

Charges de six paramètres physicochimiques et bactériologique à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent – 2013-2017

Rapport

Mars 2024

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement (DGPASEE) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Direction principale de la qualité des milieux aquatiques du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

675, boul. René-Lévesque Est, 7^e étage, boîte 22

Québec (Québec) G1R 5V7

Référence à citer

GRENIER, Martine (2024). *Charges de six paramètres physicochimiques et bactériologique à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent – 2013-2017*, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement, 38 pages + 10 annexes.

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-550-97312-6 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2024

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Analyses et rédaction	Martine Grenier, Ph. D. ¹
Révision scientifique	David Berryman, M. Sc. ¹ Antoine Caron, M. Sc. ¹ Michel Patoine, ing., M. Sc. ¹ Bernard Patry, ing. ² Julie Doucet, CPI ² Sophie Bélanger Comeau, agr. ³ Karine Labrecque, agr. M. Sc. ³ Valérie Gagnon, biol. ³ Suzanne Couture, M. Sc. ⁴
Équipe technique du Réseau-rivières	Sylvie Legendre ⁵ Félix Pouliot-Richard ⁵
Préparation des données physicochimiques et bactériologiques	Mario Bérubé, M. Sc. ¹
Géomatique	Antoine Prince, M. Sc. ¹ Simon Magnan, M. Sc. ¹
Analyses de laboratoire	CEAEQ-eau ⁶
Mise en page et graphisme	Claire Cournoyer ¹ Johanne Landry ¹

-
1. Direction du suivi et de l'évaluation de l'état des milieux aquatiques, Direction principale de la qualité des milieux aquatiques, Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement.
 2. Direction des eaux usées municipales, Direction principale des eaux usées, Direction générale des politiques de l'eau.
 3. Direction de l'agroenvironnement, Direction générale des politiques en milieu terrestre.
 4. Direction générale des sciences et de la technologie, Environnement et Changement climatique Canada.
 5. Direction de l'acquisition des données et des opérations, Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement.
 6. Direction de l'analyse chimique, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Mots clés : Qualité de l'eau, cours d'eau, rivière, physicochimie, bactériologie, charge, phosphore, azote, nitrites-nitrates, azote ammoniacal, matières en suspension, coliformes fécaux.

Résumé

Le fleuve Saint-Laurent reçoit chaque année de grandes quantités de nutriments, de matières en suspension, de matière organique et de bactéries en provenance de ses tributaires, de son littoral et des Grands Lacs. L'objectif principal de cette étude est de quantifier les apports en provenance des principaux tributaires du Saint-Laurent en amont de l'île d'Orléans, puis d'évaluer les efforts de réduction qui seraient nécessaires pour assurer la protection de la vie aquatique et des usages des cours d'eau à l'étude, puis ultimement du fleuve Saint-Laurent. L'étude permet de répondre aux questions suivantes :

1. Quels tributaires fournissent les apports les plus importants en nutriments, en matières en suspension et en coliformes fécaux au Saint-Laurent et quels sont les apports de l'ensemble des tributaires?
2. Est-ce que les apports sont problématiques pour la protection de la vie aquatique et des usages de chaque tributaire et, s'ils le sont, quel est l'excédent propre à chacun et pour l'ensemble des tributaires?
3. Dans quels bassins versants les pressions sont-elles les plus grandes par unité de surface? La réponse à cette question permettrait de connaître les bassins où des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur cours d'eau respectif.

Les charges totales annuelles moyennes en nutriments (phosphore total et formes d'azote), en matières en suspension et en coliformes fécaux ont été évaluées à l'embouchure de 30 cours d'eau qui alimentent la rivière des Outaouais et le Saint-Laurent, pour la période 2013-2017. Les charges excédentaires de ces paramètres (excluant l'azote ammoniacal et les coliformes fécaux) ont ensuite été calculées pour chaque tributaire, afin d'établir des seuils de réductions souhaitables permettant d'assurer la protection de la vie aquatique et les usages de chacun de ceux-ci, puis sommées. La charge excédentaire des rivières est ce qui dépasse la charge tolérable, c'est-à-dire la charge obtenue en multipliant le débit du cours d'eau par les concentrations correspondant aux critères et valeurs repères de qualité de l'eau. Ces critères et valeurs repères sont de 0,03 mg/l pour le phosphore total, 13 mg/l pour les matières en suspension et 1 mg/l pour l'azote total. Finalement, les charges spécifiques ont été obtenues en divisant la charge totale par la superficie du bassin versant.

Les 30 tributaires à l'étude déversent une charge totale annuelle moyenne de 4 156 tonnes de phosphore, 57 740 tonnes d'azote total (principalement des nitrates), 3 092 346 tonnes de matières en suspension et $69\,035 \times 10^4$ millions d'unités formatrices de colonies (UFC) par jour de coliformes fécaux dans la rivière des Outaouais et le Saint-Laurent. Les rivières ayant les charges les plus élevées, soit les rivières Yamaska, Richelieu, Saint-François, Saint-Maurice, Chaudière et L'Assomption, ont généralement des débits moyens annuels élevés (débits moyens de plus de 83 m³/s, surtout de grandes rivières) et les territoires agricoles et urbanisés les plus importants (plus de 65 000 km² et plus de 23 000 km² respectivement). Les charges déversées en amont du lac Saint-Pierre et directement dans ce lac représentent entre 59 % et 67 % des apports totaux au fleuve selon les constituants, ce qui occasionne une pression importante sur cet écosystème fragilisé.

Les charges excédentaires des 30 tributaires à l'étude totalisent environ 1 628 tonnes de phosphore total, 8 179 tonnes d'azote total et 2 055 103 tonnes de matières en suspension, ce qui représente environ 39 %, 14 % et 66 % respectivement des charges annuelles déversées dans le fleuve. Les charges de phosphore total et de matières en suspension sont excédentaires dans 80 % des bassins versants, notamment dans tous ceux qui se trouvent sur la rive sud du fleuve, et dans 43 % des bassins versants pour ce qui est de l'azote total. Les rivières Yamaska, Châteauguay, Saint-François, L'Assomption, Bécancour et Chaudière ont les plus grands excédents. Les rivières Nicolet et Nicolet Sud-Ouest font également partie de ce groupe si l'on considère le cumul de leurs charges excédentaires. La rivière Yamaska se distingue, ayant les charges excédentaires les plus importantes en phosphore total, en azote total et en MES. Finalement, malgré ses charges importantes, la rivière Saint-Maurice n'a aucune charge excédentaire, ces apports

étant largement d'origine naturelle. Des efforts importants de réduction des charges sont donc nécessaires dans la grande majorité des bassins versants, surtout pour le phosphore total et les matières en suspension, pour assurer la protection de la vie aquatique et la récupération des usages, puis réduire leurs impacts sur le fleuve.

Cette étude semble indiquer que les charges de tous les constituants sont davantage liées aux superficies agricoles qu'aux superficies urbanisées. Les rivières ayant les charges en matières en suspension, en phosphore total et en azote ammoniacal les plus élevées sont principalement celles ayant les débits les plus élevés, ce qui semble indiquer qu'elles sont particulièrement liées à l'érosion des berges et des sols en milieu agricole. Les charges des autres constituants y sont également liées, mais dans une moindre mesure. Les charges d'azote total et de nitrates sont particulièrement liées aux superficies agricoles, ce qui semble indiquer que ce secteur contribue fortement à leurs apports. Les charges d'azote ammoniacal et de coliformes fécaux sont celles étant les plus liées aux superficies urbanisées, bien que le secteur agricole y contribue davantage. Cette analyse n'est que sommaire et ne vise qu'à orienter vers des pistes de solution et d'intervention.

Finalement, les petits bassins versants (médiane de 233 km²), surtout à dominance agricole (% agriculture), tels que ceux des rivières Yamachiche, la Chaloupe, Mascouche, Boyer, Bayonne, La Guerre et Saint-Louis, ont généralement une pression par unité de surface plus importante que les grands bassins versants. La rivière Yamaska a des charges totales, excédentaires et spécifiques parmi les plus élevées malgré la taille importante de son bassin versant (4 464 km²). Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du bassin versant seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

Des mesures, programmes et réglementations visant spécifiquement la réduction des apports en matières en suspension et en phosphore total (% charge excédentaire), pour l'ensemble de la province, pourraient avoir un effet global pour tous les cours d'eau et pour la protection du Saint-Laurent, considérant que, dans 80 % des bassins versants, ces apports sont excédentaires. Dans le cas de l'azote total, et surtout des nitrates, une diminution des charges dans les tributaires, qui ne sont pas globalement excédentaires, pourrait également être requise pour protéger l'estuaire moyen et le golfe du Saint-Laurent. Toutefois, à l'intérieur même des grands bassins versants, une stratégie efficace ciblée aux petits sous-bassins versants problématiques, occupés surtout par les activités agricoles, pourrait avoir un rapport coût/bénéfice élevé sur l'ensemble des constituants.

Table des matières

Résumé	iv
1. Matériel et méthode	7
1.1 Territoire à l'étude	7
1.2 Données de qualité de l'eau	8
1.3 Données de débit	9
1.4 Calcul des charges	9
1.4.1 Charge totale et par bassin versant	10
1.4.2 Charge excédentaire par bassin versant	10
1.4.3 Charge spécifique totale et par bassin versant	11
1.5 Analyse en composantes principales (ACP)	11
2. Résultats	13
2.1 Charge d'azote total	13
2.1.1 Charge totale et par bassin versant	13
2.1.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant	14
2.1.3 Charge spécifique par bassin versant	15
2.2 Charge de nitrates	16
2.2.1 Charge totale et par bassin versant	16
2.2.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant	18
2.2.3 Charge spécifique par bassin versant	19
2.3 Charge d'azote ammoniacal	20
2.3.1 Charge totale et par bassin versant	20
2.3.2 Charge spécifique par bassin versant	21
2.4 Charge de phosphore total	22
2.4.1 Charge totale et par bassin versant	22
2.4.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant	24
2.4.3 Charge spécifique par bassin versant	25
2.5 Charge en matières en suspension	26
2.5.1 Charge totale et par bassin versant	26
2.5.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant	27
2.5.3 Charge spécifique par bassin versant	28
2.6 Charge de coliformes fécaux	29
2.6.1 Charge totale et par bassin versant	29
2.6.2 Charge spécifique par bassin versant	30
2.7 Portrait global	31
2.7.1 Charges totales et excédentaires vers le fleuve Saint-Laurent : tributaires en cause et réduction souhaitable	31
2.7.2 Bassins versants dont les pressions sont les plus grandes par unité de surface : interventions ciblées	33
Discussion et conclusion	35
Références bibliographiques	39
Annexes	43

Tableau 1	Occupation du sol et débit moyen (période 2012-2017) aux stations de qualité de l'eau	8
-----------	---	---

Liste des figures

Figure 1	Localisation des stations de suivi de la qualité de l'eau et de leur bassin versant.....	7
Figure 2	Charges totales moyennes annuelles d'azote total calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles (tonnes/an).....	13
Figure 3	Charges totales moyenne cumulées d'azote total en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	14
Figure 4	Charges spécifiques moyennes d'azote total calculées sur la période 2013-2017 (kg/km ² /an)	16
Figure 5	Charges totales moyennes annuelles calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles de nitrates (tonnes/an)	17
Figure 6	Charges totales moyennes cumulées de nitrates en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	18
Figure 7	Charges spécifiques moyennes de nitrates calculées sur la période 2013-2017 (kg/km ² /an)	19
Figure 8	Charges totales moyennes annuelles d'azote ammoniacal calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an).....	20
Figure 9	Charges totales moyennes cumulées d'azote ammoniacal en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	21
Figure 10	Charges spécifiques moyennes d'azote ammoniacal calculées sur la période 2013-2017 (kg/km ² /an).....	22
Figure 11	Charges totales moyennes annuelles de phosphore total calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles (tonnes/an).....	23
Figure 12	Charges totales cumulées de phosphore total en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	24
Figure 13	Charges spécifiques moyennes de phosphore total calculées sur la période 2013-2017 (kg/km ² /an).....	25
Figure 14	Charges totales moyennes annuelles calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles de matières en suspension (tonnes/an).....	26
Figure 15	Charges totales moyennes cumulées de matières en suspension en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	27
Figure 16	Charges spécifiques moyennes de matières en suspension, 2013-2017 (kg/km ² /an)	28
Figure 17	Charges totales moyennes annuelles de coliformes fécaux calculées sur la période 2013-2017 (10 ⁴ millions d'UFC par jour).....	29
Figure 18	Charges totales moyennes cumulées de coliformes fécaux en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)	30

Figure 19	Charges spécifiques moyennes de coliformes fécaux, 2013-2017 (millions d'UFC/km ² /jour).....	31
Figure 20	Analyse en composantes principales illustrant la position des stations d'échantillonnage en fonction des charges totales de tous les constituants et des variables environnementales.....	32
Figure 21	Analyse en composantes principales illustrant la position des stations d'échantillonnage en fonction des charges spécifiques de tous les constituants et des variables environnementales	33

Liste des annexes

Annexe 1	Facteurs d'imprécisions dans le calcul des charges	44
Annexe 2	Charges totales, spécifiques et excédentaires d'azote total à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	47
Annexe 3	Charges totales, spécifiques et excédentaires de nitrites-nitrates à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	48
Annexe 4	Charges totales, spécifiques et excédentaires d'azote ammoniacal à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	49
Annexe 5	Charges totales, spécifiques et excédentaires de phosphore total à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	50
Annexe 6	Charges totales, spécifiques et excédentaires de matières en suspension à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	51
Annexe 7	Charges totales, spécifiques et excédentaires de coliformes fécaux à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017.....	52
Annexe 8	Distribution des charges totales en fonction de la rive du fleuve Saint-Laurent	53
Annexe 9	Distribution des charges spécifiques médianes en fonction de la rive du fleuve Saint-Laurent	54
Annexe 10	Corrélation de Spearman entre les charges totales et spécifiques, l'utilisation du territoire et le débit moyen	55

Mise en contexte

Depuis les années 1980, le gouvernement du Québec a fait des efforts importants pour assainir et pour protéger les ressources en eau. Diverses mesures d'assainissement ont été mises en œuvre pour atténuer les pressions anthropiques exercées sur les milieux aquatiques, pour les secteurs autant municipal, industriel qu'agricole. Ces mesures avaient pour objectif d'améliorer ou de réduire l'impact sur la qualité de l'eau afin de protéger la vie aquatique et de récupérer ou de maintenir les usages, tels que l'approvisionnement en eau potable et les activités récréatives de contact direct (baignade) et indirect (nautisme léger, pêche, etc.). De plus, un corpus législatif et réglementaire a été adopté afin de protéger la santé humaine et celle des écosystèmes aquatiques.

Les efforts de contrôle et de restauration ont donné des résultats, mais la qualité de l'eau et l'état des milieux aquatiques restent problématiques en de nombreux endroits. En effet, le *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec* (MELCC, 2020) montre que la qualité de l'eau est toujours problématique pour plusieurs tributaires du fleuve Saint-Laurent, surtout pour les concentrations en phosphore total, en turbidité et en azote total. Celles-ci dépassent fréquemment les critères (p. ex. : moyenne de 47 % pour le phosphore total) et les valeurs repères de qualité de l'eau, limitent les usages et nuisent à la faune et la flore aquatique, notamment en favorisant l'eutrophisation accélérée des plans d'eau.

Une amélioration est tout de même observée pour certains constituants. En effet, entre 1979 et 2017, les concentrations et les charges (syn. : quantité/unité de temps) en phosphore total, en azote ammoniacal et en coliformes fécaux ont diminué (plus de 45 %) pour la plupart des tributaires du Saint-Laurent¹. Les concentrations et les charges en azote total ont par contre généralement augmenté ou sont demeurées stables, alors que celles des nitrites-nitrates ont augmenté (plus de 65 %) pour la grande majorité des rivières (MELCC, 2020). Cette tendance à la hausse s'explique notamment par l'augmentation de l'utilisation d'engrais chimiques azotés, surtout de 1979 à 2002, en lien avec l'augmentation des superficies des cultures annuelles (MENV, 2004). Dans certains bassins versants, d'autres facteurs, comme le traitement des eaux usées municipales, des lieux d'enfouissement technique et des abattoirs, pourraient avoir contribué aux tendances observées pour les différentes formes d'azote. Quant aux concentrations et aux charges en matières en suspension (MES) et en chlorophylle α totale, elles sont généralement demeurées stables durant cette période (MELCC, 2020).

En plus d'affecter la qualité de l'eau des rivières elles-mêmes, les constituants de ces rivières se retrouvent dans le fleuve Saint-Laurent et influencent la qualité de l'eau. Ils se mélangent d'abord aux grandes masses d'eau du fleuve, puis sont ensuite transformés et transportés vers l'estuaire selon une dynamique complexe et bien spécifique au fleuve (Hudon et collab., 2017). En ce sens, une étude a montré que la qualité de l'eau récente (2013-2017) des grandes masses d'eau du Saint-Laurent était généralement bonne ou satisfaisante. Toutefois, les masses d'eau du tronçon fluvial en aval de Montréal avaient des concentrations élevées en coliformes fécaux, qui diminuaient entre Trois-Rivières et Québec (Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2019; MELCC, 2020), et les écosystèmes du lac Saint-Pierre se dégradent (Jobin et Brodeur, 2023). Une fois la portion fluviale traversée, les constituants résiduels dans les grandes masses d'eau continuent leur chemin vers l'estuaire. Dans l'estuaire moyen, une zone hypoxique² s'est développée entre 300 et 400 m de profondeur dans le chenal Laurentien, entre Tadoussac et l'océan Atlantique (Thibodeau, 2010). On estime qu'environ les deux tiers du problème d'hypoxie seraient attribuables à un changement dans la proportion des masses d'eau (diminution des eaux froides) qui entrent dans le golfe du Saint-Laurent par les détroits de Cabot et de Belle Isle (Gilbert et collab. 2005). L'autre tiers de l'appauvrissement en oxygène résulterait de facteurs locaux, dont les surplus d'azote qui sont fortement associés au développement de zones eutrophes (Nixon, 1995; Howarth et Marino, 2006; Benoit et collab.

1. Les concentrations renseignent sur la qualité ambiante d'un cours d'eau, tandis que les charges renseignent sur la quantité d'un élément exportée vers le milieu récepteur.

2. Hypoxie : faible teneur en oxygène.

2006; Thibodeau et collab. 2006)³. Il devient alors pertinent de quantifier les charges récentes exportées par les tributaires, puis transportées par le fleuve, notamment pour l'azote total et les nitrites-nitrates, qui sont à la hausse depuis les 40 dernières années dans les tributaires (MELCC, 2020).

Au Québec, Hudon et ses collaborateurs (2017) ont quantifié les charges annuelles de matières en suspension (MES), de carbone organique dissous, d'azote total et de phosphore total provenant des secteurs et des tributaires du Saint-Laurent pour la période 1995-2011. L'étude détaillée de Patoine (2017), à la suite de celles de Gangbazo et Le Page (2005 ; pour la période 2001-2003), ainsi que Gangbazo et ses collaborateurs (2005), a permis d'évaluer les charges en phosphore total, en azote total et en MES à 59 stations de qualité de l'eau du Réseau-rivières qui drainent les bassins versants se déversant dans la baie des Chaleurs, le fleuve Saint-Laurent ou la baie James, pour la période 2009-2012. L'étude de Patoine (2017) a également quantifié les charges excédentaires, fixant ainsi des cibles de réduction souhaitables pour chaque cours d'eau, de même que la contribution des activités humaines, diffuses et ponctuelles, pour les charges de phosphore total.

Aux États-Unis, l'évaluation des charges de contaminants et des objectifs de réduction va plus loin, car elle a un impératif réglementaire. En effet, le *Clean Water Act* de 1972 a introduit aux États-Unis la notion de Total Maximum Daily Load (TMDL). Cette notion fait partie de programmes de dépollution et son application est obligatoire depuis octobre 2011 (California Environmental Protection Agency, 2012). Les TMDL représentent « la quantité totale de polluants de source ponctuelle, diffuse ou naturelle qui peut être admise dans un cours d'eau sans causer de perte d'usage » (Gariépy et collab., 2006).

Objectifs de l'étude

La présente étude vient à la suite de l'analyse des tendances temporelles pour la période de 1979 à 2017 publiées dans le *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec* (MELCC, 2020) et l'*Atlas de l'eau* du MELCCFP. Elle vise à mettre à jour et bonifier les charges calculées et diffusées par le passé par Gangbazo et Le Page (2005), Gangbazo et ses collaborateurs (2005) et Patoine (2017) pour certains paramètres.

L'objectif principal de cette étude est de quantifier les apports en provenance des principaux tributaires du Saint-Laurent en amont de l'île d'Orléans, puis d'évaluer les efforts de réduction nécessaires pour assurer la protection de la vie aquatique et des usages des cours d'eau à l'étude, puis ultimement du fleuve Saint-Laurent. L'étude vise à répondre aux questions suivantes :

1. Quels tributaires fournissent les apports les plus importants en nutriments, en matières en suspension et en coliformes fécaux au Saint-Laurent et quels sont les apports de l'ensemble des tributaires?
2. Est-ce que les apports sont problématiques pour la protection de la vie aquatique et des usages de chaque tributaire et, s'ils le sont, quel est l'excédent propre à chacun et pour l'ensemble des tributaires?
3. Dans quels bassins versants les pressions sont-elles les plus grandes par unité de surface ? La réponse à cette question permettrait de connaître les bassins où des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur cours d'eau respectif.

Pour répondre à ces questions, il fallait :

- 1- Calculer les charges d'azote (total, nitrites-nitrates et azote ammoniacal), de phosphore total, de matières en suspension et de coliformes fécaux à l'embouchure des 30 tributaires principaux du fleuve jusqu'à l'estuaire moyen;

3. De façon générale, la productivité a tendance à être limitée par l'azote (N) en milieu marin et par le phosphore (P) dans la plupart des systèmes d'eau douce (Nixon, 1995).

- 2- Calculer les charges totales maximales tolérables aux stations pour atteindre les critères et les valeurs repères de la qualité de l'eau, puis déterminer les charges excédentaires, c'est-à-dire la réduction souhaitable;
- 3- Calculer les charges annuelles spécifiques, soit les charges par kilomètre carré.

1. Matériel et méthode

1.1 Territoire à l'étude

Au total, 30 stations du Réseau-rivières du MELCCFP ont été retenues (figure 1). Elles sont situées, pour la plupart, près de l'embouchure des cours d'eau qui se déversent dans la portion d'eau douce du Saint-Laurent, soit le tronçon fluvial (Cornwall à Trois-Rivières) et l'estuaire fluvial (Trois-Rivières à la pointe est de l'île d'Orléans) ou dans la rivière des Outaouais. Les 12 bassins versants sur la rive sud et les 18 sur la rive nord du fleuve sont indépendants et drainent la grande majorité du territoire habité du Québec. La superficie drainée des bassins versants aux stations de la qualité de l'eau varie de 83 km² à 42 899 km². Notons que les stations de qualité de l'eau ne sont pas toujours à l'embouchure des rivières si l'on compare la superficie des bassins versants à leur embouchure avec leur superficie au niveau de la station de qualité de l'eau (tableau 1). Les superficies forestières occupent entre 83 % et 8,4 % du territoire. Les superficies agricoles occupent entre 76 % et 0,1 % du territoire.

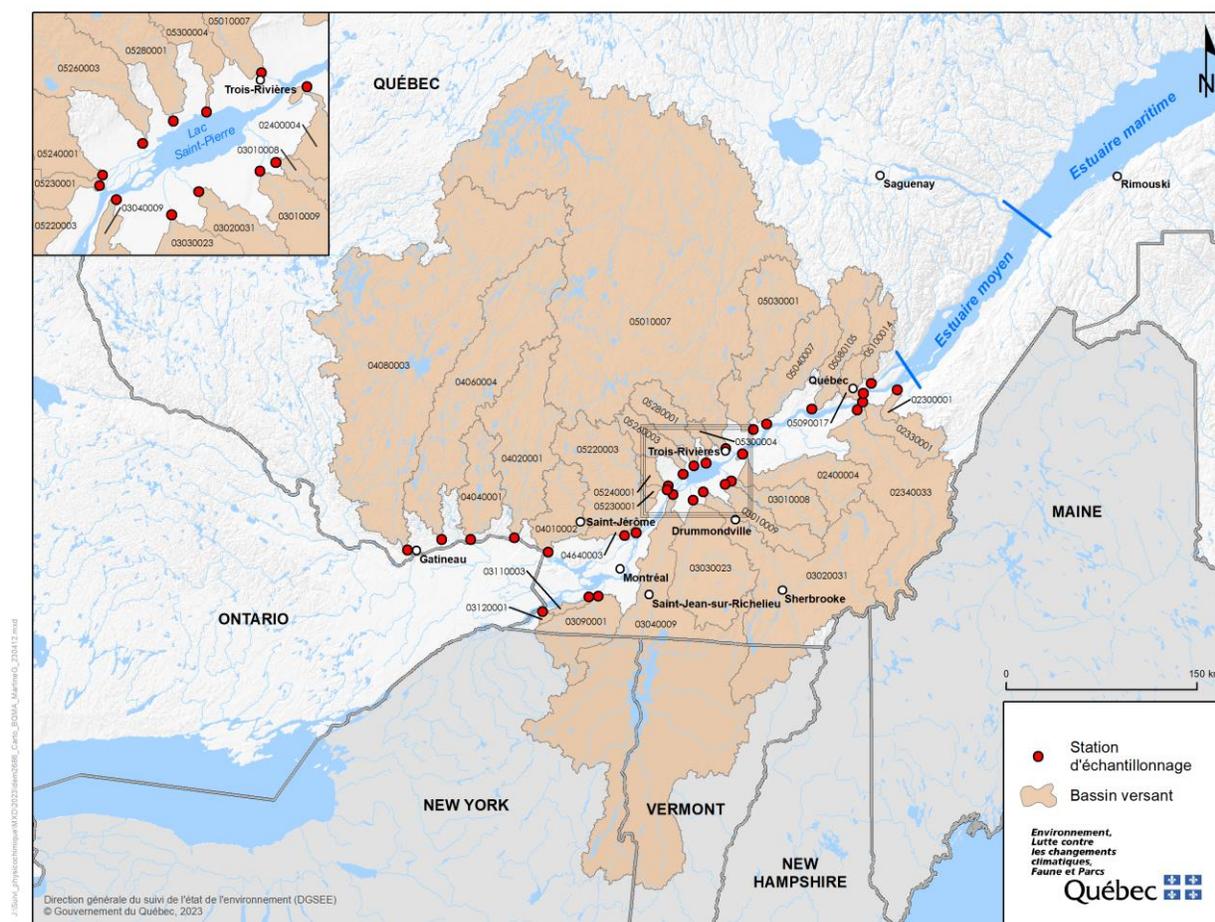


Figure 1 Localisation des stations de suivi de la qualité de l'eau et de leur bassin versant

Tableau 1 Occupation du sol et débit moyen (période 2013-2017) aux stations de suivi de la qualité de l'eau

Rive	Station BQMA ^a	Cours d'eau	Superficie drainée à la station au Québec (km ²)	Superficie totale drainée à la station (km ²)	Milieux (occupation du sol en %) ^b						Débit moyen journalier 2013-2017 ^c (m ³ /s)
					Agricole	Forestier	Humide	Aquatique	Anthropique	Coupe et régénération	
Nord	04080003	Gatineau	23 818	23 818	1,4	72,9	10,4	11,5	0,6	3,1	452,7
	04060004	Du Lièvre	9 485	9 485	2,8	77,2	6,4	9,2	1,1	3,3	184,8
	04040001*	De la Petite Nation	2 249	2 249	6,4	74,6	6,1	10,1	1,8	1,0	50,7*
	04020001*	Rouge	5 558	5 558	1,9	79,0	6,3	7,8	2,4	2,6	132,4*
	04010002	Du Nord	2 076	2 076	6,5	66,6	9,6	6,2	10,9	0,1	44,2
	04640003	Mascouche	404	404	45,3	22,5	8,0	0,5	23,6	0,2	7,8
	05220003	Assomption	4 193	4 193	15,5	64,6	6,4	4,8	6,9	1,7	89,2
	05230001	La Chaloupe	145	145	63,9	16,5	6,6	0,5	12,2	0,4	2,7
	05240001	Bayonne	364	364	51,7	36,5	3,3	0,8	7,4	0,3	6,7
	05260003	Maskinongé	1 096	1 096	8,9	73,0	5,4	6,7	2,5	3,3	22,2
	05280001	Du Loup	1 506	1 506	8,3	74,5	5,4	7,6	1,1	3,1	28
	05300004	Yamachiche	263	263	20,8	64,6	5,5	3,4	5,2	0,6	4,9
	05010007	Saint-Maurice	42 899	42 899	0,2	67,1	10,2	11,3	0,6	10,2	947,4
	05030001	Batiscan	4 624	4 624	4,9	76,5	7,1	7,2	1,3	2,9	108,1
	05040007*	Sainte-Anne	2 713	2 713	8,8	75,3	7,1	4,3	1,6	2,9	94,6
	05080105	Jacques-Cartier	2 471	2 471	2,5	76,6	10,2	4,5	3,2	3,0	79,9
	05090017	Saint-Charles	527	527	4,1	55,0	7,2	2,2	29,8	1,7	15
	05100014*	Montmorency	1 149	1 149	0,1	83,1	6,3	2,3	2,1	6,2	52*
Sud	03120001**	La Guerre	83	83	58,7	21,1	16,6	0,3	2,6	0,7	1,3
	03110003*	Saint-Louis	166	166	76,2	8,4	9,7	0,8	4,9	0,1	2,7*
	03090001	Chateauguay	1 370	2 436	57,4	25,4	11,7	0,9	4,3	0,2	35,8
	03040009	Richelieu	3 899	23 817	54,1	25,0	8,2	3,2	9,4	0,2	394,6
	03030023	Yamaska	4 464	4 464	52,4	28,5	10,3	1,3	7,0	0,5	83,5
	03020031	Saint-François	8 638	10 164	20,7	56,6	11,5	4,0	5,2	2,0	207,8
	03010009	Nicolet	1 577	1 577	42,1	37,7	13,5	0,8	4,1	1,8	33,3
	03010008	Nicolet sud-ouest	1 668	1 668	43,5	39,3	9,6	1,0	4,5	2,0	36,7
	02400004	Bécancour	2 596	2 596	31,1	45,5	15,6	1,4	4,7	1,7	58,7
	02340033	Chaudière	6 619	6 620	19,4	61,6	12,1	1,6	3,6	1,7	140,8
	02330001	Etchemin	1 466	1 466	27,1	58,2	8,5	1,0	4,6	0,6	33,9
	02300001	Boyer	209	209	65,5	16,1	13,3	0,6	4,5	0,0	4,8

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique. Les stations sont listées d'ouest en est selon la rive du fleuve Saint-Laurent.

b : Aires de drainage et utilisation du territoire par catégorie (2018). L'utilisation du sol est calculée sur la superficie drainée au Québec.

c : Débit moyen journalier de 2013 à 2017 calculé à partir des débits estimés à la station de la qualité de l'eau par la Direction principale des prévisions hydriques et de la cartographie du MELCCFP.

* Les débits moyens sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit moyen de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

1.2 Données de qualité de l'eau

Les données physicochimiques et bactériologiques utilisées pour l'étude proviennent de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA, 2018) et sont issues des activités du Réseau-rivières du MELCCFP. Les prélèvements d'eau sont généralement effectués tous les mois de l'année (une fois par mois) depuis près de 40 ans à 25 des stations et durant 8 mois (avril à novembre) à 5 des stations à l'étude. Les échantillons d'eau récoltés ont été analysés au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les paramètres analysés sont l'azote total dissous (ci-après nommé azote total; NTOT; mg/l), l'azote ammoniacal total (NH₃ et NH₄) dissous (ci-après nommé azote ammoniacal; NH₃; mg N/l), les nitrites-nitrates dissous (ci-après nommés nitrates; NO_x; mg N/l), le phosphore total (PTOT; mg/l), les matières en suspension (MES; mg/l) et les coliformes fécaux (CF; UFC/100 ml). Pour les formes d'azote, la filtration a été réalisée sur un filtre de porosité de 1,2 µm, sauf dans le cas de la rivière Boyer, pour laquelle un filtre de 0,45 µm a été utilisé.

1.3 Données de débit

Les données de débits journaliers utilisées proviennent de la Banque de données hydriques de la Direction principale de l'expertise hydrique du MELCCFP (BDH, 2018). Les débits journaliers à l'emplacement des stations de mesure de la qualité de l'eau ont été obtenus par krigeage (interpolation spatiale). La méthode d'estimation des débits par krigeage a été validée à partir des données recueillies aux stations hydrométriques présentant une superficie de bassin versant d'au moins 100 km² (Lachance-Cloutier, 2014). L'estimation des débits est plus précise lorsqu'une station hydrométrique est située à proximité de la station de qualité de l'eau et dans le même bassin versant.

1.4 Calcul des charges

Le calcul des charges annuelles a été effectué à partir du progiciel Exploration and Graphics for RivEr Trends (EGRET; version 2.0), mis au point par le United States Geological Survey (USGS ; Hirsch et De Cicco, 2015 ; Hirsch et collab., 2010) et exécuté à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2018). EGRET permet l'analyse des tendances à long terme de la qualité de l'eau, ainsi que la production de statistiques des débits. Pour l'analyse de la qualité de l'eau, EGRET utilise des régressions pondérées sur le temps, le débit et la saison (Weighted Regressions on Time, Discharge and Season – WRTDS) pour estimer, entre autres, une concentration et une charge journalière d'un paramètre d'intérêt, puis calcule une concentration moyenne et une charge annuelle. Les tendances à long terme de la concentration et de la charge sont ensuite évaluées. Le modèle WRTDS produit deux types d'estimations de concentrations et de charges : une basée sur les débits observés et l'autre basée sur les valeurs normalisées en fonction des débits (*flow-normalized*; Hirsch et collab., 2010). Les résultats estimés par WRTDS sans normalisation par les débits se rapprochent davantage des conditions observées en rivière, alors que les concentrations et les charges normalisées par les débits permettent de mieux détecter les changements survenus dans les bassins versants, en enlevant mathématiquement l'effet du débit. Plus de détail sur le modèle WRTDS et l'interprétation des résultats produits sont disponibles dans le *Guide d'analyse des tendances de la qualité de l'eau des rivières à l'aide du progiciel EGRET* (MELCC, 2021). Les résultats des tendances à long terme des concentrations et des charges produites par la Direction de la qualité du milieu aquatique (DPQMA) sont disponibles dans l'*Atlas de l'eau* du MELCCFP : <https://environnement.gouv.qc.ca/eau/atlas/atlas-argis/>. Les facteurs d'imprécisions dans le calcul des charges réalisés par le WRTDS sont décrits dans l'annexe 1.

Dans cette étude, les charges annuelles sans normalisation par les débits ont été utilisées afin de correspondre davantage aux charges réelles exportées vers le Saint-Laurent. Les charges récentes ont été estimées en calculant la moyenne des cinq dernières années pour lesquelles des données de charges calculées par le WRTDS sont disponibles, soit 2013-2017. Le calcul de la moyenne des cinq dernières années permet de tenir compte de la variabilité interannuelle des concentrations et des débits. Il est important de tenir compte de cette variabilité dans le calcul des charges, car elles sont fortement influencées par les débits. Le WRTDS ne calcule pas d'intervalle de confiance pour les charges sans normalisation par les débits. Cependant, un intervalle de confiance à 90 % est calculé sur les charges normalisées à partir d'une méthode d'inférence statistique basée sur un rééchantillonnage aléatoire avec remise du jeu de données de départ (test WRTDS Bootstrap). Cet intervalle de confiance est présenté à des fins de comparaison aux charges moyennes 2013-2017 obtenues sans normalisation, afin de faire ressortir les gammes probables de charges totales pouvant être obtenues en conditions hydrauliques normales.

Les études antérieures similaires menées par le MELCCFP, soit par Gangbazo et Le Page (2005) et Gangbazo et ses collaborateurs (2005) pour la période 2001-2003 et Patoine (2017) pour la période 2009-2012, ont eu recours aux données de trois et quatre années respectivement et au logiciel FLUX32 pour le calcul des charges. En raison des changements méthodologiques effectués, notamment les changements apportés aux méthodes d'analyses en laboratoire entre les périodes de 2001-2003, 2009-2012 et 2013-2017, les charges calculées pour tous les paramètres dans le présent rapport doivent être comparées avec prudence à celles qui ont été calculées antérieurement pour les mêmes rivières. De plus, le changement de méthode survenu entre 2011 et 2021 pour l'analyse du phosphore total en rivières a été accompagné

d'une sous-estimation des valeurs par rapport aux valeurs antérieures et postérieures à cette période mesurées à nos laboratoires. Ces valeurs sont toutefois demeurées comparables à celles mesurées par les autres laboratoires en Amérique du Nord. Par conséquent, ce changement peut avoir entraîné une sous-estimation des charges en phosphore total rapportées dans le présent rapport.

1.4.1 Charge totale et par bassin versant

La charge totale exportée a été calculée aux stations de qualité de l'eau près de l'embouchure des rivières, ensuite une sommation a été effectuée en fonction des deux rives du fleuve, puis pour l'ensemble des 30 bassins versants. La charge totale permet (1) d'identifier les tributaires et les rives qui fournissent les plus grands apports au fleuve, puis (2) d'évaluer les apports cumulés et globaux des tributaires aux eaux douces du fleuve.

1.4.2 Charge excédentaire par bassin versant

La charge excédentaire d'un bassin versant correspond à la quantité d'un constituant devant être réduite afin de respecter la capacité de support de la rivière relativement au contaminant en question (Gangbazo et collab., 2005). Selon le principe de gestion par bassin versant, une fois que ces quantités sont connues, il revient à l'ensemble des usagers concernés de travailler pour réduire les excédents.

Au Québec, une méthode de calcul de la capacité de support, ci-après nommée charge tolérable (CT), puis de la charge excédentaire, a été proposée pour la première fois par Gangbazo et ses collaborateurs (2005) et par Gangbazo et Le Page (2005)⁴. Cette méthode de calcul d'objectif est appelée *méthode des deltas modifiée* par les auteurs. Cette méthode a ensuite été reprise par Patoine (2017) pour calculer les charges excédentaires annuelles à l'embouchure de 59 bassins versants du Québec méridional.

La charge tolérable (CT) peut être estimée en multipliant le débit moyen annuel d'une rivière à son embouchure (Q_m) par le critère ou valeur repère de concentration du constituant pour un usage donné (C_c), soit :

$$CT = Q_m \times C_c$$

Les critères et valeurs repères considérés pour le calcul de la CT sont les suivants :

- NTOT : 1 mg/l – Valeur repère considérée comme étant indicatrice d'un problème de surfertilisation (Gangbazo et Le Page, 2005) ;
- NO_x : 3 mg N/l – Critère pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) pour les nitrates ;
- PTOT : 0,03 mg/l – Critère pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) ;
- MES : 13 mg/l – Valeur repère⁵ (Hébert, 1997).

Les critères et valeurs repères retenus sont basés sur des données d'exposition chronique (seuil d'effet chronique) aux constituants, donc comparables avec des valeurs moyennes annuelles de concentrations. Les critères d'usages relatifs aux coliformes fécaux (activités récréatives de 200 et 1000 UFC/100 ml) et le critère pour la protection de l'eau brute d'approvisionnement pour l'azote ammoniacal (0,2 mg N/l) n'ont pas été retenus, car ils s'apparentent à un seuil d'exposition aigüe. Notons également qu'aucun critère de qualité de l'eau n'est en vigueur au Québec pour l'azote total dans l'eau de surface. Toutefois, une rivière

4. Gangbazo et collab. (2005) et Gangbazo et Lepage (2005) utilisent l'expression « charge totale maximale admissible annuelle » (CTM) au lieu de charge tolérable. L'expression charge tolérable a été employée par Patoine (2017) et conservée dans cette étude.

5. Valeur séparant les classes « satisfaisante » (B) et « douteuse » (C) de l'Indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP).

qui affiche une concentration d'azote total supérieure à 1 mg/l est considérée comme étant sérieusement affectée par des sources anthropiques et cette concentration est indicatrice d'un problème de surfertilisation (Swedish Environmental Protection Agency, 1991 et Alberta Environment, 1999, dans Gangbazo et Le Page, 2005). Par conséquent, cette valeur repère étant plus faible que le critère pour les nitrates, les charges excédentaires calculées pour l'azote total sont plus élevées que sa forme nitrates, ce qui est à tenir en compte lors de l'interprétation des résultats.

La charge excédentaire a été calculée en quantité (CEX) et en taux (PCEX en %) annuels. La charge excédentaire, calculée en tonnes par année, a été obtenue en soustrayant la charge tolérable de la charge totale estimée (CE). La charge excédentaire, calculée en pourcentage, est ensuite obtenue en divisant cette valeur par la charge estimée (CE) et en multipliant par 100.

$$\text{CEX} = \text{CE} - \text{CT}$$

$$\text{PCEX} = [(\text{CE} - \text{CT}) / \text{CE}] \times 100$$

Pour certains cours d'eau, la charge tolérable calculée peut être plus élevée que la charge totale calculée à l'embouchure, ce qui pourrait être interprété comme une capacité du cours d'eau à recevoir davantage du constituant en question. Cependant, il faut aussi tenir compte de la capacité du Saint-Laurent à recevoir les charges cumulées de l'ensemble des tributaires, qui elle, peut être dépassée.

1.4.3 Charge spécifique totale et par bassin versant

La charge spécifique a été calculée en divisant la charge totale annuelle exportée d'un cours d'eau par la superficie de son bassin versant (km²) à la station de qualité de l'eau. Ce calcul permet d'obtenir des quantités exportées par unité de surface pour chaque bassin versant, et ainsi de quantifier l'intensité des pressions sur son territoire. Les charges spécifiques⁶ ont été calculées en kilogrammes par kilomètre carré par année (kg/km²/an), puis comparées sommairement à celles qui avaient été calculées par Gangbazo et Babin (2000) pour les rivières dont le territoire est principalement à vocation agricole et, à l'inverse, celles où le milieu forestier est dominant. Les classes (forestier et agricole) sont à titre indicatif seulement, et ne permettent pas de distinguer l'effet des apports urbains. Cette comparaison permet indirectement et globalement d'évaluer si un cours d'eau subit des pressions du milieu agricole.

1.5 Analyse en composantes principales (ACP)

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin d'analyser les relations entre les variables physicochimiques, les variables environnementales et les sites à l'étude (stations d'échantillonnage). L'ACP est une méthode d'ordination métrique qui résume en deux ou trois dimensions (axes ou composantes principales) des relations multidimensionnelles (Ter Braak et Smilauer, 1998). Les variables sont illustrées par des vecteurs dont la direction indique le taux de variation maximal. Les vecteurs (variables) contribuant le plus à un axe forment un angle réduit par rapport à cet axe. Ils sont fortement corrélés à ce dernier et entre eux. Les sites sont positionnés sur l'ordination de façon optimale en tenant compte de leur valeur pour les variables. Un site situé près de l'extrémité vers laquelle pointe le vecteur d'une variable a donc une valeur élevée pour cette variable et vice versa. Dans cette étude, les charges totales et les charges spécifiques des paramètres ont été utilisées comme variables actives, soit celles qui

6. Les charges spécifiques sont également appelées coefficients d'exportation qui sont le plus souvent calculés en kilogrammes par hectare par année. Par souci d'uniformité entre les paramètres analysés pouvant présenter de faibles charges spécifiques, les unités ont été calculées par kilomètres carrés. Des tonnes par kilomètre carré par année peuvent également être obtenues en divisant les kilogrammes par 1000.

déterminent la position des stations dans la figure. Des stations près les unes des autres dans l'ACP ont donc des charges ou des charges spécifiques similaires.

La normalité de la distribution des variables a d'abord été examinée. Les distributions de NTOT, NH₃, PTOT et CF ont été transformées en $\log(x)$, NO_x en $\log_{10}(x)$ et les CF en \sqrt{x} pour améliorer la normalité de leur distribution. Les variables reliées à l'utilisation du territoire, le débit moyen pour la période 2013-2017 (Q-MOY) et la superficie du bassin versant (AREA), ont été utilisées comme variables passives, donc ne déterminant pas la position des stations, mais permettant de visualiser leur relation avec les variables physicochimiques et bactériologiques. Les variables d'utilisation du territoire sont les superficies agricoles (AGRI), forestières (FOREST), en milieux humides (HUM), anthropisées (ANTHRO) et en coupe et régénération forestière (COUPE). Ces variables sont exprimées en superficie totale (km²) et en proportion relative (%). Ces variables ont été transformées en $\log(x)$ ou en $L_{10}(x)$, sauf le pourcentage de territoire forestier, ainsi que le pourcentage de coupe et régénération. Une analyse de corrélation de Spearman (r_s ; $p < 0,05$) a été réalisée afin de compléter l'ACP et d'évaluer le lien entre les variables.

2. Résultats

2.1 Charge d'azote total

2.1.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges d'azote total estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement 57 740 tonnes. Les charges moyennes d'azote total par rivière, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 2 et l'annexe 2. Elles varient entre 146 tonnes et 9 075 tonnes par année.

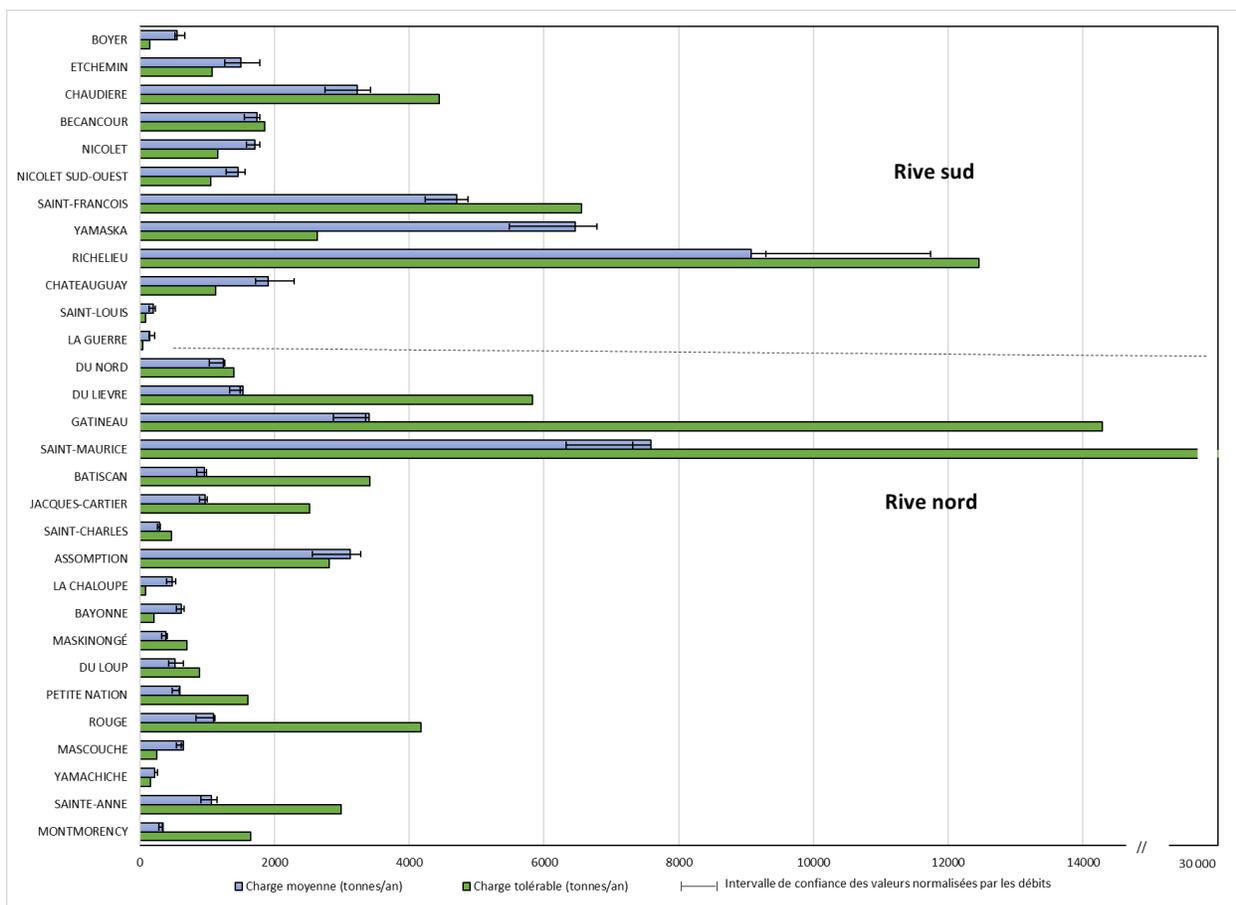


Figure 2 Charges totales moyennes annuelles d'azote total calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles (tonnes/an)

Les tributaires situés sur la rive sud du fleuve contribuent davantage à cette charge totale avec un apport de 32 673 tonnes/an (57 %), alors que les tributaires de la rive nord totalisent 25 067 tonnes/an (43 %) (figure 3 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges d'azote total cumulées déversées par les tributaires des deux rives étaient similaires, avec près de 12 000 tonnes/an. Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive sud surpassent ceux de la rive nord (22 493 tonnes/an et 13 848 tonnes/an; total de 36 341 tonnes/an), ce qui perdure jusqu'à l'île d'Orléans (figure 3). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins versants transportent les charges les plus élevées. En effet, les

rivières Richelieu, Saint-Maurice, Yamaska, Saint-François et Gatineau génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 cours d'eau. Ces rivières, en plus des rivières Chaudière et L'Assomption, exportent plus de 3 000 tonnes annuellement. Les autres rivières exportent moins de 2 000 tonnes annuellement. Il est à noter que les charges moyennes exportées par les rivières Saint-Maurice et Gatineau pour la période 2013-2017 excèdent le seuil de confiance à 90 % obtenu à l'aide des débits normalisés (3,64 % et 1,58 % respectivement). C'est donc dire que les débits mesurés durant cette période sont plus élevés que la normale (surtout en 2017). Ils ont possiblement entraîné une surestimation des charges moyennes au-delà de ce qui est normalement attendu pour cette rivière. À l'inverse, la charge moyenne exportée par la rivière Richelieu est sous le seuil de confiance à 90 %, donc en deçà de ce qui est normalement attendu (2,42 %) pour celle-ci.

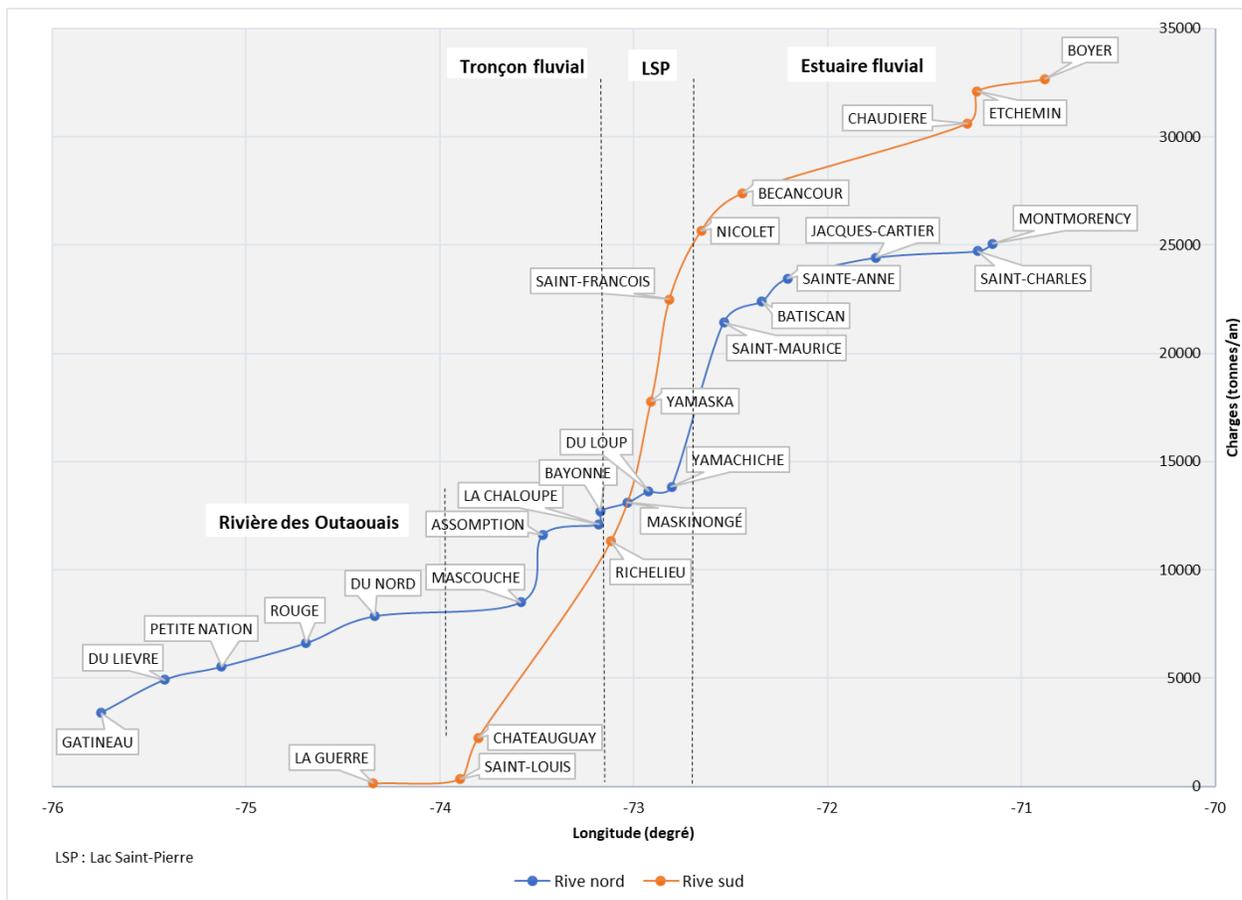


Figure 3 Charges totales moyenne cumulées d'azote total en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.1.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant

Il y a une charge excédentaire d'azote total par rapport à la valeur repère de 1 mg/l dans 13 bassins versants (43 %), totalisant 8 179 tonnes par année (figure 2 et annexe 2). Cet excédent provient principalement des tributaires de la rive sud du fleuve avec 6610 tonnes/an (81 %). Les rivières Yamaska (3 831 tonnes/an), Châteauguay (771 tonnes/an) et Nicolet (548 tonnes/an) ont les plus grandes valeurs excédentaires. À elle seule, la charge excédentaire de la rivière Yamaska représente un peu moins que la sommation des charges excédentaires des 12 autres rivières en excès qui totalise 4 348 tonnes annuellement. Des efforts de réduction, réalisés principalement dans ces bassins versants, pourraient permettre d'améliorer la santé des écosystèmes du Saint-Laurent.

En proportion relative, les rivières la Chaloupe (82 %), Boyer (73 %), La Guerre (72 %), Bayonne (65 %), Mascouche (62 %), Yamaska (59 %) et Saint-Louis (57 %) devraient réduire de plus de la moitié leur charge annuelle en azote total. À noter que la charge annuelle calculée à la rivière Saint-Louis exclut la charge hivernale, elle est donc sous-évaluée. Elles ont toutes la caractéristique commune d'avoir un bassin versant où l'agriculture occupe une proportion élevée du territoire (plus de 45 % du bassin versant). À noter toutefois que le milieu anthropique occupe près de 24 % du bassin versant de la rivière Mascouche. De plus, les eaux traitées d'un lieu d'enfouissement technique (LET) contribuent également aux charges en azote total présentes dans la rivière la Chaloupe (C. Lachapelle, comm. pers., 2023).

2.1.3 Charge spécifique par bassin versant

Les charges spécifiques d'azote total varient entre 117 kg/km²/an pour la rivière Saint-Maurice et 3 310 kg/km²/an pour la rivière la Chaloupe (figure 4 et annexe 2). Les rivières la Chaloupe, Boyer, La Guerre, Bayonne, Mascouche, Yamaska, Saint-Louis, Nicolet et Etchemin ont des charges spécifiques dépassant 1 000 kg/km²/an (ou 1 tonne/km²/an). Elles sont généralement plus élevées dans les bassins versants situés sur la rive sud et où le territoire agricole domine (moyenne de 46 %). Gangbazo et Babin (2000) avaient obtenu entre 22 kg/km²/an et 383 kg/km²/an (médiane de 224 kg/km²/an) pour des bassins versants forestiers et entre 466 kg/km²/an et 2 386 kg/km²/an (médiane de 851 kg/km²/an) pour des bassins versants agricoles (figure 4). Entre 2013 et 2017, tous les bassins versants situés sur la rive sud du Saint-Laurent ont des charges spécifiques d'azote total typiques des milieux agricoles, sauf la rivière Richelieu. Sur la rive nord, 7 des 18 rivières ont des charges spécifiques typiques des milieux agricoles. Toutefois, les bassins versants des rivières du Nord et Saint-Charles ont des territoires urbanisés plus importants que le territoire agricole (11 % et 30 % respectivement), ce qui semble indiquer une contribution mixte. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

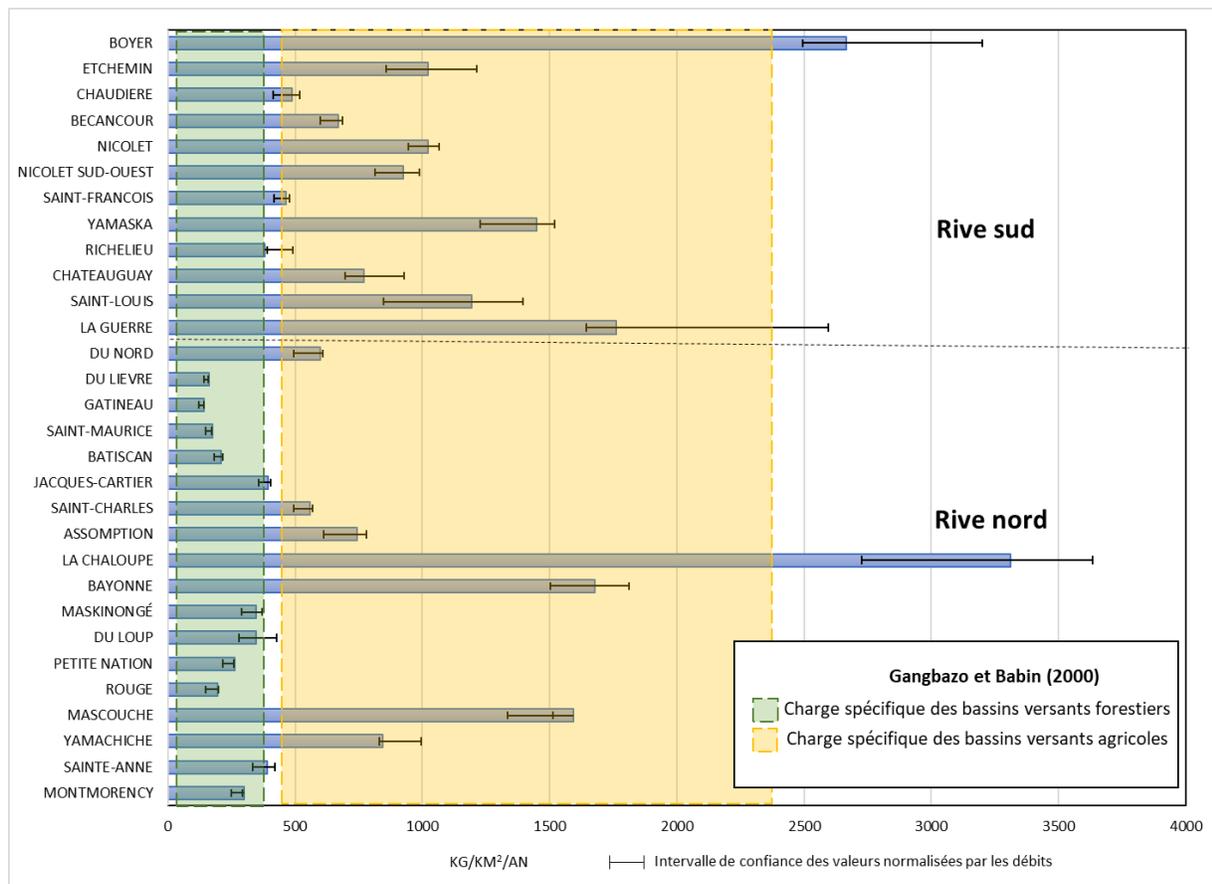


Figure 4 Charges spécifiques moyennes d'azote total calculées sur la période 2013-2017 (kg/km²/an)

2.2 Charge de nitrates

2.2.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges de nitrates estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement 37 226 tonnes. Les charges moyennes de nitrates par rivière, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 5 et le tableau de l'annexe 3. Elles varient entre 144 tonnes et 6 441 tonnes par année.

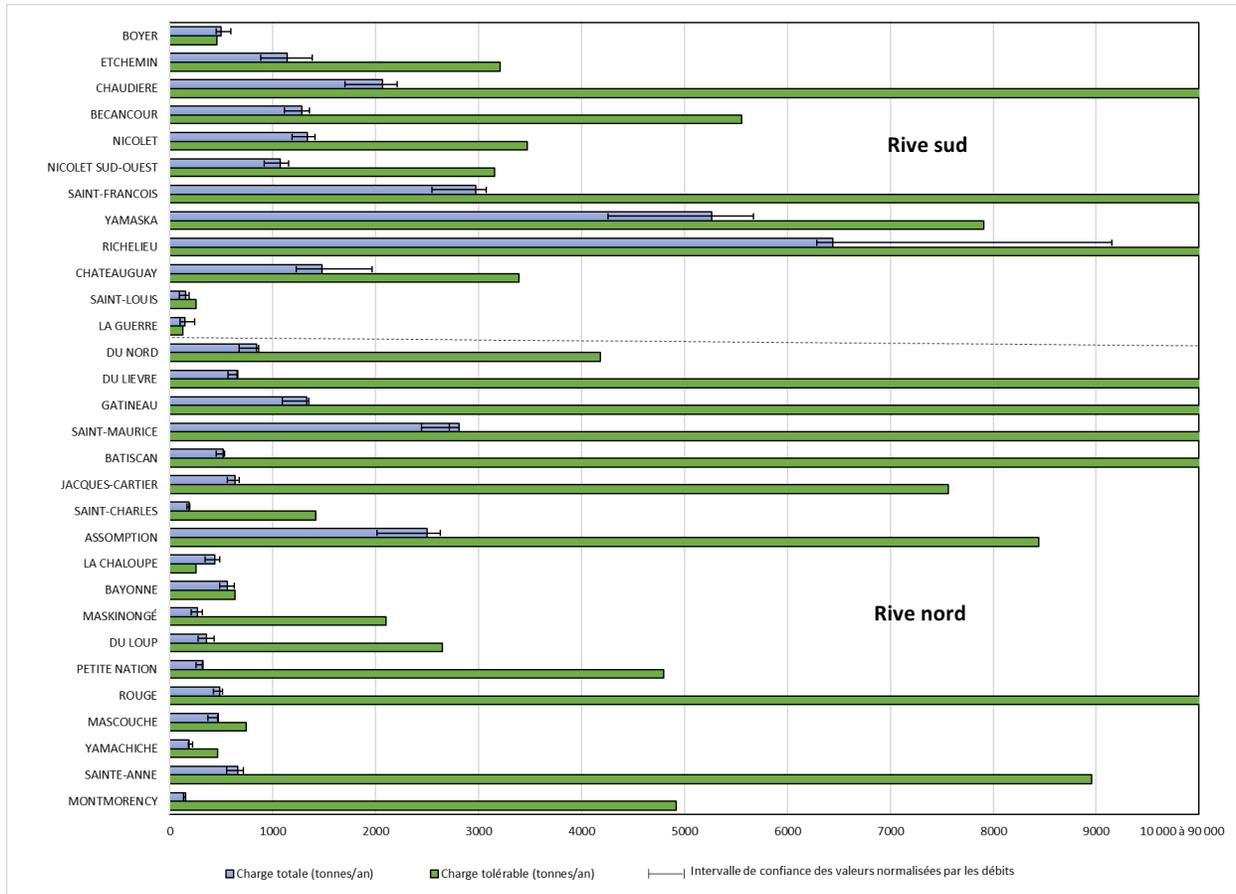


Figure 5 Charges totales moyennes annuelles calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles de nitrates (tonnes/an)

Les tributaires situés sur la rive sud du fleuve contribuent davantage à cette charge totale avec un apport de 23 860 tonnes/an (64 %), alors que les tributaires de la rive nord totalisent 13 366 tonnes/an (36 %) (figure 6 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges de nitrates cumulées déversées par les tributaires des deux rives étaient similaires (8 407 tonnes/an et 8 217 tonnes/an respectivement). Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive sud surpassent ceux de la rive nord (22 493 et 13 848 tonnes/an; total de 24 861 tonnes/an), ce qui perdure jusqu'à l'île d'Orléans (figure 6). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins versants transportent les charges les plus élevées. En effet, les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François, Saint-Maurice et L'Assomption génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 stations. Ces rivières, en plus de la rivière Chaudière, exportent plus de 2 000 tonnes annuellement. Il est à noter que les charges moyennes exportées par les rivières Saint-Maurice, du Lièvre, Mascouche et de la Petite Nation pour la période 2013-2017 excèdent légèrement le seuil de confiance à 90 % (entre 0,3 % et 3,69 %). C'est donc dire que les débits mesurés durant cette période sont légèrement plus élevés que la normale (surtout en 2017). Ils ont possiblement entraîné une surestimation des charges moyennes au-delà de ce qui est normalement attendu pour cette rivière.

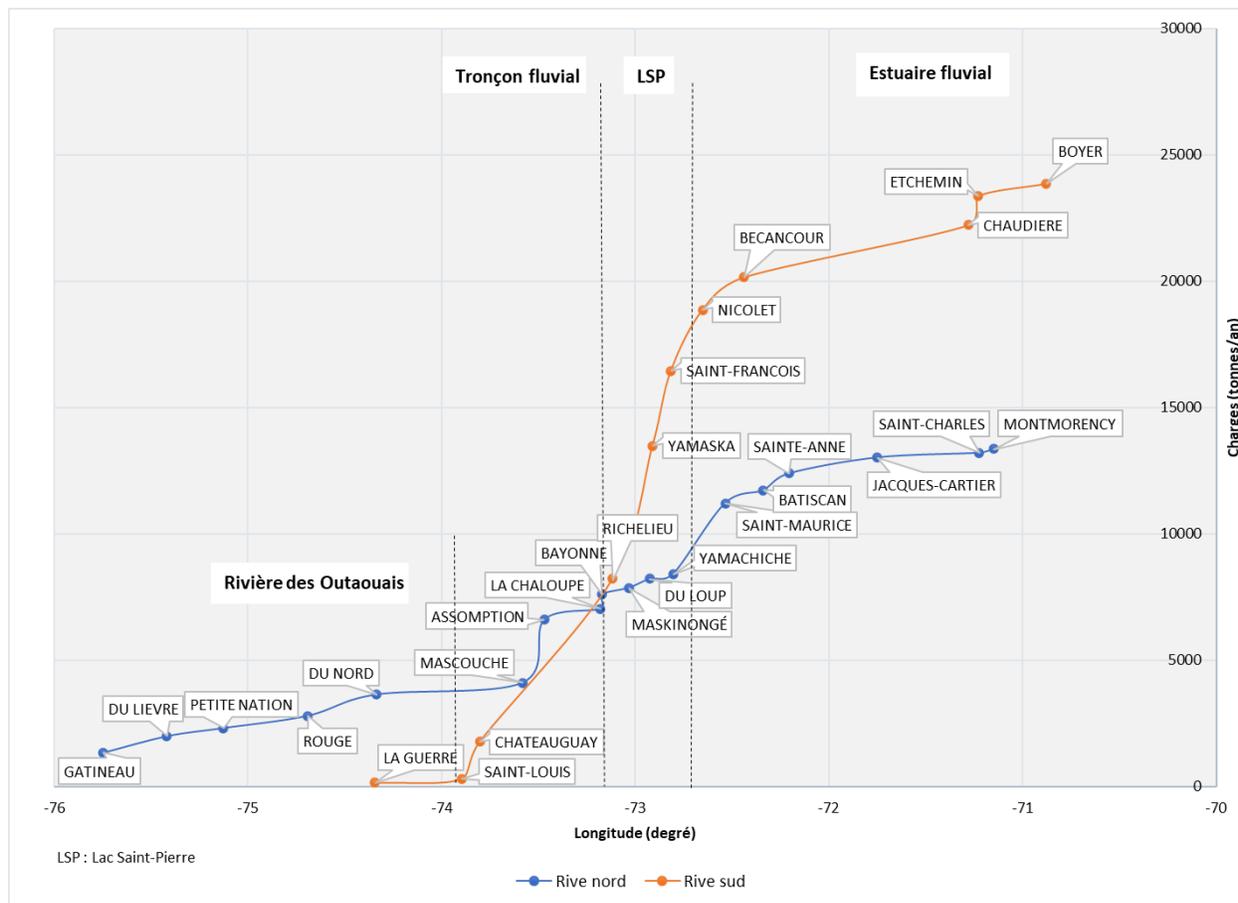


Figure 6 Charges totales moyennes cumulées de nitrates en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.2.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant

Il y a une charge excédentaire de nitrates par rapport à la valeur du critère de protection de la vie aquatique (effets chroniques) de 3 mg N/l dans trois rivières, soit les rivières la Chaloupe (180 tonnes/an; 41 %), Boyer (46 tonnes/an; 9 %) et La Guerre (21 tonnes/an; 15 %), totalisant 247 tonnes par année. Il est à noter que la valeur repère d'azote total de 1 mg/l est plus faible que le critère de protection de la vie aquatique (effets chroniques) pour les nitrates de 3 mg N/l. Par conséquent, les charges excédentaires calculées pour l'azote total sont plus élevées que sa forme nitrates, ce qui est à tenir en compte lors de l'interprétation des résultats. Ce résultat s'explique par la nature distincte du critère de qualité de l'eau pour les nitrates qui vise la protection du milieu aquatique (effets chroniques), alors que la valeur repère de l'azote total est davantage un indicateur de pressions anthropiques. Les trois rivières excédentaires sont des tributaires de très petite taille dont la superficie du bassin versant est de moins de 210 km². Elles ont toutes la caractéristique commune d'avoir un bassin versant à vocation principalement agricole (plus de 64 % du bassin versant). De plus, les eaux traitées d'un lieu d'enfouissement technique (LET) contribuent également aux charges en nitrates présentes dans la rivière la Chaloupe (C. Lachapelle, comm. pers., 2023). Des efforts de réduction, réalisés principalement dans ces bassins versants, pourraient permettre d'améliorer la santé des écosystèmes du Saint-Laurent.

2.2.3 Charge spécifique par bassin versant

Ces cours d'eau sont également ceux dont la charge spécifique, donc la pression par unité de territoire, est la plus forte. En effet, les charges spécifiques de nitrates varient entre 56 kg/km²/an pour la rivière Saint-Maurice et 3 007 kg/km²/an pour la rivière la Chaloupe (figure 7 et annexe 3). Les rivières la Chaloupe, Boyer, La Guerre, Bayonne, Yamaska et Mascouche ont des charges spécifiques dépassant 1 000 kg/km²/an (ou 1 tonne/km²/an). Elles sont généralement plus élevées dans les bassins versants situés sur la rive sud et où le territoire agricole domine (moyenne de 56 %). Gangbazo et Babin (2000) avaient obtenu entre 12,9 kg/km²/an et 273 kg/km²/an (médiane de 129 kg/km²/an) pour des bassins versants forestiers et entre 225 kg/km²/an et 1 696 kg/km²/an (médiane de 522 kg/km²/an) pour des bassins versants agricoles (figure 7). Entre 2013 et 2017, tous les bassins versants situés sur la rive sud du Saint-Laurent avaient des charges spécifiques de nitrates typiques des milieux agricoles. Sur la rive nord, 7 des 18 rivières ont des charges spécifiques typiques des milieux agricoles. Toutefois, les bassins versants des rivières du Nord et Saint-Charles ont des territoires urbanisés plus importants que le territoire agricole (11 % et 30 % respectivement), ce qui semble indiquer une contribution mixte. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

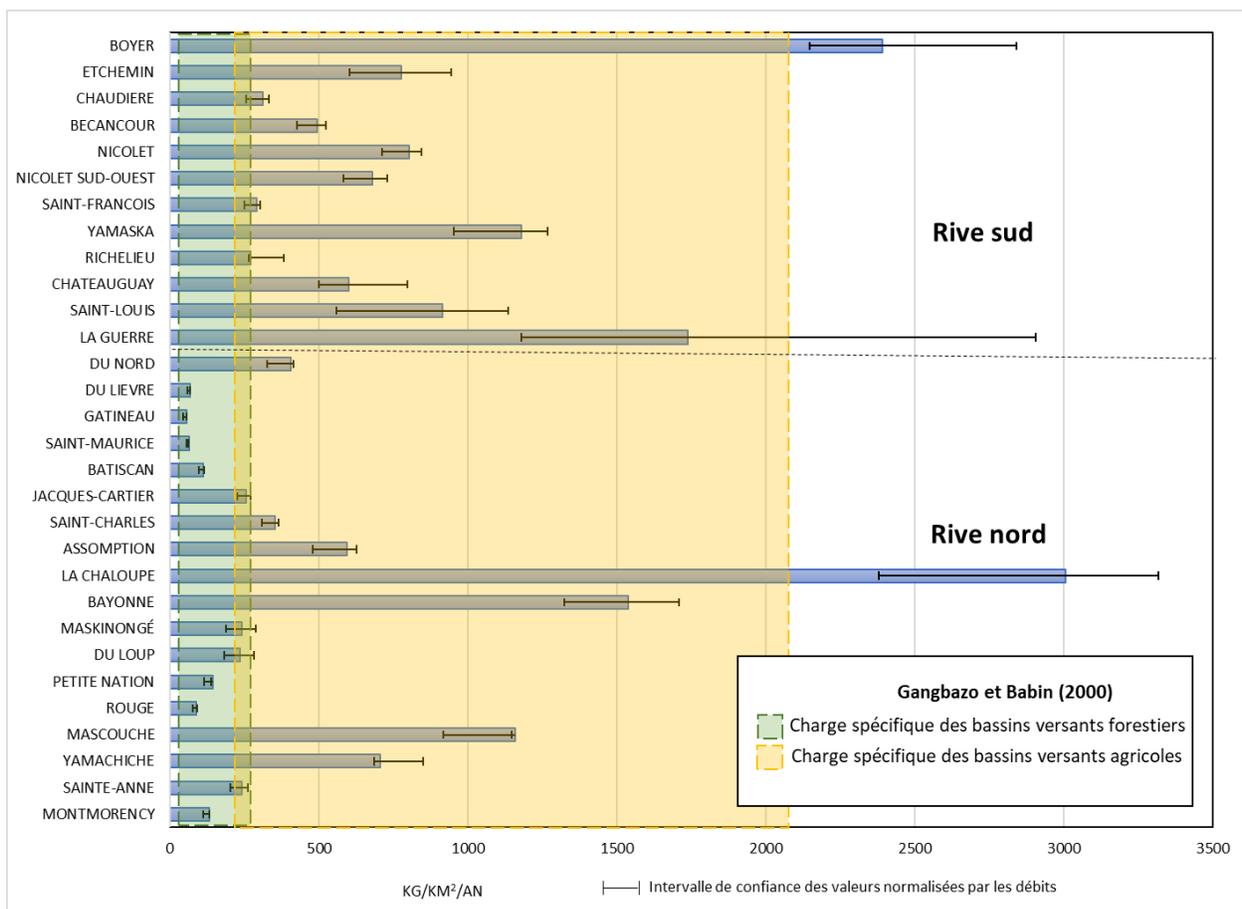


Figure 7 Charges spécifiques moyennes de nitrates calculées sur la période 2013-2017 (kg/km²/an)

2.3 Charge d'azote ammoniacal

2.3.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges d'azote ammoniacal estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement 3 734 tonnes. Les charges moyennes d'azote ammoniacal par rivière, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 8 et le tableau de l'annexe 4. Elles varient entre 4 tonnes et 467 tonnes par année.

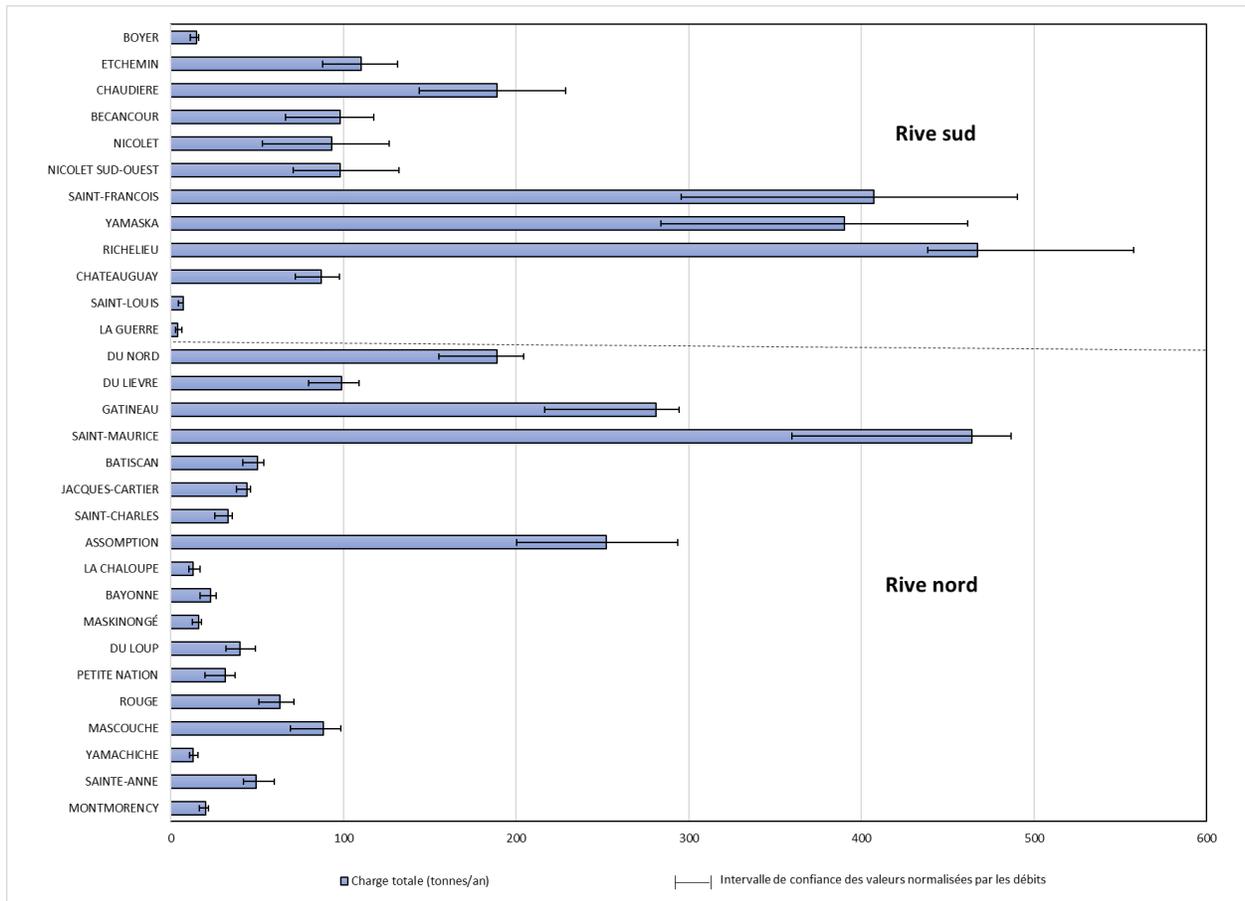


Figure 8 Charges totales moyennes annuelles d'azote ammoniacal calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

Les tributaires situés sur la rive sud du fleuve contribuent un peu plus à cette charge totale avec un apport de 1965 tonnes/an (53 %), alors que les tributaires de la rive nord totalisent 1769 tonnes/an (47 %) (figure 9 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges d'azote ammoniacal cumulées déversées par les tributaires des deux rives étaient deux fois plus importantes sur la rive nord que sur la rive sud (1 017 tonnes/an et 565 tonnes/an respectivement). Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive sud surpassent ceux de la rive nord (1 362 tonnes/an et 1 108 tonnes/an; total de 3734 tonnes/an), ce qui perdure jusqu'à l'île d'Orléans (figure 9). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins versants transportent les charges les plus élevées. En effet, les rivières Richelieu, Saint-Maurice, Saint-François, Yamaska et Gatineau génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 stations. Ces rivières, auxquelles s'ajoute la rivière L'Assomption, exportent toutes plus de 200 tonnes annuellement.

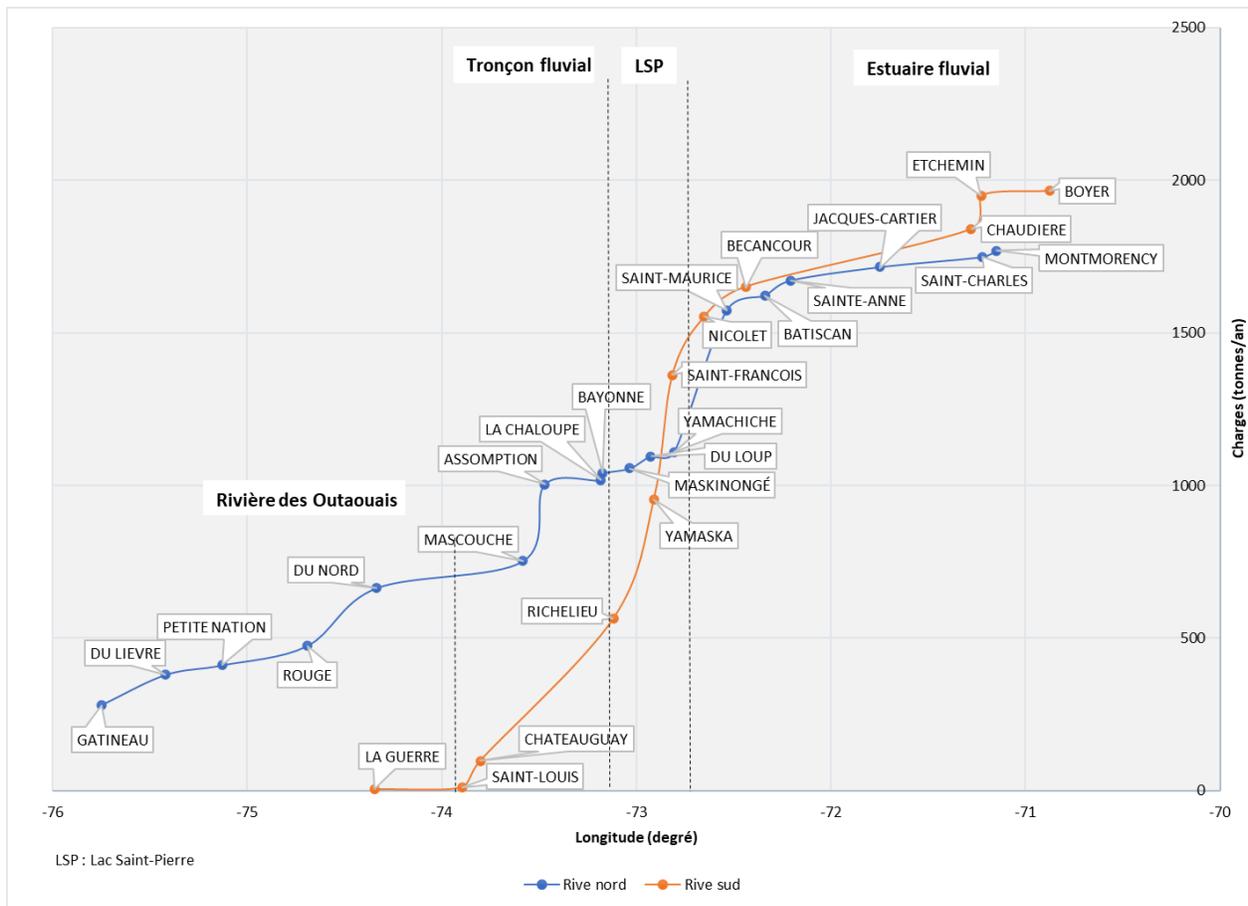


Figure 9 Charges totales moyennes cumulées d'azote ammoniacal en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.3.2 Charge spécifique par bassin versant

Les charges spécifiques d'azote ammoniacal varient entre 10 kg/km²/an pour la rivière du Lièvre et 219 kg/km²/an pour la rivière Mascouche (figure 10 et annexe 4). Les rivières Mascouche, du Nord, la Chaloupe, Yamaska, Etchemin et Boyer ont des charges spécifiques dépassant 70 kg/km²/an. Elles sont généralement plus élevées dans les bassins versants situés sur la rive sud où le territoire agricole domine (moyenne de 43 %). Gangbazo et Babin (2000) avaient obtenu entre 2,96 kg/km²/an et 30,8 kg/km²/an (médiane de 17 kg/km²/an) pour des bassins versants forestiers et entre 49,7 kg/km²/an et 398 kg/km²/an (médiane de 117 kg/km²/an) pour des bassins versants agricoles (figure 10). Entre 2013 et 2017, cinq bassins versants sur la rive sud et six sur la rive nord du Saint-Laurent ont des charges spécifiques d'azote ammoniacal typiques des milieux agricoles. Toutefois, les bassins versants des rivières du Nord et Saint-Charles ont des territoires urbanisés plus importants que le territoire agricole (11 % et 30 % respectivement), ce qui semble indiquer une contribution mixte. Des efforts de réduction ciblés et prioritaires dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

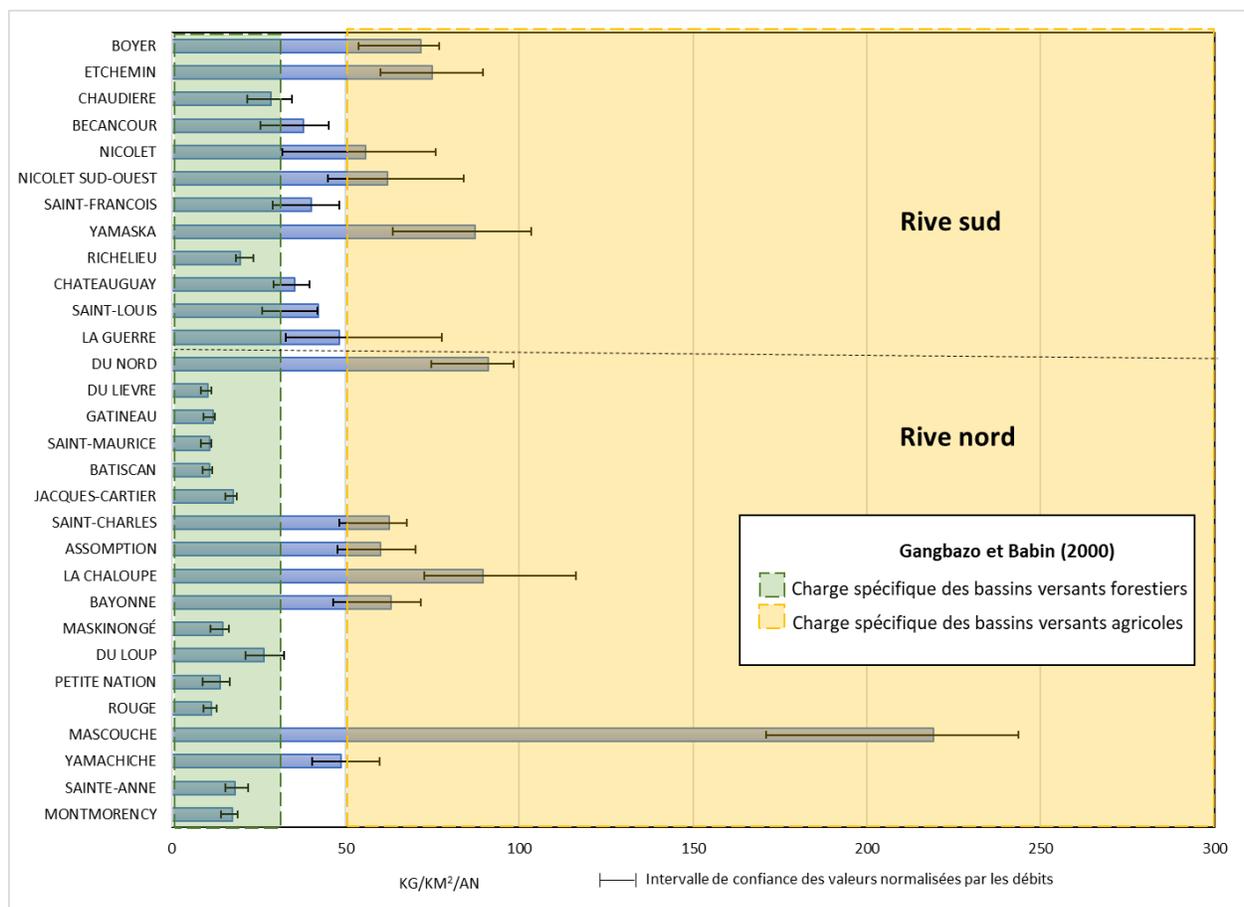


Figure 10 Charges spécifiques moyennes d'azote ammoniacal calculées sur la période 2013-2017 (kg/km²/an)

2.4 Charge de phosphore total

2.4.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges de phosphore total estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement 4156 tonnes. Les charges moyennes de phosphore total par rivière, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 11 et le tableau de l'annexe 5. Elles varient entre 3,2 tonnes et 568 tonnes par année.

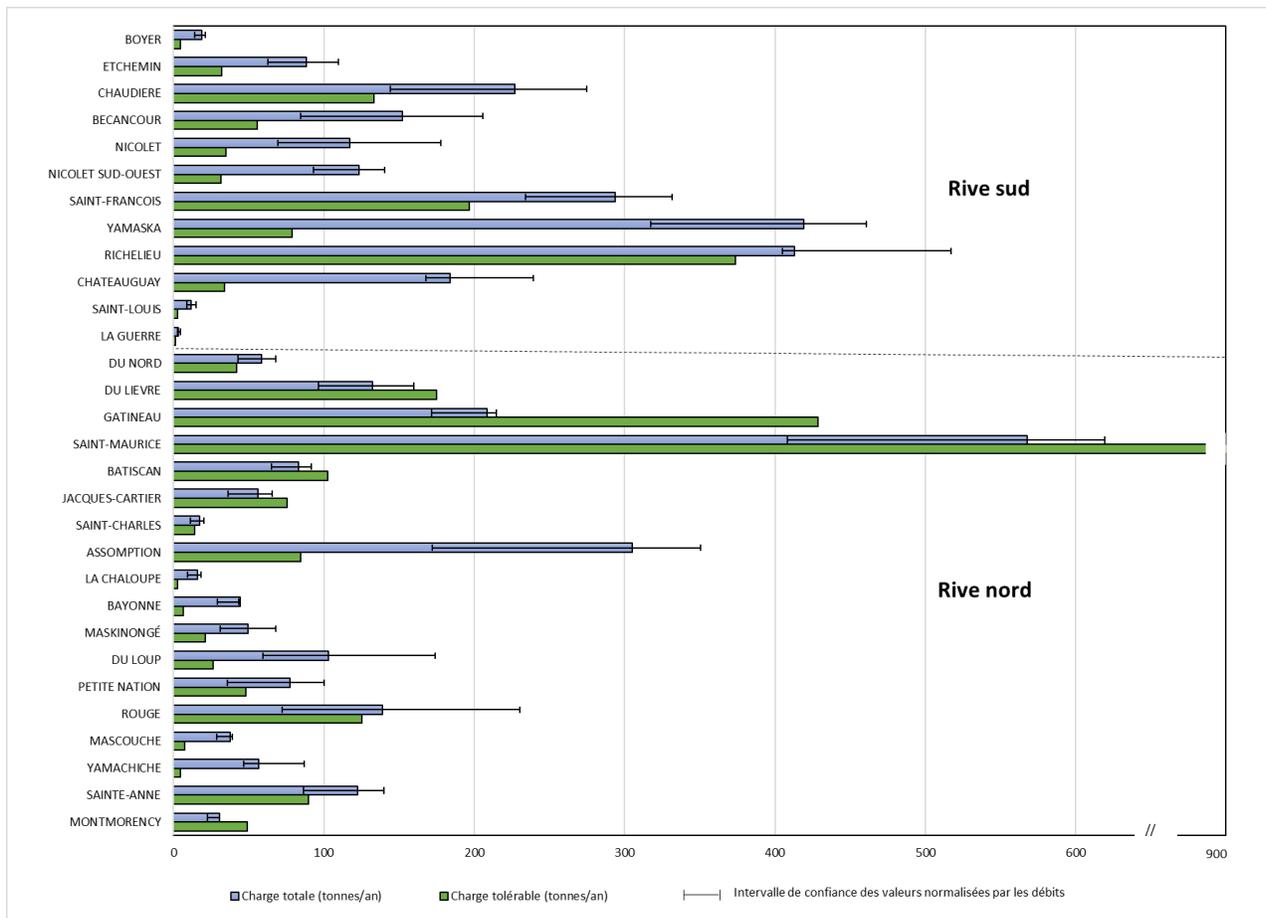


Figure 11 Charges totales moyennes annuelles de phosphore total calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles (tonnes/an)

Les tributaires situés sur la rive sud et sur la rive nord du fleuve contribuent de façon similaire à cette charge totale, avec 2 052 tonnes/an (49 %) et 2 104 tonnes/an (51 %) respectivement (figure 12 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges de phosphore total cumulées déversées par les tributaires des deux rives étaient plus importantes sur la rive nord que sur la rive sud (974 tonnes/an et 611 tonnes/an respectivement). Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive sud surpassent légèrement ceux de la rive nord (1 324 tonnes/an et 1 228 tonnes/an; total de 2 552 tonnes/an), ce qui perdure jusqu'à l'île d'Orléans (figure 12). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins versants transportent les charges les plus élevées. En effet, les rivières Saint-Maurice, Yamaska, Richelieu, L'Assomption, Saint-François, Chaudière et Gatineau exportent toutes plus de 200 tonnes annuellement et génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 rivières.

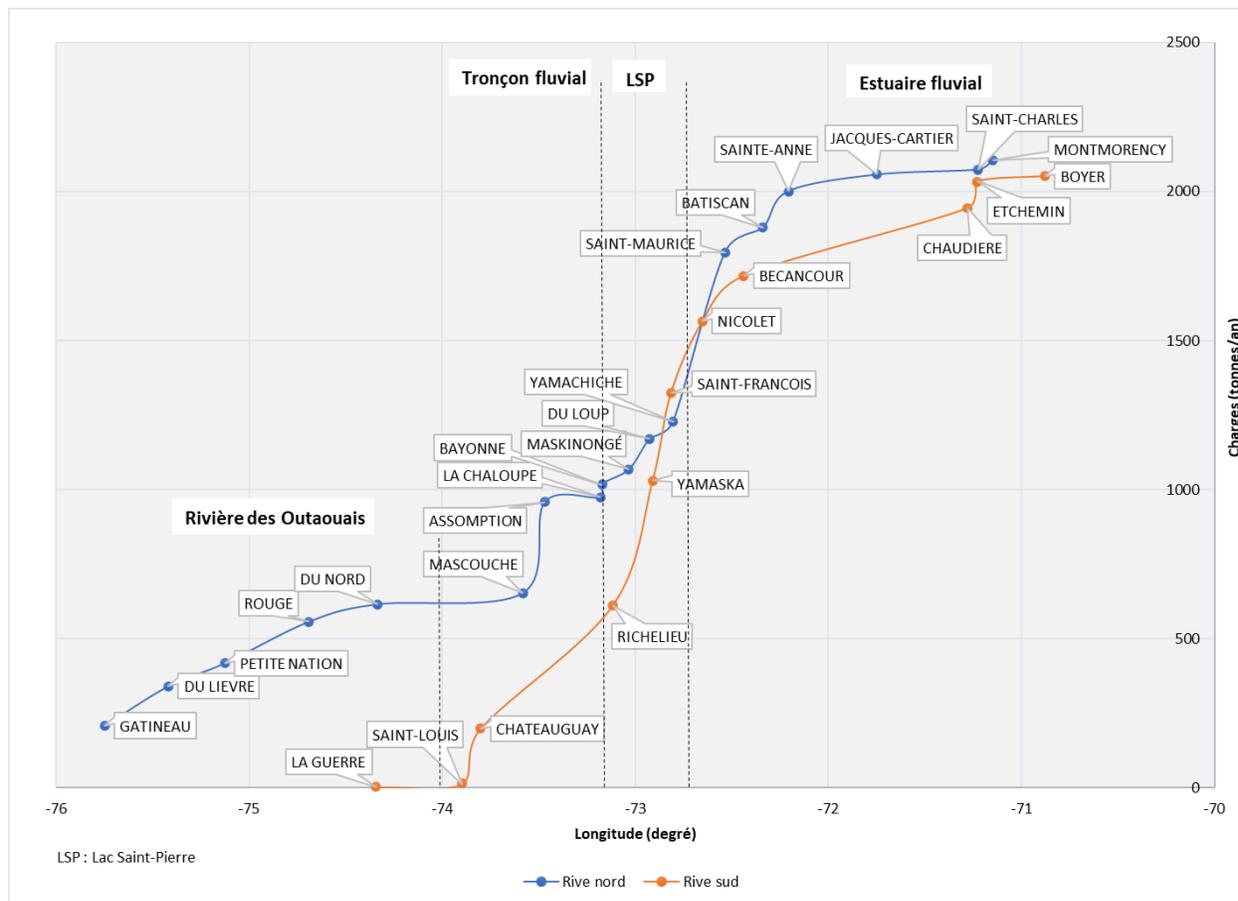


Figure 12 Charges totales cumulées de phosphore total en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.4.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant

Il y a une charge excédentaire de phosphore total par rapport à la valeur du critère de protection de la vie aquatique (effets chroniques) de 0,03 mg/l dans 24 des 30 (80 %) rivières, totalisant 1628 tonnes par année (figure 11 et annexe 5). Cet excédent provient principalement des tributaires de la rive sud du fleuve avec 1073 tonnes/an (66 %). Toutes les rivières sur la rive sud du fleuve présentent une charge excédentaire. Les données de 2013 à 2017 n'ont pas permis de mettre en évidence une charge excédentaire de phosphore dans les six rivières, soit du Lièvre, Gatineau, Saint-Maurice, Batiscan, Jacques-Cartier et Montmorency, toutes situées sur la rive nord du fleuve. Par conséquent, une réduction des apports est nécessaire pour atteindre le critère de concentration de phosphore total pour la prévention de l'eutrophisation, pour les tributaires autant de petite que de grande taille. Les rivières Yamaska (340 tonnes/an), L'Assomption (221 tonnes/an) et Châteauguay (150 tonnes/an) ont les plus grandes valeurs excédentaires. Des efforts de réduction, réalisés principalement dans ces bassins versants, pourraient permettre d'améliorer la santé des écosystèmes du Saint-Laurent.

En proportion relative, les rivières Yamachiche (92 %), Bayonne (86 %), Châteauguay (82 %), Yamaska (81 %), Saint-Louis (78 %), Boyer (76 %), du Loup (74 %) et Nicolet (74 %) doivent réduire leur charge annuelle respective de phosphore total des trois quarts ou plus pour que leur propre protection de la vie aquatique et des usages soit assurée. À noter que la charge annuelle calculée à la rivière Saint-Louis exclut la charge hivernale, elle est donc sous-évaluée. Ces rivières ont la caractéristique commune d'avoir un bassin versant où l'agriculture occupe plus de 50 % du bassin versant, sauf les bassins versants des

rivières du Loup et Yamachiche dont la superficie agricole n'occupe que 8 % et 21 % du territoire respectivement.

2.4.3 Charge spécifique par bassin versant

Les charges spécifiques de phosphore total varient entre 9 kg/km²/an pour la rivière Gatineau et 216 kg/km²/an pour la rivière Yamachiche (figure 13 et annexe 5). Les rivières Yamachiche, Bayonne, la Chaloupe, Yamaska, Mascouche et Boyer ont des charges spécifiques dépassant 90 kg/km²/an. Elles sont généralement plus élevées dans les bassins versants situés sur la rive sud et où le territoire agricole domine (moyenne de 50 %). Ces rivières, en plus de la rivière Nicolet Sud-Ouest, ont des charges spécifiques typiques des bassins versants agricoles, selon Gangbazo et Babin (2000). Ceux-ci avaient obtenu des charges spécifiques entre 4,71 kg/km²/an et 76,9 kg/km²/an (médiane de 27 kg/km²/an) pour des bassins versants forestiers et entre 40,4 kg/km²/an et 224 kg/km²/an (médiane de 96 kg/km²/an) pour des bassins versants agricoles (figure 13). Toutefois, tel qu'il a été mentionné précédemment, la superficie agricole n'occupe que 21 % du territoire du bassin versant de la rivière Yamachiche, ce qui signifie qu'elle occasionne une forte pression d'apports en phosphore total sur un territoire restreint. Le territoire urbanisé occupe près du quart de la superficie du bassin versant de la rivière Mascouche, ce qui indique une contribution mixte. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

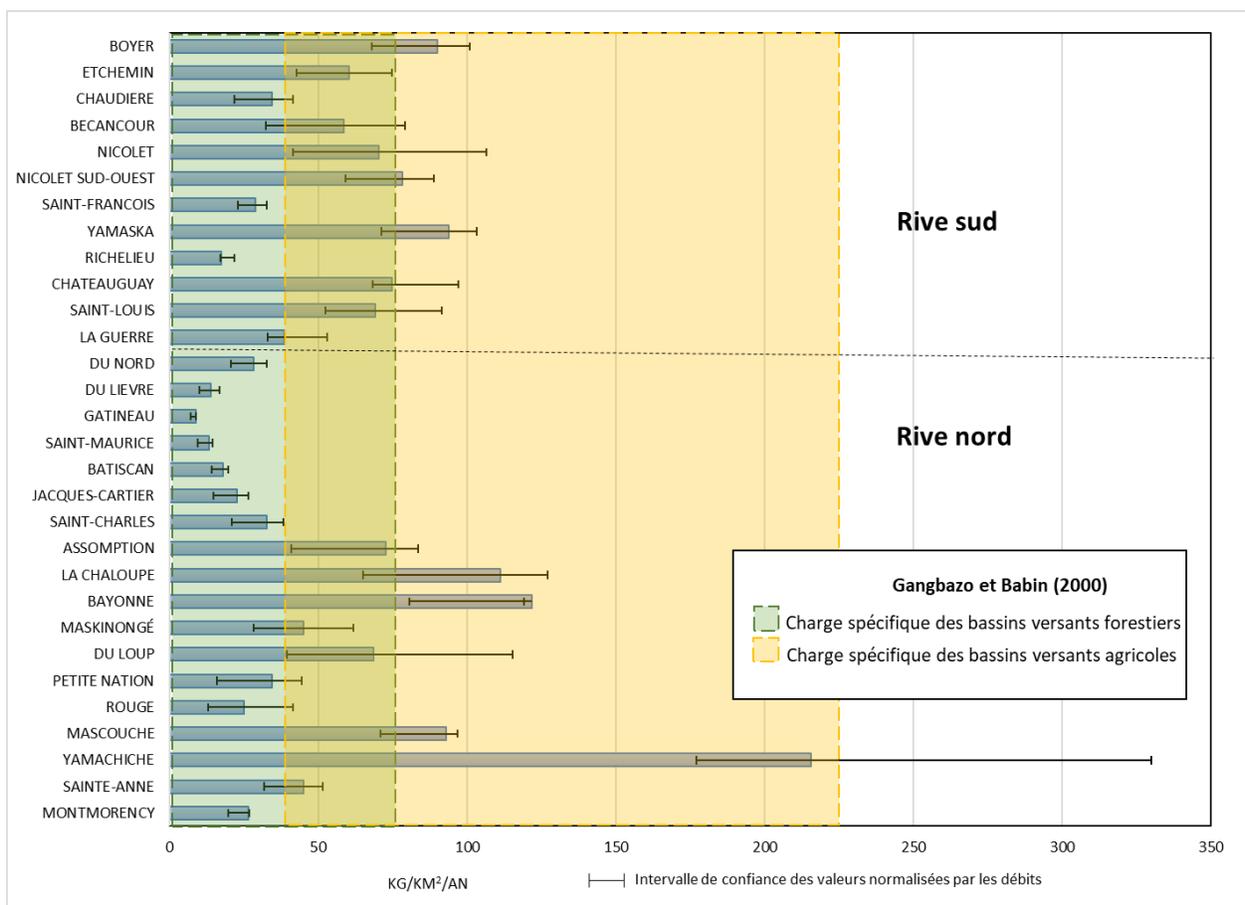


Figure 13 Charges spécifiques moyennes de phosphore total calculées sur la période 2013-2017 (kg/km²/an)

2.5 Charge en matières en suspension

2.5.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges de matières en suspension estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement 3 092 346 tonnes. Les charges moyennes de MES par rivières, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 14 et le tableau de l'annexe 6. Elles varient entre 1 198 tonnes et 342 200 tonnes par année. Toutefois, les valeurs des intervalles de confiance ont une amplitude importante, surtout pour les rivières ayant des charges élevées. Ainsi, les charges de MES sont très variables d'une année à l'autre, rendant la charge moyenne moins représentative que pour les autres paramètres.

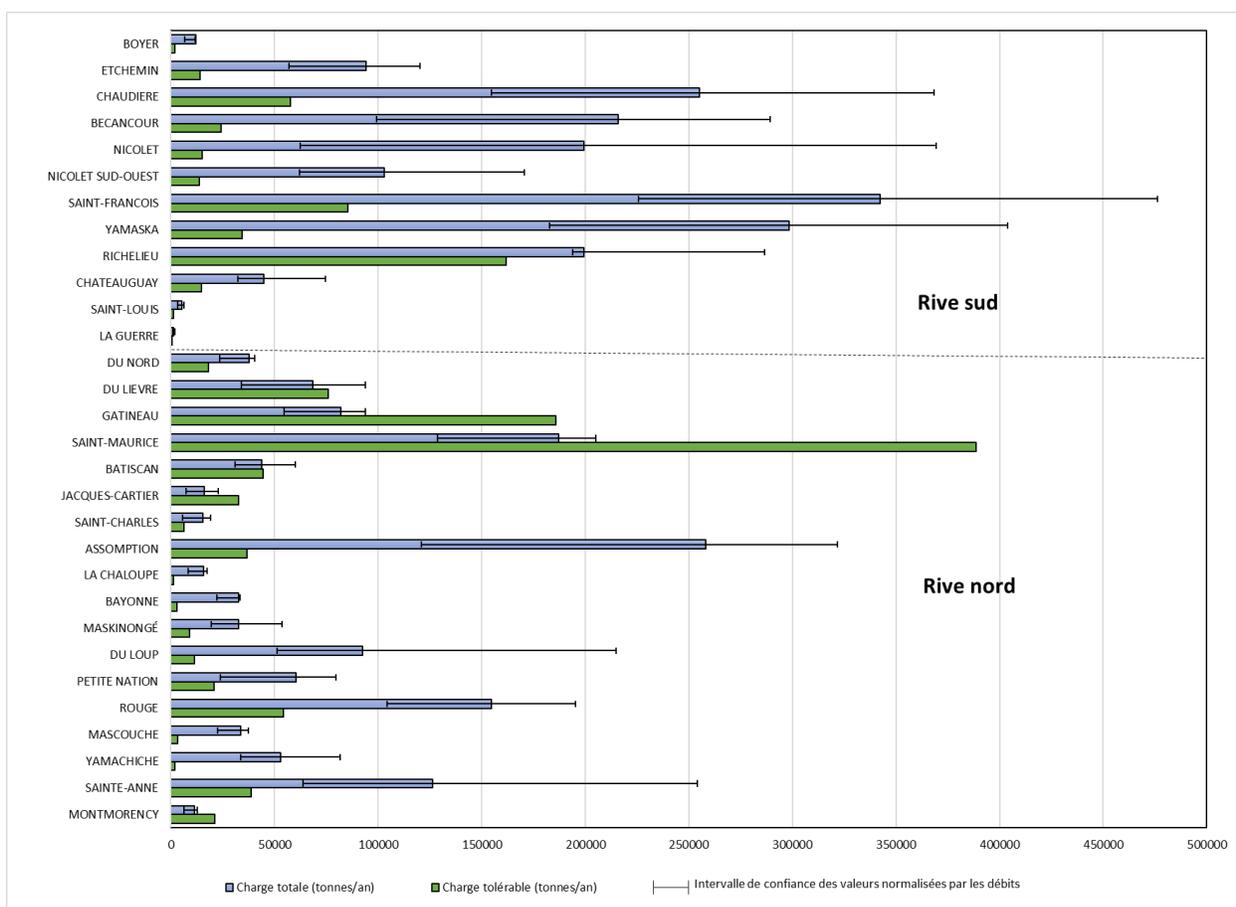


Figure 14 Charges totales moyennes annuelles calculées sur la période 2013-2017 et charges tolérables annuelles de matières en suspension (tonnes/an)

Les tributaires situés sur la rive sud du fleuve contribuent davantage à cette charge totale que les tributaires de la rive nord, avec 1 770 846 tonnes/an (57 %) et 1 321 500 tonnes/an (43 %) respectivement (figure 15 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges de matières en suspension cumulées déversées par les tributaires étaient presque trois fois plus importantes sur la rive nord que sur la rive sud (710 954 tonnes/an et 250 658 tonnes/an respectivement). Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive nord ne surpassent que légèrement ceux de la rive sud (921 846 et 891 258 tonnes/an; total de 1 813 104 tonnes/an). Les apports des tributaires de la rive sud surpassent ceux de la rive nord à l'île d'Orléans (figure 15). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins

versants transportent généralement les charges les plus élevées (excluant la rivière Saint-Maurice). En effet, les rivières Saint-François, Yamaska, L'Assomption, Chaudière, Bécancour, Richelieu et Nicolet exportent près de 200 000 tonnes et plus annuellement et génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 rivières.

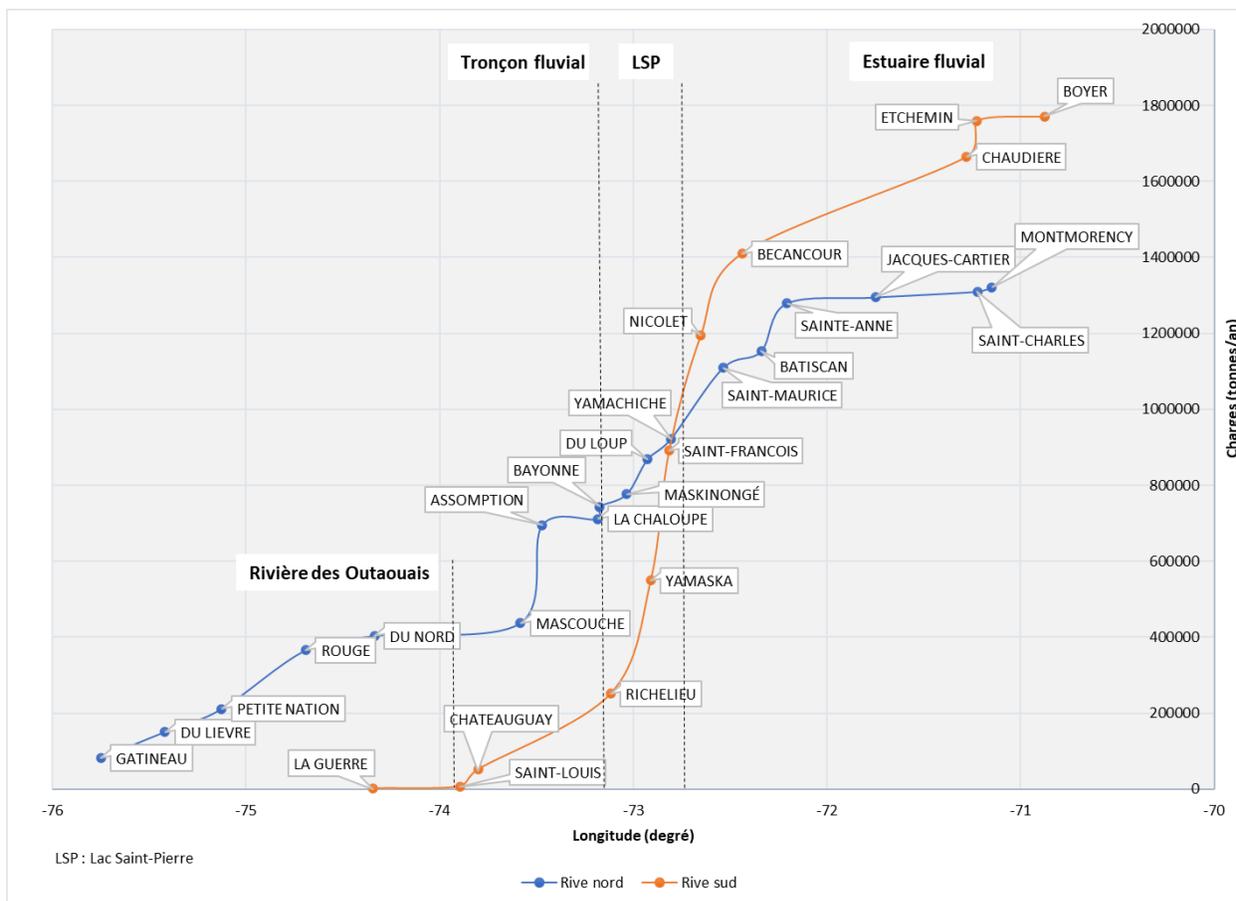


Figure 15 Charges totales moyennes cumulées de matières en suspension en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.5.2 Charge excédentaire totale et par bassin versant

Il y a une charge excédentaire de matières en suspension par rapport à la valeur repère de 13 mg/l dans 24 des 30 (80 %) rivières, totalisant 2 055 103 tonnes par année (figure 14 et annexe 6). Cet excédent provient principalement des tributaires de la rive sud du fleuve, avec 1 346 699 tonnes/an (66 %). En effet, toutes les rivières situées sur la rive sud du fleuve montrent une charge excédentaire. Les données de 2013 à 2017 n'ont pas permis de mettre en évidence une charge excédentaire de MES dans six rivières de la rive nord du fleuve, soit du Lièvre, Gatineau, Saint-Maurice, Batiscan, Jacques-Cartier et Montmorency, les mêmes rivières que pour le phosphore total. Les rivières Yamaska (264 145 tonnes/an), Saint-François (256 952 tonnes/an) et L'Assomption (221 687 tonnes/an) ont les plus grandes valeurs excédentaires. Des efforts de réduction, réalisés principalement dans ces bassins versants, pourraient permettre d'améliorer la santé des écosystèmes du Saint-Laurent.

En proportion relative, les rivières Yamachiche (96 %), la Chaloupe (93 %), Bayonne (92 %) et Mascouche (90 %) doivent voir leur charge annuelle respective de MES réduite de 90 % ou plus pour que leur propre

protection de la vie aquatique et des usages soit assurée. En effet, l'accumulation de sédiments au fond des cours d'eau peut notamment nuire aux organismes benthiques, mais aussi aux poissons en ensablant les frayères.

2.5.3 Charge spécifique par bassin versant

Les charges spécifiques de MES varient entre 3 444 kg/km²/an pour la rivière Gatineau et 201 521 kg/km²/an pour la rivière Yamachiche (figure 16 et annexe 6). Les rivières Yamachiche, Nicolet, la Chaloupe, Bayonne, Mascouche et Bécancour ont des charges spécifiques dépassant 80 000 kg/km²/an. Elles sont généralement plus élevées dans les bassins versants situés sur la rive sud et où le territoire agricole domine (moyenne de 42 %). Gangbazo et Babin (2000) avaient obtenu des charges spécifiques entre 102 kg/km²/an et 111 285 kg/km²/an (médiane de 6534 kg/km²/an) pour des bassins versants forestiers et entre 860 kg/km²/an et 57 337 kg/km²/an (médiane de 14 648 kg/km²/an) pour des bassins versants agricoles (figure 11). Le chevauchement des gammes de valeurs typiques des milieux agricoles et forestiers de Gangbazo et Babin (2000) rend difficile leur interprétation. Toutefois, selon les valeurs médianes de Gangbazo et Babin (2000), les bassins versants agricoles (médiane : 14 648 kg/km²/an) exportent généralement davantage de MES que les bassins forestiers (médiane : 6 534 kg/km²/an). La superficie agricole n'occupe que 21 % du territoire du bassin versant de la rivière Yamachiche, ce qui semble indiquer qu'elle occasionne une forte pression d'apports en MES totales sur un territoire restreint. Le territoire urbanisé occupe près du quart de la superficie du bassin versant de la rivière Mascouche, ce qui semble indiquer une contribution mixte. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

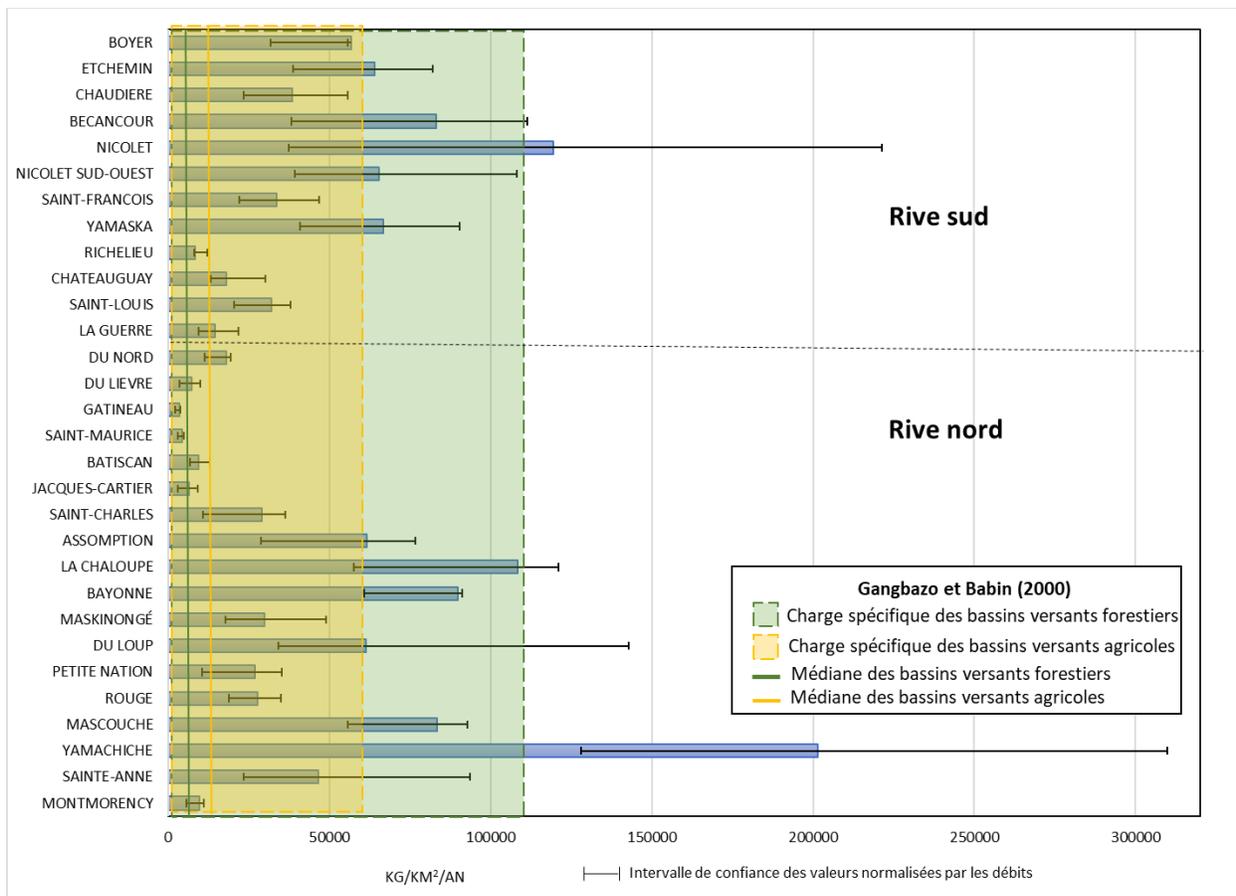


Figure 16 Charges spécifiques moyennes de matières en suspension, 2013-2017 (kg/km²/an)

2.6 Charge de coliformes fécaux

2.6.1 Charge totale et par bassin versant

Les charges récentes de coliformes fécaux estimées à l'embouchure des 30 principaux tributaires du Saint-Laurent totalisent annuellement $69\,035 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour. Les charges moyennes de CF par rivière, ainsi que les intervalles de confiance à 90 %, sont présentées dans la figure 17 et le tableau de l'annexe 7. Elles varient entre $7,5 \cdot 10^4$ millions et $14\,984 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour. Toutefois, les valeurs des intervalles de confiance ont une amplitude importante, surtout pour les rivières ayant des charges élevées, comme c'est le cas pour les MES. Ainsi, les quantités de CF déversées sont variables d'une année à l'autre, rendant la charge moyenne moins représentative que pour les autres paramètres.

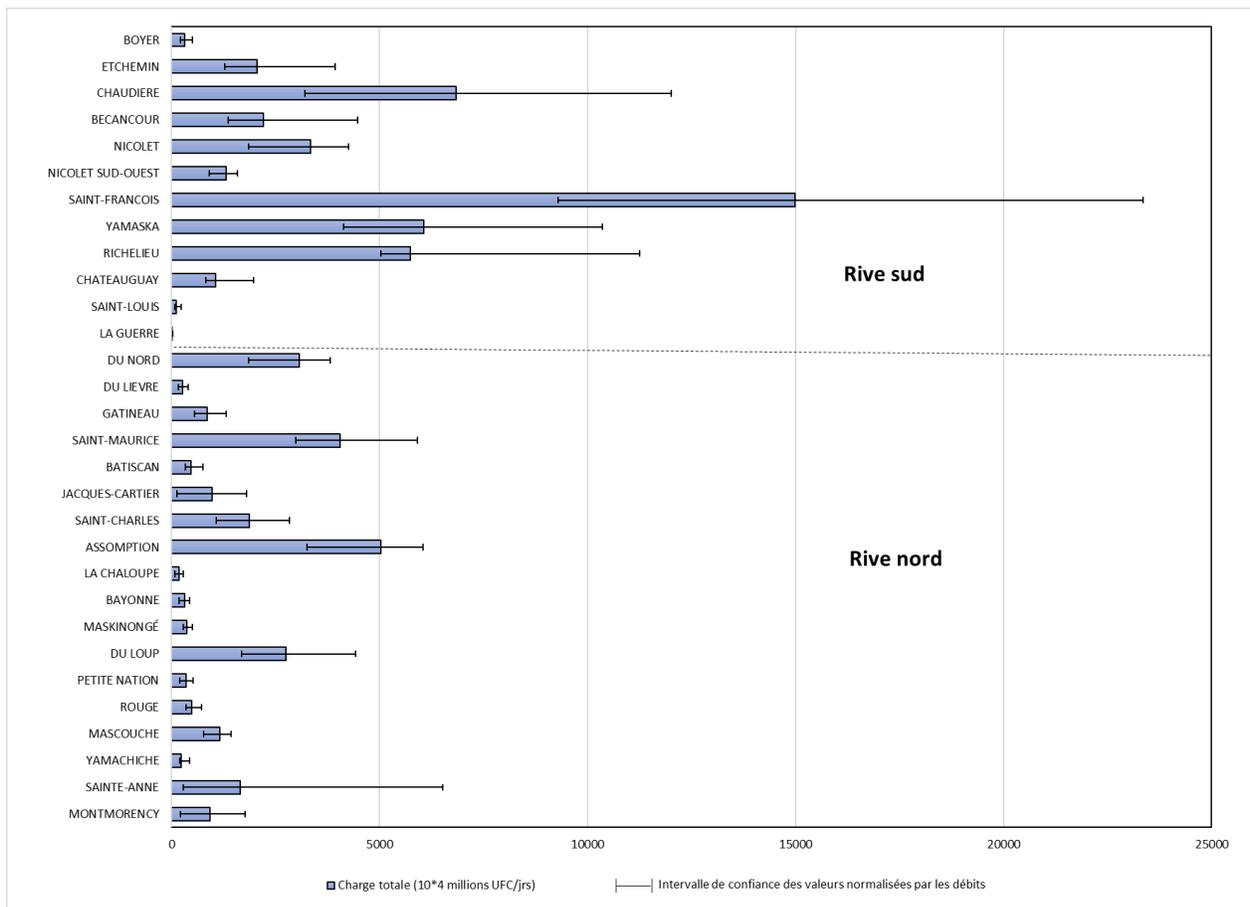


Figure 17 Charges totales moyennes annuelles de coliformes fécaux calculées sur la période 2013-2017 (10^4 millions d'UFC par jour)

Les tributaires situés sur la rive sud du fleuve contribuent davantage à cette charge totale que les tributaires situés sur la rive nord, avec $44\,035 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour (64 %) et $25\,000 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour (36 %) respectivement (figure 18 et annexe 8). En amont du lac Saint-Pierre, les charges cumulées de coliformes fécaux déversées par les tributaires des deux rives étaient presque deux fois plus importantes sur la rive nord que sur la rive sud ($11\,410 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour et $6\,928 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour respectivement). Les apports importants des rivières Yamaska et Saint-François dans le lac Saint-Pierre font en sorte qu'à la sortie de celui-ci les apports provenant de la rive sud surpassent ceux de la rive nord ($27\,976 \cdot 10^4$ millions et $15\,066 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour; total de $43\,042 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour), ce

qui perdure jusqu'à l'île d'Orléans (figure 18). Les charges totales étant principalement fonction du débit, les grands bassins versants transportent généralement les charges les plus élevées. En effet, les rivières Saint-François, Chaudière, Yamaska, Richelieu et L'Assomption exportent près de $38\,668 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour et génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 30 rivières.

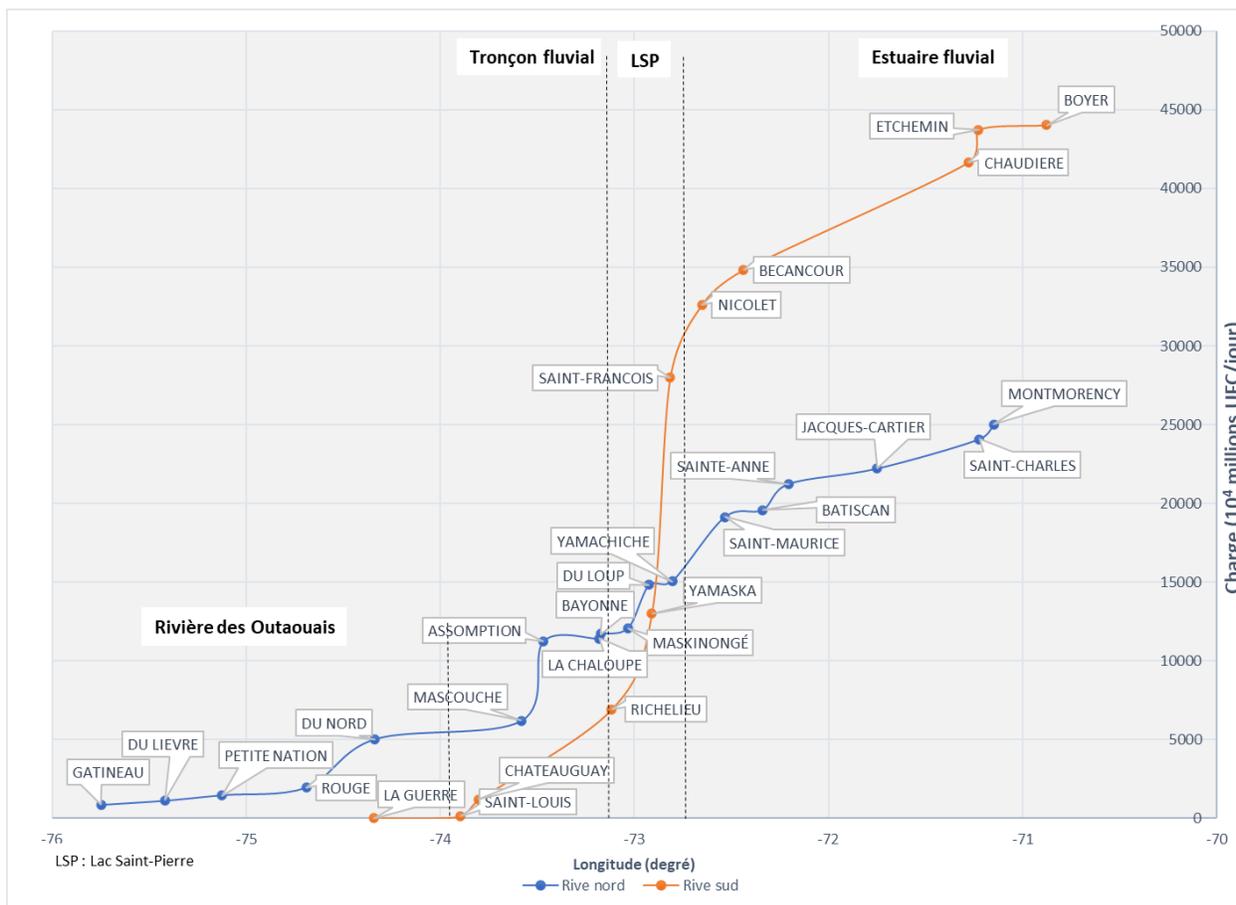


Figure 18 Charges totales moyennes cumulées de coliformes fécaux en fonction de la rive du fleuve calculées sur la période 2013-2017 (tonnes/an)

2.6.2 Charge spécifique par bassin versant

Les charges spécifiques de CF varient entre 285 millions d'UFC/jour/km² pour la rivière du Lièvre et 35 370 millions d'UFC/jour/km² pour la rivière Saint-Charles (figure 19 et annexe 7). Les rivières Saint-Charles, Mascouche, Nicolet, du Loup et Boyer ont des charges spécifiques dépassant 15 000 millions d'UFC/jour/km². Toutefois, la superficie agricole n'occupe que 4 % du territoire du bassin versant de la rivière Saint-Charles, alors que le territoire urbanisé occupe près du tiers du bassin versant, ce qui semble indiquer une pression anthropique importante. Le territoire urbanisé occupe près du quart de la superficie du bassin versant de la rivière Mascouche, ce qui semble indiquer une contribution mixte. La superficie agricole n'occupe que 8 % du territoire du bassin versant de la rivière du Loup, ce qui semble indiquer qu'elle occasionne une forte pression d'apports en CF sur un territoire restreint. Les superficies agricoles dominantes des rivières Nicolet (40 %) et Boyer (66 %) semble indiquer une pression agricole. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du territoire seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau de leur rivière.

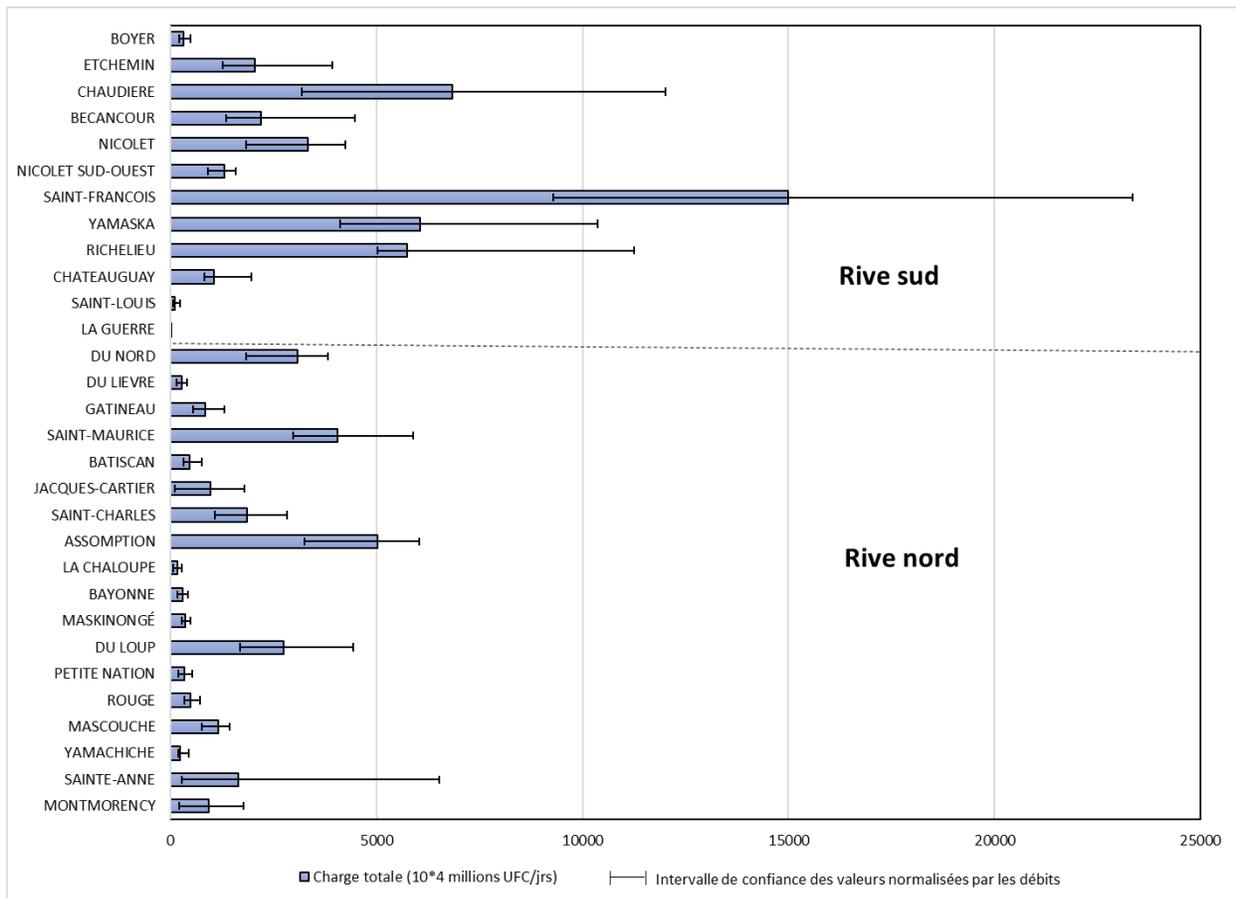


Figure 19 Charges spécifiques moyennes de coliformes fécaux, 2013-2017 (millions d'UFC/km²/jour)

2.7 Portrait global

Les sections précédentes ont dressé le portrait des charges totales, excédentaires et spécifiques des paramètres physicochimiques et bactériologique séparément. Le portrait global suivant permet de faire une synthèse de résultats de charges obtenus et de les mettre en relation avec des variables environnementales pouvant globalement être explicatives.

2.7.1 Charges totales et excédentaires vers le fleuve Saint-Laurent : tributaires en cause et réduction souhaitable

Les 30 principaux tributaires du Saint-Laurent déversent une charge totale annuelle de 4 156 tonnes de phosphore total, 57 740 tonnes d'azote total, plus de 3 092 346 tonnes de MES et plus de 60 035*10⁴ millions d'UFC par jour de coliformes fécaux. Les rivières Yamaska, Richelieu, Saint-François, Saint-Maurice, Chaudière et L'Assomption ont généralement les charges totales les plus élevées (figure 20; stations à la gauche de l'axe 1). Ces 6 rivières, sur les 30 à l'étude, contribuent le plus souvent à plus de la moitié des charges totales exportées vers le Saint-Laurent. Si l'on compare les apports selon les rives du fleuve, les bassins versants situés sur la rive sud du Saint-Laurent fournissent généralement les apports les plus importants en NTOT (57 %), en nitrates (64 %), en NH₃ (53 %), en MES (57 %) et en CF (64 %). À l'inverse, les apports en PTOT sont légèrement plus importants (51 %) en provenance des tributaires de la rive nord du fleuve (annexe 8). Les charges cumulées montrent que les apports en amont et directement dans lac Saint-Pierre représentent entre 59 % (MES) et 67 % (nitrates) des apports totaux.

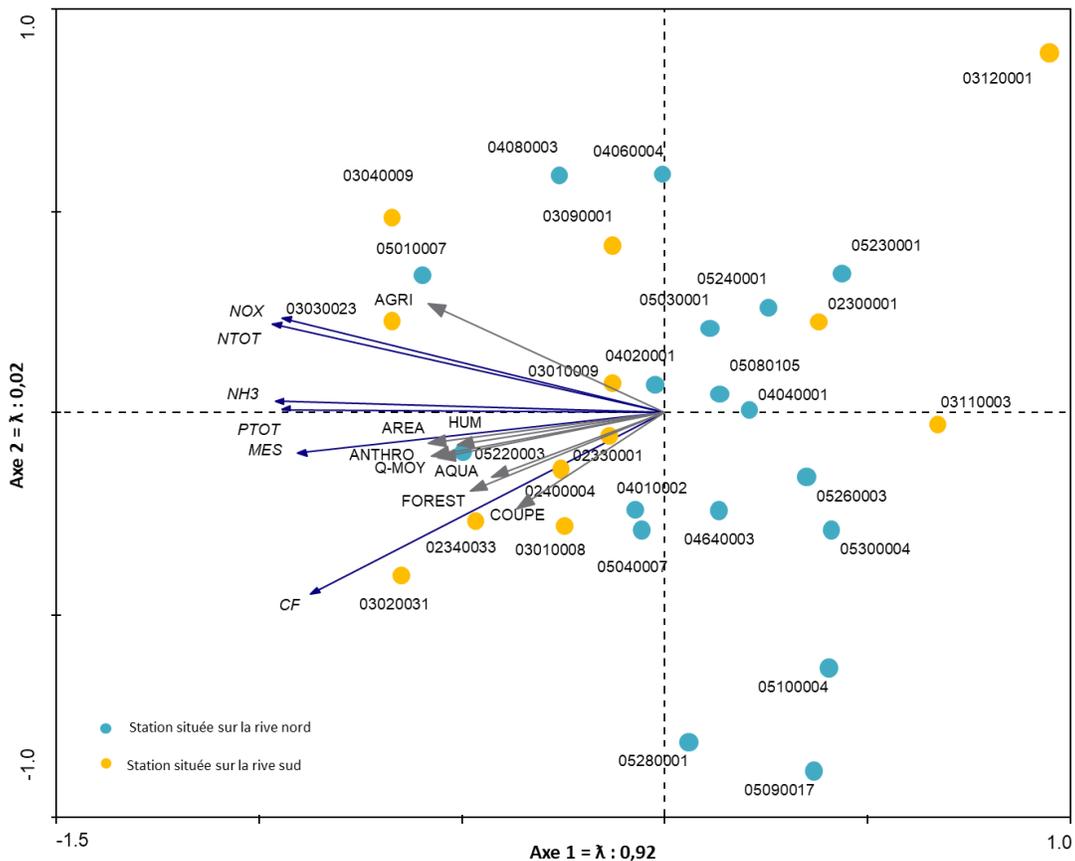


Figure 20 Analyse en composantes principales illustrant la position des stations d'échantillonnage en fonction des charges totales de tous les constituants et des variables environnementales

Pour l'ensemble des tributaires, les charges totales sont liées aux superficies agricoles ($r_s \geq 0,57$; $p < 0,05$), à la superficie drainée ($r_s \geq 0,49$; $p < 0,05$), au débit moyen de la rivière ($r_s \geq 0,48$; $p < 0,05$), ainsi qu'aux superficies urbanisées ($r_s \geq 0,45$; $p < 0,05$) (figure 20 et annexe 10). Les paramètres liés principalement au débit (lié à la superficie du bassin versant en km^2) sont les matières en suspension, le phosphore total et l'azote ammoniacal ($r_s \geq 0,55$; $p < 0,05$), mais les charges de tous les paramètres y sont également liées. Les charges d'azote total et de nitrates sont particulièrement liées aux superficies agricoles ($r_s \geq 0,74$; $p < 0,05$), mais les charges de tous les paramètres y sont également liées. Cette étude indique également que les charges d'azote ammoniacal et de coliformes fécaux sont les constituants les plus liés aux superficies urbanisées ($r_s \geq 0,52$; $p < 0,05$), bien que le secteur agricole y contribue davantage ($r_s \geq 0,57$; $p < 0,05$). Par conséquent, il est cohérent que les six rivières ayant les charges totales les plus élevées aient des débits moyens annuels élevés (débit moyen de plus de $83 \text{ m}^3/\text{s}$, surtout de grandes rivières) et les territoires agricoles et urbanisés les plus importants (plus de $65\,000 \text{ km}^2$ et plus de $23\,000 \text{ km}^2$ respectivement). La superficie médiane de leur bassin versant est de $8\,392 \text{ km}^2$.

Les charges excédentaires totalisent 1 628 tonnes de phosphore total, 8 179 tonnes d'azote total et 2 055 103 tonnes de MES, ce qui représente 39 %, 14 % et 66 % respectivement de la charge totale des trente tributaires. Les charges annuelles totales en phosphore total et en matières en suspension sont excédentaires dans 80 % des bassins versants à l'étude, notamment dans tous ceux qui sont sur la rive sud du fleuve. C'est également le cas pour l'azote total, dans 43 % des bassins versants. Les rivières Yamaska, Châteauguay, Saint-François, L'Assomption, Bécancour et Chaudière ont les excès en

nutriments et en MES les plus importants. Les rivières Nicolet et Nicolet Sud-Ouest font également partie de ce groupe si l'on considère le cumul de leurs charges excédentaires. La rivière Yamaska se distingue, ayant les charges excédentaires les plus importantes en phosphore total, en azote total et en MES. La rivière Richelieu ne figure pas parmi les rivières ayant les excédents les plus importants, malgré ses charges élevées. Toutefois, la charge moyenne exportée par celle-ci est en deçà de ce qui est normalement attendu pour l'azote total et près de la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % pour le phosphore total et l'azote total. Cela s'explique notamment par des débits enregistrés plus faibles durant la période 2013-2017 (moyenne de 395 m³/s) que durant la période précédente de 2009-2012 (moyenne de 479 m³/s). Finalement, malgré ses charges importantes, la rivière Saint-Maurice n'a aucune charge excédentaire. Cette dernière a la particularité d'avoir un bassin versant presque totalement naturel (99 %; tableau 1).

2.7.2 Bassins versants dont les pressions sont les plus grandes par unité de surface : interventions ciblées

Les cours d'eau de plus petite taille, ayant des débits plus faibles, ont généralement des charges spécifiques et des charges relatives excédentaires plus importantes (figure 21 et annexe 10).

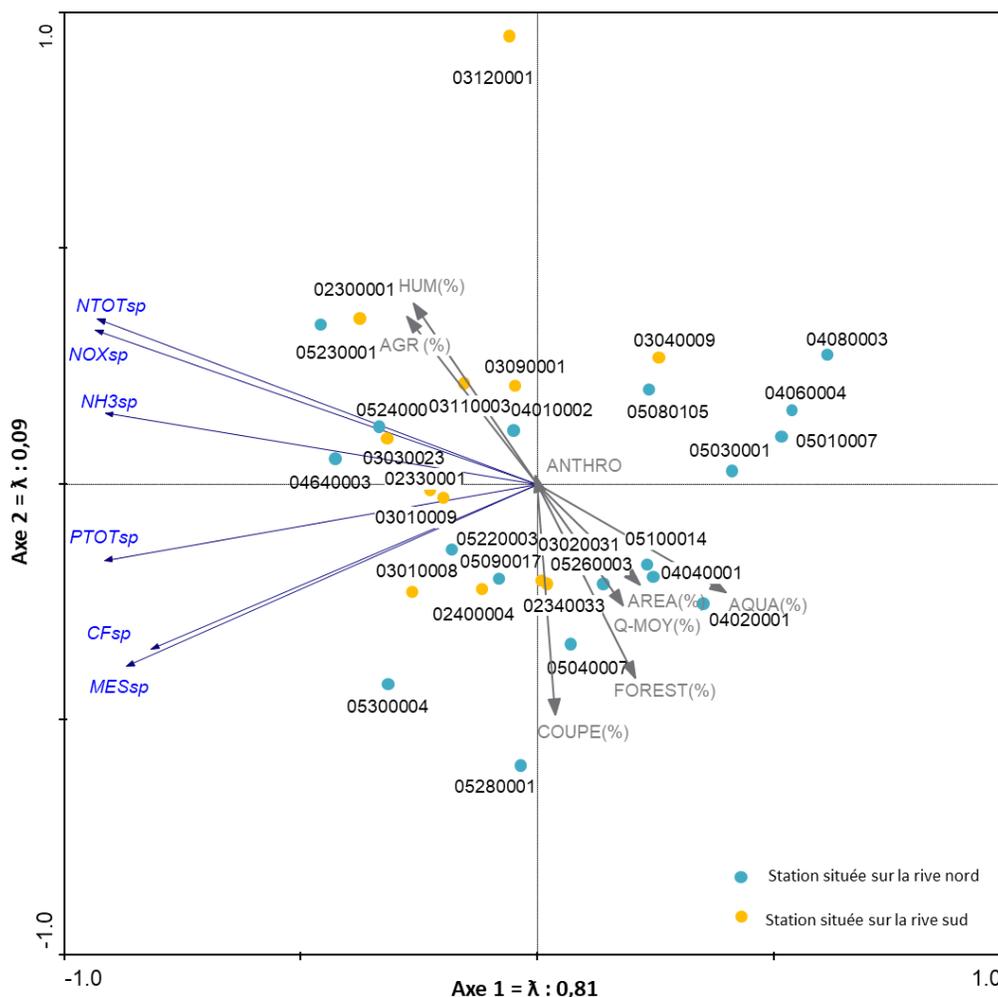


Figure 21 Analyse en composantes principales illustrant la position des stations d'échantillonnage en fonction des charges spécifiques de tous les constituants et des variables environnementales

Les charges spécifiques sont peu liées au débit de la rivière (corrélation faible et relation inversement proportionnelle) et sont davantage élevées dans les petits bassins versants dont la proportion du territoire agricole (%) est élevée, surtout pour les charges d'azote total et de nitrates ($r_s \approx 0,49$; $p < 0,05$). La charge spécifique étant l'expression de la pression par unité de surface, les bassins versants ayant des charges spécifiques élevées sont également ceux affichant les concentrations les plus importantes (MELCC, 2020) et ayant les charges excédentaires relatives les plus importantes. Ainsi, de plus petits cours d'eau, tels que les rivières Yamachiche, la Chaloupe, Mascouche, Boyer, Bayonne, La Guerre et Saint-Louis, figurent le plus souvent dans les 5 ou 6 cours d'eau pour lesquels les charges spécifiques sont les plus élevées et ont des charges excédentaires à 4 des 5 paramètres pour lesquels elles ont été évaluées. La superficie médiane de leur bassin versant est de 233 km². Parmi les grandes rivières, la rivière Yamaska (superficie du bassin versant de 4 464 km²) a des charges spécifique et excédentaire relative parmi les plus élevées et comparables à celles des plus petits tributaires, particulièrement pour le phosphore total et les différentes formes d'azote. La charge spécifique d'azote total de ces cours d'eau varie entre 844 et 2 665 kg/an/km² et les terres agricoles occupent entre 21 % et 66 % de leur bassin versant. Le territoire agricole n'est toutefois pas dominant dans le bassin versant de la rivière Yamachiche, celui-ci étant principalement naturel (74 %), ce qui semble indiquer qu'il occasionne une forte pression d'apports sur un territoire restreint.

Discussion et conclusion

Cette étude a permis de quantifier les apports en provenance des principaux tributaires du Saint-Laurent en amont de l'île d'Orléans et d'évaluer les efforts de réduction nécessaires pour assurer la protection de la vie aquatique et des usages des cours d'eau à l'étude, et ultimement du fleuve et de son estuaire. Les bassins versants subissant les pressions les plus importantes par unité de surface ont été identifiés. Finalement, un lien sommaire a été établi entre les charges estimées et les variables environnementales, dont l'occupation du territoire, afin d'orienter vers des pistes de solution et d'intervention.

Les 30 principaux tributaires du Saint-Laurent déversent une charge totale annuelle de 4 156 tonnes de phosphore total, 57 740 tonnes d'azote total, plus de 3 092 346 tonnes de MES et de $60\,035 \cdot 10^4$ millions d'UFC par jour de coliformes fécaux. Les bassins versants situés sur la rive sud du Saint-Laurent fournissent généralement les apports les plus importants en NTOT (57 %), en nitrates (64 %), en NH_3 (53 %), en MES (57 %) et en CF (64 %). À l'inverse, les apports en PTOT sont légèrement plus importants (51 %) en provenance des tributaires de la rive nord du fleuve. Les apports en amont du lac Saint-Pierre et directement dans ce lac représentent plus de la moitié des apports totaux au fleuve, soit 59 % des MES, 61 % du phosphore total, 62 % des coliformes fécaux, 63 % de l'azote total, 66 % de l'azote ammoniacal et 67 % des nitrates, ce qui occasionne une pression importante sur cet écosystème fragilisé. C'est notamment près de 1 800 000 tonnes par année de MES apportées au lac Saint-Pierre chaque année. Corriveau et collab. (2020) ont d'ailleurs obtenu une évaluation similaire pour les sept principaux tributaires du lac Saint-Pierre, en utilisant la version canadienne de l'équation universelle des pertes en sol révisée (RUSLE-CAN). Les rivières ayant les charges les plus élevées, soit les rivières Yamaska, Richelieu, Saint-François, Saint-Maurice, Chaudière et L'Assomption, ont généralement des débits moyens annuels élevés (débits moyens de plus de $83 \text{ m}^3/\text{s}$, surtout de grandes rivières) et les territoires agricoles et urbanisés les plus importants (plus de $65\,000 \text{ km}^2$ et plus de $23\,000 \text{ km}^2$ respectivement). La superficie médiane de leur bassin versant est de $8\,392 \text{ km}^2$.

Les réductions nécessaires pour atténuer les impacts sur le fleuve Saint-Laurent (charges excédentaires totales) totalisent 1 628 tonnes de phosphore total, 8 179 tonnes d'azote total et 2 055 103 tonnes de MES, ce qui représente 39 %, 14 % et 66 % respectivement de la charge totale des trente tributaires. Les charges annuelles totales en phosphore total et en matières en suspension sont excédentaires dans 80 % des bassins versants à l'étude, notamment dans tous ceux qui sont sur la rive sud du fleuve. C'est également le cas pour l'azote total, dans 43 % des bassins versants. Les rivières Yamaska, Châteauguay, Saint-François, L'Assomption, Bécancour et Chaudière ont les plus grands excédents. Les rivières Nicolet et Nicolet Sud-Ouest font également partie de ce groupe si l'on considère le cumul de leurs charges excédentaires. La rivière Yamaska se distingue, ayant les charges excédentaires les plus importantes en phosphore total, en azote total et en MES. Finalement, malgré ses charges importantes, la rivière Saint-Maurice n'a aucune charge excédentaire, ces apports étant largement d'origine naturelle (Patoine, 2017). Des efforts importants de réduction sont donc nécessaires dans la grande majorité des bassins versants pour assurer la protection de la vie aquatique et la récupération des usages des cours d'eau, puis réduire les impacts sur le fleuve dans son ensemble. Ces réductions doivent provenir principalement des rivières Yamaska, Châteauguay, Saint-François et L'Assomption pour réduire la pression exercée sur les écosystèmes du lac Saint-Pierre.

Les apports au Saint-Laurent estimés dans cette étude excluent les apports en provenance de la section amont du fleuve, ceux des Grands Lacs, des affluents non couverts par les activités du Réseau-rivières, ainsi que de la plaine inondable du fleuve. De plus, les charges des tributaires eux-mêmes peuvent être sous-estimées, notamment en raison de la stratégie d'échantillonnage mensuelle du suivi, qui peut entraîner une moins bonne représentation des périodes de débits élevés (Hirsch et De Cicco, 2015). De plus, quatre rivières sont suivies à leur embouchure 8 mois par année, d'avril à novembre. Par conséquent, les charges totales annuelles calculées pour ces rivières sont sous-estimées, ce qui est encore plus vrai pour l'azote total dont les concentrations sont particulièrement élevées en hiver. Finalement, un changement dans l'analyse du phosphore en laboratoire a entraîné une sous-estimation des concentrations et des charges rapportées dans le présent rapport pour la période de 2013 à 2017. Les charges totales et

les charges excédentaires calculées dans ce rapport sont donc nécessairement des sous-estimations des valeurs réelles.

Les petits bassins versants (médiane de 233 km²), surtout à dominance agricole (% agriculture), tels que ceux des rivières Yamachiche, la Chaloupe, Mascouche, Boyer, Bayonne, La Guerre et Saint-Louis, ont généralement une pression par unité de surface plus importante que les grands bassins versants. La rivière Yamaska a des charges totales et spécifiques parmi les plus élevées malgré la taille importante de son bassin versant (4 464 km²). Hébert et Blais (2017) ont également mis en évidence que les concentrations médianes en azote totale étaient liées principalement à la proportion des superficies agricoles dans le bassin versant, alors que le phosphore total était lié principalement à la proportion des superficies en cultures annuelles intensives. Des efforts de réduction ciblés et priorités dans certains secteurs du bassin versant, surtout où les activités agricoles sont concentrées, seraient susceptibles d'améliorer davantage la qualité de l'eau des cours d'eau impactés.

Cette étude indique sommairement que les charges de tous les constituants sont davantage liées aux superficies agricoles qu'aux superficies urbanisées. Les terres agricoles, surtout en cultures annuelles, font l'objet d'épandages de fertilisants azotés et phosphatés, dont les déjections animales liquides, sans enfouissement, sur des sols à nu. Elles subissent également un travail de sol annuel qui laisse les parcelles à nu à l'automne, ce qui les rend vulnérables au ruissellement de surface et à l'érosion des sols (Nolet et collab., 1998; MENV, 2004), donc aux pertes de nutriments et de matières en suspension. Les eaux usées urbaines (p. ex. : débordement des égouts pluviaux) et industrielles, les lieux d'enfouissement technique et les fosses septiques sont des sources ponctuelles d'origine anthropique. Dans cette étude, les rivières ayant les charges en matières en suspension, en phosphore total et en azote ammoniacal les plus élevées sont principalement celles ayant les débits les plus élevés. Les autres constituants y sont également liés, mais dans une moindre mesure. Ce lien s'explique car la majeure partie des particules en suspension provient de l'érosion en nappe (surface du sol), de la remobilisation des sédiments du lit du cours d'eau et de l'érosion des berges (Meybeck et collab., 1996). Pour les cours d'eau où les apports de sources diffuses sont importants, comme dans les bassins versants à vocation agricole, une hausse du débit occasionnée par une augmentation des précipitations et du ruissellement de surface conduit souvent à une augmentation des concentrations et des charges de MES, ainsi que du phosphore particulaire adsorbé aux particules de sol. Par conséquent, des mesures de restauration visant à limiter les excès de fertilisation phosphatée, ainsi que l'érosion des sols et des berges, pourraient favoriser la réduction des apports vers les cours d'eau. Les charges d'azote total et de nitrates sont particulièrement liées aux superficies agricoles, ce qui semble indiquer que ce secteur d'activité contribue fortement à leurs apports. L'importance des cultures annuelles, grandes utilisatrices d'engrais azotés, et la grande mobilité des nitrates, qui sont peu retenus par le sol, font en sorte que cette forme soluble d'azote est transportée à la fois par le ruissellement de surface et les eaux de drainage souterrain vers les cours d'eau et, possiblement, les eaux souterraines. Par conséquent, des mesures de restauration visant à limiter les excès de fertilisation azotée pourraient favoriser la réduction des apports vers les cours d'eau. Les charges d'azote ammoniacal et de coliformes fécaux sont celles étant les plus liées aux superficies urbanisées, bien que le secteur agricole y contribue davantage. Cela semble indiquer qu'un meilleur contrôle des sources diffuses d'azote ammoniacal et de coliformes fécaux en milieu agricole, et dans une moindre mesure des sources ponctuelles en milieu urbain, pourrait favoriser la réduction de leurs apports vers les cours d'eau. Les liens établis dans cette étude entre l'utilisation du territoire, les sources de perturbation et les charges des différents constituants ne sont que sommaires. Ils ne visent qu'à orienter vers des pistes de solution et d'intervention. Ces conclusions vont tout de même dans le sens des constats déjà établis et diffusés par le MELCCFP (p. ex. : MELCC, 2020).

Des mesures, programmes et réglementations visant surtout la réduction des apports en matières en suspension et en phosphore total (% charge excédentaire) pour l'ensemble de la province pourraient avoir un effet global pour tous les cours d'eau et pour la protection du Saint-Laurent, considérant que, dans 80 % des bassins versants, ces apports sont excédentaires et que le phosphore est le nutriment limitant pouvant causer son eutrophisation. Dans le cas de l'azote total, et surtout des nitrates, une diminution des charges dans les tributaires qui ne sont pas globalement excédentaires pourrait également être requise pour protéger l'estuaire moyen et le golfe du Saint-Laurent, considérant que l'azote est le nutriment limitant

pouvant causer leur eutrophisation. Pour le phosphore total, ce type d'approche a donné des résultats par le passé, permettant de réduire considérablement les apports au fleuve. En effet, les concentrations et les charges en phosphore total ont grandement diminué dans les grands tributaires du fleuve depuis le début des années 1980 (variation médiane de -61 % et -47 % respectivement) (MELCC, 2020). Elles sont toutefois toujours problématiques, autant pour les concentrations (MELCC, 2020) que pour les charges (cette étude). En milieu agricole, l'amélioration de la gestion des engrais organiques (entreposage, épandage) et l'encadrement de la fertilisation phosphatée ont contribué à une réduction importante des concentrations en phosphore durant les 40 dernières années⁷ (MELCC, 2020). Dans les bassins versants peu occupés par l'agriculture, les tendances à la baisse des 40 dernières années traduisent bien les effets du traitement des eaux usées municipales et industrielles qui constituaient les principales sources ponctuelles de phosphore, de MES et de matière organique⁸. Ainsi, différents règlements et programmes gouvernementaux, du secteur autant municipal, industriel qu'agricole, ciblaient en tout ou en partie la réduction des apports en phosphore.

À l'inverse du phosphore, les concentrations et les charges en azote total, surtout en nitrates, ont grandement augmenté dans les grands tributaires du fleuve depuis le début des années 1980 (augmentation médiane de NTOT de 20 % et 22 % respectivement) (MELCC, 2020), et sont actuellement problématiques selon les concentrations (MELCC, 2020) et les charges excédentaires estimées. En milieu agricole, l'amélioration de la gestion des engrais organiques (entreposage, épandage)⁵ visait également la réduction des apports en azote. Aux niveaux municipal et industriel, le traitement des eaux usées a, dans certains cas, permis de réduire les rejets d'azote sous les formes organique et ammoniacale, mais a peut-être aussi favorisé le rejet de nitrates, la forme oxydée la plus stable dans les eaux de surface. Le traitement des eaux favorise la nitrification de l'azote organique et ammoniacal et a pour effet d'augmenter les rejets d'azote oxydé (nitrates) et de diminuer ceux d'azote réduit (azote ammoniacal) (Painchaud, 1997). La tendance à la hausse des 40 dernières années serait ainsi notamment attribuable à l'augmentation de l'utilisation d'engrais chimiques azotés en agriculture, plus particulièrement entre les années 1979 et 2002 (IPNI, 2013) en lien avec l'augmentation des superficies en cultures annuelles. De plus, le RRPOA⁷ et le REA⁷, dès 1997, ont changé les règles régissant l'épandage des fumiers et lisiers pour faire en sorte que les doses épandues soient déterminées sur la base de la teneur en phosphore des fumiers plutôt que sur leur contenu en azote. Cette nouvelle mesure a toutefois eu pour effet de nécessiter de plus grandes superficies d'épandage, compte tenu de la faible proportion des déjections animales soumises à un traitement. Un impact imprévu du RRPOA a été de contribuer à l'expansion des superficies de cultures annuelles comme le maïs et le soya, qui offrent plus de possibilités pour l'utilisation des fumiers considérant leur besoin important en fertilisant, au détriment des cultures pérennes (Simoneau, 2017). Finalement, les eaux usées urbaines (p. ex. : débordements des égouts unitaires) et industrielles (p. ex. : abattoirs), les lieux d'enfouissement technique ainsi que les installations septiques de résidences isolées sont des

7. Le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale* (RPPEEPA) de 1981, le Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF) de 1988, le Programme d'aide à l'investissement en agroenvironnement (PAIA) de 1997 et le Prime-Vert de 1999 ont permis de mettre en place des mesures encourageant la construction de structures adéquates d'entreposage des fumiers et des lisiers. Réglementation sur la pollution d'origine agricole. Le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) a remplacé le RPPEEPA en 1997. Son principal objectif était la réduction de la contamination des eaux et des sols par l'azote et le phosphore. En 2002, le *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA) vise à atteindre un équilibre entre la capacité de support des sols en phosphore et la quantité de toutes matières fertilisantes répandues. Une modification du REA vient interdire l'augmentation des superficies utilisées pour la culture des végétaux dans les municipalités se trouvant sur le territoire de bassins versants dégradés, soit ceux ayant dépassé le critère d'eutrophisation (0,03 mg/l de P) et listées dans les annexes du règlement.

8. Le Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) instauré en 1978, le *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (RETEURI) de 1981, le Programme d'assainissement des eaux municipales (PADEM) de 1994, la Position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique de 2009 et le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* (ROMAEU) de 2013 visaient l'assainissement des eaux usées.

sources ponctuelles d'azote ammoniacal et de nitrates d'origine anthropique (CCME, 2012) qui pourraient aussi avoir contribué aux tendances observées pour les différentes formes d'azote.

Toutefois, à l'intérieur même des grands bassins versants, une stratégie efficace ciblée aux petits sous-bassins versants problématiques, occupés surtout par les activités agricoles, pourrait avoir un rapport coût/bénéfice élevé sur l'ensemble des constituants. Des mesures de restauration, telles que des pratiques agricoles de gestion bénéfiques⁹ (PGB), des mesures de stabilisation des berges et la restauration des bandes riveraines, pourraient avoir des effets locaux importants. C'est le cumul de mesures ciblées dans des territoires clés qui, ultimement, pourra entraîner des répercussions globales dans les grands bassins versants et sur les milieux récepteurs.

Des efforts concertés de réduction à la source des secteurs agricole, municipal et industriel sont donc nécessaires afin d'assurer la protection des cours d'eau et du Saint-Laurent et de leurs usages. Une modulation des efforts de réduction en fonction des secteurs d'activité est essentielle afin de maximiser les gains environnementaux par effort consenti. En ce sens, un bilan des contributions des sources de phosphore total, par bassin versant, a été réalisé par Patoine (2017) pour la période de 2009 à 2012, comme l'avaient fait Gangbazo et ses collaborateurs (2005) précédemment. L'étude de Patoine (2017) montre que les sources diffuses contribuent en moyenne pour 55 % des charges totales en phosphore total (les trois quarts provenant des sources agricoles), les sources ponctuelles municipales pour 17 %, les industries papetières pour 1 % et 27 % pour les sources naturelles dans 59 cours d'eau du Québec méridional. Ces proportions sont sans doute encore valides aujourd'hui, puisque l'assainissement des eaux usées était déjà avancé en 2012 et que la réglementation touchant le secteur agricole a été peu modifiée depuis. Ces proportions varient cependant d'un bassin versant à l'autre et les données de charges rendues disponibles dans cette étude peuvent contribuer à faire ce bilan. Si un bilan complet des différents secteurs ne peut être établi, il devient tout de même possible d'évaluer la contribution des sources ponctuelles pour lesquelles des calculs de charges annuelles sont possibles.

À l'intérieur d'un bassin versant, la détermination d'objectifs est utile si elle débouche sur des solutions précises, réalistes et efficaces (Gangbazo et Le Page, 2005). Dans le cas d'un problème associé aux rejets d'eaux usées de sources ponctuelles, les solutions précises, réalistes et efficaces sont relativement faciles à déterminer. Il peut s'agir de réduire les charges de polluants à la source, de construire une station d'épuration des eaux usées s'il n'en existe pas, d'augmenter sa capacité ou d'améliorer sa performance s'il en existe une. Par contre, dans le cas d'un problème associé aux rejets de sources diffuses agricoles, les solutions précises, réalistes et efficaces sont généralement moins faciles à déterminer que pour les rejets de sources ponctuelles. Dans le domaine agricole, plus que dans tout autre domaine de protection des eaux, fixer un objectif atteignable nécessite davantage d'information, non seulement sur les aspects physiques du problème, mais aussi sur les coûts publics et sur l'efficacité des solutions qui devraient être mises en place, ce qui peut retarder la mise en place de solutions efficaces sur le plan environnemental, acceptables sur le plan social et supportables sur le plan économique (Gangbazo et Le Page, 2005).

9. Les PGB décrivent les meilleures façons de faire dans des situations particulières et fournissent des modèles idéaux de performance environnementale.

Références bibliographiques

- BDH, 2018. *Banque de données hydriques*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction expertise hydrique.
- BENOIT, P., Y. GRATTON et A. MUCCI, 2006. « Modeling of dissolved oxygen levels in the bottom waters of the Lower St. Lawrence Estuary: Coupling of benthic and pelagic processes ». *Marine Chemistry*, 102(1-2), 13-32. doi:10.1016/j.marchem.2005.09.015
http://www.researchgate.net/publication/222544556_Modeling_of_dissolved_oxygen_levels_in_the_bottom_waters_of_the_Lower_St_Lawrence_Estuary_Coupling_of_benthic_and_pelagic_processes/link/60b0e78045851557baa533e3/download.
- BQMA, 2018. *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.
- CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012. « Total Maximum Daily Load Program ». Repéré le 20 juin 2012, à
http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/background.shtml.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME), 2012. *Fiche d'information. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – L'ion nitrate*. Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg, extrait de la publication n° 1300; 18 p., [En ligne], <http://ccme.ca/fr/res/ion-nitrate-fr-recommandations-canadiennes-pour-la-qualite-des-eaux-protection-de-la-vie-aquatique.pdf>.
- CORRIVEAU, L., S. CAMPEAU et D. BLAIS, 2020. Cartographie des risques d'érosion en milieu agricole dans les bassins versants des tributaires du lac Saint-Pierre. Rapport réalisé par le Comité ZIP du lac Saint-Pierre, en collaboration avec le Département des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Trois-Rivières et la Direction des connaissances écologiques du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 30 p.
- GANGBAZO, G., et F. BABIN, 2000. *Pollution de l'eau des rivières dans les bassins versants agricoles*. Vecteur Environnement. Vol. 33, n° 4, juillet 2000.
- GANGBAZO, G., et A. LE PAGE, 2005. *Détermination d'objectifs relatifs à la réduction des charges d'azote, de phosphore et de matières en suspension dans les bassins versants prioritaires*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 37 p. et 2 ann., [En ligne], <http://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/45844>.
- GANGBAZO, G., J. ROY et A. LE PAGE, 2005. *Capacité de support des activités agricoles par les rivières: le cas du phosphore total*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 28 p., [En ligne], <http://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/49300>.
- GARIÉPY, S., A. N. ROUSSEAU et A. BRUN, 2006. *La gestion de l'eau par bassin versant aux États-Unis: entre incitatifs législatifs et intérêts des usagers*. Dans A. Brun et F. Lasserre (dir.), *Les politiques de l'eau, grands principes et réalités locales* (Géographe contemporaine, p. 69-90): Presses de l'Université du Québec, [En ligne], http://www.researchgate.net/publication/346977764_La_gestion_de_l'eau_par_bassin_versant_aux_Etats-Unis_Entre_incitatifs_legislatifs_et_interets_des_usagers.
- GILBERT, D., B. SUNDBY, C. GOBEIL, A. MUCCI et G.-H. Tremblay, 2005. « A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection. »

Limnology and Oceanography, 50(5), 1654-1666, [En ligne],
<http://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.2005.50.5.1654>.

GRUPE DE TRAVAIL SUIVI DE L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT (GTSÉSL), 2019. *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2019*. Plan d'action Saint-Laurent. Environnement et Changement climatique Canada, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada, Stratégie Saint-Laurent. 60 p., [En ligne], <http://publications.gc.ca/site/fra/9.890946/publication.html>.

HÉBERT, S., 1997. *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° EN/970102, 20 p. + 4 ann., [En ligne], http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/eco_aqua/rivieres/indice/IQBP.pdf.

HÉBERT, S., et D. BLAIS, 2017. *Territoire et qualité de l'eau: développement de modèles prédictifs*. Direction générale du suivi de l'état de l'environnement et Direction de l'expertise en biodiversité, ISBN 978-2-550-77770-0 (PDF), 30 p., [En ligne], http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/Rapport_Qualite_Territoire.pdf.

HIRSCH, R. M., et L.A. DE CICCO, 2015. « User guide to Exploration and Graphics for RivEr Trends (EGRET) and dataRetrieval : R packages for hydrologic data (version 2.0, February 2015) ». U.S. Geological Survey Techniques and Methods book 4, chap. A10, 93 p., [En ligne], <https://pubs.usgs.gov/tm/04/a10/pdf/tm4A10.pdf>.

HIRSCH, R.M., D.L. MOYER et S.A. ARCHFIELD, 2010. « Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season (WRTDS), With an Application to Chesapeake Bay River Inputs ». *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 46, n° 5, p. 857-880, [En ligne], <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1752-1688.2010.00482.x>.

HOWARTH, R. W., et R. MARINO, 2006. « Nitrogen as the Limiting Nutrient for Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems: Evolving Views over Three Decades ». *Limnology and Oceanography*, 51, 364-376. doi:10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364, [En ligne], https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364.

HUDON, C., P. GAGNON, M. RONDEAU, S. HÉBERT, D. GILBERT, B. HILL, M. Patoine et M. STARR, 2017. « Hydrological and biological processes modulate carbon, nitrogen and phosphorus flux from the St. Lawrence River to its estuary (Quebec, Canada) ». *Biogeochemistry*, 135(3), 251-276. doi:10.1007/s10533-017-0371-4, [En ligne], <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-017-0371-4>.

INSTITUT INTERNATIONAL DE LA NUTRITION VÉGÉTALE (IPNI), 2013. *Données statistiques sur les ventes annuelles d'engrais minéraux au Canada pour la période de 1966 à 2013 et données statistiques sur les quantités de phosphore et d'azote excrétées par les élevages bovins, porcins et de volailles pour la période de 1971 à 2013*, [En ligne], <http://phosphorus.ipni.net/article/NANE-3033> (page consultée le 4 septembre 2020).

JOBIN, B. et P. BRODEUR, 2023. *Changements de l'occupation du sol de la plaine inondable du lac Saint-Pierre de 1950 à 2016 et perspectives pour la restauration des milieux naturels*. Le Naturaliste canadien, 147 (2): 14-26, [En ligne], <https://doi.org/10.7202/1100079ar>

LACHANCE-CLOUTIER, S., 2014. *Estimation de séries de débits journaliers au site de stations de qualité d'eau*, rapport technique, Québec, Centre d'expertise hydrique du Québec, Direction de l'expertise hydrique, avril, document interne, 15 p. et 2 ann., [disponible sur demande].

- MEYBECK, M., G. FRIEDRICH, R. THOMAS et D. CHAPMAN, 1996. Chapitre 6 dans Deborah V. Chapman, World Health Organization, Unesco & United Nations Environment Programme (1996). « Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring », édité par Deborah Chapman, 2^e édition, Londres : E & FN Spon. 651 p., [En ligne], <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT (MENV), 2004. Portrait global de la qualité de l'eau des principales rivières du Québec, [En ligne], http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/global-2004/Influence2004.htm#assainissement_eaux.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC), 2021. *Guide d'analyse des tendances de la qualité de l'eau des rivières à l'aide du progiciel EGRET*, 35 p. + 9 ann., [En ligne], <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/atlas/Documents/egret-guide.pdf>.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC), 2020. *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec*, 480 p., [En ligne], <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rapport-eau/rapport-eau-2020.pdf>.
- NIXON, S., 1995. « Coastal Marine Eutrophication: A Definition, Social Causes, and Future Concerns. » *Ophelia*. 41, 199-219. doi:10.1080/00785236.1995.10422044.
- NOLET, J., P. NOLET, L. ROY, R. DROLET et S. VILLENEUVE, 1998. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent: la contribution des activités agricoles à la détérioration du Saint-Laurent*. Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Sainte-Foy, rapport technique, ISBN: 0-662-82758-9, 187 p. et 4 ann., [En ligne], <http://publications.gc.ca/site/fra/9.915629/publication.html>.
- PAINCHAUD, J., 1997. *La qualité de l'eau des rivières du Québec : état et tendances*, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, 58 p., [En ligne], <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/portrait/etat-tendance1997/qualite-eau-rivieres-qc-etat-tendances1997.pdf>.
- PATOINE, M., 2017. *Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, [En ligne], <http://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2977549?docref=M2SfKJGcKTjju88gDCn9w>.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018. « R : A language and environment for statistical computing ». R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche, [En ligne], <https://www.r-project.org/>.
- SIMONEAU, MARC (2019). *Qualité de l'eau des tributaires de la baie Missisquoi : évolution temporelle 1999-2017 et portrait récent 2015-2017*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 92 p. + 12 annexes. [En ligne], 2019, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/missisquoi/evolution1999-2017-portrait2015-2017/index.htm>
- TER BRAAK, C.J.F., et P. SMILAUER, 1998. « CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5) ». Microcomputer Power, Ithaca, N.Y.
- THIBODEAU, B., 2010. *Eutrophisation et hypoxie de l'estuaire maritime du Saint-Laurent: aspects géochimiques*. Thèse de doctorat. Université du Québec à Montréal, Montréal, [En ligne], <https://archipel.uqam.ca/3766/1/D2002.pdf>.

THIBODEAU, B., A. DE VERNAL et A. MUCCI, 2006. « Recent eutrophication and consequent hypoxia in the bottom waters of the Lower St. Lawrence Estuary: Micropaleontological and geochemical evidence ». *Marine Geology*, 231(1-4), 37-50. doi:10.1016/j.margeo.2006.05.010, [En ligne], <http://www.researchgate.net/publication/222669780>.

Annexes

Annexe 1

Annexe 1 Facteurs d'imprécisions dans le calcul des charges

Certains facteurs sont à prendre en compte dans l'évaluation des charges récentes déversées au fleuve Saint-Laurent par les tributaires :

1. l'absence de données pour certains bassins versants;
2. l'absence de données hivernales (décembre à mars) pour cinq cours d'eau;
3. la précision des données de débit;
4. la représentativité des échantillons prélevés en fonction des gammes de débits.

Ces facteurs contribuent tous à amener une certaine incertitude sur les charges réelles annuelles amenées au fleuve par les tributaires. En fonction de la nature de ceux-ci, il est à prévoir qu'il y a une sous-estimation des charges apportées par ceux-ci. Cette sous-estimation ne peut toutefois pas être quantifiée.

Absence de données pour certains bassins versants

Plusieurs petits bassins versants déversant leurs eaux directement dans le Saint-Laurent ne font pas l'objet d'un suivi physicochimique et bactériologique mensuel par le Réseau-rivières ni d'un suivi hydrologique. Il s'agit, pour la plupart, de cours d'eau situés dans la plaine inondable du Saint-Laurent et du lac Saint-Pierre. De plus, certains bassins versants suivis actuellement par le Réseau-rivières ne le sont pas depuis assez longtemps pour permettre de modéliser les charges. En effet, le modèle WRTDS requiert environ 15 ans de données pour pouvoir faire des évaluations de concentrations et de charges adéquates. Ainsi, les charges des bassins versants dont les suivis sont trop récents ne sont pas disponibles (p. ex. : Petite Yamachiche, du Chêne). Les charges de ces cours d'eau ne sont donc pas comptabilisées. Malgré les concentrations élevées mesurées dans ces rivières pour plusieurs paramètres (*Atlas de l'eau*), les faibles débits moyens annuels de ces cours d'eau portent à croire que les charges sont peu importantes en comparaison des grands tributaires.

Absence de données hivernales (décembre à mars) pour cinq cours d'eau

Les rivières de la Petite Nation, Rouge, Sainte-Anne et Montmorency sur la rive nord, ainsi que la rivière Saint-Louis sur la rive sud du fleuve, font l'objet d'un suivi physicochimique et bactériologique d'avril à novembre. Les charges exportées durant la période hivernale ne sont pas comptabilisées.

Précision des données de débit

Comme il a été mentionné dans la section 1.3, les débits journaliers ont été estimés par krigeage (interpolation spatiale) afin qu'ils correspondent à l'emplacement des stations de mesure. Pour certaines rivières, les débits moyens annuels peuvent être surestimés et pour d'autres, sous-estimés. Cette estimation des débits est précise lorsqu'une ou plusieurs stations hydrométriques sont situées à proximité de la station de qualité de l'eau et dans le même bassin versant. Considérant l'importance du débit dans l'estimation de la charge, cette variable a une incidence importante sur celle-ci.

Représentativité des échantillons prélevés en fonction des gammes de débits

Les prélèvements d'eau sont effectués à l'embouchure des grands cours d'eau tous les mois (une fois par mois) depuis près de 40 ans pour la plupart (25 cours d'eau) et sur 8 mois (mai à novembre) pour 5 cours d'eau, ce qui permet un suivi à long terme de leur qualité et de leurs apports au fleuve Saint-Laurent. Ceux-ci sont isochroniques, donc pas spécifiquement basés sur la présence de crues. Un meilleur calcul des charges est généralement obtenu en incluant davantage d'événements de crues, car c'est en période de crue qu'on tend à mesurer les concentrations les plus élevées, en raison de l'érosion et du transport des

constituants de sources diffuses. Les échantillonnages printaniers permettent de caractériser les crues de longue durée qui représentent une partie importante de la charge annuelle, alors que les crues estivales, de plus courte durée, sont également représentées dans le contexte d'un suivi sur plusieurs années.

Le progiciel EGRET permet de vérifier la représentativité des débits présents lors de la prise des échantillons utilisés pour la modélisation, en fonction de l'ensemble des débits journaliers entre 1979 et 2017. Règle générale, pour les cours d'eau à l'étude, la gamme des valeurs de débits est bien représentée par les échantillons prélevés (plus de 99 % des débits extrêmes) (tableau ci-dessous). Les cours d'eau présentant le pourcentage le plus élevé de débits extrêmes non échantillonnés sont les rivières Montmorency (1,72 %), Saint-Charles (1,45 %), et un plus petit bassin à vocation agricole, la rivière la Chaloupe (1,1 %). Nous sommes conscients d'une possible sous-estimation des charges totales annuelles dans le cas des bassins versants de plus faible superficie, en raison d'une moins bonne représentativité des débits extrêmes, ainsi que dans les bassins versants dans lesquels il n'y a pas de station de débit dans la rivière. Trois bassins versants à vocation agricole de plus faible superficie (145 à 364 km²), les rivières Boyer, la Chaloupe et Bayonne, font partie des tributaires du fleuve utilisés dans nos interprétations. Une sous-estimation ou une surestimation est plus plausible pour ces deux bassins versants parce qu'ils ne comportent pas de station de débit dans leur bassin versant.

Tableau 2 Débits extrêmes non représentés par des échantillons

ID station	Cours d'eau	Valeur du débit maximal représenté par les échantillons (m ³ /s)	Débit maximal du cours d'eau (m ³ /s)	Nombre de débits extrêmes non représentés par les échantillons	Débits extrêmes non représentés par les échantillons (%)
02300001	Boyer	75	124	14/9860	0,14
02330001	Etchemin	350	570	37/14246	0,26
02340033	Chaudière	1800	2403	12/14246	0,08
02400004	Bécancour	750	933	9/14246	0,06
03010008	Nicolet	750	794	1/14246	0,01
03010009	Nicolet Sud-Ouest	500	574	5/14246	0,04
03020031	Saint-François	2000	3301	33/14246	0,23
03030023	Yamaska	1000	1159	20/14246	0,14
03040009	Richelieu	1640	1692	3/14246	0,02
03090001	Châteauguay	500	1079	18/14246	0,13
03110003	Saint-Louis	28	91,3	28/8402	0,33
03120001	La Guerre	14	16	5/5114	0,1
04010002	Du Nord	390	471	20/14246	0,14
04020001	Rouge	719	925	17/14245	0,12
04040001	De la Petite Nation	279	339	18/14245	0,13
04060004	Du Lièvre	1000	1682	51/14246	0,36
04080003	Gatineau	3000	3923	7/14246	0,05
04640003	Mascouche	91	140	11/14245	0,08
05010007	Saint-Maurice	7500	8346	4/14246	0,07
05030001	Batiscan	800	869	10/14246	0,03
05040007	Sainte-Anne	739	869	4/14245	0,03
05080105	Jacques-Cartier	990	1179	1/14246	0,01
05090017	Saint-Charles	75	180	122/8402	1,45
05100014	Montmorency	200	597	245/14245	1,72
05220003	L'Assomption	900	941	1/14246	0,01
05230001	La Chaloupe	30	46	9/842	1,07
05240001	Bayonne	120	120	0	0,00
05260003	Maskinongé	150	253	76/14246	0,53
05280001	Du Loup	200	307	19/14246	0,13

Il importe de souligner que les valeurs estimées pour les débits extrêmes devraient avoir une influence limitée sur les concentrations moyennes ou les charges annuelles, car elles ont une faible récurrence

(Hirsch et De Cicco, 2015). Une stratégie d'échantillonnage uniforme (p. ex. : tous les 30 jours) ou un échantillonnage aléatoire devrait produire des distributions de débits similaires, entre les débits échantillonnés et l'ensemble des débits, pour la médiane et les quartiles inférieurs et supérieurs. Toutefois, une stratégie d'échantillonnage préférentiellement axée sur les débits élevés, mais couvrant adéquatement la gamme des débits, produit généralement une meilleure estimation des charges. Une faible représentativité d'échantillons d'eau prélevés lors de débits élevés peut toutefois entraîner une sous-estimation des charges (Hirsch et De Cicco, 2015). À l'inverse, une stratégie d'échantillonnage amenant une surreprésentation des débits élevés peut conduire à une surévaluation des charges.

Annexe 2

Annexe 2 Charges totales, spécifiques et excédentaires d'azote total à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (tonnes/an)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge excédentaire (tonnes/an)	Charge excédentaire (%)	
02300001	Sud	BOYER	557	521	669	2665,1	2494,2	3201,9	405,5	72,8	
02330001		ETCHEMIN	1497	1259	1779	1021,1	858,5	1213,8	427,2	28,5	
02340033		CHAUDIÈRE	3222	2748	3430	486,8	415,2	518,2			
02400004		BÉCANCOUR	1738	1555	1785	669,7	599,1	688,0			
03010008		NICOLET	1706	1578	1777	1022,8	946,0	1065,5	547,9	32,1	
03010009		NICOLET SUD-OUEST	1460	1282	1557	925,8	812,9	987,4	409,2	28,0	
03020031		SAINT-FRANÇOIS	4707	4232	4868	463,1	416,4	478,9			
03030023		YAMASKA	6466	5485	6782	1448,5	1228,6	1519,2	3831,0	59,2	
03040009		RICHELIEU	9075	9290	11739	381,0	390,1	492,9			
03090001		CHÂTEAUGUAY	1901	1715	2286	771,8	696,4	927,9	771,3	40,6	
03110003*		SAINT-LOUIS	198	141	232	1192,8	849,0	1395,1	112,8	57,0	
03120001**		LA GUERRE	146	136	215	1763,3	1645,7	2596,3	105,0	71,9	
04010002		Nord	DU NORD	1241	1027	1265	597,8	494,9	609,2		
04060004			DU LIÈVRE	1529	1331	1494	161,2	140,3	157,5		
04080003	GATINEAU		3407	2873	3353	143,0	120,6	140,8			
05010007	SAINT-MAURICE		7588	6327	7312	176,9	147,5	170,4			
05030001	BATISCAN		963	844	992	208,3	182,6	214,4			
05080105	JACQUES-CARTIER		972	881	995	393,4	356,7	402,8			
05090017	SAINT-CHARLES		295	261	299	559,8	495,2	567,5			
05220003	ASSOMPTION		3124	2561	3274	745,1	610,8	780,9	309,1	9,9	
05230001	LA CHALOUPE		480	395	527	3310,3	2725,9	3635,2	394,8	82,2	
05240001	BAYONNE		611	547	659	1678,6	1502,5	1811,1	399,6	65,4	
05260003	MASKINONGÉ		382	319	408	348,5	291,4	372,1			
05280001	DU LOUP		524	423	643	347,9	281,2	426,9			
04040001*	DE LA PETITE NATION		592	482	584	263,2	214,4	259,5			
04020001*	ROUGE		1092	835	1112	196,5	150,2	200,0			
04640003	MASCOUCHE		644	540	611	1594,1	1336,0	1512,5	397,9	61,8	
05300004	YAMACHICHE		222	218	262	844,1	830,5	995,1	67,4	30,3	
05040007*	SAINTE-ANNE		1058	908	1144	390,0	334,7	421,7			
05100014*	MONTMORENCY	343	286	336	298,5	249,3	292,1				
		Total rive sud	32673						6610		
		Total rive nord	25067						1569		
		Total	57740						8179		

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETci, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

Annexe 3

Annexe 3 Charges totales, spécifiques et excédentaires de nitrites-nitrates à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (tonnes/an)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge excédentaire (tonnes/an)	Charge excédentaire (%)	
02300001	Sud	BOYER	500	449	594	2392,3	2148,7	2841,1	45,6	9,1	
02330001		ETCHEMIN	1139	883	1386	776,9	602,6	945,7			
02340033		CHAUDIÈRE	2069	1698	2210	312,6	256,6	333,9			
02400004		BÉCANCOUR	1285	1112	1358	495,2	428,5	523,2			
03010008		NICOLET	1339	1190	1409	802,8	713,5	844,7			
03010009		NICOLET SUD-OUEST	1074	920	1151	681,0	583,5	729,9			
03020031		SAINT-FRANÇOIS	2974	2549	3071	292,6	250,8	302,1			
03030023		YAMASKA	5263	4254	5668	1179,0	953,0	1269,7			
03040009		RICHELIEU	6441	6285	9151	270,4	263,9	384,2			
03090001		CHÂTEAUGUAY	1480	1230	1965	600,9	499,2	797,8			
03110003*		SAINT-LOUIS	152	93	189	915,7	560,8	1135,7			
03120001**		LA GUERRE	144	98	241	1739,1	1180,1	2906,8	20,9	14,5	
04010002		Nord	DU NORD	844	676	861	406,6	325,6	414,6		
04060004			DU LIÈVRE	658	565	656	69,4	59,5	69,1		
04080003	GATTINEAU		1326	1093	1352	55,7	45,9	56,8			
05010007	SAINT-AURICE		2807	2443	2716	65,4	56,9	63,3			
05030001	BATISCAN		519	452	529	112,2	97,7	114,4			
05080105	JACQUES-CARTIER		635	561	671	257,0	227,2	271,5			
05090017	SAINT-CHARLES		186	163	192	352,9	309,6	364,1			
05220003	ASSOMPTION		2496	2010	2630	595,3	479,4	627,2			
05230001	LA CHALOUPPE		436	345	481	3006,9	2380,6	3318,2	180,4	41,4	
05240001	BAYONNE		560	482	623	1538,5	1324,4	1710,9			
05260003	MASKINONGÉ		265	207	317	241,8	189,2	288,9			
05280001	DU LOUP		357	276	427	237,1	183,0	283,4			
04040001*	DE LA PETITE NATION		325	256	313	144,5	114,0	139,1			
04020001*	ROUGE		486	421	510	87,4	75,8	91,7			
04640003	MA SCOUCHE		468	371	463	1158,4	918,1	1146,6			
05300004	YAMACHICHE		186	180	224	707,2	684,7	850,0			
05040007*	SAINTE-ANNE		658	554	712	242,5	204,1	262,6			
05100014*	MONTMORENCY	154	130	154	134,0	112,8	134,2				
		Total rive sud	23860						66,5		
		Total rive nord	13366						180,4		
		Total	37226						246,9		

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETci, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

Annexe 4

Annexe 4 Charges totales, spécifiques et excédentaires d'azote ammoniacal à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (tonnes/an)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b
02300001	Sud	BOYER	15	11	16	71,8	53,8	76,8
02330001		ETCHEMIN	110	88	131	75,0	60,0	89,5
02340033		CHAUDIÈRE	189	144	229	28,6	21,7	34,6
02400004		BÉCANCOUR	98	67	117	37,8	25,6	45,2
03010008		NICOLET	93	53	127	55,8	31,9	75,9
03010009		NICOLET SUD-OUEST	98	71	132	62,1	44,9	83,9
03020031		SAINT-FRANÇOIS	407	296	490	40,0	29,1	48,2
03030023		YAMASKA	390	284	462	87,4	63,6	103,4
03040009		RICHELIEU	467	438	558	19,6	18,4	23,4
03090001		CHÂTEAUGUAY	87	72	98	35,3	29,3	39,6
03110003*		SAINT-LOUIS	7	4	7	42,2	26,1	41,9
03120001**		LA GUERRE	4	3	6	48,3	32,9	77,6
04010002		Nord	DU NORD	189	155	204	91,0	74,7
04060004	DU LIÈVRE		99	80	109	10,4	8,4	11,5
04080003	GATINEAU		281	217	294	11,8	9,1	12,4
05010007	SAINT-MAURICE		464	360	486	10,8	8,4	11,3
05030001	BATISCAN		50	42	54	10,8	9,0	11,6
05080105	JACQUES-CARTIER		44	38	46	17,8	15,4	18,7
05090017	SAINT-CHARLES		33	25	36	62,6	48,1	67,7
05220003	ASSOMPTION		252	200	294	60,1	47,7	70,0
05230001	LA CHALOUPÉ		13	11	17	89,7	72,6	116,2
05240001	BAYONNE		23	17	26	63,0	46,5	71,7
05260003	MASKINONGÉ		16	12	18	14,6	11,2	16,3
05280001	DU LOUP		40	32	49	26,5	21,2	32,4
04040001*	DE LA PETITE NATION		31	20	37	14,0	8,8	16,6
04020001*	ROUGE		63	51	71	11,4	9,1	12,8
04640003	MASCOUCHE		88	69	98	219,0	171,1	243,7
05300004	YAMACHICHE		13	11	16	48,6	40,3	59,9
05040007*	SAINTE-ANNE		49	42	60	18,2	15,5	22,1
05100014*	MONTMORENCY	20	16	22	17,6	14,3	18,8	
		Total rive sud	1965					
		Total rive nord	1769					
		Total	3734					

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETci, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

Annexe 5

Annexe 5 Charges totales, spécifiques et excédentaires de phosphore total à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (tonnes/an)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge excédentaire (tonnes/an)	Charge excédentaire (%)
02300001	Sud	BOYER	19	14	21	90,0	68,1	101,0	14,3	75,8
02330001		ETCHEMIN	89	63	110	60,4	42,8	74,8	56,4	63,8
02340033		CHAUDIÈRE	227	144	275	34,3	21,8	41,5	93,9	41,3
02400004		BÉCANCOUR	152	84	205	58,6	32,5	79,2	96,6	63,5
03010008		NICOLET	117	69	178	70,4	41,6	106,7	82,7	70,4
03010009		NICOLET SUD-OUEST	124	93	140	78,3	59,1	88,9	92,0	74,5
03020031		SAINT-FRANÇOIS	294	234	332	28,9	23,0	32,6	97,1	33,0
03030023		YAMASKA	419	317	461	93,9	71,1	103,2	339,9	81,1
03040009		RICHELIEU	413	405	517	17,3	17,0	21,7	39,2	9,5
03090001		CHÂTEAUGUAY	184	168	239	74,7	68,2	97,1	150,1	81,6
03110003*		SAINT-LOUIS	11	9	15	69,1	52,3	91,5	8,9	77,7
03120001**		LA GUERRE	3	3	4	38,5	33,0	53,0	2,0	61,4
04010002		Nord	DU NORD	59	43	68	28,2	20,6	32,7	16,7
04060004	DU LIÈVRE		132	96	160	14,0	10,2	16,9		
04080003	GATINEAU		209	171	215	8,8	7,2	9,0		
05010007	SAINT-MAURICE		568	408	620	13,2	9,5	14,4		
05030001	BATISCAN		83	65	92	17,9	14,1	19,8		
05080105	JACQUES-CARTIER		56	36	66	22,7	14,6	26,6		
05090017	SAINT-CHARLES		17	11	20	32,6	21,0	38,2	3,0	17,3
05220003	ASSOMPTION		305	172	351	72,7	41,0	83,6	220,6	72,3
05230001	LA CHALOUBE		16	9	18	111,2	65,0	127,2	13,6	84,1
05240001	BAYONNE		44	29	43	121,8	80,6	119,3	38,0	85,7
05260003	MASKINONGÉ		49	31	68	45,1	28,3	61,9	28,4	57,5
05280001	DU LOUP		103	59	174	68,5	39,4	115,5	76,6	74,3
04040001*	DE LA PETITE NATION		77	36	100	34,4	15,8	44,5	29,3	37,9
04020001*	ROUGE		139	72	230	25,0	13,0	41,4	13,7	9,9
04640003	MASCOUCHE		38	29	39	92,9	70,9	96,8	30,2	80,3
05300004	YAMACHICHE		57	47	87	215,6	177,2	330,1	52,1	91,8
05040007*	SAINTE-ANNE		122	86	140	45,1	31,8	51,6	32,8	26,8
05100014*	MONTMORENCY	30	23	31	26,4	19,7	26,8			
		Total rive sud	2052						1073,1	
		Total rive nord	2104						554,8	
		Total	4156						1627,8	

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETCi, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

Annexe 6

Annexe 6 Charges totales, spécifiques et excédentaires de matières en suspension à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (tonnes/an)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge excédentaire (tonnes/an)	Charge excédentaire (%)	
02300001	Sud	BOYER	11868	6667	11669	56784,7	31901,2	55831,6	9898,8	83,4	
02330001		ETCHEMIN	94100	56936	120143	64188,3	38837,5	81953,1	80192,9	85,2	
02340033		CHAUDIÈRE	255260	154870	368438	38564,7	23397,8	55663,7	197498,2	77,4	
02400004		BÉCANCOUR	215860	99188	289209	83183,0	38222,6	111448,7	191778,9	88,8	
03010008		NICOLET	199380	62268	369338	119532,4	37330,7	221425,4	184324,2	92,4	
03010009		NICOLET SUD-OUEST	103120	61941	170589	65390,0	39277,9	108173,1	89459,0	86,8	
03020031		SAINT-FRANÇOIS	342200	225757	476190	33667,8	22211,4	46850,7	256952,1	75,1	
03030023		YAMASKA	298400	182756	403907	66845,9	40940,0	90481,0	264145,0	88,5	
03040009		RICHELIEU	199400	194033	286581	8372,2	8146,8	12032,6	37519,3	18,8	
03090001		CHÂTEAUGUAY	44740	32340	74590	18164,8	13130,5	30284,3	30053,4	67,2	
03110003*		SAINT-LOUIS	5320	3383	6314	32048,2	20378,4	38039,0	4212,4	79,2	
03120001**		LA GUERRE	1198	795	1814	14468,6	9595,6	21913,9	664,7	55,5	
04010002		Nord	DU NORD	37640	23393	40569		11268,5	19542,1	19507,4	51,8
04060004			DU LIÈVRE	68440	33891	93817	7215,6	3573,2	9891,1		
04080003	GATINEAU		82020	54608	93928	3443,6	2292,7	3943,6			
05010007	SAINT-MAURICE		187000	128797	205027	4359,1	3002,3	4779,3			
05030001	BATISCAN		43720	30823	60170	9455,0	6665,9	13012,5			
05080105	JACQUES-CARTIER		16216	7173	22998	6562,5	2902,9	9307,2			
05090017	SAINT-CHARLES		15294	5686	19103	29020,9	10789,9	36249,2	9140,4	59,8	
05220003	ASSOMPTION		258280	120972	321794	61597,9	28850,9	76745,6	221686,6	85,8	
05230001	LA CHALOUPÉ		15714	8358	17555	108372,4	57642,5	121068,3	14606,4	93,0	
05240001	BAYONNE		32692	22126	33251	89813,2	60784,4	91348,7	29943,4	91,6	
05260003	MASKINONGÉ		32640	19411	53638	29781,0	17710,6	48940,1	23532,7	72,1	
05280001	DU LOUP		92560	51364	214967	61460,8	34106,2	142740,3	81073,3	87,6	
04040001*	DE LA PETITE NATION		60318	23890	79605	26816,3	10620,9	35391,0	39518,8	65,5	
04020001*	ROUGE		154820	104478	195322	27855,3	18797,8	35142,6	100500,1	64,9	
04640003	MASCOUCHE		33722	22478	37469	83470,3	55637,7	92744,1	30522,1	90,5	
05300004	YAMACHICHE		53000	33670	81516	201520,9	128021,9	309946,5	50989,8	96,2	
05040007*	SAINTE-ANNE		126200	63847	254193	46516,8	23533,5	93694,6	87383,1	69,2	
05100014*	MONTMORENCY		11224	6430	12820	9768,5	5595,8	11157,2			
		Total rive sud	1770846						1346698,8		
		Total rive nord	1321500						708404,1		
		Total	3092346						2055102,9		

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETCi, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

Annexe 7

Annexe 7 Charges totales, spécifiques et excédentaires de coliformes fécaux à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent en 2013-2017

Station BQMA ^a	Rive du fleuve	Rivière	Charge (10 ⁴ millions UFC/jour)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b	Charge spécifique (kg/an/km ²)	IC95 min. ^b	IC95 max. ^b
02300001	Sud	BOYER	316,000	216	498	15119,6	10313,9	23851,0
02330001		ETCHEMIN	2063,000	1282	3926	14072,3	8741,8	26778,4
02340033		CHAUDIÈRE	6836,000	3201	12008	10327,8	4835,8	18141,0
02400004		BÉCANCOUR	2201,000	1357	4475	8481,7	5230,4	17246,1
03010008		NICOLET	3338,000	1848	4252	20012,0	11080,5	25490,2
03010009		NICOLET SUD-OUEST	1305,000	906	1586	8275,2	5743,6	10058,2
03020031		SAINT-FRANÇOIS	14984,000	9286	23354	14742,2	9136,2	22977,3
03030023		YAMASKA	6064,000	4129	10359	13584,2	9249,3	23205,4
03040009		RICHELIEU	5746,000	5037	11251	2412,6	2114,7	4724,0
03090001		CHÂTEAUGUAY	1055,000	821	1965	4283,4	3331,6	7979,3
03110003*		SAINT-LOUIS	119,000	73	235	7168,7	4372,8	14139,8
03120001**		LA GUERRE	7,500	5	15	905,8	561,0	1799,9
04010002		Nord	DU NORD	3078,000	1850	3816	14826,6	8910,9
04060004	DU LIÈVRE		270,200	155	396	284,9	163,8	417,8
04080003	GATINEAU		849,400	558	1317	356,6	234,4	552,8
05010007	SAINT-AURICE		4056,000	2988	5905	945,5	696,4	1376,5
05030001	BATISCAN		466,600	323	755	1009,1	699,3	1633,6
05080105	JACQUES-CARTIER		978,800	121	1799	3961,1	488,8	7278,9
05090017	SAINT-CHARLES		1864,000	1081	2839	35370,0	20504,1	53875,6
05220003	ASSOMPTION		5038,000	3254	6040	12015,3	7760,3	14405,7
05230001	LA CHALOUPPE		176,500	77	289	12172,4	5303,1	19909,5
05240001	BAYONNE		306,000	177	432	8406,6	4871,7	11877,9
05260003	MASKINONGÉ		366,400	283	499	3343,1	2578,8	4556,9
05280001	DU LOUP		2748,000	1686	4429	18247,0	11193,2	29406,2
04040001*	DE LA PETITE NATION		344,600	196	523	1532,0	873,5	2324,5
04020001*	ROUGE		486,800	344	721	875,9	618,8	1297,6
04640003	MASCOUCHE		1166,000	767	1434	28861,4	18986,0	35487,6
05300004	YAMACHICHE		236,400	202	440	8988,6	7694,1	16712,0
05040007*	SAINTE-ANNE	1641,800	279	6523	6051,6	1028,9	24045,1	
05100014*	MONTMORENCY	926,800	210	1776	8066,1	1831,3	15453,0	
		Total rive sud	44035					
		Total rive nord	25000					
		Total	69035					

a : Numéro de la station de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique.

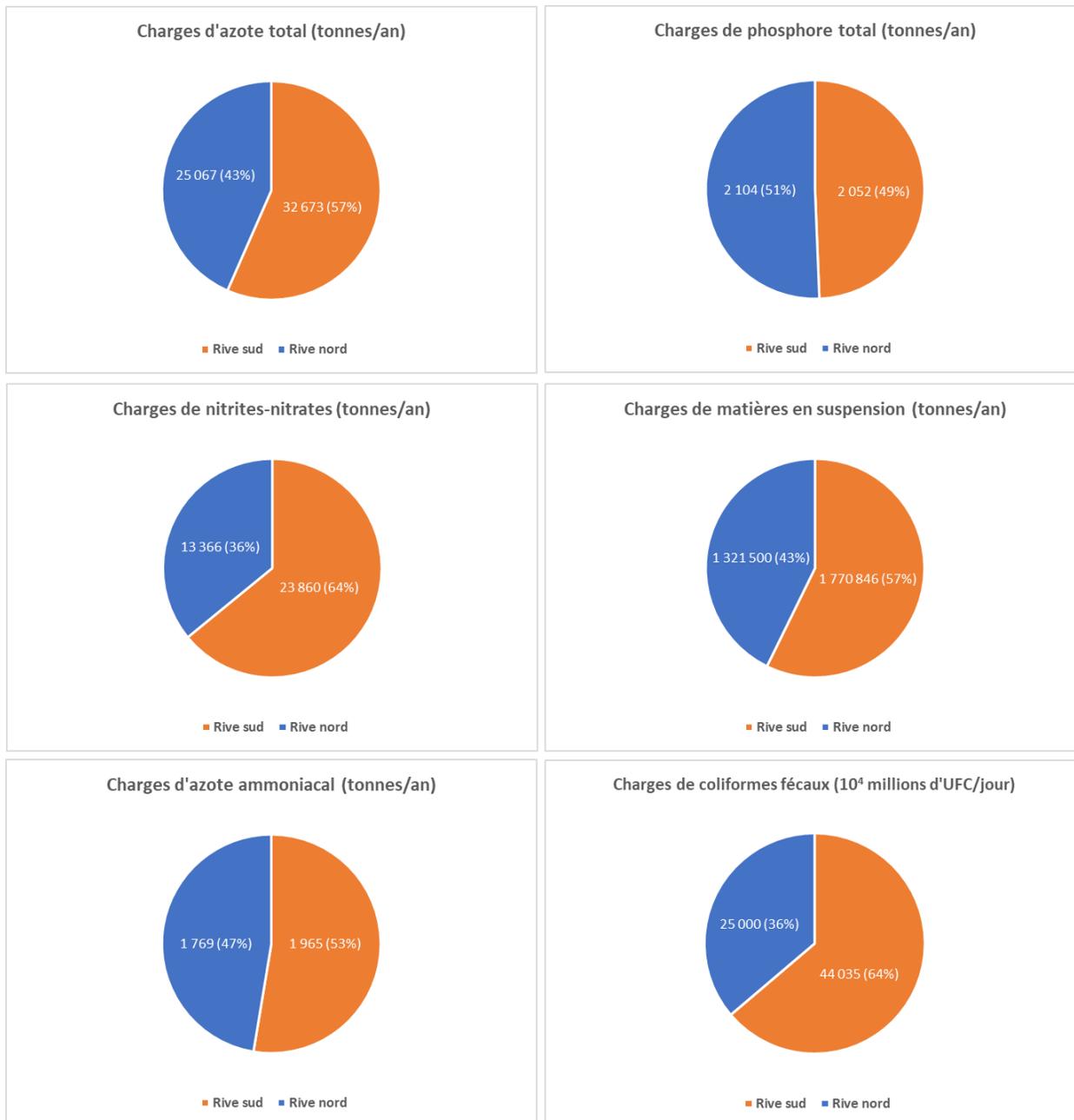
b : Les bornes de l'intervalle de confiance à 90 % ont été calculées sur les charges normalisées à partir d'une approche de rééchantillonnage avec remise (*bootstrap*; progiciel EGRETci, Hirsch et De Cicco, 2015) basées sur les calculs de tendances à long terme (30 à 40 ans) effectués à l'aide du modèle WRTDS (progiciel EGRET; Hirsch et collab., 2010).

* Les débits annuels sont calculés sur 8 mois (avril à novembre inclus) pour ces stations.

**Le débit de la station 03120001 est calculé de 2013 à 2016.

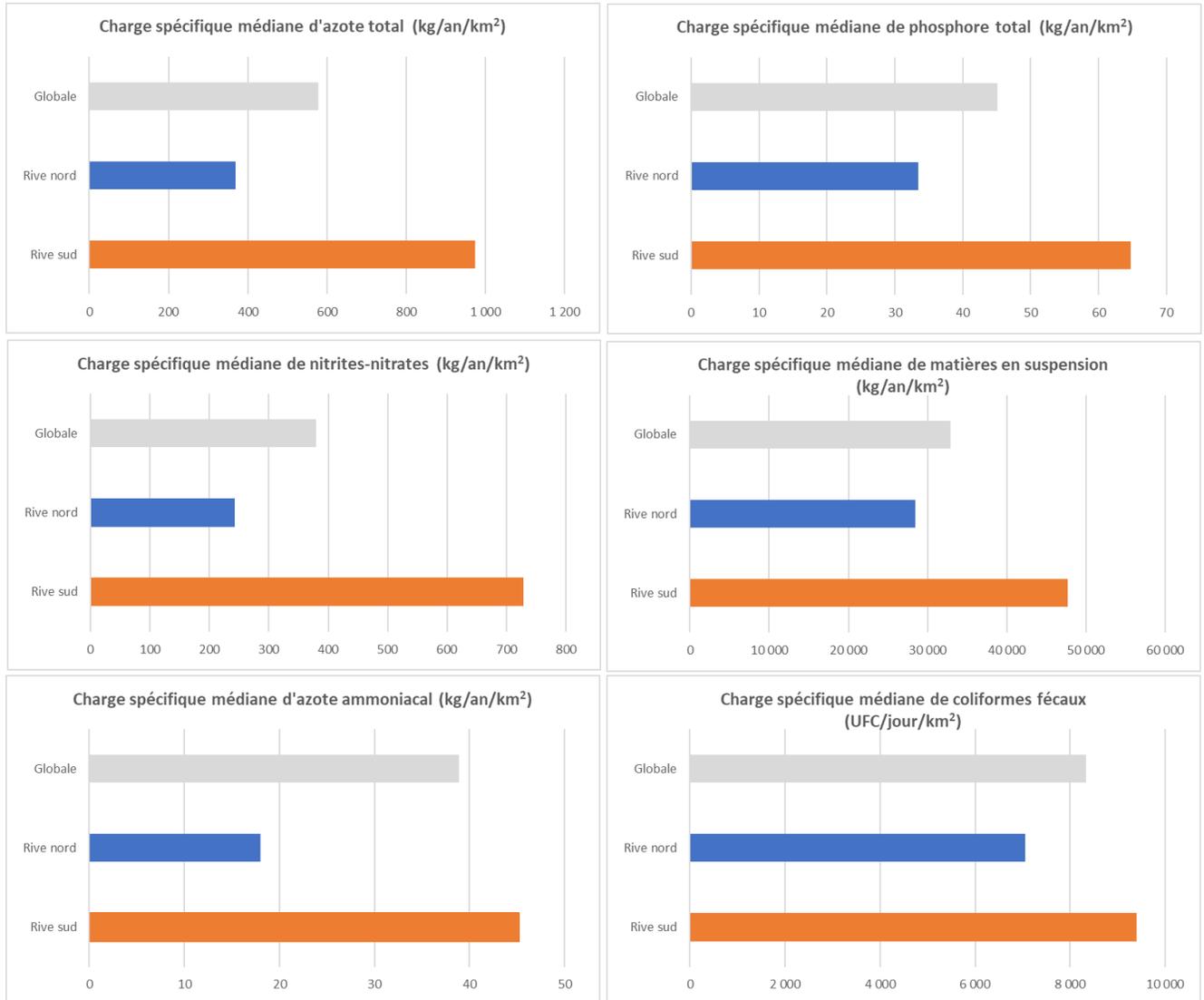
Annexe 8

Annexe 8 Distribution des charges totales en fonction de la rive du fleuve Saint-Laurent



Annexe 9

Annexe 9 Distribution des charges spécifiques médianes en fonction de la rive du fleuve Saint-Laurent



Annexe 10

Annexe 10 Corrélation de Spearman entre les charges totales et spécifiques, l'utilisation du territoire et le débit moyen

		NTOT		NOX		NH3		PTOT		MES		CF	
		Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (kg/an/km ²)	Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (kg/an/km ²)	Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (kg/an/km ²)	Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (kg/an/km ²)	Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (kg/an/km ²)	Charge (tonnes/an)	Charge spécifique (UFC/jour/km ²)
NTOT	Charge (tonnes/an)	1											
	Charge spécifique (kg/an/km ²)	-0,27	1										
NOX	Charge (tonnes/an)	0,97	-0,11	1									
	Charge spécifique (kg/an/km ²)	-0,26	1,00	-0,10	1								
NH3	Charge (tonnes/an)	0,95	-0,33	0,90	-0,32	1							
	Charge spécifique (kg/an/km ²)	-0,14	0,88	0,00	0,87	-0,08	1						
PTOT	Charge (tonnes/an)	0,92	-0,43	0,88	-0,41	0,87	-0,31	1					
	Charge spécifique (kg/an/km ²)	-0,30	0,82	-0,16	0,82	-0,38	0,73	-0,29	1				
MES	Charge (tonnes/an)	0,83	-0,25	0,81	-0,24	0,80	-0,12	0,91	-0,10	1			
	Charge spécifique (kg/an/km ²)	-0,16	0,70	-0,04	0,70	-0,20	0,69	-0,15	0,88	0,17	1		
CF	Charge (tonnes/an)	0,74	-0,16	0,76	-0,16	0,80	0,11	0,71	-0,17	0,77	0,05	1	
	Charge spécifique (UFC/jour/km ²)	-0,10	0,57	0,03	0,56	0,00	0,79	-0,19	0,56	0,05	0,67	0,40	1
Occupation du territoire	AGRICULTURE (km ²)	0,74	0,11	0,77	0,13	0,65	0,13	0,62	0,02	0,64	0,12	0,57	0,12
	FORESTIER (km ²)	0,40	-0,34	0,40	-0,33	0,47	-0,14	0,41	-0,28	0,41	-0,11	0,37	0,04
	MILIEU HUMIDES (km ²)	0,54	-0,21	0,56	-0,18	0,56	-0,07	0,52	-0,21	0,51	-0,06	0,50	0,07
	AQUATIQUE (km ²)	0,39	-0,42	0,38	-0,40	0,47	-0,19	0,41	-0,35	0,37	-0,20	0,32	-0,03
	ANTHROPIQUE (km ²)	0,51	-0,27	0,51	-0,24	0,56	-0,08	0,45	-0,29	0,46	-0,14	0,52	0,06
	COUPES FORESTIÈRES (km ²)	0,25	-0,30	0,26	-0,29	0,28	-0,19	0,34	-0,13	0,39	0,07	0,28	0,06
Occupation du territoire (%)	AGRICULTURE (%)	0,03	0,49	0,04	0,48	-0,09	0,24	-0,07	0,22	-0,05	0,09	-0,07	-0,01
	FORESTIER (%)	0,06	-0,36	0,05	-0,36	0,14	-0,18	0,16	-0,11	0,15	0,01	0,06	0,00
	MILIEUX HUMIDES (%)	0,12	0,43	0,22	0,44	0,04	0,28	0,01	0,15	0,03	0,09	0,13	0,14
	AQUATIQUE (%)	0,14	-0,46	0,11	-0,46	0,23	-0,28	0,22	-0,33	0,15	-0,21	0,10	-0,11
	ANTHROPIQUE (%)	0,05	0,05	0,02	0,06	0,05	0,09	-0,04	-0,02	-0,01	-0,03	0,09	0,02
	COUPES FORESTIÈRES (%)	-0,08	-0,22	-0,06	-0,23	-0,04	-0,18	0,10	0,04	0,21	0,22	0,06	0,06
Débit Moyen 2013-2017		0,50	-0,31	0,51	-0,28	0,55	-0,13	0,56	-0,28	0,58	-0,12	0,48	0,06
Superficie du bassin versant (km ²)		0,56	-0,28	0,57	-0,25	0,58	-0,13	0,54	-0,27	0,49	-0,14	0,49	0,02

$p < 0,05$ en gras



**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 