1 Le phosphore, une problématique de portée internationale

1.1 Entente Québec-Vermont sur le phosphore

L'étendue et la situation transfrontalière du lac Champlain lui confèrent une utilisation et une attention particulière par les États du Vermont, de New York et par la Province du Québec, qui se partagent ses eaux pour la navigation, la pêche, les activités nautiques et le tourisme depuis des siècles. La première entente transfrontalière concernant le lac Champlain conclue entre ces états fût le *Traité de partage des eaux limitrophes* signé en 1909 et qui donna naissance à la Commission mixte internationale (CMI) (CMI, 2014b).

Les ententes concernant son état environnemental sont apparues vers la fin du 20^{e} siècle au fur et à mesure que les symptômes de l'occupation humaine se sont fait sentir, notamment par l'inondation des villes riveraines, les fleurs d'eau massives et récurrentes de cyanobactéries (algues bleu-vert), la contamination industrielle, les teneurs en mercure, le contrôle des populations de poissons et le suivi des espèces exotiques envahissantes dans le lac Champlain.

L'utilisation du territoire pour l'agriculture, l'industrie, la villégiature, le transport et autres établissements humains se sont de plus en plus étalé des rives du lac vers les profondeurs du bassin versant. Aujourd'hui, le territoire du bassin versant est habité jusque dans les hauteurs des montagnes, avec le réseau de transport que cela implique. Si la population permanente est relativement peu élevée, la fréquentation saisonnière et touristique du bassin est importante. Les secteurs agricoles du bassin se sont développés suivant les progrès de l'industrie, occupant le sol jusqu'en bordure d'une grande partie des cours d'eau du bassin.

L'*Entente intergouvernementale sur la coopération en matière d'environnement relativement à la gestion du lac Champlain* entre l'État du Vermont et l'État de New York, avec la participation du Québec, a été conclue en 1992. Cette entente établie la concentration cible de phosphore à pour la baie Missisquoi à 0,025 mg/L. Suite à cette entente, le plan d'action *Perspectives d'Action* a été approuvé pour la période s'étalant de 1996 à 2016. La principale priorité de ce plan d'action est la réduction des apports en phosphore vers le lac Champlain, identifié comme étant la principale cause des problématiques vécues. La limite de concentration prévue par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) pour ne pas accélérer l'eutrophisation d'un lac est de 0,020 mg/L. Or, la concentration de 0,025 mg/L a été jugée atteignable pour l'échéancier de 2016, la concentration médiane étant de 0,037 mg/L en 1992.

L'atteinte de cette cible nécessitait un effort concerté entre les gouvernements impliqués, en commençant par le recensement des principales sources et la détermination des charges de phosphore transportées vers la baie Missisquoi.

Un rapport du Groupe de travail Québec – Vermont sur la réduction du phosphore, remis en juin 2000, a ainsi démontré que les charges de phosphore vers la baie Missisquoi s'élevaient à 167,3 tm/an dont 91 % provenait de sources diffuses et 9 % de sources ponctuelles. Il a aussi été déterminé que 60 % des apports de phosphore dans la baie Missisquoi provenait de la portion

américaine du bassin versant et 40 % du Québec (Tableau 1). Cette première estimation était basée sur des données de 1991.

À la lumière de ces données, l'*Entente entre le Gouvernement du Québec et le Gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi* a été signée le 26 août 2002. Cette entente stipule que la réduction du phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi devait permettre d'atteindre en 2016 la charge totale cible de 97,2 tonnes métriques par année. L'entente fixait à 58,3 tm/an la charge cible totale pour les sources situées au Vermont, soit une réduction de 42,8 tm/an. Pour les sources situées au Québec, la charge cible a été établie à 38,9 tm/an, soit une réduction de 27,3 tm/an. Le tableau suivant présente les résultats de ces calculs.

Tableau 1 : Partage des responsabilités et charges cibles pour réduire le phosphore dans la baie Missisquoi selon les charges mesurées en 1991

Charges mesurées en 1991 (tm/an)	Vermont	Québec	Total
Ponctuelles	6,9[a]	8,5[a]	15,4[a]
Diffuses	94,2[b]	57,7[b]	151,9[a]
Totales	**101,1**	**66,2**	**167,3[a]**
Pourcentage du total	60 %	40 %	100 %
Charge cible	58,3	38,9	97,2[a]
Réduction requise pour 2016	**42,8**	**27,3**	**70,1[a]**

[a] Valeur obtenue dans le *Lake Champlain Diagnostic-Feasibility Study* (Vermont DEC et New York State DEC 1997).

[b] Répartition entre le Vermont (62 %) et le Québec (38 %) de la charge globale provenant des sources diffuses selon les données de Hegman *et al.* (1999).

Du côté du Vermont, les charges cibles ont été intégrées dans le *Vermont Lake Champlain Phosphorus Total Maximum Daily Load* (TMDL) qui détaille les charges quotidiennes maximales totales de phosphore par secteur. Ce document a été approuvé par la *Environmental Protection Agency* (EPA) des États-Unis en 2002. Ainsi, les Gouvernements du Vermont et du Québec s'engageaient à atteindre leurs charges cibles respectives pour 2016 selon le cadre élaboré dans le plan d'action *Perspectives d'Action*.

Ce premier portrait des charges de phosphore a également permis d'identifier les principales sources de phosphore du lac Champlain et de la baie Missisquoi. En termes d'apports au lac, même si la contribution de la baie Missisquoi à l'alimentation du lac Champlain ne représente que 15 % de l'apport en eau au lac, sa contribution en termes de charges de phosphore est estimée à 24,1 % des apports totaux vers le lac (LCBP, 2013). Considérant que 13 sous-bassins alimentent le lac Champlain, on peut constater que le bassin versant de la baie Missisquoi constitue de loin la principale source de phosphore vers le lac.

La rivière Missisquoi est de loin la principale source en apport de phosphore vers la baie Missisquoi avec 52,1 % de la charge totale annuelle. Toutefois, elle contribue seulement à 13,7 % au Québec alors qu'au Vermont elle est responsable de 75,9 % des apports de phosphore (Groupe Vt-Qc P, 2000).

La rivière aux Brochets constitue la deuxième source en apport de phosphore dans la baie Missisquoi avec 34,4 % de la charge totale annuelle. Au Québec elle représente cependant la

principale source en phosphore avec 69,2 % de la charge annuelle alors qu'au Vermont elle contribue à 12,9 %.

La rivière de la Roche quant à elle est responsable de 11,7 % des charges et le drainage direct à la baie (sous-bassin de la baie Missisquoi) a une contribution évaluée à 1,8 %.

Alors que l'agriculture occupe 26 % de la superficie totale du bassin versant, elle contribue à 80 % des charges totales de phosphore. Le tableau 2 présente la répartition des charges diffuses de phosphore de 1991 par sous-bassin pour le Québec et le Vermont et la Figure 1 présente les sources par utilisation du sol au Québec.

Tableau 2 : Répartition des charges diffuses de phosphore par sous-bassin en 1991 (Source : Groupe Vt-Qc P, 2000)

Sous-bassin	Québec tm/an				Vermont tm/an				Total tm/an
	Forestier	Agricole	Urbain	Total	Forestier	Agricole	Urbain	Total	
Rivière Missisquoi	1,5	1,2	4,5	7,7	2,9	53,9	12,4	69,2	76,9
				13,7%				75,9%	52,1%
Rivière aux Brochets	0,7	33,9	4,4	39,0	0,1	10,8	0,8	11,8	50,8
				69,2%				12,9%	34,4%
Rivière de la Roche	0,1	6,5	0,5	7,1	0,1	9,3	0,8	10,1	17,2
				12,6%				11,1%	11,7%
Drainage direct à la Baie	0,0	1,5	1,0	2,5	0,0	0,0	0,1	0,1	2,6
				4,4%				0,0%	1,8%
Total	2,3	43,2	10,7	56,3	3,1	74,1	14,1	91,2	**147,5**
	4,1%	76,7%	19,0%	100,0%	3,4%	81,2%	15,5%	100,0%	VT 62 %
									QC 38 %

Source : Rapport du MENV, données de Hegman et al. 1999

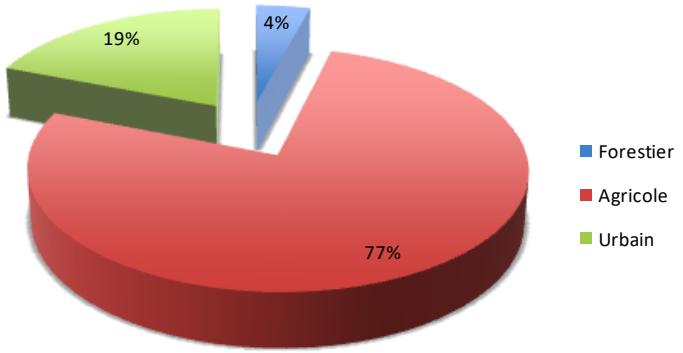

Figure 1 : Principales sources diffuses des charges de phosphore vers la baie Missisquoi selon l'utilisation du sol au Québec (1991)

Par ailleurs, le rapport du Groupe de travail Vermont-Québec sur la réduction du phosphore affirme que le cycle interne du phosphore dans la baie Missisquoi n'avait pas été pris en compte dans le calcul des charges et des concentrations cibles. Considérant l'importance du phosphore contenu dans les sédiments de la baie, il est reconnu que l'atteinte des charges ne permettra pas l'atteinte de la concentration cible avant plusieurs années, voire des décennies (Groupe Vt-Qc P, 2000).

1.2 Suivi des charges de phosphore

Pour effectuer le suivi des principales sources de phosphore, le MDDELCC a mis en place 10 stations d'échantillonnage dans le bassin versant depuis 1999. Pour calculer plus précisément la charge annuelle de phosphore, 20 échantillons de phosphore sont prélevés par année à chaque site d'échantillonnage. En plus des douze échantillons mensuels réguliers, le MDDELCC prélève huit échantillons additionnels au printemps et à l'automne lorsque le débit des cours d'eau est élevé (Mimeault et Simoneau, 2010).

Plusieurs études ont également été réalisées afin de dresser le portrait et l'évolution des charges de phosphore dans les portions québécoises et vermontaises du bassin versant.

Publiée en 2007 par la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE), une première étude a révélé que les concentrations en phosphore dans la rivière aux Brochets affichaient une tendance à la baisse statistiquement significative entre 1979 et 2004 (Simoneau, 2007). Cette baisse, estimée à environ 25 kg P/jour (22 %), correspond aux réductions liées à l'assainissement des eaux usées d'origines urbaines et industrielles. En effet, des investissements importants ont été consacrés aux sources de pollution ponctuelle entre 1992 et 2012 (voir Actions réalisées). Aujourd'hui tous les réseaux d'égouts du bassin sont raccordés à une station d'épuration. Or les charges de phosphore de la rivière aux Brochets n'auraient, quant à elle, pas connu de baisse significative, celles-ci étant maintenues par l'augmentation des débits moyens et le fait que les sources diffuses, qui constituent environ 95 % du phosphore, sont demeurées inchangées durant cette période.

Publiée en 2008 par le Groupe de travail Vermont-Québec sur la réduction du phosphore, une seconde étude a pris en compte les données de 2002 à 2005 afin d'évaluer l'évolution des charges de phosphore en provenance des sous-bassins du Québec et du Vermont (Simoneau et Smeltzer, 2008). Cette étude démontre qu'il y a eu une augmentation de la charge de phosphore en 2002-2005 comparativement à 1991, année de référence pour l'entente de réduction du phosphore Québec-Vermont. Cette augmentation est de 66,2 tm/an à 69,5 tm/an pour le Québec et de 101,1 à 118,4 pour le Vermont (Tableau 3). La charge totale mesurée démontre une augmentation de 13 % par rapport à 1991 soit 187,9 tm/an pour 2002-2005 comparativement à 167,3 pour 1991.

Tableau 3 : Évolution des charges de phosphore 1991-2005

Charge (tm/an)	1991	2005	Différence	Cible 2016	Écart avec la cible
Québec	66,2	69,5	3,3	38,9	30,6
Vermont	101,1	118,4	17,3	58,3	60,1
Total	**167,3**	**187,9**	**20,6**	**97,2**	**90,7**

Source : Simoneau et Smeltzer, 2008

Durant cette période, le sous-bassin de la rivière Missisquoi, mesuré à son embouchure au Vermont, a généré la plus forte charge de phosphore avec 88,8 tm/année. Il est suivi du sous-bassin de la rivière aux Brochets avec 32,8 tm/année et du sous-bassin de la rivière Missisquoi

Nord avec 21,9 tm/année (Simoneau et Smeltzer, 2008). Ces augmentations seraient reliées à l'augmentation importante des débits des rivières. Toutefois, le sous-bassin de la rivière Missisquoi Nord utilisé pour ces calculs inclut le ruisseau Mud au Vermont et le ruisseau Brûlé au Québec ainsi que la portion québécoise de la rivière Missisquoi. La charge obtenue est donc beaucoup plus élevée que celle émise par le seul sous-bassin versant de la rivière Missisquoi Nord.

Bien que les charges de phosphore les plus importantes provenaient des sous-bassins des rivières Missisquoi et aux Brochets, les taux d'exportation les plus importants, soit les quantités de phosphore exportées par hectares par année, étaient ceux des ruisseaux au Castor, Ewing et de la portion vermontaise de la rivière de la Roche (Tableau 4).

Tableau 4 : Charges et taux d'exportation de phosphore par sous-bassin 2002-2005

Sous-bassin	Charge (tm/an)	Taux d'exportation (kg/ha/an)
Upper Missisquoi VT	18,3	0,495
Missisquoi Nord[1]	21,9	0,386
Sutton	8,2	0,548
Lower Missisquoi VT	88,8	0,797
Pike VT	4,1	0,415
Brochets QC	32,8	0,662
Ewing	3,7	1,200
Castor	1,7	1,566
Rock VT	7,2	1,015
Roche QC	1,2	0,441

1 Inclut les ruisseaux Mud et Brûlé et la riv. Missisquoi (Qc)

Source : Simoneau et Smeltzer, 2008

Durant cette période, les rejets d'eaux usées municipales n'ont constitué qu'une faible source de phosphore dans la baie Missisquoi ne représentant 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 (Simoneau et Smeltzer, 2008).

Néanmoins, malgré une augmentation réelle des charges, l'analyse comparative des relations concentration-débit des résultats de la période 2001-2005 avec ceux de la période de référence 1990-1992 démontrait une baisse importante des concentrations de phosphore pour la plage des faibles débits (< 100 hm^3/an), ce qui reflète l'effet des interventions d'assainissements urbain et industriel et une baisse significative pour la plage des débits élevés (≥ 100 hm^3/an), ce qui suggère une amélioration associée à l'assainissement agricole (Idem).

Publiée en 2009 par le Lake Champlain Basin Program (LCBP) en collaboration avec le MDDELCC, une étude fait ressortir les tendances observées au cours de la période 1990-2008 pour le lac Champlain et ses principaux tributaires. Selon cette étude, les charges de phosphore de la

rivière Missisquoi, calculées par bloc de deux ans, seraient demeurées stables (Smeltzer *et al.*, 2009). Les charges de la rivière aux Brochets auraient connu une très légère tendance à la baisse, considérée peu significative. Dans les deux cas, les charges auraient connu une diminution entre 1990 et 2000 pour ensuite remonter entre 2000 et 2008, suivant l'augmentation des débits moyens au cours de cette période. Les charges totales de phosphore déversées dans la baie Missisquoi demeurent en 2008 beaucoup plus élevées que la cible, soit de 200 tm/an en moyenne depuis 2001 (Smeltzer *et al.*, 2009). En dépit des améliorations notées suite aux actions réalisées dans ces deux sous-bassins, la qualité de l'eau des deux rivières demeure tributaire des apports de phosphore de sources diffuses, comme en témoigne la hausse des charges qui épouse la hausse des débits moyens des cours d'eau (Mimeault et Simoneau, 2010).

D'ailleurs, en 2011 la *Environmental Protection Agency* (EPA), suite à une poursuite de l'organisme *Conservation Law Foundation* du Vermont, invalidait le *Vermont Lake Champlain Phosphorus TMDL* qui établissait en 2002 les charges maximales admissibles de phosphore (EPA, 2011). L'EPA a jugé que le TMDL de 2002 était insuffisant pour atteindre les exigences du *Clean Water Act* ce qui a forcé l'État du Vermont à refaire une analyse et un nouveau TMDL pour le lac Champlain, en collaboration avec l'EPA.

Les plus récentes données publiées sur les charges de phosphore émises par les principaux tributaires du lac Champlain proviennent de l'analyse du *United States Geological Survey (USGS)* en 2014 (Medalie, 2014). Portant sur les données recueillies de 1990 à 2012, l'analyse estime les charges de phosphore actuelles ainsi que pondérées par le débit (*flow normalized*). Pour la rivière Missisquoi, la charge actuelle en 2012 est estimée à 104 tonnes métriques/an alors que la charge pondérée par le débit est de 174 tm/an. Pour la rivière aux Brochets, la charge actuelle en 2012 est estimée à 23,9 tonnes métriques/an alors que la charge pondérée par le débit est de 56,3 tm/an (Idem). Pour ces deux rivières, les charges annuelles actuelles estimées sont plus faibles qu'en 2008. Or, ces mêmes valeurs pondérées par le débit indiquent que les charges annuelles de phosphore total ont augmenté par rapport aux données de 2008.

1.2.1 Études spécifiques réalisées au Québec

Les sources ponctuelles de phosphore (industries, usines d'épuration, campings, municipalités non raccordées) dans le bassin sont relativement bien connues et contrôlées. De plus, les charges de ces sources ponctuelles ne représentent qu'environ 3 à 5 % des charges de phosphore total du Québec dans la baie Missisquoi (CMI, 2012). Il devenait donc impératif de se pencher sur les sources diffuses de phosphore, principalement d'origine agricole. Ainsi, des analyses sur les bassins agricoles ont été réalisées suivant des méthodes très précises élaborées, par exemple, à partir de systèmes de détection satellitaires capables de générer des cartes topographiques de parcelles agricoles d'une résolution spatiale très fine.

Un projet d'envergure réalisé par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et le CARTEL de l'Université de Sherbrooke a été d'une grande importance pour le bassin versant de la baie Missisquoi et sert d'exemple pour les autres bassins versants. Cette étude a permis d'adapter le logiciel de modélisation américain SWAT aux

conditions météorologiques du Québec afin de déterminer de façon plus précise les exportations de phosphore et de matières en suspension dans l'ensemble du sous-bassin versant de la rivière aux Brochets. Cette étude se base sur des données satellites et des données de terrains exhaustives. L'unité de base des calculs est l'unité de réponse hydrologique (*hydrologic response unit*) caractérisée par un type de sol et une occupation du sol homogènes (Michaud *et al.*, 2006). Le modèle estime les flux d'eau, d'éléments nutritifs des plantes, de produits phytosanitaires et de sédiments dans différents compartiments hydrologiques, c'est-à-dire à la surface du sol, dans la zone des racines, dans la nappe d'eau souterraine et dans les cours d'eau. Il permet de calculer les flux entrants et sortants et d'établir les charges précises en fonction des utilisations du sol. Les résultats sont présentés au tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Charges de phosphore (sources diffuses) exportées par la rivière aux Brochets selon l'utilisation du sol (2001 à 2003) (Source : Gangbazo *et al.*, 2006)

Utilisation du sol	Superficie		Charges de phosphore		
	ha	%[1]	kg	%[2]	kg/ha
Prairie pâturage	14185	22,4	5528	11,9	0,39
Verger, vignoble	1127	1,77	100	0,22	0,09
Maïs	12400	19,6	30700	65,4	2,47
Cultures maraîchères	19	0,02	20	0	1,02
Céréales	4423	6,98	3300	7,03	0,74
Soya	1557	2,44	1748	3,73	1,12
Forêt	25530	40,3	414	0,89	0,02
Milieu humides	1476	2,33			
Eau	2	0			
Zone urbaine	2642	4,16	5164	11,1	1,95
Total	63361	100	46974	100	0,74

[1] Pourcentage calculé par rapport à la superficie totale du bassin versant

[2] Pourcentage calculé par rapport à la charge totale exportée par la rivière

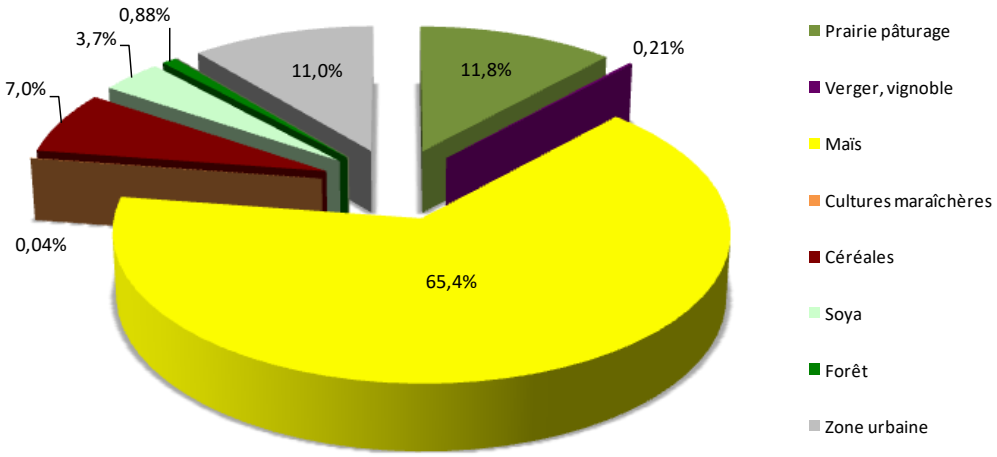

Figure 2 : Principales sources diffuses de phosphore selon l'utilisation du sol dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets (2001-2003)

Les résultats de cette modélisation confirment que l'agriculture est de loin la principale source de phosphore dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets, notamment les cultures annuelles à grands interlignes (maïs, soya, légumes, etc.) qui n'occupent que 22 % du territoire, mais

contribuent à 69 % de la charge de phosphore. De manière plus spécifique, les secteurs critiques ayant été identifiés dans cette étude, il a été déterminé que moins de 10 % de la superficie du bassin versant de la rivière aux Brochets était responsable pour plus de 50 % de la charge de phosphore (Michaud *et al.*, 2006). Les zones critiques sont typiquement associées à d'importantes lames d'eau ruisselées, des taux élevés d'érosion ou à un enrichissement important de la couche arable en phosphore.

Une autre étude portant spécifiquement sur le sous-bassin de la rivière aux Brochets, qui constitue la plus importante source des charges de phosphore dans la portion québécoise du bassin, a établi la capacité de support du sous-bassin, soit le taux maximal d'utilisation du sol par une activité fortement génératrice de phosphore que peut supporter le sous-bassin sans dépasser le critère de concentration de phosphore (0,03 mg/l) à l'embouchure (Gangbazo, Roy et Le Page, 2005). La capacité de support – exprimée par la somme des cultures à grand interligne (GI) et des cultures à interligne étroit (IE) qui permet de respecter le critère de concentration de phosphore pour la prévention de l'eutrophisation (0,030 mg/L) – est de l'ordre de 5 %. Par conséquent, la capacité de support est déjà dépassée dans le bassin versant de la rivière aux Brochets avec un pourcentage de GI et IE de 15,8 % au moment de l'étude, comparé à celui de la rivière Yamaska de 34,2 % et celui du Richelieu avec 51,4 %. Malgré ce fait, la réduction des activités agricoles pour atteindre le 5 % dans le bassin versant de la rivière aux Brochets serait difficilement envisageable. Le modèle utilise donc un autre critère, soit celui de la charge totale maximale qui permettrait de respecter le critère de concentration de phosphore de 0,030 mg/L à l'embouchure. Pour la rivière aux Brochets cette capacité de support en phosphore par la charge totale serait de 7,20 tm/année.

Il est à noter que cette étude a été utilisée dans le *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA) afin de déterminer les bassins versants dégradés sur lesquels les augmentations de superficies en culture ne sont plus permises, sauf pour des cas exceptionnels évalués par le MDDELCC.

En 2010, des chercheurs de l'université McGill ont observé que les périodes de la fonte des neiges et celle d'après les récoltes, où les sols sont laissés nus et vulnérables au ruissellement, contribuaient à elles seules à 82 % de la quantité de phosphore rejetée annuellement par la rivière aux Brochets vers la baie Missisquoi *(*Adhikari, Madramootoo et Sarangi, 2010). L'étude conclut également que 60 % des charges vers la baie sont générées sur une période équivalente à seulement 20 % d'une année hydrologique (75 jours).

Grâce à ces études, les secteurs de la portion québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi générant les plus importantes charges de phosphore, de nitrates et de matières en suspension sont relativement bien connus.

1.2.2 Études spécifiques réalisées au Vermont

Du côté du Vermont, plusieurs études importantes ont été réalisées depuis 2008 afin de cibler les secteurs et usages générant les plus importantes sources de phosphore dans la portion vermontaise du bassin versant de la baie Missisquoi.

L'étude publiée en 2011 par la firme *Stone Environmental Inc.*, à partir de données LIDAR (modèles numériques d'altitudes de très haute résolution) couvrant la portion vermontaise du sous-bassin de la rivière Missisquoi, a permis de cibler les principales sources diffuses de phosphore et des les répartir entre les zones terrestres (terres agricoles, terrains résidentiels, routes, etc.) et les berges des cours d'eau (Winchell *et al.*, 2011). Selon cette étude, environ 40 % des charges de phosphore proviendraient des berges des cours d'eau et 60 % des zones terrestres (upland sources), dont 38 % des terres agricoles, 18 % des terres non aménagées (forestier, autres) et 4 % des terres aménagées (terrains résidentiels et routes) (Figure 3).

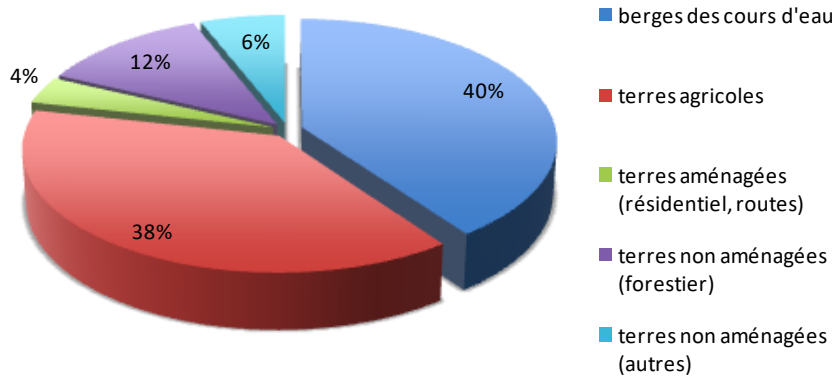

Figure 3 : Sources diffuses des charges de phosphore au Vermont (Source : Winchell *et al.*, 2011)

Les zones forestières ont les plus faibles taux d'exportation de phosphore (0,14 kg/ha/an), cependant, puisqu'elles occupent la plus grande partie de la zone d'étude, elles constituent la troisième plus importante source.

Parmi les terres agricoles, 20 % de celles-ci (surtout des cultures à grands interlignes) sont responsables de 74 % du total des charges de phosphore exportées par les zones sèches dans la zone d'étude. Les facteurs aggravants étant la fertilisation accrue, les sols non couverts entre les rangs, les pentes et la proximité des cours d'eau. Le phosphore issu des terres cultivées est surtout particulaire (85-90 %) alors que le phosphore issu des prairies agricoles (foins et pâturages) est surtout soluble (66-72 %).

La portion vermontaise du sous-bassin de la rivière de la Roche aurait le plus important taux d'exportation de la zone d'étude, soit 0,81 kg/ha/an. Le sous-bassin du ruisseau Mud, dont l'embouchure dans la rivière Missisquoi se trouve au Québec (ruisseau Brûlé), a le 2^{e} plus important taux d'exportation avec 0,64 kg/ha/an, suivi de la portion vermontaise du sous-bassin de la rivière aux Brochets (0,58 kg/ha/an).

Notez que l'importance de l'apport des berges érodées est principalement due au fait que ces berges sont en grande partie situées en territoire agricole où les sols sont fertilisés et riches en phosphore.

Une analyse des zones de sources critiques d'exportation de phosphore de la portion vermontaise du sous-bassin de la rivière de la Roche démontre que 24 % du sous-bassin avait un

taux d'exportation de 1,4 kg/ha/an et constituait 80 % de la charge totale de phosphore (Ghebremichael et Watzin, 2010).

Selon cette étude, les facteurs aggravants les pertes de phosphore sont l'absence de couverture végétale, les types de sols, les pentes et la disponibilité en phosphore. À l'échelle de la ferme, les facteurs aggravants sont la suralimentation en compléments de minéraux phosphorés et la faible productivité des cultures locales (dont les grandes pâtures libres) combinées à l'utilisation moindre des cultures locales dans les régimes alimentaires des animaux et l'emploi accru de protéines achetées et de compléments énergétiques pour répondre aux exigences relatives à la croissance et à la production du bétail (lait, viande et autres) (CMI, 2012).

1.1 Causes

Le phosphore est un élément nutritif naturellement présent dans le sol, nécessaire à la croissance des plantes aquatiques, algues et cyanobactéries. Il est considéré comme l'élément nutritif le plus limitant, c'est-à-dire qu'il est indispensable à la croissance des végétaux et des cyanobactéries, mais que sa disponibilité naturelle est limitée. L'absence de cet élément en quantité suffisante limite donc la croissance excessive des herbiers aquatiques et la prolifération des cyanobactéries.

On distingue le phosphore particulaire du phosphore soluble. Le phosphore particulaire est lié aux sédiments et donc moins biodisponible pour les végétaux. Le phosphore soluble, présent notamment dans les déjections animales et humaines, les produits d'entretien ménager et les engrais minéraux, est facilement assimilable et contribue donc davantage à la croissance des algues et autres végétaux (CMI, 2012).

Le phosphore total est la somme des concentrations en phosphore particulaire et en phosphore soluble.

La charge d'une rivière en phosphore est la quantité globale de cet élément transportée par la rivière. La charge correspond ainsi à la concentration (quantité/volume) d'un élément multiplié par le débit d'eau dans le cours d'eau (volume/temps). Si la concentration des eaux est un indicateur de la qualité instantanée du milieu aquatique, la charge (quantité/temps) est une mesure reliée au volume d'eau et au temps, ce qui permet d'évaluer l'impact cumulatif vers l'aval du cours d'eau (Gangbazo et Le Page, 2005).

1.1.1 Sources diffuses

Les sources de pollution sont dites « diffuses » lorsqu'elles sont réparties à travers le territoire et donc plus difficiles à localiser et contrôler. Le ruissellement des eaux pluviales et l'érosion des sols entraînent les contaminants vers les cours d'eau. Le ruissellement survient lorsque la l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration et la capacité de rétention de la surface du sol. Ces processus naturels sont accentués par certaines activités anthropiques.

Secteur agricole

Le secteur agricole est la principale source des charges en phosphore d'origines diffuses.

Grâce aux projets menés par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et la Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière aux Brochets (CSBVRAB) dans le sous-bassin du ruisseau au Castor, tributaire de la rivière aux Brochets, la dynamique du phosphore est mieux connue. Ils ont démontré la perte du phosphore est surtout due au ruissellement de surface qui arrache les particules de sol (Michaud, 1999). Le phosphore serait peu mobile dans le sol. Une partie du phosphore se dissout dans l'eau, mais la majeure partie demeure sous forme particulaire puisque le phosphore s'accroche aux particules de sol. Les sols nus représenteraient donc la source la plus importante de phosphore au cours d'eau suite au ruissellement de surface. Par exemple, entre 50 % et 90 % du phosphore exporté des champs en maïs est lié aux sédiments des sols (Poirier *et al.*, 2009).

Les travaux de recherche de l'IRDA sur l'effet de l'utilisation du sol, des types de sols, des cultures de protection et de l'épandage de fumier sur l'exportation du phosphore ont démontré que le type de sol est responsable de 70 % de la variabilité de l'exportation du phosphore total alors que l'épandage du fumier compte pour 35 % (Michaud et Laverdière, 2004). Les types de cultures ont également un impact important.

L'étude des liens entre la concentration de phosphore et les activités agricoles a démontré que la corrélation est plus forte avec les cultures à grand interligne, parce que le sol est davantage dénudé entre les rangs que pour les cultures à interlignes étroits. Il y a encore moins de corrélation avec les cultures pérennes et une corrélation inverse avec les forêts. La corrélation est faible avec le nombre d'unités animales parce que la charge de phosphore est liée aux superficies en culture (épandages d'engrais minéraux, de lisiers et de fumiers) et non pas à la quantité de fumier et de lisier produit (Gangbazo, Roy et Le Page, 2005).

Or, les pertes de phosphore des cultures annuelles sont généralement de type particulaires (liées aux particules de sol), donc moins biodisponibles, alors que les pertes de phosphore qui proviendraient de déjections animales épandues sur une prairie, seraient surtout de type soluble, car non liées à des particules de sol, ayant donc un impact accru en tant qu'élément nutritif (CMI, 2012). Les charges en phosphore soluble en provenance des cultures pérennes seraient cependant moins élevées, leur lessivage étant limité par la végétation dense et permanente.

De surcroît, un sol ayant déjà subi de l'érosion est plus facilement dégradable que le sol à l'état naturel, en raison de sa structure détériorée et de sa teneur réduite en matière organique. De plus, un sol érodé nécessiterait davantage de fertilisants pour assurer un bon rendement.

Les drains agricoles souterrains peuvent, dans certains cas, aider à réduire le ruissellement de surface en limitant le potentiel de saturation en eau du sol augmentant ainsi le potentiel d'infiltration de l'eau dans la couche superficielle. Ils permettent aussi d'augmenter la productivité des terres en accélérant leur assèchement. Or, certains types d'avaloirs constituent des voies privilégiées pour les eaux de ruissellement chargées en phosphore et sédiments en accélérant le drainage de surface sans filtration ou rétention par la végétation riveraine ou une surface rugueuse de dimension suffisante.

Des études ont été menées, notamment dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets, pour évaluer la mobilité du phosphore dans le drainage souterrain agricole. Il a été observé que le drainage souterrain constituait le principal exutoire avec environ 80 % des exportations totales en eau et que jusqu'à 40 % des pertes de phosphore étaient exportées par les drains souterrains. Or, le ruissellement de surface contribuait tout de même à la majorité (60 %) des pertes en phosphore, puisque le phosphore était en moyenne 10 fois plus concentré dans les eaux du ruissellement de surface que dans les drains (Jamieson *et al.*, 2003; Enright et Madramootoo, 2004). La réduction du temps de percolation de l'eau dans le sol avant d'être drainé fait en sorte que les concentrations en phosphore dans l'eau des drains sont généralement supérieures aux eaux souterraines naturelles. Ces résultats s'expliquent par la présence probable d'écoulement hydraulique préférentiel (effet produit par les macropores et fentes) dans les sols par opposition à l'écoulement hydraulique matriciel (effet éponge).

De plus, les apports en sédiments et autres charges nutritives en provenance des terres agricoles sont amplifiés par les nombreux fossés de drainage qui, au lieu de favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, accélèrent le mouvement de l'eau et le transport des charges vers les cours d'eau. Il a été observé que la haute densité de cours d'eau aménagés à des fins agricoles, de même que le cadastre allongé et étroit des terres, généralement dans le sens du gradient topographique, fait en sorte que la majeure partie du parcellaire en culture ne s'égoutte pas vers les rives de cours d'eau municipaux, mais se concentre plutôt vers le réseau de fossés (Michaud *et al.*, 2005).

Or, il a été démontré que les bandes riveraines sont souvent insuffisantes en bordure des fossés et cours d'eau, notamment dans les secteurs en pente. En effet, malgré une règlementation de base qui exige une distance séparatrice de trois mètres à partir de la ligne des hautes eaux ou d'un mètre sur le dessus du talus, il est fréquent de voir des cultures en bordure de talus et les municipalités tardent à faire appliquer la règlementation en vigueur. Il est par ailleurs reconnu qu'une bande riveraine de 1 m ou même 3 m est dans est généralement insuffisante pour filtrer efficacement les sédiments et éléments nutritifs des les eaux de ruissellement. Par exemple, une étude sur le phénomène a conclu qu'une bande riveraine herbacée de 12 m de largeur était nécessaire pour freiner le phosphore particulaire sur une pente de 5 % (Michaud & Dorioz, 2014).

Selon une étude portant sur les problèmes d'application de la *Politique de protection des rives, du littoral des plaines inondables* au niveau municipal, le principal obstacle rapporté par les inspecteurs municipaux est la difficulté, voire l'impossibilité, d'effectuer des inspections adéquates sur le nombre souvent élevé de bandes riveraines longeant les cours d'eau, fossés et lacs présents sur leurs territoires. Les activités les plus difficiles à assurer sont la délimitation de la bande riveraine, la protection de la végétation et l'attribution de permis pour la stabilisation (D'Auteuil, XXX).

Par ailleurs, d'importantes sources de phosphore en milieu agricole sont liées aux activités d'élevage d'animaux. D'autant plus que le phosphore dans les déjections animales est particulièrement soluble. Les pratiques de gestion des déjections animales sont un des facteurs

important dans la dynamique du phosphore en milieu agricole et les sources liées à ces activités peuvent être ponctuelles (stockage non adéquat, amas au champ, cours d'exercice, etc.) ou diffuses (surfertilisation, pratiques culturales conventionnelles, épandage d'automne, équipement ou technique d'épandage inadéquats, etc.).

D'ailleurs, l'essor de la production porcine au Québec aurait été lié à l'augmentation des cultures de maïs, nécessaires à l'écoulement des déjections animales, ce qui aurait eu comme conséquence la saturation en phosphore des sols de plusieurs régions (CMI, 2012). Les capacités de support de plusieurs bassins versants auraient donc été dépassées, augmentant la vulnérabilité des sols aux pertes de phosphore.

D'autres facteurs contribuant aux apports excessifs en phosphore sont l'utilisation de grains enrichis aux éléments nutritifs et l'utilisation d'engrais pour la réduction de l'ensilage (CMI, 2012).

Secteur urbain (résidences, chantiers, routes)

Plusieurs sources diffuses de phosphore se trouvent dans les secteurs urbanisés.

Les surfaces végétalisées diminuent l'intensité avec laquelle les gouttes de pluie tombent sur le sol et augmentent l'infiltration de l'eau. Les surfaces défrichées et mises en chantier, en retirant la végétation protectrice, mettent les sols à nu et constituent d'importants foyers d'érosion et sources de charges en phosphore. D'importants ravinements et autres traces sévères de ruissellement peuvent souvent être observés en bordure des chantiers, notamment dans les secteurs montagneux.

La fertilisation des pelouses peut également constituer une importante source de phosphore lorsque les précipitations lessivent les nutriments appliqués vers les cours d'eau. Les terrains de golf utilisent des quantités importantes de fertilisants, les superficies couvertes étant particulièrement étendues. Ce type d'engrais étant généralement constitué de nutriments minéraux solubles, facilement assimilables par les végétaux, leur impact dans les milieux aquatiques est d'autant plus important.

Les routes non pavées constituent une source potentiellement très importante en charges de sédiments et de phosphore. Les surfaces de graviers, sables et terre sont des sols nus (sans couverture végétale) particulièrement vulnérables à l'érosion, notamment dans les secteurs en pentes fortes.

Selon une étude de l'Université du Vermont qui tentait de quantifier l'apport en contaminant (sédiments et phosphore) en provenance des routes non pavées vers les cours d'eau, on estime à environ 5 000 kg/km/année de sédiments et environ 10 kg/km/année de phosphore, l'apport en contaminants dus à l'érosion des routes non pavées (Wemple, 2013). Cette étude a été effectuée dans un secteur s'apparentant au sous-bassin de la rivière Missisquoi et à la portion Est du sous-bassin de la rivière aux Brochets où on retrouve un nombre important de routes non pavées, souvent avec de fortes pentes, qui croisent plusieurs cours d'eau.

De plus, les fossés de drainage qui longent les routes constituent de véritables sources et vecteurs de transport d'importantes charges de sédiments et autres contaminants. Ceux-ci transportent autant les sédiments provenant des routes érodées que les abrasifs appliqués en hiver. Les fossés eux-mêmes sont érodés, particulièrement dans les secteurs montagneux où les pentes sont abruptes, libérant à leur tour des charges de sédiments et éléments nutritifs lesquels sont directement acheminés vers les cours d'eau et les lacs.

Érosion des berges

Tel que mentionné dans l'étude sur les sources de phosphore au Vermont (section 1.2.2), l'érosion des berges des cours d'eau et des plans d'eau constitue une source potentiellement très importante de phosphore.

La description de ce phénomène, ses causes et ses conséquences sont élaborées au chapitre 5 portant spécifiquement sur l'érosion des berges.

1.1.2 Sources ponctuelles

Les rejets d'eaux usées constituent la principale source de phosphore d'origine ponctuelle. Les sources ponctuelles (industries, usines d'épuration, campings, municipalités non raccordées) dans le bassin sont connues et relativement bien contrôlées, les stations d'épuration municipales et les eaux usées des industries, commerces et institutions font l'objet d'une surveillance régulière par le MDDELCC et le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du Territoire (MAMOT) pour vérifier l'efficacité du traitement.

Or, certains problèmes liés aux rejets d'eaux usées persistent dans le bassin. Il est estimé que chaque personne génère en moyenne 1,6 g de phosphore par jour (Watzin, 2005). Le traitement adéquat des eaux usées constitue donc un élément essentiel dans le contrôle des charges de phosphore.

Stations d'épuration

Les stations d'épuration des eaux usées, malgré la présence de traitements et de normes à respecter, rejettent tout de même dans leurs eaux traitées dans quantités considérables de phosphore. Chaque station a une norme à respecter, mais l'effet cumulatif des rejets de plusieurs stations dans un même cours d'eau peut avoir un impact considérable sur les charges reçues à l'embouchure.

Ouvrages de surverse

Les ouvrages de surverse constituent également une source potentiellement importante en phosphore. En effet, lorsque les réseaux d'égouts et les systèmes de traitement reçoivent une trop grande quantité d'eau en même temps, les ouvrages de surverse servent à rejeter les surplus d'eaux usées non traitées directement dans les cours d'eau.

Certains facteurs contribuent à l'augmentation de la fréquence des débordements. Le principal facteur causant les débordements en temps de pluie est lorsque les égouts pluviaux et les égouts sanitaires empruntent la même canalisation (égout unitaire). Le raccord des gouttières

aux égouts contribue également au problème. De plus, les territoires développés (routes, stationnements, toits, gazon, etc.) constituent des surfaces imperméables qui augmentent le mouvement de l'eau et la vitesse à laquelle les précipitations rejoignent les cours d'eau. Ceci peut provoquer des surcharges dans les égouts et des débordements d'eaux usées non traitées par les ouvrages de surverse municipaux.

Les ouvrages de surverse font l'objet d'un certain suivi par les opérateurs des stations d'épuration qui doivent déclarer l'occurrence, la durée et la raison de tous les débordements. Or, en attendant l'automatisation du suivi des ouvrages de surverse, il semblerait qu'au Québec tous les débordements ne soient pas nécessairement rapportés au MAMOT (Radio-Canada, 2013). Notez qu'à partir de 2014 les débordements d'ouvrages de surverse en période de crue ne sont plus compilés dans la base de données du *Suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux* (SOMAE). En effet, le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* (ROMEAU), entré en vigueur en 2014, n'exige que la déclaration des débordements par temps sec, interdits par la loi. Le suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées relevait auparavant du MAMOT, du fait que c'est par lui que transitaient les fonds provinciaux pour soutenir les investissements municipaux. En 2014 cette responsabilité a été transférée au MDDELC. Comme ce dernier limite maintenant les suivis aux seules infractions réglementaires, il faut maintenant s'en remettre au bon vouloir des instances municipales afin de connaître les fréquences totales de débordements, incluant ceux causés par de fortes pluies (Larochelle, 2015).

Installations septiques

La majorité de la population du bassin versant a recours à une installation septique pour le traitement de ses eaux usées. Plusieurs établissements touristiques tels les campings acheminent aussi leurs eaux usées vers ce type de traitement. Or, une seule installation septique défectueuse peut contribuer de façon significative aux charges de phosphore dans les eaux de surface. D'autant plus qu'un nombre important d'installations septiques sont installées à proximité des cours d'eau et lacs du bassin, voire même directement dans les plaines inondables.

Secteur industriel

Certaines industries constituent également des sources potentiellement importantes d'apports en charges de phosphore vers le bassin. Par exemple, les rejets des eaux de lavage d'aliments, les eaux usées d'un abattoir ou d'une crèmerie ou le lixiviat provenant des sites d'enfouissement. Or, tel que mentionné dans le Portrait, les données sur leurs rejets sont toutefois peu documentées ou inconnues et dépendent souvent de déclarations volontaires à des registres.

1.1.3 Le pont Alburg-Swanton – une perception erronée

Le pont Alburg-Swanton est situé au Vermont à l'exutoire de la baie Missisquoi. Ce pont a été construit sur un remblai de 1 180 m ne laissant qu'une ouverture d'une longueur de 170 m pour l'écoulement des eaux de la baie. Cette présumée obstruction à l'écoulement de l'eau été

perçue par plusieurs comme étant la principale cause de l'accumulation du phosphore et des problèmes de cyanobactéries dans la baie. Or, selon le rapport du groupe scientifique mandaté par la Commission Mixte Internationale (CMI), le pont-jetée ne limitait pas l'écoulement de l'eau entre la baie et le bras Nord-Est du lac (CMI, 2005). D'après les modèles hydrodynamiques les plus poussés et les analyses d'experts techniques, il n'y avait pas d'impacts significatifs sur les niveaux et débits d'eau au Canada. Le pont-jetée ne faisait donc pas fonction de barrage, et il ne restreignait pas la circulation de l'eau entre la baie Missisquoi et le reste du lac Champlain. Il constituait simplement un obstacle que l'eau devait contourner (Idem). La présence de la jetée causait une augmentation de 1 % de la concentration de phosphore (moyenne pour l'ensemble de la baie) et du taux de sédimentation (fractions fines seulement) dans la baie Missisquoi (Idem).

La CMI avait néanmoins recommandé l'enlèvement du remblai dans son rapport final en 2005 puisque selon elle : « …la majorité des résidents de la région croient que le pont-jetée est une des principales causes des problèmes de pollution de la baie. En fait, ces résidents y croient si fermement que la Commission est d'avis que tant que le pont-jetée restera en place, les collectivités locales ne prendront pas les mesures nécessaires pour réduire les apports de phosphore dans la baie » (Idem). Une section de 100 m du remblai a donc finalement été retirée en 2007 au moment de la construction du nouveau pont, en prenant soin de ne pas nuire à l'habitat de la tortue-molle à épines, une espèce désignée « menacée » qui occupe ce milieu.

1.1.4 Impacts des changements climatiques

Il a été démontré dans le Portrait qu'il y a augmentation des précipitations totales et des débits des cours d'eau du bassin. On prévoit également une augmentation de l'intensité des pluies et de l'occurrence d'événements climatiques extrêmes. Ces changements climatiques ont déjà et auront un impact accru sur les charges de phosphore portées par les cours d'eau.

Par exemple, il a été mentionné que les charges de phosphore vers la baie Missisquoi avaient augmenté de 13 % entre 1991 et 2005. Or, l'augmentation importante des charges de phosphore entre 1991 et 2005 serait en grande partie due à l'augmentation des débits des rivières par rapport à l'année de référence 1991 (Simoneau et Smeltzer, 2008). En fait, pour la période 2002-2005, les débits étaient 26 % plus élevés à Swanton, pour la rivière Missisquoi, et 5 % plus élevés à Pike River, pour la rivière aux Brochets. Une analyse des données recueillies suggère même 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. La charge provenant de la rivière Missisquoi aurait diminué de 5 tm/an (-6 %) et celle de la rivière aux Brochets de 10 tm/an (-20 %) (Idem).

De plus, les événements climatiques extrêmes tels que les pluies torrentielles (ex : Irène) ou les inondations augmentent de manière importante les charges de phosphore. Par exemple, les données recueillies en 2011 indiquent que, suite aux inondations, les charges de phosphore portées par les tributaires de la baie étaient de 1,7 à 2,8 fois supérieures à leur moyenne annuelle (LCBP, 2013).

L'augmentation de l'intensité des pluies devrait également avoir une influence à la hausse. Selon certaines observations, la concentration de phosphore dans la baie serait davantage reliée à l'intensité (plutôt que la quantité totale annuelle) des pluies, et de la fonte des neiges, qui se produisent pendant les périodes critiques de libération de phosphore dans le bassin versant : engrais sur les terres agricoles et les terrains résidentiels, lessivage de l'humus du sous-bois ou des végétaux morts, terres mises à nu lors des travaux de construction, remise en suspension des sédiments dans les fossés et dans les cours d'eau, etc. D'ailleurs, selon les résultats obtenus par la ZIPP baie Missisquoi, la pollution diffuse survient en grande partie au cours de 5 ou 6 événements hydrologiques majeurs au cours de l'année. La moitié des charges de phosphore annuelles atteindrait les cours d'eau à la fonte des neiges, du 15 mars au 15 avril (ZIPP baie Missisquoi, 2011).

Une autre étude réalisée au Vermont a analysé les impacts des changements climatiques sur les débits des principaux tributaires de la baie Missisquoi et sur leurs charges en nutriments et matières en suspension à travers différents scénarios de modélisation. Selon cette étude, les charges de phosphore augmenteraient, entre 2040 et 2070, en moyenne de 24 % dans la rivière Missisquoi (débit +11 %), de 41 % dans la rivière de la Roche (débit +25 %) et de 17 % dans la rivière aux Brochets (débit +25 %) (TetraTech, 2013).

Mentionnons également que les changements climatiques feront probablement augmenter les débordements des ouvrages de surverse et des réseaux d'égouts suite à l'augmentation de l'intensité des précipitations et du nombre d'événements extrêmes. L'érosion des berges et des sols de surface serait également amplifiée par ces changements. À l'inverse, des étiages plus sévères et plus longs pourraient engendrer des concentrations excessives d'éléments nutritifs et autres contaminants dans les eaux de surface.

1.2 Conséquences

Avec le ruissellement des eaux sur le territoire du bassin versant, le phosphore est apporté naturellement aux rivières et aux lacs et un équilibre se crée entre les quantités de phosphore produites dans un bassin versant naturel et la croissance des végétaux aquatiques et des cyanobactéries. Lorsqu'on coupe les forêts, que l'on cultive les sols, que l'on modifie le réseau hydrographique ou que l'on déverse des eaux usées, on augmente de beaucoup les quantités de phosphore qui étaient produites naturellement dans le bassin versant.

L'apport excessif en charges de phosphore provoque une augmentation de la concentration en phosphore dans les milieux aquatiques. Les populations situées en aval des bassins versants sont les plus exposées aux divers effets cumulatifs. Les problématiques les plus sévères dans le bassin versant de la baie Missisquoi sont effectivement causées par un apport trop important en sédiments qui contiennent des éléments nutritifs tels que le phosphore.

Le phosphore n'est pas directement toxique pour les humains et les animaux. C'est pourquoi il n'existe aucun critère maximal de concentration du phosphore dans l'eau potable (Gangbazo et Le Page, 2005). Sa toxicité est indirecte, soit à travers les phénomènes qu'il amplifie. Les

conséquences d'une concentration excessive en phosphore sont effectivement nombreuses et interreliées.

Ces problématiques sont décrites aux chapitres suivants :

- Eutrophisation (chapitre 7)
- Cyanobactéries (chapitre 8)
- Dégradation des habitats aquatiques (chapitre 9)

Mentionnons d'emblé que les conséquences les plus notables liées à ces problématiques sont les pertes d'usages récréatifs et esthétiques des cours d'eau et lacs, les problèmes d'approvisionnement en eau potable, l'augmentation des risques pour la santé, les pertes de biodiversité et les pertes économiques.

1.3 Occurrences dans le bassin versant

Sous-bassin de la baie Missisquoi

La baie Missisquoi connaît d'importants problèmes de charges et concentrations de phosphore. En 2012, sa concentration médiane était de 64,5 mg/l, soit la plus élevée depuis 1999.

Quant à son sous-bassin (drainage direct et quelques ruisseaux de niveau 2), la situation est également problématique. Les ruisseaux Beaver, East Swamp, Black (Labonté), Bélanger, McFee et Tipping, tous des tributaires directs de la baie Missisquoi, ont des concentrations en phosphore excédant le critère d'eutrophisation des cours d'eau de 0,03 mg/l dans plus de 50 % des échantillons effectués en 2009. Pour les ruisseaux East Swamp, Black (Labonté), Bélanger et Tipping, la fréquence de dépassement varie entre 90 et 100 %. Les concentrations moyennes de ces cours d'eau variaient alors entre 0,045 pour le Beaver et 0,270 pour le Tipping. Le critère d'eutrophisation des lacs de 0,02 mg/l était donc lui aussi largement dépassé.

Plusieurs éléments recensés dans le Portrait contribuent aux concentrations importantes en phosphore dans le sous-bassin de la baie Missisquoi et la baie elle-même.

Par exemple, 55 % du territoire du sous-bassin est cultivé, dont 76 % grands interlignes (87 % maïs). Des engrais chimiques sont appliqués sur 42,2 % des terres cultivées, la plus importante proportion de tout le bassin. Ces pratiques agricoles expliqueraient en grande partie les importantes concentrations de phosphore recensées dans les ruisseaux du sous-bassin. L'insuffisance, voire même l'absence totale de bandes riveraines en bordure de certains cours d'eau du sous-bassin de la baie Missisquoi accentue le problème.

Par ailleurs, la proportion urbaine du territoire est la plus élevée du bassin avec 3 % de superficie et une densité de 50 bâtiments/km^2. Ces bâtiments et zones urbaines sont concentrés sur les contours de la baie Missisquoi. C'est aussi dans ce sous-bassin que la densité de population est de loin plus importante avec 66,4 habitants/km^2 (incluant les saisonniers).

On retrouve 10 campings avec au total plus de 900 sites sur les rives de la baie qui desservent plusieurs centaines, voire des milliers de villégiateurs. La population saisonnière y est particulièrement importante (61 % du total du sous-bassin). On estime que 34 % de la

population totale du sous-bassin achemine ses eaux usées vers environ 751 installations septiques autonomes. La conformité des installations septiques demeure mal connue et pourrait encore avoir un impact significatif.

De plus, on retrouve quatre ouvrages de surverse qui se jettent directement dans la baie. En 2012, l'ouvrage de surverse de Saint-Armand a débordé suite à une importante pluie de 88m au mois de septembre.

On retrouve également 1 station d'épuration dont les eaux traitées sont envoyées dans la baie avec une concentration maximale de 0,3 mg/l.

Finalement, on retrouve un golf et énormément de pelouses en bordure de la baie, dont la fertilisation pourrait jouer un rôle important dans l'enrichissement des eaux de la baie. D'autant plus que les inondations sont fréquentes dans le sous-bassin et qu'elles affectent un bon nombre de secteurs développés. L'érosion des berges par les vagues de la baie constituerait également un apport important en charges (voir chapitre 5 sur l'érosion des berges).

Sous-bassin de la rivière de la Roche

Les plus récentes données pour la rivière de la Roche indiquent qu'entre 2010 et 2012, 100 % des échantillons prélevés contenaient des concentrations plus élevées que le critère visant à prévenir l'eutrophisation des cours d'eau (0,03 mg/l), et ce, autant à son entrée au Québec qu'à sa sortie. Entre 2010 et 2012, la concentration médiane en phosphore était de 0,13 mg/l à son entrée au Québec et de 0,099 mg/l à sa sortie. Le phosphore serait notamment responsable des valeurs élevées en chlorophylle *a* dans la rivière de la Roche en servant de nutriment aux algues microscopiques (MDDEFP, 2013).

Ces concentrations élevées en phosphore proviennent en bonne partie du Vermont. Or, dans sa portion québécoise, 39 % du sous-bassin de la rivière de la Roche est cultivé dont 49 % en cultures à grands interlignes (88 % en maïs). L'apport du Québec est donc non négligeable.

Les installations septiques pourraient également jouer un rôle important dans les apports en phosphore vers la rivière de la Roche et ses tributaires. En effet, la totalité des eaux usées du sous-bassin sont traitées par installations septiques isolées. On compterait donc environ 467 fosses septiques dans le territoire desservant environ 1 120 personnes.

L'érosion des berges de la rivière de la Roche et de ses tributaires contribue de manière significative aux charges de phosphore (voir chapitre 5).

Sous-bassin de la rivière aux Brochets

Le bassin versant de la rivière aux Brochets fut identifié par le Gouvernement du Québec comme bassin prioritaire pour appliquer le concept de gestion intégrée de l'eau.

Les données plus récentes collectées entre 2010 et 2012 indiquent que les concentrations médianes en phosphore de la rivière aux Brochets et de ses tributaires continuent à dépasser les critères d'eutrophisation des lacs et cours d'eau.

En effet, bien que la qualité de l'eau (IQBP6) calculée pour la rivière aux Brochets soit considérée satisfaisante à son entrée et bonne à Pike River, la concentration médiane en phosphore était néanmoins de 0,04 mg/l à son entrée au Québec et de 0,0545 mg/l à Pike River, dépassant largement le critère de qualité de 0,03 mg/l. En effet, bien que l'IQBP6 affiche une qualité satisfaisante ou bonne, les charges de phosphore portées par la rivière aux Brochets demeurent beaucoup plus élevées que la charge cible de 7,2 tm/an.

Les ruisseaux Morpions, au Castor et Ewing ont des concentrations médianes respectivement de 0,14 mg/l, 0,1 mg/l et 0,15 mg/l et les fréquences de dépassement du critère en phosphore sont de plus de 90 % dans les trois cas.

Tel que décrit plus haut à la section 1.2.1, l'agriculture est la plus importante source de phosphore vers les cours d'eau du sous-bassin. En 2006, 43 % de la superficie du sous-bassin était cultivée, dont 62 % en cultures à grands interlignes largement dominées par le maïs (83 %). Des engrais chimiques sont appliqués sur 32,2 % des surfaces cultivées. Les sous-bassins des ruisseaux Morpions, Walbridge, au Castor et Ewing sont aussi très majoritairement couverts de cultures annuelles à grands interlignes. Selon les données agricoles de 2010, on note une augmentation des cultures à grands interlignes, notamment de maïs et de soya. Notez que les cultures de soya nécessitent moins d'engrais, mais sont plus vulnérables à l'érosion, donc moins de phosphore, mais plus de matières en suspension (MES).

La production animale est importante dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets, qui regroupe 78 % des unités animales de tout le bassin réparties dans 192 fermes d'élevage. La densité animale est de 1,4 unité animale/hectare cultivé. La production porcine y est dominante.

De plus, globalement, environ 33 % des analyses de sol prélevées dans les municipalités du bassin versant de la rivière aux Brochets présentaient des taux de saturation supérieurs au seuil de vulnérabilité pour la perte de phosphore (Agrosol, 2002). En 2002, on retrouvait dans le bassin versant huit municipalités qui étaient en surplus de phosphore, c'est-à-dire que le phosphore (P_2O_5) produit par les productions animales était plus important que le phosphore consommé par les productions végétales. Parmi ces municipalités, deux avaient un surplus de phosphore si élevé qu'elles étaient considérées en zone d'activité limitée (ZAL), soit Saint-Ignace-de-Stanbridge et Stanbridge-Station. L'augmentation de la production animale est interdite dans une ZAL à moins de traiter complètement (granule, compost) les déjections animales.

Les nombreuses zones inondables situées sur la rivière aux Brochets constituent également des zones à risque de pertes importantes de phosphore, notamment lorsqu'elles sont cultivées en grands interlignes, ce qui est fréquent dans ce sous-bassin. Il y aurait au moins 40 ha de champs situés en bordure de la rivière aux Brochets qui subissent des inondations de façon récurrente. L'insuffisance, voire même l'absence totale de bandes riveraines en bordure de certains cours d'eau du sous-bassin de la rivière aux Brochets accentue également le problème.

De plus, on retrouve 751 km de routes non pavées, soit 68 % du total, ainsi que 61 ponts. La portion Est du sous-bassin contient plusieurs secteurs où les pentes fortes peuvent contribuer à l'érosion des routes et fossés routiers.

Il existe trois stations d'épuration sur la rivière aux Brochets dont les normes de rejets en phosphore sont de 1 mg/l et une dont la norme est de 0,8 mg/l (Bedford). Les bilans annuels de performances des stations d'épuration du sous-bassin montrent, pour l'année 2013, une atteinte de 100 % de leurs exigences de rejet, à l'exception de deux stations d'épuration : Frelighsburg (83 %) et Notre-Dame-de-Stanbridge (83 %) (Base de données SOMAE, MAMROT, 2013).

On retrouve également 11 ouvrages de surverse qui se jettent dans la rivière aux Brochets. En 2012, les ouvrages de surverse de la station d'épuration des eaux usées de Bedford ont débordé 115 fois à cause d'événements de pluie et 4 fois à cause de fontes des neiges/crues. De plus, un des ouvrages de surverse de la station, dans le secteur de Stanbridge Station, n'a pas respecté son exigence de rejet pour une deuxième année consécutive (Idem).

Il y aurait environ 4 163 installations septiques résidentielles dans le sous-bassin. On retrouve également plusieurs campings en bordure de la rivière aux Brochets et du ruisseau Morpions qui accueillent plusieurs centaines de saisonniers, parfois même des campeurs permanents. L'état de conformité de ces installations septiques demeure mal connu et celles-ci constituent un risque sérieux en termes de charges de phosphore.

Lac Selby

La charge totale de phosphore vers le lac Selby a été estimée à 951 kg par année en 1981 (Thibault *et al.*, 1981). Les installations septiques étaient alors responsables de 31 % des charges de phosphore, la densité des résidences et chalets étant particulièrement élevée autour du lac Selby. Or, en 1987 elles ont toutes été raccordées à un réseau d'égout et à la station d'épuration de la Ville de Dunham. Selon l'étude de 1981, les sols à nu représentaient la 2e source d'apports en phosphore avec 19 %, les charges de sédiments provenant des eaux de ruissellement du bassin versant du lac Selby constituent effectivement un apport important en phosphore. Suivaient ensuite les élevages d'animaux avec 16 %, les engrais chimiques avec 15 %, les forêts avec 13 % et les précipitations atmosphériques avec 5 %.

En 2012, selon les données collectées pour le Réseau de surveillance volontaire des lacs, la concentration en phosphore du lac Selby était en moyenne de 0,0088 mg/l. La moyenne est de 0,0126 mg/l entre 2006 et 2012. Les sédiments accumulés au fond du lac contenaient en 2008 1,1 kg/t de phosphore (Prichonnet, 2008).

Bien que la concentration en phosphore du lac Selby ne dépasse pas le critère pour l'eutrophisation des lacs de 0,02 mg/l, les conséquences des charges en nutriments s'y font sentir (cyanobactéries, eutrophisation, dégradation des milieux aquatiques, etc.). Voir les chapitres respectifs à ces problématiques pour plus de détails.

Le ruisseau Bérard est aussi source importante d'apports en phosphore vers le lac Selby. Entre mai et septembre 2009, la concentration médiane son embouchure était de 24 ug/l.

Sous-bassin de la rivière Missisquoi

Les plus récentes données sur qualité de l'eau indiquent que les concentrations de phosphore ne sont pas préoccupantes dans les rivières Sutton et Missisquoi. En effet, la concentration médiane enregistrée entre 2010 et 2012 dans la rivière Sutton était de 0,014 mg/l, et pour la rivière Missisquoi de 0,0205 mg/l à son entrée et 0,018 mg/l à sa sortie du Québec. D'ailleurs, une réduction significative de phosphore (-37 %) a été enregistrée dans la rivière Sutton entre 1999 et 2008). Dans le cas de la rivière Missisquoi Nord, les concentrations médianes en phosphore total, de 0,01 mg/l en amont et de 0,19 mg/l en aval, ne semblent pas particulièrement préoccupantes.

Toutefois, si les concentrations sont faibles, diluées par le débit, les charges peuvent être considérables, notamment dans la rivière Missisquoi qui est alimentée par le ruisseau Mud dont les taux de pertes de phosphore sont particulièrement élevés (0,64 kg/ha/an).

Les cultures annuelles sont marginales dans ce sous-bassin. Seulement 6,4 % du territoire est cultivé dont 10 % en grands interlignes (63 % en maïs). On y retrouve cependant une quantité considérable de bovins et volailles, les unités animales y étant les deuxièmes plus élevées du bassin, quoique loin derrière la rivière aux Brochets. Il est estimé que les charges de phosphore on provenance de sous-bassin seraient surtout de type soluble, les cultures pérennes y étant dominantes et les unités animales relativement nombreuses.

De plus, sur les 1 318 km de routes qui sillonnent le territoire, 80 % sont non pavées (1 057 km). On retrouve aussi 104 ponts. Les pentes sont particulièrement fortes dans ce sous-bassin, ce qui constitue un potentiel important d'érosion des routes et fossés. De plus, les nombreux ponts indiquent que les croisements route/cours d'eau sont nombreux, augmentant le potentiel de charges acheminées directement vers les cours d'eau. D'ailleurs, en utilisant le coefficient de pertes de phosphore par les routes non pavées en secteur montagneux (10 kg/km/an) estimé par Wemple (2013), on estime les charges à 10,6 tonnes de phosphore par année dans les cours d'eau du sous-bassin.

Les chantiers en secteur montagneux sont également nombreux dans ce sous-bassin où la population permanente connaît une croissance relativement importante.

La densité des résidences et chalets est particulièrement élevée dans les secteurs de Sutton, notamment en secteur montagneux près du centre de Ski, puis autour des lacs de la Missisquoi Nord.

Les zones inondables sont nombreuses dans ce sous-bassin. Plusieurs campings sont situés dans les zones inondables et sont périodiquement inondés, incluant leurs installations septiques. Ceci constitue une source potentiellement importante de phosphore. Certains chalets et résidences des lacs Parker et d'Argent sont également en zone inondable.

En effet, on retrouverait environ 4 867 installations septiques résidentielles dans le sous-bassin. Une importante population saisonnière et touristique contribue aux apports de phosphore qui doivent être traités par ces systèmes. La conformité de ces installations, résidentielles et commerciales demeure mal connue et constitue un risque de contamination considérable.

D'ailleurs, le secteur Glen Sutton de la municipalité de Sutton, situé en bordure de la rivière Missisquoi connait un problème de traitement des eaux des résidences isolées qui dure depuis des dizaines d'années. Les champs d'épuration de 18 résidences seraient rendus non fonctionnels. Or la règlementation interdisant de reconstruire un champ d'épuration au même endroit, la conformité pose un défi important qui n'est toujours pas résolu (Ville de Sutton, 2011). Un système collectif serait envisagé.

Par ailleurs, on retrouve cinq stations d'épuration dans le sous-bassin dont deux qui rejettent leurs eaux traitées dans la rivière Sutton, deux dans la Missisquoi Nord, une dans un tributaire de la Missisquoi. Les exigences des rejets sont de 0,3 mg/l de phosphore, sauf pour la station de Owl's Head qui est de 1 mg/l.

De plus, neuf ouvrages de surverse jettent leurs eaux usées non traitées dans les cours d'eau du sous-bassin. Aucun débordement n'a été rapporté en 2012 dans le sous-bassin.

Dans la portion du sous-bassin de la rivière Missisquoi située au Vermont, on retrouve huit stations d'épuration municipales et une station d'épuration d'eaux usées industrielles (MBBP, 2013). On retrouve également dans cette portion du bassin 22 ouvrages de surverse dont 11 qui se jettent directement dans la rivière Missisquoi et 11 que se jettent dans ses tributaires (Idem).

Finalement, les activités récréatives dans les secteurs montagneux sont nombreuses dans le sous-bassin (sentiers pédestres, centre de ski, etc.). Ceux-ci constituent une source potentiellement importante de sédiments chargés en nutriments tel le phosphore.

Lacs et étangs

Parmi les lacs et étangs du sous-bassin de la rivière Missisquoi, certains ont des concentrations moyennes en phosphore qui approche ou dépasse le critère de 0,02 mg/l pour la prévention de l'eutrophisation des lacs.

C'est le cas du lac Libby dont la concentration moyenne entre 1997 et 2012 était de 0,0195 mg/l. Des valeurs moyennes extrêmes ont été enregistrées en 2005 (0,0679 mg/l) et 2006 (0,043 mg/l).

Quant aux autres lacs et étangs du sous-bassin, les concentrations moyennes varient entre 0,0064 mg/l pour le lac Orford et 0,0143 pour l'Étang Sally, ces concentrations sont donc, pour l'instant, peu préoccupantes. Certaines conséquences liées aux charges excessives en sédiments et nutriments se font toutefois sentir dans plusieurs des lacs et étangs du sous-bassin de la rivière Missisquoi (cyanobactéries, eutrophisation, dégradation des habitats aquatiques, etc.). Voir les chapitres respectifs à ces problématiques pour plus de détails.

Lac Parker

Le lac Parker est le lac qui a les plus importantes concentrations moyennes de phosphore du bassin (excluant la baie Missisquoi). En effet, sa concentration moyenne entre 1997 et 2008 est de 0,021 mg/l, dépassant le critère d'eutrophisation des lacs. De fortes valeurs moyennes ont aussi été enregistrées en 1998 (0,0305 mg/l), 2002 (0,046 mg/l) et 2004 (0,0307 mg/l).

Le lac Parker est un petit lac. Malgré le fait que son bassin versant est majoritairement forestier, la capacité de support du lac est atteinte. Il est donc nécessaire de limiter l'impact des activités anthropiques qui ont lieu en bordure de celui-ci et dans son bassin versant.

Lac d'Argent

Le ruisseau Parker est responsable de plus de la moitié des apports en phosphore total vers le lac d'Argent (RAPPEL, 2006a).

Malgré certaines améliorations apportées à l'environnement immédiat du lac, la concentration maximale de phosphore que le lac peut absorber (capacité de support) est dépassée. La principale cause est la sursaturation du nombre de chalets, résidences, campings et plages en bordure du lac.

Lac Trousers

Certains tributaires du lac Trousers constituent des sources importantes de phosphore. Les concentrations mesurées dans les ruisseaux Beauregard, Serpentine et à l'embouchure du ruisseau Libby dépassent périodiquement 20 ug/l.

La baie Legendre du lac Trousers serait particulièrement problématique puisque les valeurs d'efficacité des fosses septiques et des champs d'épuration à retenir le phosphore sont évaluées entre 25 % et 40 %. Les champs d'épuration de plusieurs terrains sont parfois lessivés par des inondations, emportant des quantités potentiellement importantes de phosphore au lac. De plus, certaines installations septiques seraient non conformes contribuant à une contamination directe du lac (RAPPEL, 2008c).

Le bassin versant du lac Trousers inclut tous les lacs de la Missisquoi Nord. Au total, le lac Trousers reçoit annuellement 2 131,5 kg de phosphore. De cette quantité, 43 % provient de sources naturelles, soit 911,9 kg, alors que 57 % provient de sources anthropiques, soit 1 219,6 kg. Il est important de se rappeler ici que la superficie reliée aux activités humaines dans l'ensemble du bassin versant ne représente que 16,3 % du territoire. Ce petit 16,3 % émet donc 57 % de la quantité totale de phosphore qui se retrouve dans le lac Trousers (RAPPEL, 2010c).

Tableau 6 : Charges de phosphore vers le lac Trousers (extrait de RAPPEL, 2010c).

	Lac Parker	Lac Orford	Lac d'Argent	Lac Libby	Lac Long Pond	Lac Trousers	TOTAL
Apports provenant des bassins versants							
naturels	501,4	97,1	237,1	28,6	82,0	**483,5**	1429,6
anthropiques	357,7	241,9	420,7	200,1	63,5	**655,5**	1939,5
Apports des lacs en amont							
naturels	-	-	397,4	-	-	**428,4**	-
anthropiques	-	-	338,2	-	-	**564,1**	-
sous-total naturel	*501,4*	*97,1*	*634,5*	*28,6*	*82,0*	***911,9***	-
sous-total anthropique	*357,7*	*241,9*	*758,9*	*200,1*	*63,5*	***1219,6***	-
TOTAL ACTUEL	**859,1**	**339,0**	**1393,4**	**228,8**	**145,5**	**2131,5**	**3369,1**
Apport à l'état naturel							
diffus	517,9	103,5	264,6	32,8	85,9	**518,6**	1523,3
lacs en amont	-	-	411,5	-	-	**456,9**	-
TOTAL À L'ÉTAT NATUREL	**517,9**	**103,5**	**676,1**	**32,8**	**85,9**	**975,5**	

Comparativement à son état naturel, le lac Trousers reçoit donc annuellement 2,2 fois plus de phosphore, soit 2 131,5 kg de phosphore au lieu de 975,5 kg. L'apport maximal (capacité de support) pour le lac Trousers serait de 1 463,3 kg Pt/an. À la lumière de ces résultats, le lac Trousers recevrait donc 668,3 kg de phosphore en trop annuellement, ce qui indique que la capacité de support du lac Trousers est dépassée (Idem).

Plus en détail, le bilan de phosphore réalisé met en évidence le rôle majeur du rejet des eaux usées sur le territoire du bassin versant. En effet, celles-ci ont fait augmenter à elles seules les apports en phosphore d'environ 64,7 % comparativement à l'état naturel. Les eaux usées contribuent donc à plus de la moitié des apports en phosphore d'origine anthropique et à près du tiers (29,6 %) des apports totaux que reçoit le lac actuellement (Idem).

1.4 Exemples d'actions réalisées

En plus des nombreuses études qui ont permis de cibler les principales sources de phosphore dans le bassin versant, une multitude d'actions ont été réalisées incluant d'importants investissements et l'implantation d'infrastructures qui ont permis de réduire de manière importante les sources de phosphore ponctuelles et d'atténuer les apports de phosphore de sources diffuses. En voici quelques exemples.

Dans le cadre de l'***Entente sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi entre le gouvernement du Québec et l'État du Vermont*** signée en 2002, le Comité interministériel de concertation sur la baie Missisquoi - Région Montérégie et Estrie (CICBM-RME) a produit des ***Plans d'interventions pour la réduction du phosphore*** dans lesquels plusieurs ministères s'engageaient à réaliser des actions visant la réduction des apports de phosphore vers la baie Missisquoi. L'objectif de l'Entente était de ramener la concentration de phosphore de la baie Missisquoi à 0,025 mg/L afin permettre de réduire l'importance des proliférations de cyanobactéries en particulier et de ralentir le phénomène de vieillissement (eutrophisation) de cette baie du lac Champlain.

L'**assainissement des eaux usées municipales et industrielles** a été complété dans le bassin versant avec la construction des stations d'épuration d'Abercorn, de Frelighsburg, Stanbridge

East et Notre-Dame-de-Stanbridge et le raccordement des résidences de la Pointe Jameson et du lac Selby. Depuis 2010, 100 % des résidences du bassin versant raccordées à un réseau d'égout sont desservies par une station d'épuration de leurs eaux usées. Les investissements en traitement des eaux usées municipales dans le bassin versant sont présentés au tableau suivant.

Tableau 7 : Secteurs raccordés à une station d'épuration des eaux usées depuis 1992

Secteurs raccordés	Réalisation	Coût ($)
Bedford	1992	7 915 000
Bedford (Stanbridge Station)	1996	883 000
Eastman	1993	1 825 000
Venise-en-Québec	1994	4 929 000
Potton	1995	2 687 000
Saint-Georges-de-Clarenceville	1998	1 860 000
Sutton	2000	1 057 000
Saint-Armand (Philipsburg)	2002	2 500 000
Abercorn	2007	2 200 000
Pointe Jameson Phase 1 (Venise)	2009	8 200 000
Stanbridge East	2009	1 800 000
Notre-Dame-de-Stanbridge	2010	4 300 000
Frelighsburg	2012	7 000 000
Total		**47,2 M$**

Source : Mimeault et Simoneau, 2010

De plus, de **nouvelles exigences en termes de rejets de phosphore** font en sorte que les stations d'épuration du bassin versant devront d'ici le 1er janvier 2017 se doter de nouveaux équipements de déphosphatation afin de respecter la norme de 0,3 mgPtot/l (MDDELCC, 2014).

Les industries du bassin ont également complété l'implantation de systèmes de traitement de leurs eaux usées, notamment les eaux de lavage de l'usine d'aliments congelés Bonduelle (Simoneau, 2007).

Mentionnons également que les **phosphates ont été bannis des détergents à lave-vaisselle** en 2007 au Québec (LCBP, 2012).

D'importants projets d'**assainissement agricole** ont eu lieu dans le bassin afin de limiter la pollution des cours d'eau par le phosphore. Par exemple, le programme de subvention **Prime-Vert** du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) a permis la réalisation de projets de retrait des animaux des cours d'eau, de conservation des sols, de plantations d'arbustes et de haies brise-vent, d'avaloirs, d'enrochements, de tranchées filtrantes et d'infrastructures d'entreposage de lisiers et de fumiers, notamment. À ce jour, plus de 3M$ ont été investis par le MAPAQ dans ce programme pour le bassin versant. De plus, des cours sur la méthode du semis direct et autres pratiques de conservation des sols ont été offerts aux producteurs agricoles dont plusieurs ont fait l'achat d'équipements pour transiter vers ces pratiques (Mimeault et Simoneau, 2010).

La problématique d'une trop grande richesse des sols agricoles en P a été adressée par la mise en application du ***Règlement sur les Exploitations Agricoles*** (REA) qui encadre la gestion, la méthode et la quantité de fertilisants (phosphore) appliquée aux champs. Le REA exige, entres autres, le dépôt du bilan de phosphore à l'équilibre et la caractérisation des sols. La mise en place progressive des plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) devrait éventuellement permettre un retour vers l'équilibre et faire en sorte que les quantités de fertilisants épandues ne dépassent pas les besoins des plantes PAEF. De plus, le REA interdit

depuis 2004 d'augmenter les superficies cultivées dans les municipalités situées dans les zones dégradées identifiées, soit les bassins versants où les concentrations en phosphore dans les eaux de surface sont trop élevées. Notez toutefois que le REA n'intègre aucun facteur de transport du phosphore vers les cours d'eau. Or, il est généralement admis que l'érosion due au ruissellement des eaux de pluie à la surface des champs est la cause première des charges exportées en phosphore provenant de champs en cultures annuelles conventionnelles (Poirier *et al.*, 2010).

Dans le cadre du ***Plan d'interventions pour la réduction du phosphore*** produit par la CICBM-RME, depuis 2003 le MDDELCC a inspecté une à une toutes les fermes situées dans le bassin versant afin de vérifier leur conformité et corriger diverses irrégularités. Un suivi a également été effectué par le MDDELCC afin de d'assurer la conformité du stockage adéquat des fumiers, de l'accès interdit des animaux aux cours d'eau, du respect des dates d'épandage et de l'échéancier progressif pour s'assurer que toutes les fermes visées avaient les superficies requises pour valoriser leurs déjections animales.

Deux **Zones d'Intervention Prioritaire Phosphore (ZIPP)** ont été mises en place afin de réaliser un diagnostic et procéder à plusieurs mesures d'assainissement agricole dans les sous-bassins de la baie Missisquoi et du ruisseau Morpions.

Le projet de **bande riveraine élargie (Lisière verte)** de la Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière aux Brochets a permis d'établir un précédent démontrant que les agriculteurs participent à des projets rassembleurs à condition d'obtenir une certaine compensation pour les services écologiques rendus. Le projet visait à établir des bandes riveraines élargies de 9 mètres en permettant à l'agriculteur de récolter soit du foin, soit une culture pérenne comme le panic érigé. Grâce à projet-pilote :

- plus de 78 km de bandes riveraines continues de 9 mètres de largeur ont été établies;
- 25 hectares de plaines inondables, ainsi que 85 hectares de bandes riveraines, ont été converties de cultures annuelles à cultures pérennes, réduisant l'érosion en ces endroits critiques;
- plus de 500 structures de contrôle de l'érosion ont été installées;
- participation de pratiquement tous les producteurs agricoles de cette zone de 53 km².

Suite à l'implantation de ces **Bonnes Pratiques Agroenvironnementales (BPA)**, l'IRDA a évalué la réduction du phosphore à environ 30 % dans les plus hauts débits pour le secteur couvert.

Un **marais filtrant** a été aménagé à l'automne 2002 en parallèle au ruisseau Walbridge afin d'y détourner une portion équivalente à 5 % de son débit total. L'objectif étant d'étudier la capacité d'un tel aménagement à assainir les eaux de ces contaminants (phosphore, nitrates, etc.). Les marais filtrants sont de plus en plus utilisés pour assainir des eaux usées agricoles ou domestiques. Cependant, l'utilisation de tels marais pour la réduction du phosphore dans un cours d'eau est une première. Ce projet a démontré la capacité des marais filtrants aménagés sous des conditions climatiques tempérées à assainir les sources de pollution diffuse d'origine agricole. La capacité de rétention du marais filtrant pour le phosphore total (PT) équivaut à 8,0

kg, ce qui représente 41 % de la charge cumulative de 19,3 kg apportée au marais par le ruisseau Walbridge sur les quatre années de suivi. La capacité de rétention du marais filtrant pour les nitrates ($N\text{-}NO_3^-$) équivaut à 176,7 kg, représentant une plus petite portion (18 %) de la charge cumulative de 1006,7 kg apportée sur quatre années. La capacité de rétention pour les nitrates semble s'atténuer au fil des années (Kroeger *et al.*, 2010).

La MRC Brome Missisquoi a adopté le 21 octobre 2014 le **Cadre réglementaire sur la gestion des eaux de surface et le contrôle de l'érosion et la conservation des sols (REGES)** qui vise à ce que les interventions sur le territoire de MRC n'augmentent pas la vitesse d'évacuation de l'eau et n'altèrent pas la qualité de l'eau qui ruisselle vers les cours d'eau et les lacs. Des normes concernant les bandes riveraines, la construction de chemins et de projets de développement, les interventions en pente forte, le couvert végétalisé, la gestion des eaux pluviales, le contrôle de l'érosion en chantier et en milieu agricole seront sous peu intégrés aux règlements municipaux. À titre d'exemple le REGES réglemente la bande riveraine minimale en zone agricole à deux mètres en haut du talus et un mètre en bordure d'un fossé. Le cadre règlementaire est disponible sur le site internet de la MRC (MRCBM, 2014).

Au Vermont, mentionnons que le *United States Department of Agriculture* a annoncé en 2014 qu'il investira 45M$ sur 5 ans dans l'amélioration de la qualité de l'eau du lac Champlain par l'amélioration des infrastructures et pratiques agricoles (USDA, 2014).

1.5 Recommandations

De manière générale, il est important de cibler les sites prioritaires d'érosion et de pertes de phosphore dans le bassin versant afin de faire le bilan et le suivi des actions réalisées et des mesures à entreprendre.

De plus, afin de faire respecter les bandes riveraines en milieux urbain et agricole, telles qu'exigées par la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (PPRLPI) et les Schémas d'aménagement des MRC, il est important de s'assurer que la ligne des hautes eaux (LHE) soit clairement identifiée sur les cours d'eau du bassin versant, en prenant notamment en compte l'étendue des crues printanières.

1.5.1 Suivi des charges

- ✓ Renouveler l'entente sur la réduction du phosphore à la baie Missisquoi qui prend fin en 2016 entre le Gouvernement du Québec et l'État du Vermont, redéfinir les exigences de réductions des charges de phosphore et mettre en place un plan d'action transfrontalier.
- ✓ Poursuivre la surveillance des débits fluviaux et les concentrations de phosphore aux stations désignées à cet effet afin que les changements à long terme liés aux charges de phosphore puissent être mesurés.
- ✓ Axer l'analyse des données recueillies dans le cadre de ce programme de surveillance sur la détection et les 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 débit et l'analyse de covariance.

1.5.2 Secteur agricole

Général

- ✓ Maintenir, voire bonifier, les programmes d'aide technique et de financement permettant de réduire les charges de phosphore dans les zones critiques.
- ✓ Utiliser des approches règlementaires plus fermes lorsque les mesures incitatives et l'approche volontaire n'ont pas d'effet ou ne sont pas appliquées dans les zones de sources critiques.
- ✓ Appliquer l'écoconditionnalité pour l'ensemble des programmes de soutien financier du secteur agricole.
- ✓ S'assurer du prendre en compte les deux principales lignes de défense agroenvironnementales, soit le contrôle des sources et du transport du phosphore (Sources et Transport). La première ligne appelle à la gestion à long terme de l'enrichissement des sols et aux modes d'épandage qui les soustraient à l'action du ruissellement. La seconde ligne de défense vise le contrôle des exportations et passe par une atténuation des volumes et de l'intensité du ruissellement de surface au moyen de Bonnes Pratiques Agroenvironnementales (BPA) et d'aménagements hydro-agricoles adaptés.

Réduction des apports en phosphore et gestion des déjections animales (Sources)

- ✓ S'assurer que le REA est respecté en ce qui concerne les taux de saturation en phosphore dans le sol et réduire au maximum les apports de phosphore sur les terres agricoles.
- ✓ S'assurer du respect du REA en ce qui concerne l'épandage. Par exemple, il interdit l'épandage de matières fertilisantes à l'intérieur d'une bande de protection de trois mètres pour les cours d'eau et de un mètre pour les fossés. Les épandages sont interdits après le 1er octobre et le recouvrement du lisier est obligatoire après épandage.
- ✓ Éviter l'épandage avant les épisodes de pluie, pratique courante pour réduire les odeurs.
- ✓ Éviter d'entreposer les déjections animales sans structure étanche.
- ✓ Réduire au maximum les teneurs en phosphore dans l'alimentation des animaux.

Conservation des sols (Transport)

- ✓ Encourager les Bonnes Pratiques Agroenvironnementales (BPA) qui réduisent la vulnérabilité du sol à l'érosion comme les cultures de couverture, les semis directs, la rotation des grains pour les polycultures et les modifications des pratiques de labourage.
- ✓ Encourager les pratiques visant à limiter le plus possible la compaction des sols afin de favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol plutôt que le ruissellement en surface (.
- ✓ Réaliser des aménagements hydro-agricoles (bassins de sédimentation et de rétention d'eau, ouvrages de contrôle du ruissellement, marais filtrants etc.) pour contrôler l'érosion et le transport des sédiments dans les zones critiques du bassin versant en tenant compte des changements climatiques.
- ✓ Mettre en place des mesures pour réduire la pollution par les drains agricoles.
- ✓ Certains fossés avaloirs devraient être améliorés, avec ajouts potentiels de filtres ou bassins de sédimentation, afin de constituer de véritables barrières filtrantes pour les sédiments.

- ✓ Éviter de laisser les sols nus en hiver pour réduire les pertes de sédiments à la fonte des neiges, notamment en bordure des cours d'eau.
- ✓ Éviter de labourer et fertiliser les bandes riveraines et zones inondables 0-2 ans et respecter la règlementation en vigueur dans les MRC et municipalités du bassin versant.
- ✓ Remplacer les cultures annuelles dans les zones inondables 0-20 ans par des cultures pérennes ou des pâturages.
- ✓ Il est recommandé que la localisation de la ligne des hautes eaux soit officialisée sur l'ensemble du rivage et que la délimitation de la bande riveraine soit simplifiée en mesurant directement les distances sur le talus et en l'intégrant aux normes de lotissement afin d'en faciliter la compréhension par les riverains.
- ✓ Adapter la délimitation des zones inondables et lignes des hautes eaux dans les Schémas d'aménagement et Plans d'urbanisme en prenant en compte les changements climatiques et le fait que ces zones sont plus fréquemment inondées et à des périodes plus variables (plus seulement au printemps). Par exemple, certaines zones inondables 0-20 ans cultivées devraient être redéfinies en zones inondables 0-2 ans (ligne des hautes eaux).
- ✓ Limiter l'érosion des berges par la revégétalisation des rives sur une largeur suffisante avec les trois strates de végétation (herbacée, arbustive, arborée).
- ✓ Tenir compte des recommandations de l'IRDA permettant de réduire les charges de phosphore annuelles dans la baie Missisquoi (voir description ci-dessous).

Scénarios SWAT de réduction des charges de phosphore de la rivière aux Brochets

Le MDDELCC a confié à l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) le mandat de modéliser des scénarios de réduction des charges de phosphore d'origine agricole dans le bassin versant de la rivière aux Brochets, l'un des tributaires de la baie Missisquoi.

L'objectif était de déterminer et analyser par la modélisation les scénarios à mettre en place pour atteindre la charge cible établie pour le Québec dans le cadre de l'entente sur la réduction du phosphore à la baie Missisquoi soit de réduire la charge annuelle de 27,3 tonnes métriques dont 23,4 tm provenant de la rivière aux Brochets afin de limiter les intrants à 38,9 tm par an pour l'ensemble du bassin.

Six stratégies d'intervention agronomique ont été déterminées :

1) Le remplacement des cultures annuelles par des prairies dans les plaines inondables;
2) L'incorporation des fumiers au sol à la suite de l'épandage;
3) L'implantation de bandes riveraines enherbées;
4) La mise en place d'ouvrages hydro-agricoles de contrôle du ruissellement;
5) La mise en place de pratiques culturales de conservation;
6) La conversion de certaines superficies cultivées.

À partir de ces stratégies d'intervention, trois groupes de scénarios présentant un degré croissant de contraintes sur le plan technique et économique ont été simulés.

<u>Scénario de base</u>

1) le remplacement de 290 ha de cultures annuelles pratiquées dans des zones inondables par des prairies;
2) l'incorporation des fumiers au sol à la suite de l'épandage;
3) l'implantation de bandes riveraines enherbées de 1 m à 3 m de largeur sur 100 % du réseau hydrographique;
4) l'aménagement d'ouvrages hydro-agricoles de contrôle du ruissellement sur les parcelles les plus « actives » sur le plan hydrologique.

Les résultats de ce scénario ne permettraient pas d'atteindre la cible de 23,4 t/an, les charges de phosphore variant entre 36,3 t/an et 45,8 t/an.

Scénario impliquant des pratiques culturales de conservation

Les scénarios impliquant des pratiques culturales de conservation ont été constitués à partir des deux pratiques culturales suivantes :

1) la culture des superficies de maïs et de soya sur résidus pour certaines parcelles;
2) l'implantation des légumineuses fourragères en association avec les céréales à paille.

Les résultats montrent que les charges de phosphore varieraient entre 27,7 t/an et 37,6 t/an, se rapprochant donc de la cible de 23,4 t/an, mais demeurant toutefois supérieures à cette dernière.

Scénario impliquant la substitution de cultures

Il s'agit de substituer 10 % ou 50 % des cultures annuelles (maïs et soya) par des cultures de couverture (légumineuses fourragères associées aux céréales à paille ou crucifères implantées à la dérobée) pendant 12 mois.

Les substitutions ont été faites en considérant les scénarios de base et ceux impliquant la conversion aux pratiques culturales de conservation. Les résultats montrent que certains scénarios permettraient d'atteindre la cible recherchée. Les charges de phosphore varieraient entre 17,3 t/an et 36,3 t/an, selon que l'on cible ou non des secteurs particuliers du bassin versant ou des utilisations du sol jugées les plus à risque pour la pollution de l'eau de surface.

Scénario recommandé par l'IRDA

Au scénario impliquant la substitution de cultures, l'IRDA a ajouté des ouvrages hydro-agricoles de contrôle de ruissellement sur 2 500 ha (soit 250 ouvrages).

On peut la décrire comme suit :

1) la culture du maïs sur 10 615 ha, dont 5 363 ha sont cultivés sur résidus;
2) la culture de céréales sur 6 012 ha, dont 1 726 ha sont cultivés en cultures de couverture;
3) la culture de soya sur 1 464 ha, dont 775 ha sont cultivés sur résidus;
4) la culture de prairies sur 14 474 ha;
5) l'incorporation des fumiers au sol après l'épandage et l'aménagement d'une bande riveraine enherbée de 1 m à 3 m de largeur sur 100 % du réseau hydrographique;

6) l'aménagement d'ouvrages hydro-agricoles de contrôle du ruissellement sur 2 500 ha en culture annuelle.

Résultat : On constate que l'objectif de réduction des charges de phosphore pourrait être atteint avec ce scénario au prix d'une modification de l'utilisation du territoire où la superficie du territoire occupée par les cultures annuelles est diminuée au profit des cultures pérennes. En fait, la superficie consacrée à la culture du maïs serait diminuée de 14,4 %, celle consacrée à la culture du soya de 5,9 % alors que celle consacrée à la culture de céréales serait augmentée de 35,9 %. On constate aussi qu'en raison des pratiques culturales suggérées et des aménagements hydro-agricoles de conservation, ce scénario suggéré par l'IRDA permettrait de réduire les pertes de phosphore par unité de surface générées par la culture de maïs de 55 %, celles générées par la culture de céréales de 67,5 % et celles générées par la culture de soya de 47,5 % (voir Tableau 8).

Tableau 8 : Scénario de réduction des charges de phosphore de la rivière aux Brochets (Gangbazo *et al.*, 2006)

Utilisation du sol	Superficie				Charge de phosphore			
	Situation initiale (Période de 2001 à 2003)		Scénario suggéré		Situation initiale (Période de 2001 à 2003)		Scénario suggéré	
	ha	%†	ha	%†	kg	%‡	kg	%‡
Prairie, pâturage	14 185	22,4	14 474	22,8	5 528	11,9	5 098	20,5
Verger. vignoble	1 127	1,77	1 127	1,77	100	0,22	81	0,32
Maïs	12 400	19,6	10 615	16,7	30 700	65,4	11 834	47,5
Cultures maraîchères	19	0,02	19	0,02	20	0	17	0,06
Céréales	4 423	6,98	6 012	9,48	3 300	7,03	1 432	5,75
Soya	1 557	2,44	1 464	2,31	1 748	3,73	860	3,33
Forêt	25 530	40,3	25 530	40,3	414	0,89	414	1,66
Milieu humide	1 476	2,33	1 476	2,33				
Eau	2	0	2	0				
Zone urbaine	2 462	4,16	2 642	4,16	5 164	11,1	5 164	20,7
Total	63 361	100	63 361	100	46 974	100	24 900	100

† Pourcentage calculé par rapport à la superficie totale du bassin versant
‡ Pourcentage calculé par rapport à la charge totale exportée par la rivière

Cette modélisation de l'IRDA a également démontré que l'aménagement de bandes riveraines enherbées sur l'ensemble du bassin versant de la rivière aux Brochets diminuerait les charges de phosphore de 6,7 % et que l'incorporation des fumiers au sol à la suite de l'épandage diminuerait les charges de phosphore de 2,6 %.

1.5.3 Secteur urbain (eaux usées, routes, chantiers)

De manière générale, encourager l'utilisation du Guide de gestion des eaux pluviales (mesures de gestion des eaux pluviales qui peuvent être suggérées aux Municipalités et aux promoteurs de développements résidentiels ou autres). Un meilleur contrôle des eaux pluviales permet de réduire les apports en contaminants vers les lacs et cours d'eau et réduisant l'érosion et les débordements d'égouts et ouvrages de surverse.

<u>Rejets d'eaux usées</u>

- ✓ Réaliser les travaux nécessaires pour que toutes les stations d'épuration du bassin versant respectent l'exigence de rejet en Ptot qui lui a été fixée par le MDDELCC dans le cadre de sa position relativement à la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées domestiques.

- ✓ S’assurer de la conformité des dispositifs de traitement des eaux usées des résidences isolées et ceux du secteur commerciale.
- ✓ S’assurer que la fréquence des débordements autorisée soit respectée pour les exigences des ouvrages de surverse.
- ✓ S’assurer que les stations d’épuration respectent leurs exigences de rejet en phosphore.
- ✓ Mettre en place un plan d'intervention pour la réalisation des travaux correctifs à effectuer pour la conformité des ouvrages de surverse en priorisant les sites de débordements dans les zones sensibles.
- ✓ Encourager les municipalités à mettre en place deux réseaux (aqueduc et égout) dans les périmètres urbains (lorsqu’ils sont absents) lors de la consolidation des zones urbaines existantes.
- ✓ Encourager les municipalités à passer d’égouts unitaires à des réseaux séparés (eaux usées, eaux pluviales). Par exemple, le réseau de collecte des eaux usées de Bedford comporte près de 3 000 mètres de conduites unitaires. Le passage en réseau séparé pourrait réduire quelque peu les débordements.
- ✓ Encourager les municipalités à localiser et éliminer les raccordements inversés. Ceci permet de limiter les débordements d’égouts et surverses qui contaminent les eaux pluie par des eaux usées.
- ✓ Encourager le débranchement des gouttières aux égouts pluviaux afin de limiter les débordements.

<u>Gestion des eaux de ruissellement</u>

- ✓ Prohiber la fertilisation des pelouses à proximité des lacs et cours d’eau.
- ✓ Encourager la mise en place de structure de contrôle de l’érosion sur les chantiers de construction, notamment dans les secteurs en pentes fortes, par l’ensemble des MRC et municipalités du bassin.
- ✓ Effectuer l’inventaire des problématiques visant le contrôle des eaux de ruissellement et des sédiments dans le cadre d’un plan d’intervention à l’échelle des MRC et municipalités comprenant notamment l’aménagement de mesures permanentes dans les fossés routiers (ex : Programme d’entretien écologique et économique des fossés).
- ✓ Mettre en place et rendre systématique les pratiques décrites dans le *Guide de gestion environnemental des fossés routiers* produit par la MRC Brome-Missisquoi, le RAPPEL et le MTQ (tiers inférieur, ensemencement, barrières à sédiments, boudins de rétention, seuil de rétention, enrochement, trappe à sédiments, stabilisation des ponceaux, batardeau, etc.) afin de limiter l’érosion des chemins et fossés routiers vers les cours d’eau.
- ✓ S’assurer de la conformité des bandes riveraines en milieux urbains et résidentiels.
- ✓ Encourager les projets de protection et de végétalisation de bandes riveraines dans l’ensemble du bassin versant.