

Les projets pilotes de restauration de lacs : un bilan



Lise Boudreau, MDDELCC, 2017

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

Québec 

Plan d'intervention sur les algues bleu-vert 2007-2017

Annoncé le 25 septembre 2007

Trente-huit actions, trois enjeux (connaissances, prévention des apports de phosphore et santé publique)

Enjeu 1 : *L'amélioration des connaissances pour mieux agir*

Action 1.4

Mettre en place des projets pilotes (ex. sur trois lacs) afin d'expérimenter diverses mesures de restauration de lacs, le tout dans des conditions diversifiées

(http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/algues-bv/plan_intervention_2007-2017.pdf)

Responsabilité de l'action 1.4 : DGSEE/SAVEX

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Objectifs de l'action 1.4

- Soutenir la recherche de solutions à l'eutrophisation
- Soutenir les efforts des riverains dans la démarche de réhabilitation de leur lac
- Mettre en commun les connaissances et les expertises des divers acteurs de l'eau (riverains, municipalités, MRC, organismes de bassin versant (OBV), chercheurs, consultants, analystes gouvernementaux, etc.)
- Expérimenter des procédures et des techniques de restauration prometteuses pour les lacs du Québec
- Développer un savoir-faire dans tout le processus de la restauration

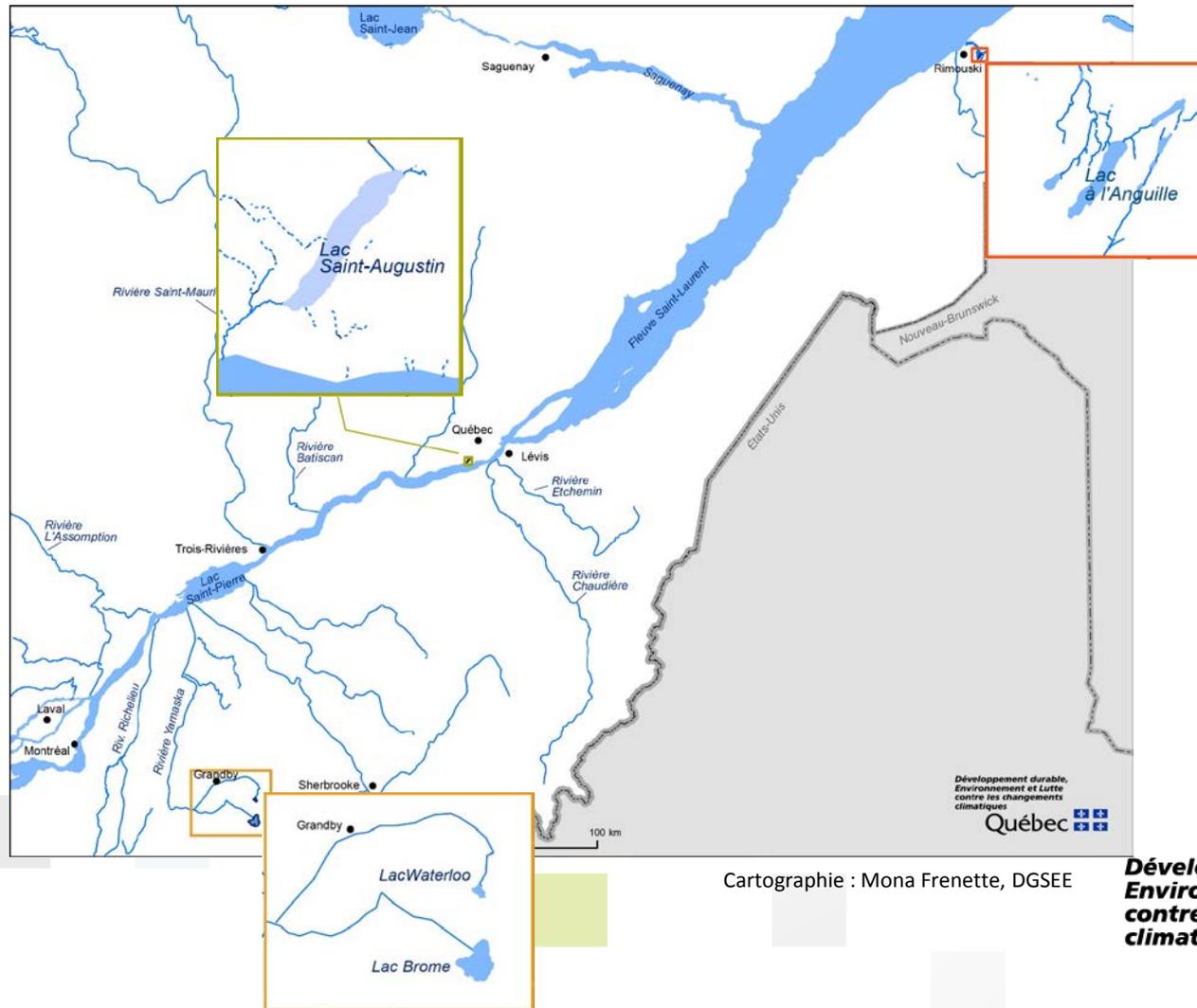
Conditions

- Organismes promoteurs : municipalités ou associations de riverains
- Lacs dans un état d'eutrophisation avancée
 - prolifération récurrente de cyanobactéries
 - présence élevée de macrophytes
- Actions visant à réduire la charge de phosphore
 - charge externe : actions sur les tributaires
 - charge externe : actions dans le lac, la colonne d'eau ou les sédiments
- Actions visant l'amélioration de l'état trophique du lac tout en maintenant son caractère naturel

Mise en œuvre

- Appel de propositions (définissant les conditions d'acceptabilité et les critères d'évaluation des projets) : **6 mai 2008**
- Échéance pour la réception des projets : **6 juin 2008** 15 propositions reçues
- Formation d'un comité d'évaluation : professionnels du gouvernement et chercheurs
- Annonce des projets retenus : **25 août 2008** 4 projets annoncés; Fonds vert : 360 000 \$
- Formation des comités de suivi des projets pilotes
- Démarrage des projets (rencontres des comités régionaux) : **automne 2008**
- 1^{er} atelier (présentation des projets) : **6 avril 2009**
- 2^e atelier (mise en commun) : **14 juin 2013**

Quatre projets pilotes



Cartographie : Mona Frenette, DGSEE

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

Québec

Suivi des projets

Un comité de suivi central

MDDEP (7)	MAPAQ (1)	MRNF (2)	MTQ (1)	MAMROT (1)	MDEIE (1)
--------------	--------------	-------------	------------	---------------	--------------

Un comité de suivi régional pour chaque projet

Lac Brome

Ville Lac-Brome
MDDEP
MAPAQ
MRNF
MTQ
MAMROT
RLB
CGBVRY
MRC Brome-
Missisquoi

Lac Waterloo

Ville Waterloo
MDDEP
MAPAQ
MRNF
MTQ
MAMROT
ABVLW
Canton Shefford
MRC Haute-
Yamaska

Lac Saint-Augustin

Ville Québec
MDDEP
MAPAQ
MRNF
MTQ
MAMROT
CBLSA
Univ. Laval
GRIL

Lac à l'Anguille

APELA
MDDEP
MAPAQ
MRNF
MTQ
MAMROT
CBRR
Mun. Saint-Anaclet
Ville Rimouski
UQAR



Premier atelier, 2009

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

Québec 

Lac Waterloo (Montérégie)

Promoteur : Ville de Waterloo

Consultant : Dessau

Petit lac de 1,4 km²

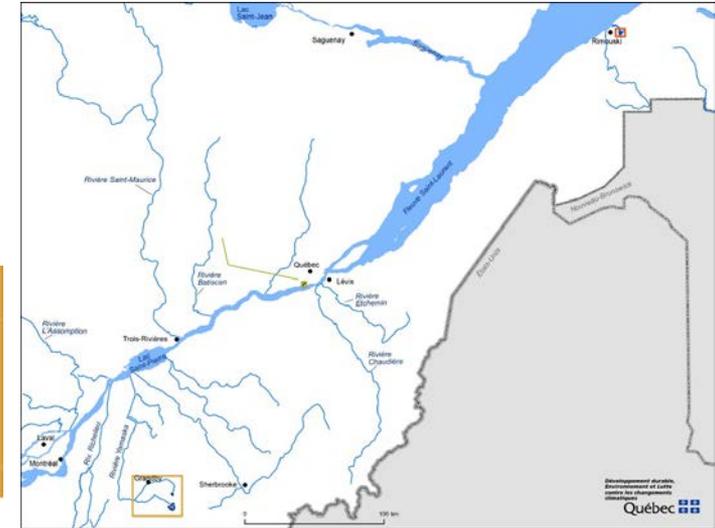
Bassin versant : 30,5 km²

Lac de tête, source de la rivière Yamaska-Nord

Agglomération urbaine de Waterloo au N.-O. du lac

État d'eutrophisation

- Prolifération récurrente de cyanobactéries (souvent tout l'été)
- Perte d'usage
- Diminution de la valeur des résidences riveraines



Cartographie : Mona Frenette, DGSEE

Charge interne

Deux volets expérimentaux pour réduire la charge interne

1. Utilisation de lentilles d'eau (*Lemna minor*) pour capter le phosphore dans la colonne d'eau
2. Enlèvement, par dragage hydraulique, de la couche superficielle de sédiments organiques chargés en phosphore

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

Québec



Lac Waterloo

1. Lentilles d'eau

- Croissance rapide
- Capacité de puiser de grandes quantités de P
- Traitement des eaux usées par lagunage ($[P] \neq$)

Objectifs de l'expérimentation

- Vérifier la capacité des lentilles d'eau à réduire la concentration de P ($[P]$) dans la colonne d'eau
- Évaluer l'applicabilité d'une telle technique à l'échelle d'un lac



Source : DESSAU, 2011

Enclos de 70 m² (5 m de rayon) et de 3 m de haut.
Parois : Vinyle transparent laminé avec maillage de fibres pour augmenter leur résistance.



Source : DESSAU, 2011

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

Québec 

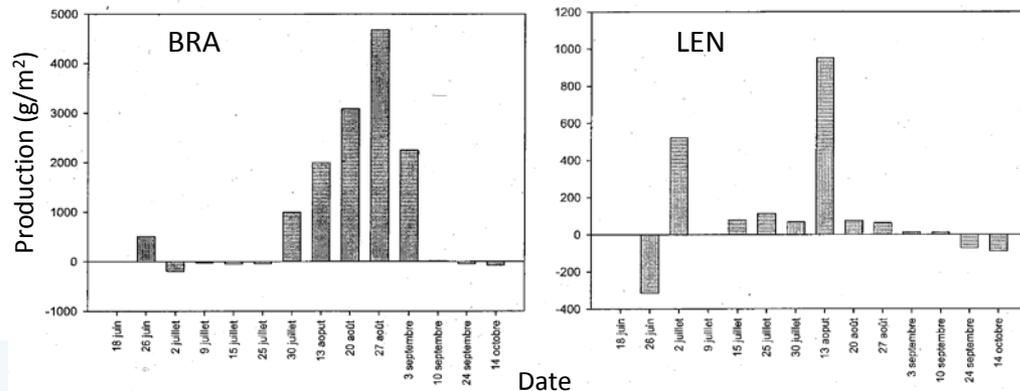
Lac Waterloo - 1. Lentilles d'eau

Dispositif expérimental

Enclos lentilles (LEN)
Enclos lentilles + diffuseur (BRA)
Enclos témoin (TEM)
Station de référence (REF)

Suivi hebdomadaire de la croissance des lentilles

- Biomasse produite (g)
- Densité du tapis (g/m²)
- Superficie couverte (%)



Source : DESSAU, 2011

Observations

- Production négative en début de saison et positive par la suite (de la mi-juillet au 10 sept.), mais densité optimale (400 g/m²) non maintenue
- Aucun retrait de biomasse effectué
- Difficulté de contrôler la répartition des lentilles
- Développement des lentilles d'eau influencé par plusieurs facteurs physiques (vent, vagues, température) et biologiques (oiseaux)

Correctifs : filet anti-oiseaux, estacade, division de la surface en cadrans pour faciliter la répartition des lentilles



Source : DESSAU, 2011

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

Québec



Lac Waterloo - 1. Lentilles d'eau

Suivi de la qualité de l'eau

aux deux semaines (de mai à octobre) :

T°, O₂, pH,

conductivité, POR,

transparence, MES

[Pt], [Pd], [Nt], COT,

métaux

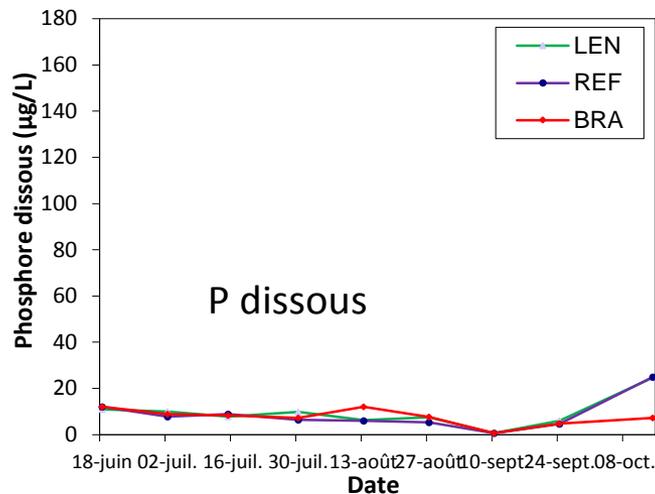
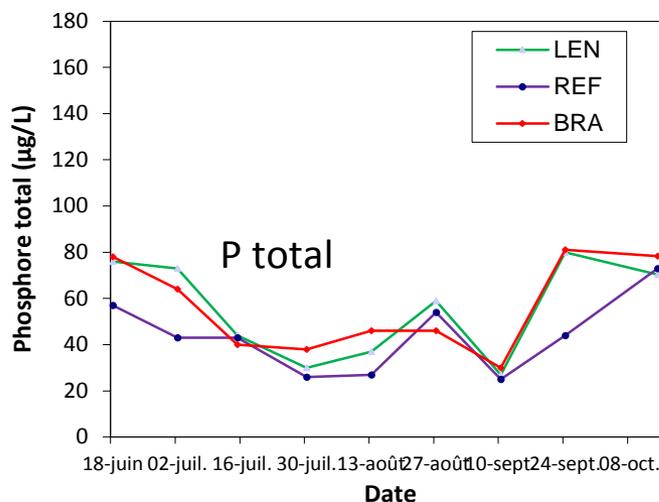
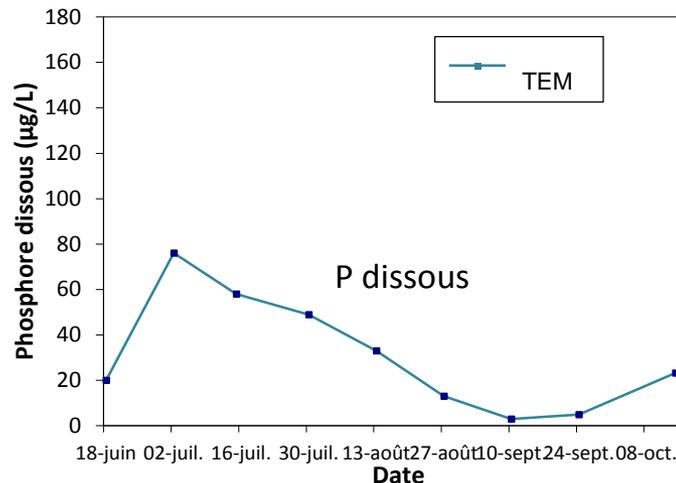
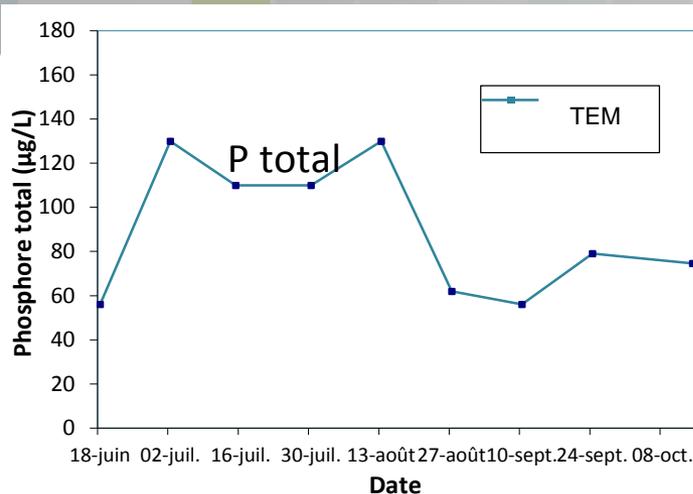
Résultats – Suivi de la [Pt]

Enclos témoin (TEM) :

↑ et ↓

Dans le lac (REF) : ↓

Enclos avec lentilles (LEN et BRA) : ↓



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

Québec



Lac Waterloo

2. Retrait des sédiments de surface

- Pompage hydraulique des sédiments (1 m de profondeur, 225 m²) vers un Géotube® (assèchement)
- Retour de l'eau vers le lac

La surface draguée a été délimitée par un enclos limnologique afin de suivre l'effet de l'enlèvement des sédiments sur la qualité de l'eau.

Objectif

Réduire la charge interne de P provenant des sédiments

Suivi de la qualité de l'eau dans l'enclos (POM) après le retrait des sédiments



Source : Marcel Proulx, Dessau



Source : Marcel Proulx, Dessau

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

Québec 

Lac Waterloo - 2. Retrait des sédiments

Résultats – Suivi de la [Pt] (colonne d'eau)

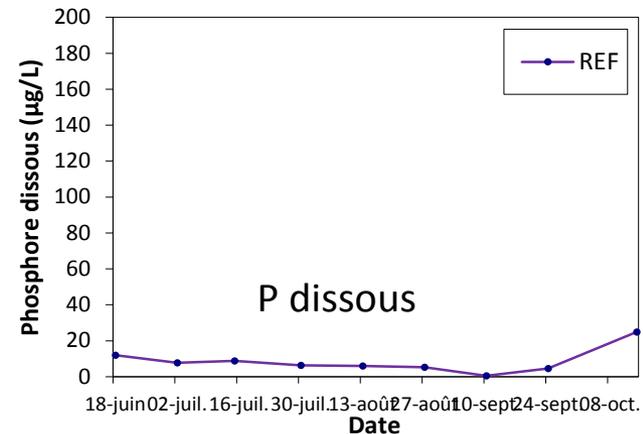
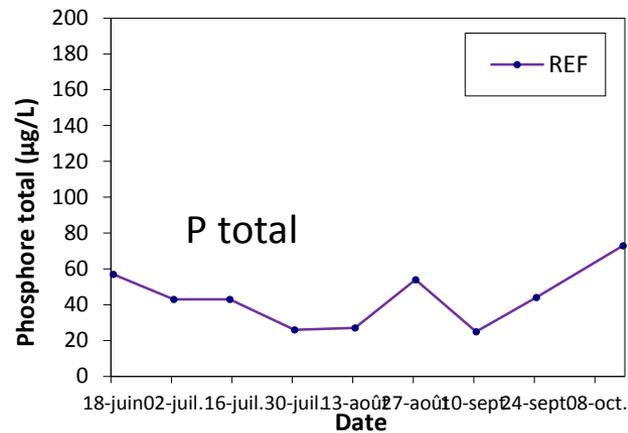
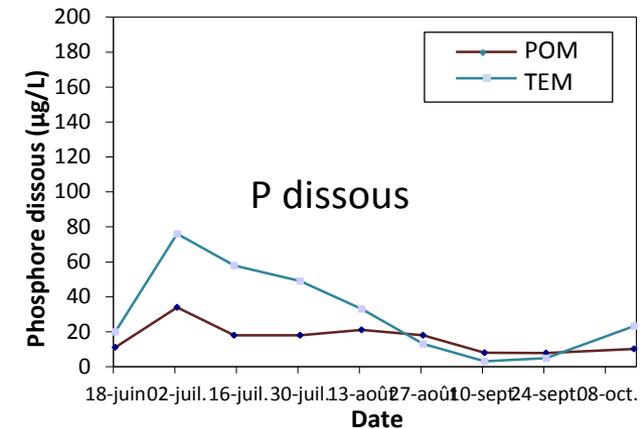
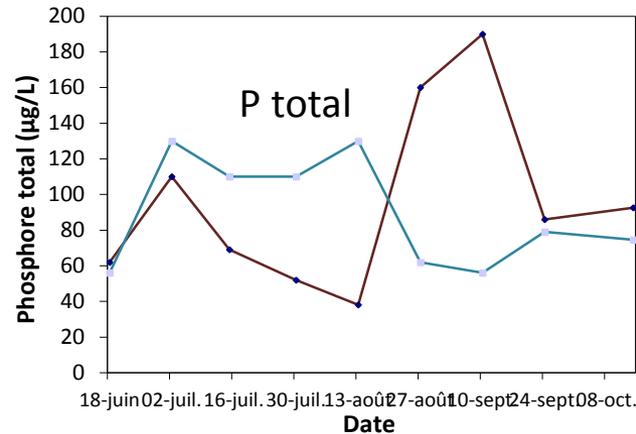
Enclos témoin (TEM) : ↑ et ↓

Dans le lac (REF) : ↓

Enclos du dragage (POM) ↓ et ↑

Observations

- On n'observe pas de tendance nette de l'effet du pompage des sédiments sur la concentration de phosphore dans la colonne d'eau.
- L'eau qui s'écoule du Géotube® est plus chargée en métaux que celle du lac. Appliqué à plus grande échelle, le traitement de l'eau, avant son retour au lac, pourrait être requis.



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

Québec



Lac Waterloo

Limitations

Plusieurs éléments du dispositif expérimental limitent l'interprétation des résultats :

- le faible nombre de données;
- l'absence de répétition (une seule station par traitement);
- la difficulté de distinguer l'effet « enclos » de l'effet « traitement ».

Conclusion et recommandations

- L'utilisation des lentilles d'eau ne constitue pas une technique applicable à l'échelle d'un lac pour réduire les teneurs en phosphore.
- Les résultats du pompage des sédiments ne sont pas concluants, et il est prématuré d'envisager l'application de cette technique à court ou à moyen terme à l'échelle du lac pour en réduire la charge interne.
- Pour mieux orienter les efforts de réduction de la charge interne, il est suggéré de mieux documenter l'ampleur du transfert du phosphore des sédiments vers la colonne d'eau et de tenter de comprendre les mécanismes qui régulent ce phénomène, dans les conditions spécifiques au lac à l'étude.

Lac Saint-Augustin (Capitale-Nationale)

Promoteur : Ville de Québec

Chercheur : Rosa Galvez, Université Laval

Petit lac alimenté principalement par des résurgences souterraines

Taux de renouvellement : 2,5 ans

Longueur	2,1 km	Prof moy.	3,6 km
Largeur	0,3 km	Prof max.	6,1 km

Pressions anthropiques

- Agriculture
 - Développement urbain
 - Épandage de sel de déglacage (salinité)
- Prolifération récurrente de cyanobactéries

Phosphore accumulé dans les sédiments
Phosphore présent dans les eaux
souterraines qui resurgissent dans le lac

Deux volets expérimentaux pour réduire la charge interne

1. Immobilisation du phosphore au fond du lac à l'aide de calcite ou d'alun
2. Enlèvement, par dragage hydraulique ou mécanique, de la couche superficielle de sédiments organiques chargés en phosphore



Cartographie : Mona Frenette, DGSEE

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

Québec



Lac Saint-Augustin

1. Immobilisation du phosphore au fond du lac à l'aide de calcite ou d'alun

Sulfate d'aluminium (alun) : Coagulant, l'aluminium a la capacité de se lier au P.

Formation d'un floc qui se dépose par sédimentation au fond du lac et immobilisation du P dans les sédiments (liens avec Al).

Calcite (carbonate de calcium) : Favorise la précipitation et l'adsorption des métaux et du P.

Dépôt d'une couche de calcite sur les sédiments pour former une barrière physicochimique permettant de piéger le phosphore à l'interface eau/sédiments.

Objectif de l'expérimentation

Déterminer le traitement qui permet d'immobiliser le plus de P

Dispositif expérimental

Enclos alun

Enclos calcite

Enclos alun + calcite

Enclos témoin



Source : Rosa Galvez, Université Laval

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

Québec 

Lac Saint-Augustin - 1. Immobilisation du phosphore

Application de l'alun en deux étapes : mélange rapide et lent



Phase d'agitation rapide de sept minutes (coagulation) et d'agitation lente de deux heures (floculation)

Agitation à l'aide d'une pompe submersible (Flygt Ready 4)

Utilisation d'embouts en forme de T ou de double T avec restrictions

Balayage vertical de la colonne d'eau (entre la surface et la mi-hauteur) lors de l'agitation

Injection d'alun concentré à 640 mg/ml à l'aide d'une pompe doseuse (400 ml/min)

Sédimentation post-traitement

Source : Rosa Galvez, Université Laval

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

Québec 

Lac Saint-Augustin - 1. Immobilisation du phosphore

Recouvrement à la calcite
(Enclos alun + calcite)



Source : Rosa Galvez, Université Laval

Épandage de calcite
(Enclos calcite)



Source : Rosa Galvez, Université Laval

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

Québec 

Lac Saint-Augustin - 1. Immobilisation du phosphore

Suivi de la qualité de l'eau

Observations 30 jours après le début des traitements



Source : Rosa Galvez, Université Laval

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

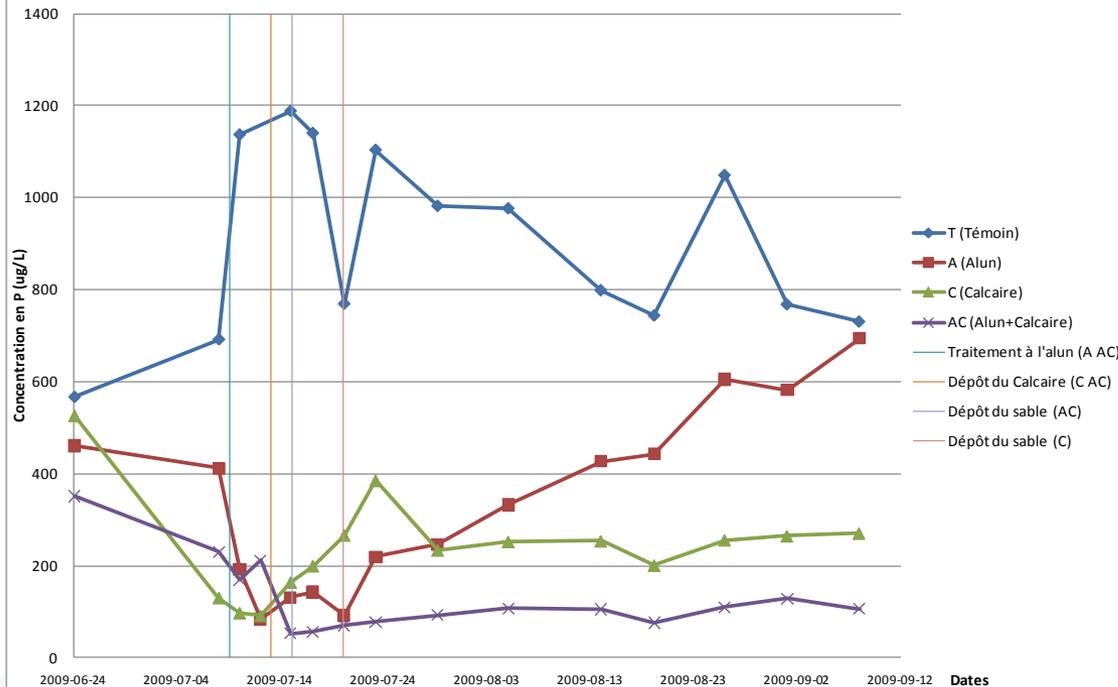
Québec 

Lac Saint-Augustin - 1. Immobilisation du phosphore

Suivi de la qualité de l'eau

[Pt] dans le lac : 60-120 µg/L

Concentration des orthophosphates dans chacun des enclos



Source : Rosa Galvez, Université Laval

Observations

- Effet enclos : La [P] a beaucoup augmenté après l'installation des enclos. Dans l'enclos témoin, elle a atteint près de 1 200 mg/L et elle est demeurée élevée (> 700 mg/L).
- Le traitement alun + calcite a permis la meilleure réduction du P dissous dans la colonne d'eau.
- Le traitement alun a permis de réduire la [P] au début, mais elle a ensuite augmenté.
- Les [Al] résiduelles dans l'eau des enclos ont rapidement diminué après le traitement, pour atteindre des teneurs équivalentes aux teneurs mesurées dans le lac : la totalité de l'aluminium qui a été introduit a floculé et n'est plus biodisponible dans la colonne d'eau.
- On observe une présence importante de gastéropodes au fond du lac et de la mortalité dans les enclos avant même les traitements.

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

Québec



Lac Saint-Augustin

2. Enlèvement, par dragage hydraulique ou mécanique, de la couche superficielle de sédiments organiques chargés en P

Objectifs de l'expérimentation

Vérifier si l'enlèvement des sédiments de surface du lac permet de réduire la charge interne de phosphore
Déterminer la technique de dragage la plus adéquate

Étape préliminaire : Des essais en laboratoire ont montré qu'à court terme, les sédiments récents du lac Saint-Augustin libèrent davantage de phosphore dans l'eau que les sédiments anciens (formés avant 1960).

Dispositif expérimental

Enclos du dragage hydraulique (avec coagulation et assèchement dans un Géotube)

Enclos du dragage mécanique (avec décantation)

Enclos témoin

Station Lac (aucun traitement)



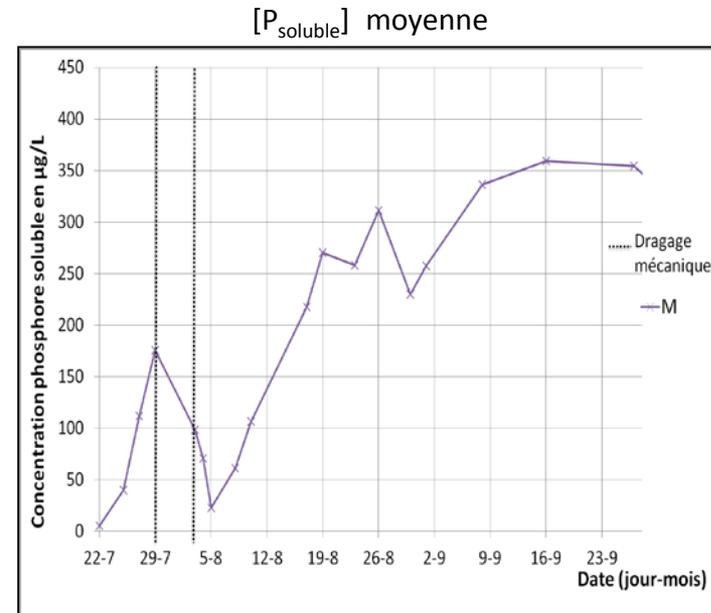
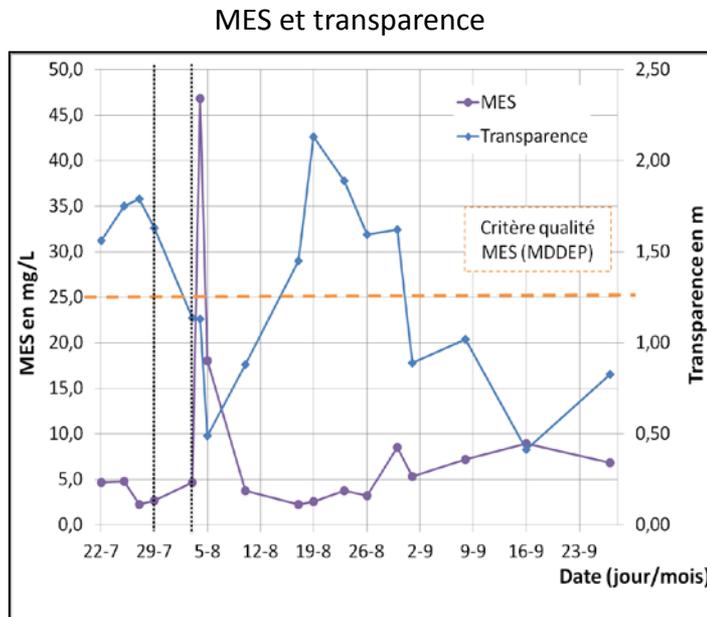
Source : Rosa Galvez, Université Laval

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

Québec 

Lac Saint-Augustin - 2. Enlèvement des sédiments de surface

Suivi du dragage mécanique



Source : Rosa Galvez, Université Laval

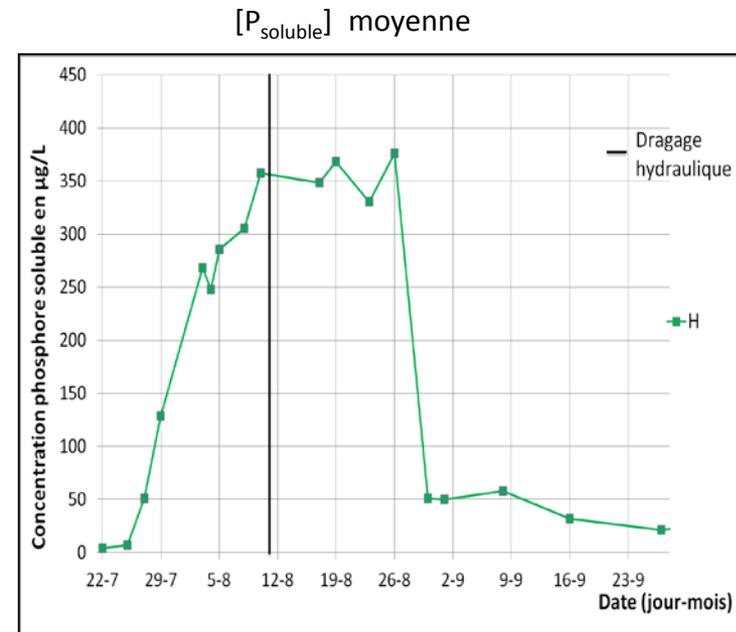
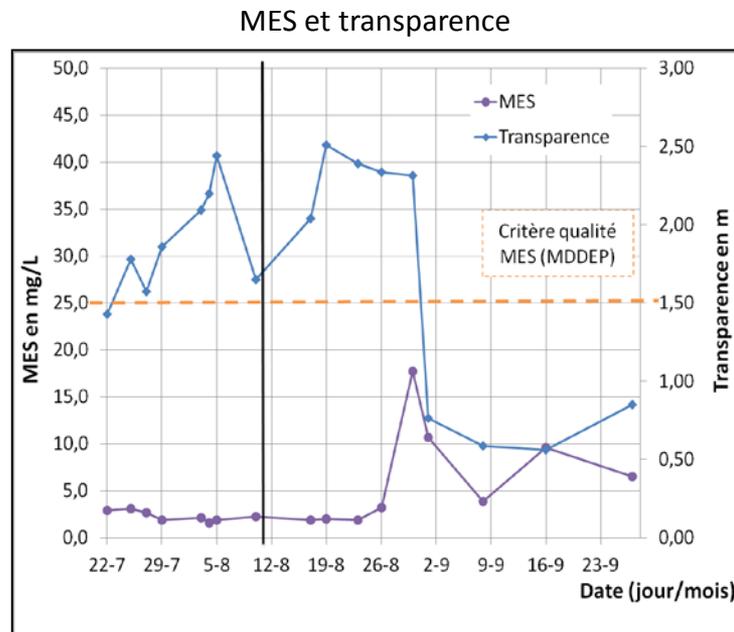
Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec



Lac Saint-Augustin - 2. Enlèvement des sédiments de surface

Suivi du dragage hydraulique



Source : Rosa Galvez, Université Laval

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec



Lac Saint-Augustin - 2. Enlèvement des sédiments de surface

Observations

- Une diminution importante de la concentration de phosphore dissous a été observée dans l'enclos du dragage hydraulique deux semaines après le traitement.
- Dans l'enclos du dragage mécanique, la tendance à la baisse s'est inversée une semaine après le traitement. La concentration de phosphore a alors connu une forte augmentation qui s'est poursuivie toute la durée du suivi.

Lac Saint-Augustin

Conclusion

Selon les auteurs, le recouvrement actif par la calcite seule, bien qu'il ait semblé légèrement moins efficace que le traitement alun + calcite, pourrait être pertinent dans les zones les plus profondes du lac, alors que le dragage hydraulique des sédiments de surface serait recommandé dans les zones les moins profondes.

Lac Saint-Augustin

Recommandations

Avant d'envisager une telle application à l'échelle du lac, il serait souhaitable de réaliser des essais intermédiaires, dans des secteurs isolés du lac, et de faire un suivi sur une plus longue période.

- Les apports de phosphore par la résurgence d'eau souterraine devraient être davantage étudiés et pris en compte dans l'option du dragage des sédiments.
- L'efficacité à plus long terme de l'immobilisation du phosphore par la calcite et la stabilité du recouvrement devraient être vérifiées *in situ*.
- Les conditions de réalisation des prochaines étapes, y compris les besoins en matière de suivi, devront être définies pour l'obtention des autorisations requises.
- Avant d'envisager la restauration à l'échelle du lac, il faudra s'assurer que tous les efforts requis ont été déployés pour réduire au minimum les apports externes de nutriments.

Lac à l'Anguille (Bas-Saint-Laurent)

Promoteur : Association de protection de l'environnement du lac à l'Anguille (APELA)

Consultant : Groupe AIM inc.

Bassin versant de la rivière Germain-Roy

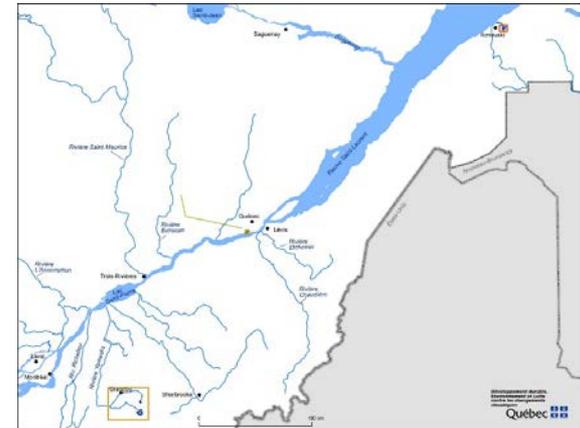
Superficie du lac : 98 ha

Profondeur max : 12 m

Milieu rural, développements résidentiel et agricole, pressions anthropiques

- Rejet des eaux usées des résidences isolées
- Activités agricoles
- Déboisement

Efflorescence récurrente de cyanobactéries depuis les années 1990. Stade méso-eutrophe.



Cartographie : Mona Frenette, DGSEE

Deux volets expérimentaux pour réduire les charges de P

1. Îlot végétal flottant, pour prélever une partie du phosphore présent dans le lac
2. Marais filtrant, pour capter les nutriments et les particules de sol transportés par un tributaire avant qu'ils n'atteignent le lac

Charge interne

Charge externe

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

Québec



Lac à l'Anguille

1. Îlot végétal flottant

Exploite la capacité des plantes et des microorganismes à puiser les nutriments de l'eau

Utilisé pour le traitement des eaux usées dont la [P] est relativement élevée (> 1,0 mg/L)

Faucardage des tiges : retrait du phosphore du lac

Objectifs

Quantifier le prélèvement de phosphore par unité de surface d'île flottante (mg/m²)

Déterminer les espèces végétales les plus performantes et les mieux adaptées à ce type de traitement

Dispositif

Îlot flottant de 20 m²
 Structure en acier et en aluminium
 Substrat en fibre de noix de coco
 400 plantes, huit espèces distinctes
 Installation en 2008



Source Alexandre Roy (Groupe AIM inc.)

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

Québec 

Lac à l'Anguille - 1. Îlot végétal flottant

Suivi (2009, 2010 et 2012)

- Observations : croissance et survie des plantes
- Mesures de biomasse et de teneur en phosphore sur des échantillons de tissus végétaux et de substrat



Taux de retrait du phosphore de la colonne d'eau (pour une saison de croissance) : 1 000 mg P/m² d'île flottante

Cette valeur est basée sur la quantité de phosphore mesurée dans la partie aérienne de la plante considérée comme la plus performante, *Typha latifolia* (quenouille), à la fin de la saison de croissance 2012.

En considérant le taux de retrait (1 000 mg P/m² d'île flottante),
 le volume d'eau du lac (5 183 661 m³),
 la concentration moyenne en phosphore (0,013 mg/L),

les auteurs estiment que, pour réduire de 50 % la concentration de phosphore dans l'eau du lac à l'Anguille, il faudrait 33 500 m² d'îles flottantes, soit 1 650 îlots de 20 m², ce qui correspond à environ 3,5 % de la superficie du lac.

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

Québec 

Lac à l'Anguille - 1. Îlot végétal flottant

Observations

Espèces végétales les plus performantes et les mieux adaptées à ce type de biotraitement :

Typha latifolia, *Iris pseudocarus*, *Spartina pectinata* et *Glyceria canadensis* (taux de rendement calculés, croissance et survie des plantes, acclimatation et déprédation)

Incertitude associée aux taux de retrait du phosphore (mg P/m²/saison) qui ont été calculés pour chaque espèce (limites méthodologiques de l'expérimentation) :

- Les valeurs de biomasse et les teneurs en phosphore pour chaque espèce, par unité de surface, ont été établies à partir d'un faible nombre de spécimens (de trois à cinq par espèce) et en utilisant des valeurs de densité spécifique (n/m²) théoriques qui peuvent différer des densités réelles.
- La quantité de phosphore retirée du plan d'eau par le faucardage des tiges a seulement pu être calculée pour l'année 2012.
- Une partie du phosphore capté par les plantes peut provenir d'autres sources que le plan d'eau, par exemple des fientes d'oiseaux ou des excréments d'autres animaux qui ont pu séjourner sur l'îlot à un moment donné.

Lac à l'Anguille - 1. Îlot végétal flottant

Conclusions - recommandations

- Le projet a permis d'acquérir des connaissances sur l'adaptabilité des îles flottantes aux lac mésotrophes du Québec :
 - résistance des ouvrages aux rigueurs de l'hiver;
 - espèces de plantes les mieux adaptées à ce type de biotraitement dans nos conditions.
- La pertinence d'aménager ce type d'ouvrage sur un plan d'eau donné doit faire l'objet d'une évaluation globale qui tient compte des coûts associés à l'aménagement et à l'entretien de la structure et des plantes, des besoins de surveillance, des ressources du milieu et des éventuels conflits d'usages entre les utilisateurs du plan d'eau.
- Un projet visant l'implantation d'un nombre important d'îlots flottants dans un même plan d'eau ne pourrait être autorisé qu'à titre expérimental et à condition de comporter un programme de suivi rigoureux visant à documenter davantage l'efficacité réelle de ces ouvrages et leurs conditions d'utilisation.
- Ce type d'intervention requiert une demande d'autorisation au MDDELCC et au MFFP (habitat du poisson).

Lac à l'Anguille

2. Marais filtrant

Pour capter les nutriments et les particules de sol transportés par un tributaire avant qu'ils n'atteignent le lac

Dans un tributaire agricole du lac à l'Anguille, 300 mètres en amont du lac. L'aménagement a débuté en 2009 et s'est poursuivi en 2010.

- Superficie de 1 100 m²
- 10 000 plantes, 10 espèces distinctes

Évaluation de l'efficacité épuratrice du marais : quantifier la charge de phosphore (mg/unité de temps) retenue par le marais, en soustrayant la charge sortante de la charge entrante (charge = concentration x débit)

Suivi (2011 et 2012)

Concentrations de phosphore (total et dissous) et débits à l'entrée et à la sortie du marais



Lac à l'Anguille 2. Marais filtrant

Résultats

	2011	2012
$([P]_{\text{sortie}} - [P]_{\text{entrée}})/[P]_{\text{entrée}}$	- 38 %	- 18 %
Charges de P retenues par le marais (% de la charge entrante)	1,92 kg (18 %)*	0,81 kg (9 %)

* Comparable aux taux rapportés dans la littérature pour des conditions similaires.

- La concentration moyenne de phosphore total ($[Pt]$) mesurée à la sortie du marais, en 2011 et en 2012, était respectivement de 38 % et 18 % inférieure à la concentration moyenne mesurée à l'entrée du marais.
- En termes de charges, le marais aurait retenu 1,92 kilogramme (1,75 g/m²/an) et 0,81 kilogramme (0,74 g/m²/an) de phosphore total en 2011 et en 2012, ce qui correspond respectivement à 18 % et à 9 % de la charge entrante annuelle de phosphore total.

Observations

- C'est au printemps (avril-mai) que les charges entrantes sont les plus élevées et que le taux de rétention est le plus faible (2 % en 2011 et 5 % en 2012).
 - Solution : augmenter la capacité hydraulique du marais, de façon à ralentir les débits durant la période de crue et à augmenter le temps de rétention de l'eau dans le marais.
- Le taux de rétention du phosphore dissous était généralement supérieur au taux de rétention du phosphore particulaire.

Lac à l'Anguille 2. Marais filtrant

Incertitudes

Les variables du calcul des charges ont comporté une marge d'incertitude :

- La concentration de phosphore (à l'entrée et à la sortie du marais) a été analysée une seule fois par semaine et considérée comme identique tous les autres jours, alors qu'en réalité, elle a pu varier passablement.
- Seul le débit entrant a pu être calculé en continu : station de jaugeage munie d'un enregistreur de niveau et d'une sonde à ultrasons qui permettait d'enregistrer les niveaux d'eau (m) et de calculer les débits correspondants (m^3/s) aux 30 minutes.
- Le débit sortant a été calculé à partir du débit entrant, en y retranchant une valeur d'évapotranspiration et en y ajoutant une valeur de pluviométrie.

Lac à l'Anguille 2. Marais filtrant

Conclusion – recommandations

- La quantification des charges de phosphore captées par le marais filtrant demeure approximative, et ces charges peuvent varier en fonction de divers facteurs, dont les conditions climatiques.
- Des recommandations visant à améliorer la performance d'un marais filtrant ont pu être formulées à la suite de l'expérimentation et pourront éventuellement être profitables à ceux qui voudront implanter ce type d'ouvrage dans le bassin versant de leur plan d'eau.
- Ce type d'intervention requiert l'obtention d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement préalablement à la réalisation des travaux.

Lac Brome (Montérégie)

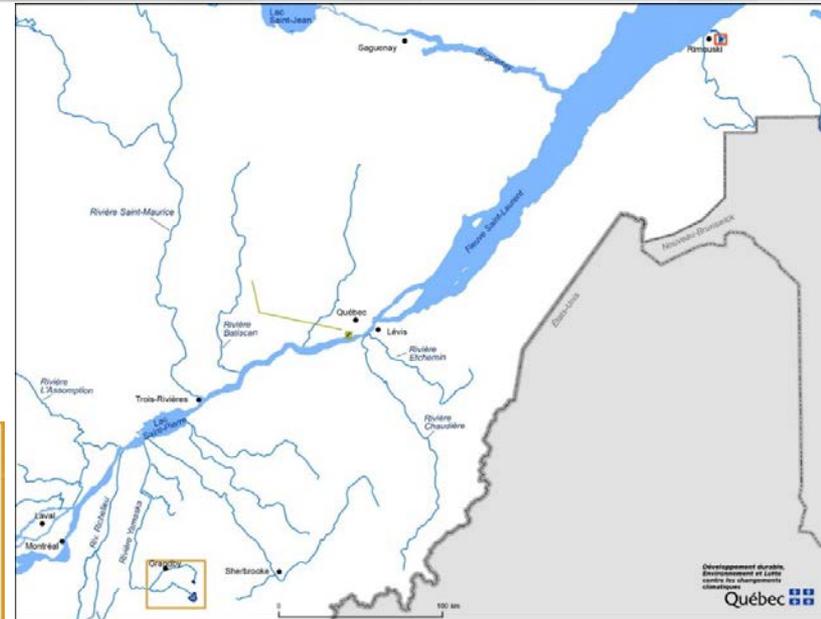
Promoteur : Ville de Lac-Brome

Consultant : EXP (Teknika HBA)

L'un des plus grands lacs de la Montérégie

- Superficie : 14,5 km²
- Profondeur moy. : 5,8 m
- Profondeur max. : 13 m

Source de la rivière Yamaska



Cartographie : Mona Frenette, DGSEE

Pressions anthropiques : développement résidentiel, agricole et récréotouristique

Lac [mésotrophe ou méso-eutrophe](#)

Le lac est régulièrement aux prises avec des efflorescences d'algues bleu-vert.

Problématique soulevée dans le plan directeur : 400 km de routes, problème d'érosion.

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

Québec

Lac Brome

Interventions dans **deux sous-bassins versants** du lac sis entièrement sur le territoire municipal de la ville de Lac-Brome (VLB) : Inverness et Pearson

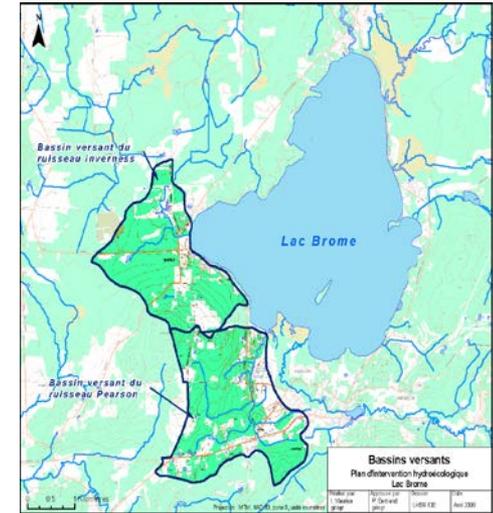
- 1. Seuils** pour ralentir les vitesses d'écoulement et réduire l'érosion;
- 2. Fosses, bassins de sédimentation et marais artificiels** pour retenir les eaux et les sédiments et pour capter les matières en suspension et les nutriments.

Charge externe

Développement de l'expertise à la municipalité

La réalisation d'une partie des travaux et du suivi était assumée par le Service des travaux publics de la VLB, dans une perspective d'implantation de ces ouvrages à plus grande échelle.

Plusieurs difficultés ont fait en sorte que le projet n'a pu être réalisé intégralement et atteindre ses objectifs.



Inverness



Pearson



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

Québec



Lac Brome – 1. Seuils

Fonctions des seuils

- Réduire la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et, conséquemment, l'érosion du sol
- Retenir une partie des particules de sol qui circulent dans l'eau

Aménagement dans les fossés de route et les pentes fortes, achevé en 2010

Sous-bassin Pearson :

5 seuils en bois et 4 seuils en pierre
(forte pente de la rue Centre)

Sous-bassin Inverness :

15 seuils en pierre et 3 seuils en gabion
(chemin Tibbits Hill)

Dissipateurs d'énergie en gabion



Seuils en pierre



Seuils en bois



Enrochements

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

Québec 

Lac Brome – 1. Seuils

Suivi des seuils : 2011 et 2012

	Prévu	Réalisé
Vidange des seuils	3 x/an	1
Évaluation du volume de sédiments retenus	1 x/mois	1
Granulométrie des sédiments	3 x/an	1
Phosphore total dans les sédiments	3 x/an	0
Intégrité des ouvrages, signes d'érosion ou d'inondation	3 x/an	

Objectifs du suivi

- Documenter l'efficacité des divers types de seuils selon les matériaux utilisés (bois, pierres avec ou sans membrane Géotextile – avec ou sans drain, gabions) et leur configuration (seuils uniques ou succession de seuils)
- Documenter les besoins d'entretien des ouvrages

Le programme de suivi a pris fin brusquement durant l'été 2011 (travaux de réfection de la rue Centre). Un seul événement de suivi a eu lieu (juin 2011).

Lac Brome – 1. Seuils

Suivi des seuils

Résultats très partiels (un seul événement de suivi)

- Il est impossible de tirer de conclusions sur l'efficacité des divers types de seuils.
- Des remarques concernant les volumes et la fraction de sédiments retenus par les divers types de seuils ont été formulées.

Identification du seuil				Quantité de sédiments prélevés dans les seuils (juin 2011)
Rue	No. du seuil	Position	Type	Volume estimé (m ³)
Centre	1	Amont	Bois	0,21
Centre	2		Bois	0,88
Centre	3		Pierre-F1	1,38
Centre	4		Bois	0,45
Centre	5		Bois	1,01
Centre	6		Bois	1,18
Centre	7		Pierre-F1	Absence de sédiments
Centre	8		Pierre-F1	0,14
Centre	9	Aval	Pierre-F1	Absence de sédiments
Tibbits Hill	10	Amont	Pierre-F1	Absence de sédiments.
Tibbits Hill	11		Pierre-F1	Absence de sédiments
Tibbits Hill	12		Pierre-F3	0,68
Tibbits Hill	13		Pierre-F3	Absence de sédiments
Tibbits Hill	14		Pierre-F2	0,95
Tibbits Hill	15		Pierre-F2	1,39
Tibbits Hill	16		Pierre-F4	0,86
Tibbits Hill	17		Pierre-F4	1,02
Tibbits Hill	18		Gabion	3,3
Tibbits Hill	19		Gabion	2,3
Tibbits Hill	20	Aval	Gabion	Aucune mesure
Tibbits Hill	21	Aval	Pierre-F1	1,11
Tibbits Hill	22		Pierre-F1	0,99
Tibbits Hill	23		Pierre-F1	1,05
Tibbits Hill	24		Pierre-F1	0,22
Tibbits Hill	25		Pierre-F1	1,55
Tibbits Hill	26		Pierre-F1	1,30
Tibbits Hill	27	Amont	Pierre-F1	0,19

Source : EXP, 2012

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Lac Brome

2. Marais filtrant – bassin de sédimentation

Système de traitement de l'eau où une partie des matières en suspension et du phosphore présents dans l'eau sont interceptés avant de parvenir au lac

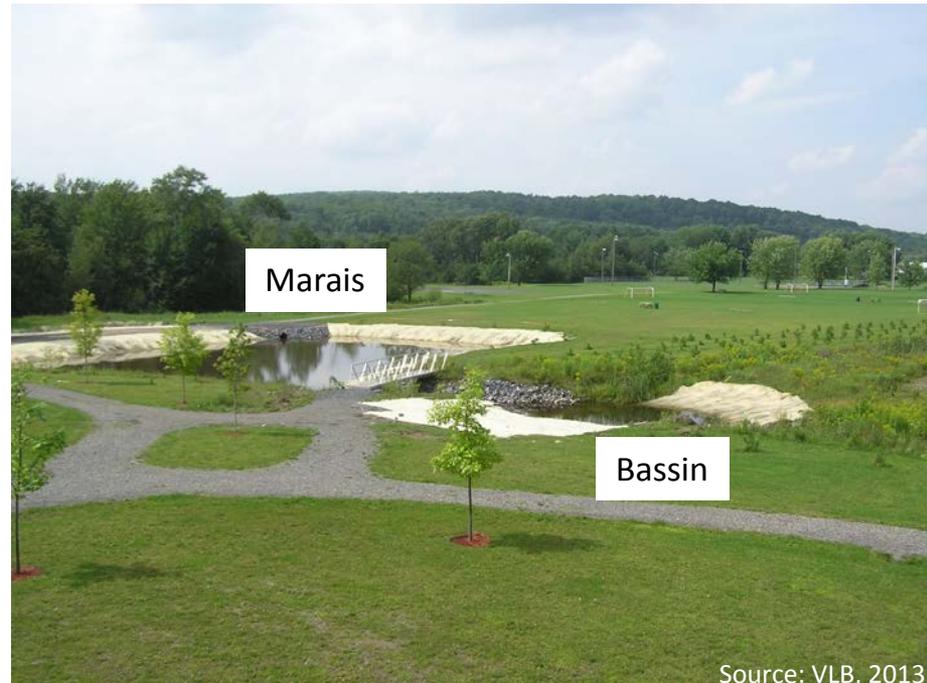
Bassin de sédimentation (200 m²), en amont du marais filtrant

- Retient l'eau pendant un certain temps avant son entrée dans le marais
- Recueille les particules grossières
- Favorise la régularisation des débits entrants dans le marais (évite les coups d'eau)

Marais filtrant à écoulement vertical (900 m²)

- Favorise la décantation et le piégeage des particules en suspension
- Favorise la captation des nutriments (processus physiques, biologiques et chimiques)

Aménagé en 2010 dans le sous-bassin Pearson (site du centre communautaire), à la confluence de deux fossés de drainage



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

Québec 

Lac Brome - 2. Marais filtrant – bassin de sédimentation

Suivi du système marais – bassin

Prémisse :

Le principal mécanisme d'enlèvement du phosphore par les marais est la sédimentation du phosphore particulaire.

Les sédiments constituent le principal compartiment du marais où est séquestré le phosphore, celui-ci étant lié principalement au fer et à l'aluminium, tant que les sites de liaison ne sont pas saturés.

Paramètres de suivi pour évaluer l'efficacité du système bassin-marais

- Accumulation de sédiments (cm) au fond du bassin et du marais
- Concentrations (mg/kg ou %) de phosphore, de fer, d'aluminium et de matière organique dans les sédiments

Diffère du suivi du marais du lac à l'Anguille

Lac Brome - 2. Marais filtrant – bassin de sédimentation

Caractérisation des sédiments du marais et du bassin

Durée prévue : 2011, 2012, 2013 et 2014

- En 2011 : état initial (année 0) : caractérisation du substrat utilisé pour le marais
- En 2012, 2013 et 2014, la couche 0-10 cm devait être caractérisée trois fois par année (mai, juillet et octobre) et la couche 10-20 cm une seule fois par année (à la fin d'octobre)

Difficultés

- Les méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques ont différé d'une année à l'autre, d'où :
 - Impossibilité de comparer les concentrations mesurées en 2011 et en 2013 avec celles mesurées en 2012 et avec celles du substrat initial;
 - Mais comparaison possible entre 2011 et 2013.
- Le suivi a pris fin en 2013 au lieu de 2014.
- Un deuxième système marais-bassin devait être aménagé dans le sous-bassin Inverness, mais il y a eu mésentente avec la propriétaire et démantèlement des ouvrages.

Lac Brome - 2. Marais filtrant – bassin de sédimentation

Résultats

Contrairement à ce qui était attendu, les résultats partiels indiquent que les concentrations de phosphore dans les sédiments du marais et du bassin sont moins élevées en 2013 qu'en 2011.

Explication suggéré par les auteurs : le substrat d'origine a pu être mêlé aux sédiments lors du prélèvement de 2013 (dilution des concentrations de phosphore).

Conclusion

Les données recueillies sont très partielles et ne permettent pas d'évaluer l'efficacité des ouvrages aménagés. Les principales conclusions qui peuvent être tirées du projet concernent davantage les conditions de réalisation et de succès d'un tel projet que les connaissances scientifiques attendues.

Lac Brome

Lacunes décelées par le promoteur

- Manque de coordination et de communication entre les instances concernées
- Manque de précision sur la répartition des tâches entre la firme et la municipalité pour la mise en œuvre du programme de suivi
- Manque de formation adéquate des employés en ce qui concerne les opérations du programme de suivi (échantillonnage, prélèvement et conservation des échantillons)
- Absence d'entente claire quant à l'utilisation d'un terrain privé
- Manque de constance, de rigueur et d'assiduité dans la réalisation du suivi des ouvrages

Les nombreux changements survenus dans le personnel administratif et de soutien de la municipalité durant la mise en œuvre du projet ont nui à sa bonne marche.

Lac Brome

Leçons tirées du projet

- L'intégration des citoyens par des consultations publiques, et ce, dès le début du projet, constitue une condition essentielle de son acceptabilité sociale.
- L'organisme responsable du projet doit s'assurer de disposer du personnel et des ressources adéquates pour le mener à terme.
- Les besoins de concertation interne et externe exigent que la personne responsable de la coordination soit en communication avec les divers intervenants et que les rôles de ceux-ci soient bien définis dès le début de la mise en œuvre du projet.
- Lorsque le projet nécessite l'utilisation de terrains privés, il est important de conclure des ententes officielles.
- Les projets de restauration de lac auraient avantage à obtenir la collaboration d'un groupe de recherche universitaire.

Autres projets de restauration de lacs au Québec

Lac Heney (Outaouais) : Charge interne de phosphore

- Immobilisation du phosphore avec le **chlorure de fer**
- Le plus gros projet de restauration de lac au Québec

Trois Lacs (Asbestos) : Envaselement et herbiers, perte d'usages

- **Dragage**

Petit lac Saint-François : Hypereutrophisation; prolifération récurrente de cyanobactéries

- Une panoplie de solutions visant le bassin versant, dont les **scories d'aciérie**

Lac Saint-Louis et lac de l'Aqueduc : Petits lacs réservés à des usages particuliers (récréatifs, eau potable); contrôle de la croissance algale (cyanobactéries, algues vertes)

- **Ultrasons**

Lac Bromont : Charge interne de phosphore

- Immobilisation avec le **Phoslock** (à venir)

Ce qui se dégage de ces projets

- Les résultats sont souvent mitigés.
- Il est difficile de réaliser des projets dans de petits enclos :
 - Conditions différentes de celles du lac (milieu ouvert);
 - Biais; difficulté d'interpréter les résultats;
 - Importance d'un bon dispositif environnemental.
- Un suivi rigoureux et suffisamment long est nécessaire pour pouvoir vérifier la tendance à moyen ou long terme.
- L'expertise en restauration de lacs est à développer.
- Un besoin de science se fait sentir; l'association avec des chercheurs est fortement recommandée.
- La réhabilitation d'un lac soumis à des pressions anthropiques depuis de nombreuses années nécessite les efforts soutenus de l'ensemble des acteurs.
- Il est recommandé de privilégier les actions visant la gestion du phosphore à la source sur l'ensemble du bassin versant d'un lac.

L'approche des 5 C (P. Beaudoin, Renaissance Lac Brome)

Les éléments à considérer pour mener à terme la réhabilitation des lacs sont bien résumés dans l'approche des 5 C proposée par M. Beaudoin (RLB) :

- **Citoyens** (accord et appropriation par la communauté, projet de société)
- **Connaissance** (du lac et du bassin versant, de la technologie)
- **Cohérence** (schéma d'aménagement, PDE, règlements)
- « **Cash** » (taxes, fonds spécial réservé, partage des coûts)
- **Concret** (actions, objectif visé, usages à recouvrer, petits succès, synergie)

Pour en savoir plus sur les projets pilotes de restauration de lacs

Page algues bleu-vert du site Web du MDDELCC :

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/documentation.htm#projet-pilote>

Projets pilotes de restauration de lacs eutrophes

- [Appel de propositions](#)
- Bulletin d'information
 - [2^e atelier sur les projets pilotes](#)
 - [1^{er} atelier sur les projets pilotes](#)
- Résultats des projets pilotes :
 - [Projet du lac Waterloo](#)
 - [Projet du lac Saint-Augustin](#)
 - [Projet du lac à l'Anguille](#)
 - [Projet du lac Brome](#)

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

Québec 