



2017

Charges de phosphore, d'azote et de
matières en suspension à l'embouchure
des rivières du Québec – 2009 à 2012

Photo : Confluence des rivières Yamaska et Saint-François au lac Saint-Pierre (crédit photo : Richard Carignan, Université de Montréal)

Coordination et rédaction

La présente publication a été réalisée par la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez remplir le formulaire à l'adresse suivante :

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

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

Télécopieur : 418 646-5974

Le présent document peut être consulté sur le site Web du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques au www.mddelcc.gouv.qc.ca.

Référence à citer

PATOINE, Michel (2017). *Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-77490-7 (PDF), 25 pages et 11 annexes.

[En ligne].

http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/phosphore/charge-phosphore-azote-mes2009-2012.pdf

Dépôt légal – 2017
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-77490-7 (en ligne)

© Gouvernement du Québec – 2017

RÉALISATION

Rédaction, calcul des charges en rivière et du bilan de phosphore	Michel Patoine ¹
Collaboration	
pour la coordination et la sélection des stations de qualité de l'eau	Serge Hébert ¹ Marc Simoneau ¹
pour la validation des hypothèses de calcul des charges en rivière	François D'Auteuil-Potvin ¹
Collaboration spéciale	
pour le calcul des charges de phosphore des stations d'épuration des eaux usées municipales et des papetières par émissaire et pour le calcul de la charge débordée	Sylvain Chouinard ² Claudette Bégin ³ Marc Duchemin ¹ Martine Gélinau ¹ Marc Simoneau ¹ Daniel Gagnon ²
Géomatique et graphisme	Daniel Blais ⁴ Suzanne Lavoie ¹ France Gauthier ¹
Échantillonnage – membres du personnel technique	Direction générale du suivi de l'état de l'environnement ¹
Analyses de laboratoire	
Direction de l'analyse chimique	
Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec	
Préparation des données physicochimiques de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique	Mario Bérubé ¹
Préparation des données hydrométriques	Simon Lachance-Cloutier ⁵
Révision scientifique	Martine Gélinau Marc Simoneau Jean-Thomas Denault ⁶ Daniel Gagnon ²

¹ Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

² Direction des eaux usées, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

³ Direction du Programme de réduction des rejets industriels, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

⁴ Direction de l'expertise en biodiversité, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

⁵ Direction de l'expertise hydrique, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

⁶ Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Mots clés : bassin versant, phosphore total, matières en suspension, azote total, charges, flux, eau de surface, occupation du sol, assainissement.

Résumé

Le présent rapport analyse les charges de phosphore (P), d'azote (N) et de matières en suspension (MES) calculées pour la période de 2009 à 2012 à l'embouchure d'une soixantaine de rivières du Québec, où des données sur la qualité de l'eau étaient disponibles.

Les charges estimées à l'embouchure de ces rivières totalisent annuellement environ 3 800 tonnes de phosphore, 63 000 tonnes d'azote et plus de 2 millions de tonnes de MES. À 40 des 59 stations analysées (68 %), la charge de phosphore dépasse la charge tolérable calculée en supposant une concentration égale, chaque jour, au critère de qualité de l'eau de 0,03 mg P/l pour limiter la croissance excessive des algues et des plantes aquatiques dans les rivières. À 25 stations (42 %), la charge d'azote total excède la charge tolérable basée sur la valeur repère de 1 mg N/l qui témoigne d'un degré d'enrichissement élevé en azote total. Enfin, à 40 stations (68 %), la charge de MES dépasse la charge tolérable basée sur la valeur repère de 13 mg/l, concentration sous laquelle la qualité de l'eau est considérée comme satisfaisante.

D'autre part, le bilan des charges de phosphore dans les bassins versants a permis de calculer la contribution par secteur d'activité. Dans l'ensemble des bassins versants, les charges diffuses agricoles et anthropiques autres qu'agricoles représentent 55 % de la charge de phosphore mesurée en rivière, contre 27 % pour les charges naturelles, 17 % pour les rejets municipaux ponctuels et 1 % pour les papetières. Ces résultats illustrent la prépondérance des sources diffuses dans les bassins versants comportant une forte proportion de territoires agricoles. De plus, dans plusieurs bassins versants, les rejets de phosphore provenant des municipalités et des papetières sont élevés et peuvent avoir des répercussions sur la qualité de l'eau ou les usages.

Les résultats obtenus montrent l'importance de poursuivre les efforts d'assainissement dans les secteurs agricole, municipal et industriel en vue d'améliorer davantage la qualité de l'eau des rivières du Québec et des plans d'eau dans lesquels elles se déversent.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1. MÉTHODE	2
1.1 Stations de qualité de l'eau et occupation du territoire	2
1.1.1 Sélection des stations et occupation du territoire des bassins versants	2
1.1.2 Données sur la qualité de l'eau	2
1.2 Calcul des charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau.....	5
1.3 Bilan des charges de phosphore	6
2. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	8
2.1 Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau.....	8
2.1.1 Charge de phosphore.....	8
2.1.2 Charge d'azote total	11
2.1.3 Charge de matières en suspension.....	11
2.1.4 Charge excédentaire de phosphore, d'azote et de matières en suspension .	16
2.2 Contribution des différentes sources de phosphore.....	17
2.2.1 Bilan aux stations de qualité de l'eau	17
2.2.2 Bilan à l'embouchure des bassins versants	20
Conclusion.....	22
Références bibliographiques	23
Annexes	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Stations de qualité de l'eau au sud du fleuve Saint-Laurent et occupation du territoire	3
Tableau 2	Stations de qualité de l'eau au nord du fleuve Saint-Laurent et occupation du territoire.....	4
Tableau 3	Charges de phosphore par secteur pour la période de 2009 à 2012.....	21

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Emplacement des bassins versants et des stations de qualité de l'eau	2
Figure 2	Charge moyenne de phosphore pour la période de 2009 à 2012.....	9
Figure 3	Charge spécifique de phosphore (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)	10
Figure 4	Charge moyenne d'azote total pour la période de 2009 à 2012	12
Figure 5	Charge spécifique d'azote total (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)	13
Figure 6	Charge moyenne de matières en suspension pour la période de 2009 à 2012	14
Figure 7	Charge spécifique de matières en suspension (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)	15
Figure 8	Charge des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau pour la période de 2009 à 2012.....	18
Figure 9	Contribution relative des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau pour la période de 2009 à 2012	19
Figure 10	Contribution relative des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau selon la concentration pondérée de phosphore en rivière pour la période de 2009 à 2012.....	20

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Correction pour l'équivalence au persulfate de la somme des formes dissoutes et particulières	27
Annexe 2	Estimation des débits aux stations de qualité de l'eau.....	28
Annexe 3	Calcul des charges de phosphore aux stations de qualité de l'eau	29
Annexe 4	Calcul des charges d'azote total aux stations de qualité de l'eau.....	30
Annexe 5	Calcul des charges de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau	31
Annexe 6	Taux d'exportation du milieu naturel et bilan des sources de phosphore aux stations.....	32
Annexe 7	Estimation de la charge naturelle et ponctuelle de phosphore dans la partie québécoise du bassin versant de la rivière aux Brochets.....	34
Annexe 8	Estimation de la charge naturelle et ponctuelle de phosphore dans la partie états-unienne du bassin versant de la rivière Saint-François	35
Annexe 9	Bilan des sources de phosphore en aval des stations	36
Annexe 10	Bilan des sources de phosphore des bassins versants	37
Annexe 11	Charge excédentaire aux stations de qualité de l'eau.....	38

INTRODUCTION

Les activités humaines dans les différents bassins versants contribuent à augmenter les apports d'éléments nutritifs (phosphore [P] et azote [N] notamment) et de matières en suspension (MES) dans les rivières du Québec. Ces apports excédentaires ont des répercussions sur la vie aquatique et les usages de l'eau de plusieurs rivières et des plans d'eau où elles se déversent. En effet, lorsqu'ils sont présents en quantité excessive, le phosphore peut provoquer l'eutrophisation des rivières et des lacs, alors que l'azote crée des problèmes dans les estuaires, où elle peut favoriser la prolifération d'algues toxiques. Finalement, les MES, en plus de contenir différents contaminants, peuvent nuire à la vie aquatique, en colmatant les frayères par exemple.

Afin d'améliorer la qualité de l'eau pour protéger la vie aquatique et préserver ou récupérer ses usages, le gouvernement du Québec a lancé en 1978 le Programme d'assainissement des eaux du Québec. À cette vaste opération de dépollution ont succédé divers programmes d'aide financière consacrés aux infrastructures municipales ainsi qu'un programme de réduction des rejets industriels et un programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (devenu le programme Prime-Vert). De plus, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a mis en application des lois (Loi sur la qualité de l'environnement [RLRQ, chapitre Q-2], Loi sur le développement durable [RLRQ, chapitre D-8.1.1], Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection [RLRQ, chapitre C-6.2]), des règlements ainsi qu'une position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique (publiée initialement en 2009). Le gouvernement s'est aussi doté en 2002 d'une politique nationale de l'eau, qui confie notamment aux organismes de bassins versants (OBV) le mandat de réaliser des plans directeurs de l'eau qui visent la protection concertée, par les principaux acteurs du secteur, des ressources en eau. Ces moyens ont tous contribué à l'amélioration de la qualité des cours d'eau en ciblant tour à tour les sources municipales, industrielles et agricoles. Néanmoins, malgré les efforts déployés, le dernier *Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008* (MDDEP, 2012) montre une persistance des problèmes de la qualité générale des eaux aux endroits où les pressions humaines sont les plus importantes.

Le MDDELCC a réalisé une analyse utilisant les données sur la qualité de l'eau (période de 2009 à 2012) et celles sur les caractéristiques physiques et l'occupation du territoire de 69 bassins ou sous-bassins versants spatialement indépendants. Cette analyse a conduit à une meilleure connaissance des relations entre le territoire et la qualité de l'eau ainsi qu'à la création de modèles permettant de prédire les concentrations d'azote et de phosphore en rivière à l'aide de certaines variables de territoire (Hébert et Blais, 2017).

La présente étude est complémentaire aux travaux de Hébert et Blais (2017). Elle vise à fournir une estimation actualisée des charges d'éléments nutritifs (P, N) et de MES des principales rivières du Québec méridional, ainsi qu'à décrire la contribution des différentes sources de phosphore dans chacun des bassins versants. Les données de 2009 à 2012 sur la qualité de l'eau d'une soixantaine de stations situées pour la plupart près de l'embouchure des rivières ainsi que les données de débits et d'occupation du territoire estimées à ces stations ont été utilisées à cette fin.

Une évaluation des charges de phosphore, d'azote et de MES des principaux bassins versants a d'abord été réalisée pour en quantifier l'apport au fleuve et aux milieux récepteurs plus sensibles comme les lacs, les baies ou l'estuaire du fleuve. Une charge excédentaire par rapport à la charge tolérable basée sur le critère de qualité de l'eau de 0,03 mg/l pour le phosphore et sur une valeur repère pour l'azote et les MES a aussi été calculée. Finalement, la contribution des principaux secteurs d'activité à la charge de phosphore mesurée en rivière a été déterminée à l'aide d'un bilan de masse.

1. MÉTHODE

1.1 Stations de qualité de l'eau et occupation du territoire

1.1.1 Sélection des stations et occupation du territoire des bassins versants

Cinquante-neuf stations de qualité de l'eau du Réseau-rivières (dont quatre imbriquées) actives au cours de la période de 2009 à 2012 ont été retenues (figure 1). Elles drainent des bassins versants qui se déversent dans la baie des Chaleurs, le fleuve Saint-Laurent ou la baie James. La plupart des stations sont situées près de l'embouchure des bassins versants. Deux se trouvent plus en amont, près de la frontière des États-Unis. Une est située en amont de la baie Missisquoi et onze près de l'embouchure de tributaires se déversant dans le lac Saint-Jean, la rivière Saguenay, la rivière des Outaouais ou la rivière Harricana. La superficie drainée des bassins versants aux stations de qualité d'eau varie de 70 à près de 43 000 km². Les superficies naturelles occupent de 6 à 100 % du territoire de la partie des bassins versants situés au Québec contre 0 à 30 % pour les superficies anthropisées autres qu'agricoles et 0 à 86 % pour les superficies agricoles (tableaux 1 et 2).

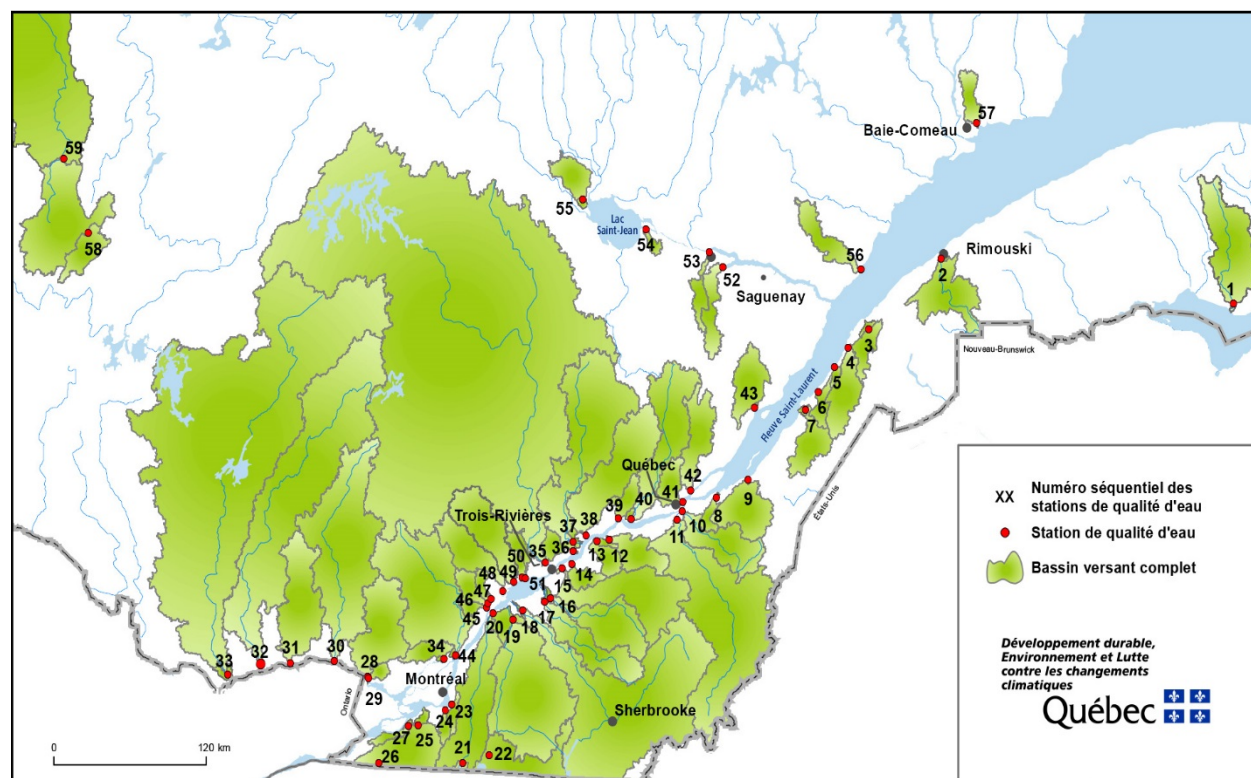


Figure 1 Emplacement des bassins versants et des stations de qualité de l'eau

1.1.2 Données sur la qualité de l'eau

Le suivi à la plupart des stations se fait à l'année à une fréquence mensuelle, depuis plusieurs années. Les échantillons d'eau des rivières sont analysés pour mesurer les concentrations de plusieurs constituants de l'eau, notamment le phosphore, l'azote total sous la forme filtrée et les MES, à l'aide de méthodes standards appliquées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Jusqu'en mars 2009, les données de phosphore total ont été obtenues par la somme des formes particulières et des formes dissoutes

Tableau 1 Stations de qualité de l'eau au sud du fleuve Saint-Laurent et occupation du territoire

Numéro séquentiel ^a	Tributaire	Station BQMA ^b	Superficie drainée à la station ^c		Superficie par occupation ^d		
					Naturelle	Anthropique autre qu'agricole	Agricole
			(km ²)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	Bonaventure	01080001	2 150	90	99,6	0,1	0,3
2	Rimouski ^f	02200019	1 605	99	95,0	0,7	4,3
3	Verte	02240005	456	89	70,0	4,4	25,6
4	Du Loup	02250005	1 050	100	87,7	2,3	10,1
5	Fouquette	02E90001	70	94	25,9	9,0	65,1
6	Kamouraska	02260002	290	98	57,7	3,7	38,6
7	Ouelle	02270002	813	96	94,8	1,1	4,1
8	Boyer	02300001	204	96	28,1	2,8	69,1
9	Du Sud	02310004	1 273	100	76,4	1,6	22,0
10	Etchemin	02330001	1 469	100	66,5	3,2	30,3
11	Chaudière	02340033	6 621	99	75,5	2,8	21,7
12	Du Chêne	02360014	794	99	68,1	2,2	29,7
13	Petite rivière du Chêne	02370002	379	85	67,5	1,9	30,6
14	Gentilly	02390001	311	99	64,6	1,5	33,9
15	Bécancour	02400004	2 585	100	63,8	3,9	32,3
16	Nicolet	03010008	1 669	49	51,4	3,8	44,8
17	Nicolet Sud-Ouest	03010009	1 578	46	53,2	3,4	43,4
18	Saint-François ^f	03020031	10 176	100	73,5	4,3	22,2
19	Yamaska	03030023	4 451	93	40,2	5,3	54,5
20	Richelieu ^f	03040009	23 850	99	36,3	7,1	56,6
21	Richelieu ^f	03040012	21 365	--	63,6	2,6	33,8
22	Aux Brochets ^f	03040015	590	95	46,4	2,2	51,4
23	Saint-Jacques	03060001	169	100	11,7	25,5	62,8
24	De la Tortue	03070015	155	100	6,9	6,9	86,2
25	Châteauguay ^f	03090001	2 459	97	36,7	2,2	61,1
26	Châteauguay ^f	03090005	424	--	83,7	0,9	15,4
27	Saint-Louis	03110003	163	88	17,7	4,4	77,9

a : Numéro séquentiel des stations de qualité de l'eau indiqué à la figure 1.

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

c : Superficie drainée à la station de qualité de l'eau (y compris la partie hors Québec), exprimée en kilomètre carré et en pourcentage de la superficie totale du bassin du versant à son embouchure.

d : Occupation du sol en territoire québécois, exprimée en pourcentage par rapport à la superficie drainée à la station de la qualité de l'eau en excluant la partie hors Québec. Les superficies naturelles incluent les forêts, les coupes et régénérations, les milieux humides, les milieux aquatiques ainsi que les sols nus et landes. Les superficies anthropisées autres qu'agricoles incluent les zones développées, les parcs, les golfs, les routes, les aéroports, les carrières et gravières, les mines, les dépotoirs, les zones industrielles et commerciales, les lignes de transport d'énergie, etc. Les données sur les superficies naturelles et anthropisées autres qu'agricoles proviennent du Système d'information écoforestière du ministère des Ressources naturelles (MRN, 2013). Les données sur les superficies agricoles proviennent de la Base de données des cultures assurées (BDCA) de La Financière agricole du Québec pour l'année 2012. Le manque d'information dans la BDCA sur certaines parcelles a été comblé à l'aide de l'Inventaire annuel des cultures au Canada de 2012 réalisé par la Direction générale des sciences et de la technologie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

f : La superficie drainée à l'extérieur du Québec (Nouveau-Brunswick ou États-Unis) est de 24 km² (1,5 %) pour la rivière Rimouski, de 1 525 km² (15 %) pour la rivière Saint-François, de 19 941 km² (84 %) et 19 936 km² (93 %) pour la rivière Richelieu (stations BQMA 03040009 et 03040012 respectivement), de 104 km² (18 %) pour la rivière aux Brochets et de 1 060 km² (43 %) et 422 km² (99 %) pour la rivière Châteauguay (stations BQMA 03090001 et 03090005 respectivement).

Tableau 2 Stations de qualité de l'eau au nord du fleuve Saint-Laurent et occupation du territoire

Numéro séquentiel ^a	Tributaire	Station BQMA ^b	Superficie drainée à la station ^c		Superficie par occupation ^d		
					Naturelle	Anthropique autre qu'agricole	Agricole
			(km ²)	(%)	(%)	(%)	(%)
28	Du Nord	04010002	2 081	100	83,2	9,3	7,5
29	Rouge	04010127	145	100	22,7	3,6	73,7
30	Rouge	04020001	5 555	100	95,8	2,0	2,2
31	De la Petite Nation	04040001	2 250	100	92,2	1,3	6,5
32	Du Lièvre	04060004	9 485	100	96,2	1,0	2,8
33	Gatineau	04080003	23 815	100	98,1	0,5	1,4
34	Mascouche	04640003	395	95	32,7	16,4	50,9
35	Saint-Maurice	05010007	42 882	100	99,3	0,5	0,2
36	Champlain	05020006	300	96	60,0	6,0	34,0
37	Batiscan	05030001	4 625	98	93,9	1,0	5,1
38	Sainte-Anne	05040007	2 712	100	89,3	1,2	9,5
39	Portneuf	05070012	361	100	69,6	6,9	23,5
40	Jacques-Cartier	05080105	2 470	98	94,5	2,2	3,3
41	Saint-Charles	05090017	530	99	63,8	30,3	5,9
42	Montmorency	05100014	1 146	100	97,5	2,3	0,2
43	Du Gouffre	05130016	993	99	90,8	2,3	6,9
44	L'Assomption	05220003	4 201	99	77,8	5,1	17,1
45	La Chaloupe	05230001	142	100	20,6	9,0	70,4
46	Bayonne	05240001	363	100	39,1	5,3	55,6
47	Chicot	05250002	165	94	63,4	2,7	33,9
48	Maskinongé	05260003	1 093	100	87,4	2,1	10,5
49	Du Loup	05280001	1 504	99	90,7	0,9	8,4
50	Petite rivière Yamachiche	05290001	107	99	14,8	3,2	82,0
51	Yamachiche	05300004	265	100	74,7	4,6	20,7
52	À Mars	06070006	670	100	95,7	2,0	2,3
53	Du Moulin	06090002	373	100	91,8	1,5	6,7
54	Bédard	06120001	128	100	37,9	3,3	58,8
55	Ticouapé	06200001	624	94	50,9	1,5	47,6
56	Des Escoumins	07020002	802	100	99,0	0,7	0,3
57	Aux Anglais	07120007	440	98	99,2	0,8	0,0
58	Bourlamaque	08010062	685	97	95,0	3,1	1,9
59	Harricana	08010063	3 768	13	90,7	2,8	6,5

a : Numéro séquentiel des stations de qualité de l'eau indiqué à la figure 1.

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

c : Superficie drainée à la station de qualité de l'eau, exprimée en kilomètre carré et en pourcentage de la superficie totale du bassin du versant à son embouchure.

d : Occupation du sol en territoire québécois, exprimée en pourcentage par rapport à la superficie drainée à la station de la qualité de l'eau en excluant la partie hors Québec. Les superficies naturelles incluent les forêts, les coupes et régénérations, les milieux humides, les milieux aquatiques ainsi que les sols nus et landes. Les superficies anthropisées autres qu'agricoles incluent les zones développées, les parcs, les golfs, les routes, les aéroports, les carrières et gravières, les mines, les dépotoirs, les zones industrielles et commerciales, les lignes de transport d'énergie, etc. Les données sur les superficies naturelles et anthropisées autres qu'agricoles proviennent du Système d'information écoforestière du ministère des Ressources naturelles (2013). Les données sur les superficies agricoles proviennent de la BDCA de La Financière agricole du Québec pour l'année 2012. Le manque d'information dans la BDCA sur certaines parcelles a été comblé à l'aide de l'Inventaire annuel des cultures au Canada de 2012 réalisé par la Direction générale des sciences et de la technologie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

(filtre de porosité de 1,2 µm) analysées séparément, sauf pour la rivière Boyer, où le phosphore total était analysé directement à l'aide de la méthode au persulfate. À compter d'avril 2009, le phosphore total a été analysé directement à l'aide de la méthode au persulfate pour toutes les stations. Un facteur de correction a été appliqué aux données de phosphore total antérieures à avril 2009 obtenues à l'aide de deux méthodes analytiques différentes (annexe 1), et ce, pour les rendre comparables aux données obtenues directement par la méthode au persulfate. La filtration des échantillons d'eau pour l'analyse de l'azote total et des MES a été effectuée à l'aide d'un filtre de 1,2 µm, sauf pour la rivière Boyer, où un filtre de 0,45 µm a été utilisé.

1.2 Calcul des charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau

Les charges annuelles de phosphore, d'azote et de MES aux stations de qualité de l'eau ont été calculées pour la période de 2009 à 2012 à l'aide du logiciel FLUX32, version 3.32 (Walker, 1996), à partir des concentrations mensuelles mesurées à chaque station et des débits moyens journaliers estimés à ces stations. La méthode de régression 6 a été retenue en raison de la relation qui existe, sur une échelle logarithmique, entre les concentrations de phosphore, d'azote ou de MES et le débit à la plupart des stations. Une stratification en fonction du débit ou de la saison a été effectuée au besoin pour assurer l'indépendance des résidus. Cette méthode avait aussi été retenue par Smetlzer, Dunlap et Simoneau (2009) pour calculer les charges de phosphore des tributaires du lac Champlain dans les cas présentant une relation significative au seuil de 10 % entre la concentration de phosphore et le débit. Dans notre étude, pour les quelques stations ne présentant pas de relation significative entre la concentration et le débit, les résultats de la méthode 6 ont également été retenus pour une raison d'uniformité, ceux-ci différant peu des résultats obtenus par d'autres méthodes. Une procédure d'analyse d'erreur contenue dans le logiciel FLUX32 a été utilisée pour estimer le coefficient de variation (CV) des charges moyennes et leurs intervalles de confiance à 95 %. Le logiciel FLUX32 calcule également une concentration moyenne pondérée en fonction du débit (CPd) correspondant à la charge totale estimée divisée par le volume d'eau total écoulé au cours de la période.

Les données sur les concentrations mensuelles de phosphore total, d'azote total et de MES disponibles aux 59 stations du Réseau-rivières retenues ont été utilisées. À trois stations (Champlain, la Chaloupe et Chicot), des données additionnelles (hebdomadaires) sur la concentration de phosphore total des projets de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole (Denault et Bélanger-Comeau, 2014) ont été utilisées pour améliorer la précision du calcul des charges. Ces données additionnelles ont aussi servi à déterminer la CPd, mais non le CV, qui a été déterminé à l'aide des données mensuelles ou bimensuelles seulement, et ce, pour respecter l'hypothèse d'indépendance des résidus. Les données sur la qualité de l'eau ont été extraites de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) en mars 2014 (MDDEFP, 2015).

Les débits moyens journaliers ont été estimés aux stations de qualité de l'eau par le Centre d'expertise hydrique du Québec à l'aide des données disponibles aux stations hydrométriques avoisinantes. Le Centre a utilisé le krigeage, une méthode statistique d'interpolation spatiale qui minimise la variance. Seules les stations hydrométriques qui drainent une superficie différant de moins d'un facteur dix de celle à la station de qualité de l'eau ont été retenues. Dans le cas de la rivière Richelieu, les données de débit d'une seule station ont été utilisées en raison de l'effet de laminage important du lac Champlain (Lachance-Cloutier, 2014). L'annexe 2 présente, pour chaque station de qualité de l'eau, le débit moyen journalier calculé à l'aide du logiciel FLUX32 pour la période de 2009 à 2012 ainsi que le nombre de stations utilisées pour l'estimation des débits et l'éloignement moyen pondéré du centroïde du bassin versant drainé aux stations de débit par rapport à celui drainé à la station de qualité de l'eau. L'estimation des débits est plus précise lorsque les stations de débit sont près des stations de qualité de l'eau et situées dans le même bassin versant.

Pour le calcul des charges, les débits moyens journaliers ont été préférés aux débits instantanés parce qu'ils sont validés, plus disponibles, plus faciles d'utilisation et qu'ils n'entraînent pas de perte de précision significative pour les bassins versants retenus compte tenu de l'importance des superficies qu'ils drainent.

Les données d'une ou plusieurs années antérieures à 2009 (à compter de 2005) ont été retenues à certaines stations pour renforcer la relation entre la concentration et le débit, lorsque la plage des débits échantillonnés de 2009 à 2012 ne permettait pas de couvrir adéquatement la plage de l'ensemble des débits observés ou lorsque le CV de la charge était supérieur à 0,2, ou encore pour améliorer l'indépendance des résidus ou la convergence de la charge calculée à l'aide de la méthode 6 et de celle des autres méthodes incluses dans le logiciel FLUX32. Le critère utilisé pour retenir les données antérieures à 2009 dans la relation entre la concentration et le débit était l'absence de tendance temporelle (pente des résidus en fonction du temps non significative au seuil de 5 %). Dans le cas des MES, le choix des données des années antérieures à 2009 a tenu compte de l'effet du changement de la limite de détection de la méthode analytique.

Les annexes 3 à 5 fournissent l'information sur les données retenues pour calculer les charges de phosphore, d'azote et de MES aux stations de qualité de l'eau.

L'utilisation d'une période de quatre années pour le calcul des charges, comparativement aux études antérieures (Gangbazo et Le Page, 2005; Gangbazo, Roy et Le Page, 2005) qui ont eu recours aux données de trois années, ainsi que l'utilisation de données additionnelles, au besoin, pour mieux caractériser la relation entre la concentration et le débit ont permis d'améliorer la précision des calculs et de diminuer certains biais. En raison des changements méthodologiques effectués, des améliorations apportées aux méthodes d'analyse et de l'évolution temporelle de la qualité de l'eau des rivières entre les périodes de 2001-2003 et 2009-2012, les charges calculées dans le présent rapport ne sont pas comparables à celles qui ont été calculées antérieurement pour les mêmes rivières.

1.3 Bilan des charges de phosphore

La contribution des différentes sources de phosphore à la charge moyenne exportée à la station de qualité de l'eau au cours de la période de 2009 à 2012 a été calculée à l'aide d'un bilan de masse, qui suppose que tout le phosphore qui entre dans une rivière est ultérieurement transporté à son embouchure (Gangbazo, Roy et Le Page, 2005; Gangbazo et Le Page, 2005). Certains phénomènes naturels comme la rétention de phosphore par les lacs ou l'effet des milieux humides ne sont pas pris en compte dans ce bilan, alors que d'autres facteurs comme l'extraction de phosphore du milieu aquatique par les animaux ou les insectes (Jackson et Fisher, 1986; Woods et autres, 2004) sont compris dans les taux d'exportation des milieux naturels.

Le calcul des charges ponctuelles de phosphore provenant des stations d'épuration des eaux usées municipales a pris en considération les périodes avec et sans enlèvement de phosphore, à l'aide des données de 2009 à 2012 du Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE) du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT, 2014). Les charges de phosphore provenant des papeteries ont été calculées à l'aide des données de 2009 à 2012 du Programme de réduction des rejets industriels. Les charges des réseaux d'égout sans traitement des eaux usées ont aussi été calculées dans le cas où les données sur la population raccordée étaient incluses dans le Système de gestion des informations à référence spatiale (SYGIRS), en fonction d'un apport annuel de 0,73 kg P/personne (Bernier, 2001).

Les charges naturelles ont d'abord été calculées par la multiplication de la superficie en milieu naturel par un taux d'exportation spécifique annuel de 0,1 kg P/ha (Gangbazo, Roy et Le Page, 2005; Gangbazo, 2011). Les charges de phosphore de sources diffuses anthropiques en amont des stations de qualité d'eau ont ensuite été calculées par la différence entre la charge annuelle calculée à la station de qualité d'eau à l'aide du logiciel FLUX32 et les charges ponctuelles (municipalités et papeteries) et naturelles calculées des aires de drainage en amont de la station de qualité d'eau. Dans les cas anormaux, où le taux d'exportation spécifique du milieu naturel dépassait celui des sources diffuses anthropiques, les charges ont été recalculées par la diminution de la valeur de 0,1 kg P/ha pour le milieu naturel par incrément de 0,01 jusqu'à l'élimination de ce dépassement. Les taux d'exportation spécifiques du milieu naturel plus faibles ainsi obtenus pour 13 bassins versants s'expliquent notamment par la géologie particulière du territoire dans le cas de la rivière Bonaventure et par la présence de lacs qui peuvent retenir ou stocker

une partie du phosphore dans les autres cas, comme l'indique l'importance de la superficie du milieu aquatique (plus de 4 % du territoire), qui met en évidence la forte présence des lacs dans le réseau hydrographique.

Les taux d'exportation spécifiques retenus pour le calcul des charges naturelles ainsi que le bilan des charges par secteur sont présentés à l'annexe 6 pour les bassins versants drainés à chaque station. Ce bilan est basé sur l'information qui était disponible pour chaque bassin versant en territoire québécois et pour la partie hors du Québec des rivières Rimouski et Saint-François. Pour les autres bassins versants transfrontaliers (Richelieu, aux Brochets et Châteauguay), la valeur du diffus anthropique présentée à l'annexe 6 inclut également les apports des autres secteurs (naturel, municipal et papetières) provenant de l'extérieur du Québec.

Les charges diffuses anthropiques autres qu'agricoles incluent les rejets des populations humaines non raccordées à un réseau d'égout et des industries dont les eaux usées ne sont pas acheminées vers une station d'épuration municipale. Elles incluent aussi les charges de phosphore véhiculées par les réseaux d'égout pluviaux et les débordements des réseaux d'égout sanitaires et unitaires, y compris les charges des réseaux d'égout sans traitement provenant de populations non incluses dans SYGIRS. Elles incluent d'autres apports anthropiques comme ceux des lieux d'enfouissement technique ou sanitaire. Les charges diffuses agricoles incluent les rejets découlant de l'ensemble des activités agricoles, notamment ceux qui proviennent des champs (eaux de ruissellement et de drainage souterrain, écoulement des déjections animales stockées au champ), des ouvrages d'entreposage des déjections animales non étanches et des eaux usées de laiterie de ferme, ainsi que ceux qui découlent des activités piscicoles.

La délimitation des aires de drainage en amont des stations de qualité d'eau et des bassins versants complets a été réalisée, pour la partie située au Québec, par la Direction de l'expertise en biodiversité à l'aide des modèles d'accumulation et d'écoulement de l'eau et du réseau hydrologique. Les superficies en milieu naturel proviennent du Système d'information écoforestière du ministère des Ressources naturelles (MRN, 2013). Elles incluent les forêts, les coupes et régénérations, les milieux humides, les milieux aquatiques ainsi que les sols nus et landes.

Dans le cas des rivières Richelieu et Châteauguay, la charge de la partie du bassin versant située au Canada a été calculée en soustrayant de la charge calculée à la station près de l'embouchure du bassin versant la charge calculée à la station de qualité d'eau située près de la frontière des États-Unis. Le bilan des charges a également été établi à l'aide des données pour le territoire en amont de la station frontalière.

Dans le cas de la rivière aux Brochets, la charge de la partie du bassin versant située au Canada a aussi été calculée en soustrayant de la charge calculée près de l'embouchure du bassin versant la charge calculée à une station de qualité d'eau située près de la frontière des États-Unis (annexe 7). Cette station draine environ 78 % de la partie du bassin versant située aux États-Unis. Le reste, soit 22 %, qui représente environ 4 % de la superficie du bassin versant, n'a pu être soustrait en raison de l'absence de station de qualité de l'eau près de la frontière. Cette partie, qui ne comporte pas de source ponctuelle (Stone Environmental inc., 2012; CPBIS, 2015), a été incluse dans le bilan à partir de l'estimation des charges naturelles de la partie du bassin versant située aux États-Unis, effectuée à l'aide de l'information disponible (annexe 7).

La contribution de la partie de la rivière Saint-François située aux États-Unis, qui draine environ 15 % de la superficie du bassin versant, n'a pu être soustraite en raison de l'absence de station de qualité de l'eau près de la frontière. Par contre, le bilan a pu être réalisé pour le bassin versant au complet par l'estimation des charges naturelles et ponctuelles de la partie du bassin versant située aux États-Unis, effectuée à l'aide de l'information disponible (COGESAF, 2006; VANR, 2012; EPA, 2004; Tetra Tech inc., 2014; CPBIS, 2015) (annexe 8).

La contribution de la partie de la rivière Rimouski située au Nouveau-Brunswick, qui draine un secteur entièrement forestier représentant environ 1,4 % de la superficie totale du bassin versant, n'a pu être soustraite en raison de l'absence de station de qualité de l'eau près de la frontière. Le bilan a été réalisé

pour le bassin versant au complet à partir de l'estimation de la charge naturelle de cette partie du bassin versant effectuée par la multiplication de l'apport annuel spécifique du milieu naturel retenu pour le bassin versant de la rivière Rimouski (0,09 kg P/ha) par sa superficie située aux Nouveau-Brunswick (24 km²).

Les charges de phosphore en aval des stations de qualité de l'eau situées près de l'embouchure des principaux tributaires, elles, ont été obtenues (annexe 9) par l'addition des charges municipales ponctuelles présentes en aval et des charges naturelles et diffuses anthropiques calculées à l'aide des taux spécifiques naturels (annexe 6) et diffus (agricoles et anthropiques autres qu'agricoles) du bassin versant. Les charges totales et les bilans selon les sources de phosphore des principaux bassins versants, obtenus par l'addition des charges de l'amont et des charges de l'aval des stations, sont présentés à l'annexe 10.

Dans le cas du bassin versant des rivières Richelieu, aux Brochets et Châteauguay, le bilan par bassin versant (annexe 10) exclut la contribution en amont des stations frontalières, alors que dans le cas du bassin versant des rivières Rimouski et Saint-François et de la partie de la rivière aux Brochets à l'ouest du lac Carmi, la contribution du territoire à l'extérieur du Québec est comprise dans le bilan. Le bilan n'a pas été réalisé pour la totalité du bassin versant de la rivière Harricana, qui se déverse dans la baie James, en Ontario. Seule la partie en amont de la station de qualité d'eau de la rivière Bourlamaque a été considérée en raison de la disponibilité des données.

L'utilisation de données additionnelles pour la réalisation du bilan et des modifications de certaines hypothèses de base dans l'estimation des rejets municipaux, comparativement aux études antérieures (Gangbazo et Le Page, 2005; Gangbazo, Roy et Le Page, 2005), limitent la comparabilité avec celles-ci.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau

2.1.1 Charge de phosphore

Les charges de phosphore calculées aux stations de qualité de l'eau se situent, selon le tributaire, entre 1,9 et 605 t/an en moyenne pour la période de 2009 à 2012 (figure 2, annexe 3). Ces charges, obtenues par le produit des concentrations par les débits, peuvent être normalisées par leur division par la superficie du bassin versant pour obtenir une charge spécifique moyenne annuelle (CS). Les débits étant fortement liés à cette superficie (annexe 2), les grands bassins versants véhiculent les charges les plus élevées. Ainsi, les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-Maurice, Chaudière, Saint-François et L'Assomption génèrent à elles seules plus de la moitié de la charge totale des 55 stations non imbriquées les unes dans les autres (stations 21, 22, 26 et 58 exclues).

Les CS de phosphore calculées aux 59 stations se situent entre 4,3 et 134 kg P/km² (figure 3). Les stations présentant les valeurs moyennes et les intervalles de confiance à 95 % les plus élevés drainent surtout des bassins versants où les superficies agricoles et anthropisées autres qu'agricoles sont importantes (tableaux 1 et 2). La rivière Yamaska, par exemple, présente la deuxième charge calculée en importance, en raison de la CS de phosphore élevée, combinée à l'importance de la superficie drainée en amont de la station de qualité d'eau.

Les CS et les CPd ont montré des valeurs généralement plus élevées aux stations situées au sud du fleuve Saint-Laurent, comparativement à celles qui sont situées au nord du fleuve. Pour les charges spécifiques, l'écart est de 13 % (CS de 44 contre 39 kg P/km²), alors que pour les concentrations pondérées, l'écart est de 30 % (CPd de 0,082 contre 0,063 mg P/l). Ces résultats s'expliquent par l'importance du territoire agricole et de la population au sud du fleuve.

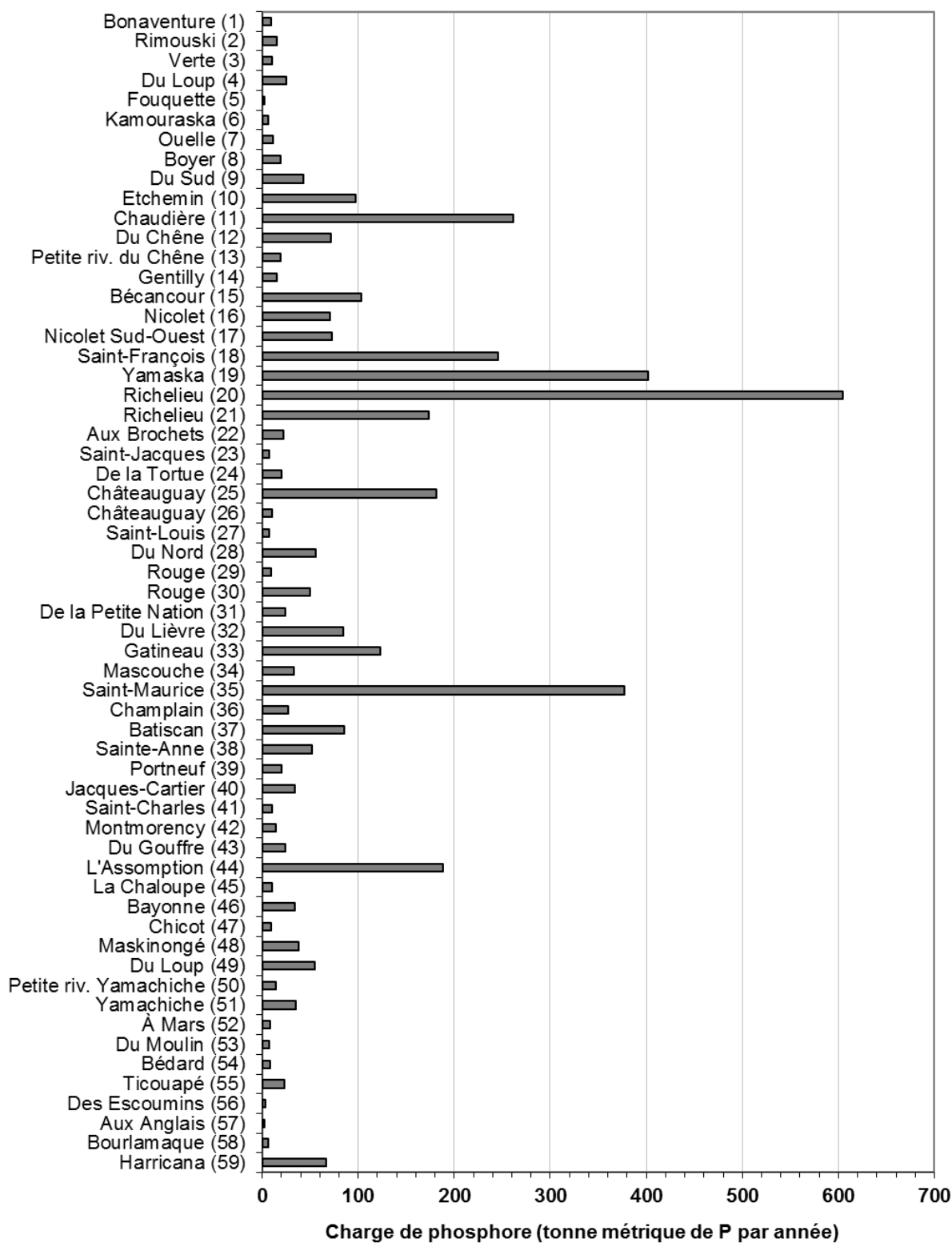


Figure 2 Charge moyenne de phosphore pour la période de 2009 à 2012

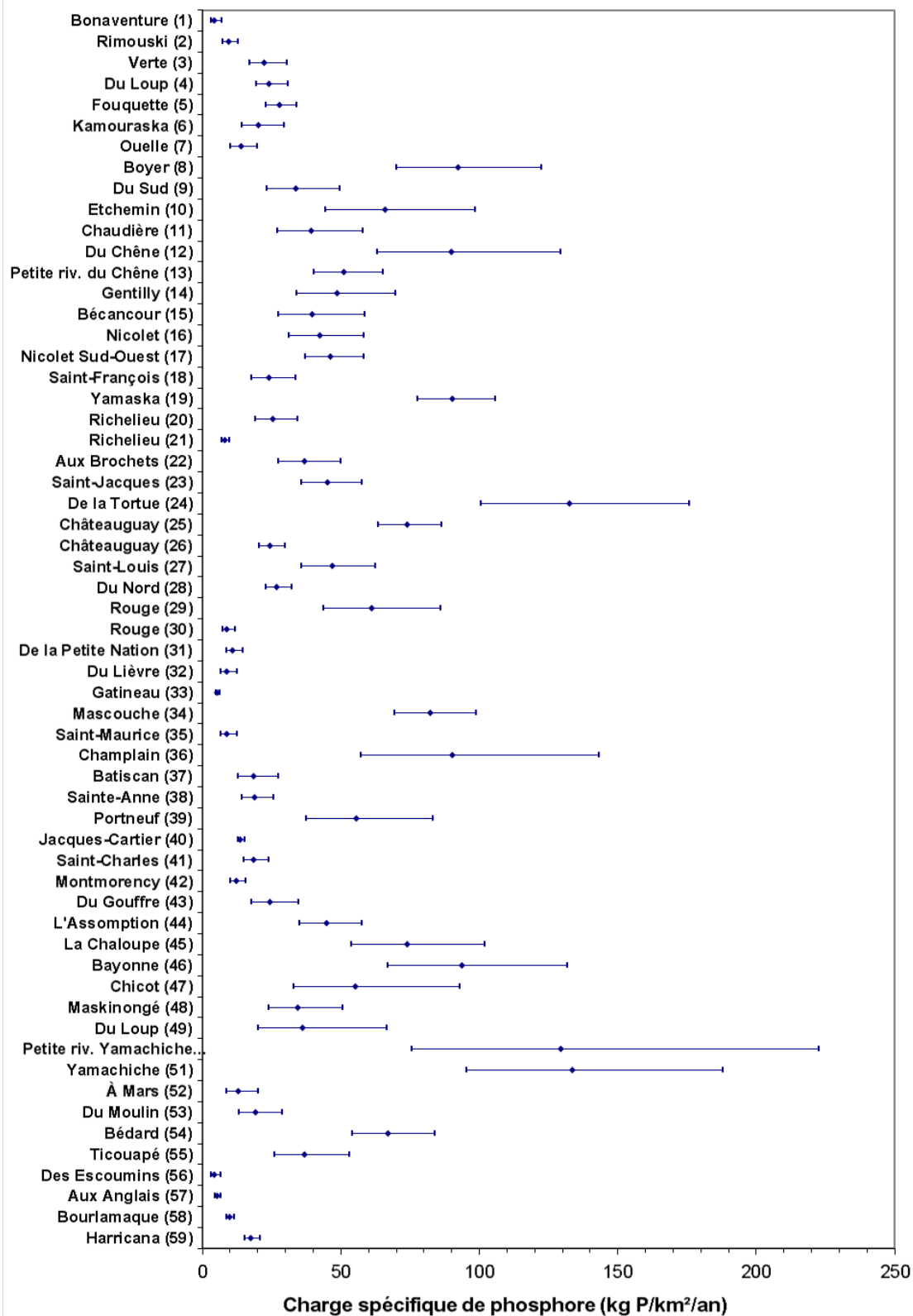


Figure 3 Charge spécifique de phosphore (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)

Les CV obtenus pour les calculs de charges à l'aide de la méthode 6 ont varié entre 0,05 et 0,20 à la plupart des stations de qualité de l'eau, ce qui se situe dans l'intervalle recherché pour l'utilisation du logiciel FLUX32. Seules les stations des rivières Bonaventure, Champlain, Chicot et du Loup et celle de la Petite rivière Yamachiche ont montré des CV supérieurs, sans toutefois dépasser 0,30 (annexe 2).

2.1.2 Charge d'azote total

Les charges d'azote total calculées aux stations de qualité de l'eau se situent, selon le tributaire, entre 71 et 10 045 t/an en moyenne pour la période de 2009 à 2012 (figure 4, annexe 4). Les CS d'azote total calculées aux 59 stations se situent entre 46 et 3 126 kg/km² (figure 5).

Les CS et les CPd ont montré des valeurs généralement plus élevées aux stations situées au sud du fleuve Saint-Laurent, comparativement à celles situées au nord du fleuve. Pour les charges spécifiques, l'écart est de 30 % (CS de 882 contre 679 kg/km²), alors que pour les concentrations pondérées, l'écart est de 36 % (CPd de 1,5 contre 1,1 mg N/l). Ces résultats s'expliquent par l'importance du territoire agricole et de la population au sud du fleuve. Le patron général des CS pour l'azote total ressemble à celui du phosphore, en raison de l'apport en éléments nutritifs provenant des superficies agricoles et anthropisées autres qu'agricoles.

Les CV obtenus pour les calculs de charges à l'aide de la méthode 6 ont varié entre 0,03 et 0,20 à la plupart des stations de qualité d'eau, ce qui se situe dans l'intervalle recherché pour l'utilisation du logiciel FLUX32. Seules les stations des rivières Saint-Jacques et de la Tortue ont montré des CV supérieurs, sans toutefois dépasser 0,30 (annexe 4). Les CV pour l'azote total ont montré une augmentation avec la CS.

2.1.3 Charge de matières en suspension

Les charges de MES calculées aux stations de qualité de l'eau se situent, selon le tributaire, entre 451 et 345 526 t/an en moyenne pour la période de 2009 à 2012 (figure 6, annexe 5). Les CS de MES calculées aux 59 stations se situent entre 725 et 139 500 kg/km² (figure 7).

Les CS et les CPd ont montré des valeurs généralement plus faibles aux stations situées au sud du fleuve Saint-Laurent, comparativement à celles situées au nord du fleuve. Pour les charges spécifiques, l'écart est de 12 % (CS de 22,7 contre 25,9 t/km²), alors que pour les concentrations pondérées, l'écart est de 17 % (CPd de 35 contre 42 mg/l). Les valeurs plus élevées au nord du fleuve s'expliquent notamment par une plus grande sensibilité des sols à l'érosion. Le patron général des CS pour les MES ressemble aussi à celui du phosphore, en raison de l'apport particulaire provenant des superficies agricoles et anthropisées autres qu'agricoles.

Les CV obtenus pour les calculs de charges à l'aide de la méthode 6 ont varié entre 0,07 et 0,20 à la moitié des stations de qualité d'eau, ce qui se situe dans l'intervalle recherché pour l'utilisation du logiciel FLUX32. Dix-neuf stations ont montré un CV supérieur à 0,20, sans toutefois dépasser 0,30. À 11 stations, le CV n'a pu être ramené à une valeur inférieure à 0,30, même par l'utilisation des valeurs antérieures à 2009 visant à améliorer la relation entre la concentration de MES et le débit. Les CV les plus élevés ont été obtenus pour la rivière du Loup (0,38) et la Petite rivière Yamachiche (0,40) (annexe 5). Les CV pour les MES ont montré une augmentation avec la CS.

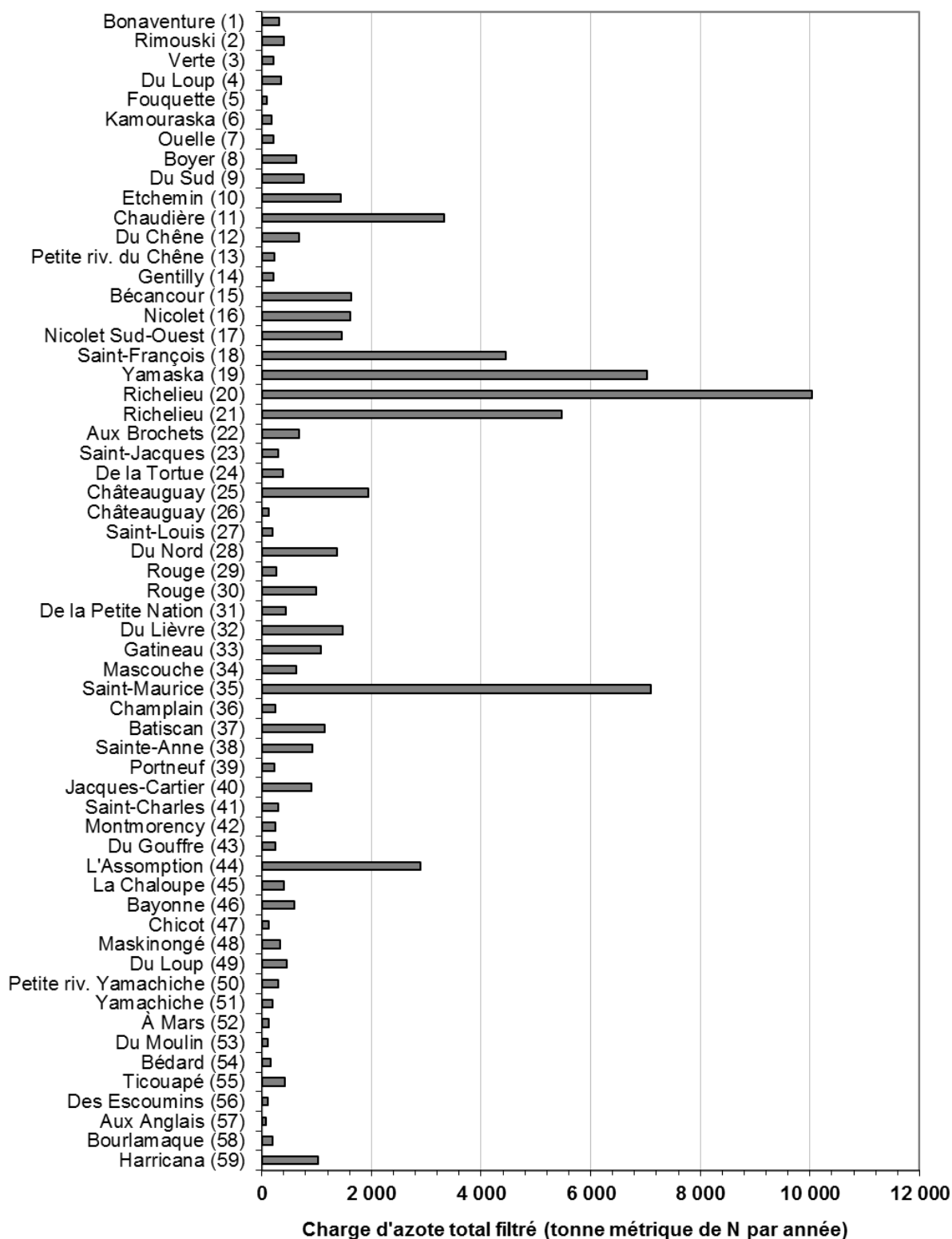


Figure 4 Charge moyenne d'azote total pour la période de 2009 à 2012

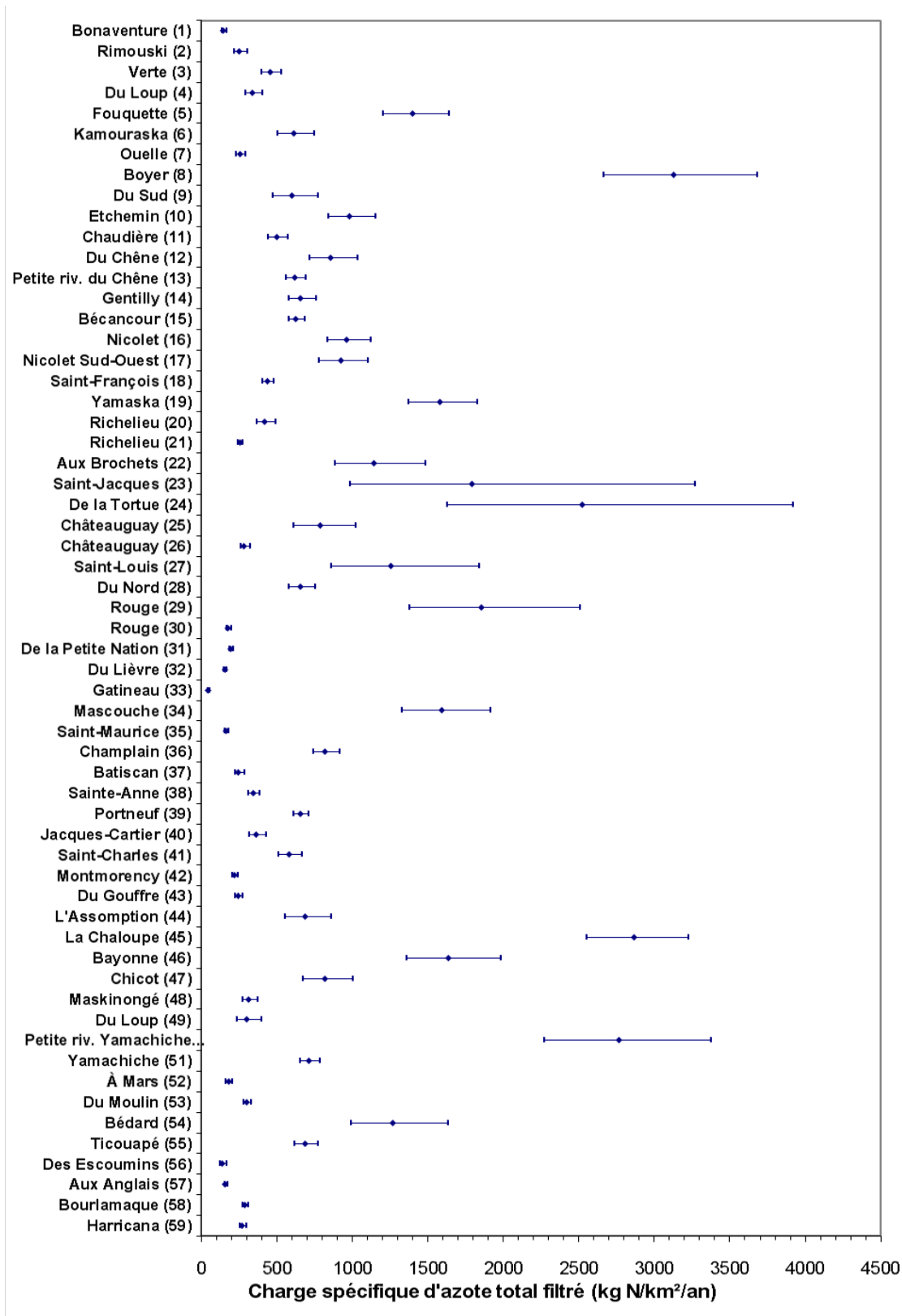


Figure 5 Charge spécifique d'azote total (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)

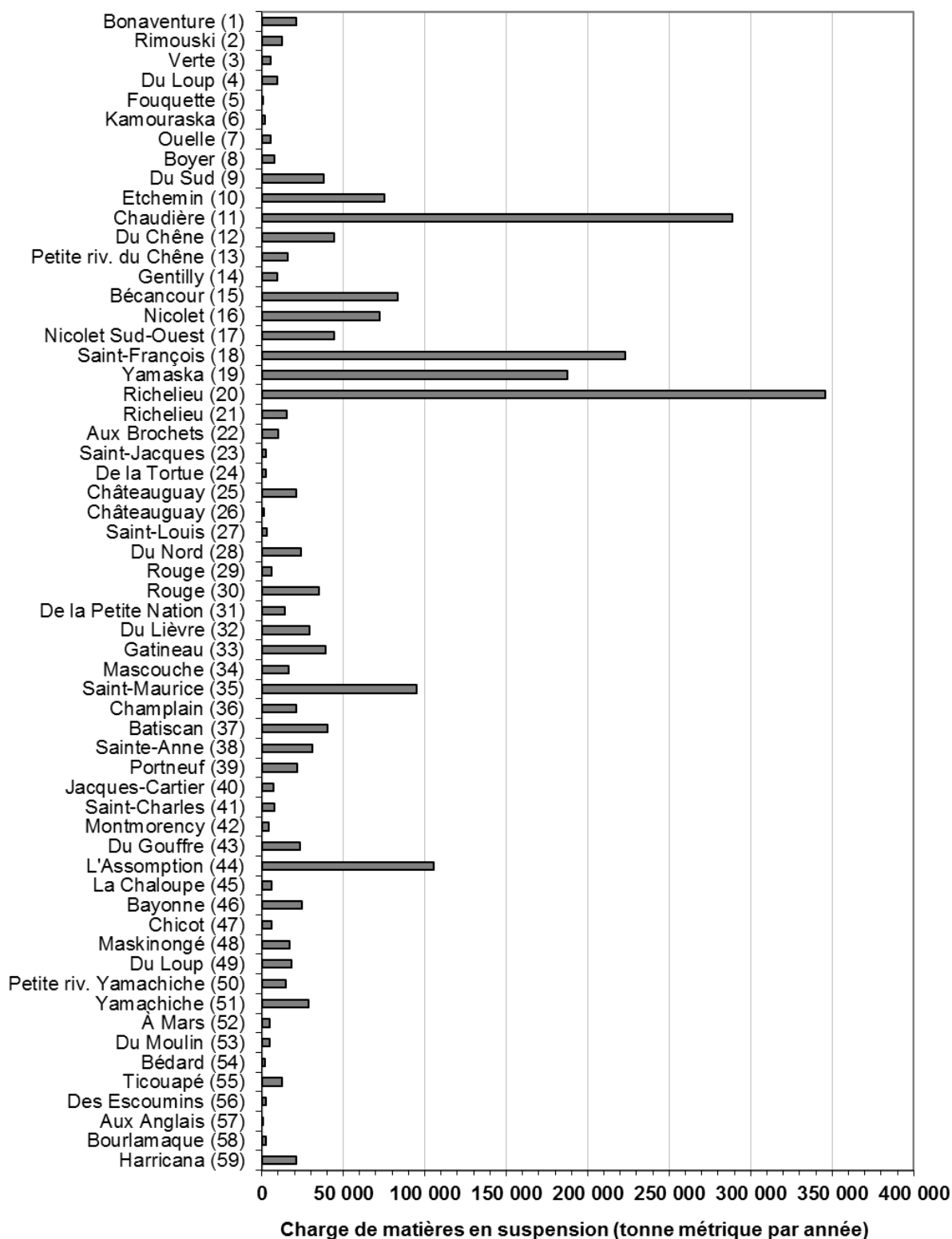


Figure 6 Charge moyenne de matières en suspension pour la période de 2009 à 2012

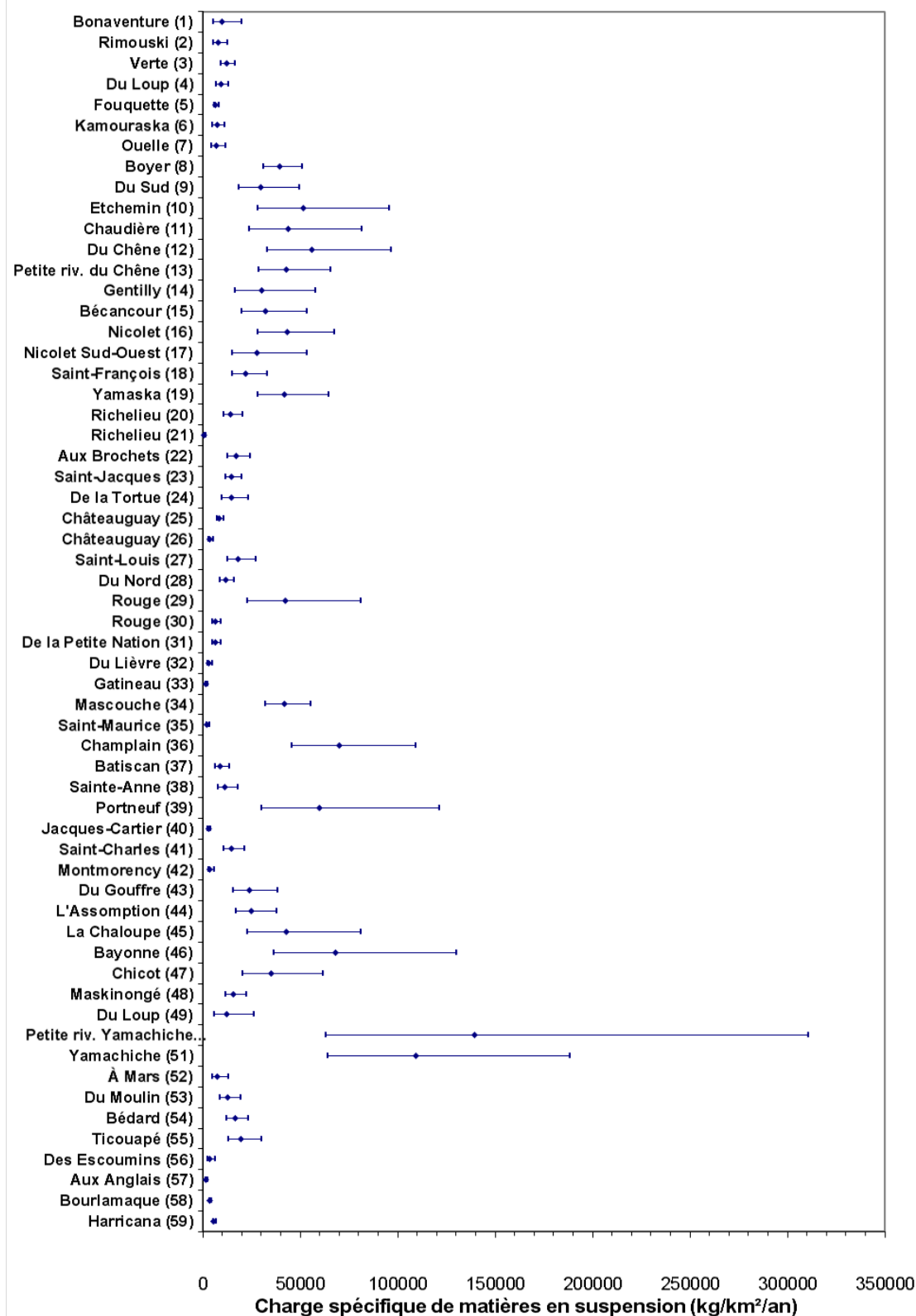


Figure 7 Charge spécifique de matières en suspension (moyenne annuelle pour la période de 2009 à 2012 et intervalle de confiance à 95 %)

2.1.4 Charge excédentaire de phosphore, d'azote et de matières en suspension

Une charge moyenne annuelle tolérable a été calculée par la multiplication du débit moyen annuel pour la période de 2009 à 2012 (annexe 2) par le critère de qualité de l'eau pour le phosphore et par une valeur repère pour l'azote et les MES, et ce, pour repérer les stations de qualité de l'eau présentant une charge excédentaire. Cette approche suppose une concentration égale au critère ou à la valeur repère chaque jour de l'année pour le calcul de la charge tolérable par station.

La charge de phosphore en rivière (annexe 3) excède la charge tolérable basée sur le critère de qualité de l'eau du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP, 2013) de 0,03 mg/l pour limiter la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques à 40 des 59 stations (68 % des stations). Il faut noter que ce seuil pour les rivières n'assure pas toujours la protection des lacs et des baies en aval. Par ailleurs, le respect du critère à l'embouchure des rivières n'assure pas nécessairement la protection de l'ensemble des sous-bassins versants en amont.

Pour l'azote total, en l'absence de critère de qualité de l'eau, le MDDELCC utilise une valeur repère de 1 mg/l. La charge tolérable calculée à l'aide de cette valeur est dépassée (annexe 4) à 25 stations (42 % des stations). Dans le cas des MES, en raison de la difficulté à déterminer la concentration naturelle pour l'application du critère de qualité de l'eau, le MDDELCC utilise à titre indicatif une valeur repère de 13 mg/l (MDDEP, 2012). La charge tolérable calculée à l'aide de cette valeur est dépassée (annexe 5) à 40 stations (68 % des stations).

À 24 des 59 stations (41 % des stations), les charges en rivière dépassent à la fois la charge tolérable pour le phosphore, l'azote total et les MES. Les charges excédentaires pour le phosphore, l'azote et les MES sont présentées à l'annexe 11 pour chacune des 43 stations où la charge tolérable est dépassée. Pour l'ensemble de ces stations, la charge excédentaire totalise annuellement plus de 1 400 tonnes de phosphore, 10 000 tonnes d'azote et plus de 1 million de tonnes de MES.

La charge excédentaire estimée dépend grandement des débits pour la période de 2009 à 2012, qui sert à calculer la charge véhiculée par les rivières et la charge tolérable. Ce débit n'a pas été comparé au débit historique à la station de qualité de l'eau, cette information n'étant pas disponible. Cependant, l'utilisation d'une période de quatre années pour déterminer le débit moyen annuel permet d'intégrer une bonne partie des variations interannuelles. Une année présentant des conditions hydrologiques extrêmes au cours de la période influencerait le débit moyen annuel et par conséquent l'estimation de la baisse de charge requise.

Les résultats présentés fournissent néanmoins aux gestionnaires de l'eau de l'information leur permettant de déterminer où les prochains efforts d'assainissement devraient être déployés. Dans le cas du phosphore, le bilan présenté dans la section suivante pourrait aider à estimer la baisse de charge requise par secteur d'activité pour atteindre une charge tolérable dans le cours d'eau en fonction de leur contribution relative. La prise en compte d'autres facteurs comme les coûts et le temps requis pour obtenir une réduction des apports des différentes sources pourrait aussi s'avérer utile. Ces cibles de réduction des charges pourraient être établies pour chaque bassin versant en fonction des milieux dans lesquels les rivières se déversent et des usages de l'eau à récupérer ou à protéger dans ces milieux ou près de l'embouchure des rivières. L'établissement de cibles de réduction par bassin versant n'assure pas nécessairement la protection des usages dans leurs sous-bassins versants, qui ne sont pas l'objet de la présente étude. Cependant, la planification de l'assainissement devrait se faire à toutes les échelles, y compris celle du sous-bassin versant.

Les actions à déployer pour atteindre les cibles à l'embouchure des rivières pourraient être réalisées en priorité dans les sous-bassins présentant des problèmes de contamination ou des usages à récupérer ou à protéger plus importants. La mise à jour des plans directeurs de l'eau élaborés par les OBV dans le cadre de la Politique nationale de l'eau constitue l'un des moyens pour établir des cibles de réduction de charges par étapes, par secteurs et à différentes échelles.

2.2 Contribution des différentes sources de phosphore

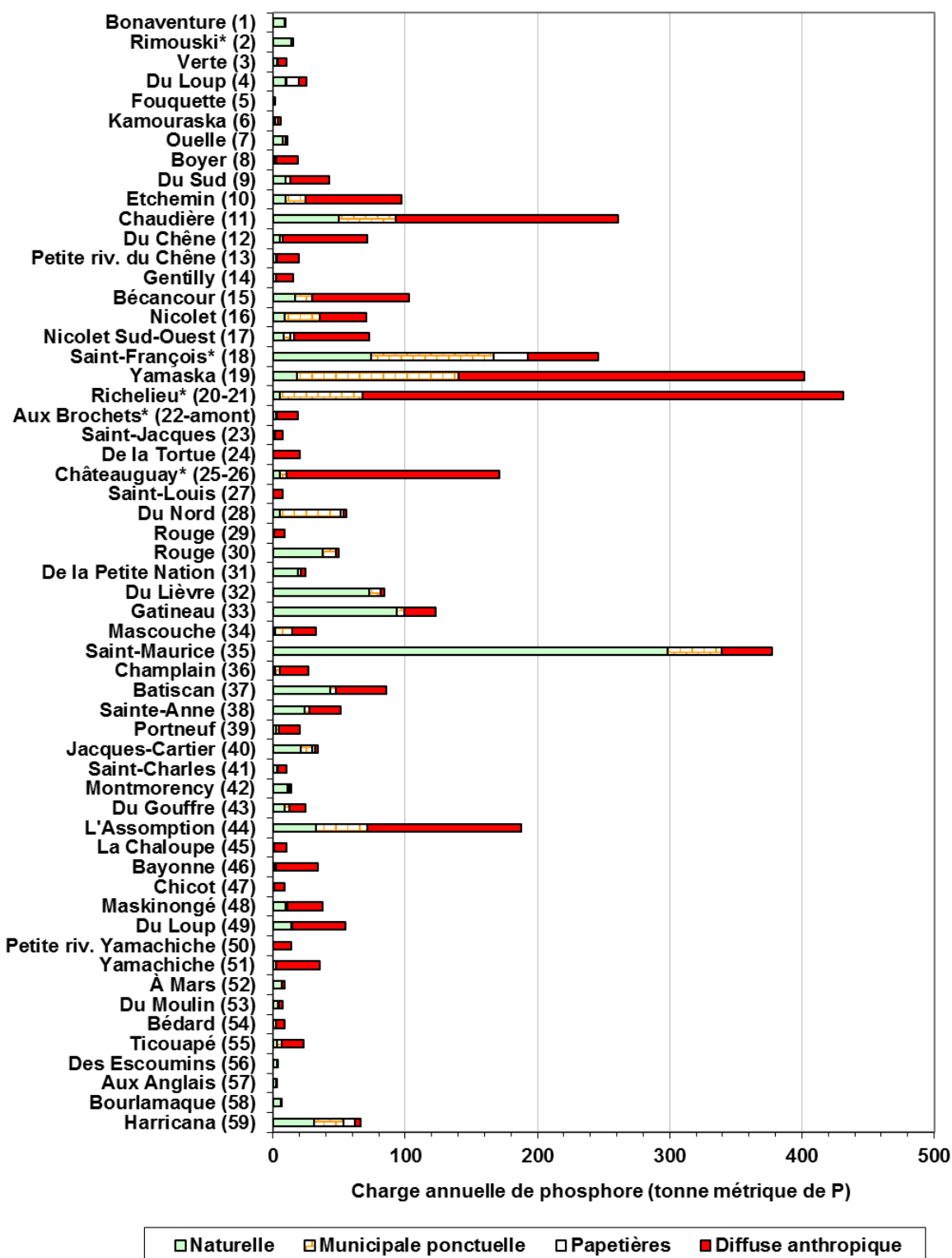
2.2.1 Bilan aux stations de qualité de l'eau

Selon le bassin versant, les sources naturelles de phosphore ont apporté annuellement aux cours d'eau jusqu'à 298 t, comparativement à 123 t, 26 t et 363 t en ce qui concerne respectivement les sources municipales ponctuelles, les papetières et les sources diffuses anthropiques (figure 8, annexe 6). La contribution relative des sources diffuses autres que d'origine naturelle prédomine à plus de la moitié des stations (figure 9), surtout dans les bassins versants drainant des rivières dont la concentration pondérée de phosphore dépasse 0,05 mg/l, alors que la contribution des sources naturelles prédomine lorsque la concentration pondérée est inférieure à 0,03 mg/l (figure 10).

Les sources agricoles peuvent contribuer à une large part des charges diffuses anthropiques de phosphore. Des études ont mesuré une quantité annuelle de phosphore exportée par ruissellement des parcelles cultivées pouvant dépasser 10 kg/ha (1 000 kg/km²) pour certaines cultures comme le maïs. Les pertes en provenance des cours d'exercice et des amas de fumier peuvent également représenter de 3 à 5 % des quantités entreposées (Larocque et autres, 2002). De plus, les charges annuelles de phosphore calculées à trois stations de qualité de l'eau drainant de petits bassins versants (de 15 à 100 km²) dont l'agriculture occupe entre le tiers et les deux tiers du territoire et ne comportant pas de rejets municipaux autres que des rejets de résidences isolées (non raccordées à un réseau d'égout), étaient de l'ordre de 1 kg/ha au début des années 2000 (de 0,8 à 1,5 kg/ha; résultats du MDDELCC non publiés pour les ruisseaux Morency et Runnels et la rivière Bras d'Henri). Michaud et autres (2009) ont également mesuré des charges moyennes annuelles de phosphore du même ordre pour deux ruisseaux drainant respectivement des territoires de 11 et 33 km² (Ewing : 1,3 kg/ha et aux Castors : 1,6 kg/ha) pour la période de 2001 à 2007. Ces valeurs, environ dix fois plus élevées que les taux d'exportation des milieux naturels présentés à l'annexe 6, montrent l'importance des apports de phosphore provenant des terres agricoles lorsqu'elles occupent un pourcentage non négligeable du territoire d'un bassin versant.

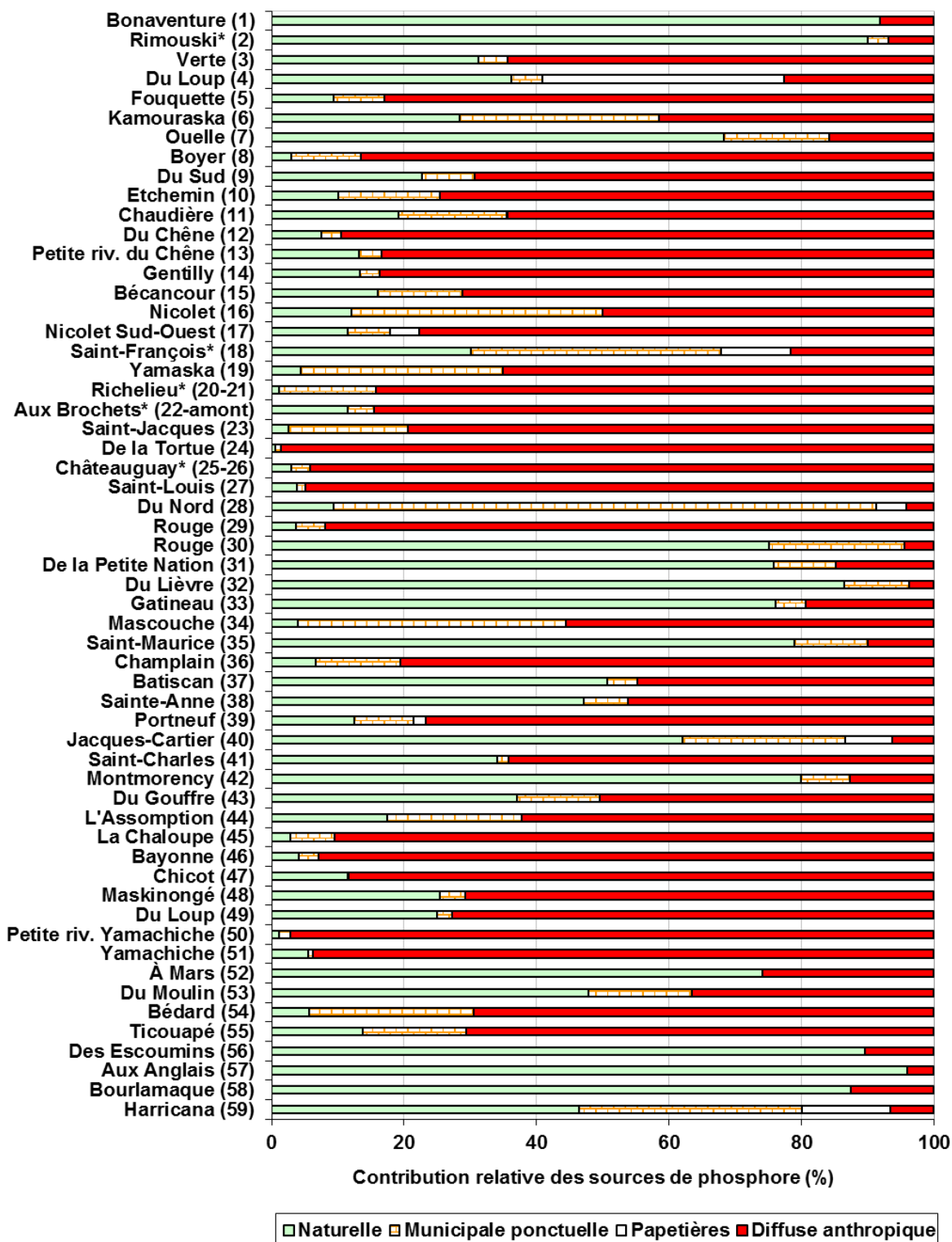
D'autres sources de phosphore contribuent aussi aux apports diffus anthropiques calculés, comme les rejets non traités des résidences isolées, les eaux de ruissellement urbain y compris celles provenant des raccordements d'égouts sanitaires au réseau pluvial, les rejets des industries du secteur agroalimentaire et des autres secteurs d'activité (sauf les papetières) non raccordées à un réseau d'égout municipal, les débordements en temps de pluie des réseaux d'égout municipaux et les eaux contaminées provenant des lieux d'enfouissement technique ou sanitaire. Une estimation de l'ordre de grandeur des charges de phosphore de ces autres sources (données non publiées) suggère qu'elles totalisent moins du quart des apports diffus anthropiques et moins de la moitié des apports totaux mesurés en rivière dans la majorité des bassins versants. Même si elles ne représentent pas une proportion prépondérante de ces apports diffus à l'échelle de ces bassins versants, ces autres sources de phosphore peuvent toutefois être problématiques dans certains de leurs sous-bassins.

L'influence majeure des sources agricoles de phosphore sur la qualité de l'eau dans la majorité des bassins versants est concordante avec le modèle présenté par Hébert et Blais (2017), qui montre que la variable « cultures annuelles » (cultures à grand interligne et à interligne étroit) explique 65 % de la variance des concentrations médianes de phosphore dans les rivières du Québec et qu'en considérant la variable « charges de phosphore provenant des cheptels », la variance expliquée atteint 79 %. Les autres variables significatives retenues dans le modèle ajoutent peu à la variance expliquée, soit 2 % pour les rejets des stations d'épuration et 3 % pour les dépôts glaciomarins argileux et sableux.



* NOTE : Les apports provenant de l'extérieur du Québec mesurés aux stations frontalières des rivières Richelieu, aux Brochets et Châteauguay ont été soustraits, alors que les apports des secteurs hors Québec des rivières Rimouski, Saint-François et aux Brochets dépourvus de station frontalière ont été estimés par source et inclus au bilan.

Figure 8 Charge des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau pour la période de 2009 à 2012



* NOTE : Les apports provenant de l'extérieur du Québec mesurés aux stations frontalières des rivières Richelieu, aux Brochets et Châteauguay ont été soustraits, alors que les apports des secteurs hors Québec des rivières Rimouski, Saint-François et aux Brochets dépourvus de station frontalière ont été estimés par source et inclus au bilan.

Figure 9 Contribution relative des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau pour la période de 2009 à 2012

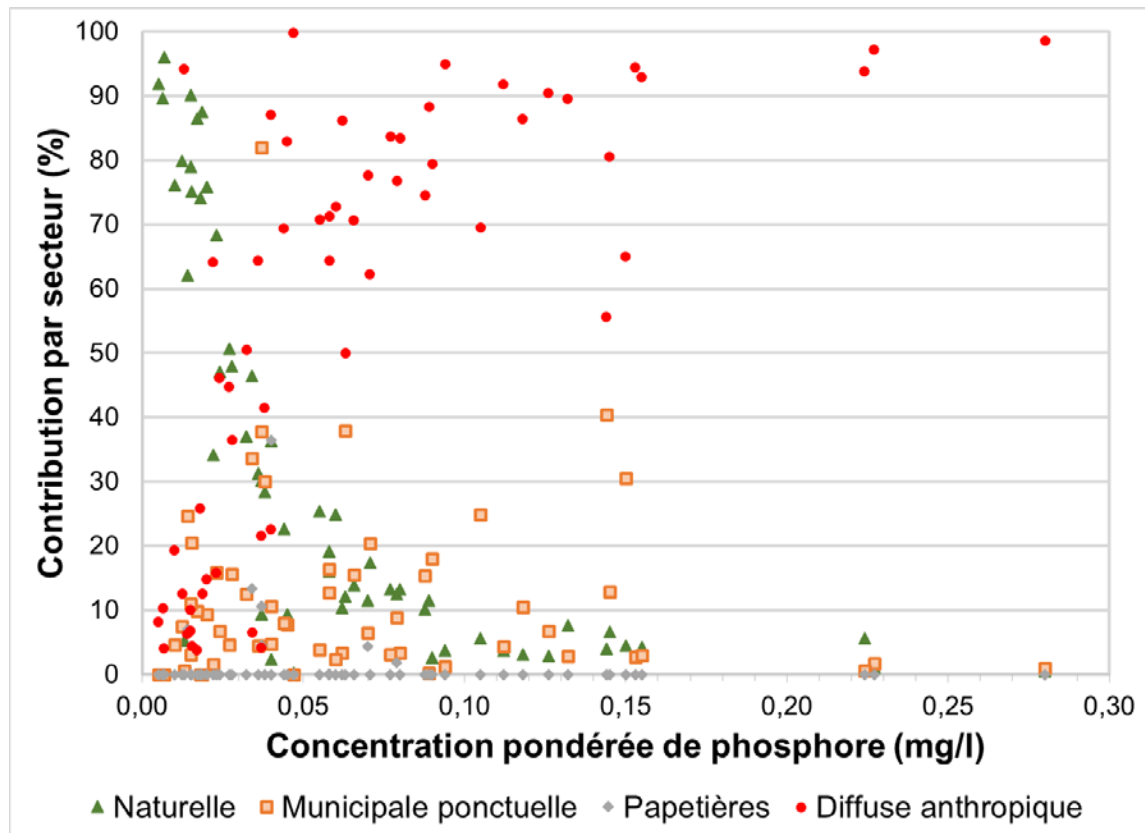


Figure 10 Contribution relative des différentes sources de phosphore dans les bassins versants drainés aux stations de qualité de l'eau selon la concentration pondérée de phosphore en rivière pour la période de 2009 à 2012

Un bilan par secteur d'activité n'a pu être réalisé pour l'azote total et les MES dans le cadre du présent rapport. Cependant, l'étude de Hébert et Blais (2017) suggère que les sources agricoles sont également une composante majeure dans le cas des apports d'azote total en rivière. La variable « proportion du bassin versant en culture » explique en effet 85 % de la variance des concentrations médianes d'azote total en rivière. En considérant la variable descriptive des cheptels (charge estimée en phosphore du cheptel par unité de superficie en amont des stations), la variance expliquée atteint 89 %. Les deux autres variables significatives retenues dans le modèle pour l'azote total ajoutent peu à la variance expliquée, soit 3 % pour la densité du réseau routier pavé, qui représente l'occupation humaine et les zones urbanisées, et 1 % pour les dépôts alluvionnaires deltaïques marins. Les données disponibles n'ont pas permis de développer un modèle performant pour les MES.

2.2.2 Bilan à l'embouchure des bassins versants

Globalement, les charges annuelles de phosphore estimées à l'embouchure des bassins versants pour la période de 2009 à 2012 s'élèvent 3 748 t. Les sources diffuses anthropiques représentent 55 % de cette charge, contre 27 % pour les charges naturelles, 17 % pour les charges ponctuelles du secteur municipal et 1 % pour les papetières (tableau 3).

Près des trois quarts de la charge diffuse anthropique et près des deux tiers des charges ponctuelles du secteur municipal et des papetières proviennent des 24 bassins versants situés au sud du fleuve Saint-Laurent, alors que la charge naturelle provient principalement des tributaires de la rive nord. Les sources diffuses anthropiques prédominent dans les tributaires de la baie Missisquoi, du lac Saint-Pierre et du lac

Saint-Jean, alors que les sources naturelles sont les plus importantes dans le tributaire de la baie des Chaleurs et celui de la baie James pour lesquels une charge de phosphore a été calculée. La charge totale des 37 tributaires se rejetant directement dans le fleuve Saint-Laurent provient principalement des sources diffuses anthropiques et des sources naturelles. La contribution des charges ponctuelles du secteur municipal et des papetières aux charges de phosphore demeure importante dans plusieurs bassins versants, notamment dans les 11 tributaires du lac Saint-Pierre, où elle totalise 349 t annuellement sur un total de 1 444 t pour l'ensemble des secteurs (tableau 3).

Tableau 3 Charges de phosphore par secteur pour la période de 2009 à 2012

Exutoire	Superficie	Bilan des charges 2009-2012 par secteur ^a								Charge	
	(km ²)	Naturelle		Municipale		Papetières		Diffuse		Totale	excédentaire ^b
		(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(t P/an)
Baie des Chaleurs (riv. Bonaventure)	2 383	9,3	92	0,1	1	0,0	0	0,8	7	10	0
Baie Missisquoi (riv. aux Brochets)	511	2,2	12	0,7	4	0,0	0	16	85	19	11
Lac Saint-Pierre ^c (11 bassins versants)	24 538	143	10	320	22	29	2	952	66	1 444	720
Lac Saint-Jean et Saguenay (4 bassins versants)	1 838	14	27	6,8	14	0,0	0	29	59	50	19
Fleuve Saint-Laurent (37 bassins versants)	126 382	822	37	322	15	15	1	1 059	48	2 218	722
Baie James (riv. Bourlamaque) ^d	703	5,9	85	0,0	0	0,0	0	1	15	7	0
Sud du fleuve (24 bassins versants)	44 595	266	12	426	19	39	2	1 501	67	2 232	1128
Nord du fleuve (31 bassins versants)	111 761	731	48	223	15	5	0	557	37	1 516	333
Total (55 bassins versants)	156 356	996	27	650	17	44	1	2 058	55	3 748	1 461

a : Le bilan par secteur a été réalisé à l'aide des charges projetées à l'embouchure des rivières. Les charges de phosphore de la partie du bassin versant drainée en amont de la station frontalière états-unienne de la rivière aux Brochets (2,3 t P/an) et de la rivière Châteauguay (10 t P/an) ne sont pas incluses dans le bilan par secteur.

b : La charge excédentaire de phosphore par rapport à la charge tolérable basée sur le seuil de 0,03 mg/l a été établie aux stations de qualité de l'eau, à partir des valeurs par station présentées à l'annexe 11.

c : N'inclut pas la charge de la partie du bassin versant drainée à la station 03040012, située à environ 5 km au nord de la frontière des États-Unis (174 t P/an), qui représente environ 12 % de la charge totale des 11 tributaires du lac Saint-Pierre pour lesquels des charges de phosphore ont été calculées.

d : N'inclut pas la partie du bassin versant en aval de la station de qualité d'eau (08010062).

La charge excédentaire de phosphore par rapport à la charge tolérable basée sur le seuil de 0,03 mg/l est particulièrement importante à l'ensemble des stations de qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Pierre. Elle est plus élevée aux stations situées au sud du fleuve Saint-Laurent (tableau 3).

Ces résultats montrent l'importance de poursuivre les efforts pour réduire les charges de phosphore, malgré la baisse des concentrations à plusieurs stations de qualité de l'eau au Québec (MDDEP, 2012) et la baisse de la charge de phosphore des principaux tributaires du lac Saint-Pierre au cours des 35 dernières années (Simoneau, en préparation). Ces efforts devraient inclure les différents secteurs d'activité tout en tenant compte des actions déjà réalisées.

CONCLUSION

Pour la période de 2009 à 2012, les charges annuelles calculées aux stations de qualité de l'eau près de l'embouchure des principales rivières du Québec méridional totalisent environ 3 800 tonnes de phosphore, 63 000 tonnes d'azote et un peu plus de 2 millions de tonnes de MES. Elles excèdent la charge tolérable basée sur le critère de qualité de l'eau de 0,03 mg/l pour le phosphore et sur la valeur repère de 13 mg/l pour les MES à 40 stations (68 % de l'ensemble des stations) ainsi que la charge tolérable basée sur la valeur repère de 1 mg/l pour l'azote total à 25 stations (42 % de l'ensemble des stations).

La charge totale de phosphore mesurée dans les principales rivières du Québec méridional provient, par ordre d'importance, des sources diffuses anthropiques qui sont majoritairement liées au secteur agricole, des sources naturelles, des sources ponctuelles municipales et des papetières. Dans les bassins versants où la concentration pondérée de phosphore dépasse 0,05 mg/l, les sources diffuses anthropiques représentent plus de la moitié de la charge totale et les sources municipales sont également importantes. Les sources naturelles prédominent dans les bassins versants présentant une concentration pondérée par le débit inférieure à 0,03 mg/l.

Les résultats obtenus montrent l'importance de poursuivre les efforts d'assainissement dans les secteurs agricole, municipal et industriel en vue de réduire davantage les apports de phosphore, d'azote et de matières en suspension dans les rivières du Québec. Ils fournissent aux gestionnaires de l'eau une information actualisée sur la charge de plusieurs bassins versants déversée dans le fleuve Saint-Laurent, le lac Saint-Pierre, le lac Saint-Jean, la baie des Chaleurs et la baie James. Cette information peut aider à établir les priorités d'action, dans le cadre de plans directeurs de l'eau notamment, et à déterminer ou à actualiser des objectifs de réduction des charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension par bassin versant et par secteur d'activité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERNIER, B. (2001). *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique*, chapitre 2, p. 2.3-2.4, [En ligne]. [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/index.htm>] (Consulté le 14 juillet 2015).

CENTER FOR PAPER BUSINESS AND INDUSTRY STUDIES (CPBIS) (2015). *Pulp Mills, Pulp & Paper Mills, Paper Mills in Vermont*, [En ligne]. [<https://cpbis.gatech.edu/data/mills-online>] (Consulté le 14 juillet 2015).

COMITÉ DE GESTION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS (COGESAF) (2006). *Analyse du bassin versant de la rivière Saint-François*, 255 p. [En ligne]. [http://www.cogesaf.qc.ca/wp-content/PDE/Analyse_web/Partie_1_analyse.pdf].

DENAULT, J.-T. et S. BÉLANGER-COMEAU (2014). *Suivi de la santé de l'écosystème aquatique des projets de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole. Bilan 2008 à 2012*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction des politiques agroenvironnementales, 16 p. et 5 annexes, [En ligne]. [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bilan-suivi-qualite-eau.pdf>].

GANGBAZO, G. (2011). *Guide pour l'élaboration d'un plan directeur de l'eau : un manuel pour assister les organismes de bassin versant du Québec dans la planification de la gestion intégrée des ressources en eau*, Québec, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 329 p. [En ligne]. [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/guide-elaboration-pde.pdf>].

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 annexes, [En ligne]. [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/reduction.pdf>].

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://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/capacite-phosphore.pdf>].

HÉBERT, S. ET D. BLAIS (2017). *Territoire et qualité de l'eau : développement de modèles prédictifs*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement et Direction de l'expertise sur la biodiversité, 30 p. [En ligne]. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/Rapport_Qualite_Territoire.pdf].

JACKSON, J.K. et S.G. FISHER (1986). "Secondary Production, Emergence, and Export of Aquatic Insects of a Sonoran Desert Stream", *Ecology*, vol. 67, n° 3, p. 629-638.

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 annexes, [disponible sur demande].

LAROCQUE, M., M. PATOINE, O. BANTON, A.N. ROUSSEAU et P. LAFRANCE (2002). « Quantification des pertes de phosphore en milieu agricole – Outil LoPhos », *Vecteur environnement*, vol. 35, n° 5, p. 47-56.

MICHAUD, A., J. DESJARDINS, M. GRENIER et R. LAUZIER (2009). *Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et aux Castors – Dans le cadre du projet Lisière verte*, rapport final, Québec, IRDA et AAC (PASCAA), 27 p.

MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE (MAMOT) (2014). *Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE)*, [En ligne]. [<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/infrastructures/suivi-des-ouvrages-dassainissement/>] (Consulté le 22 décembre 2016).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP) (2013). *Critères de qualité de l'eau de surface*, 3^e édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 510 p. et 16 annexes, [En ligne]. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf].

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP) (2015). *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDÉLCC) (2016). *Atlas interactif de la qualité des eaux de surface et des écosystèmes aquatiques*, [En ligne]. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_igbp.asp] (Consulté le 21 octobre 2016).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP) (2012). *Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 97 p., [En ligne]. [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/portrait/eaux-surface1999-2008/index.htm>] (Consulté le 22 décembre 2016).

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN) (2013). *Système d'information écoforestière (SIEF)*, [En ligne]. [<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=0e720434cf4e453bb48ff2818b37c6f3>] (Consulté le 22 décembre 2016).

SIMONEAU, M. (en préparation). *Qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Pierre : évolution temporelle 1979-2014 et portrait récent 2012-2014*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 54 p. et 13 annexes.

SMETLZER, E., F. DUNLAP et M. SIMONEAU (2009). *Lake Champlain Phosphorus Concentrations and Loading Rates, 1990-2008*, technical report n° 57, 41 p. [En ligne]. [http://www.lcbp.org/wp-content/uploads/2013/04/57_Phosphorus>Loading_1990-2008.pdf].

ST. CLAIR CONSERVATION (2008). *Thames-Sydenham and Region Watershed Characterization Report, St. Clair Region Source Protection Area*, vol. 2, décembre, 217 p. [En ligne]. [http://www.sourcewaterprotection.on.ca/wp-content/uploads/sp_plan3/SupDocs/WCR/SClair_Characterization_Report/StClair-Volume2.pdf].

STONE ENVIRONMENTAL INC. (2012). *Wastewater Evaluations for Franklin Village and Lake Carmi, Franklin, Vermont*, draft final report, Project ID 112514, 54 p. et 6 annexes, [En ligne]. [http://www.franklinvermont.com/Franklin_DraftFinal_Text_Appendices_2012.05.04.pdf].

TETRA TECH INC. (2014). *Lake Champlain Phosphorus Removal, Technologies and Cost for Point Source Phosphorus Removal*, final report, 14 janvier, 198 p. [En ligne]. [<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/lc-wastewater-treatment-facilities-feasibility-study.pdf>].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2004). *Orleans, VT Wastewater Treatment Facility Recognized for Excellence*, Newsroom, News Releases by Date, 9 février, [En ligne]. [<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/dc614f1d30c3fd66852572a000657b5a/5a9d49fc33ea1ece852570e5005db22b1OpenDocument>] (Consulté le 22 décembre 2016).

VERMONT AGENCY OF NATURAL RESOURCES (VANR) (2012). *Basin 17 Water Quality Management Plan*, Vermont Surface Water Management Strategy, Appendices, Appendix I, p. 42, [En ligne].
[http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/mapp/docs/mp_basin17finalappendix.pdf].

WALKER, W.W. (1996). *Simplified Procedures for Eutrophication Assessment and Prediction: User Manual*, rapport d'instruction W-96-2, mis à jour en avril 1999, Vicksburg, MS, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 239 p. [En ligne]. [http://www.walker.net/bathtub/Flux_Profile_Bathtub_DOS_1999.pdf].

WOODS, H.A., W.F. FAGAN, J.J. ESLER et J.F. HARRISON (2004). "Allometric and Phylogenetic Variation in Insect Phosphorus Content", *Functional Ecology*, vol. 18, p. 103-109.

ANNEXES

Annexe 1 Correction pour l'équivalence au persulfate de la somme des formes dissoutes et particulaires

Les concentrations de phosphore mesurées aux stations du Réseau-rivières avant le mois d'avril 2009 ont été ramenées à des valeurs équivalentes à celles mesurées à compter d'avril 2009, à l'aide de la relation suivante¹ :

$$\text{PTPER} = \exp(-0,841\ 552 + 0,400\ 77 \cdot \ln(\text{PTOT}) - 0,081\ 99 \cdot [\ln(\text{PTOT})]^2)$$

où

PTPER = concentration du phosphore total persulfate exprimée en mg/l;

PTOT = somme des concentrations des formes particulaires et dissoutes du phosphore, exprimée en mg/l.

La correction est applicable aux valeurs de PTOT inférieures à 0,36 mg/l. Dans le cas des valeurs de PTOT égales ou supérieures à cette valeur, aucune correction n'est appliquée.

Le PTPER a été analysé après une digestion au persulfate (MA 303 – P 5.0), alors que le PTOT a été obtenu par la somme des formes particulaires et dissoutes (filtre de 1,2 µm) analysées séparément (MA 303 – P 3.0).

¹ Relation établie par François D'Auteuil-Potvin, statisticien à la Direction du suivi de l'état de l'environnement, à partir des données mesurées simultanément aux stations du Réseau-rivières à l'aide des deux méthodes.

Annexe 2 Estimation des débits aux stations de qualité de l'eau

N°	Tributaire	Station BQMA	Superficie drainée à la station ^a (km ²)	Stations de débit ^b (nombre)	Éloignement ^b (km)	Débit moyen journalier ^c (m ³ /s)	(l/s/km ²)
1	Bonaventure	01080001	2 150	10	9,2	57	26
2	Rimouski	02200019	1 605	6	1,2	32	20
3	Verte	02240005	456	8	39	9,0	20
4	Du Loup	02250005	1 050	7	26	20	19
5	Fouquette	02E90001	70	7	49	1,4	20
6	Kamouraska	02260002	290	8	10	4,9	17
7	Ouelle	02270002	813	7	2,5	16	19
8	Boyer	02300001	204	7	5,7	5,1	25
9	Du Sud	02310004	1 273	7	11	31	25
10	Etchemin	02330001	1 469	7	14	35	24
11	Chaudière	02340033	6 621	6	18	143	22
12	Du Chêne	02360014	794	7	30	17	22
13	Petite riv. du Chêne	02370002	379	7	1,0	7,6	20
14	Gentilly	02390001	311	8	36	6,2	20
15	Bécancour	02400004	2 585	7	16	56	22
16	Nicolet	03010008	1 669	7	5,1	36	21
17	Nicolet Sud-Ouest	03010009	1 578	7	28	33	21
18	Saint-François	03020031	10 176	5	74	208	20
19	Yamaska	03030023	4 451	6	16	85	19
20	Richelieu	03040009	23 850	3	10	479	20
21	Richelieu	03040012	21 365	1 (3) ^d	3,9	429	20
22	Aux Brochets	03040015	590	6	3,1	11	19
23	Saint-Jacques	03060001	169	8	26	2,7	16
24	De la Tortue	03070015	155	8	19	2,3	15
25	Châteauguay	03090001	2 459	7	1,7	38	15
26	Châteauguay	03090005	424	6	18	7,1	17
27	Saint-Louis	03110003	163	8	39	2,6	16
28	Du Nord	04010002	2 081	5	42	48	23
29	Rouge	04010127	145	8	34	2,5	17
30	Rouge	04020001	5 555	5	1,9	102	18
31	De la Petite Nation	04040001	2 250	6	77	38	17
32	Du Lièvre	04060004	9 485	6	79	158	17
33	Gatineau	04080003	23 815	3	145	379	16
34	Mascouche	04640003	395	9	28	7,2	18
35	Saint-Maurice	05010007	42 882	2	119	800	19
36	Champlain	05020006	300	10	58	5,9	20
37	Batiscan	05030001	4 625	6	5,0	100	22
38	Sainte-Anne	05040007	2 712	7	26	68	25
39	Portneuf	05070012	361	7	2,9	8,1	22
40	Jacques-Cartier	05080105	2 470	6	29	76	31
41	Saint-Charles	05090017	530	6	39	14	27
42	Montmorency	05100014	1 146	6	2,3	36	31
43	Du Gouffre	05130016	993	8	37	24	24
44	L'Assomption	05220003	4 201	7	24	84	20
45	La Chaloupe	05230001	142	9	37	2,6	18
46	Bayonne	05240001	363	10	18	7,0	19
47	Chicot	05250002	165	10	26	3,2	20
48	Maskinongé	05260003	1 093	10	5,0	22	20
49	Du Loup	05280001	1 504	9	7,2	29	19
50	Petite riv. Yamachiche	05290001	107	11	51	1,9	18
51	Yamachiche	05300004	265	11	44	5,0	19
52	A Mars	06070006	670	8	40	15	23
53	Du Moulin	06090002	373	8	44	8,1	22
54	Bédard	06120001	128	7	44	2,6	20
55	Ticouapé	06200001	624	8	48	11	18
56	Des Escoumins	07020002	802	8	4,2	18	22
57	Aux Anglais	07120007	440	6	70	11	24
58	Bourlamaque	08010062	685	6	25	11	17
59	Harricana	08010063	3 768	4	2,0	62	16

a : Superficie drainée à la station de la qualité de l'eau (station BQMA).

b : Nombre de stations hydrométriques utilisées pour l'estimation des débits à la station de qualité de l'eau et éloignement moyen pondéré des centroïdes des bassins versants des stations de débit par rapport à la station de qualité de l'eau.

c : Débit moyen journalier pour la période de 2009 à 2012 calculé à l'aide du logiciel FLUX32 à partir des débits estimés à la station de la qualité de l'eau par le Centre d'expertise hydrique du Québec.

d : Une seule station a été retenue pour l'estimation des débits, sauf à quatre dates pour combler des données manquantes.

Annexe 3 Calcul des charges de phosphore aux stations de qualité de l'eau

Tributaire	Station BQMA	Période relation C/D ^a	n ^a	Stratification ^b (m ³ /s)	Charge ^c (t P/an)	IC95min ^c (t P/an)	IC95max ^c (t P/an)	CV ^c	Concentration pondérée (mg/l)
Bonaventure	01080001	2009-2012	39	28 et 113	9,3	6,1	14	0,21	0,005
Rimouski	02200019	2009-2012	48	Aucune	15	12	20	0,14	0,015
Verte	02240005	2009-2012	47	Aucune	10	7,6	14	0,15	0,036
Du Loup	02250005	2009-2012	47	10	25	20	32	0,12	0,040
Fouquette	02E90001	2009-2012	47	Hydrogramme	1,9	1,6	2,4	0,10	0,045
Kamouraska	02260002	2008-2012	57	2,0	5,9	4,1	8,4	0,18	0,038
Ouelle	02270002	2009-2012	46	15	11	8,0	16	0,17	0,023
Boyer	02300001	2009-2012	45	3,0	19	14	25	0,14	0,118
Du Sud	02310004	2009-2012	41	Aucune	43	29	63	0,19	0,044
Etchemin	02330001	2008-2012	58	15	97	65	145	0,20	0,088
Chaudière	02340033	2008-2012	53	30	261	179	382	0,19	0,058
Du Chêne	02360014	2009-2012	48	8 et 30	71	50	102	0,18	0,132
Petite riv. du Chêne	02370002	2005-2012	84	Saisons	19	15	25	0,12	0,080
Gentilly	02390001	2009-2012	45	Saisons	15	11	22	0,18	0,077
Bécancour	02400004	2008-2012	58	50	103	70	150	0,19	0,058
Nicolet	03010008	2009-2012	39	18	71	52	97	0,16	0,063
Nicolet Sud-Ouest	03010009	2009-2012	45	Saisons	73	58	92	0,11	0,070
Saint-François	03020031	2009-2012	46	Saisons	246	179	339	0,16	0,037
Yamaska	03030023	2005-2012	85	40	402	345	469	0,08	0,150
Richelieu	03040009	2009-2012	43	Saisons	605	448	816	0,15	0,040
Richelieu	03040012	2008-2012	53	Aucune	174	147	206	0,08	0,013
Aux Brochets	03040015	2009-2012	39	Aucune	22	16	29	0,15	0,062
Saint-Jacques	03060001	2009-2012	32	Saisons	7,6	6,0	10	0,12	0,090
De la Tortue	03070015	2009-2012	31	0,4	21	16	27	0,14	0,280
Châteauguay	03090001	2009-2012	48	Saisons	182	156	212	0,08	0,153
Châteauguay	03090005	2009-2012	48	Saisons	10	8,6	12	0,09	0,047
Saint-Louis	03110003	2009-2012	39	Saisons	7,7	5,8	10	0,14	0,094
Du Nord	04010002	2009-2012	47	Saisons	56	47	66	0,09	0,037
Rouge	04010127	2009-2012	39	Aucune	8,8	6,3	12	0,17	0,112
Rouge	04020001	2009-2012	41	Aucune	50	38	64	0,13	0,015
De la Petite Nation	04040001	2009-2012	43	Aucune	25	19	32	0,13	0,020
Du Lièvre	04060004	2009-2012	47	60	84	61	116	0,16	0,017
Gatineau	04080003	2009-2012	42	Aucune	123	107	142	0,07	0,010
Mascouche	04640003	2009-2012	45	4,3	33	27	39	0,09	0,144
Saint-Maurice	05010007	2009-2012	47	Aucune	377	269	530	0,17	0,015
Champlain	05020006	2009-2012	112	Saisons	27	17	43	0,23 (N = 49)	0,145
Batiscan	05030001	2009-2012	45	Aucune	86	59	125	0,19	0,027
Sainte-Anne	05040007	2009-2012	41	Aucune	51	38	69	0,15	0,024
Portneuf	05070012	2009-2012	46	Hydrogramme	20	13	30	0,20	0,079
Jacques-Cartier	05080105	2009-2012	48	Aucune	34	31	37	0,05	0,014
Saint-Charles	05090017	2009-2012	47	Aucune	10	7,8	13	0,12	0,022
Montmorency	05100014	2009-2012	31	Aucune	14	11	18	0,11	0,012
Du Gouffre	05130016	2009-2012	48	11	24	17	34	0,17	0,032
L'Assomption	05220003	2009-2012	46	Hydrogramme	188	146	241	0,13	0,071
La Chaloupe	05230001	2009-2012	103	2,6	11	7,6	14	0,16 (N = 68)	0,126
Bayonne	05240001	2005-2012	85	7,0	34	24	48	0,17	0,155
Chicot	05250002	2009-2012	86	1,7	9,1	5,4	15	0,26 (N = 44)	0,089
Maskinongé	05260003	2005-2012	93	11	38	26	55	0,19	0,055
Du Loup	05280001	2006-2012	79	13	55	30	100	0,30	0,060
Petite riv. Yamachiche	05290001	2008-2012	51	0,6	14	8,1	24	0,27	0,227
Yamachiche	05300004	2005-2012	78	Saisons	35	25	50	0,17	0,224
À Mars	06070006	2009-2012	41	Aucune	8,7	5,6	13	0,22	0,018
Du Moulin	06090002	2009-2012	38	Aucune	7,1	4,8	11	0,20	0,028
Bédard	06120001	2009-2012	37	Aucune	8,6	6,9	11	0,11	0,105
Ticouapé	06200001	2009-2012	46	Aucune	23	16	33	0,18	0,066
Des Escoumins	07020002	2009-2012	40	Saisons	3,5	2,4	5,2	0,19	0,006
Aux Anglais	07120007	2009-2012	45	Aucune	2,3	1,8	2,8	0,11	0,007
Bourlamaque	08010062	2009-2012	38	Saisons	6,7	5,8	7,8	0,07	0,019
Harricana	08010063	2009-2012	33	Saisons	66	56	78	0,08	0,034

a : Période et nombre de données (n) retenues pour établir la relation entre la concentration et le débit (C/D).

b : Stratification selon le débit (deux ou trois strates de débit délimitées aux valeurs indiquées), selon l'hydrogramme ou en trois saisons : de janvier à avril, de mai à août et de septembre à décembre.

c : Charge annuelle de phosphore total pour la période de 2009 à 2012 calculée à l'aide du logiciel FLUX32 (méthode 6) et bornes de l'intervalle de confiance à 95 % (IC95min – IC95max) calculé à l'aide du coefficient de variation (CV).

Annexe 4 Calcul des charges d'azote total aux stations de qualité de l'eau

Tributaire	Station	Période	n ^a	Stratification ^b	Charge ^c	IC95min ^c	IC95max ^c	CV ^c	Concentration
	BQMA	relation C/D ^a		(m ³ /s)	(t N/an)	(t N/an)	(t N/an)		pondérée (mg/l)
Bonaventure	01080001	2009-2012	40	Aucune	316	286	350	0,05	0,18
Rimouski	02200019	2009-2012	47	Saisons	405	339	484	0,09	0,40
Verte	02240005	2009-2012	47	Saisons	208	179	240	0,07	0,73
Du Loup	02250005	2009-2012	46	Aucune	358	304	423	0,08	0,56
Fouquette	02E90001	2009-2012	46	1,3	98	84	115	0,08	2,27
Kamouraska	02260002	2009-2012	45	Saisons	177	145	217	0,10	1,15
Ouelle	02270002	2009-2012	45	Saisons	207	182	236	0,07	0,43
Boyer	02300001	2009-2012	45	5,0	638	542	750	0,08	3,99
Du Sud	02310004	2009-2012	39	Saisons	765	597	981	0,12	0,78
Etchemin	02330001	2009-2012	47	Saisons	1 445	1 234	1 692	0,08	1,31
Chaudière	02340033	2009-2012	43	Saisons	3 322	2 917	3 783	0,07	0,73
Du Chêne	02360014	2009-2012	48	Aucune	681	567	819	0,09	1,26
Petite riv. du Chêne	02370002	2005-2012	84	Saisons	234	211	260	0,05	0,97
Gentilly	02390001	2009-2012	45	Saisons	206	180	236	0,07	1,05
Bécancour	02400004	2008-2012	58	Saisons	1 625	1 494	1 768	0,04	0,92
Nicolet	03010008	2009-2012	39	35,9	1 611	1 392	1 864	0,07	1,42
Nicolet Sud-Ouest	03010009	2009-2012	45	Saisons	1 457	1 222	1 737	0,09	1,39
Saint-François	03020031	2009-2012	46	Saisons	4 452	4 069	4 872	0,05	0,68
Yamaska	03030023	2005-2012	85	Saisons	7 028	6 086	8 117	0,07	2,62
Richelieu	03040009	2009-2012	43	479	10 045	8 681	11 624	0,07	0,67
Richelieu	03040012	2008-2012	53	Saisons	5 471	5 163	5 798	0,03	0,40
Aux Brochets	03040015	2009-2012	39	Saisons	674	520	874	0,13	1,91
Saint-Jacques	03060001	2009-2012	31	2,0	303	166	552	0,30	3,58
De la Tortue	03070015	2009-2012	31	2,8	391	252	606	0,22	5,32
Châteauguay	03090001	2009-2012	47	38	1 937	1 494	2 512	0,13	1,63
Châteauguay	03090005	2009-2012	47	Saisons	121	108	135	0,06	0,54
Saint-Louis	03110003	2009-2012	38	2,6	205	140	300	0,19	2,51
Du Nord	04010002	2009-2012	48	22	1 369	1 200	1 562	0,07	0,90
Rouge	04010127	2009-2012	39	2,5	268	199	362	0,15	3,40
Rouge	04020001	2009-2012	41	Saisons	993	913	1 080	0,04	0,31
De la Petite Nation	04040001	2009-2012	45	Saisons	437	410	465	0,03	0,36
Du Lièvre	04060004	2009-2012	47	Saisons	1 474	1 374	1 581	0,04	0,29
Gatineau	04080003	2009-2012	42	Saisons	1 086	1 009	1 170	0,04	0,09
Mascouche	04640003	2009-2012	45	Saisons	629	523	756	0,09	2,75
Saint-Maurice	05010007	2009-2012	47	Saisons	7 105	6 625	7 620	0,04	0,28
Champlain	05020006	2009-2012	47	Saisons	247	222	274	0,05	1,31
Batiscan	05030001	2009-2012	45	Saisons	1 144	1 008	1 297	0,06	0,36
Sainte-Anne	05040007	2005-2012	84	Saisons	931	840	1 030	0,05	0,43
Portneuf	05070012	2009-2012	46	Aucune	237	219	256	0,04	0,93
Jacques-Cartier	05080105	2009-2012	48	Aucune	907	777	1 058	0,08	0,38
Saint-Charles	05090017	2008-2012	58	Saisons	308	270	351	0,07	0,69
Montmorency	05100014	2009-2012	31	Aucune	254	234	276	0,04	0,23
Du Gouffre	05130016	2009-2012	48	Saisons	244	221	269	0,05	0,32
L'Assomption	05220003	2009-2012	46	Saisons	2 891	2 316	3 610	0,11	1,09
La Chaloupe	05230001	2009-2012	44	Aucune	408	362	459	0,06	4,91
Bayonne	05240001	2009-2012	43	Aucune	595	492	720	0,10	2,71
Chicot	05250002	2009-2012	44	Aucune	135	110	165	0,10	1,32
Maskinongé	05260003	2009-2012	46	Saisons	343	293	402	0,08	0,50
Du Loup	05280001	2009-2012	45	Aucune	458	353	594	0,13	0,50
Petite riv. Yamachiche	05290001	2009-2012	45	Aucune	296	243	361	0,10	4,85
Yamachiche	05300004	2009-2012	46	Aucune	189	172	207	0,05	1,20
À Mars	06070006	2009-2012	41	Aucune	122	108	137	0,06	0,25
Du Moulin	06090002	2009-2012	38	Saisons	112	104	121	0,04	0,44
Bédard	06120001	2009-2012	36	Saisons	163	127	210	0,13	1,99
Ticouapé	06200001	2009-2012	46	Saisons	429	383	479	0,06	1,23
Des Escoumins	07020002	2009-2012	42	Saisons	112	96	130	0,08	0,20
Aux Anglais	07120007	2009-2012	45	11	71	67	75	0,03	0,21
Bourlamaque	08010062	2009-2012	38	Saisons	197	184	211	0,03	0,55
Harricana	08010063	2009-2012	33	Saisons	1 024	951	1 103	0,04	0,53

a : Période et nombre de données (n) retenues pour établir la relation entre la concentration et le débit (C/D).

b : Stratification selon le débit (deux strates de débit délimitées à la valeur indiquée) ou en trois saisons : de janvier à avril, de mai à août et de septembre à décembre.

c : Charge annuelle d'azote total pour la période de 2009 à 2012 calculée à l'aide du logiciel FLUX32 (méthode 6) et bornes de l'intervalle de confiance à 95 % (IC95min – IC95max) calculé à l'aide du coefficient de variation (CV).

Annexe 5 Calcul des charges de matières en suspension aux stations de qualité de l'eau

Tributaire	Station BQMA	Période relation C/D ^a	n ^a	Stratification ^b (m ³ /s)	Charge ^c (t/an)	IC95min ^c (t/an)	IC95max ^c (t/an)	CV ^c	Concentration pondérée (mg/l)
Bonaventure	01080001	2007-2012	52	24 et 113	21 030	10 443	42 349	0,35	12
Rimouski	02200019	2007-2012	72	15 et 40	12 500	7 891	19 801	0,23	12
Verte	02240005	2007-2012	68	Aucune	5 501	4 075	7 426	0,15	19
Du Loup	02250005	2005-2012	94	Saisons (1-5-9)	9 704	6 907	13 634	0,17	15
Fouquette	02E90001	2007-2012	70	Saisons (1-5-9)	451	369	551	0,10	10
Kamouraska	02260002	2005-2012	92	3,0	2 095	1 377	3 189	0,21	14
Ouelle	02270002	2009-2012	46	15	5 570	3 311	9 368	0,26	11
Boyer	02300001	2007-2012	70	3,0	8 046	6 279	10 311	0,12	50
Du Sud	02310004	2005-2012	84	16 et 75	38 133	23 129	62 870	0,25	39
Etchemin	02330001	2007-2012	69	13	75 497	40 613	140 343	0,31	68
Chaudière	02340033	2007-2012	63	125 et 250	288 888	155 406	537 022	0,31	64
Du Chêne	02360014	2008-2012	60	7,0	44 622	26 003	76 572	0,27	82
Petite riv. du Chêne	02370002	2006-2012	83	Saisons (1-5-9)	16 206	10 648	24 665	0,21	67
Gentilly	02390001	2007-2012	68	Saisons (3-7-11)	9 470	4 993	17 960	0,32	48
Bécancour	02400004	2007-2012	70	15 et 50	83 403	50 586	137 508	0,25	47
Nicolet	03010008	2006-2012	67	13 et 58	72 101	46 435	111 951	0,22	64
Nicolet Sud-Ouest	03010009	2009-2012	45	5,0	44 235	23 325	83 891	0,32	42
Saint-François	03020031	2005-2012	90	100	222 864	149 390	332 474	0,20	34
Yamaska	03030023	2007-2012	63	Saisons (1-4-7-10)	187 306	123 069	285 073	0,21	70
Richelieu	03040009	2006-2012	77	Saisons (1-5-9)	345 526	250 903	475 834	0,16	23
Richelieu	03040012	2008-2012	53	Saisons (1-5-9)	15 483	11 938	20 080	0,13	1
Aux Brochets	03040015	2007-2012	61	Aucune	10 107	7 194	14 199	0,17	29
Saint-Jacques	03060001	2009-2012	32	Saisons (1-5-9)	2 523	1 946	3 273	0,13	30
De la Tortue	03070015	2008-2012	36	Saisons (2-6-10)	2 306	1 485	3 581	0,22	32
Châteauguay	03090001	2009-2012	48	Saisons (1-5-9)	21 162	17 326	25 848	0,10	18
Châteauguay	03090005	2007-2012	73	Saisons (2-5-8-11)	1 490	1 019	2 179	0,19	7
Saint-Louis	03110003	2009-2012	39	Saisons (1-5-9)	2 988	2 044	4 370	0,19	37
Du Nord	04010002	2007-2012	71	16 et 60	24 143	17 886	32 590	0,15	16
Rouge	04010127	2007-2012	47	Aucune	6 141	3 238	11 647	0,32	78
Rouge	04020001	2007-2012	57	51 et 195	35 406	25 710	48 758	0,16	11
De la Petite Nation	04040001	2008-2012	55	20	14 301	10 179	20 092	0,17	12
Du Lièvre	04060004	2008-2012	59	80 et 260	29 020	19 452	43 292	0,20	6
Gatineau	04080003	2009-2012	42	Aucune	39 471	31 676	49 184	0,11	3
Mascouche	04640003	2005-2012	92	4,2	16 468	12 446	21 790	0,14	73
Saint-Maurice	05010007	2007-2012	70	Aucune	94 931	63 634	141 621	0,20	4
Champlain	05020006	2008-2012	51	3,7	21 024	13 540	32 644	0,22	112
Batiscan	05030001	2005-2012	86	35	40 542	26 638	61 703	0,21	13
Sainte-Anne	05040007	2008-2012	51	26	30 877	19 886	47 942	0,22	14
Portneuf	05070012	2009-2012	46	4,2	21 643	10 748	43 584	0,35	86
Jacques-Cartier	05080105	2009-2012	48	30 et 100	7 223	5 682	9 182	0,12	3
Saint-Charles	05090017	2005-2012	89	Saisons (3-6-9-12)	7 756	5 411	11 116	0,18	17
Montmorency	05100014	2005-2012	61	Aucune	4 050	2 715	6 042	0,20	4
Du Gouffre	05130016	2006-2012	83	Saisons (1-4-7-10)	23 738	14 985	37 602	0,23	32
L'Assomption	05220003	2005-2012	94	Saisons (2-6-10)	105 640	70 812	157 596	0,20	40
La Chaloupe	05230001	2005-2012	82	0,9 et 2,8	6 071	3 201	11 513	0,32	73
Bayonne	05240001	2005-2012	85	4,0 et 14	24 816	13 085	47 064	0,32	113
Chicot	05250002	2008-2012	49	1,0 et 2,2	5 775	3 299	10 111	0,28	56
Maskinongé	05260003	2005-2012	93	6,0	17 208	12 248	24 176	0,17	25
Du Loup	05280001	2009-2012	45	Aucune	18 295	8 556	39 119	0,38	20
Petite riv. Yamachiche	05290001	2008-2012	51	1,6	14 913	6 701	33 190	0,40	244
Yamachiche	05300004	2007-2012	66	Saisons (1-5-9)	28 975	16 885	49 722	0,27	183
À Mars	06070006	2007-2012	65	Saisons (2-6)	4 991	2 908	8 564	0,27	10
Du Moulin	06090002	2005-2012	80	Saisons (2-6-10)	4 789	3 210	7 144	0,20	19
Bédard	06120001	2005-2012	81	Aucune	2 110	1 502	2 965	0,17	26
Ticouapé	06200001	2005-2012	94	3,4	12 194	8 012	18 559	0,21	35
Des Escoumins	07020002	2005-2012	74	Saisons (1-5-9)	2 792	1 660	4 697	0,26	5
Aux Anglais	07120007	2007-2012	68	6,0	636	472	859	0,15	2
Bourlamaque	08010062	2009-2012	38	Saisons (1-5-9)	2 322	1 974	2 730	0,08	6
Harricana	08010063	2005-2012	72	20 et 100	21 444	18 531	24 815	0,07	11

a : Période et nombre de données (n) retenues pour établir la relation entre la concentration et le débit (C/D).

b : Stratification selon le débit (deux ou trois strates de débit délimitées aux valeurs indiquées) ou en saisons délimitées aux mois indiqués entre parenthèses.

c : Charge annuelle de matières en suspension pour la période de 2009 à 2012 calculée à l'aide du logiciel FLUX32 (méthode 6) et bornes de l'intervalle de confiance à 95 % (IC95min – IC95max) calculé à l'aide du coefficient de variation (CV).

Annexe 6 Taux d'exportation du milieu naturel et bilan des sources de phosphore aux stations

Tableau A6.1 Stations au sud du fleuve Saint-Laurent

Tributaire	Station BQMA	Taux d'exportation spécifique naturel ^a (kg P/ha/an)	Bilan des charges 2009-2012 par secteur ^b				Totale (t P/an)
			Naturelle (t P/an)	Municipale ponctuelle (t P/an)	Papetières (t P/an)	Diffuse anthropique (t P/an)	
Bonaventure	01080001	0,04	8,6	0,0	0,0	0,8	9,3
Rimouski ^c	02200019	0,09	14	0,5	0,0	1,0	15
Verte	02240005	0,10	3,2	0,5	0,0	6,6	10
Du Loup	02250005	0,10	9,2	1,2	9,3	5,8	25
Fouquette	02E90001	0,10	0,2	0,2	0,0	1,6	1,9
Kamouraska	02260002	0,10	1,7	1,8	0,0	2,4	5,9
Ouelle	02270002	0,10	7,7	1,8	0,0	1,8	11
Boyer	02300001	0,10	0,6	2,0	0,0	16	19
Du Sud	02310004	0,10	9,7	3,4	0,0	30	43
Etchemin	02330001	0,10	9,8	15	0,0	72	97
Chaudière	02340033	0,10	50	43	0,4	168	261
Du Chêne	02360014	0,10	5,4	2,0	0,0	64	71
Petite riv. du Chêne	02370002	0,10	2,6	0,6	0,0	16	19
Gentilly	02390001	0,10	2,0	0,5	0,0	13	15
Bécancour	02400004	0,10	16	13	0,0	73	103
Nicolet	03010008	0,10	8,6	27	0,0	35	71
Nicolet Sud-Ouest	03010009	0,10	8,4	4,7	3,2	57	73
Saint-François ^c	03020031	0,10	74	93	26	53	246
Yamaska	03030023	0,10	18	123	0,0	262	402
Richelieu ^c	03040009	0,10	14	64	0,0	527	605
Richelieu ^c	03040012	0,10	9,1	1,1	0,0	164	174
Aux Brochets ^c	03040015	0,10	2,3	0,7	0,0	19	22
Saint-Jacques	03060001	0,10	0,2	1,4	0,0	6,1	7,6
De la Tortue	03070015	0,10	0,1	0,2	0,0	20	21
Châteauguay ^c	03090001	0,10	5,1	4,9	0,0	172	182
Châteauguay ^c	03090005	0,10	0,0	0,0	0,0	10	10
Saint-Louis	03110003	0,10	0,3	0,1	0,0	7,3	7,7

a : Les taux d'exportation de phosphore du secteur naturel sont exprimés par rapport aux superficies naturelles présentées au tableau 1.

b : La charge du secteur naturel inclut les forêts, les coupes et régénérations, les milieux humides, les milieux aquatiques ainsi que les sols nus et landes. Celle du secteur municipal inclut les charges provenant des stations d'épuration (rejets à l'effluent) ainsi que celles des réseaux d'égout sans traitement pour lesquels les données sur la population raccordée ne sont pas incluses dans SYGIRS. Celle des papetières inclut les charges à l'effluent de leur station d'épuration (hors réseau municipal). La charge diffuse anthropique, obtenue par la différence entre la charge totale mesurée en rivière et les apports des secteurs naturel, municipal et des papetières, inclut les apports des surfaces anthropisées autres qu'agricoles (zones développées, parcs, golfs, routes, aéroports, carrières et gravières, mines, dépotoirs, zones industrielles et commerciales, lignes de transport d'énergie, etc.), dont notamment les rejets provenant des résidences isolées, du ruissellement urbain, des débordements des réseaux d'égout en temps de pluie, des lieux d'enfouissement et des industries hors réseau ainsi que les apports des activités agricoles (entreposage non étanche des déjections animales, rejets d'eaux de laiterie de ferme, perte des champs en culture, etc.). Cette charge est toutefois sous-estimée dans les cas où la quantité de phosphore retenue par les lacs ou exportée du milieu aquatique par les organismes vivants (insectes, poissons consommés par les prédateurs ou pêchés, etc.) n'est pas entièrement compensée par l'ajustement à la baisse (sous 0,10 kg P/ha/an) du taux d'exportation du secteur naturel ainsi que dans les bassins versants où la rétention des lacs peut être importante et pour lesquels le taux d'exportation naturel n'a pas été ajusté à la baisse (rivière Saint-François).

c : Le diffus anthropique inclut les sources naturelles et ponctuelles (municipales et papetières) hors Québec pour les rivières Richelieu, aux Brochets et Châteauguay.

Annexe 6 Taux d'exportation du milieu naturel et bilan des sources de phosphore aux stations (suite)

Tableau A6.2 Stations au nord du fleuve Saint-Laurent

Tributaire	Station BQMA	Taux d'exportation spécifique naturel ^a	Bilan des charges 2009-2012 par secteur ^b				Totale
		(kg P/ha/an)	Naturelle (t P/an)	Municipale ponctuelle (t P/an)	Papetières (t P/an)	Diffuse anthropique (t P/an)	
Du Nord	04010002	0,03	5,2	46	2,5	2,3	56
Rouge	04010127	0,10	0,3	0,4	0,0	8,1	8,8
Rouge	04020001	0,07	37	10	0,0	2,2	50
De la Petite Nation	04040001	0,09	19	2,3	0,0	3,6	25
Du Lièvre	04060004	0,08	73	8,3	0,0	3,2	84
Gatineau	04080003	0,04	93	5,7	0,0	24	123
Mascouche	04640003	0,10	1,3	13	0,0	18	33
Saint-Maurice	05010007	0,07	298	42	0,0	38	377
Champlain	05020006	0,10	1,8	3,5	0,0	22	27
Batiscan	05030001	0,10	43	4,0	0,0	38	86
Sainte-Anne	05040007	0,10	24	3,5	0,0	24	51
Portneuf	05070012	0,10	2,5	1,8	0,4	15	20
Jacques-Cartier	05080105	0,09	21	8,4	2,4	2,1	34
Saint-Charles	05090017	0,10	3,4	0,2	0,0	6,3	9,9
Montmorency	05100014	0,10	11	1,0	0,0	1,8	14
Du Gouffre	05130016	0,10	9,0	3,0	0,0	12	24
L'Assomption	05220003	0,10	33	38	0,0	117	188
La Chaloupe	05230001	0,10	0,3	0,7	0,0	9,5	11
Bayonne	05240001	0,10	1,4	1,0	0,0	32	34
Chicot	05250002	0,10	1,0	0,0	0,0	8,0	9,1
Maskinongé	05260003	0,10	9,6	1,4	0,0	27	38
Du Loup	05280001	0,10	14	1,3	0,0	40	55
Petite riv. Yamachiche	05290001	0,10	0,2	0,2	0,0	13	14
Yamachiche	05300004	0,10	2,0	0,2	0,0	33	35
À Mars	06070006	0,10	6,4	0,0	0,0	2,2	8,7
Du Moulin	06090002	0,10	3,4	1,1	0,0	2,6	7,1
Bédard	06120001	0,10	0,5	2,1	0,0	6,0	8,6
Ticouapé	06200001	0,10	3,2	3,6	0,0	16	23
Des Escoumins	07020002	0,04	3,2	0,0	0,0	0,4	3,5
Aux Anglais	07120007	0,05	2,2	0,0	0,0	0,1	2,3
Bourlamaque	08010062	0,09	5,9	0,0	0,0	0,8	6,7
Harricana	08010063	0,09	31	22	8,9	4,4	66

a : Les taux d'exportation de phosphore du secteur naturel sont exprimés par rapport aux superficies naturelles présentées au tableau 1.

b : La charge du secteur naturel inclut les forêts, les coupes et régénérations, les milieux humides, les milieux aquatiques ainsi que les sols nus et landes. Celle du secteur municipal inclut les charges provenant des stations d'épuration (rejets à l'effluent) ainsi que celles des réseaux d'égout sans traitement pour lesquels les données sur la population raccordée ne sont pas incluses dans SYGIRS. Celle des papetières inclut les charges à l'effluent de leur station d'épuration (hors réseau municipal). La charge diffuse anthropique, obtenue par la différence entre la charge totale mesurée en rivière et les apports des secteurs naturel, municipal et des papetières, inclut les apports des surfaces anthropisées autres qu'agricole (zones développées, parcs, golfs, routes, aéroports, carrières et gravières, mines, dépotoirs, zones industrielles et commerciales, lignes de transport d'énergie, etc.), dont notamment les rejets provenant des résidences isolées, du ruissellement urbain, des débordements des réseaux d'égout en temps de pluie, des lieux d'enfouissement et des industries hors réseau ainsi que les apports des activités agricoles (entreposage non étanche des déjections animales, rejets d'eaux de laiterie de ferme, perte des champs en culture, etc.). Cette charge est toutefois sous-estimée dans les cas où la quantité de phosphore retenue par les lacs ou exportée du milieu aquatique par les organismes vivants (insectes, poissons consommés par les prédateurs ou pêchés, etc.) n'est pas entièrement compensée par l'ajustement à la baisse (sous 0,10 kg P/ha/an) du taux d'exportation du secteur naturel ainsi que dans les bassins versants où la rétention des lacs peut être importante et pour lesquels le taux d'exportation naturel n'a pas été ajusté à la baisse (rivières Batiscan et Sainte-Anne).

Annexe 7 Estimation de la charge naturelle et ponctuelle de phosphore dans la partie québécoise du bassin versant de la rivière aux Brochets

Une station (numéro de BQMA 03040111) située près de la frontière, qui draine une superficie de 17 km² au Québec et de 81 km² aux États-Unis, dans le secteur du lac Carmi, a permis de calculer la charge de cette partie en amont de la rivière aux Brochets (voir tableau suivant).

Station BQMA	Période relation C/D ^a	n ^a	Stratification ^b (m ³ /s)	Charge ^c (kg P/an)	IC95min ^c (kg P/an)	IC95max ^c (kg P/an)	CV ^c	Concentration pondérée (mg/l)
03040111	2009-2012	43	Une strate	2 252	1 891	3 445	0,15	0,062

a : Période et nombre de données (n) retenues pour établir la relation entre la concentration et le débit (C/D).

b : Stratification pour le calcul de la charge selon le débit.

c : Charge annuelle moyenne pour la période de 2009 à 2012 calculée à l'aide du logiciel FLUX32 (méthode 6) et bornes de l'intervalle de confiance à 95 % (IC95min – IC95max) calculé à l'aide du coefficient de variation (CV).

NOTE : La première donnée recueillie pour chaque mois à la station 03040111 de la BQMA et les débits moyens journaliers estimés par le Centre d'expertise hydrique du Québec à cette station ont servi à calculer la charge moyenne annuelle de phosphore.

En aval de la station située près de la frontière, la rivière aux Brochets draine aussi une superficie de 23 km² aux États-Unis, à l'ouest du lac Carmi. Le milieu naturel (forêt) occupe environ 45 % de ce territoire (Google Earth, version 6.2.2.6613 pour Windows, de Google inc. 2012). La charge naturelle de phosphore peut y être estimée à 100 kg P/an, en considérant un apport annuel du milieu forestier de 0,1 kg P/ha. La seule localité présente sur ce territoire (Franklin) ne comporte pas de station de traitement des eaux usées (Stone Environmental inc., 2012). La charge de phosphore provenant des industries papetières est considérée comme nulle puisque le CPBIS (2015) indique qu'il n'y a aucune industrie papetière dans cette partie états-unienne du bassin versant de la rivière aux Brochets.

Le bilan des sources de contamination de la rivière aux Brochets peut donc être estimé pour la partie québécoise du bassin versant en soustrayant de la charge calculée près de l'embouchure de la rivière aux Brochets (21,8 t P/an) la charge calculée à la station située près de la frontière des États-Unis (2,3 t P/an). Ce bilan inclut la charge naturelle (0,1 t P/an) et la charge diffuse anthropique de la partie états-unienne du bassin versant située à l'ouest du lac Carmi.

Annexe 8 Estimation de la charge naturelle et ponctuelle de phosphore dans la partie états-unienne du bassin versant de la rivière Saint-François

La charge de phosphore de source naturelle a été estimée, pour la partie du bassin versant de la rivière Saint-François située aux États-Unis, en fonction de 67 % de superficie en milieu naturel (forêt) (COGESAF, 2006). Le détail du calcul est présenté ci-dessous :

$$\text{Charge naturelle (kg P/an)} = \text{superficie totale É.-U.} \times 67 \% \times 0,1 \text{ kg/ha/an} \times 100 \text{ ha/km}^2$$

où

Superficie totale É.-U. (km²) = superficie totale de la partie du bassin versant située aux États-Unis, obtenue par la différence entre la superficie totale du bassin versant de la rivière Saint-François selon l'atlas SYGIRS (10 228 km²) et la superficie au Canada (8 656 km²).

La charge de phosphore rejetée par les six municipalités desservies par un système de traitement des eaux usées situées dans la partie états-unienne du bassin versant de la rivière Saint-François a été estimée par la multiplication du débit moyen annuel rejeté par chaque station d'épuration (COGESAF, 2006) par la concentration de phosphore estimée à l'effluent. Le détail du calcul est présenté ci-dessous :

$$\text{Charge municipale (kg P/an)} = \text{débit annuel moyen} \times \text{concentration du rejet} \times 10^{-6} \text{ kg/mg} \times 365 \text{ j/an}$$

où

Débit annuel moyen (l/j) = débit moyen annuel à l'effluent de la station de traitement des eaux usées municipales selon COGESAF (2006);

Concentration du rejet (mg/l) = concentration de phosphore à l'effluent de la station de traitement des eaux usées municipales (voir tableau suivant).

Station de traitement des eaux usées	Débit annuel moyen (l/j) (COGESAF, 2006)	Concentration limite permise du rejet (mg P/l)	Concentration du rejet retenue pour le calcul de la charge (mg P/l)	Charge annuelle (kg/an P)
Newport City	3 440 625	0,8 (VANR, 2012)	0,8	1 005
Orleans	386 426	1,0 (VANR, 2012)	0,4 (EPA, 2004)	56
Barton Village	662 132	1,0 (VANR, 2012)	1,0	227
Glover	9 554		3,5 (Tetra Tech inc., 2014)	12
Brighton	312 928	Aucune (VANR, 2012)	3,5 (Tetra Tech inc., 2014)	400
Newport Town	40 674		3,5 (Tetra Tech inc., 2014)	52
Charge totale annuelle rejetée par les stations d'épuration municipales états-uniennes				1 752

La charge de phosphore provenant des industries papetières a été considérée comme nulle puisque le CPBIS (2015) indique qu'il n'y a aucune industrie papetière dans la partie états-unienne du bassin versant de la rivière Saint-François.

Annexe 9 Bilan des sources de phosphore en aval des stations

Tributaire	Station BQMA	Bilan des charges 2009-2012 par secteur (t P/an)				Contribution de l'aval (%)
		Naturelle	Municipale ponctuelle	Papetières	Diffuse anthropique	
Bonaventure	01080001	0,8	0,1	0,0	0,0	8,5
Rimouski	02200019	0,1	0,0	0,0	1,7	10
Verte	02240005	0,1	0,0	0,0	0,7	7,4
Du Loup	02250005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fouquette	02E90001	0,0	0,0	0,0	0,1	7,5
Kamouraska	02260002	0,0	0,1	0,0	0,2	5,0
Ouelle	02270002	0,0	0,5	0,0	0,7	9,6
Boyer	02300001	0,0	0,0	0,0	0,3	1,8
Du Sud	02310004	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
Etchemin	02330001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chaudière	02340033	0,3	2,1	0,0	5,8	3,0
Du Chêne	02360014	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5
Petite riv. du Chêne	02370002	0,3	0,6	0,0	9,6	35
Gentilly	02390001	0,0	0,0	0,0	0,4	2,4
Bécancour	02400004	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
Nicolet	03010008	0,1	0,1	0,0	2,9	4,2
Nicolet Sud-Ouest	03010009	0,4	0,3	0,0	3,1	4,9
Saint-François	03020031	0,1	1,4	0,0	1,4	1,1
Yamaska	03030023	0,5	0,3	0,0	6,4	1,8
Richelieu	03040009	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Richelieu	03040012	--	--	--	--	--
Aux Brochets	03040015	0,0	0,0	0,0	0,6	2,7
Saint-Jacques	03060001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
De la Tortue	03070015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Châteauguay	03090001	0,1	19	0,0	10	14
Châteauguay	03090005	--	--	--	--	--
Saint-Louis	03110003	0,0	0,0	0,0	3,2	29
Du Nord	04010002	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3
Rouge	04010127	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rouge	04020001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De la Petite Nation	04040001	0,0	0,3	0,0	0,0	1,3
Du Lièvre	04060004	0,0	6,4	0,0	0,2	7,3
Gatineau	04080003	0,2	0,0	0,0	0,3	0,5
Mascouche	04640003	0,0	0,0	0,0	0,9	2,8
Saint-Maurice	05010007	0,1	0,0	0,0	1,3	0,4
Champlain	05020006	0,0	0,0	0,0	1,4	5,1
Batiscan	05030001	0,3	0,0	0,0	7,8	8,6
Sainte-Anne	05040007	0,0	0,0	0,0	1,1	2,1
Portneuf	05070012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Jacques-Cartier	05080105	0,1	0,0	0,0	4,1	11
Saint-Charles	05090017	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5
Montmorency	05100014	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6
Du Gouffre	05130016	0,1	0,0	0,0	0,2	1,0
L'Assomption	05220003	0,0	11	0,0	2,6	6,8
La Chaloupe	05230001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bayonne	05240001	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Chicot	05250002	0,0	0,0	0,0	1,5	14
Maskinongé	05260003	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7
Du Loup	05280001	0,0	2,6	0,0	3,3	9,8
Petite riv. Yamachiche	05290001	0,0	0,5	0,0	0,4	6,0
Yamachiche	05300004	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
À Mars	06070006	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8
Du Moulin	06090002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Bédard	06120001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ticouapé	06200001	0,1	0,0	0,0	2,1	9,0
Des Escoumins	07020002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Aux Anglais	07120007	0,0	0,0	0,0	0,2	8,7
Bourlamaque	08010062	0,1	0,0	0,0	0,2	4,6
Harricana	08010063	--	--	--	--	--

Annexe 10 Bilan des sources de phosphore des bassins versants

Exutoire	Bassin versant	Superficie	Bilan des charges 2009-2012 par secteur								Totale
			Naturelle	Municipale ponctuelle		Papetières		Diffuse anthropique			
		(km ²)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)
Baie des Chaleurs	Bonaventure	2 383	9,3	92	0,1	1	0,0	0	0,8	7	10
Fleuve Saint-Laurent	Rimouski ^a	1 628	14	81	0,5	3	0,0	0	2,7	16	17
	Verte	512	3,3	30	0,5	4	0,0	0	7,3	66	11
	Du Loup	1 050	9,2	36	1,2	5	9,3	36	5,8	23	25
	Fouquette	75	0,2	9	0,2	7	0,0	0	1,8	84	2,1
	Kamouraska	296	1,7	27	1,9	31	0,0	0	2,6	42	6,2
	Ouelle	848	7,7	62	2,3	18	0,0	0	2,4	20	12
	Boyer	213	0,6	3	2,0	10	0,0	0	17	87	19
	Du Sud	1 275	9,7	23	3,4	8	0,0	0	30	69	43
	Etchemin	1 469	9,8	10	15	15	0,0	0	72	75	97
	Chaudière	6 692	50	19	45	17	0,4	0	174	65	269
	Du Chêne	800	5,4	8	2,0	3	0,0	0	64	90	72
	Petite riv. du Chêne	447	2,9	10	1,2	4	0,0	0	26	86	30
	Gentilly	315	2,0	13	0,5	3	0,0	0	13	84	15
	Bécancour	2 591	16,5	16	13	13	0,0	0	74	71	103
Lac Saint-Pierre	Nicolet	3 401	17	12	32	21	3,2	2	98	65	151
	Saint-François ^a	10 203	74	30	94	38	26	10	54	22	249
	Yamaska	4 771	18	4	123	30	0,0	0	268	65	409
	Richelieu ^b	2 488	5,1	1	63	15	0,0	0	363	84	431
Baie Missisquoi	Aux Brochets ^c	511	2,2	12	0,7	4	0,0	0	16	85	19
Fleuve Saint-Laurent	Saint-Jacques	170	0,2	3	1,4	18	0,0	0	6,1	80	7,7
	De la Tortue	155	0,1	1	0,2	1	0,0	0	20	99	21
	Châteauguay ^b	2 115	5,2	3	24	12	0,0	0	171	86	200
	Saint-Louis	186	0,3	3	0,1	1	0,0	0	10	96	11
	Du Nord	2 085	5,2	9	46	82	2,5	4	2,5	4	56
	Rouge	145	0,3	4	0,4	4	0,0	0	8,1	92	8,8
	Rouge	5 555	37	75	10	20	0,0	0	2,2	4	50
	De la Petite Nation	2 251	19	75	2,6	10	0,0	0	3,6	15	25
	Du Lièvre	9 500	73	80	15	16	0,0	0	3,4	4	91
	Gatineau	23 914	94	76	5,7	5	0,0	0	24	19	123
	Mascouche	415	1,3	4	13	39	0,0	0	19	57	34
	Saint-Maurice	42 912	298	79	42	11	0,0	0	39	10	379
	Champlain	314	1,8	6	3,5	12	0,0	0	23	81	29
	Batiscan	4 697	44	47	4,0	4	0,0	0	46	49	94
	Sainte-Anne	2 721	24	46	3,5	7	0,0	0	25	47	53
	Portneuf	362	2,5	13	1,8	9	0,4	2	15	77	20
	Jacques-Cartier	2 513	21	55	8,4	22	2,4	6	6,3	16	38
	Saint-Charles	533	3,4	34	0,2	2	0,0	0	6,4	64	9,9
	Montmorency	1 150	11	80	1,0	7	0,0	0	1,8	13	14
	Du Gouffre	1 002	9,1	37	3,0	12	0,0	0	12	51	25
L'Assomption	4 225	33	16	49	24	0,0	0	120	59	202	
Lac Saint-Pierre	La Chaloupe	142	0,3	3	0,7	7	0,0	0	9,5	90	11
	Bayonne	364	1,4	4	1,0	3	0,0	0	32	93	34
	Chicot	175	1,0	10	0,0	0	0,0	0	9,5	90	11
	Maskinongé	1 095	9,6	25	1,4	4	0,0	0	27	71	38
	Du Loup	1 523	14	23	3,8	6	0,0	0	43	71	61
	Petite riv. Yamachiche	109	0,2	1	0,7	5	0,0	0	14	94	15
Yamachiche	266	2,0	6	0,2	1	0,0	0	33	94	35	
Lac Saint-Jean ou Saguenay	À Mars	671	6,4	74	0,0	0	0,0	0	2,3	26	8,7
	Du Moulin	373	3,4	48	1,1	16	0,0	0	2,6	37	7,1
	Bédard	128	0,5	6	2,1	25	0,0	0	6,0	69	8,6
	Ticouapé	666	3,3	13	3,6	14	0,0	0	18	73	25
Fleuve Saint-Laurent	Des Escoumins	802	3,2	90	0,0	0	0,0	0	0,4	10	3,5
	Aux Anglais	448	2,2	89	0,0	0	0,0	0	0,3	11	2,5
Baie James	Bourlamaque	703	5,9	85	0,0	0	0,0	0	1,1	15	7,0
Lac Saint-Pierre	Somme des onze	24 538	143	10	320	22	29	2	952	66	1 444

a : La charge de phosphore de la partie du bassin versant de la rivière Rimouski située au Nouveau-Brunswick et de la partie du bassin versant de la rivière Saint-François située aux États-Unis est incluse au bilan par secteur.

b : La charge de phosphore de la partie du bassin versant des rivières Richelieu (174 t P/an) et Châteauguay (10 t P/an) située en amont des stations frontalières n'est pas incluse dans le bilan par secteur.

c : La charge de phosphore de la partie du bassin versant de la rivière aux Brochets (2,3 t P/an) située en amont de la station frontalière n'est pas incluse dans le bilan par secteur. Seule la partie du bassin versant située à l'ouest du lac Carmi, aux États-Unis, est incluse au bilan.

Annexe 11 Charge excédentaire aux stations de qualité de l'eau

Tributaire	Station BQMA	Phosphore total		Azote total filtré		Matières en suspension	
		Excédent ^a		Excédent ^a		Excédent ^a	
		(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)	(t P/an)	(%)
Verte	02240005	1,7	16,5	---	---	1 801	32,7
Du Loup	02250005	6,2	24,3	---	---	1 372	14,1
Fouquette	02E90001	0,7	33,4	55	56,0	---	---
Kamouraska	02260002	1,2	21,2	23	12,7	85	4,0
Boyer	02300001	14	74,5	478	74,9	5 966	74,1
Du Sud	02310004	13	31,0	---	---	25 300	66,3
Etchemin	02330001	64	65,8	340	23,5	61 134	81,0
Chaudière	02340033	126	48,2	---	---	230 292	79,7
Du Chêne	02360014	55	77,2	139	20,4	37 570	84,2
Petite riv. du Chêne	02370002	12	62,7	---	---	13 080	80,7
Gentilly	02390001	9,2	61,1	9,4	4,6	6 918	73,1
Bécancour	02400004	50	48,3	---	---	60 334	72,3
Nicolet	03010008	37	52,1	479	29,7	57 385	79,6
Nicolet Sud-Ouest	03010009	42	57,0	412	28,3	30 648	69,3
Saint-François	03020031	49	19,9	---	---	137 422	61,7
Yamaska	03030023	321	80,0	4 342	61,8	152 382	81,4
Richelieu	03040009	151	25,0	---	---	149 025	43,1
Aux Brochets	03040015	11	51,4	322	47,8	5 528	54,7
Saint-Jacques	03060001	5,1	66,6	218	72,0	1 420	56,3
De la Tortue	03070015	18	89,3	317	81,2	1 350	58,5
Châteauguay	03090001	146	80,4	752	38,8	5 753	27,2
Châteauguay	03090005	3,7	35,5	---	---	---	---
Saint-Louis	03110003	5,2	68,0	123	60,1	1 926	64,4
Du Nord	04010002	10	18,0	---	---	4 324	17,9
Rouge	04010127	6,5	73,2	189	70,6	5 116	83,3
Mascouche	04640003	26	79,2	403	64,1	13 535	82,2
Champlain	05020006	21	79,3	59	24,0	18 587	88,4
Sainte-Anne	05040007	---	---	---	---	2 959	9,6
Portneuf	05070012	12	62,0	---	---	18 341	84,7
Saint-Charles	05090017	---	---	---	---	1 914	24,7
Du Gouffre	05130016	1,7	7,2	---	---	13 941	58,7
L'Assomption	05220003	108	57,5	231	8,0	71 064	67,3
La Chaloupe	05230001	8,0	76,3	325	79,6	4 992	82,2
Bayonne	05240001	27	80,6	375	63,0	21 957	88,5
Chicot	05250002	6,0	66,3	33	24,2	4 446	77,0
Maskinongé	05260003	17	45,3	---	---	8 272	48,1
Du Loup	05280001	27	49,6	---	---	6 352	34,7
Petite riv. Yamachiche	05290001	12	86,8	235	79,4	14 122	94,7
Yamachiche	05300004	31	86,6	31	16,4	26 924	92,9
Du Moulin	06090002	---	---	---	---	1 462	30,5
Bédard	06120001	6,2	71,5	81	49,8	1 048	49,6
Ticouapé	06200001	12	54,3	79	18,4	7 648	62,7
Harricana	08010063	8,0	12,0	---	---	---	---
Total		1 483		10 050		1 233 694	

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

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DES ANNEXES

CENTER FOR PAPER BUSINESS AND INDUSTRY STUDIES (CPBIS) (2015). *Pulp Mills, Pulp & Paper Mills, Paper Mills in Vermont*, [En ligne]. [\[https://cpbis.gatech.edu/data/mills-online\]](https://cpbis.gatech.edu/data/mills-online) (Consulté le 14 juillet 2015).

COMITÉ DE GESTION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS (COGESAF) (2006). *Analyse du bassin versant de la rivière Saint-François*, 255 p. [En ligne]. [\[http://www.cogesaf.qc.ca/wp-content/PDE/Analyse_web/Partie_1_analyse.pdf\]](http://www.cogesaf.qc.ca/wp-content/PDE/Analyse_web/Partie_1_analyse.pdf).

STONE ENVIRONMENTAL INC. (2012). *Wastewater Evaluations for Franklin Village and Lake Carmi, Franklin, Vermont*, draft final report, Project ID 112514, 54 p. et 6 annexes, [En ligne]. [\[http://www.franklinvermont.com/Franklin_DraftFinal_Text_Appendices_2012.05.04.pdf\]](http://www.franklinvermont.com/Franklin_DraftFinal_Text_Appendices_2012.05.04.pdf).

TETRA TECH INC. (2014). *Lake Champlain Phosphorus Removal, Technologies and Cost for Point Source Phosphorus Removal*, final report, 14 janvier, 198 p. [En ligne]. [\[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/lc-wastewater-treatment-facilities-feasibility-study.pdf\]](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/lc-wastewater-treatment-facilities-feasibility-study.pdf).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2004). *Orleans, VT Wastewater Treatment Facility Recognized for Excellence*, Newsroom, News Releases by Date, 9 février 2004, [En ligne]. [\[http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/dc614f1d30c3fd66852572a000657b5a/5a9d49fc33ea1ece852570e5005db22b!OpenDocument\]](http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/dc614f1d30c3fd66852572a000657b5a/5a9d49fc33ea1ece852570e5005db22b!OpenDocument) (Consulté le 6 janvier 2017).

VERMONT AGENCY OF NATURAL RESOURCES (VANR) (2012). *Basin 17 Water Quality Management Plan*, Vermont Surface Water Management Strategy, Appendices, Appendix I, p. 42, [En ligne]. [\[http://www.vtwaterquality.org/mapp/docs/mp_basin17finalappendix.pdf\]](http://www.vtwaterquality.org/mapp/docs/mp_basin17finalappendix.pdf).



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

Québec

