



Apports de nutriments et ses impacts sur le lac Champlain, la baie Missisquoi et la rivière Richelieu

Rapport préliminaire préparé par :

New England Interstate Water Pollution Control
Commission

Lake Champlain Basin Program

Organisme de bassin versant de la Baie Missisquoi

Pour :

Commission mixte internationale

Table des matières

Résumé	1
1 Introduction	3
1.1 Contexte, but et portée	3
1.2 Travaux antérieurs de la CMI dans le bassin du lac Champlain	4
1.2.1 Étude sur l'incidence de l'enlèvement du pont-jetée sur la qualité de l'eau	5
1.2.2 Identification des zones de sources critiques	5
1.2.3 Études sur l'atténuation des inondations du bassin du lac Champlain et de la rivière Richelieu 6	
1.3 Zones d'étude	7
1.3.1 Lac Champlain	7
1.3.2 Rivière Richelieu	8
1.3.3 Baie Missisquoi	9
1.4 Revue de la littérature et assurance de la qualité	11
2 Principaux enjeux liés à l'apport de nutriments et aux cyanobactéries	11
2.1 Aperçu des enjeux liés à l'apport de nutriments et aux cyanobactéries dans le lac Champlain et la baie Missisquoi	11
2.2 Analyses détaillées de la baie Missisquoi et du bassin versant	15
2.2.1 Hydrodynamique	17
2.2.2 Enrichissement en nutriments	18
Dynamiques, sources et causes	18
2.2.3 Efflorescences de cyanobactéries	24
Cyanobactéries et cyanotoxines	24
Sources et causes	28
2.2.4 Risques pour la santé et répercussions sur les activités récréatives	29
2.2.5 Impacts économiques	32
3 Aperçu des mesures et technologies potentielles pour la restauration du lac	34
3.1 Aperçu international des efforts de restauration et des résultats	34
3.1.1 Canada	34
3.1.2 États-Unis	35
Techniques de restauration couramment utilisées dans les lacs	35
Efforts régionaux de restauration des lacs	36

3.2	Résultats et analyse de l'efficacité, estimation des coûts-avantages et adaptabilité à la baie Missisquoi	43
4	Programmes et politiques influençant les principaux enjeux et leur efficacité	43
4.1	Historique de la gestion du phosphore dans le bassin du lac Champlain	43
4.1.1	<i>Entente sur la réduction des concentrations de phosphore dans la baie Missisquoi entre le gouvernement du Québec et le gouvernement du Vermont</i>	44
4.2	Total maximum daily load	45
4.3	Vermont	46
4.3.1	<i>Clean and Clear Action Plan</i>	46
4.3.2	<i>Loi 64: Vermont's Clean Water Act</i>	47
4.3.3	<i>Efforts politiques additionnels du Vermont</i>	47
4.4	New York	48
4.5	Québec	49
4.5.1	<i>Cadre de réglementation de l'activité agricole</i>	50
	Gestion des concentrations de phosphore dans le sol	51
4.5.2	<i>Programmes de soutien agricole</i>	53
	Programme Prime-Vert	53
4.5.3	<i>Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030</i>	55
4.6	Recommandations des experts	56
	Phosphore et nutriments	57
	Politiques et gouvernance	57
	Cyanobactéries et santé publique	58
4.6.1	<i>Éducation, sensibilisation et collaboration à l'échelle du bassin</i>	64
5	Recommandations pour la réduction des apports de nutriments et des efflorescences de cyanobactéries dans la baie Missisquoi	66
6	Références	76
	Annexe 1: Questions normalisées pour les entrevues d'experts	87

Résumé

Les gouvernements des États-Unis et du Canada, en collaboration avec le Vermont et le Québec, ont demandé l'aide de la Commission mixte internationale (CMI) afin d'analyser et de résumer les travaux réalisés à ce jour pour réduire les efflorescences d'algues bleu-vert nuisibles (cyanobactéries) dans la baie Missisquoi. Ces proliférations d'algues sont récurrentes ces dernières années dans cette baie binationale du lac Champlain. L'un des principaux résultats de ce projet est une série de recommandations qui seront adressées aux organismes et agences des deux pays pour faciliter l'atteinte des objectifs de gestion communs de qualité de l'eau et afin de réduire la fréquence des proliférations de cyanobactéries.

Le bassin versant de la baie Missisquoi du lac Champlain, d'une superficie de 3 105 km², est partagé entre la province de Québec (42 %) et l'État du Vermont (58 %). La baie Missisquoi est depuis longtemps affectée par des charges excessives de phosphore provenant de son bassin versant et présente l'une des concentrations de phosphore (P) les plus élevées de tous les secteurs du lac Champlain (Lake Champlain Basin Program, 2018). Le *Total Maximum Daily Load* (TMDL) 2016 du Vermont estime que la charge annuelle totale de phosphore pour la baie Missisquoi doit être réduite de 64,3 % pour respecter le TMDL allouée à la baie (US EPA, 2016). La plus grande source d'apport de phosphore dans la baie provient des activités agricoles (Vermont DEC, 2013; OBVBM, 2015). De plus, des sédiments riches en phosphore se sont accumulés dans la baie Missisquoi pendant de nombreuses décennies et le relargage de ce phosphore dans la colonne d'eau représente un défi de gestion supplémentaire.

Le projet comprenait cinq tâches principales :

- La collecte de documents en vue d'un examen de la littérature existante sur la charge en nutriments et les impacts sur la baie Missisquoi. Cette compilation est présentée aux chapitres 1 à 4;
- L'analyse des documents recueillis qui comprenait des entrevues avec des experts du Vermont, de New York et du Québec pour évaluer l'efficacité des efforts actuels, les lacunes dans les données et les possibilités de renforcer la coordination et la gouvernance. Cette analyse est présentée au chapitre 4;
- L'élaboration de recommandations pour renforcer les efforts actuels. Ces recommandations sont présentées au chapitre 5;
- La consultation du public et des organismes dans le bassin versant de la baie sur les recommandations;
- L'élaboration d'un rapport final résumant les principales constatations et recommandations.

Les principales recommandations visant à réduire l'apport en nutriments responsables de la prolifération des cyanobactéries dans la baie Missisquoi sont :

1. Mettre sur pied et coordonner un groupe de travail binational sur la réduction du phosphore afin de renforcer la coopération et l'imputabilité des parties pour atteindre des objectifs convenus d'un commun accord.

2. Élaborer un bilan de masse binational des importations et exportations de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi.
3. Réduire l'utilisation de phosphore sur les terres du bassin versant de la baie Missisquoi.
4. Augmenter la proportion des systèmes de cultures qui produisent moins de phosphore.
5. Accroître la protection et augmenter la superficie des plaines inondables, des milieux humides et forestiers et veiller à ce qu'ils soient reconnectés pour favoriser la rétention des nutriments.
6. Inciter les intervenants publics à s'engager dans l'atteindre les objectifs relatifs à la salubrité de l'eau et des écosystèmes.

Ces recommandations sont décrites plus en détail au chapitre 5. Au-delà de ces six recommandations prioritaires, le chapitre 5 renferme également plusieurs recommandations supplémentaires qui s'articulent autour des thèmes de l'agriculture, de la réglementation, du financement, de la recherche, des zones urbaines et des sédiments accumulés dans la baie Missisquoi. Les recommandations et le rapport ont été élaborés par le Groupe consultatif scientifique du lac Champlain réunissant des spécialistes américains et canadiens dans le domaine des sciences de la gestion des lacs et des bassins versants.

1 Introduction

La Commission mixte internationale s'emploie à prévenir et à résoudre les différends entre les États-Unis et le Canada en vertu du *Traité des eaux limitrophes de 1909* et veille au bien commun des deux pays en tant qu'organisme indépendant et objectif conseiller les deux gouvernements (énoncé de mission, CMI).

Les gouvernements des États-Unis et du Canada, en collaboration avec le Vermont et le Québec, ont demandé l'aide de la Commission mixte internationale (CMI) afin d'analyser et de résumer les travaux réalisés à ce jour pour réduire les efflorescences d'algues bleu-vert nuisibles (cyanobactéries) dans la baie Missisquoi. Ces proliférations d'algues sont récurrentes ces dernières années dans cette baie binationale du lac Champlain. Ce rapport contient une série de recommandations qui seront adressé aux organismes et agences des deux pays pour faciliter l'atteinte des objectifs de gestion communs de qualité de l'eau et réduire la fréquence des proliférations de cyanobactéries. Un projet parallèle de la CMI est en cours dans le bassin versant du lac Memphrémagog, un lac binational touché par des problèmes similaires de pollution par les nutriments et les cyanobactéries. Les deux projets visent à encourager la collaboration à l'échelle du Canada et des États-Unis afin d'atteindre des objectifs communs de qualité de l'eau.

1.1 Contexte, but et portée

Le bassin versant de la baie Missisquoi du lac Champlain, qui chevauche la frontière entre le Vermont et le Québec, comprend les sous-bassins des rivières aux Brochets, de la Roche et Missisquoi et les zones riveraines autour de la baie Missisquoi. Le bassin versant de 3 105 km² est partagée entre la province de Québec (42 %) et l'État du Vermont (58 %). La baie Missisquoi est depuis longtemps affectée par l'eutrophisation causée par des apports excessifs de phosphore provenant de son bassin versant et présente l'une des concentrations de phosphore (P) les plus élevées du lac Champlain (Lake Champlain Basin Program, 2018). Le TMDL 2016 du Vermont estime que la charge annuelle totale de phosphore pour la baie Missisquoi doit être réduite de 64,3 % pour respecter le TMDL allouée à la baie (US EPA, 2016). Ce plan d'eau est particulièrement vulnérable aux effets de la pollution de source agricole diffuse et de l'instabilité des berges des cours d'eau (Vermont DEC, 2013). Les sédiments de la baie Missisquoi sont riches en phosphore et présentent un défi de gestion supplémentaire.

Depuis les années 1990, la prolifération des cyanobactéries est un problème important dans la baie Missisquoi car elle perturbe les activités récréatives et l'approvisionnement en eau potable de la ville de Bedford au Québec. Reconnaissant que la qualité de l'eau de la baie se détériore, les gouvernements du Vermont et du Québec se sont officiellement engagés, le 26 août 2002, à réduire leur part de la pollution provenant de leurs bassins respectifs. L'engagement prévoyait que le partage de la responsabilité de la réduction des apports de phosphore vers la baie entre le Vermont et le Québec était dans une proportion de 60 % et de 40 %, respectivement (*Entente entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi*, 2002). Même si les gouvernements et les citoyens du Vermont et du Québec ont fait des progrès pour réduire l'apport de phosphore dans la baie, les objectifs n'ont pas encore été atteints.

Commission mixte internationale

En octobre 2017, les gouvernements du Canada et des États-Unis ont confié à la CMI le mandat de compiler et d'examiner des données sur la réduction des apports de nutriment et des efflorescences de cyanobactéries nuisibles dans la baie Missisquoi, et de formuler des recommandations pour améliorer les efforts combinés du Vermont et du Québec afin d'accélérer les progrès vers l'atteinte des objectifs relatifs à la qualité de l'eau de la baie Missisquoi.

Pour s'acquitter de ce mandat, la CMI a conclu un contrat avec l'Organisme de bassin versant de la Baie Missisquoi (OBVBM) pour la section relevant du Québec et avec le *Lake Champlain Basin Program* (LCBP) pour la section du Vermont du bassin versant de la baie Missisquoi. Une revue de la littérature a été effectuée pour dresser un tableau de la situation actuelle et de l'état des connaissances concernant la baie Missisquoi et son bassin versant, y compris un aperçu des programmes et des politiques déjà en place dans les deux pays. Des experts de la qualité de l'eau, y compris des chercheurs et des représentants d'organisations gouvernementales, municipales et agricoles, ont également été consultés pour évaluer les lois et les règlements, la gouvernance, les programmes de soutien financier et les mesures prises et pour aider à élaborer un ensemble de recommandations sur la gestion de la qualité de l'eau.

Cette revue de la littérature a été réalisée grâce au financement de la CMI, attribué à l'OBVBM, au LCBP et à la *New England Interstate Water Pollution Control Commission (NEIWPCC)*. Le projet comprend cinq tâches principales :

- La compilation de documents pour un examen de la littérature existante sur l'apport de nutriments et ses répercussions sur la baie Missisquoi. Cette tâche comprend l'exécution d'un examen par le Lake Champlain Basin Program Technical Advisory Committee (TAC du LCBP) et le Groupe consultatif scientifique du lac Champlain (GCSC) de la CMI. Un rapport sommaire a été produit à l'issue de cette tâche.
- L'analyse des documents recensés dans le rapport sommaire. Cette tâche comprend la réalisation d'entrevues avec des experts du Vermont, de New York et du Québec pour évaluer l'efficacité des efforts existants, les lacunes dans les données et la gouvernance. Cette tâche sera incluse dans le rapport de synthèse.
- L'élaboration de plusieurs recommandations pour renforcer les efforts actuels. Cette tâche comprend l'exécution d'un examen par le TAC du LCBP et le GCSC. Cette tâche sera incluse dans le rapport de synthèse.
- La consultation du public et des organismes du bassin sur les recommandations. Cette tâche comprendra la tenue d'assemblées publiques au Vermont et au Québec, et une compilation des commentaires reçus du public lors de celles-ci.
- L'élaboration d'un rapport final du projet. Cette tâche comprend l'exécution d'un examen par le TAC du LCBP et le GCSC. Cette tâche aboutira à un rapport final résumant les principales constatations et recommandations.

1.2 Travaux antérieurs de la CMI dans le bassin du lac Champlain

Au cours des dernières décennies, la CMI s'est employée activement à favoriser une meilleure compréhension des défis environnementaux avec lesquels doit composer le bassin versant de la baie

Missisquoi, en plus de contribuer à l'élaboration de stratégies de gestion pour relever ces défis. La présente section résume brièvement plusieurs des études pertinentes auxquelles a participé la CMI.

1.2.1 Étude sur l'incidence de l'enlèvement du pont-jetée sur la qualité de l'eau

Le pont Swanton-Alburgh de la route 78 a été construit en 1937 et comprenait un tronçon de pont-jetée sur chaque rive, relié par un pont de 170 m de longueur. En raison de la détérioration de la structure, un nouveau pont à travée fixe a été construit en 2004-2005.

En 2004, les gouvernements des États-Unis et du Canada ont demandé à la CMI d'évaluer l'impact du pont-jetée à la sortie de la baie Missisquoi du côté du Vermont. Dans son rapport de 2005, la CMI a conclu que le pont-jetée augmente d'environ 1 % la concentration de phosphore (moyenne pour l'ensemble de la baie) et le taux de sédimentation (fractions fines seulement) dans la baie Missisquoi. Elle a aussi établi que le pont-jetée n'impose pas de restrictions hydrauliques au débit d'eau entre la baie Missisquoi et les autres secteurs du bras Nord-Est du lac Champlain (Mendelsohn, Swanson et Isaji, 1997).

La CMI a recommandé que l'amélioration de la qualité de l'eau de la baie Missisquoi fasse l'objet d'accords et de plans internationaux, et que ceux-ci deviennent le point de mire des interventions gouvernementales. La CMI a également recommandé l'enlèvement du pont-jetée. Finalement, un tronçon de 100 mètres a été enlevé en 2007 lors de la construction du nouveau pont.

1.2.2 Identification des zones de sources critiques

De 2004 à 2007, la province de Québec a investi plus d'un million de dollars dans la recherche, la surveillance et la modélisation de l'apport de sources agricoles diffuses afin d'identifier les zones sensibles à l'érosion et les sources critiques d'apport de nutriments et de déterminer l'efficacité des pratiques de gestion exemplaires dans la baie Missisquoi (référence de la CMI, 2008).

Par exemple, les résultats d'une étude de modélisation avec *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* dans le sous-bassin Ewing de la rivière aux Brochets, amenaient à la conclusion que « les quatre composantes du modèle hydrographique a révélé que 46 à 67 % de la charge de phosphore total à la sortie provenait du ruissellement de surface durant le débit maximal. L'écoulement préférentiel était responsable de la plus grande partie des charges de P particulaire et de P réactif dissous rejetées par le drainage souterrain. La résurgence de l'eau souterraine était une source mineure de P Total, alors que d'autres sources comme l'érosion des berges et le relargage des sédiments contribuaient jusqu'à 21 % de l'apport de P Total et de 36 % à 41 % de l'apport de P particulaire à la décharge du sous-bassin versant. » (Michaud, A.R., I. Beaudin, F Bonn et C.A. Madramootoo. 2007)

Consciente de ces progrès récents, la CMI a demandé au LCBP, en 2008, de rassembler et d'analyser les informations sur les apports de sources critiques de phosphore par les affluents du secteur vermontois de la baie Missisquoi. L'objectif était de combiner les résultats des travaux demandés à ceux des travaux effectués au Québec pour établir un tableau adéquat du bassin versant transfrontalier (Charges en phosphore dans la baie Missisquoi, CMI, 2012).

La localisation des zones de sources critiques est extrêmement importante pour la gestion du bassin, car elle permet aux gestionnaires de prioriser les secteurs d'intérêt et de mettre en œuvre les pratiques exemplaires de gestion les plus appropriées. SWAT a été utilisé pour effectuer des simulations de modèles du bassin en utilisant des données climatiques historiques sur 30 ans, et en entrant certains paramètres comme des catégories d'utilisation des sols, des caractéristiques des sous-bassins et des évaluations sur le terrain des sources de phosphore afin de circonscrire les zones de sources critiques (Winchell et coll., 2011; Winchell et coll., 2015).

Les analyses ont révélé qu'environ 74 % de l'apport de phosphore provient de seulement 20 % du secteur du bassin versant et que 92 % du phosphore total provient de seulement 50 % du bassin versant (Winchell et coll., 2015). Environ 60 % des sédiments et du phosphore proviennent de sources situées dans le bassin versant, l'utilisation des terres agricoles représentant 60 % de cette superficie (Winchell et coll., 2011). Ainsi, les sous-bassins versants où les utilisations agricoles sont les plus intenses, notamment les sous-bassins des rivières de la Roche, Mud, aux Brochets et Hungerford, sont ceux qui contribuent le plus à l'apport de phosphore. Les 40 % restants de l'apport de phosphore sont attribuables à l'érosion des berges (Winchell et coll., 2011). Plusieurs caractéristiques hydrologiques du sol, l'indice topographique et pente ont été les facteurs les plus importants pour déterminer la quantité d'exportation de phosphore et l'emplacement des zones de sources critiques. Les simulations de modèles ont également permis d'évaluer l'efficacité de la mise en œuvre stratégique de trois bonnes pratiques de gestion, soit la réduction du phosphore dans les engrais, la culture de couverture et la rotation des cultures. Enfin, les analyses ont permis de déterminer que l'ampleur des apports de phosphore devrait augmenter avec les changements climatiques, soit de 21 à 57 % de la charge de sédiments. Toutefois, ces tendances ne semblent pas avoir pour effet de relocaliser l'emplacement des zones de sources critiques ni de réorganiser les priorités de mise en œuvre (Winchell et coll., 2011).

1.2.3 Études sur l'atténuation des inondations du bassin du lac Champlain et de la rivière Richelieu

En réponse aux inondations catastrophiques de 2011, la CMI a mis sur pied un groupe de travail chargé d'évaluer les causes et les répercussions des inondations du bassin du lac Champlain et de la rivière Richelieu et de déterminer les stratégies d'atténuation possibles. Ce nouveau groupe de travail international sur le lac Champlain et la rivière Richelieu a élaboré un plan d'étude pour répondre aux préoccupations de la CMI. Celui-ci prévoyait trois options et se voulait évolutif afin d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Ces options comprennent la modélisation de base du réseau hydrologique pour évaluer les répercussions des inondations passées, l'examen de bonnes pratiques de gestion des plaines inondables, l'analyse de stratégies d'adaptation possibles et l'examen des avantages que procurent les méthodes de prévision des inondations et de cartographie en temps réel (International Lake Champlain and Richelieu River Plan of Study Workgroup 2013). De plus, le plan d'étude comprenait une évaluation quantitative et qualitative des mesures possibles pour atténuer les inondations. Le groupe de travail a recommandé que la CMI mène une enquête approfondie sur les perceptions actuelles du public à l'égard des mesures d'atténuation des inondations afin de mieux éclairer les différentes composantes du plan d'étude.

En 2015, le Groupe de travail technique international du lac Champlain et de la rivière Richelieu a produit un rapport détaillant ses travaux (« Vers un système opérationnel en temps réel de prévision des crues

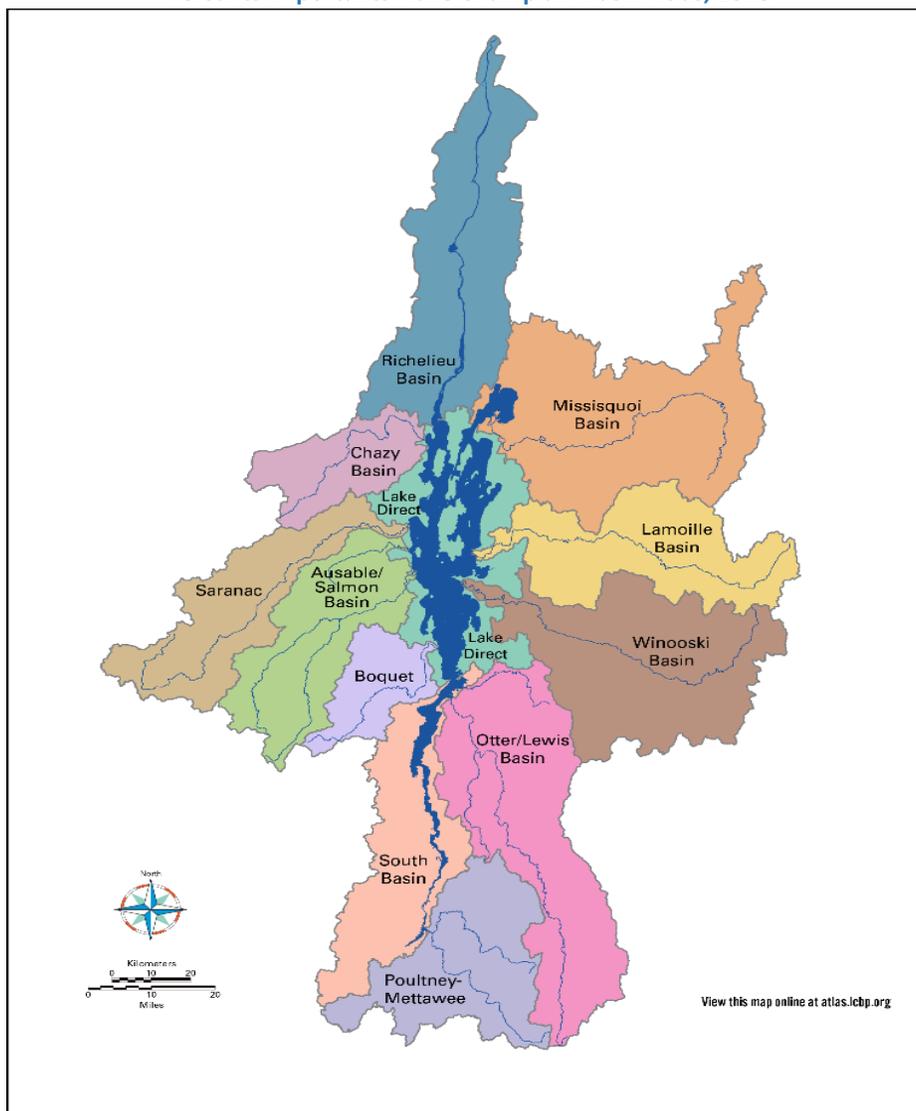
et de cartographie des plaines inondables pour le lac Champlain et la rivière Richelieu », 2015). Les éléments de l'étude abordés dans cette phase du projet étaient l'élaboration de modèles hydrologiques et hydrauliques en temps réel pour la prévision des niveaux d'eau dans le lac Champlain et la rivière Richelieu, ainsi que la création de cartes statiques de prévision des crues pour le public. Cette étude internationale a exigé des efforts considérables en matière de collecte, d'organisation et de normalisation de données, y compris la mise au point d'une méthode de correction des données altimétriques. On a constaté que la modélisation hydrodynamique initiale produisait des résultats satisfaisants pour le lac et la rivière Richelieu, jusqu'à Chambly, mais il faut des données bathymétriques supplémentaires de Chambly à Sorel pour simuler avec plus de précision le cours et les crues de la rivière dans ces zones (« Vers un système opérationnel en temps réel de prévision des crues et de cartographie des plaines inondables pour le lac Champlain et la rivière Richelieu », 2015). Le groupe de travail technique a formulé de nombreuses recommandations à l'intention de la CMI pour aller de l'avant, notamment des suggestions pour l'amélioration et l'affinement du modèle hydrodynamique, des sites pour la collecte continue des données et les besoins en matière de données supplémentaires (p. ex., un seul modèle d'élévation digital (*DEM*) pour l'ensemble du bassin versant du lac Champlain et de la rivière Richelieu). En outre, le groupe de travail technique a recommandé la mise sur pied d'une entité de coordination internationale chargée de coordonner les efforts des organismes gouvernementaux responsables de produire les prévisions de niveau d'eau.

1.3 Zones d'étude

1.3.1 Lac Champlain

Le lac Champlain couvre une superficie de 1 127 km² et son bassin versant en couvre 21 326 km². Cette superficie abrite plus de 600 000 habitants répartis dans les États de New York et du Vermont et la province de Québec (figure 1). D'une longueur de 193 km et contenant 26 millions de mètres cubes d'eau, le lac Champlain s'écoule vers le nord jusqu'à la rivière Richelieu, puis jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Les sols fertiles du bassin offrent de vastes étendues pour des activités agricoles et ses eaux assurent un approvisionnement en eau potable pour plusieurs municipalités. On y retrouve des habitats pour une faune abondante et nombreuses activités récréatives. Comme ses eaux s'étendent dans les États américains de New York et du Vermont, et dans la province de Québec, son histoire est riche et il soutient une économie binationale dynamique. Le lac Champlain comprend cinq grands secteurs uniques (le sud, la section principale, la baie Malletts, la section Nord-Est et la baie Missisquoi), chacun ayant une bathymétrie, des problèmes de qualité de l'eau et un caractère communautaire différent. En plus des défis inhérents à une gestion du lac relevant de plusieurs entités gouvernementales, chacun des secteurs influence les autres, de sorte qu'il est essentiel de continuer d'utiliser une approche de gestion à l'échelle du bassin versant du lac Champlain.

Figure 1. Le bassin versant du lac Champlain couvre une superficie de 21 326 km² et comprend 11 sous-bassins versants importants. Lake Champlain Basin Atlas, 2018



1.3.2 Rivière Richelieu

La rivière Richelieu, qui s'étend sur 124 km, prend sa source dans lac Champlain et elle est l'un des principaux affluents du lac Saint-Pierre dans le fleuve Saint-Laurent. Le bassin versant de la rivière Richelieu couvre une superficie de 2 546 km² (excluant le lac Champlain). En raison de ses sols fertiles et du climat doux, l'agriculture représente une activité prédominante dans tout le bassin versant, sur près de 70 % de sa superficie dont 76,9 % sont des grandes cultures. Les milieux anthropiques occupent 9,7 % du territoire et les milieux forestiers et humides ne comptent respectivement que pour 15 et 2,4 % (Simoneau et coll., 2017). En 2014, la population permanente du bassin versant de la rivière Richelieu comptait 469 113 habitants répartis sur le territoire, soit une densité de population de 184 habitants/km² (COVABAR, 2015).

1.3.3 Baie Missisquoi

La baie Missisquoi occupe une superficie totale 77,5 km², dont 46,1 km² est située au Québec ce qui représente environ 7 % de la superficie totale du lac Champlain (1127 km²). La profondeur de la baie est en moyenne 2,8 mètres et peut atteindre environ 5 mètres. Le rapport entre la superficie de la baie Missisquoi (77,5 km²) et de son bassin versant (3122 km²) est de 40/1, et ce ratio relativement élevé rendrait la baie Missisquoi plus vulnérable à l'utilisation du territoire (Levine et al., 2012). Les caractéristiques naturelles de la baie Missisquoi la rendent particulièrement vulnérable à l'eutrophisation compte tenu de sa faible profondeur moyenne, de la circulation hydraulique complexe, de la température au fond relativement élevée et de l'absence de stratification thermique (EXXEP, 2004). Les trois principaux cours d'eau qui se déversent dans la baie Missisquoi sont la rivière Missisquoi, la rivière aux Brochets et la rivière de la Roche.

Tableau 1. Superficie des sous-bassins du bassin versant de la baie Missisquoi

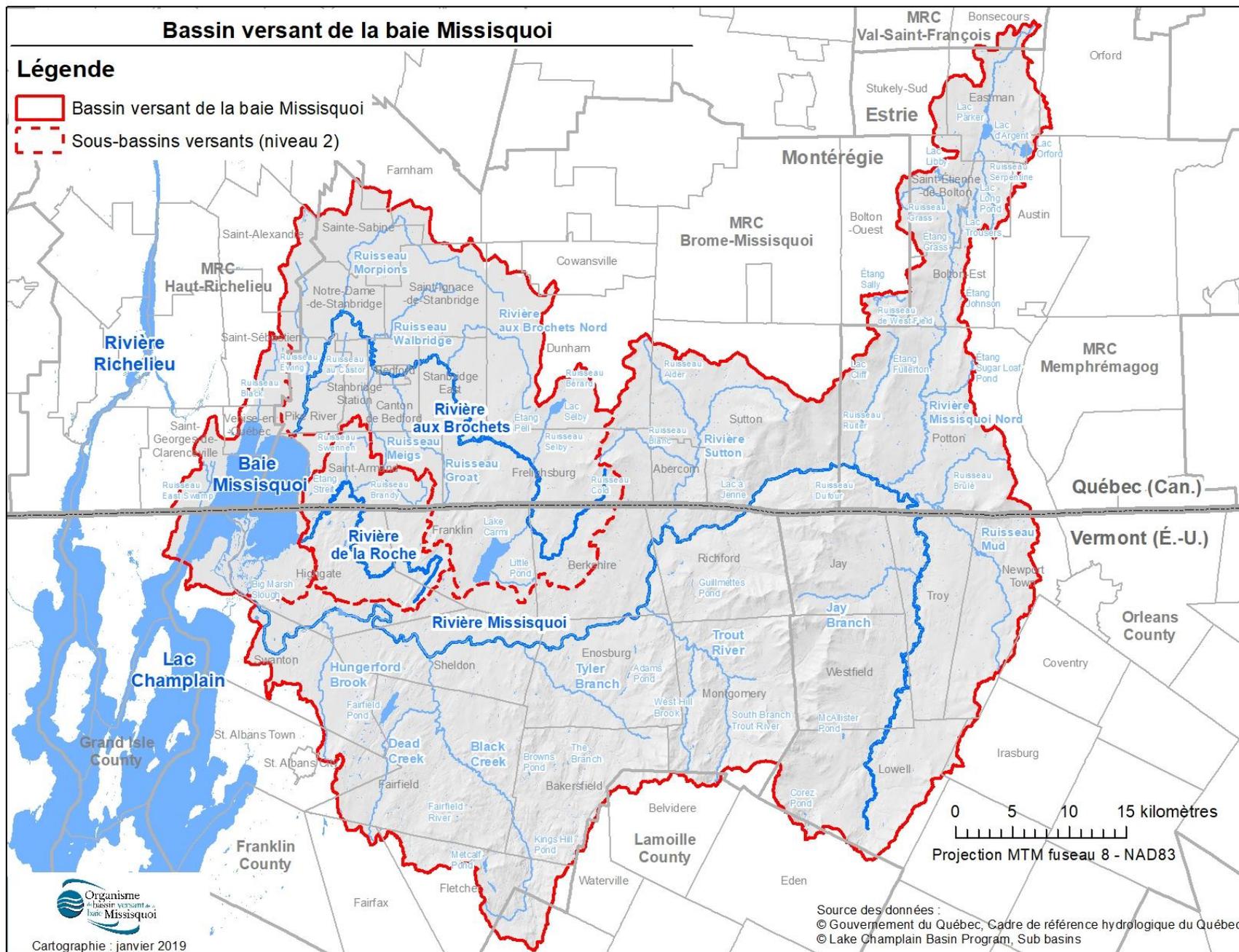
Sous-bassin	Superficie au Québec		Superficie au Vermont		Superficie totale	
	km ²	% au Qc	km ²	% du Vt	km ²	% du total
Drainage direct à la baie	56	51 %	54	49 %	110	4 %
Rivière de la Roche	52	36 %	92	64 %	144	5 %
Rivière aux Brochets	552	84 %	102	16 %	653	21 %
Rivière Missisquoi	652	29 %	1 562	71 %	2214	71 %
TOTAL Bassin versant baie Missisquoi	1 311	42 %	1 810	58 %	3122	100 %

Sources : DEH, 2018; LCBP, HUC12 2013 v2

La population permanente de la partie québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi a été estimée à 23 650 habitants en 2017, et elle a augmenté de 17 % depuis 1996 (ISQ, 2018). La population saisonnière, qui comprend les occupants de résidences secondaires et de chalets situés principalement à Sutton, Venise-en-Québec, Potton et Eastman, est estimée à environ 15 300 habitants (MRC Brome Missisquoi, 2013). La population estivale totale de la partie québécoise du bassin versant est donc d'environ 39 000 habitants. En 2010, la partie du bassin versant située sur le territoire du Vermont comptait une population estimée à 25 620 habitants (US Census Bureau, 2010). Toutefois, les données sur la population saisonnière ne sont pas disponibles pour la partie située sur le territoire du Vermont. La population totale du bassin versant (Québec et Vermont) est estimée à 49 270 résidents permanents.

La baie Missisquoi est la source d'eau potable de milliers de personnes, une ressource économique et récréative importante pour la région. La baie compte plusieurs plages et terrains de camping sur son territoire, environ 900 sites. La baie Missisquoi est un endroit populaire pour les plaisanciers dont les amateurs de planche à voile et de cerf-volant de traction (*kitesurf*).

Figure 2. Le bassin versant de la baie Missisquoi couvre une superficie de 3 122 km² (OBVBM, 2019)



1.4 Revue de la littérature et assurance de la qualité

La revue de la littérature se veut représentative de l'état actuel des connaissances sur les problèmes liés à l'apport de nutriments et aux cyanobactéries dans le lac Champlain et la baie Missisquoi. Elle porte sur les principales sources, causes et dynamiques des nutriments dans les zones d'étude et sur l'influence de ces nutriments sur la prolifération des cyanobactéries. De plus, elle propose une analyse de l'efficacité de divers programmes et politiques visant à gérer les nutriments et les cyanobactéries et à maîtriser leurs répercussions sur la santé publique et l'environnement.

La revue de la littérature au Vermont a été effectuée et approuvée conformément au *Quality Assurance Project Plan (QAPP)*. L'information a été obtenue d'articles revus par des pairs, de thèses universitaires approuvées, de rapports gouvernementaux et d'autres rapports techniques, ainsi que des informations issues de la recherche active menée dans le cadre du Lake Champlain Basin Program. Des sources originales ont été recueillies pour des références citant les données de d'autres études. *Zotero*, un logiciel de gestion de référence ouvert et libre, a été utilisé pour gérer et organiser collectivement les documents de référence.

Au Vermont, 171 références ont été recensées et examinées, dont 65 sont citées dans le présent document. Toutes les sources non revues par des pairs ont fait l'objet d'un examen interne afin de s'assurer qu'elles fournissent une information de grande qualité publiée par des auteurs réputés. Les travaux concernant les zones d'étude du lac Champlain, de la rivière Richelieu et de la baie Missisquoi ont eu préséance sur les études menées ailleurs.

L'OBVBM a examiné plus de 150 études et documents de références en plus d'interviewé 65 personnes à l'aide d'un questionnaire. Une synthèse complète des points de vue exprimés a été réalisée. Le GCSC du Québec a évalué les parties d'entrevues les plus pertinentes par rapport au mandat de la CMI. Les opinions qui reflétaient un certain consensus ou soulevées par plusieurs répondants sont incluses dans ce rapport. Elles sont présentées dans diverses sections du rapport et désignées par la mention « Entrevues de l'OBVBM, 2019 ».

En ce qui concerne les mentions du phosphore partout dans le rapport, ce nutriment est mesuré et désigné de plusieurs façons, y compris le phosphore total (PT), le phosphore réactif soluble (PRS) et le phosphore particulaire (PP). Moore (2016) présente une description détaillée des diverses formes de phosphore et de la nomenclature connexe. Sauf indication contraire, le terme « phosphore », utilisé dans le présent rapport, renvoie au phosphore total.

2 Principaux enjeux liés à l'apport de nutriments et aux cyanobactéries

2.1 Aperçu des enjeux liés à l'apport de nutriments et aux cyanobactéries dans le lac Champlain et la baie Missisquoi

Le lac Champlain fait face à plusieurs défis en ce qui concerne la qualité de l'eau, incluant les changements climatiques, les espèces aquatiques envahissantes et la pollution par nutriments (Smeltzer, Shambaugh et Stangel 2012; Lake Champlain Basin Program, 2018). La prolifération des cyanobactéries est l'une des plus grandes menaces avec laquelle doivent composer les collectivités du lac Champlain. Ces proliférations engendrent une multitude d'obstacles pour les économies locales et la santé publique, notamment en limitant l'utilisation des eaux à des fins récréatives et en raison des effets potentiels sur la

santé de l'exposition aux cyanotoxines dans les eaux récréatives et l'eau potable. La localisation, le moment et l'intensité des proliférations de cyanobactéries varient d'une année à l'autre, mais on les observe souvent à la fin de l'été dans la baie Missisquoi et elles peuvent persister pendant plusieurs semaines à chaque occurrence (Shambaugh, 2016; Pearce et coll., 2013).

Ce ne sont pas toutes les espèces de cyanobactéries qui produisent des toxines, et celles qui peuvent en produire n'en produisent pas systématiquement. Les toxines des cyanobactéries peuvent être nocives pour les humains, les animaux de compagnie et la faune, et peuvent agir sur plusieurs parties du corps humain. En plus de l'irritation cutanée et des symptômes gastro-intestinaux qui peuvent être causés par le contact avec les cyanobactéries, les hépatotoxines (p. ex., microcystine et cylindrospermopsine) peuvent endommager le foie, et les neurotoxines (p. ex., anatoxine et la BMAA, ou bêta-méthylamino-L-alanine) peuvent endommager le système nerveux (Shambaugh, 2016). Une étude à court terme qui a analysé la microcystine et l'anatoxine-a dans les usines de traitement d'eau de Burlington et de Champlain a révélé de faibles concentrations de ces toxines dans des échantillons d'eau brute et d'eau traitée (Boyer et coll., 2004). L'échantillonnage continu des installations d'eau potable s'approvisionnant dans le lac Champlain est examiné plus en détail à la section 2.2.3. Hormis la baie Missisquoi et le secteur Nord-Est, les concentrations de microcystine sont généralement très faibles dans l'ensemble du lac et très rarement relevées dans l'eau potable brute et traitée (Boyer et coll., 2004; Lake Champlain Basin Program, 2018; Shambaugh et coll., 2017).

Bien que le relevé paléolimnologique des sédiments du lac Champlain fasse état de la présence de cyanobactéries (Levine et coll., 2012), les proliférations de cyanobactéries sont plus fréquentes lorsque l'apport de phosphore provenant de l'utilisation des terres est considérable et que la température de l'eau est plus élevée (Facey et coll., 2012). En ce qui concerne le lac Champlain, les prévisions sur les changements climatiques prêtent à penser que l'élévation des températures de l'air et de l'eau du bassin versant réunira des conditions plus propices à la croissance des cyanobactéries (Shambaugh, 2016; Îles, 2016). La Direction de l'expertise hydrique du Québec (DEH) a produit l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, qui dresse un portrait de l'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques (crues, périodes d'étiage, hydrologie du Québec méridional d'ici 2050 (CEHQ, 2013 et 2015). Pour ce qui est de l'hydrologie de la rivière Missisquoi et la rivière aux Brochets, la DEH prévoit une augmentation très probable du débit moyen hivernal-printanier et une diminution probable du débit moyen été-automne (DEH, 2018). Selon les données de la DEH et de l'USGS, toutes les stations hydrométriques du bassin versant de la baie ont observé une augmentation des débits annuels moyens depuis le début de leurs activités (CEHQ, 201). On s'attend à ce que la fonte printanière s'amorce plus tôt, graduellement vers février, et culmine en mars plutôt qu'en avril (Mehdil, 2013).

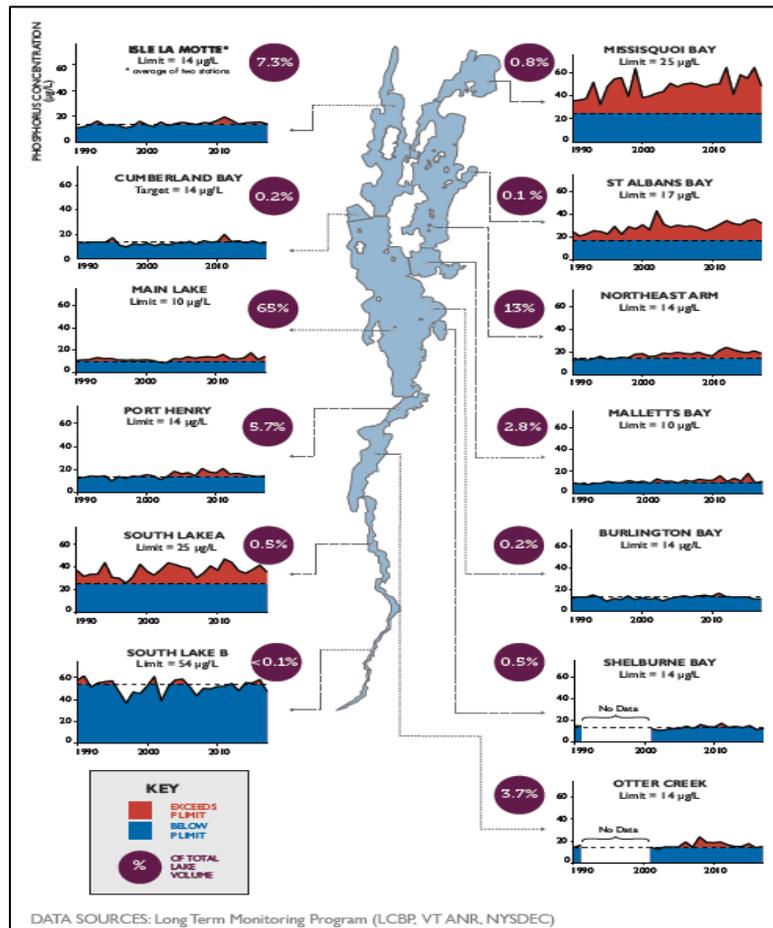
La croissance des cyanobactéries dépend de la concentration de phosphore biodisponible, qui est souvent considéré comme un nutriment limitant dans les systèmes d'eau douce (Wetzel, 2001; Isles, 2016). Les concentrations excessives de phosphore continuent de poser un problème dans le lac Champlain et les travaux visant à établir les TMDL de phosphore ont été entrepris dans les années 1990. Pour les besoins de la gestion des concentrations de phosphore, le lac est divisé en 13 secteurs, et le TMDL du phosphore provenant de la partie du bassin située au Vermont a été établie par l'EPA pour 12 d'entre eux (U.S. EPA, 2016). En 2002, le NYSDEC a établi la TMDL du phosphore provenant de la partie du bassin située dans l'État de New York. Aucune tendance établie à long terme n'a été observée dans l'un ou l'autre des secteurs du lac, à l'exception du secteur Nord-Est, où une tendance à la hausse a été observée de 1990 à 2017 (Lake Champlain Basin Program, 2018). D'une façon générale, les limites de

phosphore établies pour les secteurs de la baie Missisquoi, de la baie St-Albans, South Lake A et du secteur Nord-Est sont dépassées (figure 3).

Le phosphore provient principalement de l'utilisation répandue de l'engrais et du fumier et de l'alimentation des animaux, de sorte que la production agricole est la source la plus importante de l'apport de phosphore dans le lac (U.S. EPA, 2016). L'apport de phosphore provenant des terres agricoles de la partie du bassin versant de la baie Missisquoi située au Vermont est d'environ 58 tonnes métriques/an, ce qui représente environ 42 % de l'apport de phosphore total dans cette partie du bassin versant (USEPA, 2016). Les apports de phosphore par unité animale dans l'ensemble du bassin du lac Champlain ont plus que doublé de 1925 à 2012 (Wironen, Bennett et Erickson, 2018). L'un des principaux défis de gestion de cet apport de phosphore dans le lac réside dans le fait qu'une partie de celui-ci est attribuable au phosphore résiduel dans les sols suite aux pratiques agricoles depuis plusieurs années. Ce phosphore résiduel continuera de cheminer jusque dans les cours d'eau malgré les efforts de réduction actifs (Lake Champlain Basin Program, 2018).

Les zones urbaines et les sédiments des berges érodées sont deux autres sources de phosphore préoccupantes. Les zones urbaines représentent environ 4 % de la superficie totale du bassin du lac Champlain et environ 16 % de l'apport de phosphore total (USEPA, 2016; Lake Champlain Basin Program, 2018). La plus grande partie de ce phosphore provient de l'altération du cycle hydrologique par les surfaces imperméables. Ces surfaces imperméables génèrent des charges de polluants associées au lessivage des sédiments accumulés, et l'augmentation du ruissellement de surface peut également exacerber l'érosion des berges des cours d'eau. Souvent, les sédiments des berges érodées dans les cours d'eau proviennent des cours d'eau dont la végétation ou la connectivité avec les plaines inondables sont insuffisantes pour assurer la stabilité. Cette source importante contribue à la production de 165 tm de phosphore dans le lac chaque année, ce qui représente environ 18 % de l'apport de phosphore total (Lake Champlain Basin Program, 2018).

Figure 3. Concentrations annuelles de phosphore et cibles de TMDL pour les 13 secteurs de lac de 1990 à 2017
(Lake Champlain Basin Program, 2018)



Comme le montre la figure 3, la baie Missisquoi demeure le secteur du lac où la concentration de phosphore est la plus problématique du lac Champlain.

Les rejets de sources ponctuelles provenant des installations de traitement des eaux usées contribuent relativement peu au problème du phosphore dans la baie Missisquoi et ont ajouté à peine 1,7 % à l'apport total dans la baie de 2001 à 2010 (USEPA, 2016). De 1991 à 2009, à l'échelle du lac, les mesures de réduction du phosphore mises en place par les installations de traitement des eaux usées ont entraîné une diminution de 83 % de l'apport de phosphore provenant des eaux usées du bassin versant du lac Champlain.

En plus des contributions externes, la charge interne de phosphore pose un problème dans la baie. Les sédiments qui se sont déposés au fond du lac emmagasinent le phosphore et agissent comme un réservoir qui peut libérer du phosphore au fil du temps lorsque les conditions de l'eau y sont propices. La quantité de phosphore rejetée par les sédiments benthiques dépend du vent, du débit et d'autres facteurs qui influent sur la dilution, la stabilité de la colonne d'eau et les niveaux d'oxygène à l'interface eau-sédiments (Giles et coll., 2016). Une étude menée par Levine et coll. (2011) sur l'évolution des sédiments de la baie Missisquoi a révélé que le taux d'accumulation des sédiments antérieur était d'environ 0,6 kg/m²/an à la fin du XIX^e siècle. Ce taux a augmenté graduellement et connu une

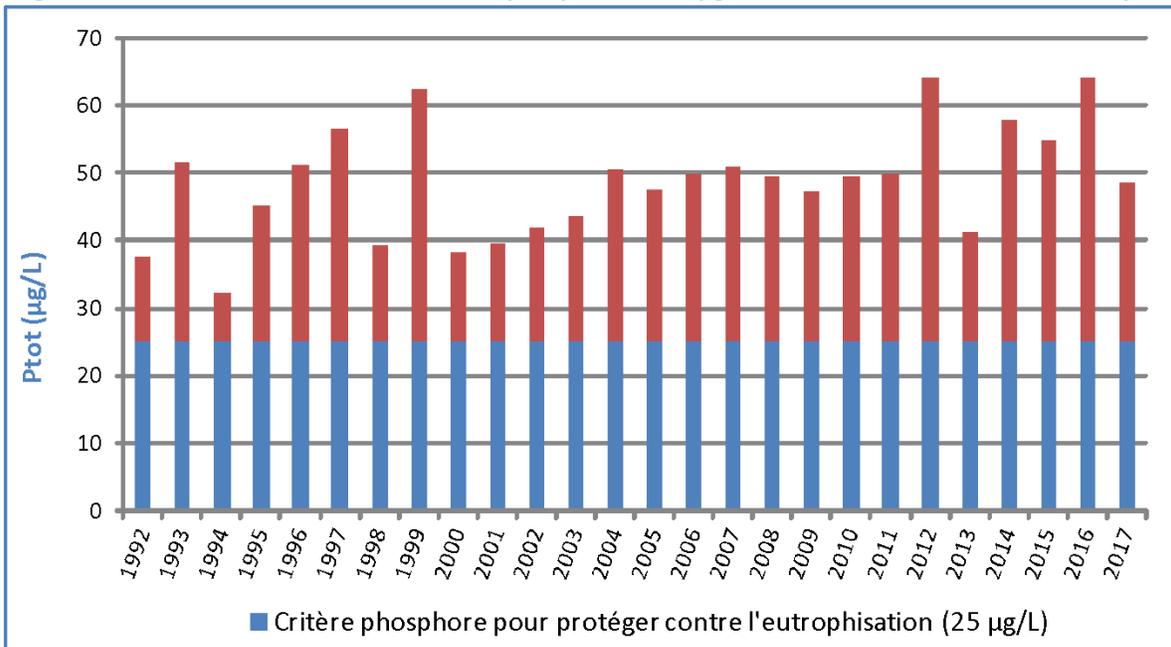
augmentation importante dans les années 1990, atteignant 1,4 kg/m²/an. Le phosphore présent dans les sédiments contribue à la prolifération des cyanobactéries, à l'accélération de l'eutrophisation du lac et à la dégradation de son écosystème aquatique. De plus, en raison de cette charge interne, il devient encore plus difficile d'atteindre la concentration de phosphore cible de 0,025 mg/L pour la baie Missisquoi.

2.2 Analyses détaillées de la baie Missisquoi et du bassin versant

La baie Missisquoi qui est relativement chaude et peu profonde est eutrophe. Les caractéristiques de son bassin versant (p. ex., rapport superficie du territoire-eau, élévation), ainsi que les pratiques d'utilisation des sols, amplifient la dégradation de la qualité de l'eau et contribue aux apports de nutriments dans tout le lac Champlain. La baie Missisquoi est eutrophe depuis plusieurs décennies. Par exemple, de juin à septembre 1967, la concentration moyenne de phosphore était de 0,085 mg/L à la frontière canado-américaine (Fontaine et coll., 1968). L'examen des données montre que la concentration de phosphore a augmenté de 72 % de 1979 à 2009, et que celle de la chlorophylle a doublé au cours de la même période (Smeltzer et coll., 2012).

La figure 4 illustre l'ampleur des dépassements des concentrations moyennes annuelles de phosphore à la station 50 depuis 1992, par rapport à la cible de 0,025 mg/L (LCBP, 2018).

Figure 4 : Concentrations excédant le critère phosphore de 25 µg/l à la station 50 dans la baie Missisquoi



Source : LCBP, 2018

Selon la TMDL de 2016, l'apport estimé de 2001 à 2010 était de 72,4 tm (35 %) pour le Québec et de 136,3 mt (65 %) pour le Vermont, pour un total de 208,7 MT (TetraTech, 2015). L'apport cible total à atteindre selon cette nouvelle TMDL serait de 81,0 mt de phosphore par année pour atteindre la concentration cible de 0,025 mg/L dans la baie Missisquoi, soit 32,4 mt pour le Québec et 48,6 mt pour le Vermont (TetraTech, 2015). L'apport interne de phosphore a été pris en compte dans l'examen du

TMDL de 2016 à l'issue duquel le Vermont et le Québec se sont vus contraints de réduire encore davantage les apports des affluents.

Tableau 2. Charges quotidiennes maximales totales de la baie Missisquoi (apport de base et charge maximale) 2002 et 2016

	Entente Qc-Vt (TMDL 2002)		TMDL 2016	
	Charge de base (1991) (%)	Charge maximale (% de réduction)	Charge de base (2001-2010) (%)	Charge maximale (% de réduction)
Québec	66,2 (40 %)	38,9 (41 %)	72,4 (35 %)	32,4 (55 %)
Vermont	101,1 (60 %)	58,3 (42 %)	136,3 (65 %)	48,6 (64 %)
TOTAL	167,3 (100 %)	97,2 (42 %)	208,7 (100 %)	81,0 (61 %)

Sources : Hegman et coll., 1999, TetraTech, 2015

Malgré une augmentation réelle des charges vers la baie Missisquoi, l'analyse comparative des relations concentration-débit entre les périodes 2001-2005 et 1990-1992 démontre une baisse importante des concentrations de phosphore pour la plage des faibles débits (< 100 hm³/an), ce qui reflète l'effet des interventions d'assainissements urbain et industriel et une baisse significative pour la plage des débits élevés (≥ 100 hm³/an), ce qui suggère une amélioration associée à l'assainissement agricole (Smeltzer et Simoneau, 2008). Par exemple, en comparaison avec les données de 1991, les charges de phosphore ponctuelles provenant des eaux usées municipales ont diminué de 73 % au Vermont et de 74 % au Québec pour la période 2001-2005 (Smeltzer et Simoneau, 2008). Selon l'étude des tendances pour la période 1990-2008, publiée en 2009 par le LCBP en collaboration avec le MELCC, 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 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 (Smeltzer et al., 2009).

Dans la partie située au Québec, les tendances à la baisse observées depuis 1999 dans certains affluents de la baie Missisquoi témoignent d'améliorations importantes en ce qui concerne les plages de débit faible et les apports de sources ponctuelles, et certains sous-bassins versants en terres agricoles présentent des signes positifs. Quoi qu'il en soit les apports semblent demeurer stables depuis 2006, malgré les efforts déployés. La stabilité relative de l'apport de phosphore observée à partir de 2006 tient du fait que les apports résiduels proviennent principalement de sources diffuses (Simoneau, entrevues de l'OBVBM, 2019). La combinaison des efforts d'assainissement a aidé à réduire l'apport de phosphore. Toutefois, les concentrations élevées qui demeurent associées aux débits élevés trahissent la lenteur de la réduction de cet apport (Simoneau, entrevues de l'OBVBM, 2019).

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer la stagnation des concentrations dans certains cours d'eau :

- Les interventions visant à produire des changements mesurables sont inadéquates et non durables.
- Les interventions n'ont pas influé sur les secteurs critiques de façon suffisante.

- Des interventions suffisantes sont trop récentes pour que leurs effets soient mesurables.
- La mise en œuvre de pratiques agroenvironnementales ne peut effacer les effets des pratiques de fertilisation antérieures qui ont mené à un enrichissement excessif des sols. Elles demeurent la cause du degré actuel de fertilité du sol et de la charge interne de la baie en raison des sédiments accumulés.

Malgré l'absence de preuves d'amélioration depuis 2006, cette stabilité indique néanmoins que les interventions ont empêché, dans une certaine mesure, la dégradation de la qualité des cours d'eau en dépit des pressions qu'ils subissent (Simoneau, 2018). Toutefois, dans les principaux affluents de la baie Missisquoi, les concentrations et les charges de nutriments et de sédiments demeurent excessives par rapport aux cibles et aux critères de protection des écosystèmes et de la baie. Des efforts considérables doivent encore être déployés pour réduire l'apport de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi, y compris celui de sources diffuses.

Bien que l'aire de drainage de la baie Missisquoi ne couvre que 15 % de la superficie totale du bassin versant du lac, elle contribue à environ 23 % de l'apport de phosphore total du lac Champlain. Cet apport disproportionné de phosphore du bassin versant de la baie sont aggravés par la faible profondeur de la baie et la connectivité limitée avec le reste du lac. Les concentrations excessives de phosphore qui en résultent menacent l'écosystème de la baie Missisquoi, l'approvisionnement public en eau potable et les activités récréatives dans ses eaux (Troy et coll., 2007; TetraTech, 2015).

2.2.1 Hydrodynamique

La baie Missisquoi est la baie la plus au nord du lac Champlain, et son hydrodynamique est relativement simple en raison de sa faible profondeur et de sa connectivité limitée avec les autres secteurs du lac Champlain par le passage d'*Alburgh*. L'ouverture restreinte à l'extrémité sud de la baie Missisquoi concentre l'écoulement de l'eau vers l'extérieur de la baie dont 86 % du volume s'écoule vers l'extérieur par le passage d'*Alburgh* et la baie Carry (Marsden et Langdon, 2012). L'exutoire de la baie Missisquoi, dont la largeur naturelle est d'environ 1 350 m, est contraint par un rétrécissement important causé par deux remblais totalisant 1 080 m, des vestiges de l'ancien pont-jetée Alburgh-Swanton, qui laisse une ouverture de 270 m au centre, soit 20 % de la largeur naturelle.

La baie reçoit de l'eau de trois affluents : les rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche. La plus longue de ces trois rivières est la rivière Missisquoi, qui fait environ 142 km. L'utilisation du territoire de cet affluent est répartie en secteurs boisés (60 %), agricoles (24 %) et urbains (6 %) (Vermont DEC, 2013). La rivière Missisquoi déverse 79 % de l'eau vers la baie (Limnotech, 2012). Les superficies du bassin versant de la rivière aux Brochets présentent une composition semblable, alors que 51 % sont boisés, 34 % sont utilisées à des fins agricoles et 5 % à des fins urbaines (Vermont DEC, 2013). Enfin, les superficies du bassin versant de rivière de la Roche sont boisées, utilisées à des fins agricoles et abritent des milieux urbains, dans des proportions respectives de 40 %, 41 % et 5 %, et 7 % en milieux humides. Les rivières aux Brochets et de la Roche contribuent respectivement à 18 % et à 3 % du déversement d'eau dans la baie (Limnotech, 2012).

L'hydrodynamique de la baie Missisquoi est principalement tributaire des vents (Manley et coll., 1999), mais elle est également affectée par la dynamique thermique, le rayonnement solaire et des débits des

affluents (Isles, 2016). Quatre modes de circulation ont été cernés : le ralentissement hivernal, la fonte printanière, mélangé en été et stratifié en deux couches l'été (Manley et coll., 2018).

Le bassin de la baie Missisquoi abrite 25 barrages, chacun ayant des utilités différentes. Ces barrages modifient le débit et affectent la qualité de l'eau et le transport des sédiments (Vermont DEC, 2013). Le drainage souterrain modifie également l'hydrologie du bassin versant et augmente le débit d'eau total provenant des champs tout en réduisant la quantité d'eau de surface (Moore, 2016). Environ 75 % des cours et des plans d'eau du bassin de la baie Missisquoi ont subi des influences attribuables à des modifications de l'utilisation du territoire et de l'hydrologie, ainsi qu'à des réalignements anthropiques (Potter et coll., 2008).

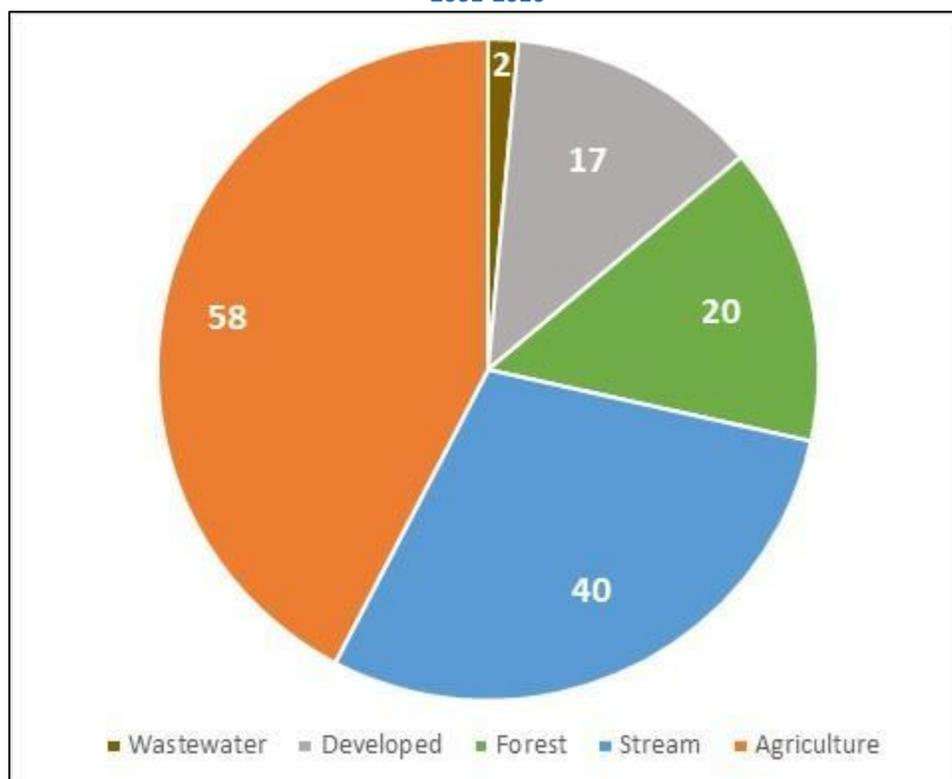
2.2.2 Enrichissement en nutriments

Dynamiques, sources et causes

Les concentrations de phosphore dépassent généralement les normes de qualité de l'eau dans l'ensemble du lac Champlain et dans la baie Missisquoi. Le lac Champlain est sur la liste de l'EPA (Point 303d) des plans d'eau dégradés par le phosphore et des TMDL ont été établies pour les 13 secteurs (US EPA, 2016). Lorsque l'on tient compte des contributions du Vermont et du Québec (136 et 72 tm/an respectivement), le bassin versant de la baie Missisquoi représente 23 % de la charge totale de phosphore du lac Champlain (922 tm/an).

Au cours de la période de 2001 à 2010, les sources du Vermont ont contribué en moyenne 136 tm/an de phosphore, dont 42 % provenaient de sources agricoles et 29 % de cours d'eau, principalement à cause de l'érosion des berges (U.S. EPA, 2016). Les taux moyens d'apport de phosphore ont été analysés pour les sous-bassins du bassin versant de la baie Missisquoi. Les sous-bassins affichant les taux moyens d'apport de phosphore les plus élevés ont été ceux de la rivière Missisquoi près de l'embouchure, de la rivière aux Brochets, de la rivière Missisquoi Nord et de la rivière Upper Missisquoi (Smeltzer et Simoneau, 2008). L'eau de la baie Missisquoi dépasse constamment le critère phosphore de 0,025 mg/L dans la partie située au Vermont. Les charges de phosphore provenant des secteurs urbains, boisés et agricoles sont parmi les plus élevées de tous les secteurs du lac Champlain (U.S. EPA, 2016). Le diagramme circulaire ci-dessous illustre le rôle majeur des sources agricoles dans l'enrichissement en nutriments de la baie Missisquoi.

Figure 5. Apport de phosphore (tm/an) dans la baie Missisquoi de la partie du sous-bassin située au Vermont, 2001-2010



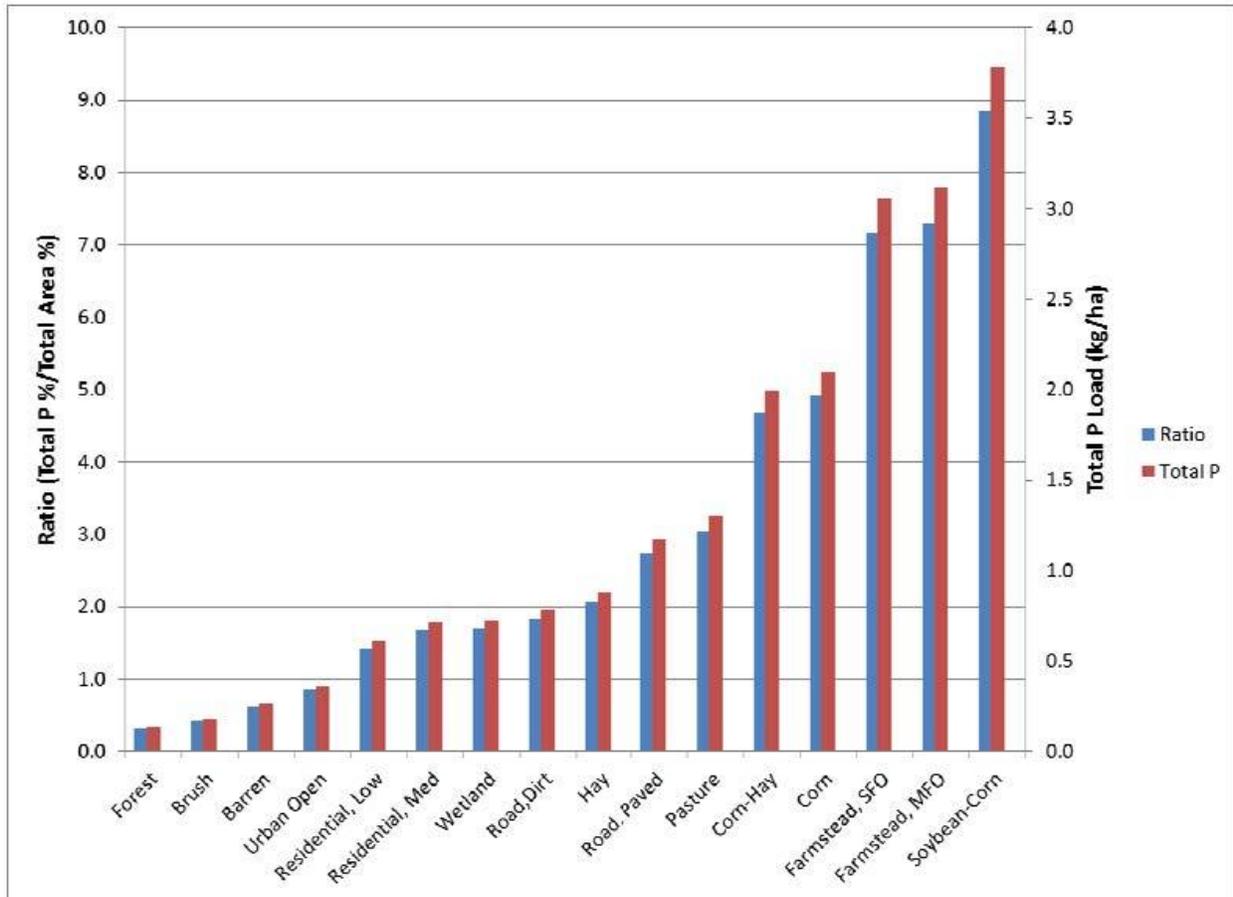
Source : Données de l'U.S. EPA, 2016.

Des sources ponctuelles sont réparties dans tout le bassin versant du lac Champlain. Le Vermont compte sept ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées et un ouvrage de traitement des eaux usées industrielles, tandis que le Québec compte huit ouvrages municipales d'assainissement des eaux usées (Missisquoi Bay Phosphorus Reduction Task Force 2000). Toutefois, les rejets d'eaux usées se sont avérés être une source relativement faible d'apport de phosphore dans la baie Missisquoi. En 2002-2005, ils ne représentaient que 2 % de l'apport de phosphore total du Vermont et 3 % de l'apport de phosphore total du Québec (Smeltzer et Simoneau 2008). Les autres zones urbaines présentaient des charges de phosphore qualifiées de « moyennes » par comparaison à d'autres classifications d'utilisation des sols, mais comme les zones urbaines ne représentent que 6 % de la superficie du bassin versant de la baie Missisquoi, l'apport de phosphore est considéré comme « faible » (Winchell et coll., 2011).

L'érosion des berges est une source importante de nutriments et contribue à environ 29 % à 40 % du phosphore dans la baie Missisquoi (Morrissey et Rizzo, 2010; Winchell et coll., 2011; Langendoen et coll., 2012; U.S. EPA, 2016) et environ 29 % à 42 % de la quantité totale de matières en suspension déposées dans la baie chaque année (Langendoen et coll., 2012). Des études du bilan masse du phosphore ont révélé que les sédiments déposés jouent un rôle important dans le cycle du phosphore de la baie, les sédiments résiduels agissant à la fois comme source et réservoir de phosphore (Limnotech, 2012). Les flux sédimentaires sont responsables de 20 % et de 43 % des apports de phosphore total pendant toute l'année et l'été, respectivement (Limnotech, 2012). En plus des sources provenant de l'érosion des berges, l'érosion causée par les pratiques agricoles ou forestières peut également jouer un rôle dans le dépôt de nutriments. Le labourage annuel des champs de maïs, ainsi que l'instabilité des berges causée

par la circulation de la faune, peuvent également contribuer à l'érosion et, par conséquent, à l'apport de phosphore dans les cours d'eau et éventuellement la baie Missisquoi (Potter et coll., 2008).

Figure 6. Taux d'apport de P total et par rapport au ratio charge-superficie pour les principales utilisations du territoire (évaluation des zones de sources critiques)



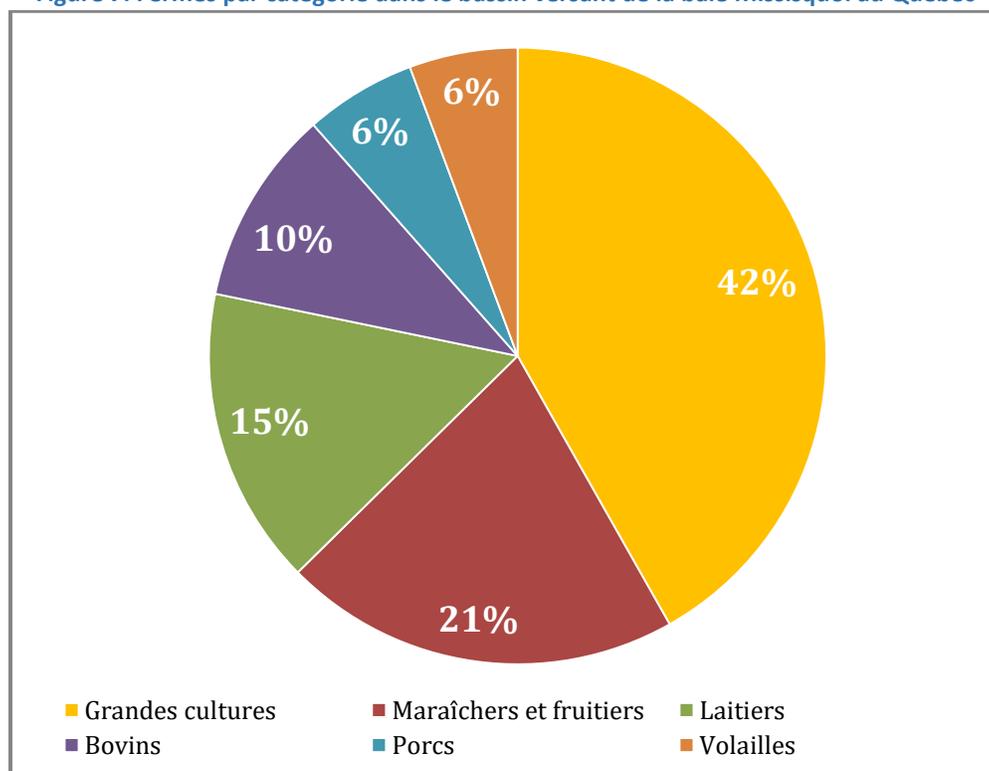
Source : Stone Environmental, CSA.

Les nutriments provenant de sources agricoles dans le bassin versant de la baie Missisquoi ont été désignés comme les principales causes de sa dégradation (Smeltzer et Simoneau, 2008; U.S. EPA, 2016). On dénombre 290 fermes laitières dans la partie du bassin versant située au Vermont et plus 100 fermes de production animale (Vermont DEC, 2013).

Dans la portion québécoise du bassin versant de la baie Missisquoi, selon les données du MAPAQ issues des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles de 2019, on retrouve 490 fermes dont le site principal d'exploitation est situé dans le bassin versant, contre 626 en 2010 (MAPAQ, 2019). Les fermes produisant des grandes cultures (265) et celles spécialisées dans production laitière (99) sont les plus répandues, suivies par les productions horticoles (fruits de champs (45), vergers (54), légumes de champs (33)), de bovins de boucherie (65), les productions porcines (37), les productions de poulet et dindons (36). C'est dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets que l'on retrouve de loin le plus grand nombre de fermes avec 359, suivie de la rivière Missisquoi (70). Les bassins versants de la rivière de la Roche (34) et du drainage direct vers la baie (27) en comptent un nombre plus restreint. Le bassin versant de la baie Missisquoi (Québec et Vermont) est d'ailleurs le sous-bassin du lac Champlain où l'on

retrouve en 2005 le plus grand nombre de fermes et le plus grand nombre d'unités animales par hectare (Watzin, 2005).

Figure 7. Fermes par catégorie dans le bassin versant de la baie Missisquoi au Québec

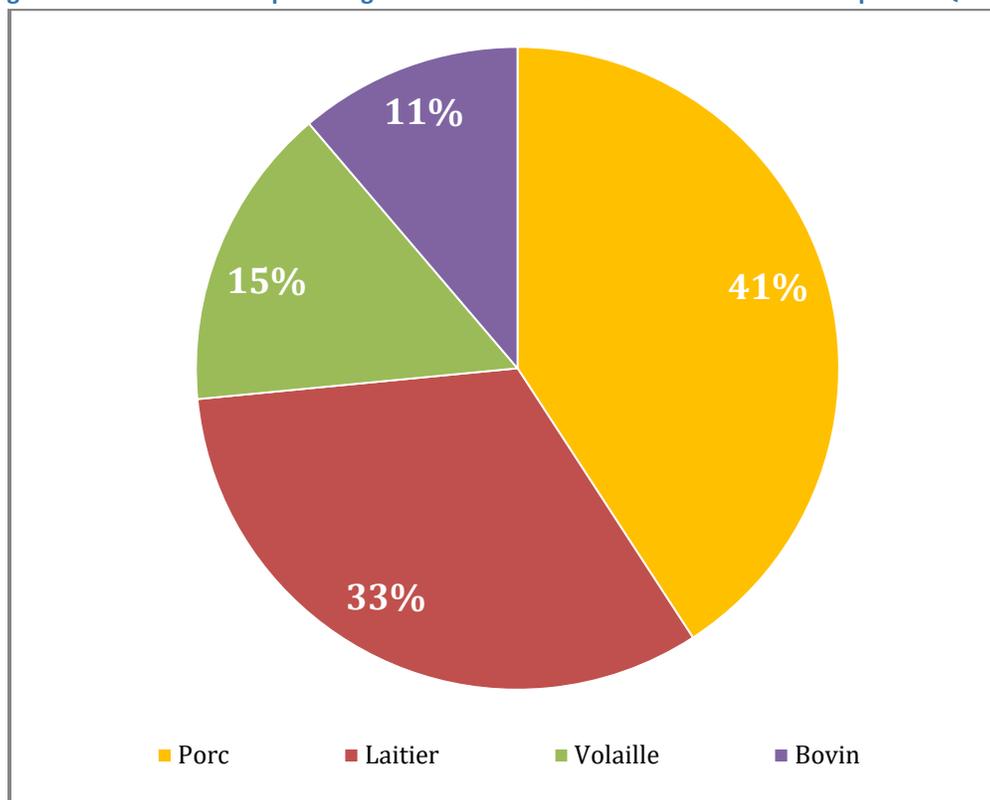


Source : MAPAQ, 2019

Les 490 entreprises agricoles localisées dans le bassin versant exploitent 52 375 ha de superficies agricoles en 2019. De ce total, 20 357 ha (39%) sont consacrés aux grandes cultures (principalement le maïs grain, le soya et les céréales à paille), 10 154 ha aux prairies et pâturages (19%), 1135 ha en maïs ensilage (2%) et 1134 ha de productions fruitières, légumières et horticoles (2%). Les superficies forestières (incluant l'acériculture) représentent 16 744 ha (32%) et les autres superficies non cultivées (incluant les jachères et friches) 2500 ha (5%) (MAPAQ, 2019)

Il y a environ 248 fermes d'élevage dans la partie du bassin situé au Québec, pour un total de 30 131 unités animales, réparties comme suit : 41 % pour la production porcine; 33 % pour la production de bovins laitiers; 15 % pour la production de volaille et 11 % pour la production de bovins de boucherie (MAPAQ, 2019).

Figure 8. Unités animales par catégorie dans le bassin versant de la baie Missisquoi au Québec



Source : MAPAQ, 2019

Ce cheptel semble avoir diminué avec le temps compte tenu du fait qu'on dénombrait 42 060 unités animales (ua) dans le bassin selon le Recensement de 2006 (Statistique Canada, 2006). Le bassin de la rivière aux Brochets abrite la grande majorité (70 %) des fermes d'élevage, 78 % des unités animales dans l'ensemble du bassin et affiche la plus forte densité animale, à raison de 1,4 ua/hectare cultivée (Statistique Canada, 2006).

Comme on l'a déjà démontré, les superficies agricoles sont la principale source de phosphore dans la partie québécoise du bassin versant et elles génèrent environ 75 à 80 % de l'apport dans la baie Missisquoi. L'eutrophisation de la baie Missisquoi est étroitement liée à l'intensification des activités agricoles dans son bassin versant (Levine et coll., 2012). Malgré les mesures correctives et l'amélioration des pratiques agricoles, le principal déterminant des concentrations médianes de phosphore demeure l'occupation agricole du territoire et, plus particulièrement, la proportion des cultures annuelles dans les bassins versants (Simoneau, 2018).

Selon la modélisation de 25 bassins versants au Québec effectuée par le MELCC, la proportion de cultures annuelles dans un bassin explique 65 % de la variance observée dans les concentrations médianes de phosphore mesurées aux stations de suivi et 85 % en ce qui concerne l'azote. Le cheptel (nombre d'unités animales) représente 14 % de la variance du phosphore observée (4 % en ce qui

concerne l'azote) et les apports provenant des eaux usées ne représentent que 2 % du phosphore total (Hébert et Blais, 2017).

En outre, selon une étude de l'Institut de recherche et de développement pour l'agroenvironnement (IRDA), dans l'ensemble, environ 33 % des analyses de sol recueillies dans les municipalités du bassin versant de la rivière aux Brochets affichaient des taux de saturation supérieurs au seuil de vulnérabilité pour la perte de phosphore de 10 % (Agrosol, 2002).

Selon le même rapport, la principale source d'apport diffuse de phosphore dans les superficies agricoles de la partie québécoise de la baie n'est pas le phosphore minéral, mais bien celui issu du fumier (Michaud et coll., 2006). La gestion du fumier devient donc un enjeu prioritaire. De plus, il a été noté que les fertilisants, en particulier le fumier, sont surtout appliqués pour répondre aux besoins en azote des cultures, tout en dépassant de beaucoup les besoins en phosphore, qui sont plus faibles étant donné la forte concentration de phosphore dans les sols.

Le type de couvert végétal et le non-enfouissement des engrais chimiques ou organiques expliquent également la plus forte proportion de phosphore dissous qui a été mesurée en cultures pérennes et en semis direct (Stamm et al. (1998) Gasser et al., 2016). Pesant (1987), Messiga et al., (2009). Une étude de l'IRDA sur l'effet des types de sols, des types cultures et de l'épandage de lisier sur l'exportation du phosphore a démontré que le type de sol est responsable de 70 % de la biodisponibilité du phosphore particulaire alors que l'épandage de lisier explique à lui seul 35 % de la variabilité en phosphore réactif dissous (Michaud et Laverdière, 2004). 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 et vulnérable à l'érosion entre les rangs que pour les cultures à interlignes étroits. Il y a moins de corrélation avec les cultures pérennes et une corrélation inverse avec les forêts (Gangbazo, Roy et Le Page, 2005). La richesse du sol et les bilans des apports sont significativement corrélés dans le bassin et contribuent à expliquer plus de 85% de la variabilité spatiale dans les flux de phosphore dans le sous-bassin de la rivière aux Brochets (Deslandes et coll., 2006 et Michaud et coll., 2007).

Des études ont été menées pour évaluer la mobilité du phosphore causée par le drainage souterrain, particulièrement dans le sous-bassin versant de la rivière aux Brochets. On a observé que les eaux souterraines étaient le principal point de décharge, relarguant environ 80 % des exportations totales d'eau, et que jusqu'à 40 % du phosphore était exporté par des drains souterrains. Les pertes de phosphore et d'azote dissous et particulaires sont particulièrement élevées par les canaux préférentiels dans les sols argileux. Toutefois, selon la même étude, le ruissellement de surface a contribué à la plus grande partie (60 %) des pertes de phosphore, car celui-ci était en moyenne 10 fois plus concentré dans le ruissellement de surface que dans les drains (Jamieson et coll., 2003; Enright et Madramootoo, 2004).

L'azote et les nitrates sont très solubles et donc très mobiles, particulièrement dans les eaux souterraines (Thériault, 2013). Une étude publiée en 2002 a conclu que 90 % des pertes annuelles de nitrate se produisaient par les drains agricoles, les concentrations mesurées variant de 1 à 40 mg/L

(Giroux et coll., 2002). Seulement 10 à 15 % des pertes de nitrate proviennent du ruissellement de surface.

2.2.3 Efflorescences de cyanobactéries

Cyanobactéries et cyanotoxines

À l'échelle mondiale, on dénombre 2 698 espèces définies de cyanobactéries, et certaines estimations suggèrent que le nombre réel pourrait en réalité atteindre près 8 000 (Nabout et coll., 2013). Les types de cyanobactéries les plus répandus dans la baie Missisquoi sont *Microcystis*, *Anabaena* et *Aphanizomenon* (Davis et coll., 2009; Isles et coll., 2015; Pearce et coll., 2013). Plusieurs études ont montré qu'il existe une importante variation interannuelle de la présence et de la dominance de différentes espèces de cyanobactéries (Isles et coll., 2017; Bowling, Blais et Sinotte, 2015). La complexité de la dynamique des nutriments de la baie Missisquoi est en grande partie responsable de l'hétérogénéité de la communauté. En effet, une étude a démontré que différents taxons pouvaient devenir l'espèce dominante dans différents sites d'échantillonnage (Bowling, Blais et Sinotte, 2015).

Le problème des cyanobactéries s'est aggravé depuis la deuxième moitié du XX^e siècle, ce qui coïncide avec une augmentation des apports de nutriments provenant de sources diffuses dans la baie Missisquoi. Smeltzer, Shambaugh et Stangel (2012) parlent d'une dominance croissante des cyanobactéries dans la baie Missisquoi ces 50 dernières années. Avant les années 2000, il y avait peu de sensibilisation et peu de surveillance harmonisée des efflorescences dans la région (Shambaugh, 2016). Au tournant du siècle, plusieurs décès de chiens ont été associés à de graves efflorescences dans le lac Champlain, ce qui a suscité l'intérêt du public pour la présence de cyanobactéries et soulevé des préoccupations (Boyer et coll., 2004). Les stations de suivi de la qualité de l'eau montrent depuis 2003 que la sévérité de certaines conditions diminue et que, à certains endroits, on observe une diminution de la fréquence des efflorescences (Shambaugh, 2016).

Les efflorescences de cyanobactéries dans la baie Missisquoi sont plus importantes au Québec parce qu'elles se concentrent dans la partie de la baie située au Québec (Blais, 2002). De 2000 à 2008, la zone la plus touchée par les cyanobactéries était la partie est de la baie Missisquoi, le secteur de Grande Baie, qui s'étend de Pointe Jameson à Saint-Armand, et le secteur de Philipsburg. Le secteur de la baie de Venise arrive au deuxième rang, tandis que le secteur central de la baie Missisquoi est le moins touché (Blais, 2014). Les efflorescences de cyanobactéries sont généralement observées de la deuxième moitié de juin jusqu'à la mi-octobre et deviennent plus nombreuses à partir de la deuxième moitié de juillet. Les vents dominants du sud-ouest favorisent la prolifération des cyanobactéries principalement vers les parties est de la baie, ainsi que vers la baie de Venise (Blais, 2014).

Les scientifiques cherchent toujours un moyen de mieux comprendre la relation entre les cyanobactéries et les cyanotoxines. L'établissement de cette corrélation est compliqué par le fait que, même au sein d'un genre, certains taxons peuvent être incapables de produire des toxines tandis que d'autres sont capables de produire des toxines, mais peuvent ne pas exprimer le gène producteur de toxines (Shambaugh, 2016). Les cyanobactéries peuvent produire une grande variété de toxines ayant des structures chimiques et des impacts sur la santé humaine différents. Par exemple, bien qu'il n'y ait qu'un seul analogue connu de l'anatoxine-a, il existe plus de 80 variantes de microcystine connues présentant un large éventail de toxicités (Boyer et coll., 2004).

Il est important de mieux comprendre quand et où peut se produire une efflorescence et quand elle peut devenir toxique, parce ce qu'il en va de la gestion des avis sanitaires, des fermetures de plages et du prélèvement de l'eau potable. Divers facteurs liés à l'environnement et à la qualité de l'eau ont été utilisés, avec une précision variable, pour prédire la toxicité des efflorescences. Il s'agit notamment d'échantillonner les concentrations de nutriments, de pigments comme la phycocyanine et la chlorophylle, et de nouvelles méthodes comme des tests moléculaires pour dépister les gènes de cyanobactéries produisant des toxines. De nouvelles méthodes moléculaires pour détecter le gène *mcyE* sont prometteuses pour une compréhension et une détection plus précise des cyanobactéries productrices de microcystine (Francy et coll., 2015).

Les cyanotoxines les plus couramment observées dans la baie Missisquoi sont les microcystines et les anatoxines-a (Shambaugh, 2016; Boyer et coll., 2004). Il n'y a aucun moyen de déterminer s'il y a toxicité à l'œil nu. Ainsi, dans les plans d'eau non contrôlés, les concentrations élevées de cyanotoxines ont été constatées par leurs effets sur la santé des animaux et des humains (Shambaugh, 2016; Rosen et coll., 2001).

D'une façon générale, les microcystines sont les cyanotoxines courantes les plus répandues dans le lac Champlain et la baie Missisquoi (Boyer et coll., 2004). À l'instar de l'anatoxine-a, les microcystines sont souvent présentes, mais en faibles concentrations. Parmi les 80 variantes connues de microcystines, la plus courante et la plus toxique est la microcystine-LR (Graham et coll., 2010). Les cyanobactéries produisent probablement des microcystines en réponse aux conditions de stress oxydatif présentes à la surface pendant les efflorescences (Zilliges et coll., 2011).

De nombreuses souches de cyanobactéries peuvent produire une cyanotoxine, et une souche de cyanobactéries peut produire de multiples cyanotoxines. Par exemple, *Anabaena* peut produire n'importe laquelle des cyanotoxines communément trouvées dans la baie Missisquoi, tandis que *Microcystis* peut produire de la microcystine et de l'anatoxine-a (Boyer et coll., 2004; Thorne et Schlesinger, 2017). Quoi qu'il en soit, les microcystines sont plus fréquemment produites par *Microcystis*, alors que l'anatoxine-a est plus fréquemment produite par *Anabaena* (Boyer et coll., 2004).

Les cyanotoxines ne sont généralement pas présentes en concentrations élevées dans la baie Missisquoi. Cela ne veut pas dire pour autant que leurs effets potentiels peuvent être ignorés. Bien que des études aient révélé que les concentrations d'anatoxine-a dans la baie Missisquoi seraient plutôt très faibles, l'anatoxine-a peut entraîner des effets nocifs sur la santé humaine, même à de faibles concentrations, parce qu'elle présente une toxicité accrue à de faibles concentrations (Osswald et coll., 2007).



Exemple de prolifération de cyanobactéries dans le lac Champlain. Photo : LCBP.

Le lac Champlain est une source d'eau potable pour environ 20 % de la population du bassin. Plusieurs services d'eau publics y prélèvent de l'eau et la traitent pour leurs clients. Certains résidents établis en bordure du lac y prélèvent aussi de l'eau qu'ils traitent minimalement, voir aucunement, avant la consommation (Lake Champlain Basin Program, 2018). Une étude à court terme qui a permis d'échantillonner 16 emplacements le long du lac, ainsi que de l'eau brute et de l'eau traitée provenant de cinq prises d'eau d'usines de traitement des eaux, a révélé la présence de cyanotoxines à de faibles concentrations dans environ la moitié des échantillons prélevés. De faibles concentrations ont été décelées dans quelques-uns des échantillons d'eau potable brute et traitée, mais elles étaient toutes inférieures aux concentrations de l'avis de santé de l'eau potable du Vermont (Vermont Department of Health 2018). Les microcystines étaient la principale cyanotoxine détectée, et des concentrations plus élevées de cette toxine ont été détectées dans les parties plus septentrionales du lac, comme la baie Missisquoi. Les échantillons prélevés dans les prises d'eau d'usines de traitement des eaux moins profondes présentaient des concentrations plus élevées que ceux prélevés dans les eaux plus profondes du lac (Boyer et coll., 2004).

Les préoccupations du public au sujet des efflorescences potentiellement toxiques de cyanobactéries dans le lac ont amené l'État du Vermont à effectuer des tests de dépistage de microcystine et de cylindrospermopsines pour les services publics qui puisent l'eau potable du lac Champlain. Depuis l'été 2014, le programme de l'eau potable du VTDEC, en collaboration avec le ministère de la Santé du Vermont, a mis en œuvre un programme de surveillance volontaire gratuit pour contrôler l'eau de 22 services d'eau publics qui s'approvisionnent dans le lac Champlain. Les concentrations de microcystines et de cylindrospermopsines sont contrôlées chaque semaine pendant les 12 semaines d'été. On contrôle l'eau brute et l'eau traitée (2015-2018 Cyanobacteria Monitoring Reports, VT DEC).

Parmi les services d'eau publics qui participent aux activités de contrôle, ceux de Swanton, Alburgh, *Alburgh Fire District #1* et de *Grand Isle Fire District #4* prélèvent l'eau potable dans les parties les plus au

nord du lac Champlain et la distribuent à leurs populations. Les données recueillies à ce jour dans le cadre de cet échantillonnage montrent qu'un seul service d'eau public, Grand Isle Fire District #4, en a détecté la présence ($0,16 \mu\text{g L}^{-1}$ de microcystines dans l'eau brute, août 2016) (2015-2018 Cyanobacteria Monitoring Reports, VT DEC).

La prise d'eau potable de la ville de Bedford (qui alimente également le secteur de Philipsburg à Saint-Armand) se trouve dans la baie Missisquoi à une profondeur moyenne de 3,5 m (2,5 m en périodes d'étiage et 4,5 m en périodes de hautes eaux) (Blais, 2014). Dans la baie Missisquoi en 2001, la concentration maximale admissible de microcystines dans l'eau potable de $1,5 \mu\text{g/L}$ a été dépassée dans 31 % des échantillons prélevés dans l'écume, et la concentration la plus élevée échantillonnée était de $2\ 204 \mu\text{g/L}$ (Blais, 2002). En 2002, on a détecté une efflorescence de cyanobactéries à l'intérieur de l'usine de traitement de l'eau potable de Bedford. Le système de traitement existant n'était plus en mesure d'assurer la salubrité de l'approvisionnement en eau. Par conséquent, un avis de non-consommation de l'eau potable a été émis le 13 août et a été levé le 6 septembre 2002.

Les défis posés par les cyanobactéries dans la prise d'eau ont exigé des investissements importants pour traiter adéquatement l'eau potable. On a dû ajouter une étape de traitement au charbon actif et faire le suivi. Depuis 1994, les coûts du traitement de l'eau potable ont augmenté considérablement avec l'avènement des cyanobactéries. La facture pour le chlore et le charbon actif a augmenté de façon exponentielle à Bedford, les dépenses d'exploitation du réseau d'alimentation en eau étant passées de 200 000 \$ à 600 000 \$ par année en une décennie (Hébert, 2018). De 2001 à 2006, dans le cadre de son programme de surveillance de la qualité de l'eau potable, le MELCC a mis en œuvre une étude de surveillance de l'eau brute et de l'eau traitée de six stations de traitement de l'eau potable, dont celle de Bedford, puisant leur eau dans des milieux aquatiques où les cyanobactéries prolifèrent. Selon l'étude, malgré la présence élevée de cyanobactéries et de cyanotoxines dans les échantillons prélevés à la source, les concentrations maximales de microcystine-LR et d'anatoxine-a mesurées dans l'eau traitée étaient de 30 à 50 fois inférieures aux valeurs limites recommandées par l'INSPQ (Robert et coll., 2004; Robert, 2008).

Il se peut que de nombreuses stations de traitement de l'eau potable négligent, tant sur le plan de l'exploitation que de la conception, de prendre en considération le besoin de traiter l'eau contre les cyanobactéries et les cyanotoxines. Certaines cellules cyanobactériennes peuvent être éliminées par des processus de clarification et de filtration, mais la détection de cellules cyanobactériennes peut perturber le processus de traitement et compromettre les activités de l'usine. De plus, des procédés de traitement, comme la chloration, peuvent lyser les cellules cyanobactériennes et entraîner ainsi le largage de toxines. Il est important d'envisager des techniques de traitement appropriées lorsque l'eau de surface eutrophe est utilisée comme source d'eau potable (Sklenar, Westrick et Szlag, 2016).

À compter de 2018 et jusqu'en 2020, la *Federal Safe Drinking Water Act* des États-Unis exigera des essais approfondis pour la détection des cyanotoxines pour les réseaux publics d'eau desservant plus de 10 000 clients. Un échantillon représentatif des petits réseaux publics d'eau et de tous les systèmes utilisant des eaux de surface (ou des eaux souterraines sous l'influence directe des eaux de surface) devront prélever des échantillons pour détecter neuf (9) cyanotoxines et un (1) groupe de cyanotoxines (microcystines totales) (U.S. EPA, 2016). Ces essais pourraient cerner d'autres problèmes liés aux cyanotoxines dans l'eau potable du lac Champlain et aider à recenser les réseaux d'eau potable à risque.

Toutefois, ces essais ne s'appliqueront pas aux habitations privées qui puisent leur eau directement dans le lac.

Sources et causes

Il est généralement admis qu'en raison de l'accroissement de la population dans le bassin du lac Champlain, les apports anthropiques de nutriments augmentaient, la fréquence et la gravité des efflorescences en faisaient autant (Isles et coll., 2017; Winslow, 2016; Boluwade et Madramootoo, 2015). La baie Missisquoi, en particulier, a connu un sort semblable puisqu'elle est devenue eutrophe en raison de l'accroissement de la production agricole et d'une certaine urbanisation dans les années 1970, ce qui coïncide avec une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des efflorescences (Levine et coll., 2012).

La prolifération des cyanobactéries est le résultat d'interactions complexes entre plusieurs facteurs, dont la température de l'eau, la lumière du soleil, le pH, la teneur en nutriments et les courants dans le plan d'eau en question (Duy et coll., 2000). La baie Missisquoi présente des caractéristiques naturelles qui la rendent particulièrement vulnérable aux proliférations de cyanobactéries. Elle est peu profonde et cette condition favorise une plus grande productivité ce qui peut aggraver le problème des cyanobactéries dans toute la colonne d'eau. La faible profondeur de la baie favorise le réchauffement de la colonne d'eau et laisse pénétrer le rayonnement solaire jusqu'aux sédiments. Ces conditions peuvent stimuler les activités métaboliques des cyanobactéries, y compris la synthèse des vacuoles gazeuses (Hyenstand et coll., 1998). De plus, l'absence de stratification thermique observée dans la baie Missisquoi et l'abondance de lumière fournissent aux cyanobactéries des conditions de croissance optimales. Elles peuvent être photosynthétisées dans la colonne d'eau parce que la lumière et les nutriments sont suffisamment abondants.

Les cyanobactéries ont des caractéristiques qui leur permettent de dominer les autres espèces d'algues qui constituent le phytoplancton des lacs. Par exemple, elles peuvent se déplacer verticalement dans la colonne d'eau par des vacuoles gazeuses. Elles peuvent également accumuler des réserves de phosphore près des sédiments et remonter à la surface près de la lumière pour la photosynthèse (EXXEP, 2004).

Tout comme l'interaction complexe des nombreux facteurs qui influent sur la dynamique des nutriments dans la baie, la dynamique des cyanobactéries varie facilement au cours des années et entre elles (Isles et coll., 2017; Bowling, Blais et Sinotte, 2015). Il est important de comprendre la variabilité des efflorescences sur une échelle temporelle interannuelle pour évaluer les options d'atténuation. L'interaction de divers facteurs météorologiques et hydrodynamiques exacerbe la complexité de la compréhension des causes des proliférations.

La saison des efflorescences de la baie Missisquoi est souvent divisée en quatre périodes distinctes : avant l'efflorescence/après la fonte des glaces, début de l'efflorescence, pic de l'efflorescence et après l'efflorescence. La période précédant l'efflorescence est souvent associée à des températures froides de l'air et de l'eau et à un faible nombre de cellules cyanobactériennes. L'efflorescence débute lorsque les températures commencent à se réchauffer et que les nutriments du lac atteignent un point où les cyanobactéries peuvent devenir dominantes. Le pic de l'efflorescence correspond à la croissance la plus dense de cyanobactéries, souvent vers la fin des mois d'été lorsque la température de l'eau atteint 20 °C, ce qui coïncide avec la plupart des efflorescences dans la baie Missisquoi survenant à la fin de l'été ou au début de l'automne (Davis et coll., 2009; Hart et coll., 2013). En règle générale, les périodes postérieures

à l'efflorescence sont caractérisées par une diminution des concentrations de cyanobactéries à mesure que les températures diminuent (Giles et coll., 2016).

La dynamique des nutriments influe fortement sur les conditions de formation des efflorescences. Le phosphore tend à être le moteur de la croissance des cyanobactéries, tandis que l'azote peut influencer sur la densité et la toxicité de certaines proliférations (Gobler et coll., 2016, Davis et coll., 2009). Bien qu'il soit généralement reconnu que le phosphore est le nutriment limitant dans les systèmes d'eau douce, il n'y a pas encore consensus quant à son importance et à son rôle. Les facteurs humains et environnementaux peuvent entraîner des fluctuations dans les concentrations de nutriments au fil des mois et des années, car les quantités d'azote et de phosphore peuvent avoir un effet sur l'une sur l'autre et sur le système dans son ensemble (Doering et coll., 1995; Gobler, 2016).

Lorsque le rapport azote total:phosphore total (AT:PT) est faible, comme il a tendance à l'être dans la baie Missisquoi, il devient probable d'observer des efflorescences de cyanobactéries à mesure qu'elles prospèrent et acquièrent un avantage sur le phytoplancton dans les environnements à faible concentration d'azote (Davis et coll., 2009; Pearce et coll., 2013). La baie Missisquoi a connu des années au cours desquelles le rapport AT:PT n'a jamais dépassé 16 (Hart et coll., 2013). Dans certains cas, des échantillons prélevés à la fin de l'été ont fait état d'un rapport AT:PT inférieur à 10 (Fortin et coll., 2013). Selon le ratio Redfield (rapport atomique du carbone, de l'azote et du phosphore que l'on trouve dans le phytoplancton), la valeur 16 est la moyenne du rapport AT:PT, et toute valeur inférieure à 10 indique une limitation claire par l'azote, et toute valeur supérieure à 30 indique une limitation claire par le phosphore. Il n'est pas rare d'observer un changement de nutriment limitant dans un système d'eau douce, d'une année à l'autre ou parfois au cours d'un même été (Gobler et coll., 2016). On a par exemple observé des périodes où certaines parties de l'ouest du lac Érié étaient caractérisées par des concentrations limitantes par l'azote à la fin de l'été (Thorne et Schlesinger 2017).

L'idée voulant que la fixation de l'azote aide les cyanobactéries à compenser l'absence d'azote dans le système est un élément clé de l'argument en faveur de la limitation par le phosphore. La fixation de l'azote est le processus de transformation de l'azote atmosphérique en ammoniac, que les cyanobactéries utilisent pour croître et se multiplier. Dans la baie Missisquoi, *Anabaena* et *Aphanizomenon* utilisent la fixation de l'azote (Davis et coll., 2009; Hart et coll., 2013; McCarthy et coll., 2016; Boyer et coll., 2004) et sont généralement dominantes en nombre plus tôt pendant la saison d'efflorescence typique (fin du printemps et début de l'été). Le phosphore est donc considéré comme le nutriment limitant pour ces deux espèces. En revanche, les taux de croissance de *Microcystis*, qui ne fixe pas l'azote, ont augmenté de façon significative pour les souches toxiques et non toxiques avec des concentrations accrues d'azote (Davis et coll., 2009). L'augmentation des apports de phosphore a également entraîné une augmentation de *Microcystis* en nombre (Davis et coll., 2009), ce qui montre le rôle important que jouent le phosphore et l'azote en tant que nutriments. Cela a été mis en évidence en juillet 2009 lorsque les conditions hypoxiques à l'interface sédiments-eau ont réduit les taux de dénitrification et, par conséquent, augmenté l'azote biodisponible, ce qui a probablement déclenché l'efflorescence de *Microcystis* observée cinq jours plus tard (McCarthy et coll., 2016).

2.2.4 Risques pour la santé et répercussions sur les activités récréatives

La baie Missisquoi et les plans d'eau de son sous-bassin sont propices à l'approvisionnement en eau potable, à la baignade, à la navigation de plaisance, à la pêche et à d'autres activités récréatives. La baie Missisquoi et les ruisseaux, les rivières, les lacs, les étangs et les milieux humides de son sous-bassin

contribuent grandement à l'économie de la région. Bien que les activités de pêche ne soient pas limitées pendant les efflorescences de cyanobactéries, les organismes de santé publique recommandent souvent des précautions à prendre avant de consommer des poissons provenant de zones compromises.

Les efflorescences de cyanobactéries dans la baie Missisquoi peuvent créer des conditions de faible oxygénation dans la colonne d'eau, ce qui peut entraîner de multiples problèmes en ce qui concerne la santé et les activités récréatives. Le secteur de la baie Missisquoi a obtenu une cote « faible » pour ce qui est des efflorescences de cyanobactéries (Lake Champlain Basin Program, 2018). En août 2012, au cours d'une importante prolifération de cyanobactéries et d'une période de temps chaud, des milliers de poissons morts se sont échoués sur les rives de la baie Missisquoi, et l'usine de traitement de l'eau potable de Philipsburg, au Québec, a émis un avis à tous ses clients les avisant de ne pas consommer leur eau potable à moins qu'elle n'ait été bouillie suffisamment avant consommation (Schuett, 2012).

L'eau contaminée par les cyanotoxines peut causer des problèmes de santé lorsqu'il y a contact avec l'eau dans le cadre d'activités récréatives et par consommation. Une étude menée auprès des habitants vivant à proximité de la baie Missisquoi les invitait à tenir un journal quotidien des symptômes et de leur contact avec l'eau de la baie. Des échantillons correspondants ont été prélevés pour documenter les concentrations de cyanobactéries et de microcystines pendant la période d'étude. On a établi une corrélation entre les symptômes gastro-intestinaux des résidents et leurs contacts avec l'eau dans le cadre d'activités récréatives. Pour sa part, la consommation d'eau potable par les résidents a été corrélée à une augmentation des symptômes de douleurs musculaires et d'infection de l'oreille (Lévesque et coll., 2014).

Au Canada, le projet ATRAPP (Prévision, prévention et traitement des proliférations d'algues et évaluation des risques y afférents grâce à la génomique), est une importante étude internationale mise en œuvre en 2016 qui inclut la baie Missisquoi. L'un des volets de l'étude vise à prédire les efflorescences toxiques afin de transmettre cette information à l'Agence de la santé et aux municipalités aux fins de la gestion de leurs réseaux d'eau potable. Deux usines de traitement de la région sont incluses dans l'étude, dont celle de Bedford. Le Conseil national de recherches du Canada, qui participe également à ce grand projet, prend également part à l'Initiative de recherche et développement en génomique, un programme multidisciplinaire auquel participent plusieurs ministères fédéraux pour étudier l'impact de l'eutrophisation sur les plans d'eau canadiens, dont la baie Missisquoi. Dans le cadre du projet ATRAPP/Ancrage, une équipe de chercheurs rattachés à l'Université du Québec élabore des modèles géomatiques pour évaluer certains scénarios de mise en œuvre de pratiques et d'aménagements visant à réduire les apports de phosphore, en particulier dans les superficies agricoles du bassin versant de la baie Missisquoi, afin de cerner le meilleur rapport coûts-avantages. Les résultats ne sont pas encore publiés.

Au Vermont, les plages publiques sont habituellement fermées lorsqu'il y a une présence visible de cyanobactéries dans les écumes. Ces fermetures de plages sont généralement suivies de dépistage de cyanotoxines. À ce jour, aucun décès humain connu n'est associé aux efflorescences de cyanobactéries, bien que de nombreux rapports non confirmés fassent état de maladies humaines allant des irritations cutanées aux problèmes respiratoires et aux maladies gastro-intestinales graves (Vermont Department of Health, 2015).

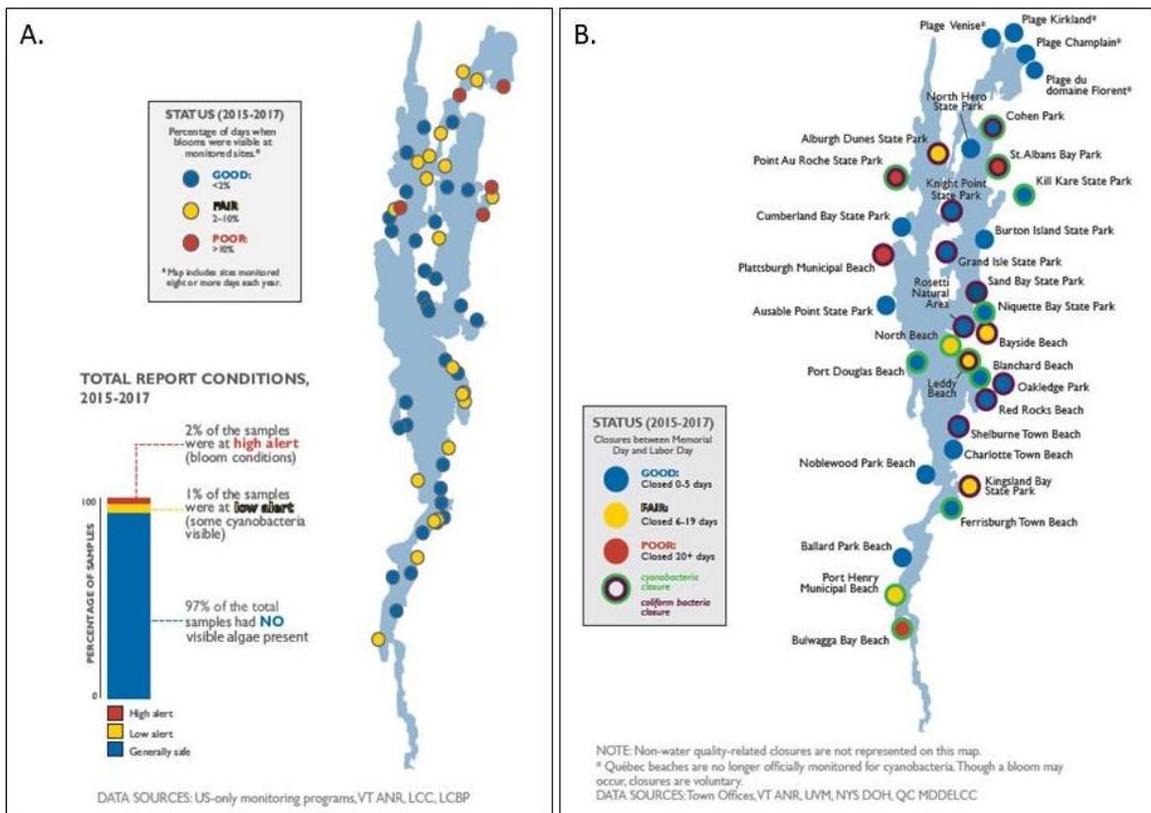
Au cours des dernières décennies, on a beaucoup sensibilisé la population et les gestionnaires des ressources à l'identification adéquate des efflorescences de cyanobactéries dans le but de surveiller

visuellement les plages du lac Champlain (Vermont Department of Health, 2015). En outre, la mise au point de méthodes de contrôle plus faciles et moins coûteuses pour détecter les cyanobactéries et les toxines a permis d'accroître la fréquence de leur utilisation pour détecter les cyanobactéries et les cyanotoxines dans l'ensemble du lac Champlain. Cela a permis d'obtenir des données plus précises et plus rapidement sur les fermetures de plages publiques (Shambaugh, 2016).

En 2007, l'agence de la Santé et de la Conservation de l'environnement (DEC) du Vermont ont déployé un programme avec les services d'eau publics afin de définir des pratiques exemplaires pour réagir à la détection des cyanobactéries. Ce programme a par la suite été élargi pour inclure un programme volontaire de surveillance des cyanotoxines pendant la période estivale à l'intention des services d'eau publics qui s'approvisionnent dans le lac Champlain. De plus, 140 lieux récréatifs disséminés un peu partout dans l'État sont surveillés pour détecter la présence de cyanobactéries et de cyanotoxines si des proliférations sont décelées. Ces programmes ont permis de compiler des données mises régulièrement à la disposition de la population et des gestionnaires de ressources chargés de faire les avis de santé sur les conditions de la baie pour les fins récréatives et de santé. Les rapports sont accessibles en ligne par l'entremise d'une carte de suivi des cyanobactéries, mise à jour chaque semaine à l'adresse : <http://www.healthvermont.gov/tracking/cyanobacteria-tracker>.

Les données de suivi de ces programmes montrent que la baie Missisquoi est un « point névralgique » en ce qui concerne les cyanobactéries et les microcystines dans le lac Champlain (figure 5A). Elles montrent aussi que les rives et les secteurs de la baie sous les vents dominants sont particulièrement vulnérables, et que les lignes directrices en matière de santé ont parfois été dépassées dans certains secteurs de la baie (Shambaugh, 2016). Une compilation de données sur les fermetures de plages publiques dans l'ensemble du lac entre le Jour du Souvenir (en mai au Vt) et la fête du Travail (2015-2017) révèle qu'un certain nombre de ces lieux à l'extrémité nord du lac ont dû être fermés en raison des efflorescences de cyanobactéries (figure 5B) (Lake Champlain Basin Program, 2018).

Figure 9. Alertes aux cyanobactéries (A) et fermetures de plages (B) sur le lac Champlain de 2015 à 2017.



Notez que l'état des lieux contrôlé par les stations de suivi de la baie Missisquoi est qualifié de « passable » ou de « pauvre ». L'état des plages situées sur les rives nord du lac Champlain est qualifié de « bon », ce qui signifie qu'elles ont été fermées moins de cinq jours pendant la période de suivi. Toutefois, ces données peuvent être inexactes, car les plages au Québec ne sont pas suivies pour détecter les cyanobactéries et les fermetures sont volontaires. Lake Champlain Basin Program, 2018.

2.2.5 Impacts économiques

L'évaluation de l'impact économique de l'eutrophisation de nos lacs est complexe et peu de données sont disponibles. Une étude nationale portant sur quatorze Écorégions de Niveau III (Omernik, 1987), où les valeurs médianes de l'azote total et du phosphore total pour les rivières et les lacs dépassent les valeurs médianes de référence, a calculé la valeur annuelle potentielle des pertes dans les domaines de l'utilisation de l'eau à des fins récréatives, de l'immobilier dans le secteur riverain, du rétablissement des espèces en voie de disparition et de l'eau potable. Les pertes économiques combinées dans ces douze écorégions ont été estimées à environ 2,2 milliards de dollars par année, les pertes économiques les plus importantes étant attribuables à la valeur des propriétés riveraines du lac et à l'utilisation de l'eau à des fins récréatives. Les auteurs ont précisé que leur évaluation sous-estimait probablement ces pertes économiques et les lacunes dans les données actuelles (p. ex., la fréquence des proliférations d'algues) suggèrent qu'il faut poursuivre la recherche (Dodds et coll., 2009).

On dispose de peu d'information sur les répercussions économiques de l'eutrophisation du lac Champlain. Une étude de 2015 s'est fondée sur l'analyse de scénarios pour déterminer comment la hausse des concentrations de phosphore et les changements climatiques peuvent influencer sur les valeurs des propriétés à proximité du lac Champlain. L'étude a utilisé la transparence de l'eau du lac comme indicateur visible et fortement corrélé des concentrations de phosphore. Elle a révélé que dans le cas des

quatre comtés du Vermont qui jalonnent le lac, une diminution d'un mètre de profondeur de transparence de l'eau pendant les mois de juillet et d'août entraînerait la perte d'environ 195 emplois à temps plein, une diminution de 12,6 millions de dollars des dépenses touristiques et une réduction de l'activité économique totale de près de 16,8 millions de dollars (Voigt, Lees et Erickson, 2015).

Ce genre d'impacts économiques coûteux peut justifier la mise en place de politiques et de programmes environnementaux, lesquels peuvent aussi être coûteux. Des études ont analysé la volonté de payer pour des programmes et des règlements visant à régler les problèmes de qualité de l'eau du lac Champlain. Des enquêtes menées auprès des Vermontois montrent qu'une sensibilisation accrue aux questions de qualité de l'eau dans l'ensemble du Vermont (pas seulement dans le bassin du lac Champlain) promet d'accroître le soutien des électeurs aux règlements et aux programmes visant à améliorer la qualité de l'eau (Scheinert et coll., 2014; Koliba et coll., 2016).

Au Québec, le développement récréotouristique est très important pour les municipalités situées le long de la baie, notamment Venise-en-Québec, Saint-Georges-de-Clarenceville et Saint-Armand (région de Philipsburg). Ce tourisme s'intéresse principalement à l'eau : pour le camping en bordure, la navigation, la pêche récréative et la baignade. Par conséquent, lorsque les plages sont fermées en raison des cyanobactéries et des cyanotoxines présentes dans la baie, les entreprises et l'ensemble de la région immédiate en subissent des contrecoups économiques importants estimés à plus de deux millions de dollars par année, selon le Regroupement des gens d'affaires de la région du lac Champlain (EXXEP, 2004).

En 2004, l'OBVBM a compilé un peu plus de 100 questionnaires, dont 60 questionnaires de résidents et 40 questionnaires de visiteurs de la baie Missisquoi. L'état de la baie a influencé les activités des résidents dans le cas de 65 % des répondants; principalement, il a eu pour effet de limiter la baignade et la pêche, d'inciter à la vente des embarcations de plaisance, de modifier le choix du secteur de la baie utilisé pour les activités et de diminuer la fréquence des activités aquatiques (OBVBM, 2004a). Les résidents de Philipsburg ont signalé la présence d'odeurs désagréables en été d'une intensité telle que cela les contraignait parfois de fermer leurs fenêtres (OBVBM, 2004a). Certaines répercussions économiques ont été soulevées pendant les entrevues. Par exemple, il devenait plus difficile de louer les chalets. Les durées de location étaient plus courtes qu'auparavant, et la saison des locations durait maintenant jusqu'à la mi-août plutôt que jusqu'à la mi-septembre (Jacques Landry, maire de Venise-en-Québec, entrevue de l'OBVBM, 2019).

Les politiques et mécanismes économiques établis, comme les exemptions fiscales, les prêts, les subventions et l'assistance technique gratuite, peuvent encourager des pratiques environnementales plus durables et contribuer à façonner l'avenir environnemental du bassin versant de la baie Missisquoi. En outre, les nouveaux mécanismes du marché, comme les taxes sur le rejet de phosphore, les politiques de plafonnement et d'échange de fertilisants entre producteurs et les incitatifs à la mise en œuvre de pratiques exemplaires en matière d'agriculture écologique saine, de gestion des eaux pluviales et de développement, pourraient offrir des options futures viables pour aider à régler les problèmes de qualité de l'eau dans la baie Missisquoi (Koliba et coll., 2016).

3 Aperçu des mesures et technologies potentielles pour la restauration du lac

3.1 Aperçu international des efforts de restauration et des résultats

En règle générale, les apports de nutriments des lacs proviennent des bassins versants et des sources atmosphériques (apport externe), ainsi que du relargage des sédiments du lit du lac (apport interne). Les mesures de traitement des eaux du lac peuvent contribuer à réduire l'apport interne de nutriments dans les lacs eutrophes où les apports externes ont été réduits jusqu'aux niveaux cibles (Lewtas et coll., 2015; Cooke, 2005; NALMS, 1990). Le bon sens veut que les mesures de restauration des lacs soient mises en œuvre après la mise en place des mesures de contrôle dans les bassins versants, ou du moins qu'elles coïncident avec celles-ci, pour en optimiser l'efficacité.

3.1.1 Canada

En 2004, l'OBVBM a commandé une vaste étude (Solutions phosphore baie Missisquoi, EXXEP, 2004) afin, entre autres, de faire évaluer une multitude de mesures *in situ* pour réduire les problèmes liés au phosphore dans la baie. De plus, dans le cadre du Plan d'intervention détaillé sur les algues bleu-vert 2007-2017, le MELCC a lancé un appel de propositions en 2008 pour financer quatre projets pilotes de restauration de lacs eutrophes afin d'en évaluer l'efficacité (MDDEP, 2009). Les quatre projets qui ont été retenus sont les lacs Brome, Waterloo, Saint-Augustin et à l'Anguille. Plusieurs autres projets de restauration ont aussi été suivis par le MELCC (Fallu et Roy, 2015).

L'étude de la firme EXXEP a démontré que les solutions de restauration directement dans la baie sont très coûteuses et ne serait pas efficaces à long terme sans la réduction du phosphore dans le bassin versant ainsi que les apports de sédiments dans la baie (EXXEP, 2004). Force était de constater, à la lumière des résultats de cette étude, que la seule véritable solution à long terme est de réduire les apports en phosphore en provenance du bassin versant (EXXEP, 2004).

La principale constatation des projets pilotes du MELCC est que les résultats des techniques de restauration dans le lac sont mitigés, mais qu'aucune « solution miracle », efficace et abordable, n'a été trouvée. Le MELCC recommande également de prioriser la gestion du phosphore à la source dans tout le bassin versant du lac eutrophe (Boudreau et coll., 2017). En outre, plusieurs préoccupations ont été soulevées au sujet des coûts associés à de tels projets, de leur efficacité réelle, des répercussions sur l'écosystème, de l'interférence avec d'autres utilisations, de la capacité de résister à des conditions météorologiques difficiles comme les inondations et les vents violents, ainsi que de l'entretien nécessaire (Boudreau et coll., 2017). L'évaluation des projets pilotes cloisonnés qui se déroulent dans des conditions différentes de celles d'un lac ouvert complique l'interprétation des résultats à plus grande échelle (Boudreau et coll., 2017). Toutefois, il serait difficile de mettre en œuvre des projets dans des zones plus vastes comme la baie Missisquoi parce que celle-ci est un milieu ouvert où les eaux s'échangent entre la baie et d'autres secteurs du lac (Fallu et Roy, 2015).

Les techniques de restauration *in situ* ont toutes des limites importantes, surtout en ce qui concerne leur efficacité. La teneur chimique d'un lac reflète habituellement ce qui s'y déverse. Si les apports externes de nutriments demeurent excessifs, tout effort ponctuel de restauration *in situ* risque de n'être que de durée limitée. Dans des cas précis où la principale source de nutriments provient des sédiments

lacustres, il peut être avisé d'appliquer des substances capables d'immobiliser le phosphore (p. ex., Phoslock).

Comme la baie Missisquoi couvre une superficie de 78 km² et que les vagues et les vents y sont forts, aucune technique ne semble se prêter à ce genre de condition. Même avec un investissement financier massif pour « traiter » les eaux de la baie, celle-ci continuera de recevoir de grandes quantités de sédiments et de phosphore de ses affluents, ce qui compromettra probablement l'efficacité de ces techniques de restauration in situ. Le contrôle des apports de nutriments et de sédiments demeure une étape cruciale avant d'opter pour une approche in situ, comme l'élimination ou l'inactivation du phosphore dans les sédiments.

Il importe de mentionner que ces méthodes de traitement exigent des autorisations et des études préalables du MELCC, du Ministère de la Faune, Forêts et des Parcs (MFFP) et de Pêches et Océans Canada. Avant d'approuver le traitement *in situ*, le MELCC examine d'abord si les sources de nutriments du bassin versant sont maîtrisées, pour s'assurer que la réponse ne devienne pas une approche récurrente de gestion des problèmes, étant donné que les traitements in situ devraient être considérés comme un dernier recours (Boudreau, 2017).

3.1.2 États-Unis

Techniques de restauration couramment utilisées dans les lacs

La présente section porte sur quatre techniques couramment utilisées dans le Nord-Est des États-Unis pour réduire et maîtriser l'apport interne de nutriments, à savoir l'aération et l'oxygénation hypolimnétiques, la circulation artificielle, l'inactivation et l'emprisonnement du phosphore et le retrait hypolimnique.

Cette section n'inclut pas de détails sur d'autres techniques parfois utilisées dans le Nord-Est, comme le dragage ou le traitement par algicide, car il est peu probable que ces solutions soient appropriées pour la baie Missisquoi. De plus, le présent chapitre ne traite pas des techniques utilisées dans d'autres régions, dont il n'y a aucune trace d'utilisation ailleurs dans le Nord-Est, notamment les îlots de traitement flottants, la dilution et le rinçage, la biomanipulation et l'enlèvement des macrophytes (Lewtas et coll., 2015).

Le Tableau 3 ci-dessous résume et compare les techniques utilisées pour lutter contre les algues nuisibles. Ce tableau est tiré du rapport d'un groupe d'experts en restauration de lacs et de réservoirs (NALMS, 1990).

Tableau 3. Comparaison des techniques de restauration des lacs et de gestion des algues nuisibles.

Traitement (une utilisation)	Effet à court terme	Effet à long terme	Coût	Risque d'effets négatifs
Inactivation du phosphore	E	E	B	F
Circulation artificielle	B	Inconnu	B	P
Aération hypolimnique	P	Inconnu	B	P
Retrait hypolimnique	B	B	B	P

E = Excellent

B = Bon

P = Passable

M=

Médiocre

El. = Élevé

F = Faible

Extrait de The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, Second Edition, North American Lake Management Society, 1990.

Efforts régionaux de restauration des lacs

Bien que les efforts de restauration dans les lacs soient utilisés partout dans le monde, cet examen a porté sur les technologies les plus couramment utilisées dans le nord-est des États-Unis.

Le Tableau 4 (page suivante) dresse le profil de neuf plans d'eau régionaux représentatifs qui se sont attaqués activement aux problèmes d'enrichissement en nutriments et aux efflorescences de cyanobactéries au Vermont.

Le Tableau 5 concerne le Québec. Les renseignements disponibles sur les coûts de traitement sont indiqués lorsqu'ils sont connus.

Tableau 4. Efforts de restauration déployés dans les lacs représentatifs du nord-est des États-Unis. Les statistiques sur les lacs sont incluses pour faciliter la comparaison avec la baie Missisquoi, qui couvre une superficie de 7 800 ha, a un bassin versant de 310 800 ha et une profondeur maximale de 4,6 m (Vermont DEC, 2013). Il faut souligner qu'aucun de ces exemples n'a une échelle comparable. Ici, le plus grand lac est encore 10 fois plus petit que la baie Missisquoi. Tous les efforts décrits ici ont été menés dans le but de réduire l'apport de phosphore provenant des sédiments. Certaines de ces données sont de qualité inconnue et sont présentées ici à titre indicatif seulement. Aucune inférence concernant les effets de l'apport de nutriments et des efflorescences de cyanobactéries sur la qualité de l'eau dans le bassin du lac Champlain ne devrait être faite à partir de ces données jusqu'à ce que leur validité puisse être déterminée.

Plan d'eau	Superficie (ha)	Superficie bassin versant (ha)	Profondeur maximum (m)	Méthode et année	Résultats	Coûts
Carmi ¹	567	3 120	10	Oxygénation hypolimnique À partir de 2019	Des simulations modèles du traitement planifié montrent une amélioration de l'oxygène dissous hypolimnique.	Environ 1,5 M\$/an, incluant l'opération et maintenance
Morey ²	220	1 900	13	Sulfate d'aluminium/aluminate 1986	Baisse importante de P et amélioration de la transparence pendant 3 ans et plus après le traitement	Traitement d'environ 177 000 \$/133 ha (1986) avec alun
Morses Pond ^{3,4}	40,5	2 145	7	Sulfate d'aluminium/aluminate, chlorure de polyaluminium 2009-2018. Récolte de plantes : 2007-2018	Baisse importante du P, plus de transparence, diminution des proliférations.	Inactivation du P seulement : 312 000 \$/5 ans
Kezar Lake ⁵	73,5	2 770	8,2	Sulfate d'aluminium : 1984 Manipulation des milieux humides en amont	Diminution de la variance totale du P et PT pendant 3 ans et plus, transparence accrue, piètre atténuation dans les milieux humides.	1 367 \$/ha (1984)
Waramaug ^{6, 7, 8, 9, 10, 11}	275	3 723	12,2	Retrait hypolimnique : 1983-2015. Aération en cours depuis 1989.	Diminution de la concentration épilimnique de P (les concentrations de P étaient inférieures à 18 mg/m ³ en 1993) et augmentation de la transparence de l'eau.	500 000 \$ pour le système de pompage original (1983). Installation de deux aérateurs en 2015 – coût initial de 140 000 \$

Plan d'eau	Superficie (ha)	Superficie bassin versant (ha)	Profondeur maximum (m)	Méthode et année	Résultats	Coûts
Cochnewagon Lake ^{5,12,16,17}	159	727	8.5	Sulfate d'aluminium/aluminate 1986	Transparence accrue pendant près de 20 ans, prolifération récente	Produits chimiques, main-d'œuvre et équipement = 81 840 \$; personne/ha = 0,41; coût/ha = 844 \$
Annabessacook Lake ^{5,12,13,14}	572,6	4 294	15	Traitement des algicides au sulfate de cuivre : 1964-1971	Les algicides ont eu un impact à court terme, une efficacité perdue avec l'émergence d'espèces d'algues résistantes.	Traitement des sels d'aluminium : produits chimiques, travail et équipement = 234 000 \$; personne/ha = 1,12; coût/ha = 1 934 \$
				Aérateurs hypolimniques : 1972 et 1974	Les aérateurs étaient inefficaces. Ils n'ont pas mélangé les eaux à plus de 50 mètres au-delà des unités et risquent d'avoir perturbé les sédiments et augmenté l'apport interne de phosphore du lac.	
				Sulfate d'aluminium/aluminate de sodium : 1978	Le traitement au sel d'aluminium a entraîné une diminution considérable de l'apport interne de P, avec une période calculée de réduction du P de 13 ans.	
Threemile Pond ^{5, 12, 14}	475,1	2414	11	Sulfate d'aluminium/aluminate de sodium : 1988	Durabilité calculée de la diminution de P de 4 ans.	Produits chimiques, main-d'œuvre et équipement = 170 240 \$; personne/ha = 0,06; coût/ha = 640 \$
Chickawaukie Lake ^{12, 14, 15}	143	670	10	Sulfate d'aluminium/aluminate de sodium : 1992	Durée calculée de la diminution de P de 39 ans.	
Ticklenaked Pond ^{18,19}	21,9	584,4	14,5	Traitement à l'alun Mai 2014	Trois mois après le traitement : amélioration de la transparence de l'eau de 1,7 à 7,2 m. Diminution du phosphore total et dissous, surtout à la surface.	Subvention reçue : 95 990 \$

Plan d'eau	Superficie (ha)	Superficie bassin versant (ha)	Profondeur maximum (m)	Méthode et année	Résultats	Coûts
Nutting Lake ²⁰	31,6	292,7	2.1	Dragage d'environ 275 000 m ³ de sédiments 1978-1981		~ 688 000 \$
Waccabuc ^{21, 22, 23}	52,0	317	14	Aération hypolimnique. Deux aérateurs installés en 1972.	Diminution des concentrations de nutriments dans le lac et amélioration de la qualité de l'eau par une diminution des concentrations de sulfure d'hydrogène, de fer et de manganèse.	En 2004 – les coûts d'exploitation annuelle des aérateurs sont de 9 000 \$.
Wononscopomu ²⁴	24	599	15,2	Retrait hypolimnique 1981	Le PT a diminué pendant la stratification estivale (25 à 12 ppb) et le maximum hypolimnique (473 à 89 ppb).	
Sebasticook Lake ²⁵	1 735	21 995	15	Réduction du lac 1982-2001 (confirmé)	Apport interne du PT réduit de 50 % (4 000 à 2 000 kg).	
Bay Irondequoit (Lake Ontario) 26,27	694	43 583	25	Traitement à l'alun 1986.	Réduction de 60 à 75 % du P hypolimnique	
				Aération hypolimnique 1993 – Aujourd'hui.	Le PT de l'épilimnion est maintenu (environ 20 ppb) dans la plage cible pendant les saisons d'échantillonnage estivales.	

Sources des données du Tableau : 1 : (Reservoir Environmental Management, 2018); 2 : (Smeltzer, 1990); 3 : (Water Resources Services, inc., 2018); 4 : (Way and Box, 2005); 5 : (Connor and Martin, 1989); 6 : (Healy and Kulp, 1995); 7 : (Lake Waramaug Task Force); 8 : (Kortmann, 2010); 9 : (Verhovek, 1988); 10 : (Lake Waramaug Association); 11 : (CT Institute of Water Resources, 2008); 12 : (Vaux, 2015); 13 : (EPA, 1980); 14 : (Huser et coll., 2016); 15 : (City of Rockland, ME, 2002); 16 : (Charles Eichacker, 2016); 17 : (Maine DEP, 2011); 18 : (Vermont ANR, 2009); 19 : (Meringolo, 2016); 20 : (Purcell & Taylor, P.C., 1981); 21 : (NYSDEC, 2017b); 22 : (Fast et coll., 1975); 23 : (NYSFOLA, 2009); 24 : (Nürnberg, 2007); 25 : (Maine DEP, 2001); 26 : (Sansone, 2016); 27 : (Sansone, 2018).

Tableau 5 : Projets pilotes de contrôle et restauration des lacs tentés au Québec

Plan d'eau	Superficie (ha)	Superficie bassin versant (ha)	Profondeur maximum (m)	Méthode	Année	Résultats	Coût
Lac Heney (Gracefield) Outaouais	1233	5 248	32,5	Immobilisation du phosphore avec le chlorure de fer (217 t, une seule fois). Tentée sur la surface entière du lac (tests préalables sur baie). Le plus gros projet de restauration de lac tenté au Québec.	2007	Les concentrations de phosphore total dans la colonne d'eau seraient passées de 0,024 mg/L avant le traitement à environ 0,015 mg/L après, concentration maintenue durant la période de suivi 2008-2013. La chlorophylle-a aurait aussi diminué de 50 %.	N. d.

Trois lacs (Asbestos)	240	51 000	8	Dragage amphibie à godet-pompe (Amphibex) sur 51 000 m2 (31 % du prévu).	2011-2014	Perception d'augmentation de la circulation des eaux dans les zones draguées, taux de reprise des herbiers faible mesuré sur une période court terme (1 à 3 ans), Diminution de l'épaisseur du dépôt de sédiment	3,04 M\$
Lac Tomcod (Saint-François-Xavier-de-Brompton)	180	1 850	2	Plusieurs solutions visant la réduction des apports en amont du lac, dont l'utilisation des scories d'aciérie. Contrôle de la croissance algale par des Ultrasons (Appareil Quatro-DB de la compagnie AlgaeControl)	217-2018	Efflorescence en août 2017. Présence de cyanobactéries constante à différents stades entre mai et septembre 2018. Depuis 2009, la moyenne annuelle en chlorophylle a se situait à 71,6 ug/l. En 2018, elle se situe à 106,2 ug/l.	N. d.
Lac Bromont (Bromont)	46	2 380	7,6	Immobilisation du phosphore par l'application de Phoslock. 174 tonnes de cette argile (bentonite) enrichie de lanthane ont été dispersées à la grandeur du lac pour capter 1 738 kg de phosphore.	2017	Les concentrations de phosphore total en profondeur (6,2 m), à la fosse au mois de juin 2019 sont de 70 % moins importantes qu'en juin 2017. Cependant, des efflorescences de cyanobactéries ont tout de même été constatées en 2018 et 2019, forçant la fermeture de la plage.	650 000 \$
Lac Pierre-Paul (Mauricie)	61	440	7,9	Précipitation/inactivation du phosphore. Chaulage.	1996 à 2016	Le phosphore total dans les sédiments y serait passé de 2 274 mg/kg en 1996 à 1 233 mg/kg en 2007, soit une réduction d'environ 54 %. Or, des fleurs d'eau de cyanobactéries ont tout de même été recensées six années depuis 2007. Les résultats sur l'efficacité du traitement évalués par le MELCC n'étaient pas probants comme solution efficace de restauration à moyen et long terme.	N. d.
Lac Saint-Augustin (Québec)	62	750	6,1	Immobilisation du phosphore dans les sédiments par l'ajout d'alun pour la coagulation/floculation et de calcite pour le recouvrement actif. Des enclos ont été installés pour tester les différents composés (alun, calcite, alun+calcite, témoin)	2009.	Le traitement utilisant le composé alun+calcite a obtenu la meilleure réduction de phosphore dissous dans la colonne d'eau, celui par alun seul aurait obtenu une réduction au début qui aurait par la suite augmenté. Les auteurs de l'étude recommandent le recouvrement par la calcite seule dans les zones plus profondes. Avant d'aller plus loin, le MELCC recommande un essai in situ intermédiaire de recouvrement par la calcite, ou calcite et alun, dans une zone isolée du lac avec un suivi sur une plus longue période pour vérifier la stabilité.	N. d.
Lac Saint-Augustin	62	750	6,1	Dragage hydraulique et mécanique de la couche superficielle de sédiments.	2011	Une diminution importante du phosphore dissous a été mesurée dans l'enclos avec dragage hydraulique	N. d.

(Québec)				Plusieurs enclos ont été installés pour comparer les techniques (dragage hydraulique, mécanique, témoin, station lac).		après deux semaines. Quant au dragage mécanique, une tendance à la baisse suite au traitement s'est inversée après une semaine pour devenir une augmentation de la concentration en phosphore qui s'est maintenu durant la durée du suivi.	
Lac Waterloo (Montérégie)	136	3 040	5,3	Aérateurs/Circulateurs	2004	Malgré leur présence, des fleurs d'eau de cyanobactéries ont éclo et persisté, cette technique ne semblait donc pas efficace ou mal adaptée.	N. d.
Lac Waterloo (Montérégie)	136	3 040	5,3	Retrait des sédiments. Dragage hydraulique de la couche superficielle de sédiments chargés en phosphore.	2009	Après suivi, aucune tendance sur la concentration du phosphore dans la colonne d'eau n'a pu être observée suite au pompage. Tentée sur surface réduite.	Les frais pour la surface complète du lac sont estimés à 37 M\$.
Lac Waterloo (Montérégie)	136	3 040	5,3	Lits flottants de lentilles d'eau (avec et sans brassage des sédiments).	2009	Difficultés rencontrées : développement de lentilles variables, densité optimale de lentilles d'eau difficile à maintenir, répartition des lentilles difficile à contrôler avec le vent, etc. Conclusion : non applicable à l'échelle d'un lac	N. d.
Lac Carré (Laurentides)	14	197	8,4	Aérateurs/Circulateurs Type <i>Speece Cone</i>	De 2002 à 2010	Aucune amélioration quant à l'oxygénation de l'hypolimnion observée depuis son installation. En 2010 et 2011, le lac Carré présentait toujours un hypolimnion anoxique.	N. d.
Lac Selby (Montérégie)	117	1 852	10,3	Éoliennes servant d'aérateurs d'eau		Aucun changement significatif n'aurait été rapporté. Ces éoliennes ont depuis été retirées.	N. d.
Baie Charrette (Saint-Donat)				Retrait de plus de 50 000 m ³ de sédiments.	2011 et 2012	Le but étant aussi d'augmenter la profondeur de la colonne d'eau qui est passée de 0,3-0,5 m avant à 1,5 -2,5 m après traitement.	N. d.
Lac Anguille	98		12	Îlot végétal flottant de 20 m ² comprenant 400 plantes de 8 espèces. Les espèces les plus efficaces étaient : <i>Typha latifolia</i> , <i>Iris pseudocarus</i> , <i>Spartinapectinata</i> et <i>Glyceriacanadensis</i> .	2008-2012	Les résultats indiquent un taux de retrait de 1000 mgP/m ² . La quantité d'îlots flottants nécessaire pour traiter une grande superficie est très importante. Par exemple, au lac à l'Anguille, 1 650 îlots couvrant 3,5 % de la superficie du lac seraient nécessaires pour réduire le phosphore de 50 %.	45 000 \$ par unité de 0,1 ha
Lac Saint-Louis (la Tuque, Mauricie)	petit lac urbain		9,8	Irradiation ultrasonique	2008	La Ville aurait constaté une diminution des cyanobactéries, mais les données sont insuffisantes pour tirer des conclusions.	N. d.
Petit lac de	petit lac			Irradiation ultrasonique	2012	Une baisse de la chlorophylle a été observée, mais	

l'Aqueduc (Saguenay)	urbain					une prolifération de macrophytes (plantes aquatiques) également.	
Baie Missisquoi (Venise-en-Québec)	7 800	312 200	4,5	Ramassage/faucardage des macrophytes. Projet de ramassage et de compostage des plantes aquatiques sur 365 m ³ .	2003	Selon les échantillons pris en 2003 à la baie Missisquoi et analysés par le MELCC, les plantes aquatiques contiennent en moyenne 400 mg de P/kg de matière sèche et 2 200 mg d'azote par kilogramme de matière sèche. On multiplie par un facteur 5 pour la matière humide ce qui nous donne pour une récolte d'un mètre carré de plantes aquatiques l'équivalent d'environ 734 mg de phosphore et 4 035 mg d'azote. Permettrait de récolter approximativement 734 kg de phosphore par an dans la baie (environ 1-2 %).	Entre 20 000 et 30 000 \$ par année.

Sources : Boudreau, 2017; Boudreau *et coll.*, 2013; MDDEFP, 2013; Carignan, 2009; Denis Brouard et Associés inc., 2007; EXXEP, 2004; MDDELCC, 2018f; Roy, 2015; Galvez-Cloutier et coll., 2012; Dessau, 2008; Richer-Bond, 2013; Bolduc et Kedney, 2005; Questionnaire OBVBM-MELCC, 2019; OBVBM, 2011; ACBVLB, 2019; Paulin, 2017 et 2018; Roy, 2016; Thibault, 2016.

3.2 Résultats et analyse de l'efficacité, estimation des coûts-avantages et adaptabilité à la baie Missisquoi

L'efficacité et les coûts-avantages des efforts de restauration in situ dans la baie Missisquoi devraient être déterminés par d'autres études et des projets pilotes qui mettent à l'essai des technologies triées sur le volet, de façon semblable au processus entrepris au lac Carmi, au Vermont, et au lac Bromont, au Québec. Le facteur qui prête à confusion ici est que bon nombre des technologies de restauration des eaux, abordées dans le présent chapitre, peuvent ne pas s'adapter à un plan d'eau aussi vaste que la baie Missisquoi, ou devenir très coûteuses si elles sont étendues à l'échelle de la baie.

Une étude à venir sur la baie Missisquoi prévoit une évaluation de l'apport interne et utilisera des outils de modélisation mis à jour pour mieux caractériser l'apport interne de phosphore dans la baie. Cette étude sera financée à l'aide de fonds fournis par l'EPA pour l'exercice 2019 et sera supervisée par le Lake Champlain Basin Program. Les résultats de cette étude pourraient aider à établir un plan d'action pour la baie Missisquoi, y compris pour soutenir la viabilité des efforts de restauration dans le lac.

4 Programmes et politiques influençant les principaux enjeux et leur efficacité

4.1 Historique de la gestion du phosphore dans le bassin du lac Champlain

À la fin des années 1980 et dans les années 1990, les gouvernements des États et des provinces, ainsi que le gouvernement fédéral, ont davantage axé leurs efforts sur le lac Champlain. Ces travaux ont jeté les bases de la gestion du lac Champlain dans les décennies qui ont suivi. En 1988, les trois administrations (Vermont, New York et le Québec) ont signé *l'Entente intergouvernementale sur la coopération en matière d'environnement relativement à la gestion du lac Champlain (Entente)*. En 1990, la *Lake Champlain Management Conference* a donné l'occasion de discuter des cibles de concentration de phosphore dans les eaux de chaque secteur du lac. Dans l'Accord de 1993 relatif à la qualité de l'eau, les trois administrations ont convenu d'objectifs de concentration du phosphore notamment de la baie Missisquoi. Cette Entente a mené à la création du :

- Lake Champlain Basin Program, en 1990;
- Comité directeur de la coordination et de la mise en œuvre de l'Entente;
- Groupe de travail Québec-Vermont sur la réduction du phosphore en 1996.

Le Lake Champlain Basin Program (LCBP) est un élément clé de la gestion de l'eau du lac Champlain et constitue un forum de coopération entre les administrations concernées. Le Programme a mené à la création de plusieurs comités pour mettre en œuvre l'Entente.

Le premier plan d'action, intitulé « *Opportunities for Action: An Evolving Plan for the Future of the Lake Champlain Basin* », a été approuvé pour la période de 1996 à 2016. La principale priorité de ce plan d'action était la réduction des apports de phosphore dans le lac Champlain. La concentration de 0,025 mg/L adoptée en 1993 pour la baie Missisquoi a été jugée réalisable

avant la date limite de 2016, étant donné que la concentration médiane était de 0,037 mg/L en 1992. Le plan 1996-2016 a été renouvelé en 2003 et 2010. Lors de son renouvellement en 2003, le Québec a officiellement accepté de devenir partenaire du Plan et s'est engagé à atteindre ses objectifs. Il a été renouvelé en 2017 et accompagné de nouveau d'un message du premier ministre du Québec à l'appui de ses signataires des États-Unis. La réduction du phosphore demeure la priorité absolue du plan cependant, il ne précise pas tout ce qui devrait être fait pour atteindre ses objectifs dans la baie Missisquoi (LCBP, 2017).

4.1.1 Entente sur la réduction des concentrations de phosphore dans la baie Missisquoi entre le gouvernement du Québec et le gouvernement du Vermont

En 1997, les gouvernements du Québec et du Vermont ont confié au Groupe de travail Québec-Vermont sur la réduction du phosphore le mandat d'évaluer les apports de phosphore provenant du bassin versant et de proposer une répartition des responsabilités entre le Vermont et le Québec. Le rapport déposé en 2000 proposait l'élaboration d'une entente entre le Vermont et le Québec sur la réduction des niveaux de phosphore dans la baie Missisquoi. L'Entente entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi (Entente Québec-Vermont) a été signée le 26 août 2002 (gouvernement du Québec, 2002a). Cette entente stipule que la réduction des apports de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi devait atteindre une cible de 97,2 tonnes métriques par année en 2016 pour atteindre la concentration cible de 0,025 mg/L.

L'Entente Québec-Vermont représente une étape historique dans les efforts de réduction des concentrations de phosphore dans la baie Missisquoi. Cette entente a défini pour la première fois un mécanisme de partage des responsabilités pour atteindre un apport cible de phosphore total provenant du bassin versant de la baie Missisquoi de 38,9 tm/an (40 %) pour le Québec (une réduction de 27,3 tm/an) et de 58,3 tm/an (60 %) pour le Vermont (une réduction de 42,8 tm/an) (CICBM, 2003). Le MELCC est responsable de la mise en œuvre et du renouvellement de cette entente. L'entente a expiré le 31 décembre 2016 et, malgré les efforts déployés, la concentration moyenne de phosphore dans la baie Missisquoi demeure de 0,050 mg/L.

Toutefois, cette entente a donné lieu à plusieurs projets, au financement de quelques études et à l'avancement des connaissances sur les niveaux de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi. Le renouvellement de l'Entente concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi par les gouvernements du Québec et du Vermont est d'une importance capitale pour de nombreuses personnes interrogées au Québec en ce qui concerne l'engagement des deux gouvernements à s'attaquer à la dégradation de la baie Missisquoi (entrevue de l'OBVBM, 2018-2019).

Le Comité interministériel de concertation sur la baie Missisquoi - Région Estrie et Montérégie (Comité interministériel) a été créé afin de concerter l'action du gouvernement du Québec et assurer l'arrimage entre les différents ministères dans le cadre de l'Entente concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi. Le Comité interministériel de concertation coordonné par le MELCC regroupe des représentants des ministères suivants : MAPAQ, MAMH,

MFFP, MTQ, MSSS, MSP, soit les partenaires interministériels essentiels pour la réalisation de projets favorisant l'atteinte des objectifs.

Un premier plan d'action 2003-2009 concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi a été élaboré en consultation avec le bureau central du MELCC, du MAPAQ et du MAMH. Les mesures énumérées dans ces plans d'intervention sont également incluses dans le plan intitulé « Opportunities for Action » du LCBP. De 2003 à 2009, le gouvernement du Québec et ses partenaires ont investi plus de 25 millions de dollars dans diverses mesures visant à réduire l'apport de phosphore du bassin versant de la baie Missisquoi, y compris 14 millions de dollars provenant de MAMH (eaux usées), 4 millions de dollars provenant du MAPAQ (bonnes pratiques de gestion agricole) et 3,5 millions de dollars pour des projets de recherche dans le bassin versant. Ces fonds s'ajoutent aux sommes importantes investies avant 2003 pour l'assainissement urbain et agricole, soit environ 24 millions de dollars pour les usines de traitement des eaux usées et 3 millions de dollars pour l'entreposage du fumier, pour un total de plus de 52 millions de dollars (Mimeault et Simoneau, 2010).

Un premier bilan conclut que : « Bien que la concentration de phosphore n'ait pas diminué dans la baie Missisquoi, il est encourageant d'observer une tendance à la baisse de la concentration et de la charge de phosphore dans la rivière aux Brochets à la suite de la réalisation de l'ensemble des actions prévues au Plan d'action 2003-2009. En 2009, le Comité interministériel a renouvelé le plan initial et adopté le Plan d'interventions 2010-2016. Ce plan s'inscrivait dans la continuité du premier, mais intensifie les actions dans des sous-bassins prioritaires identifiés (Mimeault et Simoneau, 2010). Le bilan des actions du Québec a été en partie intégré dans le document *State of the Lake 2015* et les bilans en ligne d'*Opportunities for Action* du LCBP.

Depuis 2015, le Plan directeur de l'eau (PDE) de l'OBVBM, approuvé par le MELCC, regroupe les actions des différents ministères et les actions énumérées dans le Plan d'action du Comité interministériel (OBVBM, 2015).

4.2 Total maximum daily load

En 2002, les États du Vermont et de New York ont établi une charge quotidienne maximale totale (Total maximum daily load, TMDL) pour le phosphore dans le lac Champlain. En 2011, l'EPA a retiré son approbation en ce qui concerne la TMDL établie pour le Vermont pour deux raisons principales, à savoir que le plan de 2002 ne prévoyait pas de marge de sécurité adéquate pour tenir compte de l'incertitude entourant l'analyse initiale et qu'il ne fournissait pas suffisamment d'assurance qu'il y aurait des réductions d'apports de sources diffuses (U.S. EPA, 2016).

Ce retrait de l'approbation de 2002 relative à la TMDL établie pour le Vermont et la réémission subséquente de la TMDL de 2016 ont été déclenchés à la suite d'une action en justice intentée par la *Conservation Law Foundation* (CLF) (Chapman et Duggan, 2015; *Conservation Law Foundation c. Environmental Protection Agency*, 2008). En 2008, la CLF a intenté une poursuite fédérale en appel de l'approbation par l'EPA de la TMDL établie pour le lac Champlain, citant les motifs susmentionnés et deux autres facteurs, soit le défaut de tenir compte avec exactitude des sources ponctuelles de phosphore et le manque de prise en considération des effets à long

terme des changements climatiques dans le bassin (Conservation Law Foundation c. Environmental Protection Agency, 2008). En 2010, l'EPA et la CLF ont signé une entente de règlement pour permettre à la région 1 de l'EPA de réexaminer si la TMDL de 2002 était conforme au paragraphe 303 (d) de *Clean Water Act* (U.S. EPA, 2016). Le retrait en 2011 de l'approbation de la TMDL de 2002 établie pour le lac Champlain par le Vermont a obligé la région 1 de l'EPA (Nouvelle-Angleterre) à rétablir une nouvelle TMDL pour le phosphore afin de se conformer à l'alinéa 303 (d) (2) de la *Clean Water Act* (*Federal Water Pollution Control Act* 1978).

Comme nous l'avons vu aux sections 2.1 et 2.2.2, les TMDL de 2002 et de 2016 fixent des cibles d'apport de phosphore pour chaque secteur du lac Champlain. Douze de ces treize secteurs, à l'exception de la baie Cumberland, sont directement touchés par les sources de phosphore dans la partie du bassin situé au Vermont; cinq secteurs sont entièrement à l'intérieur des frontières du Vermont, et les autres sont partagées avec l'État de New York et (ou) le Québec. Ces cibles distinctes sont basées sur la quantité de phosphore déjà présente dans les eaux du secteur concerné et de la quantité de phosphore provenant du bassin environnant, et tiennent compte du mouvement du phosphore provenant des secteurs adjacents (U.S. EPA, 2016).

4.3 Vermont

4.3.1 Clean and Clear Action Plan

En 2003, le gouverneur du Vermont, James Douglas, a publié le *Clean and Clear Action Plan*, une initiative relative à la qualité de l'eau qui vise à accélérer les efforts de réduction du phosphore énoncés dans la publication de 2003 du LCBP, *Opportunities for Action* (Douglas 2003, 2004). À juste titre, le gouverneur Douglas a annoncé ce nouvel effort sur les rives de la baie Missisquoi, avec l'appui du premier ministre du Québec, Jean Charest, et du gouverneur de New York, George Pataki (Douglas 2003).

Le plan d'action *Clean and Clear Action Plan* de Douglas, qui s'échelonne sur une période de six ans, prévoyait une augmentation de 150 millions de dollars pour financer des travaux relatifs à l'assainissement de l'eau, y compris une collaboration avec la délégation du Congrès du lac Champlain pour accroître les crédits fédéraux et une demande à l'Assemblée législative du Vermont d'émettre des obligations environnementales citoyennes. En 2007, le bureau du trésorier de l'État du Vermont a vendu pour environ cinq millions de dollars de ces obligations environnementales citoyennes de série C (Vermont State Treasurer's Office, 2007, 2015a). Celles-ci ont plus tard été remplacées par des obligations vertes plus générales, conçues pour cibler un plus large éventail d'enjeux environnementaux, dont la qualité de l'eau et les eaux usées (Vermont State Treasurer's Office, 2015b). Les efforts déployés par Douglas dans le cadre du plan Clean and Clear ont été stimulés par les récentes efflorescences d'algues et de cyanobactéries dans le lac Champlain. Il a proposé d'accorder la priorité à la restauration de l'habitat faunique riverain, l'aménagement des berges érodées, à une meilleure gestion agricole du phosphore et au financement des immobilisations pour améliorer l'élimination des nutriments dans les installations de traitement des eaux usées (Douglas, 2003).

En 2011, l'État du Vermont avait investi plus de 57 millions de dollars pour le lac Champlain dans le programme *Clean and Clear* et avait obtenu un financement fédéral complémentaire de 68 millions de dollars (Vermont State Treasurer's Office, 2015b). Ces fonds ont été distribués à divers programmes de l'État du Vermont, comme ceux portant sur les rejets d'eaux usées, la gestion des cours d'eau, l'amélioration des routes de campagne, la gestion des eaux pluviales et le contrôle de l'érosion sur les chantiers de construction. N'empêche, en dépit des progrès importants réalisés au chapitre de la réduction du phosphore dans les eaux usées, les eaux de ruissellement diffuses n'avaient pas diminué de façon significative (Smeltzer, Dunlap et Simoneau, 2009; Lake Champlain Basin Program, 2005).

4.3.2 Loi 64: Vermont's Clean Water Act

En mai 2015, l'assemblée législatif du Vermont a adopté la motion H.35 intitulée « *An act relating to improving the quality of state waters* » (Loi visant à améliorer la qualité des eaux de l'État). La loi H.35, par la suite appelé la loi 64, également connue sous le nom de *Vermont Clean Water Act*, a été promulguée par le gouverneur Peter Shumlin le 16 juin 2015 (U.S. EPA, 2016). Le gouverneur Shumlin a souligné le besoin de se doter d'une législation globale encadrant la gestion de l'eau potable dans son discours sur l'État de 2015 (Shumlin 2015). La loi 64 traitait de la TMDL établie pour le phosphore du lac Champlain en fixant des dates limites pour bon nombre des programmes exigés par l'EPA, en augmentant le personnel et les ressources consacrés à la gestion de l'eau, en exigeant une planification stratégique des bassins pour prioriser les sous-bassins versants présentant les plus grands besoins, et en créant un « *Clean Water Fund* » (Fonds pour l'eau potable) (Martin, 2015). Ce Fonds a d'abord été soutenu par une majoration de 0,2 % de la taxe sur tous les transferts de biens immobiliers de plus de 100 000 \$.

Il est à noter que la loi 64 a révolutionné la politique agricole au Vermont en remplaçant le cadre de réglementation des « pratiques agricoles acceptées » par des « pratiques agricoles obligatoires » (*No. 64. An Act Relating to Improving the Quality of State Waters 2015*). Cette nouvelle désignation a été assortie des effectifs et des ressources financières supplémentaires requis pour mener des inspections dans les fermes et appliquer les règlements, au lieu de s'en remettre à l'ancien système fondé sur les plaintes. Elle exige également que la *Vermont Agency of Agriculture, Food and Markets* collabore avec l'*Agency of Natural Resources* à la mise en œuvre des mesures d'application et d'une nouvelle politique sur la gestion de l'eau (Martin T., 2015).

4.3.3 Efforts politiques additionnels du Vermont

En mai 2019, l'Assemblée législative du Vermont a adopté la loi 76, que l'on appelle la loi sur le financement de l'eau (« No. 76: An Act relating to the provision of water quality services »). La loi 76 a été signée par le gouverneur du Vermont, Phil Scott, le 19 juin 2019. Elle prévoit une source de financement à long terme pour la gestion de l'eau, en affectant 6 % de la taxe sur l'hébergement et la restauration prélevée par le Vermont au fonds de l'Eau de l'État. Elle prévoit également la désignation de fournisseurs régionaux de services d'eau potable, comme les districts régionaux de planification, pour mettre en œuvre des pratiques d'assainissement de l'eau à l'échelle locale et rendre compte à l'agence des ressources naturelles du Vermont sur

une base annuelle, en plus de créer quatre nouveaux programmes de subventions pour la qualité de l'eau (« No. 76 : An Act relating to the provision of water quality services »).

Bien que le plan d'action du Vermont et la loi 64 représentent les politiques du Vermont les plus pertinentes sur les plans thématique et temporel pour les besoins du présent rapport, le Vermont dispose d'autres lois, programmes et règlements qui traitent de la qualité de l'eau. La loi 250, la loi du Vermont sur l'utilisation et l'aménagement du territoire a été adoptée en 1970 pour régir les nouvelles constructions dans l'État au moyen d'un processus d'examen public par le *Natural Resources Board (Act 250: Land Use and Development Law, 1970)*. Cet examen comprend l'évaluation de neuf critères réglementaires, dont plusieurs peuvent avoir une incidence sur le lac Champlain, soit la pollution de l'air et de l'eau, l'approvisionnement en eau, les impacts sur la qualité de l'eau, l'érosion et la capacité du sol à retenir l'eau (Vermont Natural Resources Board, 2019). Bien que ces critères ne traitent pas explicitement du phosphore ou des cyanobactéries, l'accent mis sur l'examen diligent de l'aménagement du territoire à fort impact a presque assurément eu une incidence sur la qualité de l'eau du lac Champlain. La loi 250 date maintenant de près de 50 ans et fait actuellement l'objet des dernières étapes d'un examen mené par une commission d'État pour évaluer le succès de la loi et s'assurer qu'elle répond adéquatement aux défis émergents comme les changements climatiques (Dillon 2018).

4.4 New York

Comme la baie Missisquoi n'est pas un secteur du lac Champlain situé dans l'État de New York, nous consacrons moins de temps de ce chapitre à la politique de l'eau de l'État. Cependant, l'État de New York s'est doté d'une politique de réglementation importante qui porte sur la qualité de l'eau du lac Champlain.

Les secteurs du lac sont classés individuellement en fonction de critères définis par l'État de New York : les secteurs du lac principale et du lac au sud sont désignés globalement comme appartenant à la catégorie A, considérés comme une « source d'approvisionnement en eau à des fins de consommation, de transformation culinaire ou alimentaire, de loisirs avec contact primaire et secondaire, et de pêche » (*Class A Special [A-S] Fresh Surface Waters, 1972*). Plus précisément, les eaux riveraines de ces secteurs sont de catégorie A, tandis que les eaux plus profondes libres sont désignées comme appartenant à la catégorie AA, les eaux les plus pures. Il existe deux exceptions : la baie Bulwagga appartient à la catégorie B et la baie Deep appartient à la catégorie C (New York Department of Environmental Conservation 2018; *ClassAA Fresh Surface Waters 1972; Classe B Fresh Surface Waters 1972; Classe C Fresh Surface Waters, 1972*). Cela signifie que leurs utilisations les plus appropriées sont les activités récréatives avec contacts primaires et secondaires, et la pêche. Dans chacune de ces catégories, le phosphore devrait être limité à une quantité qui ne favorise pas le « développement d'algues, de plantes aquatiques et de boues » (*Narrative Water Quality Standards, 1972*). Les pouvoirs de réglementation et de délivrance de permis concernant les plans d'eau de l'État de New York relèvent du *New York Department of Environmental Conservation (Wroth, 2012)*.

En 2018, le gouverneur de l'État de New York, Andrew Cuomo, a annoncé dans son discours sur l'État que celui-ci affecterait 65 millions de dollars à la lutte énergique contre les proliférations

d'algues et de cyanobactéries nuisibles. Le lac Champlain a été désigné comme une source d'eau potable et un site récréatif hautement prioritaires (Governor's Press Office, 2017). En juin 2018, à la suite de quatre sommets des intervenants préoccupés par les cyanobactéries, le gouverneur Cuomo a annoncé la publication d'un plan d'action adapté au lac Champlain (Governor's Press Office, 2018).

4.5 Québec

Selon la Constitution canadienne, la gestion des ressources naturelles, y compris l'eau, est de compétence provinciale. Le gouvernement fédéral est responsable des eaux navigables et transfrontalières et de la protection de l'habitat du poisson (gouvernement du Québec, 2017).

Le MELCC est responsable de la coordination de la gestion de l'eau au Québec. Afin d'assurer la protection de cette ressource, de gérer l'eau dans une perspective de développement durable et, ce faisant, de mieux protéger la santé de la population et des écosystèmes, le Québec a mis en œuvre, en 2002, la Politique nationale de l'eau (PNE).

L'approche de la PNE visait à :

- Mettre en œuvre une gestion intégrée de tous les bassins versants pour réformer la gouvernance de l'eau;
- Mettre en œuvre cette méthode de gestion dans le Saint-Laurent tout en reconnaissant le statut particulier et l'importance de cette voie navigable;
- Protéger la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques;
- Continuer l'assainissement de l'eau et d'améliorer la gestion des services d'eau;
- Promouvoir les activités récréotouristiques reliés à l'eau.

La PNE a mené à la reconnaissance de 33 bassins versants prioritaires, y compris le bassin versant de la baie Missisquoi, et à l'établissement d'un réseau d'organisations de bassins versants (OBV) responsables de leurs mécanismes de gestion intégrée et de collaboration. Dans la baie Missisquoi, cela a mené à la reconnaissance officielle de la Corporation de bassin versant de la baie Missisquoi, qui allait devenir l'Organisme de bassin versant de la Baie Missisquoi en 2009. En outre, la PNE confiait à ces organismes de gestion des bassins versants le mandat d'achever les premiers plans directeurs de l'eau (PDE) et suggérait de les mettre en œuvre dans le cadre d'ententes sur la gouvernance des bassins entre les divers intervenants.

Plus tard, en 2009, l'adoption de la *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection* a confirmé le statut juridique des ressources hydriques en tant que partie du patrimoine de la collectivité, a clarifié les responsabilités de l'État en tant que gardien de la ressource au nom des citoyens et défini les droits et les obligations de la collectivité. Cette loi a clarifié la mission des organisations de gestion des bassins versants, dont le nombre s'élève maintenant à 40, à savoir « élaborer et de mettre à jour un plan directeur de l'eau pour sa zone de gestion intégrée et d'en promouvoir et suivre la mise en œuvre, en s'assurant d'une représentation équilibrée des utilisateurs et des divers milieux intéressés, dont le milieu gouvernemental, autochtone, municipal, économique, environnemental, agricole et communautaire, dans la composition de cet organisme de bassin versant » (article 14). Cette loi a été modifiée en 2017 et s'appelle maintenant la *Loi affirmant le caractère collectif des*

ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés. Dans le cadre de la mise en œuvre de la gestion intégrée des bassins versants au Québec, le Plan directeur de l'eau aide à structurer le processus et à faciliter la prise de décisions. Ce processus de planification, mené en consultation avec les intervenants du secteur de l'eau d'un bassin versant, se veut adaptatif, itératif et prospectif. Il s'agit ainsi d'un mode de gouvernance participative.

Enfin, en 2018, le gouvernement du Québec a dévoilé la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030 (Stratégie de l'eau), qui prend la relève de la Politique nationale de l'eau de 2002 (Gouvernement du Québec, 2018).

4.5.1 Cadre de réglementation de l'activité agricole

Le premier encadrement environnemental des activités agricoles au Québec date de 1981 avec l'adoption du Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale (RPPEPA), qui visait la protection de l'eau par l'étanchéité des ouvrages de stockage des déjections et prévoyait aussi que l'épandage devait se faire sur les superficies disponibles en tenant compte de la concentration d'azote des fumiers et de la capacité d'épandage en fonction des besoins (CAAAQ, 2008). En 1996, le concept de municipalités en surplus a été introduit au RPPEPA. En 1997, le Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA) introduit les plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF), une norme phosphore et des normes d'épandage des déjections. Le phosphore étant dorénavant considéré comme cause principale de l'eutrophisation des cours d'eau. Les restrictions sur l'épandage du phosphore, imposées par la réglementation depuis 1997, auraient notamment favorisé une utilisation optimale du phosphore minéral dans les moulées animales et les champs cultivés (Patoine & D'Auteuil-Potvin, 2013). L'élaboration de plans agroenvironnementaux a mené à une réduction importante des apports en engrais minéraux à l'échelle du Québec, et à une reconnaissance accrue de la valeur fertilisante du lisier, moins perçu comme un déchet à se débarrasser et davantage comme une ressource importante à valoriser (CAAAQ, 2008).

Le concept d'unité animale a par ailleurs été abandonné en raison des trop grandes disparités dans l'alimentation des animaux, ce qui rendait difficile l'utilisation de moyennes pour évaluer les concentrations en phosphore des fumiers (CAAAQ, 2008). Les calculs pour évaluer les besoins d'épandage sont désormais basés sur la saturation du sol en phosphore plutôt que sur la concentration totale (richesse), ce qui permet de considérer les différences entre les types de sols ou entre les sols de même catégorie sous des conditions différentes. À cet effet, des abaques de détermination de dépôts maximums de phosphore à l'hectare ont été mis au point dans le but de remplacer les calculs basés sur les unités animales à l'hectare et parce que cette approche est jugée plus efficace pour prévenir l'eutrophisation des cours d'eau (CAAAQ, 2008).

En 2002, dans le cadre du lancement de la PNE, le RRPOA a été remplacé par le Règlement sur les exploitations agricoles (REA) qui introduit notamment des seuils limites de saturation en phosphore pour les sols agricoles, la restriction de l'accès des animaux aux cours d'eau à partir de 2005, l'obligation le gel des superficies en cultures dans les bassins versants en excès de phosphore, l'obligation d'épandre les lisiers à l'aide d'une rampe basse et la récupération des eaux usées de laiteries de ferme (Gouv. du Québec, 2004).

Gestion des concentrations de phosphore dans le sol

Le REA exige depuis 2010 le dépôt du bilan de phosphore à l'équilibre. Le bilan phosphore est un inventaire des charges de phosphore, produites ou importées, et de la capacité des sols à recevoir ces charges conformément aux dépôts maximaux annuels de phosphore prévus par le REA. Il permet de vérifier l'équilibre entre les apports en phosphore et la capacité de dépôt maximum, pour éviter qu'un surplus ne se retrouve dans les cours d'eau et n'altère leur qualité, notamment en favorisant la prolifération d'algues bleu-vert. » (MELCC, 2019b). Le REA exige le dépôt annuel d'un bilan de phosphore à l'équilibre et le maintien en tout temps de cet équilibre. Par conséquent, l'exploitant doit disposer des superficies suffisantes pour gérer les matières fertilisantes selon les dépôts prévus à l'annexe I du REA.

Les plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) ont aussi été développés pour permettre un retour vers l'équilibre des sols et faire en sorte que les quantités de fertilisants épandues ne dépassent pas les besoins des plantes. Mentionnons que les abaques tiennent plus ou moins compte des besoins de la plante. Elles permettent des apports importants dans les sols pauvres, pour les enrichir, et des apports inférieurs aux prélèvements des cultures en sols riches ou saturés, pour réduire le phosphore du sol.

Le PAEF détermine, pour chaque parcelle d'une exploitation agricole et pour chaque campagne annuelle de culture (maximum de 5 années), la culture pratiquée et la limitation de l'épandage des matières fertilisantes (MDDELCC, 2017). Dans le cas où le sol d'une parcelle en culture dépasse un des seuils de saturation en phosphore inscrit à l'annexe I du REA, les recommandations de fertilisation inscrites dans le PAEF d'un lieu d'élevage ou d'épandage doivent faire en sorte de l'abaisser et de la maintenir sous ces seuils.

Les PAEF et bilans phosphore sont complétés par des agronomes engagés par les producteurs agricoles visés. Le suivi de la conformité de ces dispositions est quant à lui assuré par les directions régionales du MELCC. Les données sur les bilans phosphore publiées en 2016 ainsi que les données sur la qualité de l'eau des territoires agricoles du bassin versant de la baie, indiquent qu'il reste du travail à faire pour réduire les taux de saturation des sols en phosphore et ultimement les quantités de phosphore qui sont rejetées vers les cours d'eau et la baie Missisquoi. Malgré la conformité, la capacité de support est largement dépassée.

Les bilans de masse du phosphore (P) et la simulation dynamique des apports, stockage et exportations de P ont fait l'objet de plusieurs études au Vermont (Cassell et al., 1998, 2001, 2002; Meals et al., 2008a, 2008b). Un constat clair qui se dégage de ces études réalisées au tournant de l'an 2000 est que les objectifs à long terme de réduction des charges de phosphore à la baie Missisquoi ne pourront être atteints qu'en s'adressant au déséquilibre entre les importations et les exportations dans le secteur agricole et, lorsqu'approprié, aussi dans l'environnement urbain (Jokela et al., 2002). À l'échelle de la ferme laitière par exemple, des bilans de masse réalisés par des chercheurs Vermontois ont démontré qu'entre 20 et 40% du phosphore importé (fertilisants, moulées, etc) quittait la ferme sous la forme de lait, viande ou autres produits (Anderson et Magdoff, 2000). Avec le temps, le stock de P augmente dans les sols et les zones de déposition dans les plans d'eau, générant des émissions de flux de P de plus en plus importants. Il a ainsi été démontré dans la portion québécoise du bassin versant de la rivière aux Brochets que la richesse du sol et les bilans des apports étaient significativement

corrélés entre eux, et contribuaient à expliquer plus de 85% de la variabilité spatiale dans les flux de phosphore (Deslandes et al. 2002a, 2002b). Déjà il y a plus de quinze ans, le tiers des sols d'un sous-bassin de la même région d'étude présentaient des taux de saturation supérieurs au seuil de vulnérabilité pour la perte de phosphore de 10 % (Michaud et al., 2002a, 2002b).

Ce constat ne minimise pas l'importance des pratiques culturales de conservation et d'aménagement anti-érosif des terres et des cours d'eau. Leurs bénéfices ont été démontrés dans le bassin versant de la baie Missisquoi, comme ailleurs dans le Nord-Est américain. Les suivis à long terme en Amérique du Nord des effets de ces pratiques de gestion bénéfiques « traditionnelles » ciblées sur le contrôle du ruissellement, de l'érosion et des charges particulières de P ont cependant démontré que les sites de piégeage du P deviennent, à long terme, des sources d'émission de phosphore soluble (Dodd et Sharpley, 2016). En clair, la principale implication des études à long terme sur le bilan de masse du P et de l'efficacité du contrôle du ruissellement et de l'érosion sur la mobilisation du P est que l'atteinte des charges cibles de P du bassin versant de la baie Missisquoi est compromise sans un équilibre du bilan de masse du phosphore.

Les systèmes de séparation des fractions solides (90% du P) et liquides du lisier, par exemple, sont largement utilisés en Europe et leur efficacité a aussi été démontrée en porcherie au Québec (Godbout et al., 2006). La fraction liquide, relativement pauvre en P mais riche en azote, peut alors être valorisée au champ, tout en limitant l'enrichissement du sol en P et en prévenant les pertes de P au cours d'eau. Ce lisier « à teneur réduite en P » devient particulièrement avantageux pour le secteur de grains biologiques, vulnérables à l'enrichissement excessif du sol en P en raison d'une utilisation continue d'engrais de ferme. En ce qui a trait à la fraction solide récupérable (90% du P; Godbout et al., 2006), une richesse élevée en nutriments et un faible taux d'humidité en facilite la valorisation sur des champs plus éloignés, ou hors-ferme, suivant un traitement de séchage, de compostage ou de granulation.

L'accompagnement des plus grosses entreprises d'élevage pour une gestion efficace des lisiers liquides et solides s'inscrit comme prioritaire sur le plan de la prévention de l'eutrophisation à long terme de la baie Missisquoi. D'une part, la disponibilité de lisiers appauvris en P contribuera à limiter à long terme l'enrichissement des sols en phosphore dans le bassin versant. Aussi, les fractions solides, assainies, pourrait remplacer les apports en engrais minéraux phosphatés, abaissant ainsi le bilan de global des apports en P dans le bassin versant.

La gestion à la source des teneurs en phosphore des engrais organiques passe également par une réduction du phosphore minéral ajouté aux aliments du bétail, en ayant recours dans certaines productions animales à des enzymes permettant une meilleure assimilation du phosphore contenu dans les céréales (ex: phytase). La réalisation de bilans alimentaires permettrait de valider si l'alimentation du bétail des élevages situés dans ce bassin versant profite réellement de cette option.

La MRC de Brome-Missisquoi, au Québec, a mandaté *l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement* (IRDA) pour adapter l'Outil de diagnostic des exportations de phosphore aux besoins de la MRC en matière de gestion et de contrôle des eaux de ruissellement sur son territoire. Cet outil de référence spatiale permet d'estimer et de visualiser le ruissellement superficiel, l'érosion et les taux de transfert de phosphore à la

surface. Les principales aires à risque ont donc été localisées pour l'ensemble de la MRC de Brome-Missisquoi.

Par ailleurs, l'OBVBM a commandé à l'IRDA une analyse de scénarios visant à réduire les apports de phosphore de 40 % dans le bassin versant de la rivière de la Roche à l'aide de l'outil GEODEP. Les résultats de cette analyse serviront à prioriser les interventions en fonction des gains observés et les résultats seront présentés aux autorités gouvernementales pour la mise en œuvre d'actions. L'IRDA a analysé l'ensemble du bassin versant de la rivière de la Roche pour modéliser des scénarios. Toutefois, la composante relative au rapport coûts-avantages n'a été utilisée que pour la partie du bassin versant située au Québec.

Quatre objectifs ont orienté le choix des nouvelles pratiques de gestion modélisées pour la partie du bassin versant située au Québec :

1. La réduction des taux d'érosion dans les cultures de maïs et de soja par la culture sur résidus et cultures de couverture.
2. L'incorporation superficielle d'engrais de ferme dans l'épandage.
3. L'aménagement de zones riveraines dans les cours d'eau.
4. La protection des zones inondées ou excessivement vulnérables à l'érosion.

Le projet a été financé par le LCBP dans le cadre du volet de soutien à la prévention de la pollution et à la préservation des habitats.

4.5.2 Programmes de soutien agricole

Les principaux programmes de soutien aux producteurs agricoles au Québec sont le Programme canadien de stabilisation du revenu agricole (PCSRA), le Programme d'assurance stabilisation des revenus agricoles (ASRA), le Programme d'assurance récolte, utilisé pour pallier les risques naturels et le Programme de crédit de taxes foncières agricoles. Ces programmes sont gérés par la Fédération agricole du Québec (FADQ). Les sommes consacrées à ces programmes varient entre 500 M\$ et 1 G\$ par année. Elles auraient augmenté de près de 250 % entre le début des années 1980 et 2008 en réponse à divers éléments (ex : hausse des taxes foncières, événements climatiques, etc.) (CAAAQ, 2008). L'ASRA est de loin le plus important programme d'aide financière du gouvernement du Québec. Or, les productions sous gestion de l'offre, qui bénéficient déjà d'une protection particulière contre la concurrence étrangère, ne sont pas admissibles à ce programme (CAAAQ, 2008). Quatre productions non contingentées (maïs-grain, veau d'embouche, porc et porcelet) se partagent au Québec la majorité (environ 65%) des sommes consacrées à ces divers programmes de soutien (CAAAQ, 2008).

Depuis 2008, le respect de la protection des bandes riveraines et l'interdiction d'augmenter les superficies en culture dans certaines municipalités ciblées dans le REA sont des mesures appliquées dans le cadre du programme ASRA et de celui de l'assurance récolte. (Vérificateur générale du Québec 2012).

Programme Prime-Vert

Le programme Prime-Vert est géré par le MAPAQ et cofinancé par les gouvernements fédéral et provincial en vertu des divers partenariats pour l'agriculture. D'abord axé pour soutenir les producteurs agricoles à se doter de structures d'entreposage étanches, ce programme offre

depuis 2002 un financement aux producteurs pour la réduction de la pollution diffuse par un soutien aux bonnes pratiques agroenvironnementales. Ainsi, les exploitations agricoles peuvent obtenir l'aide nécessaire pour : gérer l'accès des animaux aux cours d'eau; aménager des bandes de protection riveraines et des haies brise-vent; aménager des ouvrages de protection contre l'érosion dans les champs ou en bordure des cours d'eau; adopter des pratiques culturales de conservation des sols et de l'eau. Le programme Prime-Vert est un programme essentiel dans la lutte contre la pollution diffuse en milieu agricole au Québec.

La nouvelle version du Prime-Vert 2018-2023 du MAPAQ apporte certaines nouveautés comme le financement des cultures de couvertures et cultures intercalaires (couvrant au moins 10 000 ha) qui auraient rapidement connu un grand succès avec plus de 350 demandes reçues pour la Montérégie en 2018. Le nouveau programme du Prime-vert prend aussi en compte l'entretien des plantations riveraines ayant été financé par le programme ce qui est un avantage et un incitatif pour la mise en place de ces ouvrages. Le montant mis à la disposition des producteurs a aussi été augmenté passant de 30 000 à 40 000 \$.

Le programme Prime-Vert 2018-2023 du MAPAQ comporte trois volets de financement :

Le Volet 1 – Intervention en agroenvironnement par une entreprise agricole finance autre autres des aménagements agroenvironnementaux (haies brise-vent, bandes riveraines élargies, etc.) et des pratiques et ouvrages de conservation des sols (ouvrages de contrôle de l'érosion, cultures de couverture, etc.)

Le Volet 2 – Approche régionale ou interrégionale en agroenvironnement supporte les actions en liens avec les problématiques agroenvironnementales identifiées dans la Montérégie par le MAPAQ et les partenaires du milieu :

- Dégradation des sols due à la monoculture, à des rotations inappropriées et à des pratiques culturales déficientes -
- Utilisation intensive des pesticides à haut risque sur l'environnement et la santé dans les grandes cultures ainsi que dans les productions horticoles, notamment dans les zones du sud de la Montérégie
- Pollution des cours d'eau et dégradation de la qualité de l'eau causées, en partie, par les intrants d'origine agricole et la perte de sol dans les zones de culture intensive à l'intérieur des bassins versants, notamment dans le bassin versant de la rivière de la Roche.
- Appauvrissement de la biodiversité dans les secteurs agricoles intensifs dont le secteur bassin de la baie Missisquoi.

Le Volet 3 : Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement soutien pour le développement expérimental, l'adaptation technologique et le transfert technologique des connaissances en agroenvironnement, la diffusion; d'information en agroenvironnement et l'appui individuel aux entreprises agricoles pour la réalisation d'essai d'implantation de pratiques agroenvironnementales éprouvées (cultures de couverture, implantation de céréales d'automne) sur une superficie maximale de l'essai est de 5 hectares.

Bien que ce programme réponde aux attentes des 490 producteurs agricoles du bassin versant, une diminution importante du nombre de demandes de subvention a été observée entre les

périodes de 2009-2013 et de 2013-2018, où le taux de participation total est passé de 64 % à 18 %.

Le programme Prime-Vert a permis la réalisation de projets de bassins versants, de retrait des animaux des cours d'eau, d'ouvrages de conservation de sols (avaloirs, enrochements, de tranchées filtrantes, etc.), de cultures de couvertures, de plantations d'arbustes et de haies brise-vent, d'infrastructures d'entreposage de lisiers et de fumiers et d'achat d'équipement pour la réduction de l'utilisation de pesticides. Des formations sur la méthode du semis direct et autres pratiques de conservation des sols ont aussi été offertes aux producteurs agricoles dont plusieurs ont fait l'achat d'équipements pour transiter vers ces pratiques (Mimeault et Simoneau, 2010).

Le MAPAQ a appuyé techniquement et financièrement plusieurs initiatives réalisées dans le bassin versant de la baie Missisquoi entre 2007 et 2019, pour un montant global de plus de 1,6 M\$, incluant les projets Lisière Verte (2007-2010), le projet ZIPP Baie Missisquoi (2009-2013), le projet ZIPP ruisseau Morpions (2010-2014) et le projet *d'Interventions ciblées sur le contrôle des eaux de ruissellement et la conservation des sols dans la MRC Brome-Missisquoi* de l'OBVBM (2016-2019). Ce dernier projet a été financé par le programme Prime-Vert (Approche Régionale), la MRC Brome Missisquoi, l'OBVBM et le programme ÉcoAction d'Environnement et changement climatique Canada.

Dans le cadre du projet Interventions ciblées sur le contrôle des eaux de ruissellement et de conservation des sols dans la MRC Brome-Missisquoi, l'OBVBM et la MRC BM travaille de concert pour réduire l'impact des eaux de ruissellement provenant des terres agricoles dans les secteurs les plus vulnérables à l'érosion et dans les bassins versants des travaux d'entretien des cours d'eau. Depuis 2016, les producteurs agricoles ciblés sont accompagnés par l'agronome de l'OBVBM/MRC pour mettre en place des actions pour réduire les apports de nutriments vers les cours d'eau. Les pratiques de culture de couvertures, d'aménagement de bandes riveraines élargies et d'ouvrages hydroagricoles sont fortement recommandées.

Plusieurs intervenants rencontrés ont observé d'importants changements de « mentalités » à l'égard de la protection de l'environnement en milieu agricole. Le territoire du bassin versant de la baie serait un « terreau fertile » pour la réalisation de projets novateurs étant donné un certain intérêt marqué de la part de producteurs et conseillers agricoles (Entrevues OBVBM, 2019). Certaines améliorations seraient perceptibles dans les analyses de qualité de l'eau pondérées avec les débits. Or, les charges demeurent excessives et la gestion des sources diffuses demeure un défi majeur à relever dans le bassin versant de la baie Missisquoi.

4.5.3 Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030

En 2018, le gouvernement du Québec a dévoilé la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030 (Stratégie de l'eau), qui remplace la Politique nationale de l'eau de 2002 (Gouvernement du Québec, 2018). La Stratégie de l'eau sera mise en œuvre par le truchement de trois plans d'action successifs. Le premier plan d'action de la Stratégie de l'eau 2018-2023 représente des investissements de plus de 550 millions de dollars.

Les sept priorités de la Politique de l'eau sont les suivantes :

- Assurer l'accès du public à une eau de qualité.
- Protéger et restaurer les milieux aquatiques.
- Mieux prévenir et gérer les risques liés à l'eau.
- Exploiter le potentiel économique de l'eau.
- Promouvoir une utilisation durable de l'eau.
- Acquérir et partager les meilleures connaissances sur l'eau.
- Assurer et renforcer la gestion intégrée des ressources hydriques.

Les orientations et objectifs concernant l'enjeu de la baie Missisquoi sont l'orientation 1 avec les objectifs 3 et 4. En ce qui a trait à l'objectif 3 qui cible la mise aux normes des infrastructures d'assainissement, certaines mesures visent notamment à assurer un meilleur contrôle des rejets et à favoriser la mise aux normes des installations d'assainissement des eaux usées résidentielles. L'objectif 4, quant à lui, poursuit le virage agroenvironnemental par des actions portant sur le contrôle des sources de contamination des eaux de surface, la réfection des ouvrages de stockage des déjections animales et l'efficacité des bandes riveraines. Également, l'orientation 7 visant à assurer et renforcer la gestion intégrée des ressources en eau comporte une mesure qui consiste à appuyer la concertation Québec-Vermont-New-York pour la gestion intégrée du lac Champlain, du lac Memphrémagog et de la rivière Richelieu.

Le Plan d'action 2018-2023 de la Stratégie de l'eau renferme 63 mesures administrées par onze organismes gouvernementaux et organisations. Les principales mesures comprennent l'amélioration de la prévention et de la gestion des risques liés à l'eau, y compris les inondations (53 millions de dollars); la conservation et la restauration des milieux aquatiques (32 millions de dollars); la garantie d'un accès à une eau de qualité en quantité suffisante, notamment par l'entremise du Programme pour une protection accrue des sources d'eau potable (34 millions de dollars) (gouvernement du Québec, 2018). La surveillance de la Stratégie de l'eau est effectuée par le MELCC. Chaque année, un rapport d'étape doit être publié, et un rapport de mi-parcours est en cours de préparation. La Stratégie de l'eau vise à favoriser une plus grande cohérence dans les interventions en matière de gestion de l'eau.

Dans le cadre de la Stratégie québécoise de l'eau, le Programme pour une protection accrue des sources d'eau potable (PPASEP) aide les municipalités à mettre en œuvre le Règlement sur la protection de l'eau potable. Le PPASEP est administré par le MELCC et comporte deux volets : le premier aide les municipalités qui doivent effectuer une analyse de la vulnérabilité de leurs sources d'eau potable, et le deuxième aide les municipalités à compenser financièrement les pertes de revenus subies par les producteurs agricoles en raison de certaines restrictions imposées par le Code de gestion des pesticides (MELCC, 2018e). La municipalité de Bedford, dont la source d'eau potable est la baie Missisquoi, procède actuellement à l'analyse de vulnérabilité de sa source.

4.6 Recommandations des experts

Au Québec, l'OBVBM a consulté plus de 65 intervenants de différents organismes, centres de recherche et universités ainsi que des intervenants municipaux et du secteur agricole pour recueillir leurs points de vue et leurs recommandations. Un questionnaire a été élaboré pour

chacun des intervenants consultés. Certains ont répondu par écrit, mais la plupart ont été rencontrés dans le cadre d'entrevues réalisées d'octobre 2018 à janvier 2019. Les questions de la gouvernance, des programmes de financement et des règlements actuels ont fait l'objet de discussions, et plusieurs solutions ont été proposées pour réduire les apports de nutriments dans le lac Champlain. Un résumé complet des points de vue exprimés a été réalisé et le GCSC du Québec a évalué les sections d'entrevue les plus pertinentes pour le mandat de la CMI.

L'approche par questionnaire personnalisé produit des résultats plutôt qualitatifs et ne permet pas de quantifier ou de présenter des statistiques. En revanche, les opinions reflétant un certain consensus ou soulevées par plusieurs intervenants ont servi de base à l'élaboration des recommandations du GCSC du Québec énumérées ici.

Phosphore et nutriments

Les représentants de la communauté scientifique conviennent que le phosphore est la cible à privilégier pour réduire l'eutrophisation dans un plan d'eau et les effets connexes comme les efflorescences de cyanobactéries.

Afin de limiter la production de cultures intensives dans les zones dégradées, de nombreux incitatifs financiers ont été proposés pour promouvoir la transition vers les cultures céréalières et fourragères. Les exigences révisées en matière d'engrais applicables à ces outils de contrôle ont été remises en cause à de nombreuses reprises (bonnes pratiques /bilan masse du P) afin d'atteindre les objectifs de restauration de la qualité de l'eau. Le soutien et l'aide financière aux producteurs agricoles, l'écoconformité et la compensation pour les biens et services écologiques rendus devraient, pour bon nombre des intervenants rencontrés, faire l'objet d'une réflexion approfondie afin de proposer des modèles mieux adaptés aux besoins des agriculteurs. On a également recommandé de développer des marchés pour appuyer les cultures céréalières et fourragères afin de réduire la production de maïs et de soja. Plusieurs intervenants ont souligné l'importance de soutenir financièrement les municipalités afin de moderniser les installations de traitement des eaux usées et de réduire les dépassements de capacité.

Politiques et gouvernance

La plupart des intervenants consultés ont souligné l'importance de renouveler l'Entente entre le gouvernement du Québec et l'État du Vermont qui a pris fin en décembre 2016 concernant la réduction du phosphore à la baie Missisquoi afin de bénéficier d'un engagement officiel des deux gouvernements. Pour assurer l'atteinte des objectifs de cette Entente, les intervenants ont fortement recommandé d'établir une enveloppe budgétaire proportionnelle aux objectifs et de créer un organisme ou un comité d'experts binational chargé d'évaluer et de recommander les mesures et les solutions prioritaires pour la réduction des apports de phosphore à la baie Missisquoi. Afin de suivre l'évolution des objectifs, un rapport annuel devrait être présenté à chacun des organismes concernés et aux intervenants du secteur.

Du point de vue régional, la délimitation des zones de contrainte dans les Schémas d'aménagement et de développement des MRC pourrait permettre de réglementer certaines utilisations du territoire dans les zones de dégradation identifiées. La protection des milieux naturels et des milieux humides a également fait l'objet d'un consensus. En ce qui concerne la réglementation, il y a eu plusieurs lacunes en matière d'application de la loi et de surveillance en raison du manque d'effectifs dans les ministères et du manque de ressources financières des

municipalités, comme dans le cas de la Politique de protection des rives et des plaines inondables, qui est généralement peu respectée.

Cyanobactéries et santé publique

Il y a peu d'information disponible sur les plans d'eau touchés par les cyanobactéries au Québec. Le MELCC ne produit plus de rapport annuel depuis 2016 et le suivi est effectué par des bénévoles. Les propriétaires de plage et les municipalités ne diffusent pas suffisamment l'information transmise par le ministère de la Santé sur les instructions de suivi lorsqu'un plan d'eau est affecté par les cyanobactéries. Le fait que le MELCC n'échantillonne plus systématiquement les plans d'eau où ce problème est récurrent, comme la baie Missisquoi, donne à penser que le problème est réglé. Pour beaucoup, il y a là un risque de banalisation de la situation. Cela aurait un effet négatif sur la mise en œuvre de mesures visant à réduire les apports en nutriments. Pour de nombreux intervenants, le gouvernement devrait exiger que les propriétaires de plages et les municipalités informent les citoyens et les visiteurs des risques pour la santé.

Au Vermont, dans le cadre de l'exercice de revue de la littérature, le LCBP a rencontré des professionnels des bassins versants pour discuter de la qualité de l'eau du lac Champlain et de la gestion des cyanobactéries. Ces experts étaient affiliés à de petits groupes de bassins versants et des représentants municipaux locaux, ainsi qu'aux autorités de réglementation des gouvernements fédéraux des États. Ces entrevues semi-structurées informelles ont été guidées par une série de questions normalisées sur la qualité de l'eau et les cyanobactéries dans le bassin du lac Champlain (Annexe 1). Ces discussions ont porté principalement sur les programmes, les facteurs et les efforts qui ont réussi à régler le problème de l'apport de nutriments et des cyanobactéries dans le lac Champlain, ou ont échoué à le faire, ainsi que sur des recommandations pour les efforts futurs, en tenant compte du niveau ou de l'augmentation du financement. Les entrevues aux États-Unis ont été réalisées en décembre 2018 et en janvier 2019 et duraient habituellement environ une heure. Nos premières entrevues ont été menées auprès des membres du GCSC du Vermont; des entrevues subséquentes ont été sollicitées auprès de professionnels des bassins versants suggérés par les membres du GCSC.

Les réponses des personnes interrogées aux États-Unis ont été regroupées par thème en catégories générales : politique, réglementation et distribution des fonds; les apports de phosphore prioritaires et les solutions possibles; l'éducation, la sensibilisation et la collaboration à l'échelle des bassins versants. Pour chacune de ces catégories, nous avons énuméré les sujets suivants mentionnés par les personnes interrogées : les programmes/projets réussis et les facteurs de réussite; les programmes/projets qui ont échoué et les facteurs d'échec; et les recommandations. Ces réponses sont présentées au Tableau 6 et décrites plus en détail ci-dessous.

Tableau 6. Réponses des répondants américains classées par thème. Le nombre entre parenthèses après chaque point représente le nombre de personnes interrogées qui ont mentionné le sujet. Les sujets qui comportent moins de deux mentions ne sont pas énumérés.

	Programmes/projets réussis et facteurs de réussite	Programmes/projets réussis et facteurs d'échec	Recommandations
Politique, réglementation et distribution des fonds	<ul style="list-style-type: none"> • Loi 64 du Vermont et modification réglementaires connexes (4), et en particulier les nouvelles pratiques agricoles obligatoires (4). 	<ul style="list-style-type: none"> • Système actuel de distribution du financement pour l'eau potable (5). • Loi 64 du Vermont et modifications réglementaires connexes (2). • L'organisation des programmes d'assainissement de l'eau fait en sorte qu'il est difficile pour les intervenants de comprendre leur rôle (2). 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenir la stabilité du financement actuel et évaluer le succès (4). • Administrer un nouveau système pour distribuer les fonds plus efficacement (4). • Donner plus de pouvoir aux groupes de bassins versants (4). • Réduire les exigences administratives et en matière de rapports en ce qui concerne les subventions pour l'assainissement de l'eau (4). • Augmenter le financement de la recherche (3). • Consacrer une partie du financement à des projets pilotes coûteux (3). • Régler le problème des infrastructures vieillissantes (2). • Tenir compte des changements climatiques dans la prise de décisions stratégiques (2)

Apports de phosphore prioritaires et solutions possibles	<i>Aucune mention</i>	<ul style="list-style-type: none"> • L'accent actuel est sur l'intervention en cas de crise plutôt que sur des mesures proactives (2). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre l'accent sur les principaux apports de phosphore (6). • Traiter le phosphore résiduel des sédiments du lac Champlain (5). • Offrir plus de soutien aux producteurs (4), peut-être en modernisant la structure de prix du lait (4). • Mettre en œuvre des PEG relatives aux eaux pluviales (4). • Prioriser les solutions de qualité de l'eau axées sur les mécanismes naturels (3). • Mettre en œuvre un système de plafonnement et d'échange pour le phosphore (2). • Restaurer les corridors riverains (2).
-----------------------------------------------------------------	-----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Éducation, sensibilisation et collaboration à l'échelle des bassins versants	<ul style="list-style-type: none"> • Les programmes d'éducation et de sensibilisation existants (5). • Le Lake Champlain Monitoring Program (4). • L'idée voulant que l'amélioration de la qualité de l'eau soit une responsabilité partagée entre les intervenants (4). • La collaboration entre l'État de New York, le Vermont et le Québec (4). • La surveillance des cyanobactéries par les citoyens (2). • Les groupes de défense de l'eau potable (2). 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de responsabilité à l'égard des problèmes de qualité de l'eau et diminution de la collaboration intergouvernementale (2). 	<ul style="list-style-type: none"> • Encourager l'adhésion des intervenants en matière d'eau potable (4). • Faciliter une plus grande collaboration à l'échelle du bassin versant (4). • Éduquer et sensibiliser davantage, en particulier auprès des collectivités et des groupes mal desservis (2).
-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Les répondants étaient partagés en ce qui concerne la loi 64, la loi sur l'assainissement de l'eau du Vermont. Les pratiques agricoles obligatoires (Required Agricultural Practices) établies par cette loi ont été reçues favorablement. D'une façon générale, la loi a suscité des commentaires positifs de la part des fonctionnaires fédéraux et de l'État. Bien que certains aient fait remarquer que l'adoption de la loi en 2015 est peut-être encore trop récente pour que celle-ci ait entraîné des retombées positives mesurables, elle « a le potentiel de réussir ». En revanche, les répondants des administrations locales et des organisations à but non lucratif du bassin versant ont reçu la loi et les lois connexes de façon moins favorable, soulignant que même si le processus tactique de planification du bassin peut générer des renseignements utiles, il est difficile pour les intervenants de le comprendre et d'y participer. Ils ont aussi souligné que la loi 64 risquait d'imposer une part de responsabilité injuste aux municipalités plutôt qu'à la *Vermont Agency of Natural Resources*.

L'un des points de vue digne d'intérêt exprimé et que même si les sous-bassins versants de Rugg Brook et de Stevens Brook ont été désignés comme étant « dégradés par les eaux pluviales », un problème difficile à régler, elle a déclenché des mesures de la part de la municipalité et entraîné en fin de compte un effet positif. Ces plans d'eau ont été désignés comme étant dégradés sur la liste 303 (d) de 2006 du Vermont (Vermont Department of Environmental Conservation, 2009b, 2009a) et l'USEPA leur a attribué des TMDL approuvées pour les eaux pluviales en 2009. L'attention portée à la dégradation de la qualité de l'eau causée par ces désignations d'eaux pluviales a semblé susciter un intérêt accru à l'égard de la qualité de l'eau chez les intervenants d'une façon générale.

On a demandé aux répondants où ils voyaient des possibilités d'amélioration des politiques, de la recherche et de la mise en œuvre. Lorsqu'on leur a présenté un scénario de financement par niveaux, plusieurs répondants ont suggéré de maintenir la stabilité des crédits actuels pour la qualité de l'eau et d'évaluer le succès. Cette opinion était particulièrement prédominante chez les fonctionnaires fédéraux et de l'État qui ont participé à l'élaboration de la loi 64, la Vermont's Clean Water Act, et ils ont demandé qu'on leur accorde plus de temps pour déterminer si les initiatives en cours produisaient les résultats escomptés.

Les répondants étaient moins loquaces lorsqu'on leur a demandé de donner des exemples de programmes et d'efforts qui n'avaient pas réussi à améliorer la qualité de l'eau et à réduire les cyanobactéries dans le lac Champlain. Le sujet le plus important, partagé par cinq répondants, est que la structure actuelle de distribution du financement pour l'assainissement de l'eau est inefficace et qu'elle pourrait être améliorée. N'empêche, les points de vue particuliers sur ce sujet variaient considérablement. En effet, plusieurs répondants estimaient qu'une trop grande proportion du financement total est consacrée aux coûts rattachés au soutien administratif et à la production de rapports, et que davantage de ressources devraient être consacrées à la mise en œuvre plutôt qu'à la recherche et à la surveillance, tandis que d'autres ont suggéré que les fonds soient distribués en fonction des résultats des mesures d'assainissement, par exemple selon la réduction de l'apport de phosphore calculée en livres. Apports de phosphore prioritaires et solutions possibles.

Plusieurs répondants ont souligné l'importance d'optimiser la distribution du financement majoré. Certains ont suggéré que l'administration d'une enveloppe de financement majorée soit confiée à l'*Agency of Natural Resources*. Comme il est déjà très difficile de distribuer des fonds en temps opportun et de manière efficace, il serait de mise que jusqu'à un tiers des fonds supplémentaires servent à financer les coûts du personnel chargé de les distribuer sous forme de subventions de projets dans l'État. Cependant, d'autres répondants, principalement des municipalités et des groupes de bassins versants, se sont dit en désaccord avec cette proposition et ont plutôt suggéré que les gouvernements fédéral et des États tentent de s'aligner plus étroitement sur les organismes sans but lucratif locaux et exploite au maximum leur financement en éliminant les obstacles que ces organismes doivent surmonter, comme le processus de demande de subventions qui exige beaucoup de temps qu'un mécanisme de distribution régulière du financement, et la quantité importante de documents à produire. D'autres répondants ont aussi suggéré de décentraliser les responsabilités du gouvernement de l'État afin de mieux soutenir les municipalités, notamment en déployant 80 % du personnel de l'ANR de Montpellier dans des collectivités mal desservies dans tout le Vermont. Ces points de vue divergents illustrent la division claire des perceptions des priorités et des défis entre les employés de l'État et du gouvernement fédéral qui participent à l'élaboration et à la promotion du cadre de réglementation actuel, et le personnel municipal et les groupes de gestion des bassins versants qui effectuent des travaux de mise en œuvre sur le terrain.

Parmi les suggestions les plus fréquentes par rapport à l'utilisation d'un financement accru, on a suggéré de cibler les sources de phosphore hautement prioritaires et de prioriser les efforts d'éducation et de sensibilisation. En ce qui concerne les zones de phosphore hautement prioritaires, les réponses ont varié, mais bon nombre d'entre elles étaient axées sur l'agriculture. Plusieurs ont mentionné l'importance d'encourager l'État, les municipalités et les groupes de bassins versants à racheter des fermes dans les zones abritant des sources critiques de phosphore, particulièrement dans le bassin versant du lac Carmi. Bien que l'agriculture soit considérée comme un élément fondamental du paysage du bassin hydrographique, l'agriculture est le principal exportateur de phosphore dans le lac Champlain et il faut s'y remédier. Une façon relativement simple de réduire le phosphore de source agricole pourrait consister à offrir un soutien et des incitatifs aux agriculteurs pour qu'ils abandonnent les productions à fort impact comme la culture du maïs et la production laitière. Les fonds destinés à l'éducation des agriculteurs, les subventions pour l'achat d'équipement et la mise en place de pratiques exemplaires de gestion (BMP's) et un accès facilité à des plans personnalisés de gestion des nutriments comptent parmi les suggestions mentionnées pour soutenir les agriculteurs.

On a aussi suggéré de moderniser la structure fédérale des prix du lait. La plupart des prix du lait versés aux producteurs sont fixés sur une base mensuelle, conformément aux ordonnances fédérales de commercialisation du lait, en fonction d'une combinaison des prix du lait déterminés par le marché et des coûts de production estimés, des rendements et de l'emplacement (MacDonald, Cessna et Mosheim, 2016). La production laitière s'est déplacée vers les plus grandes fermes, et ces celles-ci peuvent gagner beaucoup plus par unité de lait que les petites exploitations, ce qui les incite fortement à prendre de l'expansion. Ces

augmentations de la taille des fermes ont entraîné une diminution des coûts de production du lait des grands producteurs de 1998 à 2012, et incidemment, une diminution des prix du lait (MacDonald, Cessna et Mosheim 2016). En 2010, la taille médiane nationale du cheptel laitier était de 900 têtes, comparativement à 80 en 1987 (MacDonald, Cessna et Mosheim, 2016). Au Vermont, la taille moyenne du cheptel était de 125 têtes, une augmentation par rapport à 60 en 1990 (Parsons, 2010). Ces statistiques descriptives ne sont pas directement comparables, mais elles donnent à penser que même si la taille des cheptels laitiers du Vermont a presque doublé, elle demeure beaucoup plus petite que celle des cheptels laitiers de l'industrie à l'échelle nationale. L'industrie laitière du Vermont a été qualifiée d'industrie « en crise » (Heintz, avril 2018), et les pressions exercées sur les agriculteurs pour qu'ils regroupent un plus grand nombre de bêtes sur la même parcelle de terre augmentent l'impact environnemental de la production laitière. Les hausses spectaculaires de la volatilité des prix du lait ont eu des répercussions négatives sur les agriculteurs (Bolotova, 2016). L'élimination ou la modernisation du régime fédéral d'établissement des prix du lait est un sujet de recherche et de discussion depuis plusieurs décennies (Manchester et Blayney, 1997; McNew, 1999).

Bien qu'il soit crucial d'intervenir dans les secteurs du lac Champlain les plus durement touchés par le problème de l'apport de nutriments et des cyanobactéries, plusieurs répondants ont également souligné l'importance de protéger et de conserver des zones intactes et bien préservées. La protection et la conservation des ressources naturelles maximisent la valeur celles-ci sur le plan de la qualité de l'eau, et préconisent un virage des solutions entièrement tributaires de l'innovation technologique vers des solutions « naturelles » pour régler ces problèmes continus.

Plusieurs répondants ont recommandé de miser sur la technologie : un financement permettrait l'installation et la mise à l'essai de nouveaux systèmes coûteux pour éliminer le phosphore et améliorer la qualité de l'eau. Parmi les projets pilotes possibles, mentionnons l'installation d'une chaîne de traitement du phosphore; l'achat et la mise en œuvre d'unités de traitement amélioré (UTE) au lieu des fosses septiques traditionnelles pour éliminer plus d'azote et de phosphore et la gestion des sédiments à forte teneur en phosphore dans le lac. Plus particulièrement, les répondants ont suggéré des projets pilotes pour mettre en évidence la valeur des écoservices pour éventuellement déployer les projets pilotes concluants à plus grande échelle – par exemple, en déployant le projet de chaîne de traitement à plus grande échelle, peut-être à l'embouchure de la rivière de la Roche.

4.6.1 Éducation, sensibilisation et collaboration à l'échelle du bassin

L'importance de la collaboration à l'échelle du bassin du lac Champlain est l'un des thèmes importants qui se dégagent des entrevues. Plusieurs des répondants ont souligné la valeur de la collaboration entre les États-Unis et le Canada, et ont suggéré que les règlements couronnés de succès – qu'ils proviennent du Vermont, de l'État de New York ou du Québec – soient mis en œuvre dans d'autres pays également. Les répondants ont insisté sur le besoin de communication et de collaboration avec le Québec et ont suggéré de mettre en place un

processus commun de planification et d'informatique pour le bassin, et que l'État de New York et le Québec envisagent d'adopter le système *Municipal Roads General Permit du Vermont*.

La plupart des répondants ont souligné qu'ils reconnaissent l'importance de la collecte de données et de la recherche. Plusieurs ont cité le *Lake Champlain Monitoring Program* comme exemple de programme qui a réussi à améliorer la qualité de l'eau et à réduire les efflorescences de cyanobactéries. Ce programme administré par deux États, mis en œuvre en 1990, fournit des données à long terme sur de nombreux paramètres de la qualité de l'eau du lac Champlain, y compris le phosphore total et dissous. Il a fourni une base scientifique pour plusieurs mesures réglementaires et politiques dans le bassin. Les répondants ont souligné qu'en plus du caractère probant des données recueillies par le programme de surveillance à long terme, le programme citoyen de surveillance des cyanobactéries coordonné par le VTDEC et le comité du lac Champlain a donné aux intervenants l'occasion d'en apprendre davantage sur la qualité de l'eau et de participer à la recherche sur le lac.

Un grand nombre de répondants se sont exprimés en faveur de l'éducation et de la sensibilisation. Les activités qui encouragent la mobilisation des intervenants et la participation du public ont été particulièrement bien accueillies, notamment le programme de formation des enseignants du LCBP (Champlain Basin Education Initiative) et le programme *Boat Launch Steward* (bien que ces étudiants se consacrent principalement à la prévention des espèces envahissantes, ils interagissent avec de nombreux utilisateurs de rampes de mise à l'eau achalandées sur le lac, et discutent souvent de la question du phosphore et des cyanobactéries avec les intervenants concernés). Plusieurs répondants ont mentionné l'importance et la difficulté d'atteindre de nouveaux publics; la télévision, la radio et les nouveaux médias sociaux comme Facebook et Twitter ont été mentionnés comme des avenues possibles à cette fin. D'abondantes discussions ont également porté sur le besoin de réfléchir en fonction des générations à venir – en mobilisant des intervenants plus jeunes dans la gestion du lac.

Un dernier point de vue commun qui se dégage des entrevues était l'importance de la responsabilité personnelle et de la réflexion sur les perspectives à long terme. L'état du lac Champlain et, plus précisément, de la baie Missisquoi, est le résultat de centaines d'années d'utilisation humaine des terres, et plusieurs répondants ont fait remarquer que le délai de 20 ans de la TMDL ne sera probablement pas suffisant pour mener à bien les travaux d'assainissement. Les intervenants du bassin doivent mieux comprendre l'échelle de temps qu'exigent des changements majeurs de la qualité de l'eau.

Dans l'ensemble, la plupart des répondants ont fait remarquer que même si la gestion du phosphore et des cyanobactéries constitue un défi de taille, il faut accorder une attention particulière aux initiatives visant à renseigner sur leurs répercussions et les responsabilités personnelles en cette matière. Dans un réseau aussi complexe, diversifié et couvrant de multiples territoires de compétences que celui du lac Champlain, les progrès sont réalisés dans plusieurs secteurs à la fois. Il se dégage clairement de ces discussions qu'il est important de prioriser les sources de phosphore à fort impact, de continuer à compiler des données de

grande qualité pour éclairer les politiques, de sensibiliser les intervenants et de leur fournir de l'information et du soutien.

5 Recommandations pour la réduction des apports de nutriments et des efflorescences de cyanobactéries dans la baie Missisquoi

La baie Missisquoi est depuis longtemps dégradée par des apports excessifs de phosphore provenant du bassin versant de la baie. En effet, elle présente dans ses eaux l'une des concentrations de phosphore les plus élevées de tous les secteurs du lac Champlain (Lake Champlain Basin Program, 2018). Bien que l'aire de drainage à la baie Missisquoi ne représente que 15 % de la superficie totale du bassin versant du lac, elle contribue à environ 23 % de l'apport de phosphore total du lac. Les effets de cet apport de phosphore disproportionné provenant du bassin versant de la baie sont aggravés par sa faible profondeur et sa connectivité limitée avec les autres secteurs du lac. Les concentrations excessives de phosphore qui en résultent menacent l'écosystème de la baie Missisquoi, l'alimentation publique en eau potable et les usages récréatifs.

Malgré les progrès réalisés par les gouvernements du Québec et de l'État du Vermont (les Parties) dans le bassin versant de la baie Missisquoi par la mise en œuvre de mesures d'assainissement dans les secteurs urbain et agricole, la cible de concentration de phosphore de 0,025 mg/L n'avait pas été atteinte au 30 décembre 2016, date à laquelle l'accord entre les Parties concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi a expiré.

Comme il est mentionné dans de nombreuses sections du présent rapport, les changements climatiques constituent un facteur de stress permanent important pour la qualité des eaux de la baie Missisquoi. Bien que les recommandations présentées ci-dessous portent précisément sur la qualité de l'eau, une recommandation prépondérante veut que les gouvernements du Canada et des États-Unis, ainsi que ceux du Québec et du Vermont, mettent en œuvre des mesures de contrôle rigoureuses des émissions de carbone. Si rien n'est fait, le réchauffement continuera et les répercussions hydrologiques connexes compromettront de plus en plus l'atteinte de nos objectifs en matière de qualité de l'eau.

Les recommandations de gestion ci-dessous s'adressent aux gouvernements fédéraux du Canada et des États-Unis, et à leurs partenaires, dans le but de réduire les apports de nutriments dans la baie Missisquoi et réduire la fréquence et la gravité des efflorescences de cyanobactéries dans ce secteur de lac.

Ces recommandations sont basées sur les rapports du Groupe consultatif scientifique du lac Champlain (GCSC) de la CMI sur la situation au Québec et aux États-Unis, sur les renseignements fournis par d'autres experts, sur les politiques dans la région et sur les points de vue des participants à un atelier technique qui s'est tenu en mai 2019.

Les recommandations suivantes reconnaissent plusieurs facteurs sous-jacents essentiels à la compréhension de la problématique des apports de nutriments et des efflorescences d'algues nuisibles dans la baie Missisquoi, notamment les effets des changements climatiques :

- L'historique de l'utilisation du territoire du bassin versant a une incidence sur la distribution, l'état, la connectivité et le potentiel de rétention des nutriments des forêts et des milieux humides.
- Le rapport bassin-eau du bassin versant de la baie Missisquoi est d'environ 40 pour 1, ce qui est relativement élevé comparativement à 18 pour 1 dans le cas du lac Champlain et à moins de 3,5 pour 1 dans le cas des bassins versants des Grands Lacs.
- Les changements climatiques, ainsi que l'augmentation potentielle de la température et les effets d'événements extrêmes connexes, pourraient entraîner une augmentation de l'apport de nutriments et de la fréquence des proliférations de cyanobactéries.
- Il a été établi que les nutriments provenant de sources agricoles dans le bassin versant de la baie Missisquoi sont la principale cause de la dégradation de l'eau de la baie (Smeltzer et Simoneau, 2008; U.S. EPA, 2016 b).

Recommandations prioritaires

1. Mettre sur pied et coordonner un groupe de travail binational sur la réduction du phosphore afin de renforcer la coopération et l'imputabilité des parties afin d'atteindre des objectifs convenus d'un commun accord

Bien que bon nombre des recommandations du présent rapport doivent être prises en compte par les cadres supérieures des administrations, plusieurs d'entre elles devraient l'être dans le cadre du plan d'action qui sera élaboré par le groupe de travail sur la réduction du phosphore de la baie Missisquoi.

Bien que l'Accord entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi ait expiré en décembre 2016, les principes énoncés dans celui-ci devraient continuer d'orienter les Parties.

- a. Convenir de maintenir la concentration cible annuelle moyenne à 0,025 mg/L.
- b. Mettre sur pied un groupe de travail binational permanent sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi en tant que sous-comité du comité directeur du lac Champlain, qui sera chargé d'examiner et d'élaborer des mesures pour atteindre la cible ci-dessus et aider à leur mise en œuvre des mesures. Ce comité travaillera avec des partenaires à l'élaboration d'un plan d'action binational visant à réduire les apports de phosphore dans un échéance convenu. Il devrait inclure les exigences des plans de gestion de la qualité de l'eau applicables, et participer à l'élaboration de la mise à jour de ces plans. Il serait chargé aussi d'appuyer le suivi et la surveillance des progrès au moyen d'indicateurs.
- c. Le groupe de travail binational sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi s'assurera de l'uniformité des procédures de collecte de données transfrontalières, de la qualité de celles-ci et de l'accès multilingue pour le public aux données sur le phosphore, dans le but d'harmoniser les méthodes scientifiques dans le bassin versant

de la baie Missisquoi et de transmettre un message cohérent à la population sur l'état d'avancement des initiatives et les progrès réalisés.

- d. Le groupe de travail binational sur la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi présentera un rapport annuel au comité directeur du lac Champlain, au conseil d'administration de l'OBVBM et à la population sur les progrès réalisés vers l'atteinte de ces objectifs. Le plan d'action comprendra un élément relatif à l'imputabilité voulant que le rapport annuel présente un résumé des objectifs énoncés dans le plan d'action qui ont été atteints.
- e. Les gouvernements de la province de Québec et de l'État du Vermont, ainsi que les gouvernements fédéraux des États-Unis et du Canada, devraient fournir le financement continu nécessaire pour atteindre les objectifs.

2. Élaborer un bilan masse binational sur les importations et les exportations de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi

Il sera essentiel de déterminer la quantité de phosphore importée de sources externes dans le bassin de la baie Missisquoi, de comprendre son déplacement dans l'écosystème et de connaître la quantité de phosphore qui est exportée, que ce soit à partir de la baie et des autres secteurs du lac Champlain ou à partir du bassin versant, en raison de l'activité humaine, si l'on veut réduire la fréquence des efflorescences de cyanobactéries à long terme. Un modèle binational du bilan masse du phosphore qui tient compte des déplacements du phosphore dans l'écosystème du bassin de la baie Missisquoi aidera à éclairer les décisions de gestion et à mesurer les progrès vers l'atteinte des objectifs convenus.

- a. Élaborer un bilan de masse binational de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi et faire progresser les travaux transfrontaliers qui portent sur la réduction des apports de phosphore total, des exportations et sur la rétention à l'échelle du bassin versant en fonction de l'utilisation du territoire.
- b. Élaborer et mettre en œuvre une stratégie pour réduire l'importation de phosphore afin de gérer l'équilibre entre les importations et les exportations de phosphore dans le bassin versant.

3. Réduire l'utilisation de phosphore sur les terres du bassin versant de la baie Missisquoi

Bien qu'une grande partie de l'apport de phosphore dans la baie Missisquoi provienne de sources agricoles, il est important de tenir compte des sources de phosphore générées par toutes les utilisations du territoire dans le bassin de la baie Missisquoi.

Selon la TMDL de 2016 que le Vermont a établie pour la baie Missisquoi, on estime qu'une réduction de 64,3 % de l'apport de phosphore total est nécessaire pour respecter la portion attribuée au secteur de la baie Missisquoi.

Dans de nombreux cas, le rapport azote-phosphore dans les engrais est plus faible que nécessaire pour la plupart des cultures. Par conséquent, pour réduire au maximum l'utilisation de l'azote, le phosphore est utilisé de façon excessive sur les sols agricoles, ce qui les sature en

phosphore. Ce phosphore se déplace ensuite vers la baie Missisquoi par les eaux de ruissellement.

Environ 33 % des sols analysés dans les municipalités du bassin versant de la rivière aux Brochets affichaient des taux de saturation supérieurs au seuil de vulnérabilité de 10 % pour une perte de phosphore (Agrosol, 2002), ce qui illustre le rôle que joue le phosphore résiduel dans les sols.

Pour réduire ces impacts et limiter l'enrichissement des sols, les gestionnaires des ressources et les producteurs agricoles doivent réduire les apports de phosphore à la source.

- a. Réduire les apports de nutriments en tenant compte des besoins réels en phosphore des plantes et adapter les recommandations agronomiques pour mettre l'accent sur la capacité des sols à soutenir le phosphore.
- b. Mettre en œuvre des pratiques de gestion et de conservation des sols qui réduisent le phosphore résiduel dans les sols, en particulier dans les zones sources critiques, et élaborer des protocoles de gestion durable à long terme du phosphore dans les sols.
- c. Au Québec, réviser les abaques de dépôts maximums annuels décrits dans le Règlement sur les exploitations agricoles pour réduire les utilisations maximales autorisées de l'abaque du Règlement sur les exploitations agricoles.
- d. Éliminer le risque inhérent à la réduction des apports de phosphore grâce à un programme de compensation financière pour les pertes de rendement potentielles.
- e. Étudier les processus et les marchés pour le phosphore récupéré et élaborer des solutions novatrices pour transformer le phosphore en marchandises et l'exporter du bassin versant.

4. Augmenter la proportion des systèmes de cultures qui produisent moins au phosphore

L'agriculture est importante pour l'économie régionale, la collectivité et le sentiment d'appartenance des résidents de la région de la baie Missisquoi, au Québec et au Vermont. Les mesures de gestion axées sur les interventions agricoles dans ce bassin devraient reconnaître l'importance de ces facteurs sociaux. Toutefois, l'agriculture est aussi la principale source de phosphore et de sédiments dans la baie Missisquoi, et des efforts importants doivent être déployés pour réduire les apports de polluants provenant de l'activité agricole si l'on veut réduire la fréquence des efflorescences de cyanobactéries nocives à l'avenir.

Au cours des 30 dernières années, le bassin versant de la baie Missisquoi a connu une augmentation importante des cultures annuelles de maïs et de soja, au détriment des prairies et des petites cultures céréalières. Comme la protection contre l'érosion assurée par le chaume dans les cultures de soja et de maïs ensilage ainsi que le labour dans les cultures de maïs n'est pas suffisante et compte tenu de l'importance relative de la superficie des cultures de maïs labourées à l'automne, une proportion importante des superficies du bassin versant est laissée dénudée à la fin de l'automne et devient vulnérable aux eaux de ruissellement et à l'érosion à l'hiver et au printemps. De plus, ces cultures n'offrent pas de fenêtre pour l'épandage estival

d'engrais agricoles et les applications en pré semis ou après la récolte présentent un risque accru de compactage du sol et de ruissellements.

Il est essentiel d'offrir des incitatifs financiers aux producteurs du bassin versant pour qu'ils fassent la transition vers d'autres cultures et mettre en place des méthodes qui contribuent à réduire la quantité de phosphore.

- a. Soutenir les programmes qui favorisent la conversion des exploitations d'élevage de bétail à des cultures fourragères vivaces (prairies), en particulier dans les champs vulnérables à l'érosion.
- b. Encourager la transition du système de culture du maïs et du soja à la culture céréales à paille et à d'autres cultures qui procurent des avantages sur le plan de la qualité du sol et de l'eau, et fournir un soutien financier pour développer de nouveaux marchés pour ces cultures. Cela peut comprendre le développement de marchés du foin et des céréales de grande qualité et le réexamen des répercussions des programmes de subventions comme ceux qui portent sur l'éthanol.
- c. Augmenter la superficie des cultures céréalières printanières et automnales qui amélioreront la santé des sols et réduiront l'érosion.
- d. Introduire des cultures de couverture dans les cultures de maïs ensilage, de soja, des céréales de printemps et d'autres cultures annuelles.
- e. Promouvoir la gestion des résidus de culture au printemps plutôt qu'à l'automne afin de réduire le risque d'érosion du sol, en effectuant par exemple le déchaumage et le semis direct au printemps.

5. Accroître la protection et augmenter la superficie des plaines inondables, des milieux humides et forestiers et veiller à ce qu'ils soient reconnectés pour favoriser la rétention des éléments nutritifs

Les gestionnaires des ressources ont commencé à examiner des solutions « vertes » ou naturelles pour réduire les apports de polluants dans le lac Champlain. Les solutions naturelles peuvent offrir des options moins coûteuses pour atténuer la charge polluante et offrir de nombreux avantages connexes, comme le refroidissement thermique, l'atténuation des inondations et l'amélioration de l'habitat pour les espèces aquatiques et riveraines, qui ne procurent habituellement pas les pratiques traditionnelles de gestion des nutriments.

De nombreuses caractéristiques naturelles qui historiquement ont servi à ces fins ont été supprimées ou modifiées par l'homme à diverses fins, notamment pour la construction de barrages, le redressement et le dragage de rivières et l'élimination de la végétation riveraine et des forêts, et ont considérablement modifié l'hydrologie du bassin versant de la baie Missisquoi. La restauration de ces caractéristiques naturelles, comme les milieux terres humides, les plaines inondables et les forêts, peut réduire les effets érosifs des tempêtes violentes et capter les sédiments, les nutriments et d'autres polluants avant qu'ils n'atteignent la baie Missisquoi.

- a. Poursuivre activement la protection et la restauration des cours d'eau en favorisant et en rétablissant l'équilibre dynamique et la fonction géomorphique.

- b. Élargir les programmes de retrait et de conservation des terres et reconnaître les avantages connexes, comme l'atténuation des inondations, la protection des habitats fauniques et les nouvelles possibilités récréatives.
- c. Promouvoir des techniques inspirées de la nature, comme les milieux humides artificiels, pour compléter les solutions naturelles, comme la reconnexion des plaines inondables et la plantation de zones riveraines tampons.
- d. Offrir des incitations financières et techniques pour la mise en œuvre stratégique de solutions pérennes naturelles ou inspirées par la nature, y compris des incitatifs à certaines pratiques forestières et des paiements fondés sur le progrès.

6. Inciter les intervenants publics à s'engager dans l'atteinte les objectifs relatifs à la salubrité de l'eau et des écosystèmes

Bon nombre des recommandations contenues dans le présent rapport exigent des interventions réglementaires ou du financement de la part d'organismes ou de ministères gouvernementaux pour appuyer la recherche visant à optimiser l'effet des fonds investis dans les ressources afin d'atteindre les objectifs de qualité de l'eau. Les intervenants qui vivent et travaillent dans le bassin versant de la baie Missisquoi et dans la grande région du lac Champlain peuvent se mobiliser pour réaliser des jalons importants du plan de gestion de la baie et du lac. Les programmes de sensibilisation du public peuvent enrichir les discussions sur la protection du lac et les pratiques que les gens peuvent adopter sur leurs propres terres ou dans leur vie quotidienne pour promouvoir et améliorer la santé du lac Champlain. Ces intervenants peuvent aussi tenir leurs élus imputables des objectifs de qualité de l'eau établis pour le lac Champlain.

La communication transfrontalière entre les groupes d'intervenants est essentielle à une compréhension commune des objectifs et des besoins en matière de gestion du lac Champlain. Les programmes qui appuient et accroissent l'éducation locale sur les enjeux et les pratiques de gestion du lac aideront à accroître le soutien à l'amélioration de la qualité de l'eau de la baie Missisquoi et du lac Champlain.

- a. Encourager la participation et l'engagement des intervenants à l'égard des objectifs en matière d'eau potable et de santé des écosystèmes. Cela peut se faire en partie en élargissant les efforts actuels d'éducation et de sensibilisation sur la qualité de l'eau dans le bassin du lac Champlain, en particulier pour joindre les collectivités et les groupes mal desservis, et en encourageant les activités d'apprentissage, de rencontres scientifiques et de participation citoyennes.
- b. Faciliter une plus grande coopération à l'échelle des bassins versants et des opportunités d'échange en matière d'éducation et de mobilisation entre les partenaires potentiels, y compris les États-Unis et le Canada, le Vermont, l'État de New York et le Québec, et entre les municipalités locales, les groupes de bassins versants et les établissements d'enseignement supérieur.
- c. Le groupe de travail binational sur la réduction de l'apport de phosphore de la baie Missisquoi créera des tribunes pour communiquer de l'information aux groupes d'intervenants, y compris un site internet et une présence dans les médias, afin de

recevoir les demandes de renseignements des intervenants et d’y répondre. La communication devrait traiter notamment des délais entre la mise en œuvre des pratiques dans les bassins versants et des effets sur la qualité de l’eau dans les eaux réceptrices.

Recommandations additionnelles par thème

Agriculture

- a. Au Vermont, communiquer des prévisions météorologiques précises et en temps opportun à la communauté agricole afin d’encourager l’utilisation des engrais et de l’épandage de fumier de façon avisée, comme Agro météo au Québec.
- b. Renforcer le cadre réglementaire relatif à l’application, à l’entreposage et à l’exportation du fumier, adapter l’équipement d’épandage du fumier pour encourager l’intégration d’engrais dans le sol.
- c. Accorder la priorité à la mise en œuvre de pratiques de gestion à l’égard des sources critiques afin de réduire la contribution du phosphore biodisponible provenant de ces sources.
- d. Promouvoir l’amélioration de la santé des sols et de la productivité des cultures par la mise en œuvre de bonnes pratiques de gestion en milieu agricole.
- e. Continuer de mettre en œuvre et d’encourager les bonnes pratiques de gestion qui se sont avérées les plus efficaces. L’État du Vermont et la province de Québec devraient envisager un financement soutenu et, dans la mesure du possible, nouveau pour leur mise en œuvre.
- f. Élaborer un processus de paiements progressifs afin de dédommager les agriculteurs qui ont franchi certaines étapes de projets visant à améliorer la qualité de l’eau sur leurs terres.

Réglementation et financement

Bien que d’importantes ressources fédérales, étatiques, provinciales et locales aient été consacrées à l’amélioration de la qualité de l’eau dans la baie Missisquoi, il reste du travail à accomplir. L’harmonisation des objectifs de gestion et des politiques efficaces de part et d’autre de la frontière pourrait permettre aux administrations de collaborer à de nouvelles initiatives de réglementation et aider à combattre la perception voulant que les gouvernements et les intervenants d’autres administrations n’en fassent pas assez pour relever les défis relatifs à la qualité de l’eau de la baie Missisquoi.

Le financement destiné à l’assainissement des eaux est limité. Ainsi, ces ressources limitées devraient être consacrées aux domaines, aux pratiques et aux techniques qui optimiseront la réduction de l’apport de phosphore pour chaque dollar investi. Une évaluation de l’efficacité des ressources humaines et financières des organismes fédéraux, étatiques et locaux pourrait aussi permettre d’optimiser le processus pour atteindre les objectifs relatifs à l’assainissement des eaux.

- a. Viser l'atteinte de normes transfrontalières communes par une réglementation applicable à l'ensemble du bassin versant, en respectant le cadre réglementaire des administrations respectives. Il s'agirait notamment d'élaborer des règlements applicables à des secteurs particuliers en ce qui concerne l'utilisation du territoire, y compris les milieux urbains, forestiers et agricoles, ainsi que des initiatives stratégiques d'application de la loi.
- b. Élargir les programmes d'incitatifs afin d'accroître la mise en œuvre de pratiques exemplaires de gestion en offrant d'autres volets de financement, y compris des paiements progressifs liés au progrès et d'autres incitatifs fiscaux qui s'appliquent à une multitude d'utilisations des superficies dans l'ensemble du bassin, y compris les milieux urbains, forestiers et agricoles.
- c. Utiliser les ressources de gestion limitées de manière à obtenir le meilleur rendement du capital investi dans l'atteinte des objectifs de gestion. L'efficacité des systèmes actuels de distribution des fonds fédéraux, étatiques et autres aux programmes de réduction des nutriments devrait être évaluée, en tenant compte des niveaux de dotation et de l'organisation aux échelles fédérale, étatique et locale.
- d. Investir certaines ressources dans l'étude de projets pilotes potentiellement à risque élevé qui pourraient produire des réductions élevées de l'apport de phosphore par dollar investi.

Recherche

Il est essentiel d'appuyer la recherche pour éclairer notre compréhension des processus écologiques du réseau de la baie Missisquoi pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau fixés pour la baie Missisquoi et le lac Champlain. Une meilleure connaissance des gains d'efficacité que procurent les pratiques exemplaires de gestion, les nouvelles pratiques de gestion ou relativement non éprouvées et la recherche éclairant notre compréhension des systèmes et des processus écologiques sont autant de pistes essentielles pour optimiser l'utilisation des ressources de gestion futures afin d'atteindre les objectifs de qualité de l'eau.

- a. Augmenter le financement de la recherche sur la réduction des nutriments applicable à la gestion du bassin du lac Champlain et axer ce financement de la recherche sur les zones de sources critiques et les secteurs qui contribuent le plus aux apports de phosphore.
- b. Continuer d'appuyer la recherche qui améliore la compréhension des différentes formes de biodisponibilité du phosphore dans la baie Missisquoi et renforce la compréhension de la dynamique de l'azote et du phosphore dans ses eaux.

Zones urbaines

Bien que l'utilisation des terres à des fins agricoles soit la principale source de phosphore dans la baie Missisquoi et le lac Champlain, d'autres activités humaines contribuent aussi aux apports de phosphore. Le soutien à la gestion des nutriments provenant de ces secteurs d'utilisation du territoire est essentiel à la réalisation des objectifs de qualité de l'eau dans la baie Missisquoi.

Par unité de surface, les milieux urbains génèrent des apports de phosphore équivalents aux terres agricoles. Les surfaces imperméables, comme les stationnements et les toits, évacuent rapidement les eaux pluviales pendant les pluies, et favorisent ainsi le rejet de phosphore et d'autres polluants dans les affluents et la baie Missisquoi. Des infrastructures vertes de drainage des eaux pluviales ont été utilisées avec succès pour ralentir le débit des eaux pluviales pour qu'elles puissent pénétrer dans le sol, ce qui réduit l'apport de phosphore et d'autres polluants dans les cours d'eau.

Des progrès importants ont été réalisés dans la gestion des eaux usées, mais il reste encore beaucoup à accomplir. Depuis les années 1980, le gouvernement du Québec utilise une approche fondée sur les objectifs environnementaux de rejet (OER), qui sont établis en fonction des critères de qualité des eaux de surface, des caractéristiques de l'environnement récepteur et des utilisations environnementales. Le MELCC a élaboré des normes plus strictes pour les rejets de phosphore provenant des installations de traitement des eaux usées, y compris de nouvelles exigences précisées dans les certifications d'assainissement, qui réduisent la concentration maximale autorisée à 0,3 mg/L depuis le 1^{er} janvier 2017.

Au Vermont, des allocations de charge de phosphore plus strictes pour les installations de traitement des eaux usées ont été établies dans le cadre de la mise à jour de la TMDL de 2016 pour le lac Champlain.

- a. Intégrer la recherche sur la gestion des eaux pluviales et les options d'application novatrices des méthodes de gestion aux efforts de planification aux échelles municipale et régionale visant à réduire l'apport en eau dans les réseaux d'assainissement mixtes et à appuyer la mise en œuvre de pratiques écologiques de gestion des eaux pluviales afin de réduire les débits des eaux de surface. Les possibilités d'aménagement qui protègent ou restaurent la qualité de l'eau devraient être encouragées par des outils réglementaires.
- b. Mettre à jour les règlements régissant les infrastructures publiques ou provinciales, municipales et privées (y compris les fosses septiques individuelles et commerciales) et les appliquer pour assurer leurs conformités.
- c. Trouver des sources de financement pour appuyer les évaluations des grandes infrastructures et les mises à niveau des installations de contrôle de la pollution de l'eau afin d'assurer le respect continu des exigences relatives aux rejets de phosphore.

Sédiments résiduels phosphorés dans la baie Missisquoi

Une partie importante des apports annuels de sédiments et de phosphore s'accumule au fond de la baie Missisquoi, ce qui crée une charge latente de phosphore et d'autres contaminants. Ce problème est exacerbé par le fait que les sédiments s'accumulent plus rapidement qu'ils ne sont libérés par les eaux dans le débit sortant. En effet, 42 % des apports de phosphore finissent par être déplacés jusque dans la colonne d'eau, tandis que 58 % s'accumulent dans les sédiments (HydroQual Inc., 1999).

La réduction de la fréquence et de la gravité des proliférations de cyanobactéries dans la baie Missisquoi ne peut être réalisée sans d'abord réduire la quantité de phosphore provenant du

bassin versant (apport externe). Éventuellement, il faudra quand même régler le problème de la quantité de phosphore provenant des sédiments (apport interne) relargué jusque dans la colonne d'eau.

- a. Utiliser des modèles de circulation du phosphore à l'intérieur des eaux pour faciliter l'étude des techniques de gestion permettant l'élimination ou de l'inactivation du phosphore dans les sédiments de la baie Missisquoi, en tenant compte de l'hydrodynamique connue de la baie et de la circulation de l'eau à travers le pont-jetée Alburgh-Swanton.

6 Références

- ACBVLB, 2019. Premiers résultats de la qualité de l'eau au lac Bromont, 8 juillet 2019. Communiqué. Jean-Baptiste Wart, président de l'Action conservation du bassin versant du lac Bromont.
- Act 76: An Act relating to the provision of water quality services. 2019.
- Act 250: Land Use and Development Law. 1970.
- Agrosol, 2002. Édition spéciale : baie Missisquoi, Revue de l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement. Décembre 2002, vol 13 no 2. 148 p.
- Blais, S., 2002. La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi en 2001, Sylvie. Blais, Revue Agrosol, IRDA. Décembre 2002, vol. 13, no 2, pp. 103 à 110.
- _____, S., 2014. État de situation sur les cyanobactéries à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 en lien avec les seuils provisoires pour les eaux récréatives, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-71485-9 (PDF), 44 p. + 13 ann.
- Bolotova, Y. V. 2016. « An Analysis of Milk Pricing in the United States Dairy Industry. » *Agribusiness* 33 (2): 194–208.
- Boluwade, CA. and C. Madramootoo, 2015. Determining the influence of land use change and soil heterogeneities on discharge, sediment and phosphorus. *Journal of Environmental Informatics* 25-2:126-135.
- Boudreau, 2017. Les projets pilotes de restauration de lacs : un bilan. MDDELCC. Boyer, G., M. Watzin, A. Shambaugh, M. Satchwell, B. Rosen, T. Mihuc, 2004. The occurrence of cyanobacterial toxins in Lake Champlain. in *Lake Champlain: Partnership and Research in the New Millenium*, pp 241-257.
- Bowling, L., S. Blais, M. Sinotte, 2015. Hétérogénéité spatiale et temporelle de la distribution des cyanobactéries à la baie Missisquoi du lac Champlain : analyse d'une série de neuf ans de données. *Journal of Great Lakes Research* 41: 164-179.
- CAAAQ, 2008. Agriculture et agroalimentaire : assurer et bâtir l'avenir Propositions pour une agriculture durable et en santé Rapport de la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois. Jean Pronovost, président Mario Dumais, commissaire Pascale Tremblay, agr., commissaire Suzanne Dion, secrétaire générale Yvon Boudreau, collaboration spéciale et rédaction. Remis à Québec, le 31 janvier 2008 Monsieur Laurent Lessard Ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- CBVBM, 2004a. Profils historiques du bassin versant de la baie Missisquoi. Portrait du bassin versant de la baie Missisquoi. Corporation bassin versant Baie Missisquoi. 100 p. + cartes et tableaux.
- CEHQ, 2013. Suivi hydrologique de différentes stations hydrométriques. En ligne : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/default.asp>. Consulté en 2013.
- CEHQ, 2015. Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Québec, 2015, 81 p.
- CICBM, 2003. Comité interministériel de concertation sur la baie Missisquoi – Région Montérégie. Plan d'action 2003-2009 sur la réduction du phosphore. Baie Missisquoi, octobre 2003.

- Chapman, M., and J. Duggan. 2015. "The Transition Towards the 2016 Lake Champlain TMDL: A Survey of Select Water Quality Litigation from Vermont 2003-2015." *Vermont Journal of Environmental Law* 17 (1): 629–650.
- Charles Eichacker. 2016. "Monmouth Selectmen Support Treatment of Cochnewagon Lake to Control Algae Blooms." *Centralmaine.Com*, 2016. <https://www.centralmaine.com/2016/05/29/monmouth-selectmen-support-treatment-of-cochnewagon-lake-to-control-algae-blooms/>.
- City of Rockland, ME. 2002. "City of Rockland, 2002 Comprehensive Plan, Chapter 3." <http://www.rocklandme.govoffice3.com/vertical/sites/%7BDE9EDD66-EFF4-4A6B-8A58-AA91254C1584%7D/uploads/Ch. 3 - Natural Resources.pdf>.
- Class A Special (A-S) Fresh Surface Waters. 1972. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/nywqs-section1.pdf>.
- Class AA Fresh Surface Waters. 1972. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/nywqs-section1.pdf>.
- Class B Fresh Surface Waters. 1972.
- Class C Fresh Surface Waters. 1972. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/nywqs-section1.pdf>.
- CMI (Commission Mixte Internationale), 2005. *Impacts transfrontaliers du pont-jetée de la baie Missisquoi et du projet de construction d'un nouveau pont sur la baie Missisquoi, Rapport aux Gouvernements des États-Unis et du Canada, Commission mixte internationale Canada et États-Unis.*
- CMI, 2012. *Rapport final à la Commission mixte internationale. Groupe d'étude international sur la baie Missisquoi. Membres du Groupe d'étude : Erik Beck (coprésident) États-Unis, Eric van Bochove (coprésident) Canada, Eric Smeltzer Vermont, Daniel Leblanc, Québec*
- Connor, Jody N., and Michael R. Martin. 1989. "An Assessment of Sediment Phosphorus Inactivation, Kezar Lake, New Hampshire." *Water Resources Bulletin* 25 (4): 845–53.
- Conservation Law Foundation v. Environmental Protection Agency. 2008.
- Cooke, D. 2005. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, Third Edition. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420032109>.
- Covabar. 2015. *Plan directeur de l'eau – Portrait du bassin versant de la Rivière Richelieu et de la zone Saint-Laurent*. Beloeil: Comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu, 278 p.
- CT Institute of Water Resources. 2008. « Connecticut Institute of Water Resources Annual Technical Report FY 2008. »
- Davis, T., D. Berry, G. Boyer, C. Gobler, 2009. The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of microcystis during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae* 8-5: 715-725.
- DEH, 2018. *Limites des bassins versants du Québec*. UDH 15 Février 2018. Données géomatiques.
- Direction de l'expertise hydrique, 2018b. *Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2018, 34 p.
- Dillon, John. 2018. Act 250's "Next 50 Years": Commission Looks At Future Of Vt. *Development Review Law*. Colchester, Vermont. <https://www.vpr.org/post/act-250s-next-50-years-commission-looks-future-vt-development-review-law#stream/0>.
- Deslandes, J., I. Beaudin, A. R. Michaud, F. Bonn and C. A. Madramootoo. 2006. Influence of landscape and cropping system on phosphorus mobility within the Pike River watershed

- of Southwestern Québec. *Revue canadienne des ressources hydriques* 32 (1) : 21-42. Janvier.
- Doering, P., C. Oviatt, B. Nowicki, E. Klos, L. Reed, 1995. Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient. *Marine Ecology Progress Series* 124: 271-287.
- Dodds, W., W. Bouska, J. Eitzmann, T. Pilger, K. Pitts, A., Riley, J. Schloesser, D. Thornbrugh, 2009. Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages. *Environmental Science & Technology* 43-1: 12-19.
- Douglas, James H. 2003. Clean and Clear Water Action Plan. Vermont, USA.
<https://web.archive.org/web/20081120122609/http://governor.vt.cdc.nicusa.com/sites/gov/files/speeches/clean-and-clear-water.html>.
- . 2004. Governor's State of the State Message, Journal of the Joint Assembly of the State of Vermont Adjourned Session. Montpelier, Vermont, USA.
<http://www.leg.state.vt.us/docs/legdoc.cfm?URL=/docs/2004/journal/ja040106.htm>.
- Duy, T. N., Lam, P.K.S., Shaw, G.R. et Connell, D. W., 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water, *Rev Environ Contam Toxicology*, 163: 113-186.
- Enright, P. AND C. A. Madramootoo. 2004. Phosphorus losses in surface runoff and subsurface drainage waters on two agricultural fields in Québec. In *Proceedings of the Eighth International Drainage Symposium*, Sacramento, California, March 21, 2004. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers.
- Entrevues OBVBM, 2019. Entrevues réalisées dans le cadre du mandat de la CMI sur la qualité de l'eau de la baie Missisquoi. OBVBM, Bedford.
- EPA. 1980. « Lake Restoration in Cobbossee Watershed. » Capsule Report EPA-625/2-80-027.
- . 2001. "Section 319 Success Stories Volume III: Successful Implementation of the Clean Water Acts Section 319 Nonpoint Source Pollution Program."
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=20004UJH.txt>.
- EXXEP, 2004. Gestion de la qualité de l'eau à la baie Missisquoi : Regard sur les solutions. Document préparé pour la Corporation bassin versant baie Missisquoi par EXXEP Environnement. 136 pages + 1 annexe.
- Facey, Douglas E., J. Ellen Marsden, Timothy B. Mihuc, and Eric A. Howe. 2012. "Lake Champlain 2010: A Summary of Recent Research and Monitoring Initiatives." *Journal of Great Lakes Research* 38: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2011.12.001>.
- FALLU & ROY, 2015. Restauration de lacs : Où en sommes-nous?
- Fast, Arlo W., Victor A. Dorr, and Robert J. Rosen. 1975. "A Submerged Hypolimnion Aerator." *Water Resources Research* 11 (2): 287–93. <https://doi.org/10.1029/WR011i002p00287>.
- Federal Water Pollution Control Act. 1978. Washington D.C., United States of America.
- Fortin, N., V. Munoz-Ramos, D. Bird, B. Levesque, L. Qhyte, C. Greer, 2015. Toxic cyanobacterial bloom triggers in Missisquoi Bay, Lake Champlain, as determined by next generation sequencing and quantitative PCR. *Life* 5-2: 1346-1380.
- Francy, D., J. Graham, E. Stelzer, C. Ecker, A. Brady, P. Struffolino, K. Loftin, 2015. Water quality, cyanobacteria, and environmental factors and their relations to microcystin concentrations for use in predictive models at Ohio Lake Erie and Inland Lake recreational sites, 2013-14. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report.
- Giles, C., P. Isles, T. Manley, Y. Xu, G. Druschel, A. Schroth, 2016. The mobility of phosphorus, iron, and manganese through the sediment-water continuum of a shallow eutrophic

- freshwater lake under stratified and mixed water-column conditions. *Biogeochemistry* 127: 15-34.
- Giroux, M., Enright, P., Vézina, L., Royer, R. ET Berrouard, A., 2002. Concentrations et charges d'azote et de phosphore perdues dans les drains souterrains selon les cultures et les modes de fertilisation. Québec, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 33 p
- Gobler, C., J. Burkholder, T. Davis, M. Harke, T. Johengen, C. Stow, D. Van de Waal, 2016. The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms. *Harmful Algae* 54: 87-97.
- Governor's Press Office. 2017. "Governor Proposes \$65M Investment to Combat Algal Blooms That Threaten Recreational Use of Lakes as Well as Drinking Water State's Water Quality Rapid Response Team to Convene Regional HABs Forums, Develop Community-Specific Action Plans and Cutting-Edge." Albany, New York. <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-unveils-12th-proposal-2018-state-state-protecting-new-yorks-lakes-harmful-algal>.
- . 2018. « Action Plans for Twelve Priority Waterbodies Identify Contributing Factors and Provide Strategies to Reduce Pollution Sources Lessons Learned from Regional HABs Summits Include Innovative Solutions That Can Be Replicated in Waterbodies Across the State. » Albany, New York. <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-announces-action-plans-combat-harmful-algal-blooms>.
- Gouvernement du Québec, 2018. Communiqué de presse, Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030 – L'eau, source de richesse et de fierté pour tous. Laval, le 27 juin 2018. En ligne : <http://mdelcc.gouv.qc.ca/infuseur/communiqué.asp?no=4023>
- , 2004. Règlement sur les exploitations agricoles. Chapitre Q-2, r. 26. En ligne : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2026>
- , 2002a. Entente entre le gouvernement du Québec et le gouvernement de l'État du Vermont concernant la réduction du phosphore dans la baie Missisquoi.
- Hart, E., N. Gotelli, R. Gorney, M. Watzin, 2013. Population dynamics of harmful algal blooms in Lake Champlain: a tale of two phases. *PeerJ PrePrints*.
- Hébert, S. et D. Blais, 2017. Territoire et qualité de l'eau : développement de modèles prédictifs, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement et Direction de l'expertise en biodiversité, ISBN 978-2-550-77770-0 (PDF), 30 p.
- Hébert, C., 2018. La Ville de Bedford investit 1,8 M\$ dans ses infrastructures. *L'Avenir et des Rivières*, le 25 janvier 2018. En ligne : <https://www.laveniretdesrivieres.com/ville-de-bedford-investit-18-m-infrastructures/>
- Healy, Denis, and Kenneth Kulp. 1995. « Water-Quality Characteristics Of Selected Public Recreational Lakes And Ponds in Connecticut. » 1995. <https://pubs.usgs.gov/wri/1995/4098/report.pdf>.
- Hegman, W., D. Wang, C. Borer, 1999. Estimation of Lake Champlain Basin-Wide Phosphorus Export. *Lake Champlain Basin Program Technical Report* 31.
- Hyenstrand, P., P. Blomqvist et A. Petterson (1998) Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems - a literature review. *Archiv für Hydrobiologie Special Issues of Advanced Limnology* 51: 41-62.
- Huser, Brian J., Sara Egemose, Harvey Harper, Michael Hupfer, Henning Jensen, Keith M. Pilgrim, Kasper Reitzel, Emil Rydin, and Martyn Futter. 2016. "Longevity and Effectiveness of Aluminum Addition to Reduce Sediment Phosphorus Release and Restore Lake Water

- Quality.” Water Research, Special Issue on Geo-engineering to Manage Eutrophication in Lakes, 97 (June): 122–32. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.051>.
- ISQ, 2018. Institut de la statistique du Québec, Estimations de la population et Statistique Canada, Estimations de la population. Adapté par l’Institut de la statistique du Québec. 13-02-2018.
- Isles, Peter D F. 2016. “A Multiscale Analysis of the Factors Controlling Nutrient Dynamics and Cyanobacteria Blooms in Lake Champlain.” University of Vermont.
- Isles, P., C. Giles, T. Gearhart, Y. Xu, G. Drushcel, A. Schroth, 2015. Dynamic internal drivers of a historically severe cyanobacteria bloom in Lake Champlain revealed through comprehensive monitoring. *Journal of Great Lakes Research* 41-3: 818-829.
- Isles, P., D. Rizzo, Y. Xu, A. Schroth, 2017. Modeling the drivers of interannual variability in cyanobacterial bloom severity using self-organizing maps and high-frequency data. *Inland Waters* 7-3: 333-347.
- Jamieson, A., C.A. Madramootoo et P. Enright, 2003. Phosphorus losses in surface and subsurface runoff from a snowmelt event on an agricultural field in Quebec. *Canadian biosystems engineering*, vol 45, p. 1.1-1.7.
- Koerting, Katrina. 2018. “Waramaug Task Force Turns Lake from Green to Clean.” *NewsTimes*. August 18, 2018. <https://www.newstimes.com/local/article/Waramaug-Task-Force-turns-lake-from-green-to-clean-13164381.php>.
- Koliba, C., A. Zia, A. Schroth, A. Bomblies, J. Van Houten, D. Rizzo, 2016. The Lake Champlain Basin as a complex adaptive system: insights from the Research on Adaptation to Climate Change (RACC) Project. *Vermont Journal of Environmental Law* 17-4: 533-563.
- Kortmann, Robert W. 1994. “Lake Waramaug 1975–1993... What We’ve Learned.” *Lake and Reservoir Management* 9 (1): 65–71. <https://doi.org/10.1080/07438149409354727>.
- Kortmann, Robert W. 2010. “Long-Term Restoration Project Synopsis.” Ecosystem Consulting Service, Inc.
- Lake Champlain Basin Atlas. 2018. <http://atlas.LCBP.org>
- Lake Champlain Basin Program. 2018. “2018 State of the Lake and Indicators Report.” Grand Isle, VT: Lake Champlain Basin Program.
- Lake Champlain Basin Program. 2005. “State of the Lake: Lake Champlain in 2005—A Snapshot for Citizens.” Grand Isle, VT: Lake Champlain Basin Program.
- Lake Champlain Basin Study. 1979. “Shaping the Future of Lake Champlain: The Final Report of the Lake Champlain Basin Study.” Burlington, VT, USA: New England River Basins Commission.
- Lake Waramaug Association. 2018. “Lake Waramaug Association, Inc. 101st Annual Membership Meeting Minutes.” <http://www.waramaugassoc.org/June2018Minutes.pdf>.
- . n.d. “Lake Waramaug Association - Meeting Minutes.” Accessed January 9, 2019. <http://www.waramaugassoc.org/minutes.html#June15>
- Lake Waramaug Task Force. n.d. “About —.” Accessed January 24, 2019. <https://www.lakewaramaug.org/about/>.
- . n.d. “In-Lake Restoration Systems and Other Task Force Facilities.” <https://www.lakewaramaug.org/science/>.
- Langendoen, R., A. Simon, L. Klimetz, N. Bankhead, M. Ursic, 2012. Quantifying sediment loadings from streambank erosion in selected agricultural watersheds draining to Lake Champlain. Lake Champlain Basin Program Technical Report 72.
- Levesque, B. ET COLL., 2014. Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria. *Publié dans Science of the Total Environment* 466-467 (2014) 397-403.

- Levine, S.N., A. LINI, M.L. Ostrofsky, L. Bunting, H. Burgess, P. R. Leavitt, D. Reuter, A. Lami, ET P. Guilizzoni. 2012. The eutrophication of Lake Champlain's northeastern Arm: Insights from paleolimnological analyses. *J. Great Lakes Res.* vol. 38 (suppl. 1), p. 35–48. doi:10.1016/j.jglr.2011.07.007.
- Lewtas, Kimberly, Michael Paterson, Henry David Paterson, and Dimple Roy. 2015. "Manitoba Prairie Lakes: Eutrophication and in-Lake Remediation Treatments Literature Review."
- Limnotech, 2012. Development of a Phosphorus Mass Balance Model for Missisquoi Bay. Lake Champlain Basin Program Technical Report 65.
- MacDonald, J. M., J. Cessna, and R. Mosheim. 2016. "Changing Structure, Financial Risks, and Government Policy for the U.S. Dairy Industry." 205. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Maine DEP. 2001. "Sebasticook Lake Total Maximum (Annual) Load." DEPLW 2000-110. <https://www.maine.gov/dep/water/monitoring/tmdl/2001/tmdlsebrep.pdf>.
- . 2011. "Nonpoint Source Management Program 2010 Annual Report." DEPLW-1205. <https://www.maine.gov/dep/water/grants/319-documents/reports/2010/2010%20Annual%20Report.pdf>.
- Manley, T.O., K.L. Hunkins, J.H. Saylor, G.S. Miller, P.L. Manley, 1999. Aspects of Summertime and Wintertime Hydrodynamics of Lake Champlain. in *Lake Champlain in Transition: From Research MaToward Restoration*. American Geophysical Union, Washington, DC.
- Manley, T.O., Z. Perzan, L. Herdman, T. Chen, 2018. Missisquoi Bay Circulation Dynamics and 3D Hydrodynamic Modeling of the Restricted Arm of Lake Champlain- A Question of Water Quality and Causeways. Poster presented at Lake Champlain Research Conference, Burlington, VT January 2018.
- Manchester, A.C., and D. P. Blayney. 1997. "The Structure of Dairy Markets: Past, Present, and Future." 757. United States Department of Agriculture Economic Research Service.
- Marsden, J. E., R. Langdon, 2012. The history and future of Lake Champlain's fishes and fisheries. *Journal of Great Lakes Research* 38:19-34.
- MAPAQ, 2019a. Programme de crédit de taxes foncières agricoles. En ligne : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/taxes/conditionsd'admissibilite/Pages/conditionsd'admissibilite.aspx>
- _____, 2019b. Programme Prime-Vert. En ligne : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/md/programmesliste/agroenvironnement/Pages/Prime-Vert.aspx>
- _____, 2019c. En ligne : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Transformation/md/programmesliste/developpementindustrietransformation/Pages/ProgrammeServicesConseils.aspx>
- _____, 2018 c. Données du programme Prime-Vert pour le bassin versant de la baie Missisquoi entre 2013 et 2018. G. Poisson et L. Lemieux, MAPAQ, mai 2018
- MDDEP, 2009. Bulletin no 1, Suivi de l'action 1.4 du Plan d'intervention gouvernemental sur les algues bleu-vert 2007-2017 Atelier – Projets pilotes de restauration des lacs. En ligne : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/algues-bv/bulletin/atelier1.pdf>
- MDDELCC, 2017. Guide de référence du Règlement sur les exploitations agricoles. 2017. 185 pages. [En ligne]. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieuagricole/guide-referenc-REA.pdf>
- MELCC, 2019b. Bilan de phosphore. En ligne : http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/phosphore/bilan.htm
- Martin, T. 2015. "The Vermont Clean Water Act: Water Quality Protection, Land Use, and the Legacy of Tropical Storm Irene." *Vermont Journal of Environmental Law* 17 (1): 688–709.

- McCarthy, M, W. Gardner, M. Lehmann, A. Guidon, D. Bird, 2016. Benthic nitrogen regeneration, fixation, and denitrification in a temperate eutrophic lake: effects on the nitrogen budget and cyanobacteria blooms. *Limnology and Oceanography* 61-4: 1-19.
- McNew, K. 1999. "Milking the Sacred Cow: A Case for Eliminating the Federal Dairy Program." *Policy Analysis*, no. 362: 1–16.
- Mendelsohn, D., C. Swanson, T. Isaji, 1997. Hydrodynamic Modeling of Missisquoi Bay in Lake Champlain. Vermont Agency of Natural Resources.
- Meringolo, Dominic. 2016. "Proactive Management of HAB's Using In-Lake Phosphorus Inactivation Technologies." May 27.
- Michaud, A., J. Deslandes ET I. Beaudin, 2006. Modélisation de l'hydrologie et des dynamiques de pollution diffuse dans le bassin-versant de la Rivière aux Brochets à l'aide du modèle SWAT. Rapport final. Aubert Michaud, chercheur, Ph. D., Julie Deslandes, géographe, M. Sc., Isabelle Beaudin, géographe, M. Sc., Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 2006
- Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn et C. A. Madramootoo. 2007. SWAT-predicted influence of different landscape and cropping systems alterations on phosphorus mobility within the Pike River watershed of South-western Quebec. 2007. *Canadian journal of soil science* 87(3) 329-344. Mai.
- Michaud, A.R., Lauzier, R., et M. R. Laverdière. 2004. Temporal and spatial variability in non-point source phosphorus in relation to agricultural production and terrestrial indicators. In: T. O. Manley, P. L. Manley and T. B. Mihuc ed., *Lake Champlain: partnerships and research in the new millennium*. Kluwer academic/plenum pub. New York NY. Pp. 97-121
- Mimeault Martin et Marc Simoneau, 2010. Suivi environnemental des eaux du bassin versant de la baie Missisquoi, Séance d'information de la Commission mixte internationale à Saint-Armand, Québec le 13 octobre 2010. Non publié
- MRC Brome-Missisquoi (Municipalité régionale de comté de Brome-Missisquoi), 2013. Schéma d'aménagement révisé deuxième remplacement, amendé par le projet de règlement 06-1013 (Projet de règlement). [En ligne : http://www.mrcbm.qc.ca/fr/docu_reglement.php]
- Moore, J. 2016. Tile Drainage and Phosphorus Losses from Agricultural Land. Lake Champlain Basin Program Technical Report Number 83.
- Morgan, T. J., E. Moye, Eric Smeltzer, and V. Garrison. 1984. "Lake Morey Diagnostic-Feasibility Study. Final Report." Vermont Department of Water Resources and Environmental Engineering. https://anrweb.vt.gov/PubDocs/DEC/WSMD/Lakes/Docs/lp_moreyfinalreport.pdf.
- Morrisey, L. and D. Rizzo, 2010. Quantifying sediment loading due to stream bank erosion in impaired and attainment watersheds in Chittenden County, VT using advanced GIS and remote sensing technologies.
- NALMS, 1990. "Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, Second Ed..Pdf."
- Nabout, J.C., B. da Silva Rocha, F.M. Carneiro, C.L. Sant'Anna, 2013. How many species of cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and Conservation* 22-12: 2907-2918.
- Narrative Water Quality Standards. 1972. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/nywqs-section1.pdf>.
- New York Department of Environmental Conservation. 2018. Lake Champlain Waterbody Inventory/Priority Waterbodies List. https://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/wichamplchamplain.pdf.

- Nürnberg, Gertrud K. 2007. "Lake Responses to Long-Term Hypolimnetic Withdrawal Treatments." *Lake and Reservoir Management* 23 (4): 388–409.
<https://doi.org/10.1080/07438140709354026>.
- Nürnberg, Gertrud K., Rosemary Hartley, and Edward Davis. 1987. "Hypolimnetic Withdrawal in Two North American Lakes with Anoxic Phosphorus Release from the Sediment." *Water Research* 21 (8): 923–28. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(87\)80009-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(87)80009-X).
- NYSDEC. 2017a. « Irondequoit Bay 2016 Lake Classification and Inventory Survey. »
https://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/lci16rptirondbay.pdf.
- . 2017 b. « Lake Waccabuc 2017 CSLAP Report. »
- NYSFOLA. 2009. *Diet for a Small Lake: The Expanded Guide to New York State Lake and Watershed Management*. 2nd ed. New York State Federation of Lake Associations, Inc.
https://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/dietlakech7.pdf.
- OBVBM, 2015. Plan directeur de l'eau du bassin versant de la baie Missisquoi. OBVBM, Bedford
- Omernik, J. M. (1987), Ecoregions of the Conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 77: 118-125. doi:10.1111/j.1467-8306.1987.tb00149.
- Osswald, J., S. Rellan, A. Gago, V. Vasconcelos, 2007. Toxicology and detection methods of the alkaloid neurotoxin produced by cyanobacteria, anatoxin-a. *Environment International* 33-8:1070-1089.
- Patoine, Michel. 2017. Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012 [en ligne]. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 25 p.
- Paulin, 2017. Rapport d'étape saison 2017, Projet pilote de traitement des cyanobactéries par ultrason, Association du lac Tomcod. En ligne :
<https://www.associationdulactomcod.org/resources/rapport%20d'%C3%A9tape%20cyano%202017.pdf>
- _____, 2018. Rapport d'étape saison 2018, Projet pilote de traitement des cyanobactéries par ultrason, Association du lac Tomcod. En ligne :
<https://www.associationdulactomcod.org/resources/rapport%20d'%C3%A9tape%20cyano%202018.pdf>
- Parsons, B. 2010. « Vermont's Dairy Sector: Is There a Sustainable Future for the 800 Lb. Gorilla? » 4. Burlington, VT, USA: University of Vermont Center for Rural Studies.
- Pearce, A., D. Rizzo, M. Watzin, G. Drushcel, 2013. Unraveling associations between cyanobacteria blooms and in-lake environmental conditions in Missisquoi Bay, Lake Champlain, USA, using a modified self-organizing map. *Environmental Science & Technology* 47-24: 14267-14274.
- Potter, F., R. Sims, T. Alexander, B. Sylvester, R. Godfrey, J. Wood, 2008. *The Missisquoi Areawide Plan*.
- Purcell & Taylor, P.C. 1981. "Final Report on Restoration Efforts Nutting Lake Restoration Program Billerica, Massachusetts."
- Reservoir Environmental Management. 2018. « Model Simulations of Mixing Technologies to Reduce Cyanobacteria in Lake Carmi. »
https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/VDEC_LakeCarmiPhase2FinalReport_2018-08-24_Revised_2018-10-22.pdf.
- Robert, C., 2008. Résultats de cyanobactéries et cyanotoxines à sept stations de production d'eau potable (2004-2006), Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 23 pages et 2 annexes.

- Robert, C., H. Tremblay et C. Deblois, 2004. Cyanobactéries et cyanotoxines au Québec : suivi à six stations de production d'eau potable (2001-2003), Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, envirodoq : ENV/2005/0099, 58 p. et 3 ann.
- Rosen, B., A. Shambaugh, L. Ferber, F. Smith, M. Watzin, C. Eliopoulos, P. Stangel, 2001. Evaluation of potential blue-green algal toxins in Lake Champlain, Summer 2000. Lake Champlain Basin Program Technical Report 39.
- Roy, A. 2016. Résultats du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille, volet 2 : expérimentation d'un marais filtrant pour réduire les apports de phosphore au lac. Groupe AIM inc., Rimouski (Québec) Canada. 50 p. et annexes. ISBN 978-2-9815799-1
- Sansone, Andrew. 2016. « Irondequoit Bay 2015 Monitoring Report. »
 ———. 2018. « Irondequoit Bay Monitoring Summary 2016-17. »
- Scheinert, S., A. Zia, J. He, R. Kujawa, C. Koliba, 2014. Value of water quality and public willingness to pay for water quality policy and project implementation. Research on Adaptation to Climate Change in the Lake Champlain Basin and Vermont's Waterways (RACC). Vermont EPSCoR.
- Schuett, E., 2012. Blue-green algae kills thousands of fish in Missisquoi Bay. Montreal Gazette. August 27, 2012.
- Shambaugh, Angela. 2016. "Cyanobacteria and Human Health Concerns on Lake Champlain." Vermont Journal of Environmental Law 17 (4): 516-32.
- Shambaugh, A., S. Vose, B. O'Brien, L. Fisher, H. Campbell, 2017. Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain Summer 2016.
- Shumlin, P. 2015. Governor's State of the State Message, Journal of the Joint Assembly of the State of Vermont Adjourned Session. Montpelier, Vermont, USA.
- Simoneau, 2017B. Qualité de l'eau des tributaires de la baie Missisquoi : évolution 1979-2015 et portrait récent 2013-2015. Marc Simoneau, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement (DGSEE), Direction de l'information sur les milieux aquatiques (DIMAQ).
- Simoneau, 2018. Qualité de l'eau des tributaires de la baie Missisquoi : évolution temporelle 1999-2015 et portrait récent 2015-2017. Assemblée générale annuelle de l'Organisme de bassin versant de la baie Missisquoi – Saint-Armand, 18 juin 2018. Direction de l'information sur les milieux aquatiques (DIMAQ).
- Sklenar, K., J. Westrick, D. Szlag, 2016. Managing cyanotoxins in drinking water: a technical guidance manual for drinking water professionals. American Water Works Association and Water Research Foundation.
- Smeltzer, E. and M. Simoneau, 2008. Phosphorus loading to Missisquoi Bay from sub-basins in Vermont and Québec, 2002-2005. Missisquoi Bay Phosphorus Reduction Task Force.
- Smeltzer, E. 1999. "Phosphorus Management in Lake Champlain." In Lake Champlain in Transition: From Research Toward Restoration, edited by T.O. Manley and P.L. Manley, 435–451. American Geophysical Union.
- Smeltzer, E., A. Shambaugh, P. Stangel, 2012. Environmental change in Lake Champlain Revealed by Blong-Term Monitoring. Journal of Great Lakes Research 38: 6-18.
- Smeltzer, E., F. Dunlap, and M. Simoneau. 2009. "Lake Champlain Phosphorus Concentrations and Loading Rates, 1990-2008." 57. Grand Isle, VT: Lake Champlain Basin Program.
- Smeltzer, E., and S. Quinn. 1996. "A Phosphorus Budget, Model, and Load Reduction Strategy for Lake Champlain." Lake and Reservoir Management 12 (3): 381–393.
<https://doi.org/10.1080/07438149609354279>.

- Smeltzer, Eric. 1990. "A Successful Alum/Aluminate Treatment of Lake Morey, Vermont." *Lake and Reservoir Management* 6 (1): 9–19. <https://doi.org/10.1080/07438149009354691>.
- Smeltzer, Eric, Richard A. Kirn, and Steven Fiske. 1999. "Long-Term Water Quality and Biological Effects of Alum Treatment of Lake Morey, Vermont." *Lake and Reservoir Management* 15 (3): 173–84. <https://doi.org/10.1080/07438149909354115>.
- Smeltzer, Eric, and Edward B Swain. 1984. "Answering Lake Management Questions with Paleolimnology." In *Lake and Reservoir Management: Practical Applications, Proceedings of the Fourth Annual Conference and International Symposium of the North American Lake Management Society*, October, 268–74.
- Statistique Canada, 2006. Recensement de l'agriculture de 2006. Compilation effectuée par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. [En ligne : http://www.statcan.ca/francais/freepub/95-629-XIF/2007000/tables_menu_f.htm]
- TetraTech, 2015. Lake Champlain Basin SWAT Model Configuration, Calibration and Validation. TetraTech, Inc., Fairfax, VA.
- Therault, R., 2013. Identification des sources de nitrate et des facteurs contrôlant sa distribution dans les sols agricoles et les eaux souterraines des bassins versants Ewing et Walbridge (Montérégie Est), Institut national de recherche scientifique, Québec, 163 pp.
- Thibeault, 2016. Le dragage des Trois-Lacs et autres projets pilotes de restauration des lacs. Karine Thibault, consultante en environnement, 2016. En ligne : http://www.grobec.org/pdf/projets/2016-09-16_Karine_Thibault.pdf
- Thorne, P. and W. Schlesinger, 2017. Science Advisory Board Review of Lake Erie Nutrient Load Reduction Models and Targets.
- Troy, A., D. Wang, D. Capen, J. O'Neil-Dunne, S. MacFaden, 2007. Updating the Lake Champlain Basin Land Use Data to Improve Prediction of Phosphorus Loading. https://www.uvm.edu/giee/pubpdfs/Troy_2007_Lake_Champlain_Basin_Program.pdf
- U.S. Census Bureau 2010. "2010 Census: Vermont Profile."
- U.S. EPA 2016. "Phosphorus TMDLs for Vermont Sectors of Lake Champlain." June 2016.
- Vaux, P. 2015. « Maine Lakes: Geographic & Morphometric Information. » Maine Dept. Environmental Protection, Maine Dept. Inland Fisheries & Wildlife, Maine Office of GIS, Augusta, Maine. http://www.gulfmaine.org/kb/2.0/record.html?recordid=9680&save_record=1&.
- Verhovek, Sam Howe. 1988. "Slow Death Of a Lake Is Stopped." *The New York Times*, September 4, 1988, sec. N.Y./Region. <https://www.nytimes.com/1988/09/04/nyregion/slow-death-of-a-lake-is-stopped.html>.
- Vermont ANR. 2008. "Phosphorus TMDL for Lake Carmi." October 2008. https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/WSMD_mapp_2009_Carmi%20P%20tmdl.pdf.
- . 2009. "Phosphorus Total Maximum Daily Load (TMDL) for Ticklenaked Pond."
- Vermont DEC. 2013. « Missisquoi Bay Basin Water Quality Management Plan. » http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/WSMD_mapp_BasinPlan_MissqBay_2013.pdf.
- Vermont Department of Environmental Conservation. 2009a. "Total Maximum Daily Load to Address Biological Impairment in Rugg Brook (VT05-07), Franklin County, Vermont." Boston, MA: United States Environmental Protection Agency - Region 1.
- . 2009b. "Total Maximum Daily Load to Address Biological Impairment in Stevens Brook (VT05-07), Franklin County, Vermont." Boston, MA: United States Environmental Protection Agency - Region 1.
- . 2019. Clean Water Fund. <https://dec.vermont.gov/watershed/cwi/cwf>.

- Vermont Department of Health, 2018. Drinking Water Guidance.
http://www.healthvermont.gov/sites/default/files/documents/pdf/ENV_DW_Guidance.pdf
- Vermont Department of Health, 2015. Cyanobacteria guidance for Vermont communities.
http://www.healthvermont.gov/sites/default/files/documents/2016/12/ENV_RW_CyanobacteriaGuidance.pdf.
- Vermont Natural Resources Board. 2019. What Are the 10 Criteria?
<https://nrb.vermont.gov/act250-permit/criteria>.
- Vermont State Treasurer's Office. 2007. "State of Vermont General Obligation Bonds."
 Montpelier, Vermont, USA: Vermont State Treasurer's Office.
- . 2015a. \$115 Million in Bonds Successfully Sold by the State of Vermont. Montpelier, Vermont, USA: Vermont State Treasurer's Office.
<https://secure.vermont.gov/portal/government/article.php?news=5676>.
- . 2015b. \$115 Million in Bonds Successfully Sold by the State of Vermont. Montpelier, Vermont, USA: Vermont State Treasurer's Office.
<https://secure.vermont.gov/portal/government/article.php?news=5676>.
- VT DEC Watershed Management Division. n.d. "Lake Morey - Lake Score Card - Current Trends And Status." VT DEC Watershed Management Division - IWIS. Accessed March 5, 2019.
https://anrweb.vt.gov/DEC/IWIS/ReportViewer3.aspx?Report=LakeScoreCard_CurrentTrendsAndStatus&ViewParms=False&LakeID=MOREY.
- Voigt, B., J. Lees, J. Erickson, 2015. An assessment of the economic value of clean water in Lake Champlain. Lake Champlain Basin Program Technical Report 81.
- Water Resources Services, INC. 2018. "Morses Pond Annual Report: 2018."
<https://www.wellesley.ma.gov/DocumentCenter/View/13648/Morses-Pond-2018-Annual-Report-PDF>.
- WATZIN, 2005. Ecosystem Indicators and an Environmental Scorecard. Lake Champlain Basin Program. Technical Report No.46. Prepared by Mary C. Watzin, Robyn L. Smyth, E. Alan Cassell, W. Cully Hession, Robert E. Manning, and Deane Wang Rubenstein School of Environment and Natural Resources, University of Vermont, Burlington, VT.
- Way, Phelp's, and P O Box. 2005. "Comprehensive Plan For The Management of Morses Pond."
- Wetzel, R, 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3rd Edition, Elsevier.
- Winchell, M., D. Meals, S. Folle, J. Moore, D. Braun, C. DeLeo, K. Budreski, 2011. Identification of Critical Source Areas of Phosphorus Within the Vermont Sector of Missisquoi Bay Basin. Lake Champlain Basin Program Technical Report 63B.
- Winchell, M., S. Folle, D. Meals, J. Moore, R. Srinivasan, E. Howe, 2015. Using SWAT for sub-field identification of phosphorus critical source areas in a saturation excess runoff region. Hydrological Sciences Journal 60:5 (844-862).
- Winslow, M., 2016. A natural and human history of Lake Champlain. Vermont Journal of Environmental Law 17-4: 482-500.
- Wironen, M., E. Bennett, J. Erickson, 2018. Phosphorus flows and legacy accumulation in an animal-dominated agricultural region from 1925 to 2012. Global Environmental Change 50: 88-99.
- Wroth, L. Kinvin. 2012. "Six Flags over Champlain: Starting Points for a Comparative Analysis." Journal of Great Lakes Research 38 (SUPPL. 1) : 167 –175.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2011.02.008>.
- Zilliges, Y., J.C. Kehr, S. Meissner, K. Ishida, S. Mikkat, M. Hagemann, A. Kaplan, T. Borner, E. Dittmann, M. Otto, 2011. The cyanobacterial hepatotoxin microcystin binds to proteins and increases the fitness of microcystis under oxidative stress conditions. PLoS ONE 6-3:1-11.

Annexe 1: Questions normalisées pour les entrevues d'experts

Avant de commencer l'entrevue, le projet a été présenté et un aperçu des objectifs de l'entrevue (en complément de la revue de la littérature et des opinions d'experts du bassin versant).

1. Dans votre rôle, à quelle fréquence vous vous préoccupez de la qualité de l'eau et des cyanobactéries?
 - a. Cette préoccupation est-elle saisonnière?
2. Dans quelle mesure interagissez-vous avec les intervenants? Dans quelle mesure se préoccupent-ils de la qualité de l'eau et des cyanobactéries?
3. En ce qui concerne la qualité de l'eau et les cyanobactéries du lac, quels sont certains programmes et projets qui, à votre avis, ont été couronnés de succès? Pourquoi?
4. Quels sont les programmes et les projets qui, à votre avis, ont échoué? Pourquoi?
5. Où voyez-vous des possibilités d'amélioration?
 - a. Si le financement était illimité?
 - b. S'il était majoré dans une mesure réaliste?
 - c. S'il n'y a pas d'augmentation du financement, comment distribueriez-vous les ressources?
6. Désirez-vous ajouter quelque chose en tant qu'intervenant anonyme du lac et du bassin versant?

Désirez-vous suggérer des personnes à contacter?