

Apport de phosphore vers la baie Missisquoi en provenance des sous-bassins du Vermont et du Québec, 2002 à 2005

Le 25 Novembre 2008



Préparé pour le Comité directeur du lac Champlain

par

**Eric Smeltzer
Vermont Agency of Natural Resources
Waterbury, VT**

**Marc Simoneau
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs,
Québec (Québec)**

Groupe de travail sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi

TABLE DES MATIÈRES

Contexte et objectif du rapport	3
Méthodes.....	3
Réseau de surveillance.....	3
Méthodes d'échantillonnage	9
Méthodes d'analyse en laboratoire	10
Données de débit.....	11
Délimitation des sous-bassins.....	12
Estimation de la charge de phosphore	12
Analyses statistiques.....	13
Résultats.....	14
Concentrations de phosphore.....	14
Charges de phosphore dans les sous-bassins	15
Comparaison avec les charges moyennes de l'année de référence 1991	15
Conclusions et recommandations	22
Références.....	24

Contexte et objectif du rapport

L'Entente entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi¹ (signée le 26 août 2002) a établi une charge cible totale de 97,2 tonnes métriques par année (tm/an) pour la réduction du phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi. L'entente fixait à 58,3 tm/an (60 %) la charge cible totale pour les sources du bassin versant situées dans le Vermont, et à 38,9 tm/an (40 %) celle pour les sources du Québec. Dans le cadre de l'entente, les parties se sont engagées à atteindre leurs charges cibles pour le bassin versant de la baie Missisquoi, conformément à l'échéance et aux conditions de réduction du phosphore établies dans le cadre de l'Entente sur la coopération en matière d'environnement relativement à la gestion du lac Champlain entre le gouvernement du Québec, l'État du Vermont et l'État de New York.

Le rapport du Groupe de travail Québec-Vermont sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi² (juin 2000) recommandait de surveiller les progrès accomplis relativement à ces charges cibles pour la réduction du phosphore, en améliorant le réseau de mesure des débits et d'échantillonnage de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la baie Missisquoi. Ceci devait permettre la mesure directe des charges de phosphore provenant du Vermont et du Québec, par la mise en place de sites de surveillance là où les rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche traversent la frontière internationale. En conséquence, l'Entente concernant la réduction du phosphore de 2002 stipulait que « les Parties intensifieront leurs mesures de surveillance du phosphore présent dans les tributaires de la baie Missisquoi et du phosphore rejeté par les stations d'épuration des eaux usées dans le bassin versant ». À cette fin, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), le Vermont Department of Environmental Conservation (VT DEC) et les organismes coopérateurs, comme le U.S. Geological Survey (USGS), ont depuis implanté de nouvelles stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau et de jaugeage des débits des cours d'eau dans le bassin versant de la baie Missisquoi.

Pour les périodes hydrologiques s'échelonnant de 2002 à 2005 (1^{er} octobre 2001 au 30 septembre 2005), le MDDEP et le VT DEC ont procédé à l'analyse de données provenant de ces nouvelles stations, de même que d'un certain nombre de stations existantes, afin d'évaluer l'apport moyen annuel de phosphore dans la baie Missisquoi en provenance de chacun des sous-bassins du Vermont et du Québec. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le présent rapport.

Méthodes

Réseau de surveillance

La mesure directe des charges annuelles de phosphore dans les rivières requiert la collecte de données sur le débit et les concentrations de phosphore total. Des études antérieures d'évaluation de la charge de phosphore, dans le bassin du lac Champlain³, utilisaient des mesures de débit enregistrées en continu aux stations hydrométriques, combinées aux mesures de phosphore obtenues ponctuellement tout au long de l'année, mais de façon prépondérante lors des périodes de grand débit. Cette méthode générale pour évaluer la charge de phosphore a été utilisée dans le cadre du Programme de suivi des charges de phosphore du bassin versant de la

baie Missisquoi, en se servant du réseau des stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau et de jaugeage des débits décrites ci-dessous.

Mesure du débit des rivières

On dénombre neuf stations hydrométriques sur les rivières du bassin versant de la baie Missisquoi qui servent les objectifs du programme. Leur emplacement est indiqué dans la figure 1 et leur description apparaît dans le tableau 1. Ces stations hydrométriques comprennent des stations exploitées à long terme par l'USGS sur la rivière Missisquoi à Swanton, à East Berkshire et à North Troy dans le Vermont, et par le MDDEP sur la rivière aux Brochets à Bedford, au Québec. Les valeurs moyennes quotidiennes de débit historiques pour les stations hydrométriques du Vermont peuvent être consultées sur le site Web de l'USGS⁴.

Trois nouvelles stations hydrométriques ont récemment été ajoutées pour répondre aux besoins des programmes de surveillance des charges de phosphore, soit des sites sur la rivière aux Brochets à Notre-Dame-de-Stanbridge au Québec, sur la rivière aux Brochets à East Franklin dans le Vermont, et sur la rivière de la Roche à Saint-Armand au Québec. Outre ces stations, le MDDEP et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) ont également installé quatre stations de mesure de débits en continu sur les principaux tributaires de la rivière aux Brochets, à savoir les ruisseaux Castor, Ewing, Morpions et Walbridge. Toutefois, des quatre dernières stations hydrométriques, seules celles des ruisseaux Castor et Ewing présentent un véritable intérêt pour le présent programme puisque ces cours d'eau se jettent dans la rivière aux Brochets, en aval des autres stations hydrométriques situées sur le cours principal de cette rivière. Le débit et les charges de phosphore des ruisseaux Morpions et Walbridge sont mesurés par les autres stations hydrométriques et d'échantillonnages situées sur la rivière aux Brochets.

Stations d'échantillonnage des rivières

On dénombre onze stations de surveillance de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la baie Missisquoi qui servent les objectifs de ce programme. Ces stations d'échantillonnage sont présentées à la figure 1 et sont énumérées dans le tableau 2. Ces stations comprennent deux sites de surveillance à long terme des tributaires (la rivière Missisquoi à Swanton, dans le Vermont, et la rivière aux Brochets à Pike River, au Québec) échantillonnés par le VT DEC, dans le cadre du Programme de suivi biologique et de surveillance à long terme de la qualité de l'eau du bassin du lac Champlain⁵. Depuis 1979, le MDDEP prélève aussi des échantillons (station 03040015) au site d'échantillonnage de la rivière aux Brochets à Pike River au Québec.

Récemment, le MDDEP a implanté dix autres stations de surveillance. Six d'entre elles sont situées sur les rivières Missisquoi, aux Brochets, Sutton et de la Roche, près de la frontière, pour appuyer le Programme de suivi des charges de phosphore. Quatre autres stations ont été installées sur les principaux tributaires de la rivière aux Brochets (les ruisseaux Ewing, Castor, Morpions et Walbridge). Les stations situées sur les ruisseaux Ewing et Castor sont d'un véritable intérêt pour ce programme puisque ces ruisseaux se jettent dans la rivière aux Brochets, en aval des stations situées sur le cours principal de la rivière aux Brochets (PIKE01/03040015). La mesure directe du phosphore effectuée au site d'échantillonnage de la rivière aux Brochets ne tient pas compte de la charge de ces deux ruisseaux.

Superficie drainée en amont des stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau du bassin de la baie Missisquoi

Superficie drainée

- Upper Missisquoi
- Missisquoi Nord
- Lower Missisquoi
- Sutton
- Pike
- Brochets
- Ewing
- Castor
- Rock
- Roche
- Secteur non suivi

Station

- Qualité MDDEP
- Qualité VT DEC
- Débit MDDEP
- Débit USGS
- Municipalité
- Bassin de la baie Missisquoi

0 10 Km

Sources :
 Fond de carte : Base de données topographiques du Québec (BDTQ), 2004
 État du Vermont, 2002
 Données : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP)
 United States Geological Survey (USGS)
 Réalisation : Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE), décembre 2007

Développement durable,
 Environnement
 et Parcs

Québec



© Gouvernement du Québec, 2007

Figure 1. Stations d'échantillonnage de phosphore et stations hydrométriques dans le bassin versant de la baie Missisquoi et sous-bassins sélectionnés aux fins de cette analyse

Tableau 1 : Liste des stations hydrométriques dans le bassin versant de la baie Missisquoi.

Organisme	Numéro de la station	Emplacement	Latitude °N	Longitude °O	Année d'établissement	Surface drainée (km ²)
USGS	04294000	Rivière Missisquoi, à Swanton	44,9167	73,1289	1990	2 201
USGS	04293500	Rivière Missisquoi, à East Berkshire	44,9600	72,6969	1915	1 240
USGS	04293000	Rivière Missisquoi, à North Troy	44,9728	72,3858	1931	339
USGS	04294300	Rivière aux Brochets, à East Franklin	45,0028	72,8356	2001	89,3
MDDEP	030420	Rivière aux Brochets, à Bedford	45,1219	72,9942	1979	404
MDDEP	030424	Rivière aux Brochets, à Notre-Dame de Stanbridge	45,1586	73,0506	2002	586
MDDEP	030425	Rivière de la Roche, à Saint Armand	45,0217	73,0161	2002	70,9
MAPAQ	030422	Ruisseau Castor	45,1103	73,0736	1997	11,0
MDDEP	030426	Ruisseau Ewing, à Saint-Pierre-de-Véronne, à Pike River	45,1253	73,0772	2002	29,1

Tableau 2 : Liste des stations d'échantillonnage du phosphore des rivières dans le bassin versant de la baie Missisquoi.

Organisme	Numéro de la station	Emplacement	Latitude °N	Longitude °O	Année d'établissement	Surface drainée (km ²)
VT DEC	MISS01	Rivière Missisquoi, à Swanton	44,9205	73,1272	1990	2 201
VT DEC	PIKE 01 ^a	Rivière aux Brochets à la route 133 de Pike River	45,1230	73,0697	1990	594
MDDEP	03040015 ^a	Rivière aux Brochets à la route 133 de Pike River 133	45,1230	73,0697	1979	594
MDDEP	03040108	Rivière Missisquoi en amont du ruisseau Mud	45,0132	72,3974	1998	369
MDDEP	03040109	Rivière Missisquoi près de East Richford	45,0121	72,5879	1998	938
MDDEP	03040110	Rivière Sutton, au pont de la route 139, près d'Abercorn	45,0325	72,6625	1998	149
MDDEP	03040111	Rivière aux Brochets, au nord de la frontière, près du 188, route 237	45,0177	72,8255	1998	98,2
MDDEP	03040075	Ruisseau au Castor, au pont près de l'embouchure	45,1095	73,0750	2001	11,0
MDDEP	03040073	Ruisseau Ewing, au pont près de l'embouchure	45,1195	73,0791	2001	30,8
MDDEP	03040112	Rivière de la Roche, au nord de la frontière	45,0243	73,0168	1998	70,9
MDDEP	03040113	Rivière de la Roche, au nord de la frontière (111, route Bradley)	45,0177	73,0519	1998	97,8

^a Même emplacement; aux fins de cette analyse, les résultats obtenus à ces deux stations ont été combinés.

Stations de traitement des eaux usées

Dans la partie du bassin versant de la baie Missisquoi située dans le Vermont, on compte huit stations de traitement des eaux usées. Le débit permis, la limite de concentration de phosphore permise, la charge maximale quotidienne totale (CMQT) de phosphore allouée⁶ et la charge moyenne de phosphore réellement déversée pendant la période allant de 2002 à 2005 sont indiqués pour chaque station dans le tableau 3.

Des renseignements similaires concernant les stations du Québec sont fournis dans le tableau 3. En 2002, après la fusion de la Ville de Sutton et du Canton de Sutton, ainsi que la fusion de la municipalité de Stukely et de Eastman, 29 municipalités se trouvaient, en partie ou en totalité, à l'intérieur des limites du bassin versant de la baie Missisquoi dans la province de Québec. Parmi les 18 municipalités les plus susceptibles de déverser des eaux usées dans les rivières et les cours d'eau du bassin versant, onze étaient desservies par un réseau d'égouts. Cependant, au moment où l'étude a été menée, les eaux usées de seulement huit de ces municipalités étaient traitées par un total de six stations de traitement des eaux usées (Bedford, Eastman, Potton, Sutton, Saint-Armand et Venise-en-Québec).

Même si la station de traitement des eaux usées de Venise-en-Québec et de Saint-Georges-de-Clarenceville, qui se trouve à Venise-en-Québec, est située à l'intérieur du bassin versant, elle ne figure pas dans le tableau 3 parce que les eaux usées provenant de cette station sont déversées, depuis décembre 1994, dans la rivière du Sud, hors des limites du bassin versant de la baie Missisquoi. Par ailleurs, deux des stations de traitement des eaux usées du Québec paraissant dans le tableau 3 sont des projets privés de petite envergure qui desservent un terrain de camping et de maisons mobiles (Stukely-Sud) et une station de ski (Owl's Head). Les municipalités de Abercorn, Notre-Dame-de-Stanbridge et Stanbridge East, lesquelles ne disposaient d'aucune installation lorsque l'étude a été effectuée, figurent également dans le tableau 3; on y trouve également leur charge moyenne approximative pour la période allant de 2002 à 2005.

La station de traitement des eaux usées de Abercorn est en activité depuis août 2007. De plus, des projets de construction d'une station de traitement des eaux usées ont été annoncés en janvier 2008 pour les municipalités de Notre-Dame de Stanbridge, Frelighsburg et Stanbridge East. Enfin, il est également intéressant de mentionner qu'il a été annoncé que les 320 résidences, situées à Pointe Jamieson, à Venise-en-Québec, qui ne disposaient auparavant que de fosses septiques individuelles, bénéficieront à partir de 2008 d'un réseau d'égouts pour leurs eaux usées et que ces eaux seront traitées à la station d'épuration de Venise-en-Québec.

Tableau 3 : Liste des stations de traitement des eaux usées dans le bassin versant de la baie Missisquoi, comprenant les débits permis et les charges de phosphore réellement déversées.

Station	Sous-bassin	Limite de débit permise (mgd)	Limite de débit permise (m ³ /d)	Limite de concentration permise (mg/L)	Charge de P permise ^b (tm/an)	Charge moyenne de 2002 à 2005 (tm/an)
Vermont						
Enosburg Falls	Lower Missisquoi	0,450	1 703	0,8	0,373	0,093
Newport Center	Missisquoi Nord	0,042	159		0,006	0,005
North Troy	Upper Missisquoi	0,110	416		0,760	0,182
Richford	Lower Missisquoi	0,380	1 438	0,8	0,420	0,755
Rock Tenn Co.	Lower Missisquoi	3,500	13 248	0,8	1,260	0,156
Sheldon Springs	Lower Missisquoi	0,054	204		0,373	0,061
Swanton	Lower Missisquoi ^c	0,900	3 407	0,8	0,746	0,334
Troy/Jay	Upper Missisquoi	0,200	757	0,8	0,221	0,286
Vermont Total					4,159	1,873
Québec						
Abercorn ^d	Sutton	0,048	182	1,0	0,066	0,219
Bedford ^e	Brochets	1,156	4 375	1,0	2,008	0,771
Eastman	Missisquoi Nord	0,064	243	1,0	0,110	0,039
Notre-Dame-de-Stanbridge ^d	Brochets	0,037	140	1,0	0,051	0,307
Potton	Missisquoi Nord	0,064	244	1,0	0,110	0,037
Potton (Owl's Head area) ^f	Missisquoi Nord	0,099	375	1,0	0,241	0,016
Stanbridge East ^d	Brochets	0,016	60	1,0	0,022	0,318
Stukely-Sud ^g	Missisquoi Nord	0,016	60	1,0	0,015	0,002
Sutton	Sutton	0,388	1 468	1,0	0,475	0,344
Saint Armand	Roche	0,030	115	0,5	0,029	0,121
Québec Total ^h					3,124	2,174

^a Les sous-bassins sont présentés dans la figure 1.

^b Les charges de P permises au Vermont (tonnes métriques par an) sont telles que définies dans le *Lake Champlain Phosphorus TMDL*. À partir de 2007, toutes les stations du Vermont ont atteint leurs charges de P permises CMQT, à la suite de la modernisations des stations de traitement des eaux usées de Richford et de Troy/Jay.

^c Déverse ses eaux en aval de la station d'échantillonnage.

^d Aucune station de traitement des eaux usées. Les charges réelles pour la période allant de 2002 à 2005 étaient estimées à 2,0 g de P par personne par jour en utilisant la population totale raccordée de la municipalité. Le MAMR a annoncé en janvier 2008 que Stanbridge East, Notre-Dame-de-Stanbridge et Frelighsburg bénéficieraient chacune d'une station de traitement dans un proche avenir. Frelighsburg (qui n'apparaît pas dans le tableau) ne dispose d'aucun réseau d'égouts et les eaux usées de ses habitants sont traitées au moyen de fosses septiques.

^e La station de traitement des eaux usées de Bedford dessert également Stanbridge Station.

^f Il s'agit d'une station privée desservant une station de ski.

^g Il s'agit d'une station privée desservant un terrain de camping et de maisons mobiles. La municipalité de Stukely-Sud a 91 % de son territoire situé dans le bassin versant de la rivière Yamaska

^h La station de Venise-en-Québec (qui n'apparaît pas dans le tableau) traite aussi les eaux usées de Saint-Georges-de-Clarenceville et déverse ses eaux usées traitées dans la rivière du Sud, à l'extérieur du bassin versant de la baie Missisquoi.

Méthodes d'échantillonnage

Prélèvements d'échantillons dans les rivières du Vermont

Le réseau d'échantillonnage des tributaires du Vermont, situé dans le bassin versant de la baie Missisquoi, faisait partie du Programme de suivi biologique et de surveillance à long terme de la qualité de l'eau du lac Champlain, administré par le Programme de mise en valeur du bassin du lac Champlain (Lake Champlain Basin Program)⁵. Ce projet de surveillance comprend beaucoup d'autres stations situées sur le lac Champlain et ses tributaires, de même que des données sur plusieurs autres paramètres physico-chimiques outre le phosphore total.

Des prélèvements d'eau ont été effectués à partir du tablier d'un pont qui enjambe le cours d'eau, à l'aide d'échantillonneurs qui permettent d'intégrer la profondeur et la vitesse du courant (échantillonneurs USGS DH-48 ou DH-59 pour solides en suspension). Pour calculer avec plus de précision la charge annuelle de phosphore, on s'est efforcé d'obtenir au total vingt échantillons de phosphore par année à chaque site d'échantillonnage, en essayant d'en obtenir la plus grande proportion possible lorsque le débit est élevé.

Prélèvements d'échantillons dans les rivières du Québec

Le réseau d'échantillonnage des tributaires du Québec, situé dans le bassin versant de la baie Missisquoi, faisait partie du réseau de surveillance des rivières du Québec (Réseau-rivières) administré par le MDDEP. Comme c'est le cas pour le Vermont, ce programme de surveillance englobe bon nombre d'autres stations situées dans plus de quarante bassins versants, de même que des mesures sur de nombreux autres paramètres physico-chimiques, outre le phosphore total.

Pour la plupart des stations, on a prélevé les échantillons d'eau des tributaires à partir du tablier d'un pont à l'aide d'un échantillonneur qui permet d'intégrer la profondeur de l'eau (bouteille ouverte installée sur une base lestée)⁷. Pour de petits tributaires, on a prélevé des échantillons ponctuels à l'aide d'une bouteille ouverte fixée au bout d'une perche d'aluminium. Pour calculer plus précisément la charge annuelle de phosphore, le Québec imite depuis 2001 la façon de faire du Vermont et s'efforce d'obtenir au total vingt échantillons de phosphore par année à chaque site d'échantillonnage, en essayant de prélever la plus grande proportion possible lorsque le débit est élevé.

Prélèvements d'échantillons d'eaux usées dans le Vermont

Afin de respecter les termes du permis de déversement émis par l'État, les exploitants de station de traitement des eaux usées du Vermont ont dû prélever des échantillons à l'effluent de leur station. En général, les échantillons de phosphore obtenus chaque mois étaient des échantillons intégrés temporels de huit heures. Les débits d'eaux usées ont été surveillés continuellement. Les exploitants de la station ont transmis au VT DEC le débit moyen et la concentration moyenne de phosphore total tous les mois.

Prélèvements d'échantillons d'eaux usées au Québec

Dans le cadre d'une entente avec le MDDEP, le ministère des Affaires municipales et des Régions (MAMR) administre un programme de suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux (SOMAE) pour évaluer le rendement des stations et déterminer si les exigences environnementales sont respectées ou non. Selon le type de station et l'équipement utilisés, des exigences environnementales ont été établies pour un ou plusieurs des paramètres suivants : le phosphore total, la demande biochimique d'oxygène (DBO), les matières en suspension et les

coliformes fécaux. Pour la plupart des stations, les exploitants ont indiqué au MAMR, au moyen de rapports, le débit moyen mensuel d'eaux usées et les mesures mensuelles moyennes de phosphore total.

Méthodes d'analyse en laboratoire

Prélèvements d'échantillons dans les rivières du Vermont

Les échantillons prélevés aux stations de surveillance du Vermont pour les analyses de phosphore total ont été immédiatement placés, sans filtration ni ajout d'agents de conservation, dans des éprouvettes de verre en borosilicate de 75 ml. C'est au laboratoire du VT DEC que l'on a effectué l'analyse des échantillons dans leur contenant d'origine en utilisant la méthode de digestion au persulfate, laquelle a été suivie d'une analyse colorimétrique au moyen d'une méthode utilisant l'acide ascorbique⁸.

Prélèvements d'échantillons dans les rivières du Québec

Les échantillons qui ont été prélevés aux stations de surveillance du Québec pour les analyses de phosphore total ont été immédiatement placés, sans filtration ni ajout d'agents de conservation, dans des bouteilles en polyéthylène de haute densité de 500 ml. Les échantillons ont été gardés au réfrigérateur à 4 °C avant de faire l'objet d'une analyse, qui a eu lieu dans un délai de 48 heures. Pour le Réseau-rivières du Québec, l'eau des échantillons a été filtrée au moyen d'un filtre à membrane GF/C à pores de 1,2 µm de diamètre qui a permis de séparer les formes dissoute et en suspension du phosphore. Cela fait plusieurs années que l'on a opté pour cette technique d'analyse (au lieu de la filtration classique à l'aide d'un filtre à membrane à pores de 0,45 µm de diamètre) pour faire une séparation brute des formes dissoute et en suspension du phosphore afin de réduire le temps de filtration, et par conséquent, les coûts d'analyses. Les formes dissoute et en suspension ont été additionnées afin d'obtenir la concentration totale de phosphore.

C'est au laboratoire du MDDEP, appelé Centre d'expertise en analyses environnementales du Québec (CEAEQ), que les échantillons sont analysés en utilisant la méthode de digestion à l'ultraviolet. Une analyse colorimétrique est ensuite effectuée au moyen de la méthode utilisant de l'acide ascorbique⁸.

Comparaison des résultats obtenus par les deux laboratoires

Les méthodes de traitement et les procédures analytiques des échantillons, que le Vermont et le Québec utilisent pour connaître le phosphore total, diffèrent quelque peu. Afin de comparer les résultats obtenus aux stations d'échantillonnage des rivières, les équipes responsable du prélèvement des échantillons se sont rencontrées à deux reprises (une première fois en 2005 et une seconde fois en 2006) pour échanger des échantillons fractionnés

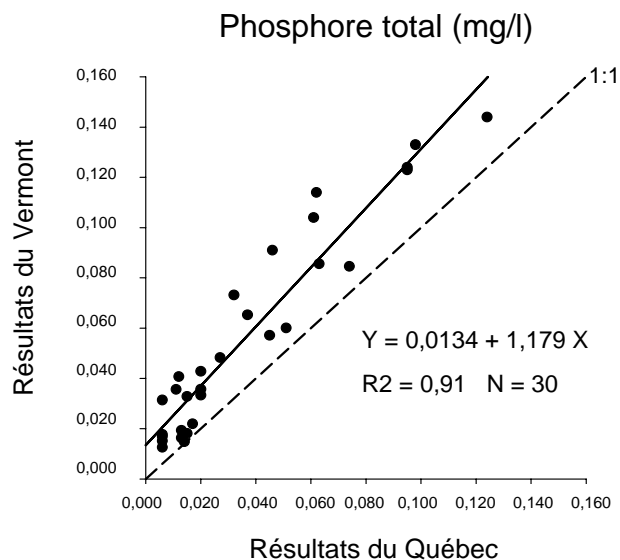


Figure 2. Comparaison des résultats obtenus dans les laboratoires du Vermont et du Québec concernant les échantillons

afin qu'ils puissent faire l'objet d'analyses aux deux laboratoires simultanément. Un total de 30 échantillons fractionnés provenant de diverses stations d'échantillonnage a été obtenu aux fins de cette comparaison.

Les concentrations de phosphore total observées par le laboratoire du Vermont étaient généralement plus élevées que celles observées par le laboratoire du Québec (Test de Wilcoxon pour échantillons appariés, $p < 0,001$), ce qui est probablement attribuable à la méthode de digestion au persulfate plus complète utilisée par le laboratoire du Vermont. Une équation de régression a été établie (figure 2) pour faire en sorte que les résultats obtenus par le laboratoire du Québec puissent être comparables aux résultats qui auraient été obtenus si la méthode adoptée par le Vermont avait été utilisée. Pour les besoins du rapport, tous les résultats obtenus par le laboratoire du Québec relativement au phosphore total ont été corrigés pour équivaloir aux résultats obtenus par la méthode du Vermont, en utilisant l'équation de régression présentée à la figure 2.

Données de débit

Les valeurs moyennes quotidiennes de débit pour chaque station hydrométrique indiquée dans le tableau 1 ont été fournies par leur organisme source respectif. Les données de débit sont présentées en fonction des années hydrologiques, soit d'octobre à septembre, une fois qu'elles ont été vérifiées et publiées de façon définitive par l'organisme responsable. L'analyse de la charge de phosphore présentée dans ce rapport a été effectuée sur les données de débit obtenues pendant la période de quatre ans s'étendant d'octobre 2001 à septembre 2005 (années hydrologiques 2002 à 2005). Les données de débit définitives fournies par les stations hydrométriques du Québec aux fins de l'analyse ne comprenaient pas les données recueillies au-delà de l'année hydrologique 2005. Pour les besoins de cette analyse, toutes les valeurs quotidiennes de débit ont été converties en hectomètres cubes par année ($1 \text{ hm}^3/\text{an} = 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$).

Quatre de ces stations hydrométriques ont présenté des résultats incomplets puisque les données de certaines journées étaient manquantes. Dans ces cas, les valeurs manquantes ont été estimées à l'aide d'une équation de régression interstation calculée à partir de valeurs de débit quotidiennes converties en logarithme à base 10 et recueillies à une autre station de référence disposant d'un registre complet des données de débit. Les équations de régression utilisées pour obtenir les valeurs quotidiennes de débit manquantes sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Équations de régression interstation utilisées pour obtenir les valeurs quotidiennes de débit manquantes. Les unités de débit correspondant à X et Y sont calculées en hm^3/an .

Numéro de la station (Y)	Nombre de valeurs de débit manquantes ^a	Numéro de la station de référence (X)	Équation de régression	R ²
030424	32	030420	$\log Y = 0,390 + 0,887 \log X$	0,94
030426	65	030424	$\log Y = -1,757 + 1,090 \log X$	0,81
030422	16	030424	$\log Y = -2,130 + 1,053 \log X$	0,73
030425	36	030420	$\log Y = -0,954 + 1,004 \log X$	0,87

^a à partir d'un registre comptant au total 1 461 jours

Délimitation des sous-bassins

Les bassins versants en amont des dix stations d'échantillonnage du phosphore énumérées dans le tableau 2 ont été délimités par la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) du MDDEP. Les surfaces drainées en amont de chaque station sont présentées dans le tableau 2. Ces stations d'échantillonnage ont été utilisées afin de définir les dix sous-bassins dans le bassin versant de la baie Missisquoi, lesquels sont indiqués dans la figure 1. Certains de ces sous-bassins se trouvent à l'intérieur des bassins versants de grande superficie des stations d'échantillonnage en aval. Les limites des sous-bassins ne respectent pas parfaitement la limite territoriale séparant le Québec et le Vermont. Toutefois, chaque sous-bassin est situé géographiquement en majeure partie dans l'un ou l'autre de ces deux territoires. Une minime portion de la superficie totale du bassin versant de la baie Missisquoi (soit 6 % de la superficie totale de 3 125 km²) n'a été surveillée par aucune station d'échantillonnage.

Estimation de la charge de phosphore

Charges dans les rivières

Pour estimer les charges de phosphore dans les affluents de la baie de Missisquoi, le logiciel FLUX du U.S Army Corps of Engineers a été utilisé^{9,10}. Par le passé, le logiciel FLUX a été utilisé pour estimer les charges de phosphore dans les affluents du lac Champlain dans le cadre de diverses activités, dont un bilan et une modélisation des apports de phosphore total à l'échelle du lac³, une analyse des niveaux et tendances observés pour le phosphore¹¹, de même qu'une évaluation des effets du Programme québécois d'assainissement des eaux usées municipales dans le bassin versant de la rivière aux Brochets¹².

Les charges annuelles moyennes de phosphore à chaque station d'échantillonnage énumérée dans le tableau 5 ont été estimées pendant la période s'échelonnant de 2002 à 2005 (années hydrologiques) au moyen des mesures de concentration de phosphore correspondant aux dates comprises dans cette période et en utilisant les valeurs quotidiennes de débit provenant de la station hydrométrique pertinente la plus près. Pour tenir compte des écarts relevés dans la superficie de bassin versant drainée respectivement par les stations hydrométriques et les stations d'échantillonnage appariées, les estimations de charge de phosphore ont été multipliées par le ratio obtenu en comparant les résultats de la surface drainée à la station d'échantillonnage du phosphore avec ceux de la surface drainée à la station hydrométrique.

Les dix stations d'échantillonnage présentaient une corrélation statistique significative et positive entre la concentration de phosphore et le débit moyen relevés le jour de l'échantillonnage. Ainsi, les estimations de charge de phosphore ont été fondées sur les régressions, calculées sur une échelle logarithmique, entre la concentration de phosphore et le débit quotidien (logiciel FLUX, Méthode 6¹⁰). Lorsqu'il était constaté que les résidus de la régression concentration – débit étaient dépendants du débit, des relations de régression distinctes ont été établies pour différentes strates de débits afin d'éliminer la dépendance des résidus. Une procédure d'analyse d'erreur contenue dans le logiciel FLUX a été utilisée pour estimer le coefficient de variation (CV) pour les charges moyennes et leurs intervalles de confiance à 95 %.

Charges d'eaux usées

Les charges de phosphore, rejetées par les stations de traitement des eaux usées dans le bassin versant de la baie Missisquoi, se reflétaient dans les échantillons d'eau prélevés aux stations d'échantillonnage de la qualité de l'eau indiquées sur la figure 1. Dans le Vermont, la station de Swanton était la seule qui déversait ses eaux en aval des sites de surveillance dans la rivière Missisquoi. Les charges de phosphore dans les eaux usées ont été calculées pour chaque station qui figure dans le tableau 3 afin que la charge de phosphore total observée dans chaque sous-bassin puisse être classée en composantes de sources ponctuelles et diffuses. Les charges de sources diffuses ont été calculées en soustrayant tout simplement les charges de phosphore dans les eaux usées de la charge totale déterminée au moyen de l'analyse de charges de phosphore du logiciel FLUX.

Le VT DEC et le MAMR du Québec ont été informés, au moyen de rapports mensuels, des débits d'eaux usées et des concentrations de phosphore dans ces eaux. Ces renseignements ont été compilés annuellement par le VT DEC et le MAMR. En outre, les charges de phosphore annuelles observées à chaque station de traitement ont été calculées et considérées comme le produit du débit moyen annuel et de la concentration moyenne annuelle de phosphore total. Les charges moyennes de phosphore déversées par chaque station de traitement durant la période pendant laquelle s'est déroulée l'étude sont indiquées dans le tableau 3.

Analyses statistiques

Dans cette étude, nous avons suivi une approche **avant/après**¹³ pour détecter un changement discret dans la qualité de l'eau qui pourrait être associé à des interventions d'assainissement effectuées à l'échelle du bassin versant, entre la période de référence 1990-1992 et la période post-assainissement 2002-2005. Une procédure d'analyse de covariance (ANCOVA), appliquée au moyen du Modèle général linéaire (PROC GLM; SAS Institute inc.¹⁴), a été utilisée pour tester la présence de différences significatives dans les régressions linéaires, calculées sur une échelle logarithmique, entre les concentrations de phosphore et le débit quotidien des périodes 1990-1992 et 2001-2005. Les analyses ont été effectuées séparément pour les rivières Missisquoi et aux Brochets ainsi que pour chacune des strates de débit considérées dans l'analyse.

Un test de l'homogénéité des pentes a été utilisé pour vérifier la probabilité que les pentes des régressions concentration-débit étaient égales pour les deux périodes. L'effet de la variable de classification « période » sur la concentration à un débit donné a été déterminé par la probabilité que les ordonnées à l'origine des droites de régression étaient égales. Les différences n'étaient pas considérées significatives si la probabilité (P) était plus grande que 0,05. Les courbes de probabilité normale des résidus (PROC UNIVARIATE; SAS Institute inc.) ont révélé que l'hypothèse de normalité était raisonnable. La constance de la variance et l'autocorrélation des résidus ont été vérifiées à l'aide des procédures GLM et GPLOT de SAS. Les diagrammes des résidus tracés en fonction des valeurs prédites n'ayant révélé aucun patron évident, l'hypothèse de l'indépendance des résidus et celle de l'homogénéité de la variance ont aussi été jugées raisonnables.

Résultats

Concentrations de phosphore

La distribution des concentrations de phosphore relevées à chacune des dix stations de surveillance dans le bassin versant de la baie de Missisquoi est présentée à la figure 3. Les stations sur les ruisseaux Castor, de la Roche et Ewing ont présenté les concentrations médianes de phosphore les plus élevées. Les stations sur la rivière aux Brochets (PIKE01/03040015) et la rivière Missisquoi ont obtenu des valeurs médianes de phosphore intermédiaires, mais les concentrations observées affichaient des valeurs très variées, dont certaines étaient élevées. Les concentrations de phosphore les plus faibles ont été constatées dans les parties supérieures des rivières aux Brochets, Missisquoi et Sutton.

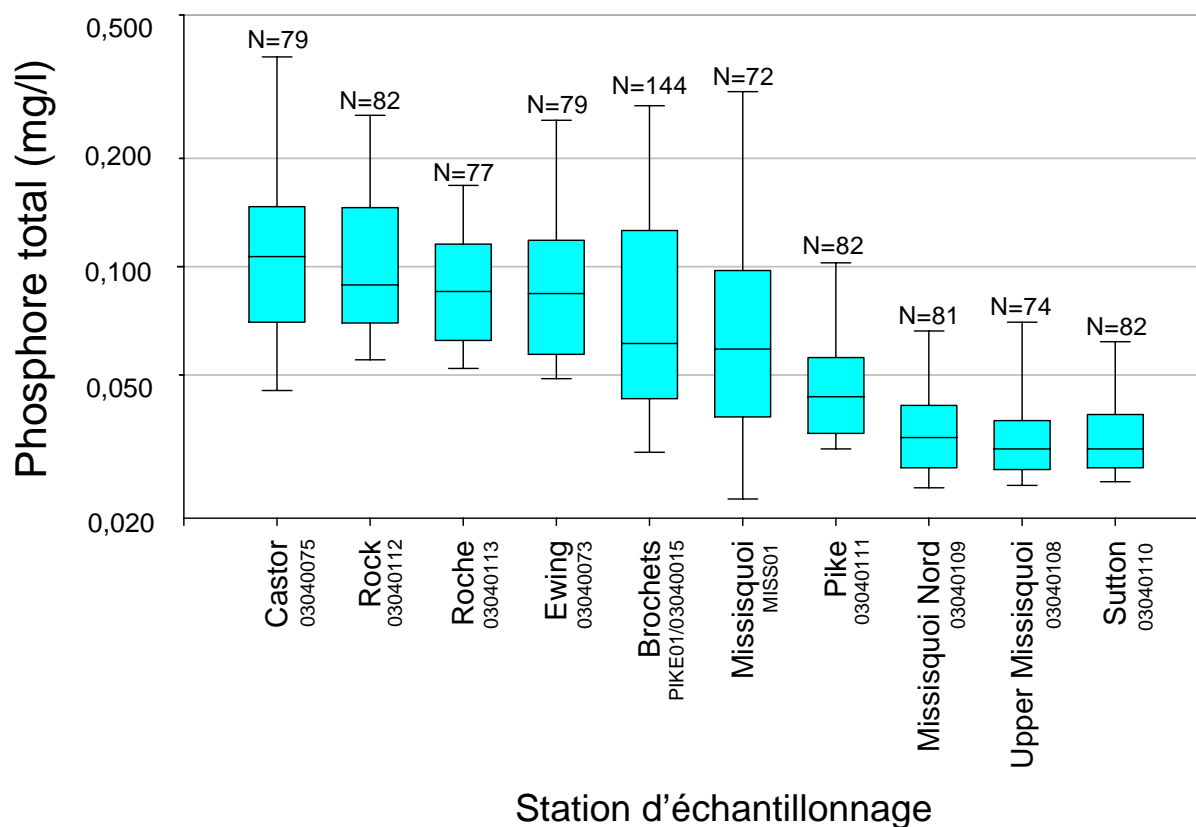


Figure 3. Distribution des concentrations de phosphore total relevées aux stations d'échantillonnage fluviales. Les tracées en boîte montrent le 5^e et le 25^e percentiles, la moyenne, ainsi que les 75^e et 95^e percentiles pour tous les résultats d'échantillon obtenus durant les années hydrologiques 2002 à 2005. Le nombre d'échantillons (N) pour chaque station est indiqué.

Charges moyennes de phosphore dans les sous-bassins

Les charges de phosphore calculées à chaque station d'échantillonnage au cours des années hydrologiques 2002 à 2005 sont présentées au tableau 5. Lorsque les bassins versants en amont des stations d'échantillonnage comprenaient plus d'un sous-bassin, tel qu'il est indiqué à la figure 1, les charges de phosphore estimées pour les stations en amont ont été soustraites afin de permettre le calcul des charges pour chaque sous-bassin. Les charges calculées pour chaque sous-bassin sont énumérées dans le tableau 6 et sont présentées à la figure 4. La composante des charges présentées à la figure 4, qui correspond aux eaux usées, provient des données fournies au tableau 3.

Comme on devait s'y attendre, les charges de phosphore les plus élevées provenaient des grands sous-bassins. Une présentation des charges pour les sous-bassins du Québec et du Vermont indiquait que 69,5 tm/an (37 %) de la charge totale provenait du Québec et 118,4 tm/an (63 %) de la charge totale provenait du Vermont. Les charges de phosphore rejetées dans les eaux usées constituaient 3,1 % de la charge totale du Québec et 1,6 % de la charge totale du Vermont. La répartition des charges de phosphore prélevées au Québec et au Vermont n'est qu'approximative puisque les limites hydrologiques des sous-bassins ne correspondent pas parfaitement aux limites territoriales (figure 1).

Les taux d'exportation de phosphore par unité de surface (kg/ha/an), calculés pour chaque sous-bassin, sont répertoriés dans le tableau 6 et font l'objet d'une comparaison à la figure 5. Les taux d'exportation en surface fournissent une indication quant à la densité des sources de phosphore dans chaque sous-bassin. Les taux les plus élevés d'exportation de phosphore ont été constatés dans les petits bassins versants à vocation principalement agricole des rivières Castor et Ewing, ainsi que dans le sous-bassin de la rivière de la Roche au Vermont. Des taux d'exportation de phosphore relativement élevés ont également été constatés dans le sous-bassin du Lower Missisquoi (Missisquoi inférieur). La portion du bassin versant de la baie Missisquoi qui appartient au Vermont présentait, en moyenne, un taux d'exportation de phosphore plus élevé (0,716 kg/ha/an) que la portion appartenant au Québec (0,542 kg/ha/an).

Comparaison avec les charges moyennes de l'année de référence 1991

Pour les années hydrologiques 2002 à 2005, la charge annuelle moyenne de phosphore à la baie Missisquoi, tous sous-bassins confondus, a été estimée à 188 tm/an (tableau 6). Cette charge était 13 % plus élevée que celle de 167 tm/an calculée pour l'année 1991, qui est utilisée en tant que point de référence, tel que défini dans le *Lake Champlain Phosphorus TMDL*⁶ et dans l'entente de 2002 sur la qualité de l'eau conclue entre le Québec et le Vermont¹. La charge moyenne annuelle calculée pour la période s'échelonnant de 2002 à 2005 excédait considérablement la charge cible de 97 tm/an établie pour la baie Missisquoi dans ces documents.

Les débits moyens plus élevés des rivières enregistrés au cours de la période de 2002 à 2005, notamment dans la rivière Missisquoi qui est le sous-bassin qui draine la plus grande superficie du bassin versant, expliquent en grande partie pourquoi les charges de phosphore étaient plus élevées dans le bassin versant de la baie Missisquoi au cours de cette période que durant l'année de référence 1991. Le débit moyen enregistré à Swanton, dans la rivière Missisquoi, au cours des années hydrologiques 2002 à 2005, s'élevait à 1 621 hm³/an, ce qui correspond à une augmentation de 26 % par rapport au débit moyen de 1 284 hm³/an enregistré pour l'année de référence 1991. Toutefois, au cours de la même période, le débit moyen de la rivière aux

Tableau 5. Débits moyens et charges de phosphore aux stations hydrométriques et d'échantillonnage durant les années hydrologiques 2002 à 2005.

Sous-bassin	État/ Prov.	Station d'échantillonnage	Station hydro- métrique	Débit moyen à la station hydro- métrique (hm ³ /an)	Ratio de la surface drainée ^a	Charge moyenne à la station d'échantil- lonnage (tm/an)	C.V. ^b
Upper Missisquoi	VT	03040108	04293000	277,0	1,09	18,3	0,170
Missisquoi Nord	QC	03040109	04293500	948,3	0,76	40,2	0,072
Sutton	QC	03040110	04293500	948,3	0,12	8,2	0,283
Lower Missisquoi	VT	MISS01	04294000	1 620,9	1,00	137,2	0,081
Pike	VT	03040111	04294300	51,9	1,10	4,1	0,075
Brochets	QC	PIKE01/03040015	030424	281,1	1,01	36,9	0,076
Ewing	QC	03040073	030426	10,9	1,06	3,7	0,107
Castor	QC	03040075	030422	4,7	1,00	1,7	0,129
Rock	VT	03040112	030425	26,0	1,00	7,2	0,167
Roche	QC	03040113	030425	26,0	1,38	8,4	0,310

^a Surface drainée de la station d'échantillonnage / Surface drainée de la station hydrométrique.

^b Coefficient de variation de la charge moyenne de phosphore.

Tableau 6. Charges moyennes de phosphore pour chaque sous-bassin et taux d'exportation en surface au cours des années hydrologiques 2002 à 2005.

Sous-bassin	État/ Prov. ^a	Sous-bassins en amont ^b	Charge enregistrée dans le sous- bassin (tm/an)	Superficie du sous- bassin (km ²)	Taux d'exportation à partir du sous-bassin (kg/ha/an)
Upper Missisquoi	VT	Aucun	18,3	369,3	0,495
Missisquoi Nord	QC	Upper Missisquoi	21,9	568,4	0,386
Sutton	QC	Aucun	8,2	148,9	0,548
Lower Missisquoi	VT	Upper Miss., Miss. Nord, Sutton	88,8	1 114,4	0,797
Pike	VT	Aucun	4,1	98,2	0,415
Brochets	QC	Rivière aux Brochets	32,8	496,0	0,662
Ewing	QC	Aucun	3,7	30,8	1,200
Castor	QC	Aucun	1,7	11,0	1,566
Rock	VT	Aucun	7,2	70,9	1,015
Roche	QC	Rivière de la Roche	1,2	26,9	0,441
Total pour le Québec			69,5 (37 %)	1 282	0,542
Total pour le Vermont			118,4 (63 %)	1 653	0,716
Total pour le bassin versant de la baie Missisquoi			187,9 (100 %)	2,935	0,640

^a Les limites du sous-bassin sont établies en fonction des bassins versants de la station d'échantillonnage et ne correspondent pas parfaitement aux limites territoriales.

^b Les charges de phosphore aux stations d'échantillonnage en amont (tableau 5) ont été soustraites afin de calculer les charges pour chaque sous-bassin.

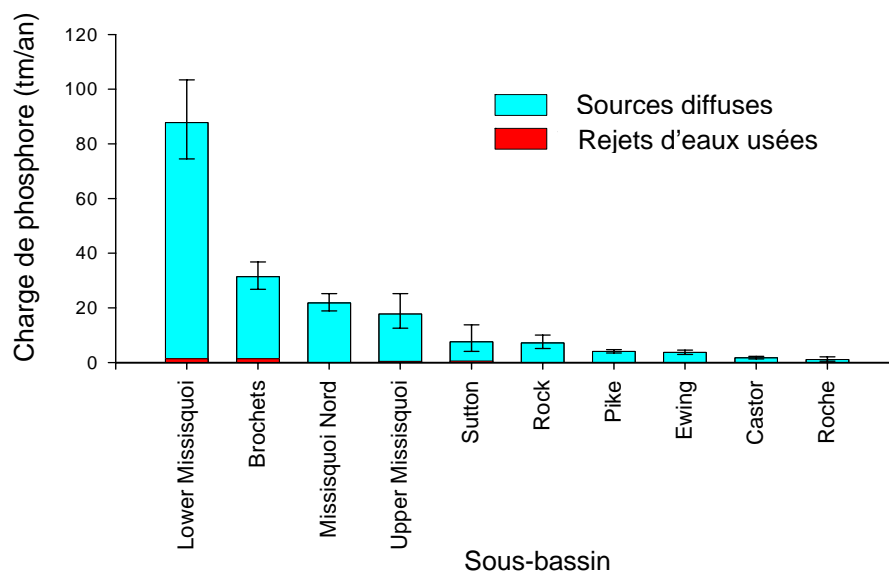


Figure 4. Charge annuelle moyenne de phosphore provenant des sous-bassins du bassin versant de la baie Missisquoi durant les années hydrologiques 2002 à 2005. Les barres d'erreurs indiquent l'intervalle de confiance à 95 %, calculé conformément aux procédures du logiciel FLUX⁹. La composante de la charge qui correspond aux eaux usées est celle qui figure dans le tableau 3.

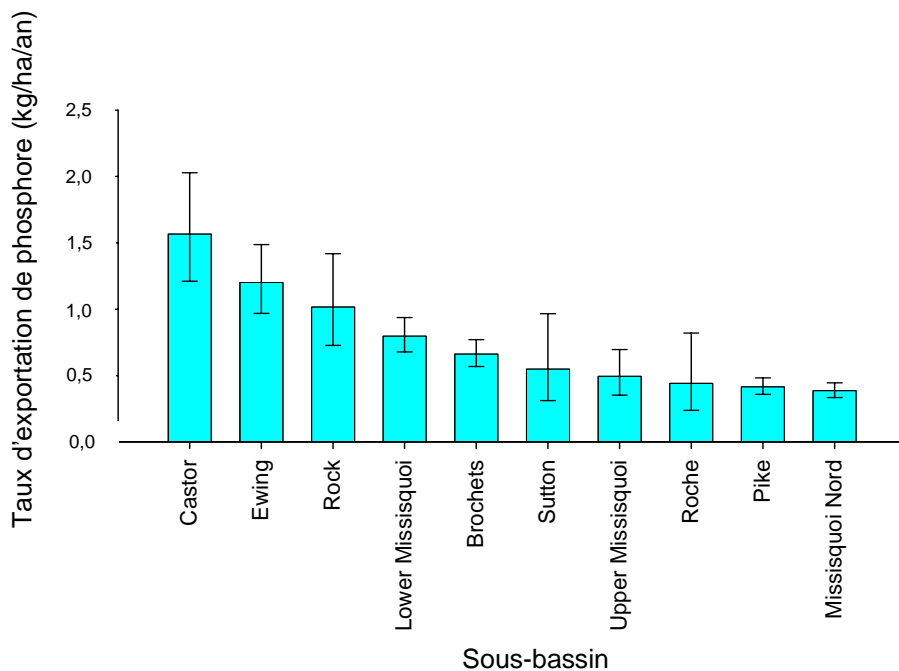


Figure 5. Taux d'exportation du phosphore par unité de surface des sous-bassins du bassin versant de la baie Missisquoi au cours des années hydrologiques 2002 à 2005. Les barres d'erreurs indiquent l'intervalle de confiance à 95 %, calculé conformément aux procédures du logiciel FLUX⁹.

Brochets, enregistré à la station hydrométrique de Bedford au Québec, n'était que de 5 % plus élevé par rapport à celui enregistré en 1991, soit 196 hm³/an comparativement à 187 hm³/an.

Afin de comparer les charges de phosphore estimées durant la période de 2002 à 2005 à celles enregistrées en 1991 (année de référence) dans des conditions semblables, le logiciel FLUX a été utilisé pour recalculer les charges moyennes de phosphore provenant de la rivière aux Brochets et de la rivière Missisquoi déversées dans la baie Missisquoi durant la période de 2002 à 2005 au moyen des données hydrologiques de 1991. La droite de régression de la relation concentration – débit, obtenue à partir des données de la période de 2002 à 2005, a été appliquée aux données de débits quotidiens de l'année de référence 1991 afin d'estimer les charges moyennes de phosphore qui auraient été déversées durant la période de 2002 à 2005 si les conditions hydrologiques avait été les mêmes qu'en 1991. Les résultats (figure 6) indiquent que la charge moyenne de phosphore provenant des deux rivières aurait été moindre au cours de la période allant de 2002 à 2005 qu'en 1991, si les conditions hydrologiques avaient été les mêmes qu'en 1991, bien que les écarts relevés n'étaient pas significatifs sur le plan statistique. Dans le cadre du Programme de mise en valeur du bassin du lac Champlain¹⁵, une analyse statistique des concentrations de phosphore pondérées par le débit, enregistrées au cours de la période s'échelonnant de 1990 à 2004, a permis de conclure qu'il n'y avait aucune tendance significative pour la rivière Missisquoi, mais une tendance à la baisse significative pour la rivière aux Brochets.

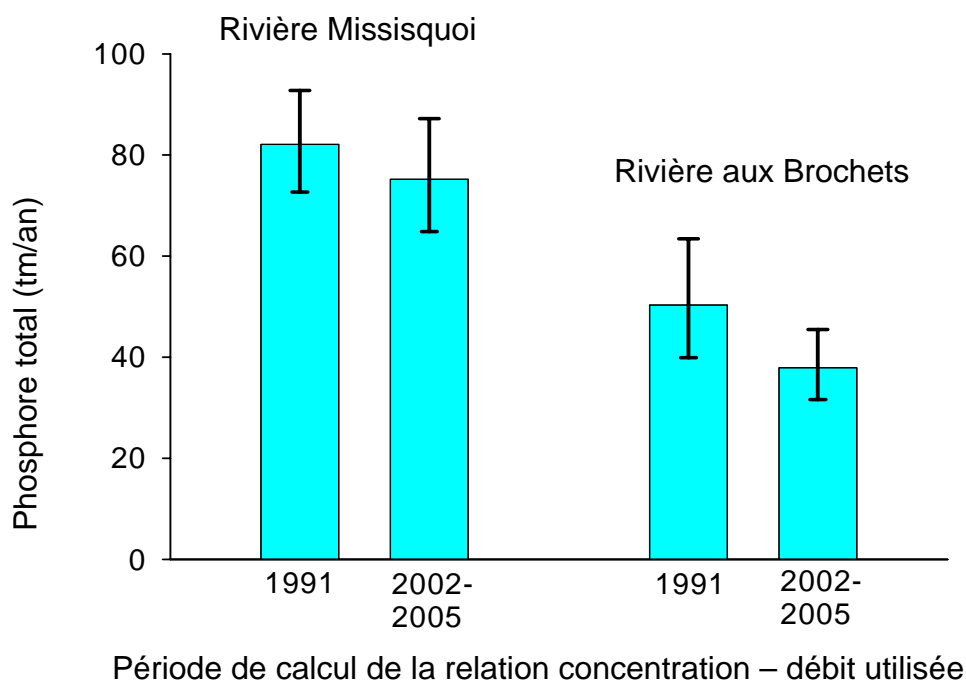


Figure 6. Comparaison des charges moyennes de phosphore aux embouchures de la rivière Missisquoi et de la rivière aux Brochets, calculées en tenant compte des conditions hydrologiques de l'année de référence 1991. Les estimations de charge de l'année de référence 1991³ sont comparées aux estimations obtenues en appliquant la droite de régression de la relation concentration – débit de la période de 2002 à 2005, aux données de débits quotidiens de l'année de référence. Les barres d'erreurs indiquent l'intervalle de confiance à 95 %, calculé conformément aux procédures du logiciel FLUX⁹.

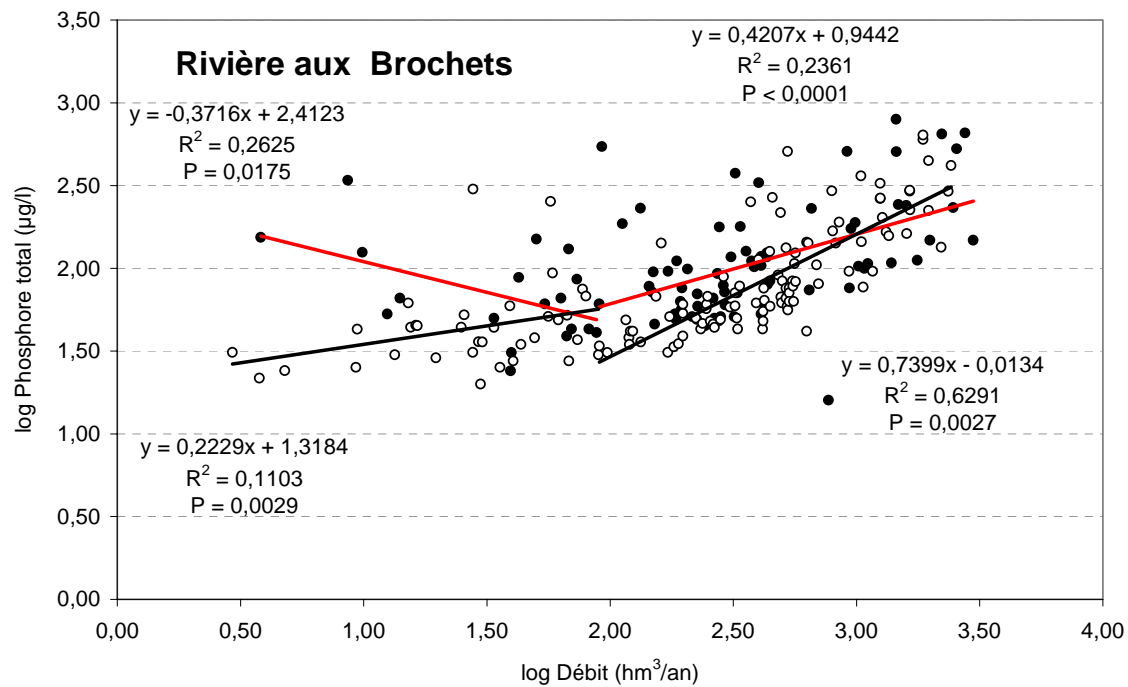
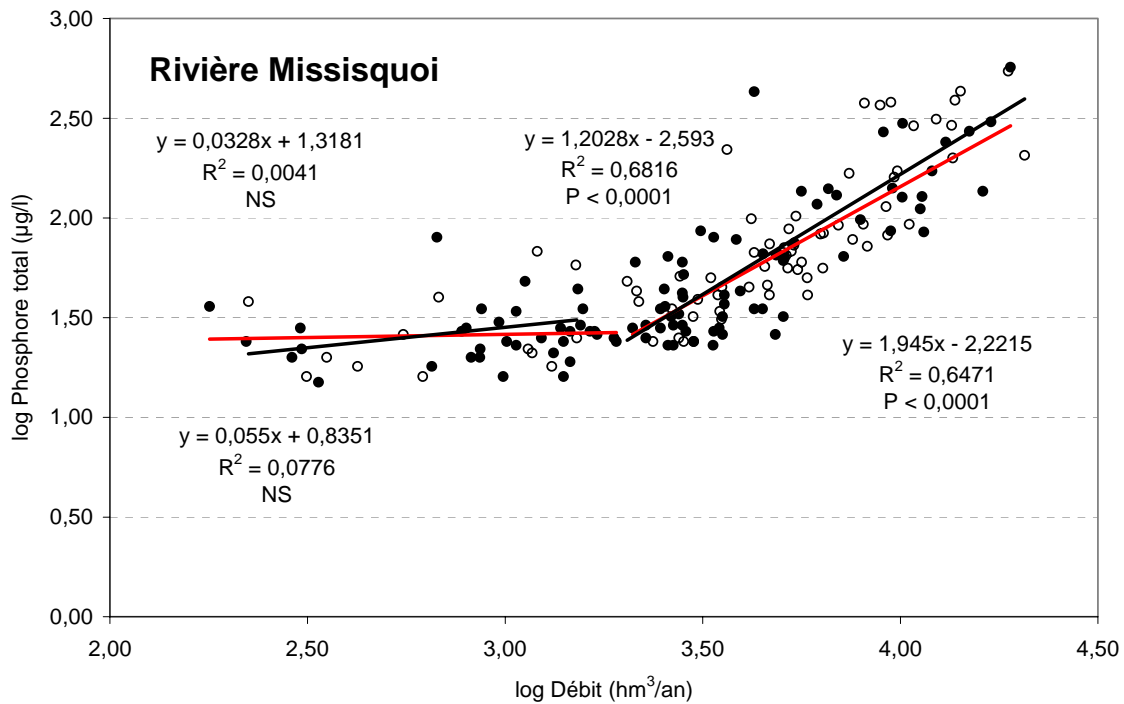


Figure 7. Comparaison des droites de régression concentration-débit des rivières Missisquoi et aux Brochets pour les périodes 1990-1992 (points noirs et lignes rouges) et 2001-2005 (points ouverts et lignes noirs) (voir texte pour détails). Des régressions distinctes ont été calculées pour les différentes strates de débit pour éliminer la dépendance des résidus.

Une comparaison des droites de régression concentration-débit des rivières Missisquoi et aux Brochets, calculées pour les périodes 1990-1992 et 2001-2005 a permis de faire certaines constatations intéressantes. Ainsi, comme le montre la figure 7 et le confirment les résultats de l'analyse de covariance effectuée sur les données de la rivière Missisquoi, il appert que les relations concentration-débit, calculées pour chaque strates de débit, ne montrent pas de changements significatifs entre les deux périodes. Les concentrations de phosphore ne varient pas (pente = 0,033; $t = 0,33$; $P = 0,746$) et demeurent les plus basses (médiane = 25 $\mu\text{g/l}$) dans la strate des faibles débits (entre 100 et 2000 hm^3/an). La forte régression positive (pente = 1,094; $t = 10,90$; $P < 0,0001$) observée au cours de la période 1990-1992, dans la strate des débits élevés, demeure inchangée pour la période 2001-2005 ($t = 0,72$; $P = 0,4746$). Ces observations expliquent pourquoi la charge moyenne de phosphore de la rivière Missisquoi, calculée à l'aide des données hydrométriques de l'année de référence 1991 et à partir de la droite de régression concentration-débit 2001-2005, était seulement 8 % plus faible que la charge moyenne de 1991.

En revanche, les résultats obtenus pour la rivière aux Brochets (figure 7) montrent que les relations concentration-débit ont changé de façon significative entre les deux périodes pour les deux strates de débit déterminées. Le changement très significatif observé dans la strate des bas débits, d'une pente négative au cours de la période 1990-1992 (pente = -0,372; $t = -2,46$; $P = 0,0175$) à une pente positive au cours de la période 2001-2005 (pente = 0,594; $t = 3,14$; $P = 0,0029$), reflète l'effet du traitement des eaux usées de source ponctuelle mis en place entre 1992 et 1995 à Bedford, Québec. Le changement significatif aussi observé dans la strate des débits élevés au cours de la période 2001-2005 (pente = 0,319; $t = 3,05$; $P = 0,0027$), par rapport à la droite de régression significative de la période 1990-1992 (pente = 0,421; $t = 5,52$; $P < 0,0001$), suggère que d'autres interventions effectuées dans le cadre des programmes québécois d'assainissement des eaux pourraient avoir commencé à montrer des résultats positifs. Ces changements importants notés pour la rivière aux Brochets expliquent la réduction de 25 % enregistrée dans la charge moyenne de phosphore de la période de 2001-2005, en dépit de la hausse de 5 % notée dans le débit moyen de la rivière.

La comparaison des résultats de la période de 2001-2005 avec ceux de la période 1990-1992 sous-entend que la modernisation des stations de traitement des eaux usées et l'adoption de bonnes pratiques de gestion à l'échelle du bassin versant, depuis 1991, ont permis de limiter les charges de phosphore qui se déversent dans la baie Missisquoi. Bien que des débits plus élevés aient contribué à un apport plus soutenu de phosphore vers la baie Missisquoi durant la période allant de 2002 à 2005 que durant l'année 1991, il est vraisemblable que l'augmentation de la charge de phosphore entraînée par ces débits plus élevés ait été moindre que celle qui aurait été observée si ces mesures en matière de gestion n'avait pas été prises, particulièrement en ce qui a trait au bassin versant de la rivière aux Brochets. Puisque la majorité de la charge de phosphore déversée dans la baie Missisquoi provient de sources diffuses, les résultats des études effectuées mettent l'accent sur l'importance de poursuivre les efforts déployés afin de mettre en place des pratiques exemplaires visant à réduire la quantité de phosphore qui est déversée dans les cours d'eau en raison des processus de ruissellement et d'érosion. En dépit des améliorations apparentes, la relation concentration-débit des rivières Missisquoi et aux Brochets montre encore, dans la strate des débits élevés, une pente positive très forte qui souligne l'importance des apports de sources diffuses dans ces bassins versants fortement influencés par les précipitations.

Conclusions et recommandations

1. La charge moyenne de phosphore estimée se déversant dans la baie Missisquoi durant les années hydrologiques 2002 à 2005 était de 188 tm/an. Cette charge est plus élevée que celle de 167 tm/an obtenue au cours de l'année de référence 1991 et considérablement au-dessus de la charge cible de 97 tm/an établie pour la baie Missisquoi dans le *Lake Champlain Phosphorus TMDL* et dans l'Entente de 2002 sur la qualité de l'eau conclue entre le Québec et le Vermont.
2. Les débits fluviaux plus élevés enregistrés durant 2002 à 2005 dans la rivière Missisquoi, le sous-bassin ayant la plus grande superficie dans le bassin versant, expliquent en grande partie pourquoi la charge moyenne de phosphore était plus élevée durant la période susmentionnée que pour l'année de référence 1991. Une analyse des charges de phosphore provenant de la rivière aux Brochets et de la rivière Missisquoi se déversant dans la baie Missisquoi, qui applique la droite de régression de la relation concentration – débit obtenue pour la période de 2001 à 2005 aux données hydrométriques de l'année 1991, suggèrent que les charges de phosphore se déversant dans la baie auraient été moindres au cours de la période de 2002 à 2005 si les conditions de débit étaient demeurées identiques à celles enregistrées en 1991.
3. Une comparaison des relations concentration-débit obtenues pour la période de référence 1990-1992 et la période post-assainissement 2001-2005 n'a révélé aucune différence significative pour la rivière Missisquoi pour les deux strates de débit considérées dans l'analyse. La même comparaison a montré des différences significatives pour les deux strates de débits de la rivière aux brochets, avec des concentrations de phosphore généralement plus basses en 2001-2005 qu'en 1990-1992 pour des débits équivalents. Ces résultats suggèrent un effet bénéfique du traitement des sources ponctuelles et des autres interventions d'assainissement qui ont pris place depuis 1991 dans le bassin versant de la rivière aux Brochets.
4. La répartition des charges de phosphore entre le Québec et le Vermont, pour la période allant de 2002 à 2005, équivalait sensiblement (toujours en tenant compte des incertitudes statistiques) au rapport approximatif de 60/40 % qui découlait d'une analyse par modélisation de l'utilisation des terres¹⁶, laquelle a été utilisée comme fondement de l'entente sur la qualité de l'eau conclue en 2002. Les résultats confirment bien que le ratio 60 /40 pour définir le degré de responsabilité du Québec et du Vermont était tout à fait raisonnable.
5. Les charges annuelles moyennes de phosphore (tm/an) estimées au moyen de cette analyse ont permis d'identifier les sous-bassins dans le bassin versant de la baie Missisquoi qui produisent les charges de phosphore les plus élevées. Ce sont les sous-bassins de la portion inférieure de la rivière Missisquoi (Lower Missisquoi), de la rivière aux Brochets, de la rivière Missisquoi Nord et de la rivière Missisquoi supérieure (Upper Missisquoi).
6. Les taux d'exportation de phosphore par unité de surface (kg/ha/an) estimés au moyen de cette analyse ont permis d'identifier les sous-bassins dans le bassin versant de la baie Missisquoi qui constituaient les sources de phosphore les plus denses. C'est notamment dans les ruisseaux Castor et Ewing, ainsi que dans la rivière aux Brochets, au Québec, et dans la rivière Rock et la rivière Missisquoi inférieure (Lower Missisquoi), au Vermont,

que se trouvent les sous-bassins présentant les taux d'exportation en surface de phosphore les plus élevés.

7. Au cours de la période s'échelonnant de 2002 à 2005, les rejets d'eaux usées municipales constituaient une faible source de phosphore dans la baie Missisquoi. En effet, la charge de phosphore contenue dans ces rejets ne représentait que 1,6 % de la charge totale de phosphore provenant du Vermont, et que 3,1 % de celle provenant du Québec. En comparaison avec les données de 1991, les charges de phosphore de sources municipales ont diminué de 73 % au Vermont et de 74 % au Québec.
8. Le MDDEP, le MAPAQ, le VT DEC et l'USGS devraient poursuivre leurs activités de surveillance des débits fluviaux et des concentrations de phosphore aux stations désignées à cet effet afin que les changements à long terme liés aux charges de phosphore puissent être mesurés. Il serait utile pour les analyses de données à venir de communiquer, dans la mesure du possible, les données de débit définitives durant l'année suivant la fin de chaque année hydrologique.
9. Les futures analyses de données recueillies dans le cadre de ce programme de surveillance devraient être axées sur la détection, au fil du temps, des tendances dans les charges moyennes de phosphore à chaque station d'échantillonnage, en utilisant les méthodes statistiques pertinentes, notamment l'analyse des concentrations de phosphore pondérées par le débit¹¹ et l'analyse de covariance¹³. Les données obtenues durant ces quatre années (2002 à 2005) ne sont pas suffisantes pour effectuer une analyse des tendances. Toutefois, il sera essentiel dans l'avenir d'utiliser les données recueillies dans le cadre de ce programme afin de documenter les réductions de phosphore réalisées grâce aux interventions effectuées en matière de gestion de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la baie Missisquoi.

Références

- ¹ Entente entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi. 2002. http://www.lcbp.org/PDFs/missbay_agreeFR.pdf
- ² Missisquoi Bay Phosphorus Reduction Task Force. 2000. A division of responsibility between Québec and Vermont for the reduction of phosphorus loads to Missisquoi Bay. Report to the Lake Champlain Steering Committee. http://www.lcbp.org/PDFs/missbay_final.pdf
- ³ Vermont DEC and New York State DEC. 1997. *A phosphorus budget, model, and load reduction strategy for Lake Champlain. Lake Champlain Diagnostic-Feasibility Study final report.* Waterbury, VT and Albany, NY. http://www.anr.state.vt.us/dec/waterq/lakes/docs/lp_lcdfs-finalreport.pdf
- ⁴ U.S. Geological Survey. *Water Resources of New Hampshire and Vermont.* http://nh.water.usgs.gov/WaterData/station_map.htm
- ⁵ Long-Term Water Quality and Biological Monitoring Project for Lake Champlain. http://www.anr.state.vt.us/dec/waterq/lakes/html/lp_longterm.htm
- ⁶ Vermont DEC and New York State DEC. 2002. *Lake Champlain Phosphorus TMDL.* Waterbury, VT and Ray Brook, NY. http://www.vtwaterquality.org/lakes/html/lp_phosphorus.htm
- ⁷ Hébert, S. and S. Légaré, 2000. *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Envirodoq no ENV-2001-0141, rapport no QE-123, 24 p. et 3 annexes.* http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/GuidecorrDernier.pdf
- ⁸ American Public Health Association. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 20th ed. Washington, D.C.
- ⁹ Walker, W.W. 1987. *Empirical methods for predicting eutrophication in impoundments.* Report 4, Applications manual, Tech. Rep. E-81-9. Prep. for U.S. Army Corps of Engineers Waterways Exp. Sta. Vicksburg, MS.
- ¹⁰ 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). U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS.
- ¹¹ Medalie, L. and E. Smeltzer. 2004. *Status and trends of phosphorus in Lake Champlain and its tributaries, 1990-2000.* In Manley, T. et al. (eds.) *Lake Champlain: Partnership and Research in the New Millennium.* Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York. http://www.anr.state.vt.us/dec/waterq/lakes/docs/lp_phosstatustrends.pdf
- ¹² Simoneau, M., 2007. *État de l'écosystème aquatique du bassin versant de la baie Missisquoi : faits saillants 2001-2004,* Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-49625-0 (PDF), 18 p. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/missisquoi/FS_Baie_Missisquoi.pdf
- ¹³ Grabow, G.L., J. Spooner, L.A. Lombardo et D.E. Line. 1999. Detecting Water Quality Changes Before and After BMP Implementation: Use of SAS for Statistical Analysis , The NCSU Water Quality Group Newsletter, no 23, p. 1-11.
- ¹⁴ SAS Institute Inc. 2004. SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- ¹⁵ Lake Champlain Basin Program. 2005. State of the Lake: Lake Champlain in 2005 – A snapshot for citizens. Grand Isle, VT. <http://www.lcbp.org/lcstate.htm>
- ¹⁶ Hegman, W., D. Wang, and C. Borer. 1999. Estimation of Lake Champlain basinwide nonpoint source phosphorus export. Lake Champlain Basin Program Technical Report No. 31. Grand Isle, VT. http://www.lcbp.org/publication_detail.aspx?id=25