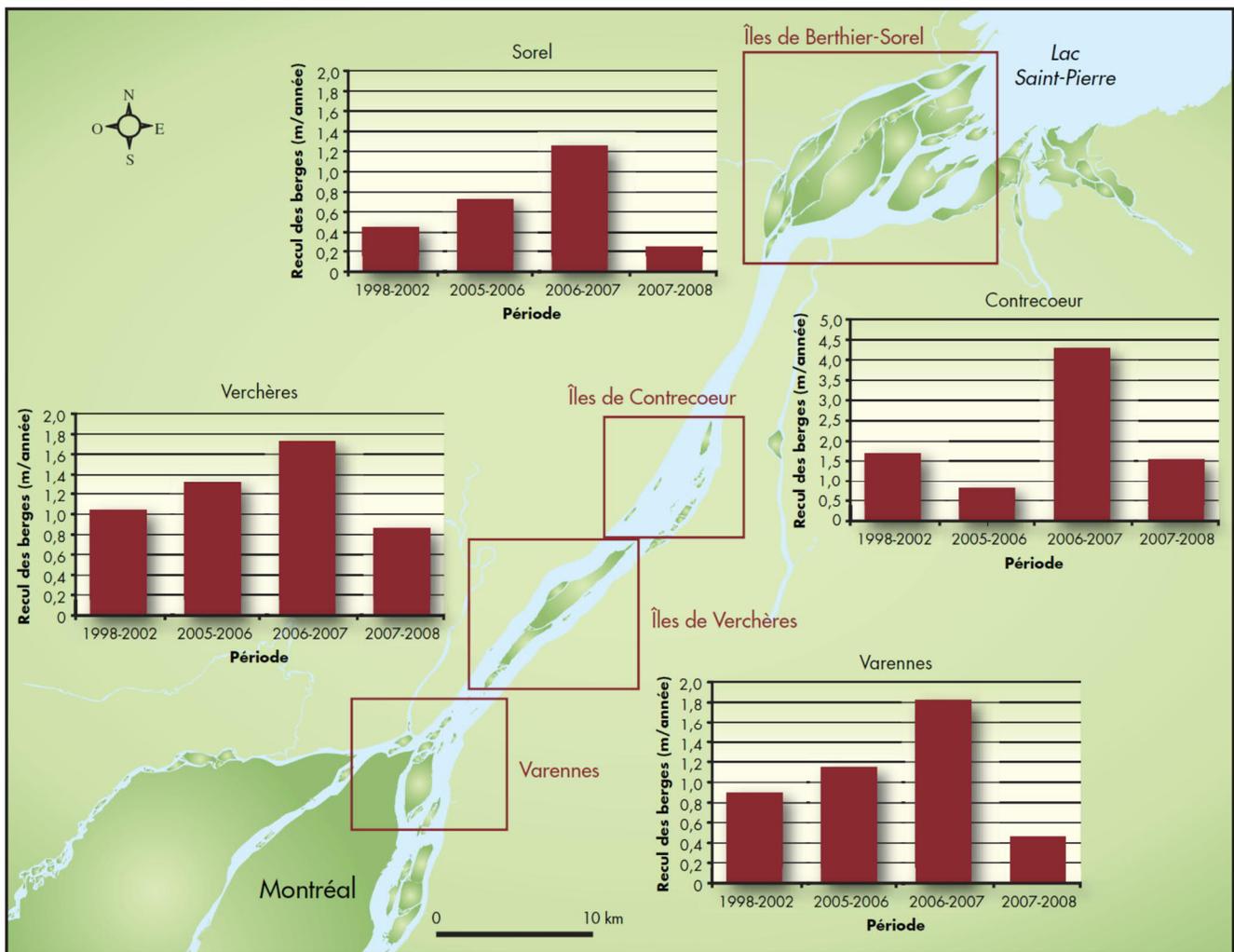
Figure 3-28 : Localisation des rives en érosion sévère (zones en mauve) dans l'archipel de Contrecœur durant la période 1964-1983

Note : Les libellés sur cette figure correspondent aux emplacements qui ont été retenus par Dauphin et Lehoux (2004) pour l'application de mesures de protection contre l'érosion.

Zone d'influence

Les taux d'érosion les plus élevés sur les berges sévèrement érodées entre 1964 et 1983 ont été mesurés aux îles de Verchères (2,80 m/an) (tableau 3-11).

Des taux d'érosion variant entre 1,75 et 1,80 m/an ont été mesurés dans les îles de Verchères et de Varennes en 2006-2007 (figure 3-29 et tableau 3-13). Les taux les plus faibles pendant la période 1998-2008 ont été mesurés l'année suivante, en 2007-2008, avec des reculs respectifs de 0,85 m/an et 0,45 m/an (figure 3-29 et tableau 3-13). Ceci démontre la variabilité interannuelle de l'érosion. Cependant, on note des patrons similaires entre les zones de Berthier-Sorel, Verchères et Varennes puisque le recul des berges (m/an) a augmenté entre 1998 et 2007 pour diminuer en 2007-2008. À noter que le patron est différent à Contrecoeur, où le taux de recul a diminué en 2005-2006, et où les taux de recul mesurés y sont plus élevés (figure 3-29).



Source : Richard (2010)

Figure 3-29 : Recul moyen annuel des berges en divers secteurs situés entre le lac Saint-Pierre et Montréal

3.6 Qualité des eaux de surface

Les informations sur la qualité de l'eau proviennent de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA)²³ fournie par le MELCC. Afin d'évaluer la qualité globale de l'eau de surface, le MELCC utilise l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) qui se base sur la concentration de cinq ou six variables selon la disponibilité des données, soit le phosphore total, les coliformes fécaux, les matières en suspension, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates et la chlorophylle *a* totale. L'IQBP varie de 0 (eau de très mauvaise qualité) à 100 (eau de bonne qualité) (MELCC, 2019).

Zone d'étude locale

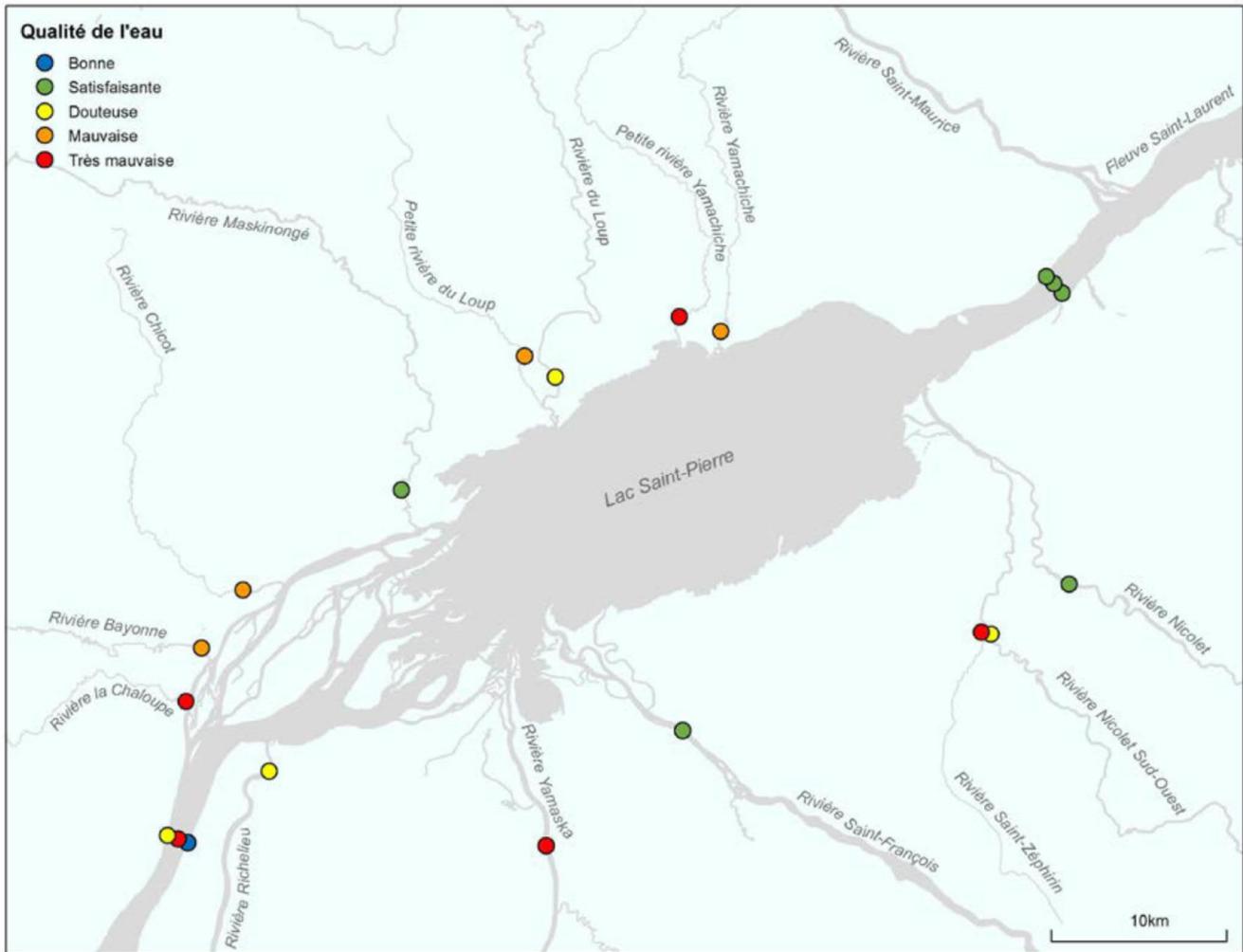
La qualité de l'eau du lac Saint-Pierre est influencée par des pressions anthropiques telles que la pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole autour de son bassin versant (Berryman *et al.*, 1996; Hudon et Carignan 2008). Toutefois, le fait que les eaux entrant dans le lac Saint-Pierre se mélangent très peu latéralement (Frenette *et al.*, 2006) fait en sorte que la rive nord du lac est principalement en contact avec les eaux provenant des rivières Chicot, Bayonne, la Chaloupe, Maskinongé, du Loup et Yamachiche, alors que la rive sud du lac est principalement en contact avec les eaux des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François.

Patoine (2017) a analysé les charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension calculées pour la période de 2009 à 2012 à l'embouchure d'une soixantaine de rivières du Québec dont certaines sont situées dans la zone d'étude locale. Toutefois, la section ci-dessous présente plutôt les résultats de Simoneau (2017), car la période d'étude est plus récente. En effet, Simoneau (2017) a examiné l'évolution temporelle de la qualité de l'eau de huit tributaires ayant fait l'objet d'un suivi régulier de 1979 à 2014 et brossé le portrait de la qualité de l'eau du fleuve et des tributaires du lac Saint-Pierre à partir des données récoltées entre 2012 et 2014. La qualité générale de l'eau mesurée à l'embouchure des tributaires du lac Saint-Pierre varie de satisfaisante à très mauvaise (figure 3-30). Au cours des 36 années étudiées, une amélioration notable a été observée pour la qualité bactériologique de l'eau et des tendances significatives à la baisse ont été notées pour les concentrations de phosphore. Toutefois, Simoneau (2017) a également démontré que la fréquence des dépassements du critère de qualité du phosphore (30 µg/l) varie de 17 % à 100 % pour les tributaires du lac Saint-Pierre, et l'amplitude²⁴ des dépassements varie de 1,5 à six fois la valeur du critère pendant la période 2012-2014.

Les faits saillants de l'étude de Simoneau (2017) pour les tributaires présents dans la zone d'étude locale pour la période 2012-2014 sont présentés ci-après. Il est à noter que la qualité de l'eau de la rivière Richelieu est présentée dans la sous-section suivante, soit dans la zone d'étude élargie.

²³ http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/stations/stations_rivieres.asp

²⁴ Simoneau (2017) définit l'amplitude comme étant la moyenne des mesures qui dépassent le critère de qualité de l'eau divisée par ce critère.



Source : Simoneau (2017)

Figure 3-30 : Qualité générale de l'eau du fleuve et des tributaires du lac Saint-Pierre, évaluée au moyen de l'IQBP6 calculé à partir des données de la période 2012-2014

Rivière Chicot

Les données ont révélé que la qualité générale de la rivière Chicot est mauvaise, en raison principalement des concentrations élevées de phosphore et de MES. Une fréquence élevée de dépassements de la valeur repère de 1 mg N/l a été aussi observée pour l'azote total. La coloration prononcée et la turbidité naturelle des eaux pourraient expliquer la faible productivité de la rivière. La qualité bactériologique de l'eau est satisfaisante au cours de la période de mai à octobre, en l'absence de dépassements du critère de contact indirect.

Rivière Bayonne

Les données ont indiqué que la qualité générale de la rivière Bayonne est mauvaise. En dépit des diminutions notées dans les concentrations de phosphore, les concentrations élevées d'éléments nutritifs et de matières en suspension réduisent encore la qualité de l'eau. La qualité bactériologique a été jugée satisfaisante de mai à octobre, avec une fréquence de dépassements du critère de contact indirect de 6 %.

Rivière la Chaloupe

Les données ont indiqué que la qualité générale de l'eau de la rivière la Chaloupe est très mauvaise, en raison principalement des concentrations élevées de nitrates-nitrites enregistrées à son embouchure. Toutes les concentrations de phosphore total dépassent aussi la valeur du critère de qualité. Les concentrations élevées d'éléments nutritifs expliquent les concentrations appréciables de chlorophylle-a qui dépassent la valeur repère de 8,6 µg/l dans 41 % des échantillons. La qualité bactériologique estivale (mai à octobre) de l'eau est satisfaisante, avec une fréquence de dépassements du critère de contact indirect de 11 %.

Rivière Maskinongé

Les données ont indiqué que la qualité générale de l'eau est satisfaisante. Les concentrations de phosphore dépassent la valeur du critère (30 µg P/l) dans 50 % des échantillons prélevés, ces derniers présentant une teneur moyenne de 39 µg P/l. Les résultats de la qualité bactériologique ont démontré des fréquences de dépassements au cours des mois de mai à octobre de 6 % pour le critère²⁵ de contact indirect et de 44 % pour le critère de contact direct.

Lac Saint-Pierre

Malgré le fait que le lac Saint-Pierre soit situé en aval de la zone d'étude locale du projet, un portrait sommaire de sa qualité de l'eau est tout de même présenté ici. Hudon et Carignan (2008) ont évalué la variation spatiale de la qualité de l'eau dans le lac Saint-Pierre pendant la saison libre de glace sur la base de neuf jours d'échantillonnage (une journée en 2013 et huit journées en 2014). À chaque campagne, des échantillons ont été prélevés à des stations (de 80 à 110) réparties le long de cinq transects (T1 à T5) traversant le lac Saint-Pierre d'une rive à l'autre (figure 3-31). La turbidité, la conductivité, la température, l'oxygène dissous et le pH ont été mesurés *in situ* et la matière en suspension, le phosphore total, le phosphore total dissous, le NO₂ + NO₃, le NH₄, le carbone organique dissous et la biomasse phytoplanctonique ont été analysés en laboratoire. Les résultats ont démontré que plus de 40 % des échantillons avaient des teneurs en phosphore total excédant le critère québécois de qualité des eaux (30 µg P/l) et que la qualité de l'eau était généralement meilleure dans des conditions de faibles niveaux d'eau (< 4,0 m) et débit faible (< 9 800 m³/s), soit au cours des mois de juillet, août, octobre et novembre 2004. À l'opposé, la qualité de l'eau était la plus basse en conditions de fort débit et dans les milieux riverains peu profonds, car ces zones sont influencées par les petits tributaires drainant des terres agricoles. Les auteurs ont démontré que la rétention des éléments nutritifs se produisait principalement en été, lorsque les macrophytes étaient abondants et les courants faibles.

Finalement, il est à noter que Giroux (2018) a démontré la présence de pesticides dans les eaux peu profondes bordant le lac Saint-Pierre. En effet, selon l'année et le site d'échantillonnage, de 12 à 21 pesticides sont détectés dont les principaux sont l'atrazine, le S-métolachlore et le glyphosate. Giroux (2018) a également détecté la présence de glyphosate dans les sédiments déposés au fond du lac.

²⁵ Le critère de contact indirect (canotage, pêche, etc.) est de 1000 UFC de coliformes fécaux/100 ml, alors que le critère de contact direct (baignade, planche à voile, etc.) est de 200 UFC coliformes fécaux/100 ml.

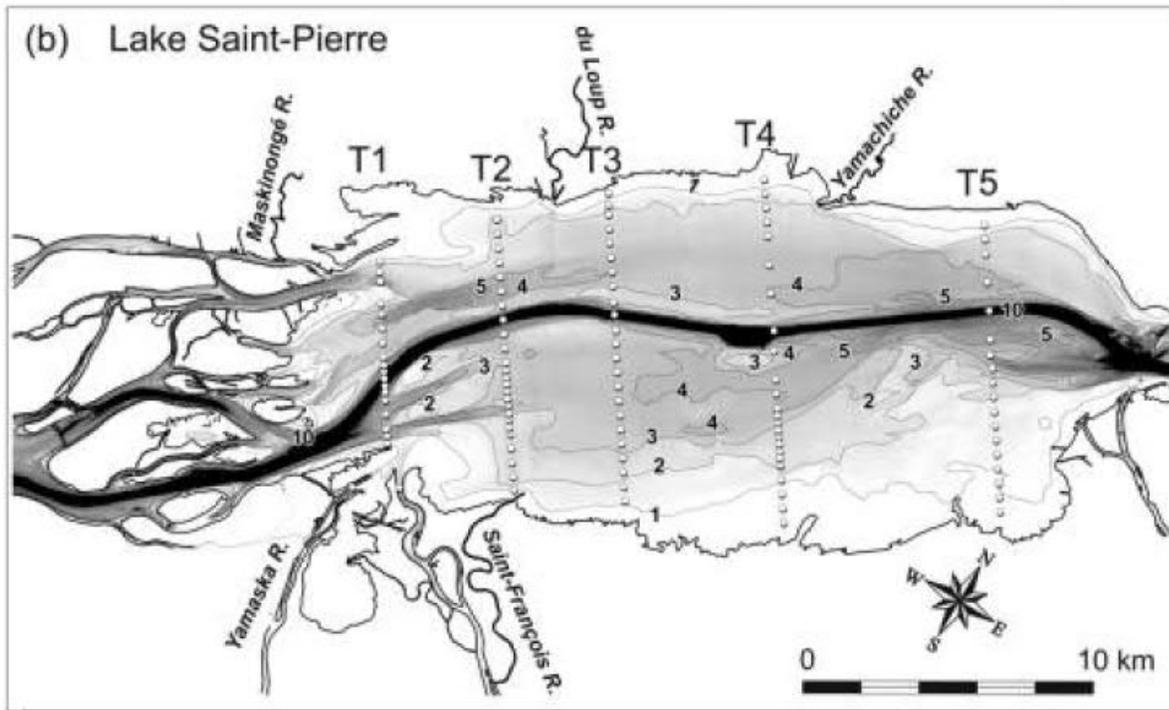


Figure 3-31 : Localisation des cinq transects d'échantillonnage (T1 à T5) de Hudon et Carignan (2008)

Zone d'étude élargie

Quatre stations de mesure sont localisées dans la zone d'étude élargie (carte 3-7). Trois de ces stations de mesure sont situées dans le fleuve Saint-Laurent (sud, centre et nord), soit à environ 5,5 km en amont de l'archipel du lac Saint-Pierre. La quatrième station est localisée à 1,6 km de l'embouchure de l'un des plus importants tributaires de la zone d'étude, en amont des reervoirs, soit celle de la rivière Richelieu.

L'IQBP calculé à partir des données recueillies par le MELCC entre 2015 et 2017 et présenté au tableau 3-14 indique que la qualité de l'eau est bonne à la station de la rive sud du fleuve (88), très mauvaise à la station située au centre (4) et de qualité douteuse à la station de la rive nord (50), tandis qu'elle est considérée satisfaisante à la station de la rivière Richelieu (67) (voir figure 3-30).

Tableau 3-14 : Qualité globale de l'eau de surface selon l'indice de la qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) aux stations de la zone d'étude élargie entre 2015 et 2017

Stations	Coliformes fécaux	Chlorophylle a totale	Azote ammoniacal	Nitrites-nitrates	Phosphore total	Matières en suspension	IQBP
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive sud) 00000086	89	90	100	92	100	-	88
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (au centre) 00000087	4	91	98	91	100	-	4
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive nord) 00000088	50	88	98	90	88	-	50
Rivière Richelieu (1,6 km de son embouchure) 03040009	97	76	100	89	82	73	67

Source : MELCC, 2019 (http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_iqbp.asp)

Les trois stations dans le fleuve Saint-Laurent ainsi que celle à 1,6 km de l'embouchure de la rivière Richelieu ne montrent aucune tendance temporelle quant à l'azote ammoniacal, aux nitrites-nitrates, et aux matières en suspension au cours de la décennie comprise entre 2002 et 2011 (tableau 3-15). Deux des stations du fleuve, soit celle de la rive sud et celle de la rive nord, montrent une augmentation de la concentration en chlorophylle a active de 79 % et 37 % respectivement. Une tendance à la hausse des coliformes fécaux est observable au niveau de la station de la rive sud du fleuve (118 %). À cet endroit, la concentration de coliformes fécaux a plus que doublé en 10 ans. Des améliorations significatives de la qualité de l'eau sont notables au niveau de la station de la rivière Richelieu, où la concentration en coliformes fécaux a diminué de 60 %, ainsi qu'au niveau de la masse d'eau du nord du fleuve, où les concentrations de phosphore affichent une tendance à la baisse d'environ 24 %.

Tableau 3-15 : Tendances et variation de l'évolution temporelle des concentrations médianes mensuelles des six paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau aux stations de la zone d'étude élargie entre 2002 et 2011

Stations	Coliformes fécaux	Chlorophylle a active	Azote ammoniacal	Nitrites et nitrates	Phosphore total	Matières en suspension
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive sud) 00000086	+118%	+79%	-	-	-	-
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (au centre) 00000087	-	-	-	-	-	-
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive nord) 00000088	-	+37%	-	-	-24%	-
Rivière Richelieu (1,6 km de son embouchure) 03040009	-60%	-	-	-	-	-

Source : MELCC, 2019 (http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/evolution/evolution_p_tot.asp)

Les données sur la concentration de matières en suspension (MES) colligées par le MELCC entre 2015 et 2017, présentées au tableau 3-16, indiquent une différence selon la position des stations dans l'axe transversal du fleuve, directement en amont de la zone d'étude locale. La concentration de matières en suspension dans le fleuve est en moyenne plus élevée au niveau de la masse d'eau longeant la rive nord (11,3 mg/l) que celle de la rive sud (5,0 mg/l) et du centre (5,6 mg/l). Ceci est dû au fait que le secteur en amont du lac Saint-Pierre est constitué principalement de deux masses d'eau nommées eaux brunes et eaux vertes. La masse d'eaux brunes prend son origine dans la rivière des Outaouais. Elle circule du côté nord du fleuve, rejoignant la rivière des Mille Îles, la rivière des Prairies, ainsi que la rivière L'Assomption. Cette masse d'eau est caractérisée par une forte turbidité ainsi qu'une faible minéralisation (GHD, 2016). La masse d'eaux vertes quant à elle prend son origine dans les Grands Lacs et circule sur le côté sud et au centre du fleuve, baignant les archipels de Boucherville, Varennes, Contrecoeur ainsi que le sud des îles de Verchères. Elle est caractérisée par une faible turbidité, de faibles teneurs en éléments nutritifs ainsi qu'une forte minéralisation (GHD, 2016).

En moyenne, la concentration de matières en suspension de la rivière Richelieu (8,4 mg/l) est plus élevée que celle de la masse d'eau verte du fleuve Saint-Laurent. Cette concentration est due, entre autres, au fait que le bassin versant de la rivière Richelieu traverse un territoire recouvert à 75 % de terres agricoles²⁶.

Les valeurs obtenues pour les trois stations du fleuve ainsi que celle de la rivière Richelieu ne dépassent pas les critères de protection de la vie aquatique du MELCC.

²⁶ http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/riche/riche.htm

Tableau 3-16 : Concentrations de matières en suspension (MES) aux stations de la zone d'étude élargie entre 2015 et 2017

Stations	Unité	N	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive sud) 00000086	mg/l	17	5,0	3,0	4,0	10,0
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (au centre) 00000087	mg/l	17	5,6	3,0	5,0	11,0
Fleuve Saint-Laurent sous la ligne d'Hydro-Québec à Tracy (rive nord) 00000088	mg/l	17	11,3	4,0	9,0	35,0
Rivière Richelieu (1,6 km de son embouchure) 03040009	mg/l	36	8,4	1,0	6,5	24,0

Source : MELCC, 2019 (http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_iqbp.asp)

Zone d'influence

Hudon *et al.* (2018) ont étudié les données de la qualité de l'eau colligée par ECCC entre 1970 et 2008 sur 73 sites localisés entre le lac Saint-François et le lac Saint-Pierre. Pour la période 1970-1979, ils ont démontré que les concentrations de phosphate augmentaient vers l'aval en passant de 0,025 mg P/l dans le lac Saint-François à 0,06 mg P/l dans le lac Saint-Pierre. En 2008, les concentrations de phosphore total dissous augmentaient entre le lac Saint-François et le corridor fluvial et chutaient dans le lac Saint-Pierre et l'estuaire fluvial. Les auteurs ont également noté que les concentrations de nitrates étaient faibles entre 1970 et 1979 (environ 0,2 mg N/l) dans toutes les régions. Toutefois, les concentrations de nitrates mesurées en 2008 ont montré un gradient spatial augmentant entre le lac Saint-François (0,1 mg N/l) et le lac Saint-Pierre (0,35 mg N/l). Les deux régions situées en amont (lac Saint-François et lac Saint-Louis) ont montré une baisse significative de la concentration en nitrates entre les deux périodes (1970-1979 vs 2008), tandis que les concentrations ont augmenté de manière significative entre les deux périodes dans le corridor fluvial et le lac Saint-Pierre.

Patoine (2017) a examiné les charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension (MES) calculées pour la période de 2009 à 2012 à l'embouchure de la rivière L'Assomption. Il a noté que la rivière transportait annuellement 108 tonnes de phosphore total, 231 tonnes d'azote total et 71 064 tonnes de matières en suspension excédant la charge tolérable calculée à l'aide de critères de qualité²⁷ (voir l'annexe 11 de Patoine (2017)).

Le RSMA (réseau de suivi du milieu aquatique) a mis au point l'indice COURDO, basé sur l'indice de qualité physico-chimique et bactériologique (IQPB) du MELCC. Cet indice permet d'avoir un portrait général de la qualité de l'eau du fleuve dans la région métropolitaine de Montréal à différents points de collecte entre mai et octobre. Pour chaque station d'échantillonnage au cours de la période d'étude, l'indice est calculé sur la base de la totalité des résultats obtenus pour les coliformes fécaux, du phosphore total, des matières en suspension, des métaux lourds, du pH, de l'oxygène dissous et de l'azote ammoniacal.

Un sous-indice (de 1 à 100) est accordé à chaque mesure d'un paramètre et c'est le plus faible de ceux-ci à une station d'échantillonnage qui est retenu à chaque tournée. Selon la moyenne des sous-indices recueillis au fil des tournées, chaque station d'échantillonnage se voit attribuer l'une des cotes ci-dessous.

²⁷ Les critères de qualité sont des concentrations de 0,03 mg/l pour le phosphore, 1 mg/l pour l'azote total et 13 mg/l pour les MES.

	Qualité de l'eau	Décompte
	Excellent (IR-1)	81 à 100
	Bon (IR-2)	61 à 80
	Satisfaisant (IR-3)	41 à 60
	Mauvais (IR-4)	21 à 40
	Pollué (IR-5)	1 à 20

Source : http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237_75285592&_dad=portal&_schema=PORTAL

La Ville a cartographié les résultats des années 2000, 2001, 2004, 2011, 2012 et 2017²⁸.

La station de collecte située à la confluence de la rivière des Prairies et la rivière des Mille Îles à l'embouchure de la rivière L'Assomption a été choisie afin de qualifier la qualité de l'eau du fleuve directement en aval de Montréal. Selon cet indice, la qualité de l'eau du fleuve était « polluée/critique » en 2000, 2001 et 2004, « satisfaisante » en 2011, « mauvaise » en 2012 et majoritairement « bonne » en 2017.

3.7 Contamination des sédiments

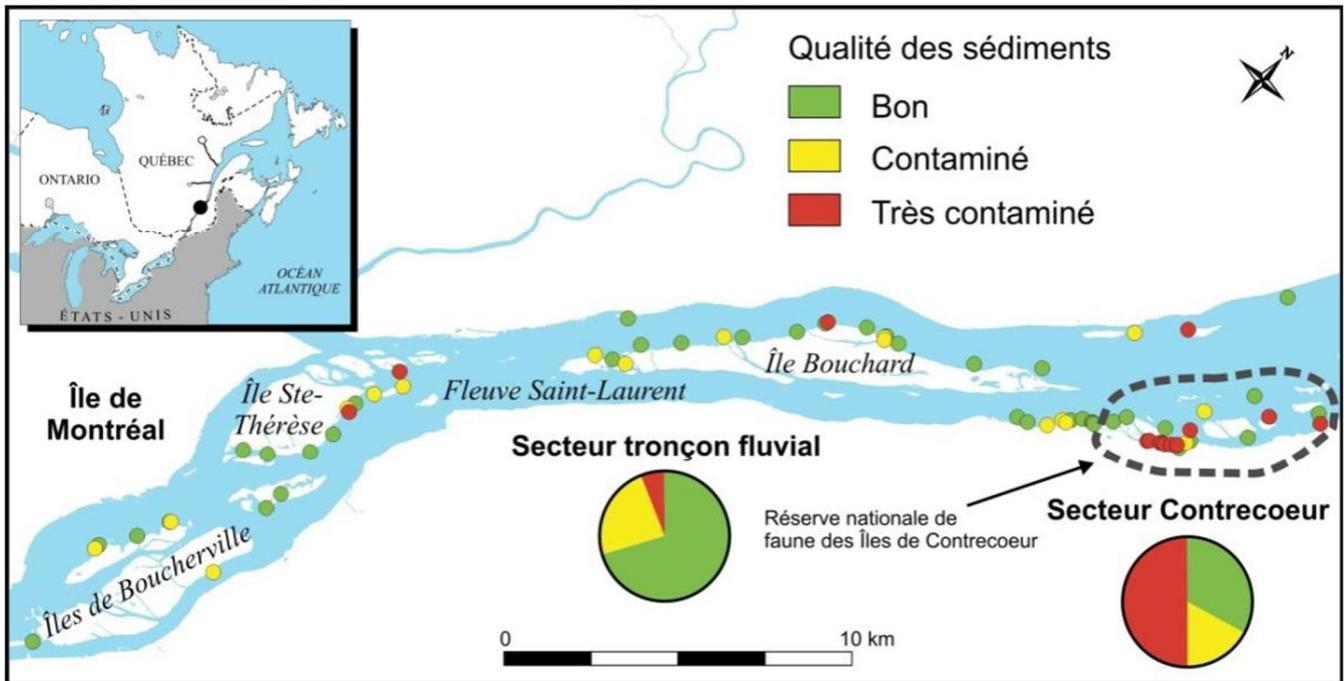
Le degré de contamination des sédiments dans le fleuve varie en fonction de l'emplacement le long du tronçon Montréal-Contrecoeur (figure 3-30). Les contaminants proviennent principalement des rejets d'eaux usées de la région métropolitaine de Montréal ainsi que des zones industrialisées de l'est de Montréal et du Port de Montréal. Outre la proximité d'une source de contaminants, le degré de contamination dépend des conditions hydrauliques (permettant ou pas le dépôt de sédiments) et de la présence de plantes et sédiments fins (favorisant l'absorption des contaminants).

Le secteur de Contrecoeur est le secteur où la contamination est la plus importante (Pelletier, 2019); les contaminants qui y ont été trouvés incluent le mercure, les métaux lourds (chrome, plomb et zinc) et les butylétains. Des échantillons très contaminés ont également été détectés aux îles Sainte-Thérèse et Bouchard (figure 3-30). Dans le secteur de l'ancienne centrale thermique de Tracy, c'est-à-dire sur la rive sud du fleuve en amont de la zone d'étude locale, les hydrocarbures pétroliers (HP), biphényles polychlorés (BPC) et tributylétains n'ont pas été détectés dans les sédiments en 2016 (AECOM, 2016). Cependant, des dépassements de cadmium et de HAP ont été détectés à certaines stations (AECOM, 2016).

De façon générale, la qualité des sédiments s'est grandement améliorée entre 1976 et 2013 dans l'archipel du Lac Saint-Pierre au point où les concentrations de contaminants provenant des industries, de l'agriculture et des milieux urbains sont maintenant inférieures aux seuils à partir desquels des effets néfastes peuvent être observés sur les organismes aquatiques (MDDEP, 2013). C'est le cas pour les concentrations de mercure, des métaux et des BPC (figures 3-32, 3-33 et 3-34). Cependant, les chenaux entourant les îles contiennent de fortes concentrations de penta-BDE²⁹, bien qu'elles soient en baisse depuis 2003 (figure 3-35). Également, les concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ainsi que dioxines et furanes y demeurent relativement élevées (figure 3-36).

²⁸ http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/COURDO_TOURS_2004.PDF

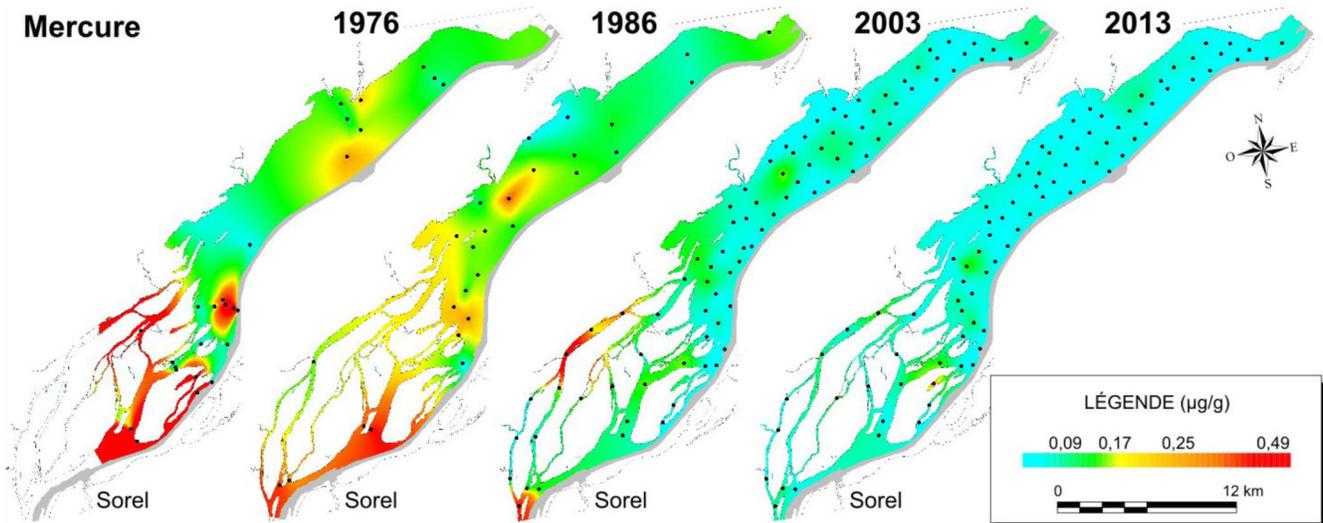
²⁹ Les BDE sont des bromodiphényléthers utilisés pour ignifuger les matières plastiques et les textiles.



Source : Pelletier (2019)

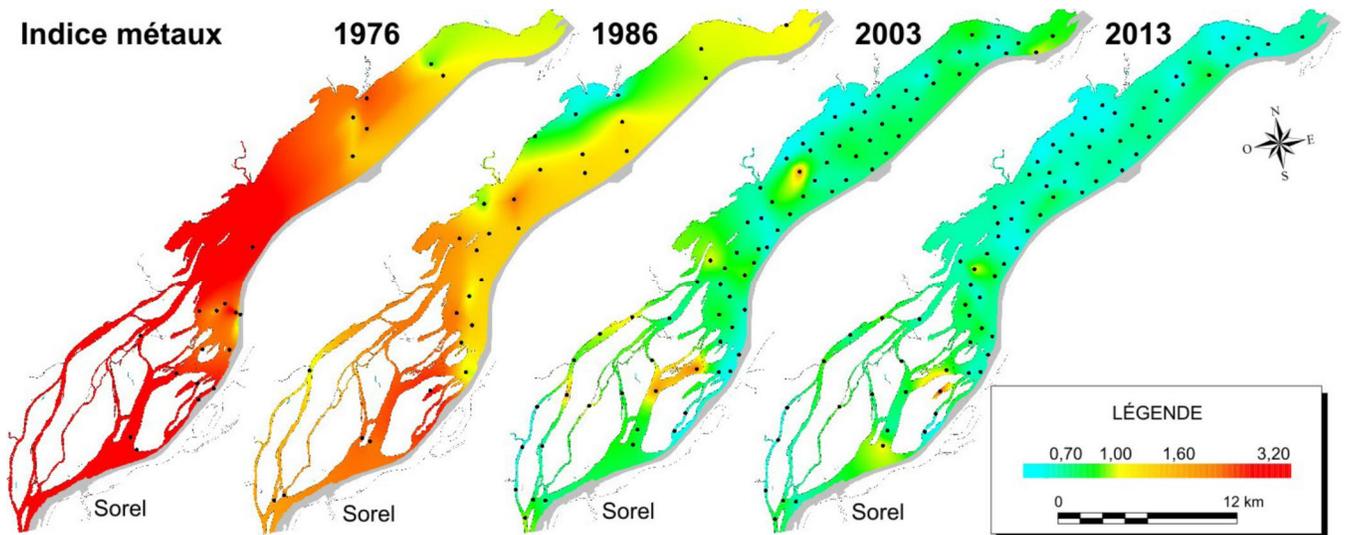
Figure 3-32 : Qualité des sédiments dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent compris entre Montréal et Contrecoeur entre 2004 et 2014

(Note : Les pointes de tartes sur cette figure représentent la proportion des sites classés selon la qualité des sédiments échantillonnés).



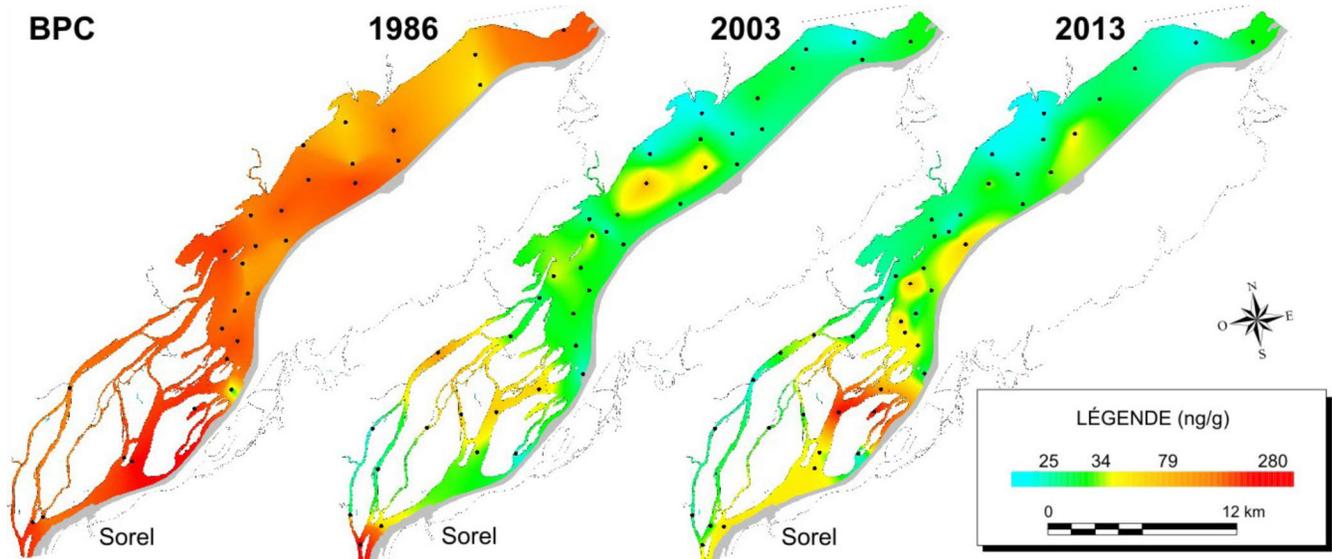
Source : MELCC (2018)

Figure 3-33 : Évolution des concentrations de mercure dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1976 et 2013



Source : MELCC (2018)

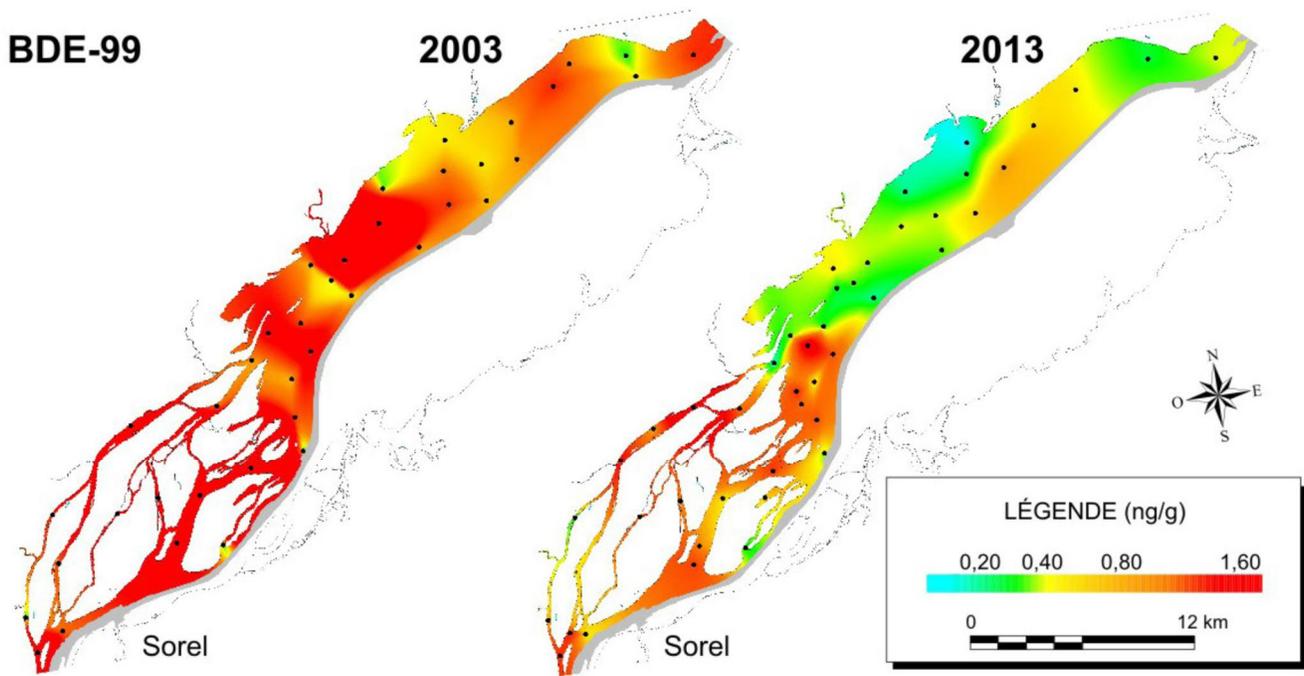
Figure 3-34 : Évolution de l'indice métaux dans les sédiments de surface du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1976 et 2013



Source : MELCC (2018)

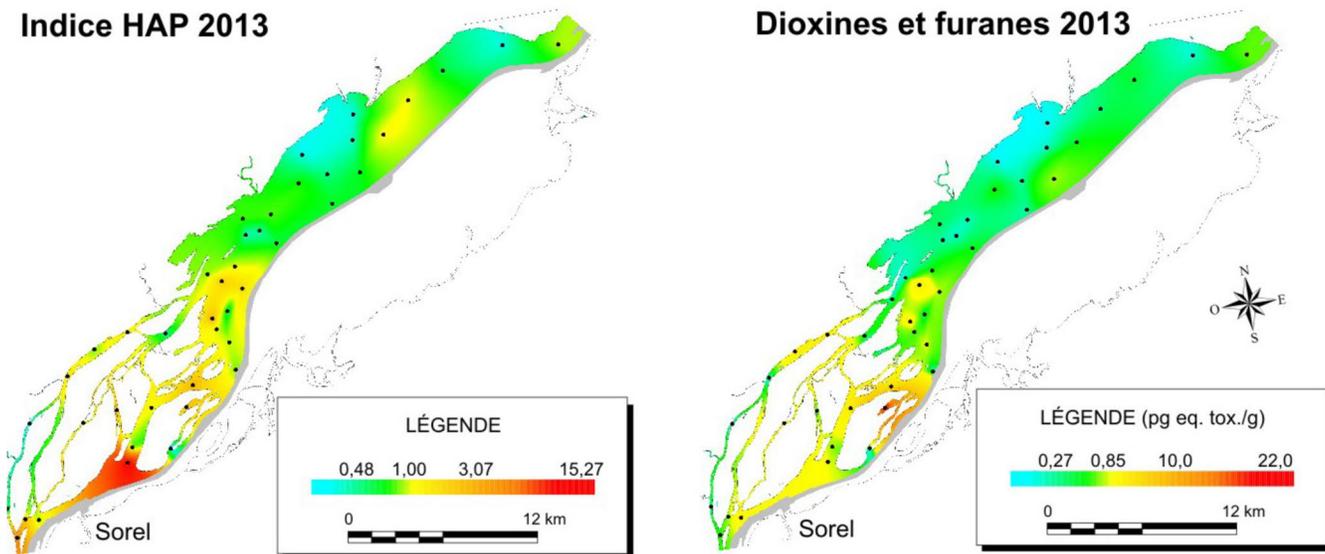
Figure 3-35 : Évolution des concentrations de BPC dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 1986 et 2013

Source : MELCC (2018).



Source : MELCC (2018)

Figure 3-36 : Évolution des concentrations de BDE-99 dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel entre 2003 et 2013



Source : MELCC (2018)

Figure 3-37 : Concentrations de HAP, de dioxines et de furanes dans les sédiments du lac Saint-Pierre et de l'archipel en 2013

3.8 Zones inondables

L'une des principales caractéristiques du lac Saint-Pierre est la présence d'une plaine inondable dont la superficie peut atteindre 140 km² lors des crues printanières (La Violette, 2004). Ce territoire est normalement submergé à partir du mois d'avril pour une période pouvant aller jusqu'à neuf semaines (MDDEFP, 2013).

3.8.1 Cotes d'inondation de récurrence de 20 ans et de 100 ans

La magnitude d'une inondation est quantifiée à partir de la fréquence à laquelle un niveau d'eau est atteint à un endroit donné. Les limites des surfaces inondées associées aux périodes de récurrence de 20 ans et de 100 ans permettent de fragmenter les surfaces terrestres qui sont occasionnellement inondées en trois zones (Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables ou PPRLPI, Gouvernement du Québec). Ces zones sont les suivantes :

- La zone littorale (associée à une récurrence de 0-2 années) correspond à la surface inondée au moins une fois par période de deux années, c'est-à-dire une zone ayant une probabilité supérieure ou égale à 50 % d'être inondée chaque année. Cette zone permet de tracer la frontière entre les rives et le littoral (soit la ligne des hautes eaux) lorsqu'il s'avère impossible de le faire à l'aide de critères botaniques.

Selon le PPRLPI, les plaines inondables sont divisées en deux zones distinctes qui tiennent compte de la fréquence de l'inondation : la zone de « grand courant » et la zone de « faible courant ».

- La zone de grand courant (associée à une récurrence de 0-20 années, ou vicennale) correspond à la limite de la crue d'un niveau atteint au moins une fois par période de 20 années.
- La zone de faible courant (associée à une récurrence de 20-100 années, ou centennale) commence là où se termine la zone de grand courant et s'étend jusqu'à la limite de la crue qui peut survenir au moins une fois par période de 100 années. Ce niveau de la crue a une probabilité de 1 % d'être atteint ou dépassé chaque année.

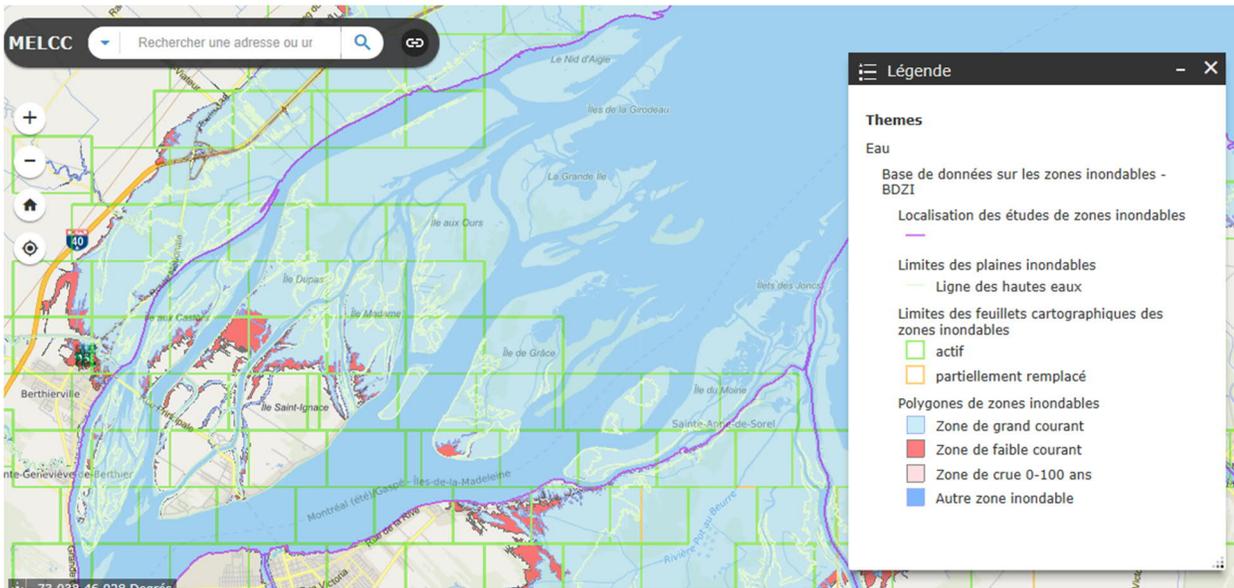
AECOM a consulté la carte interactive du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) (pour les trois zones d'étude). Cette carte présente les cartes de zones inondables produites par le gouvernement du Québec ou certaines entités municipales.

Zone d'étude locale

Lorsqu'au printemps, la fonte des neiges gonfle les rivières et le fleuve Saint-Laurent, le niveau du lac Saint-Pierre augmente de plus de 2 m, le faisant déborder largement à l'intérieur des terres (figure 3-38). Bien que l'étendue de l'inondation varie d'une année à l'autre selon l'ampleur de la crue, la carte interactive produite par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) indique que certaines îles de l'archipel du Lac Saint-Pierre sont submergées lors d'une crue de récurrence 0-20 ans (zone de grand courant).

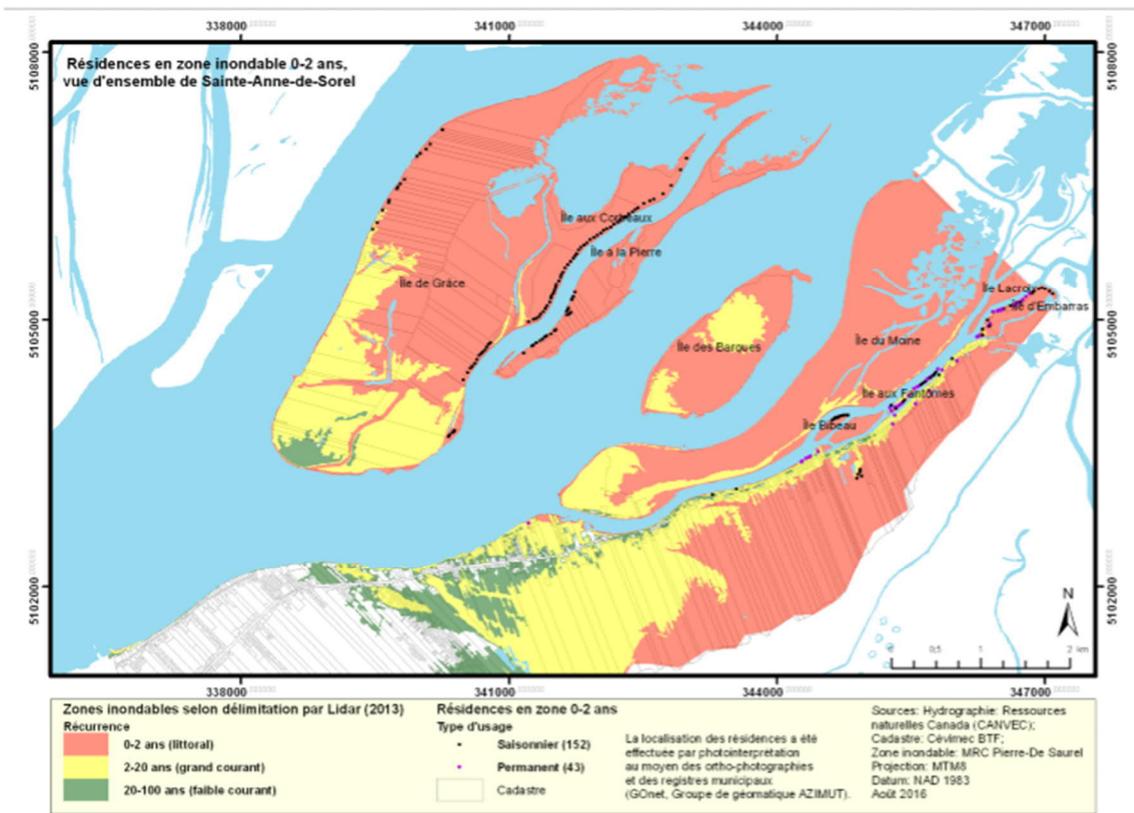
Les zones inondables peuvent également être cartographiées par les municipalités régionales de comté (MRC) ou par les municipalités locales. Ainsi, la MRC Pierre-de-Saurel a cartographié les zones inondables de son territoire sur la base d'un relevé LiDAR en 2013 (Levert *et al.*, 2016) (figure 3-39). Ils ont obtenu une cartographie similaire à celle affichée sur la carte interactive du Centre d'expertise hydrique du Québec.

Pour sa part, la MRC de D'Autray a cartographié la zone inondable de l'archipel sur la base des territoires inondés lors des inondations de 1996, 1997 et 1998. Il s'agit des seules inondations pour lesquelles la MRC dispose de données permettant d'évaluer les territoires potentiellement inondables.



Source : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>

Figure 3-38 : Zones inondables de l'archipel du Lac Saint-Pierre pour trois périodes de retour



Carte 10: Résidences situées dans la zone inondable à récurrence de 0-2 ans selon le tracé 2013, vue d'ensemble

Source : Tirée de Levert *et al.* (2016)

Figure 3-39 : Zones inondables de la MRC Pierre-de-Saurel déterminées sur la base d'un relevé LiDAR

Zone d'étude élargie

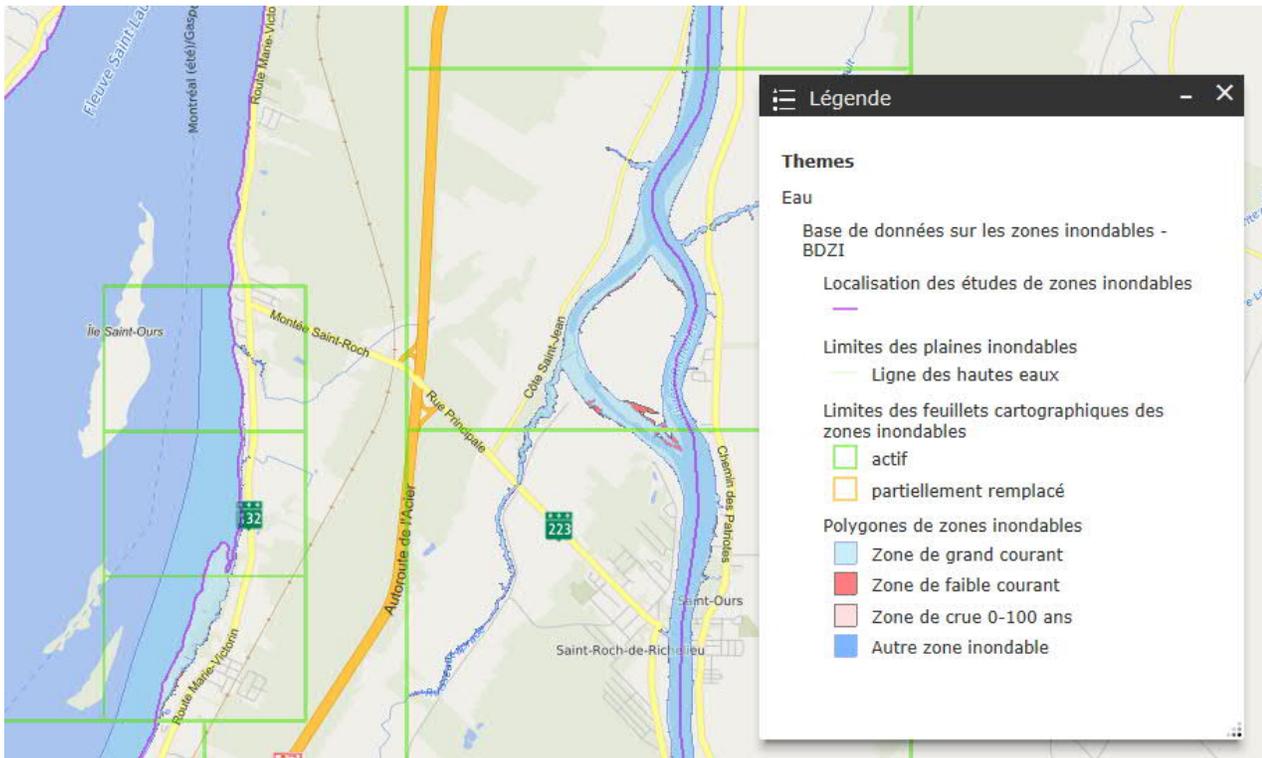
Quelques zones inondables sont observées sur les rives du Saint-Laurent dont les plus vastes sont à Saint-Sulpice sur la rive nord du fleuve (figure 3-40).

Sur la rivière Richelieu, les zones d'inondations 0-100 ans les plus vastes sont situées sur l'île Deschailons (figure 3-41).



Source : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>

Figure 3-40 : Zones inondables à Saint-Sulpice

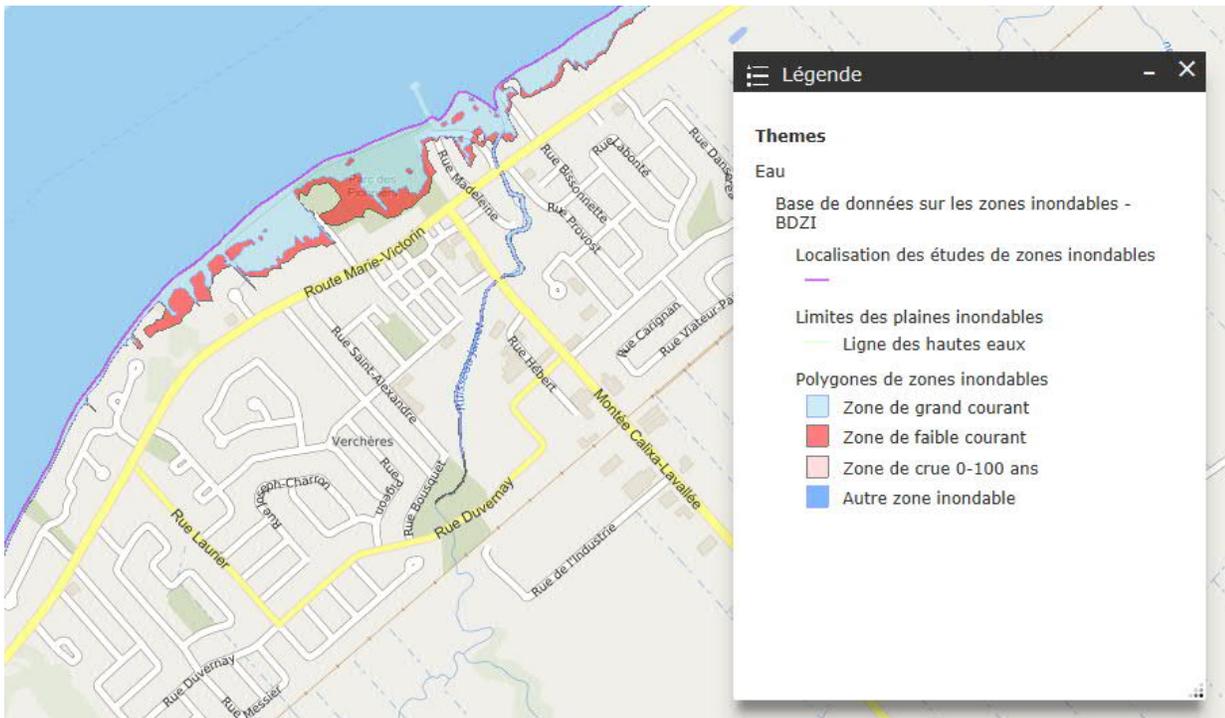


Source : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>

Figure 3-41 : Zones inondables sur l'île Deschailons

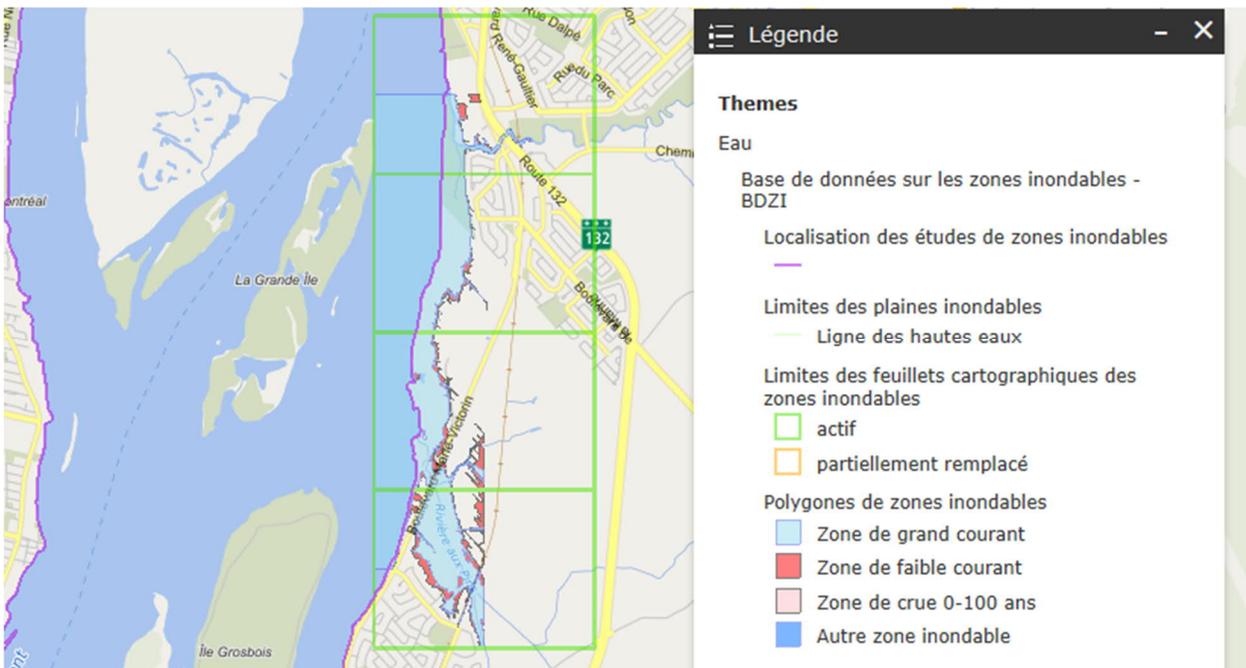
Zone d'influence

Selon de la carte interactive du Centre d'expertise hydrique du Québec, les zones d'inondations (faible courant) les plus vastes sont observées à Verchères et à Boucherville (figures 3-42 et 3-43).



Source : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>

Figure 3-42 : Zones inondables à Verchères



Source : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/carte-esri/index.html>

Figure 3-43 : Zones inondables à Boucherville

3.8.2 Zone d'intervention spéciale

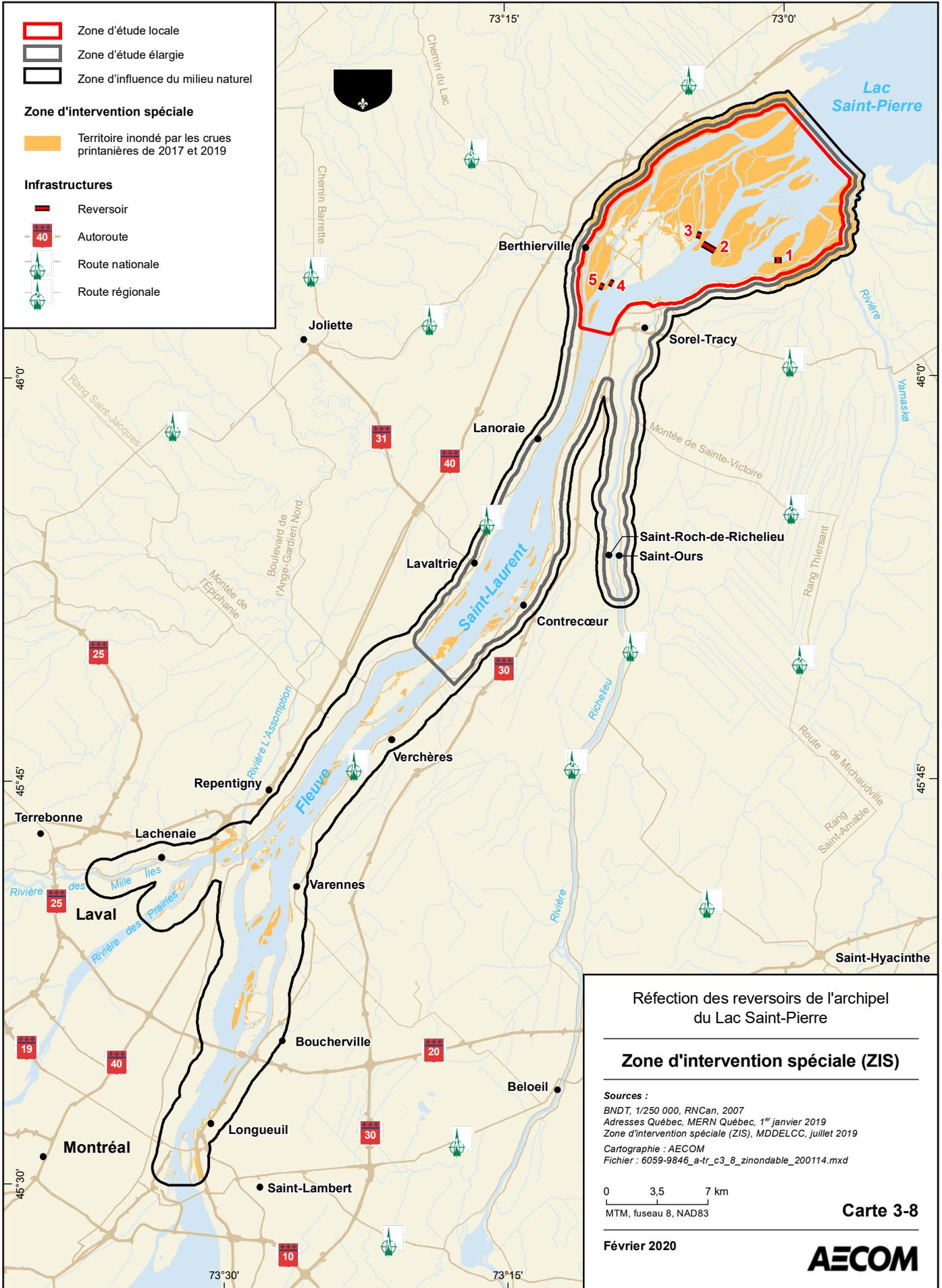
Afin de favoriser une gestion plus rigoureuse des zones inondables, le gouvernement du Québec a publié un décret le 15 juillet 2019 instituant une zone d'intervention spéciale (ZIS). Cette ZIS s'applique aux zones inondables 0-20 ans qui étaient déjà identifiées dans les outils de planification des municipalités, ainsi qu'à la délimitation qui a été réalisée par le gouvernement du Québec du territoire inondé par les crues printanières de 2017 et de 2019³⁰.

Plus de 70 % des terres émergées se trouvant dans la zone d'étude locale sont assujetties au décret concernant la ZIS (tableau 3-17), dont plusieurs îles qui se retrouvent entièrement dans la ZIS (carte 3-8). Toutefois, la cartographie de la ZIS publiée par le gouvernement du Québec n'inclut pas les zones inondables 0-20 ans malgré le fait qu'elles fassent partie de son territoire d'application.

Tableau 3-17 : Superficie de la ZIS dans les zones d'étude locale, élargie et d'influence

Zone d'étude	Terres émergées	Terres émergées touchées par la ZIS	
	km ²	km ²	%
Locale	12,5	8,77	70,1
Élargie	22,6	9,25	40,9
D'influence	36,8	10,36	28,2

³⁰ <https://www.mamh.gouv.qc.ca/ministere/inondations-printanieres-2019-zone-dintervention-speciale/>



- Zone d'étude locale
- Zone d'étude élargie
- Zone d'influence du milieu naturel

Zone d'intervention spéciale

- Territoire inondé par les crues printanières de 2017 et 2019

- Infrastructures**
- Reversoir
 - Autoroute
 - Route nationale
 - Route régionale

Réfection des réservoirs de l'archipel
du Lac Saint-Pierre

Zone d'intervention spéciale (ZIS)

Sources :
 BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
 Adresses Québec, MERN Québec, 1^{er} janvier 2019
 Zone d'intervention spéciale (ZIS), MDDELCC, juillet 2019
 Cartographie : AECOM
 Fichier : 6059-9846_a-tr_c3_8_zinondable_200114.mxd

0 3,5 7 km
 MTM, fuseau 8, NAD83

Carte 3-8

Février 2020



4 Identification préliminaire des composantes valorisées de l'environnement (CVE)

Une composante valorisée de l'environnement (CVE) est déterminée selon des idéaux culturels ou des préoccupations scientifiques (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2014).

Les composantes du milieu physique, susceptibles d'être affectées par le projet et sur lesquelles portera l'évaluation des impacts, ont été identifiées de manière préliminaire à ce stade-ci du projet. Ainsi, les CVE sont :

- Régime hydraulique
- Régime sédimentaire (processus d'érosion, de transport et de dépôt)

Le processus d'érosion est également une préoccupation de la MRC de D'Autray, car selon son Schéma d'aménagement et de développement (2010), la seule application des normes relatives à la protection des berges est insuffisante et des actions de stabilisation des rives sont nécessaires. Ainsi, la MRC a émis dans son plan d'action d'initier et/ou appuyer les initiatives de stabilisation et de renaturalisation des berges du fleuve Saint-Laurent et de l'archipel du Lac Saint-Pierre.

Par ailleurs, il importe de noter l'existence du volet fluvial de la mesure 2.6 du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020 intitulée « Soutien aux municipalités situées le long du Saint-Laurent confrontées aux aléas d'inondation et d'érosion ». Cette mesure est sous la responsabilité du MELCC par l'entremise de sa Direction générale des politiques de l'eau (DGPE) et la Direction de l'expertise hydrique (DEH) (MELCC, 2018).

La DGPE a mandaté l'Université Laval pour caractériser les rives de la partie fluviale du Saint-Laurent dont les îles de l'archipel du Lac Saint-Pierre. Son rôle est de colliger et d'analyser les connaissances manquantes sur l'érosion des berges, de faire une analyse qualitative des processus d'érosion de la portion fluviale du Saint-Laurent. L'université Laval livrera un rapport final en janvier 2020 qui présentera un sommaire de la segmentation côtière, une analyse des processus géomorphologiques et des études des secteurs sensibles et prioritaires. Une base de données intégrées sera également livrée à la fin du mandat³¹. Cette base contiendra les segments côtiers numérisés, une caractérisation complète des types de côtes et des unités hydro sédimentaires, les données de validation sur le terrain, les données existantes, les données d'archives et l'information complémentaire sur les processus hydrodynamiques.

Pour sa part, la DEH a mandaté Ouranos à produire un portrait de l'évolution des facteurs hydroclimatiques associés aux risques d'inondation et d'érosion. Ce projet vise, entre autres, à documenter les tendances futures des principaux facteurs hydroclimatiques qui influencent les processus d'érosion des berges le long du tronçon fluvial du Saint-Laurent dont l'archipel du Lac Saint-Pierre. Le rapport d'interprétation de l'évolution des risques aux inondations et à l'érosion sous l'effet des changements climatiques sera remis au mois de janvier 2020.

³¹ https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2019/01/PPT_Atelier_2octobre2018.pdf

Références

- AECOM. 2016. *Centrale thermique de Tracy – Projet de démantèlement. Caractérisation des sédiments*. Rapport.
- BENOÎT, J., R. BERGERON, J.-C. BOURGEOIS, S. DESJARDINS et J. PICARD. 1987. *Les habitats et la faune de la région du lac Saint-Pierre : synthèse des connaissances*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières, 123 p.
- BERRYMAN, D., S. PRIMEAU, Y. RICHARD et J. SAINT-ONGE. 1996. *Le bassin de la rivière Saint-François : état de l'écosystème aquatique et contamination par les substances toxiques – rapport synthèse*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq n° EN960256, rapport n° EA-5, 47 p.
- BOYER C., P. M. VERHAAR, A. G. ROY, P.M. BIRON et J. MORIN. 2010. Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: potential effects on fluvial ecosystems. *Hydrobiologia* 647:1, 163-183.
- BRODEUR, P., M. MINGELBIER et J. MORIN. 2004. « Impacts des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés du Saint-Laurent fluvial. » *Le Naturaliste canadien*, 128(2) : 66-77.
- BULAT M., P.M. BIRON, J.R. W. LACEY, M. BOTREL, C. HUDON et R. MARANGER. 2019. A 3D numerical model investigation of the impact of submerged macrophytes on flow dynamics in a large fluvial lake. *Freshwater Biology* 64,1627-1642.
- CANARDS ILLIMITÉS CANADA. 2012. *Portrait des milieux humides et de leurs terres hautes adjacentes de la région administrative de Laval (R-13)*. 13 p.
- CANTIN, J.F. 1994. *Étude de la répartition du débit du fleuve Saint-Laurent dans le delta de Sorel, D5-609*.
- CEHQ (CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC). 2015. *Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050*. Québec, 2015. 81 p.
- CENTRE SAINT-LAURENT. 1996. *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent*. Vol. 1, L'écosystème du Saint-Laurent. Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement et Éditions MultiMondes.
- COMITÉ ZIP DU LAC SAINT-PIERRE CENTRE SAINT-LAURENT. 2016. *Modèle numérique d'altitude de la plaine inondable du lac Saint-Pierre standardisée en fonction de la cote de niveaux d'eau de récurrence 2 ans à Sorel*. Comité ZIP du lac Saint-Pierre, Louiseville.
- DAUPHIN, D. 2000. *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*. Rapport final, ministère des Transports du Québec, 103 p. et cartes et annexes.
- DAUPHIN, D. et D. LEHOUX. 2004. *Bilan de la sévérité de l'érosion dans le Saint-Laurent dulcicole et stratégies de protection recommandées pour les rives de grande valeur biologique*. Environnement Canada et Service canadien de la faune.
- DEPARTMENT OF MARINE AND FISHERIES. 1915. *Investigation of Water Levels, River St. Lawrence Between Montreal and Lake St. Peter*. 15 p.

- DUMONT, S. 1996. *Étude de l'impact des revoirs de Sorel sur l'écoulement et les niveaux d'eau dans le tronçon Montréal-Sorel du fleuve Saint-Laurent*. JS-547.
- ÉNERGIE ET RESSOURCES NATURELLES, 2014. *Géologie des Basses Terres du Saint-Laurent*. DV 2014-05.
- FOUCREAU, M-A, 2019. *Bilan de la qualité de l'air au Québec 2016*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 25 p. + 8 annexes [En ligne], www.environnement.gouv.qc.ca/air/bilan/qualite-air-quebec-2016.htm.
- FRENETTE, J-J, M.T. ARTS, J. MORIN, D. GRATTON et D. MARTIN, C. 2006. Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre. *Limnol. Oceanogr.*, 51 (6): 2632-2645.
- FRENETTE, J. J., P. MASSICOTTE et J.-F. LAPIERRE. 2012. Colorful niches of phytoplankton shaped by the spatial connectivity in a large river ecosystem: A riverscape perspective. *PLoS One*, 7, e35891.
- GHD, 2016. *Évaluation des effets environnementaux*. Dragage d'entretien annuel de la voie navigable du Saint-Laurent (années 2016 à 2018). ÉEE 2016, 2017 et 2018 de Montréal à Cap Gribane en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012). 115 p.
- 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. www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-Saint-pierre/etat-presence-pesticides.pdf
- GODIN, F. 1995. *Calibration d'un courantomètre acoustique AFFRA et ajustement d'une loi de débit aux revoirs du delta de Sorel pour une période d'écoulement à surface libre*, D4-434.
- HUDON C., M. JEAN et G. LÉTOURNEAU. 2018. Temporal (1970–2016) changes in human pressures and wetland response in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Science of The Total Environment* **643**, 1137-1151
- HUDON, C. et R. CARIGNAN. 2008. Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint Pierre, Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65 : 1165-1180.
- INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT (IRDA). 2008. *Carte pédologique, feuillets 31i02101 et 31i03102*.
- INVENTAIRE QUÉBÉCOIS DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES (IQEA). 2008. Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 3 décembre 2018. 6 p.
- LALIBERTÉ, D. 2015. *La qualité de l'eau des rivières Richelieu et Yamaska : La contamination par les toxiques*. 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 978-0-660-23241-6 (PDF). 6 p.
- LALONDE, S., B. CUSSON et D. LONGPRÉ. 2003. *État des connaissances sur la végétation de la rive sud du lac Saint-Pierre*. Direction de la protection de l'environnement. Environnement Canada – Région du Québec. 160 p.

- LARRIVÉE, C., C. DESJARLAIS, R. ROY et N. AUDET. 2016. *Étude économique régionale des impacts potentiels des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dus aux changements climatiques et des options d'adaptation*. Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et au gouvernement du Québec, Montréal, Ouranos. 49 p.
- LA VIOLETTE, N. 2004. « Les lacs fluviaux du Saint-Laurent : hydrologie et modifications humaines. » *Le Naturaliste canadien*, 128 (1) : 98-104.
- LESSARD, M. 1991. *Analyse multidimensionnelle et discontinuités spatiales des communautés de poissons du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel*. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, 220 p.
- LEVERT, G., J. TALBOT et R. DE KONINCK. 2016. *Sainte-Anne-de-Sorel et ses îles : patrimoine et adaptations au gré du fleuve*. Rapport 016-003. Université de Montréal. 88 p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE. 1957. *Étude pédologique du comté de Berthier*. Bulletin technique #5. 112 p. + cartes.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. 2001. *Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec*. 40 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. *Le lac Saint-Pierre : Un joyau à restaurer*. 28 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDLCC). 2013. *État de la qualité des sédiments du lac Saint-Pierre en 2013*. Fiche d'information « Suivi de l'état du Saint-Laurent », Environnement Canada, ISBN : 978-0-660-25235-3. 8 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2019. http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_igbp.asp
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2018. *PACC – Action 2.6.2 Action de réduction, d'évitement ou d'adaptation*. Fiche de suivi descriptive des actions du plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques 4 p.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE (MLCP). 1983. *Plan directeur pour la conservation et la mise en valeur de la région du lac Saint-Pierre (version provisoire révisée)*. Gouvernement du Québec, Québec, 119 p. + 6 annexes.
- MASSICOTTE, P., D. GRATTON, J.-J. FRENETTE et A. A. ASSANI. 2013. Spatial and temporal evolution of the St. Lawrence River spectral profile: A 25-year case study using Landsat 5 and 7 imagery. *Remote Sensing of Environment* 136:433–441.
- MORIN, J. et J.-P. CÔTÉ. 2003. « Modifications anthropiques sur 150 ans au lac Saint-Pierre : une fenêtre sur les transformations de l'écosystème du Saint-Laurent. » *VertigO*, 4(3).
- MRC DE D'AUTRAY. 2010. *Schéma d'aménagement et de développement révisé*. 224 p.
- MRC DE L'ASSOMPTION. 2012. *Schéma d'aménagement et de développement révisé*. Règlement #146 (<https://www.mrclassomption.qc.ca/index.php?id=138>)

- MRC DE PIERRE-DE-SAUREL. 2016. *PDZA (plan de développement de la zone agricole) de la MRC de Pierre-de Saurel*. 121 p.
- MUSIC, B., A. FRIGON, B.M. LOFGREN, R. TURCOTTE et J.F. CYR. 2015. *Present and future Laurentian Great Lakes hydroclimatic conditions and associated water supplies as simulated by regional climate models*. *Clim. Change* : 10.1007/s10584-015-1348-8.
- PASCAL, M. 2010. *Impacts sanitaires du changement climatique en France – Quels enjeux pour l'InVS?* Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 54 p.
- PATOINE, M. 2017. *Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012*. 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 978-2-550-77490-7 (PDF), 25 pages et 11 annexes. [En ligne].
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/phosphore/charge-phosphore-azote-mes2009-2012.pdf
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 2009. *Instructions nautiques. Fleuve Saint-Laurent*. Cap-Rouge à Montréal et rivière Richelieu. Troisième édition. 95 p.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 2012. *Navigations dans les glaces en eaux canadiennes*. Programme de déglacement, Services maritimes Garde côtière canadienne. 165 p.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 2017. *Plan directeur Revoirs, îles de Sorel*. Version préliminaire mars 2017. 50 p + annexes.
- PELLETIER M. 2019. *Qualité des sédiments dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent*. Fiche d'information « Suivi de l'état du Saint-Laurent », Environnement Canada. ISBN : En154-100/2018F-PDF, 10 p.
- RICHARD, L.-F. 2010. *Suivi de l'état du Saint-Laurent : L'érosion des berges en eau douce*. 8 p.
- RONDEAU B, B. COASSA, P. GAGNON et L. BILODEAU. 2000. Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrological processes*, 14 : 21-36.
- SIMARD, L. 1985. *Étude en vue d'augmenter le taux d'évacuation de la glace dans le lac Saint-Pierre, Jt-11*. Garde côtière canadienne.
- 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 annexes. (<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-stpierre/qualite-eau-tributaires.pdf>)
- SNC-LAVALIN, 2003. *Étude de l'impact des revoirs de Sorel et des courbes du chenal de navigation du lac Saint-Pierre sur les embâcles et arrêts de glace dans le lac Saint-Pierre*. 89 p.
- SNC-LAVALIN, 2017. *Agrandissement du terminal portuaire de Contrecoeur. Étude d'impact environnemental – Volume 1 – Rapport principal*. 889 p.

Annexe A
Photographies du couvert de
glace à proximité des revoirs
prises le 6 février 2019 par le
MPO



Photo 1. Aucune zone d'eau libre n'est visible de part et d'autre du reversoir 1 (aval vers la gauche de la photo).



Photo 2. Présence d'une zone d'eau libre en amont des reversoirs 2 et 3. La longueur de la zone d'eau libre située en amont du reversoir 2 est d'environ 900 m. En arrière-plan, on note également la présence d'eau libre située en amont du reversoir 3 (aval vers la droite de la photo).



Photo 3. Vue d'ensemble des conditions de glace dans le secteur des revoirs 2 et 3 (aval vers le haut de la photo).



Photo 4. Présence d'une zone d'eau libre en aval du reervoir 4, de part et d'autre de l'endroit où la brèche se trouve (aval vers le coin supérieur droit de la photo).



Photo 5. Présence d'une zone d'eau libre en aval du réservoir 5 (aval vers la droite de la photo).

À propos d'AECOM

AECOM s'affaire à bâtir pour un monde meilleur. Nous assurons la conception, la construction, le financement et l'exploitation d'infrastructures pour des gouvernements, des entreprises et des organisations dans plus de 150 pays. En tant que firme pleinement intégrée, nous conjugons connaissance et expérience, dans notre réseau mondial d'experts, pour aider les clients à relever leurs défis les plus complexes. Installations à haut rendement énergétique, collectivités et environnements résilients, nations stables et sécuritaires : nos réalisations sont transformatrices, uniques et incontournables. Classées dans la liste des entreprises du *Fortune 500*, les sociétés d'AECOM ont enregistré des revenus annuels d'environ 18 milliards de dollars US.

Voyez comment nous concrétisons ce que d'autres ne peuvent qu'imaginer, au aecom.ca et [@AECOM](https://www.instagram.com/aecom).

AECOM
2, rue Fusey
Trois-Rivières (Québec) Canada G8T 2T1
Tél. : 819 373-6820
Télec. : 819 373-7573
www.aecom.com