



## **Avis scientifique sur la moule zébrée au lac Massawippi**

Résumé de la problématique et  
recommandations de suivis et de  
mesures à prendre

Préparé pour :  
Bleu Massawippi

Préparé par :  
Stantec Experts-conseils Itée


N/Réf. : 167040183-200-EN-R-0001-0

15 juillet 2019

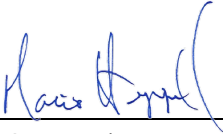


## Registre d'approbation

Le présent document, intitulé *Avis scientifique sur la moule zébrée au lac Massawippi*, a été préparé par Stantec Experts-conseils Itée (« Stantec ») pour le compte de Bleu Massawippi (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l'échéancier et d'autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n'a pas vérifié les renseignements fournis par d'autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Préparé par \_\_\_\_\_  
  
(signature)

**Isabelle Picard, biol.**

Vérifié et approuvé par \_\_\_\_\_  
  
(signature)

**Mario Heppell, biol., M. ATDR**

Révision	Description	Auteure	Vérification qualité	Revue indépendante
0	Version finale	I. Picard	M. Heppell	M. Heppell





## Table des matières

<b>1.</b>	<b>MISE EN CONTEXTE DE LA PROBLÉMATIQUE DE LA MOULE ZÉBRÉE POUR LE LAC MASSAWIPPI .....</b>	<b>1</b>
1.1	DISTRIBUTION ET MENACES DE LA MOULE ZÉBRÉE .....	1
1.1.1	Situation générale .....	1
1.1.2	Situation au Québec.....	2
1.2	DISCUSSION SUR LES BESOINS ÉCOLOGIQUES DE LA MOULE ZÉBRÉE .....	2
1.2.1	Besoins écologiques généraux de l'espèce.....	2
1.2.2	Scénarios présent et futur au lac Memphrémagog .....	3
1.2.3	Scénario à craindre au lac Massawippi .....	4
<b>2.</b>	<b>PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR LE LAC MASSAWIPPI ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>5</b>
2.1	PROTOCOLE DE SUIVI POUR LA DÉTECTION DES MOULES ZÉBRÉES .....	5
2.2	INVENTAIRES COMPLÉMENTAIRES POUR MIEUX DOCUMENTER LA SITUATION INITIALE.....	8
2.3	PORTRAIT DES PRISES D'EAU ET AUTRES À RISQUE DE DOMMAGES .....	9
2.4	AUGMENTATION DE L'INTENSITÉ DU LAVAGE DES EMBARCATIONS.....	10
2.5	SENSIBILISATION INTENSIVE DES RIVERAINS .....	12
2.6	MISE EN PLACE D'UN PLAN D'URGENCE .....	13
<b>3.</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>15</b>

### LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Niveau de risque pour les moules zébrées ( <i>Dreissena polymorpha</i> ) selon la littérature .....	3
-----------	---	---

### LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des stations pour la pose de substrat artificiel en 2018 et 2019 (carte réalisée et fournie par Bleu Massawippi).....	6
Figure 2	Localisation des sites de prises d'eau à risque et des deux principales stations de lavage (carte réalisée et fournie par Bleu Massawippi) .....	10



## Résumé

L'introduction d'espèces exotiques envahissantes est une menace majeure reconnue mondialement. La moule zébrée, en particulier, a eu des impacts considérables sur de nombreux écosystèmes aquatiques. Introduite en 1986 dans les Grands Lacs à partir des eaux de ballast de bateaux en provenance d'Europe, elle s'est rapidement dispersée en Amérique. Au Québec, elle est établie dans le corridor fluvial du Saint-Laurent, le lac Champlain et la rivière Richelieu. Les méthodes de prévention appliquées tôt, notamment le lavage des bateaux, semblent avoir limité sa vitesse de propagation au Québec dans les autres plans d'eau, comparativement aux États-Unis où l'expansion a été très rapide. En 2017, sa présence a été notée pour la première fois dans le lac Memphrémagog et, en 2018, des inventaires confirmaient la présence de populations bien établies dans le nord de ce lac et dans le lac Magog. Les densités observées sont encore relativement faibles, soit moins de 5 moules/m<sup>2</sup>.

Le risque d'introduction et les densités de moules zébrées dans un plan d'eau sont fortement influencés par les taux de calcium et le pH. L'espèce ne peut survivre à un taux de calcium inférieur à 12 mg/l et à un pH inférieur à 7,0, et plus de 20 mg/l de calcium et un pH de plus de 7,4 sont nécessaires pour permettre la reproduction. Au-dessus de 25 mg/l, la moule zébrée retrouve les conditions optimales pour l'établissement de populations abondantes et se reproduisant activement. Au lac Massawippi, les analyses révèlent un taux de calcium autour de 30 mg/l faisant craindre des densités importantes. Avec la proximité de la population du lac Memphrémagog à moins de 17 km par voie terrestre, le risque d'introduction est source d'inquiétude importante.

En plus des impacts économiques liés à l'obstruction des prises d'eau, aux dommages sur les bateaux et les barrages et aux fermetures de plages, l'introduction de la moule zébrée pourrait avoir des impacts écologiques importants dans le lac Massawippi. Chaque moule zébrée filtrant jusqu'à un litre d'eau par jour pour se nourrir, sa présence réduit de façon importante la quantité de nourriture (plancton et chlorophylle) disponible pour les jeunes poissons et les invertébrés aquatiques, ce qui modifie à moyen terme complètement le réseau trophique et provoque le déclin des espèces indigènes. Elle augmente aussi la transparence de l'eau, favorisant la prolifération des plantes aquatiques et les blooms d'algues bleues phytoplanctoniques. Afin d'éviter ces impacts écologiques et économiques importants, il importe d'instaurer un plan d'action. La situation est en effet fort inquiétante pour l'écologie du lac Massawippi et l'économie de la région. Cet avis scientifique présente l'état de la situation et du risque d'introduction, basé sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles, et propose un plan d'action afin de détecter précocement une introduction éventuelle, de prendre les mesures limitant le risque d'introduction et de se préparer en amont à l'arrivée éventuelle de cette espèce dans le lac Massawippi.



## Glossaire

Botulisme	Maladie grave provoquée par l'ingestion d'une toxine extrêmement puissante synthétisée par une bactérie, le <i>Clostridium botulinum</i> . Les spores de cette bactérie se retrouvent dans le sol, les poissons et les sédiments et germent dans des conditions anaérobiques.
Moule quagga	Espèce de moule (mollusque bivalve d'eau douce) de la même famille et du même genre que la moule zébrée appartenant à l'espèce <i>Dreissena bugensis</i> . Cette espèce a été introduite après la moule zébrée, mais colonise les mêmes milieux et est aussi envahissante. Son aire de répartition semblable, mais elle est absente du lac Memphrémagog.
Moule zébrée	Espèce de mollusque bivalve d'eau douce, originaire d'Europe introduite en Amérique du Nord, appartenant à l'espèce <i>Dreissena polymorpha</i> . Les moules zébrées découvertes au lac Memphrémagog appartiennent à cette espèce.
Mulettes	Mollusques bivalves d'eau douce de la famille des Unionidés ou des Margaritiféridés.
Réseau trophique	Ensemble des chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème.
Véligère	Stade larvaire planctonique de certains mollusques.







## 1. MISE EN CONTEXTE DE LA PROBLÉMATIQUE DE LA MOULE ZÉBRÉE POUR LE LAC MASSAWIPPI

En 2018, des inventaires par le Memphrémagog Conservation inc. (MCI) ont permis de confirmer la présence d'une population de moules zébrées (*Dreissena polymorpha*) bien établie au nord du lac Memphrémagog (Picard et Doyon, 2018). La découverte de cette population et des efforts d'inventaires pour documenter la situation faisait suite à l'observation d'une coquille réalisée par la Ville de Magog à la fin de l'été 2017 (Gagnon, J.-F., 2017), ainsi qu'à l'observation de plusieurs spécimens par un plongeur régulier au lac Memphrémagog (Denis Mongeau, *comm. pers.*). Cette nouvelle introduction a soulevé des inquiétudes importantes tant pour le lac Memphrémagog que pour les autres plans d'eau de la région, en particulier pour le lac Massawippi. En effet, la dispersion de cette espèce exotique envahissante peut être très rapide et à l'origine de nombreux impacts économiques et écologiques.

### 1.1 DISTRIBUTION ET MENACES DE LA MOULE ZÉBRÉE

#### 1.1.1 Situation générale

Observée pour la première fois en juin 1988 dans le lac Saint-Clair, la moule zébrée, originaire d'Europe, s'est rapidement dispersée dans le corridor fluvial du Saint-Laurent et a été observée au Québec dès 1990 (Biorex, 1995 a,b). Les méthodes de prévention appliquées tôt, notamment de lavage des bateaux, semblent avoir limité sa vitesse de propagation au Québec dans les autres plans d'eau, comparativement aux États-Unis ou en Ontario où l'expansion dans les plans d'eau a été très rapide. En effet, l'espèce se retrouve maintenant dans presque tous les plans d'eau de ces régions susceptibles à sa présence. L'introduction de cette espèce a eu des impacts économiques et écologiques considérables sur les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent en particulier, mais également dans tous les plans d'eau qui abritent des colonies importantes et de fortes densités de l'espèce. En effet, lorsque les conditions idéales sont atteintes, les densités fortes de moules zébrées peuvent obstruer les prises d'eau et causer des dommages aux bateaux ou autres structures du milieu aquatique comme les barrages, piliers de quais, etc. De plus, leur présence est à l'origine de fermetures de plages, causées par les accumulations de coquilles, causant des odeurs et favorisant la prolifération des bactéries. Cette espèce exotique envahissante est probablement parmi celles ayant les impacts économiques les plus importants globalement en Amérique du Nord. L'action filtrante importante de cette espèce (c.-à-d. chaque moule zébrée pouvant filtrer un litre d'eau par jour) réduit la quantité de phytoplancton et de zooplancton disponible pour les autres organismes aquatiques, provoquant entre autres le déclin des moules indigènes (bivalves de la famille des Unionidés et Margaritiféridés), des juvéniles de certaines espèces de poissons et d'autres invertébrés aquatiques (MFFP, 2019). La présence de colonies importantes de moules zébrées dans un plan d'eau augmente ainsi la transparence de l'eau, et favorise ainsi le développement de plantes aquatiques à de plus grandes profondeurs, en plus de modifier entièrement le réseau trophique (MFFP, 2019; MPO, 2019). Les processus de l'écosystème dans lequel elle est introduite se retrouvent complètement modifiés (Karatayev *et coll.*, 2002). Elle est responsable indirectement également de la prolifération d'algues bleues toxiques consécutive à cette augmentation de transparence de l'eau, et elle est un vecteur du botulisme aviaire, une maladie qui a tué des milliers d'oiseaux aquatiques au lac Érié (MFFP, 2019).



### 1.1.2 Situation au Québec

En plus de la nouvelle population du lac Memphrémagog, la moule zébrée est présente au Québec dans toute la portion dulcicole du fleuve Saint-Laurent, surtout en rive sud, de même que dans le lac Champlain et la rivière Richelieu. Considérant les nombreux impacts économiques et écologiques, une étude a été réalisée dans les années 1990 pour déterminer la susceptibilité des lacs du Québec à des introductions potentielles et évaluer la pertinence de stations de lavage. Environ 30 % des plans d'eau évalués au sud du fleuve possédaient les conditions physicochimiques pour permettre la survie de la moule zébrée, et donc étaient susceptibles de subir les impacts négatifs de cette espèce advenant une introduction (Biorex, 1995ab ; FAPAQ, 2000). Parmi ces plans d'eau, le lac Massawippi et son bassin versant avaient les conditions physicochimiques jugées idéales pour l'implantation, la reproduction et la survie de l'espèce, et donc le potentiel pour y voir apparaître des densités particulièrement élevées. Probablement grâce à la présence des stations de lavage ou l'éloignement des populations, aucune moule zébrée n'a encore été observée au lac Massawippi. À la suite de la découverte des moules zébrées au lac Memphrémagog, des inventaires visuels pour la recherche d'individus vivants ou de coquilles, l'installation de substrats artificiels ainsi que la prise d'échantillons d'eau pour détecter l'ADN environnemental en 2018 semblent démontrer que pour l'instant l'espèce n'est pas encore présente au lac Massawippi (Michèle Gérin, Bleu Massawippi, *comm. pers.* ; Isabelle Picard, *obs. pers.* ; M.-J. Goulet, MFFP, *comm. pers.*). Des inventaires pour la recherche de dard de sable durant deux jours en 2017 n'avaient pas permis non plus de rencontrer la moindre moule zébrée, bien que les autres mollusques observés aient été systématiquement notés (Picard, 2018). Pour l'instant, aucune moule zébrée n'a été trouvée, malgré de fausses alertes de citoyens en 2019 et une attention de la population et des patrouilleurs (Michèle Gérin, Bleu Massawippi, *comm. pers.*). Cependant, la présence de la nouvelle population au lac Memphrémagog fait craindre le pire, puisque cette population se situe à moins de 17 km par voie terrestre du lac Massawippi, faisant augmenter les risques d'introduction. En effet, la proximité de ces deux plans d'eau augmente grandement le transfert de bateaux entre ceux-ci, et la faible distance limite les délais de ces transferts et donc augmente les probabilités de survies des moules zébrées pouvant être transportées. En l'absence de mesures préventives importantes, l'apparition de moules zébrées au lac Massawippi est à craindre à court ou moyen terme.

## 1.2 DISCUSSION SUR LES BESOINS ÉCOLOGIQUES DE LA MOULE ZÉBRÉE

### 1.2.1 Besoins écologiques généraux de l'espèce

La moule zébrée demande des taux de calcium, un pH et des températures particulières pour permettre son implantation dans un plan d'eau (tableau 1). Sa densité est directement liée aux conditions physicochimiques, en particulier au taux de calcium présent. Dans son pays d'origine et ailleurs en Europe, la moule zébrée nécessite des concentrations minimales de calcium de 25,4 mg/l à 28,3 mg/l. En Amérique du Nord toutefois, ce seuil semble moins élevé et se situe autour de 12 mg/litre (MFFP, 2019). Elle a besoin d'une concentration de calcium dépassant le 10 à 12 mg/l (Biorex, 1995), mais reste en état de stress pour les taux inférieurs à 20 mg/l (Sprung, 1987). La moule zébrée n'étant pas tolérante aux conditions acides, on la trouve généralement dans des pH supérieurs à environ 7,2/7,4 (MFFP, 2019 ; Biorex, 1995). L'optimum pour la survie des moules zébrées se produirait lorsque le pH est autour de 8,5 et que le taux



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

de calcium dépasse 28 mg/l (Cohen et Weinstein, 2001 ; Ramcharan *et coll.*, 1992), quoique Jones et Ricciardi (2005) ont trouvé des taux de calcium optimaux plus bas autour de 23-25 mg/l dans le fleuve Saint-Laurent. La reproduction de l'espèce se produit lorsque la température dépasse 12 °C et que la disponibilité et qualité de la nourriture est suffisante (Biorex, 1995).

**Tableau 1 Niveau de risque pour les moules zébrées (*Dreissena polymorpha*) selon la littérature**

Catégorie de risque	Définition	Taux de calcium (mg/l)	pH	Température (°C)
Très faible	Aucune survie d'adulte	< 12	7,0	> 32-33 °C < 0 °C
Modéré	Survie des adultes et reproduction supportée à un niveau minimal	12-19	7,0-7,4	> 8 °C et < 30 °C (croissance) > 10-12 °C et < 22-26 °C (reproduction)
Élevé	Populations établies de bonnes tailles. Survie des adultes et reproduction possible.	20-25	> 7,4	12-22 °C
Très élevé	Très près ou au niveau optimal pour tous les stades de moules zébrées. Haut niveau d'infestation et populations de fortes densité.	> 25-30 mg/l	Autour de 8,5	Vers 12-18 °C

Source : (Biorex, 1995 ; Cohen et Weinstein, 2001 ; Cohen, 2005 ; Mackie et Claudi, 2010 ; Ramcharan *et coll.*, 1993 ; Sprung, 1987 ; Thériault *et coll.*, 2013 ; Whittier *et al.*, 2008 ; Jones et Ricciardi, 2005).

Lorsque les conditions optimales sont atteintes, les gamètes mâles sont relâchés dans l'eau et il y a fécondation des femelles par filtration dans la colonne d'eau. Les larves, appelées véligères, sont ensuite relâchées dans la colonne d'eau et demeurent en suspension durant 15 à 30 jours, le temps de croître et de se transformer en juvéniles mesurant environ 0,2 mm (MFFP, 2019 ; Martel, 1993). La durée de ce stade larvaire varie selon la température et la productivité planctonique estivale, mais la concentration de larves véligères atteint probablement un maximum en juillet et août (MFFP, 2019 ; Lucy, 2006). Ces conditions limitent son potentiel d'établissement de nouvelles populations en partie, mais l'espèce se disperse néanmoins rapidement. Les introductions peuvent s'effectuer facilement par l'intermédiaire de la dérive des larves dans l'eau en aval du site d'introduction, ou par leur transport par les embarcations de plaisance. Entre les différents plans d'eau, le transport de moules zébrées peut se produire par l'intermédiaire de l'eau contenant des larves dans des seaux ou embarcations, ou par la présence d'adultes fixés sur la coque des embarcations ou dans les plantes restant accrochées aux hélices.

### 1.2.2 Scénarios présent et futur au lac Memphrémagog

Outre les zones de plus grande profondeur où parfois le pH chute en bas de 7,2 et la température en bas de 10-12 °C, le lac Memphrémagog présente des caractéristiques physicochimiques propices à



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

l'établissement potentiel de la moule zébrée partout dans les 10 premiers mètres au moins sur la totalité du lac (Orjikh, 2014). Toutefois, il faut mettre en perspective que le taux de calcium présent limite fort probablement la densité et la reproduction des moules zébrées dans ce lac. La concentration en calcium de certains échantillons prélevés en 2018 dans le lac Memphrémagog était en effet tout juste au-dessus de la limite du 20 mg/l (Picard et Doyon, 2018 ; A. Orjikh, MCI, *comm. pers.*), considéré comme le seuil pour l'établissement de populations reproductrices. Le taux était variable selon les stations et les dates, mais plusieurs stations dépassaient légèrement le 20 mg/l à certains moments de l'année, sauf peut-être dans la baie Fitch où le pH était toujours inférieur (Orjikh, 2014 ; A. Orjikh, MCI, *comm. pers.* ; Picard et Doyon, 2018). Les densités actuelles sont encore faibles (0,5 à 5 moules/m<sup>2</sup> dans les quatre stations quantitatives), malgré le fait que l'introduction daterait d'au moins 2016 selon les longueurs des individus observés (Picard et Doyon, 2018) et que l'espèce peut se reproduire après seulement un an (MFFP, 2019). Les 31 stations de recherche active réalisées en 2018 ont révélé la présence de moules zébrées dans presque toute la partie nord du lac Memphrémagog (Ariane Orjikh, MCI, *comm. pers.*). De plus, une mention a été rapportée par le MFFP dans le lac Memphrémagog au sud de la baie d'Arthemis, au Canton de Stanstead (Marie-Josée Goulet, MFFP, *comm. pers.*) et une mention aussi à la descente de bateau de Deauville par un citoyen (Nathalie Perron, Ville de Sherbrooke, *comm. pers.*). Une centaine de moules zébrées ont été découvertes par la ville de Sherbrooke dans le bassin d'entrée de la station de pompage JM Jeanson montrant que les végétaux entrent à la prise d'eau de la ville de Sherbrooke, située dans le nord-est du lac Memphrémagog,

Le taux de calcium faible étant près de la limite d'établissement des populations et assez loin du taux optimal au-dessus de 25 mg/l, il est peu probable que des densités élevées soient observées. Toutefois, les végétaux dérivent dans l'eau du lac et en aval dans la rivière Magog et même la rivière Saint-François, comme en fait foi la présence d'ADN environnemental de moules zébrées jusqu'en aval de Sherbrooke (Marie-Josée Goulet, MFFP, *comm. pers.*). Certains impacts peuvent être à craindre, notamment celui sur les populations de moules indigènes, mais les différents inventaires réalisés jusqu'à maintenant n'ont pas permis de cerner des densités importantes pouvant être en cause dans des problématiques économiques ou écologiques majeures, bien que des suivis devront tout de même être réalisés.

### 1.2.3 Scénario à craindre au lac Massawippi

Or, au lac Massawippi, on retrouve des conditions physicochimiques optimales en ce qui a trait au pH et au calcium, faisant craindre une situation plus dramatique qu'au lac Memphrémagog. Biorex (1995a,b), documentait dans les années 1990 un taux médian de calcium de 27,9 mg/l (5 stations) et d'un pH de 7,7 (19 stations). En 2018, le calcium et le pH ont été mesurés à six stations, les résultats montraient un taux de calcium variant 30,5 et 31,1 mg/l et un pH entre 7,87 et 8,08 (Michèle Gérin, Bleu Massawippi, *comm. pers.*). Ces paramètres physicochimiques relativement constants et au-dessus du taux optimal pour le calcium en particulier suggèrent que les densités de moules zébrées qui pourraient être observées au lac Massawippi advenant une introduction, et pourraient augmenter rapidement et atteindre des densités de l'ordre de plusieurs centaines ou milliers d'individus. En effet, la densité d'implantation de moules zébrées dans le fleuve Saint-Laurent est directement liée aux taux de calcium et aux substrats présents (Jones et Ricciardi, 2005 ; Mellina et Rasmussen, 1994). Les stations avec des taux de calcium de plus de 23-25 mg/l pouvant abriter des biomasses dépassant le 3000 g moules zébrées et quagga /m<sup>2</sup> (soit environ 2000-4000 moules zébrées et quagga adultes/m<sup>2</sup>).



## 2. PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR LE LAC MASSAWIPPI ET RECOMMANDATIONS

### 2.1 PROTOCOLE DE SUIVI POUR LA DÉTECTION DES MOULES ZÉBRÉES

Un des éléments importants du plan d'action proposé pour le lac Massawippi est la mise en place d'un suivi robuste permettant de détecter efficacement et précocement l'introduction potentielle de la moule zébrée dans le lac et ses tributaires, ceci afin de permettre la mise en place des mesures d'urgence le plus rapidement possible (voir section 2.6.) et de documenter plus précisément la situation initiale en partie (voir autres éléments à documenter dans la section 2.2.).

En effet, certaines mesures de contrôles ne peuvent être appliquées que précocement avant que les densités ne deviennent élevées. Si on examine d'autres populations (ex. : Martel et Maddill, 2018), la mise en place de densités très importantes est probablement prévisible, moins de trois ans après l'introduction. Afin de pouvoir agir, il est important que les mesures de contrôles soient appliquées dans la première année suivant l'introduction, si on veut avoir de bonnes probabilités de réussite. Au-delà de ce délai, les trop grandes densités et la trop grande superficie du lac Massawippi risquent d'empêcher toute efficacité de mesures de contrôle. De plus, la collecte d'informations sur la situation initiale permettra de mieux documenter les impacts spécifiques au lac Massawippi d'une introduction éventuelle et de suivre l'évolution des populations.

Le suivi devrait s'articuler autour de trois éléments principaux :

#### 1. Installation de substrats artificiels

L'installation de substrats artificiels est une méthode robuste de détection des moules zébrées, implantée dans la majorité des suivis de détection. Cette méthode permet d'évaluer de façon standardisée les densités de larves véligères s'implantant dans un milieu donné, une année donnée. Il s'agit donc d'une méthode de détection et de suivi.

Pour ce type de suivi, plusieurs types de substrats artificiels peuvent être utilisés, mais l'utilisation de substrat artificiel semblable au Wildco (<https://shop.sciencefirst.com/wildco/579-zebra-mussel-veliger-equipment>) a été retenue comme option étant donné son avantage d'une surface standardisée permettant de calculer facilement les densités.

Six stations de substrats artificiels avaient été installées en 2018 dans des endroits stratégiques (près des stations de lavage de North Hatley et Ayer's Cliff), mais également réparties sur la superficie du lac. En 2019, ces mêmes stations devraient être reprises, mais quatre autres devraient être ajoutées pour mieux couvrir la superficie du lac : une à la mise à l'eau dans la rivière Massawippi, et trois autres placées à endroits stratégiques (embouchure de la rivière Tomifobia, secteurs de pêche) (figure 2). Les substrats artificiels doivent être installés dans la colonne d'eau un mètre en dessous de la surface de l'eau environ, et ce, avant le début de la période de reproduction (relâchement des larves) et, être laissées en place jusqu'à la fin de la période d'implantation et de croissance des larves. En effet, le relâchement des larves se produirait en juillet et août au Québec, selon les études effectuées dans le

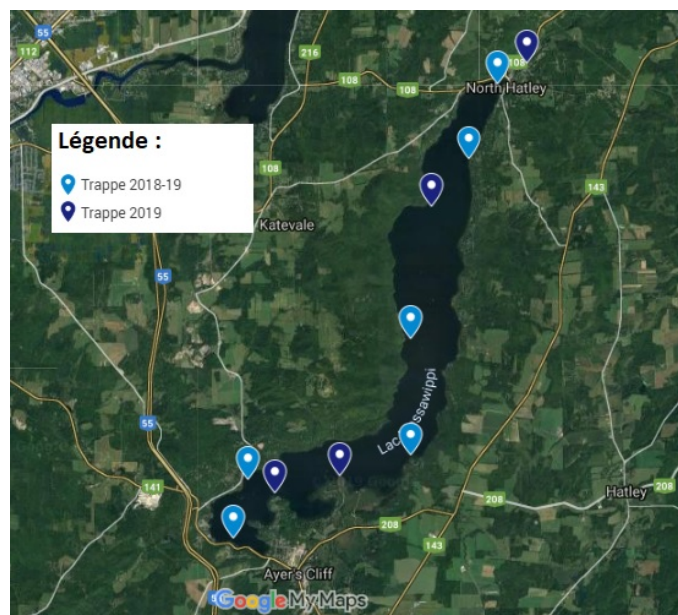


## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

fleuve Saint-Laurent (Martel, 1993 ; Martel et coll., 1994). Étant donné les températures de l'eau du lac Massawippi, probablement que le relâchement des larves se produirait vers la mi-juillet à la mi-août et que la période de croissance se terminerait vers la fin septembre. Nous recommandons donc une période d'installation des substrats au minimum du début juillet jusqu'au début octobre, mais ceux-ci pourraient être installés tôt. Des inspections régulières visuelles devraient avoir lieu chaque mois et les substrats devraient être retirés début octobre et placés au congélateur ou trempés dans l'alcool et conservés au réfrigérateur. Ils doivent être ensuite inspectés à l'aide de binoculaires et un décompte complet devrait être effectué. Les moules zébrées trouvées doivent être mesurées. Il est important de noter les dates de poses, les coordonnées de stations, les dates d'inspection et les dates de retrait final. Le décompte devrait être effectué par un spécialiste pour s'assurer que les spécimens observés soient bien identifiés. Le décompte devrait se faire sur l'ensemble des plaques, mais advenant des introductions confirmées et de fortes densités, le décompte pourrait avoir lieu sur une seule des plaques.

Étant donné que les juvéniles ont une grandeur de 200 microns environ, difficilement détectable à l'œil nu (Martel, 1993), et que leur croissance est relativement lente de l'ordre de 0,1 mm/jour (Cope et coll., 2006), il est important que les substrats artificiels ne soient pas enlevés avant la fin de la période de croissance en octobre.

Cette méthode a le désavantage de ne détecter potentiellement qu'à l'automne des juvéniles provenant du transfert de végétaux dans l'eau apportée au lac ou de la reproduction d'une population déjà établie, puisqu'elle ne permet que de capter que les juvéniles lors de leur fixation. Il serait impossible de détecter l'introduction d'un adulte par cette méthode, donc l'ajout d'autres méthodes de suivi complémentaires est important.



**Figure 1** Localisation des stations pour la pose de substrat artificiel en 2018 et 2019 (carte réalisée et fournie par Bleu Massawippi)



### 2. Inventaire par recherche active en apnée

La recherche active de moules zébrées en rive, vivantes ou mortes (coquilles vides), est une méthode qui permet de façon rapide de détecter la présence de l'espèce. Elle est intégrée dans plusieurs suivis de ce type. Au lac Memphrémagog, la recherche active d'une durée d'une heure-personne dans un secteur avec des substrats propices permettait dans la majorité des cas de détecter efficacement la présence de l'espèce dans les secteurs où elle était présente. Afin de pouvoir comparer les résultats, une méthode similaire devrait être appliquée au lac Massawippi. La superficie couverte en apnée pendant une heure-personne est généralement au minimum de 25-50 m<sup>2</sup>. Considérant des densités initiales faibles de 0,1 moule/m<sup>2</sup>, il serait ainsi possible de détecter au moins 2 à 5 moules zébrées par période de recherche, si celle-ci est présente. Statistiquement parlant, étant donné que la distribution peut être contagieuse chez les mollusques, l'échantillonnage d'un minimum de 40 stations aléatoires différentes devrait être implanté afin de couvrir l'ensemble du lac avec des stations pas trop espacées les unes des autres. Les stations doivent couvrir l'ensemble du périmètre du lac Massawippi et être placées dans des endroits potentiels (substrats rocheux, position près des mises à l'eau et des prises d'eau).

L'inventaire se fera par la méthode de recherche active par plongée en apnée de façon préférentielle. Toutefois, si la plongée s'avérait impossible en raison d'une qualité d'eau non propice (par exemple en présence de cyanobactéries), les inventaires pourraient se faire par aquascope ou par examen à la main des roches. À chaque station, une recherche d'une heure-personne est proposée. Toutes les moules zébrées observées seront récoltées et tuées dans l'alcool isopropylique ou éthylique à une concentration de 70 %. Les moules zébrées trouvées seront ensuite mesurées au 0,5 mm près et conservées. Les coordonnées du site d'inventaire, le temps de recherche exact et le nombre d'observateurs, la méthode détaillée (profondeurs inventoriées et estimation de la superficie), le nombre de moules zébrées observées, la longueur des spécimens observés, une photo de référence des spécimens, ainsi qu'une caractérisation générale de l'habitat seront effectuées (un fichier Excel avec des fiches standardisées sera fourni). Pour plus de simplicité, cet inventaire se concentrera dans la zone 0,5 m à 1,5 m dans les secteurs les plus potentiels (rocheux et près des descentes publiques et des autres endroits stratégiques [prises d'eau et marinas]). La sélection des sites n'a pas à être aléatoire pour permettre une utilisation minimale des ressources financières et pouvoir profiter des interventions déjà effectuées par les patrouilleurs dans le cadre de leurs activités. Les inventaires devraient être effectués de mi-juillet jusqu'à la mi-septembre lorsque les températures d'eau atteignent 16 °C. Idéalement la visite des stations devrait être répartie dans le temps afin de permettre une certaine efficacité de détection. Il est suggéré de faire environ 15-20 stations par mois.

### 3. Analyse d'ADN environnemental

Des analyses d'ADN environnemental ont été effectuées à une reprise en 2018 et devraient être effectuées de nouveau en 2019 à au moins deux reprises par le ministère des Forêts de la Faune et des Parcs, soit au début juillet et vers la mi-août (Marie-Josée Goulet, MFFP, *comm. pers.*). Cette méthode permet, avec un échantillon d'eau, de détecter la présence d'ADN provenant d'un organisme présent dans un certain rayon (variable selon l'habitat et la qualité d'eau, mais pouvant aller jusqu'à 300 m en rivière). Les délais de traitement des échantillons relativement longs en 2018 (résultats



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

disponibles seulement au printemps 2019) devraient être raccourcis et les résultats devraient être disponibles dans un délai d'un mois suivant les échantillonnages (Marie-Josée Goulet, MFFP, *comm. pers.*). Idéalement, un délai inférieur de traitement serait pertinent pour limiter le délai de détection et les possibilités d'analyse des résultats. Entre autres, un dernier échantillonnage à l'automne à la fin de la période d'introduction potentielle serait pertinent pour éliminer les possibilités d'introduction tardive, de même qu'un échantillonnage en juin ou en mai pour détecter la présence d'adultes et juvéniles implantés l'année d'avant (puisque à cette période aucune véligère n'est présente dans l'eau). De plus, étant donné que l'ADN environnemental n'est détectable que dans un certain rayon, cette méthode a le désavantage de ne pouvoir détecter que la présence, mais non d'éliminer l'absence à moins d'un très grand nombre d'échantillons à des coûts particulièrement importants. Toutefois, si réalisée à des endroits stratégiques placés près des sites potentiels d'arrivée comme les rampes de mise à l'eau et marina, ou encore à la sortie de l'émissaire et des tributaires, cette méthode demeure un complément intéressant aux autres méthodes.

Il serait possible en allant dans des laboratoires privés, à des coûts autour de 200 \$/station, d'obtenir des résultats dans un délai de deux semaines. Plusieurs laboratoires privés offrent ce type de tests autant au Canada qu'aux États-Unis. À titre indicatif, trois options sont présentées ci-dessous :

- Precision Biomonitoring inc.
- Genidaqs
- Cramer Fish Science

#### 4. Échantillonnage de véligères

Plusieurs protocoles de suivis utilisent l'échantillonnage de véligères à l'aide d'un filet à plancton dans la colonne d'eau. Cette méthode permet de déterminer non seulement la présence de véligères dans l'eau, mais également leur densité. Cet inventaire doit être réalisé en période de dispersion des larves, donc en août pour le lac Massawippi. L'échantillonnage des véligères demande un équipement particulier (filet à plancton spécialisé pour les véligères [mailles de 60 microns] et microscope pour l'observation [larves de quelques dizaines de microns à 250 microns]). Cet échantillonnage n'a pas été retenu comme priorité pour le lac Massawippi, mais il serait pertinent de le considérer éventuellement, si des collaborateurs scientifiques étaient en mesure de le réaliser. Il est toujours possible d'acheter le filet afin d'effectuer l'échantillonnage et de faire analyser dans un laboratoire externe les échantillons, mais le coût de cette opération risque d'être assez élevé. Pour des informations sur cette méthode, advenant que des opportunités d'équipement ou d'aide externe soient possibles, on peut consulter par exemple Houbek et coll. (2014)

## 2.2 INVENTAIRES COMPLÉMENTAIRES POUR MIEUX DOCUMENTER LA SITUATION INITIALE

À l'été 2018, des échantillonnages de pH et de taux de calcium ont été refaits à l'intérieur du lac Massawippi. Toutefois, les données sur un profil de température dans le lac dans le temps et l'espace ne sont pas disponibles. Ce dernier paramètre physicochimique est pourtant directement lié aux reproductions potentielles et à la croissance des moules zébrées pouvant être introduites. En effet, comme mentionné





## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

précédemment l'espèce ne se reproduit qu'à des températures au-dessus de 12 °C et ne croît que lorsque la température est supérieure à 8 °C. Les fosses profondes du lac ne sont donc probablement pas propices à l'établissement de populations, même si le taux de calcium est idéal partout dans le lac Massawippi.

Il existe également peu d'informations récentes sur les composantes biologiques et l'écologie du lac, notamment une documentation précise des poissons du lac et de leurs aires de reproduction et d'alevinage. Des inventaires à la senne ont été réalisés pour le MPO en 2017 sur 20 stations autour du lac pour détecter la présence du dard de sable (Picard, 2018). Cette méthode a été efficace pour détecter la présence d'autres espèces et éliminer la possibilité de présence de dards de sable, mais ne constitue pas une caractérisation complète des espèces présentes dans le lac. En effet, il faudrait utiliser une combinaison d'engins de pêche, pour réaliser un portrait complet des poissons du lac, incluant leur abondance. Il serait aussi pertinent de documenter les autres composantes biologiques, comme les invertébrés aquatiques.

Il serait ainsi pertinent de regarder la possibilité de réaliser une diagnose complète des paramètres physicochimiques et biologiques du lac qui pourrait servir de base de référence pour comparer l'impact d'une introduction potentielle dans le lac Massawippi. Pour ce faire, un partenariat avec une université, pour un projet de maîtrise par exemple, pourrait être une très bonne avenue pour réaliser un tel exercice et s'assurer de la robustesse scientifique des échantillonnages, et permettre éventuellement le suivi en cas d'introduction.

### 2.3 PORTRAIT DES PRISES D'EAU ET AUTRES À RISQUE DE DOMMAGES

Comme mentionné précédemment, l'introduction de moules zébrées dans un lac peut provoquer plusieurs impacts économiques par les dommages causés aux barrages, aux plages, aux bateaux et aux différentes structures anthropiques. Le blocage des prises d'eau est probablement le principal impact à craindre. En effet, les véligères de moules zébrées dérivant dans la colonne d'eau finissent par se fixer sur toute surface dure, dont l'intérieur du tuyau de la prise d'eau ou sur la grille d'accès (crépine). Ceci peut causer des défaillances et provoquer des bris ou empêcher le bon fonctionnement, et demander alors des mesures de nettoyage régulier ou d'adaptation de l'équipement. Il importe donc, suivant une introduction de moules zébrées dans le lac, d'inspecter ces structures et de vérifier si les tuyaux ne sont pas bloqués. La situation n'est pas automatique puisque les véligères de moules zébrées peuvent s'attacher sur des substrats seulement à des courants de moins de 2 m/sec (O'Neill, 1993). Cependant, même si en théorie le courant à l'intérieur des prises d'eau est rapide, des irrégularités comme des craques, des callosités dans les vieux tuyaux peuvent offrir des refuges de vitesse plus faibles où l'implantation de moules zébrées devient possible. L'accumulation subséquente d'autres moules une par-dessus les autres, ralentit encore plus la vitesse et accélère la colonisation.

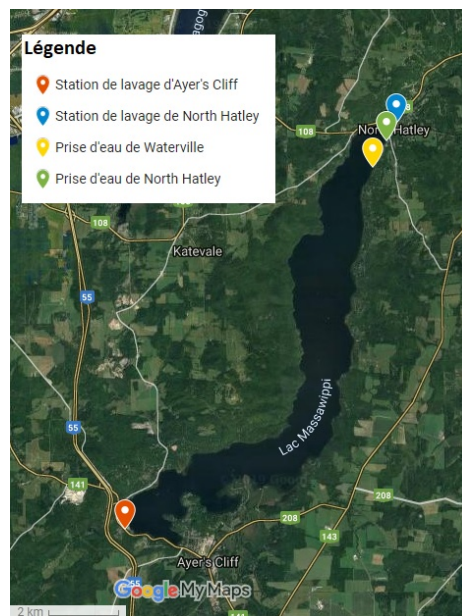
Dans le cas du lac Massawippi, l'introduction des moules zébrées constitue surtout un risque pour les prises d'eau des villes de Waterville et de North Hatley, et indirectement au canton de Hatley qui est connecté au réseau de Waterville et de North Hatley. La ville d'Ayer's Cliff puisant son eau de façon souterraine, leur système d'eau potable n'est pas à risque d'être affecté. Toutefois, il y a des prises d'eau privées de résidences permanentes et de villégiatures qui pourraient être également affectées. Selon une estimation effectuée à partir du système d'information hydrogéologique, localisant les forages (MELCC, 2019), il existerait plusieurs dizaines de prises d'eau privées qu'il serait pertinent de documenter. En effet,



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

un inventaire des prises d'eau dans le lac et autres structures anthropiques pouvant être touchées dans le lac Massawippi et la rivière Massawippi serait pertinent. Les localisations géographiques des puits de forages situés près de la rive pourraient être inspectées pour vérifier la présence directe. Une photo et une localisation précise des prises d'eau, et une estimation de la vitesse de courant à l'entrée devraient être effectuées. Les informations déjà disponibles dans la banque de données du SIH et sur le terrain devraient être combinées dans un fichier Excel. Il serait pertinent de mettre les coordonnées de contact et le nom des propriétaires de la prise d'eau pour les contacter en cas d'urgence. Ce fichier monté serait utile en cas d'introduction pour effectuer le suivi rapidement des prises d'eau et avertir les propriétaires de l'éventuelle problématique.

Notons que le barrage de la rivière Massawippi est également à risque. En effet, le débit moyen du barrage de juillet à août pendant la période d'implantation des végigères est relativement faible, variant entre 2 et 4 m<sup>3</sup>/sec. Considérant que la rivière et le barrage font au moins 50 m de large et qu'un niveau d'eau minimal y circule, les vitesses de courant ne devraient pas être suffisamment rapides pour empêcher l'implantation des végigères. Il sera important d'effectuer le suivi de cette structure également et de l'ajouter au fichier des structures anthropiques à risque.



**Figure 2** Localisation des sites de prises d'eau à risque et des deux principales stations de lavage (carte réalisée et fournie par Bleu Massawippi)

## 2.4 AUGMENTATION DE L'INTENSITÉ DU LAVAGE DES EMBARCATIIONS

Il existe présentement deux stations de lavage, soit celle dans la marina d'Ayer's Cliff (473 rue Main, Ayer's Cliff) et celle de North Hatley (240 rue Mill, North Hatley) (figure 2). Les deux sont ouvertes de 8 à 20 h entre le 15 juin et le début septembre, et ce 7/7 jours, à moins de mauvaises conditions météorologiques. Notons que ces stations ne fonctionnent cependant qu'au moyen de jets d'eau sous pression. Cette



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

méthode à une bonne efficacité, mais idéalement, seul le lavage avec de l'eau chaude (plus de 10 secondes à 60 °C ou 5 secondes à 80°) présente une efficacité de 100 % (Morse, 2009).

Les informations sur l'achalandage sont synthétisées dans un rapport produit par Bleu Massawippi (2018). Toutefois, il faut garder en tête que l'effort d'échantillonnage est biaisé en faveur de la station à Ayer's Cliff. On sait toutefois qu'au moins 2000 personnes utilisent chaque année la station de lavage au lac Massawippi et 300 autres à la station de North Hatley. Un bon nombre semble arriver avant l'ouverture des stations de lavage dès 6-7 h. Parmi les personnes fréquentant les stations de lavage du lac Massawippi avec leurs embarcations, environ 20 % provenaient de Sherbrooke et 2,5 % de Magog, s'additionnant ainsi comme risque aux 55 % qui provenaient de l'extérieur de la région. Tous ces bateaux peuvent être considérés comme potentiellement contaminés. On parle ici d'une augmentation importante de risque de l'ordre de plus de 50 %, sans compter la plus grande proximité terrestre, et ainsi des risques d'introduction accrus.

Pour limiter au maximum les risques d'introduction, il devient urgent d'augmenter l'intensité du lavage et de prendre toutes les mesures qui s'imposent pour s'assurer que la totalité des embarcations fréquentant le lac soit effectivement lavée. Quelques mesures sont ainsi proposées :

1. Une documentation et une fermeture de tous les accès et débarcadères non surveillés devraient être également envisagées. En effet, il faut s'assurer d'éviter l'entrée d'embarcations non lavées sur le lac Massawippi, et ce, par tous les moyens raisonnables ;
2. Il faudrait augmenter la surveillance des patrouilleurs et autres intervenants pour s'assurer du respect du règlement sur le lavage par les plaisanciers. L'intensité des patrouilles devrait être augmentée, de même que l'application de contraventions pour inciter les utilisateurs au lavage. La mise en place du règlement seul n'est pas suffisante, s'il n'y a aucune sanction appliquée en cas de non-respect de la réglementation ;
3. Il serait pertinent de laver les embarcations à la sortie du lac Memphrémagog et autres zones à risque en particulier de la mi-juillet à la fin août lorsque les densités de végétales sont maximales. Le lavage à la sortie est plus simple à appliquer surtout pour du lavage à pression et diminuerait certainement les possibilités d'introduction au lac Massawippi. Ceci n'enlèverait pas l'obligation de laver à l'entrée du lac Massawippi, mais augmenterait certainement l'efficacité du contrôle ;
4. Advenant la découverte de moules zébrées au lac Massawippi, l'ajout de lavages à la sortie devrait être également envisagé pour ce lac ;
5. De plus, les stations de lavage au lac Massawippi devraient être ouvertes plus tôt en juillet et août pour permettre de laver un plus grand nombre d'embarcations. En effet, l'ouverture un peu tardive à 8 heures constitue un risque que des embarcations se fauillent avant l'ouverture ;
6. Évaluer la pertinence d'installer des caméras de surveillances aux sites de mise à l'eau pour documenter les accès sans lavage ;
7. Il serait pertinent que le lavage s'effectue à l'eau chaude pour permettre une efficacité de lavage se rapprochant le plus du 100 % ;
8. Pour assurer ce lavage à l'eau chaude et permettre également le lavage ponctuel à d'autres endroits, l'ajout d'une station de lavage mobile à l'eau chaude devrait être envisagé. Ceci permettrait également l'implantation rapide d'un lavage à la sortie advenant une introduction au lac Massawippi pour limiter la contamination des autres plans d'eau.



## 2.5 SENSIBILISATION INTENSIVE DES RIVERAINS

Il serait pertinent de mieux informer les riverains quant à l'identification de la moule zébrée et de les sensibiliser au maximum à l'importance du lavage. Il importe en effet de rendre acceptables socialement les stations de lavage et de responsabiliser les plaisanciers et autres utilisateurs du lac Massawippi. Les citoyens doivent se sentir concernés par ce risque écologique et économique, et devenir parties prenantes des efforts de prévention de l'introduction de la moule zébrée.

Plusieurs méthodes de sensibilisation peuvent être utilisées, incluant des conférences et séances d'informations, des publicités dans les journaux locaux, la distribution de dépliants, l'installation de pancartes et d'affiches ou l'utilisation des réseaux sociaux. On pourrait par exemple rendre disponibles des dépliants ou des cartes déjà produits par des organismes partenaires, comme le ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP), le Centre québécois des espèces exotiques envahissantes (CQEEE) ou encore la MRC de Memphrémagog. Parallèlement à ces documents de format papier, des liens vers les sites Internet pourraient être publicisés sur le site de Bleu Massawippi ou les pancartes aux stations de lavage. Voici une liste non exhaustive de sites pouvant être utilisés :

- Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP). La moule zébrée (*Dreissena polymorpha*). Adresse du site Internet : <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/moule-zebree/>
- Pêche et Océans Canada (MPO). Moule zébrée (*Dreissena polymorpha*). Adresse du site Internet : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profil/zebramussel-moulezebree-fra.html>
- Centre québécois des espèces exotiques envahissantes (CQEEE). La moule zébrée Adresse du site Internet : [http://cqeee.org/?page\\_id=682](http://cqeee.org/?page_id=682)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MELCC). SENTINELLE. Outil de détection des espèces exotiques envahissantes : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/sentinelle.htm>

Notons que le dernier outil est une application mobile disponible gratuitement qui envoie les données dans une banque centralisée au MELCC. Les citoyens devraient être cependant encouragés à contacter également Bleu Massawippi pour s'assurer du transfert d'informations le plus rapidement possible. Advenant une introduction de la moule zébrée, Bleu Massawippi pourrait s'assurer de transmettre l'information sur cette application.



## 2.6 MISE EN PLACE D'UN PLAN D'URGENCE

Finalement, il serait important d'établir et fournir d'avance aux intervenants concernés le plan d'urgence à appliquer advenant une introduction. Le présent avis scientifique n'avait pas pour but de préparer un plan d'urgence, les grandes lignes de ce que celui-ci devrait contenir sont tout de même présentées dans ce document.

Le plan d'urgence devrait contenir minimalement les éléments suivants :

- Liste des autorités contacts et partenaires à tenir au courant : il est suggéré qu'au minimum le MFFP, le MELCC, le CQEEE, la MRC de Memphrémagog, les municipalités riveraines, les propriétaires des prises d'eau, propriétaire du barrage, la Ville de Sherbrooke (puisque les véligères vont atteindre cette ville en dérivant), etc. (mise à jour régulière);
- Plan de communication (communiqué de presse ou autre) : les citoyens devraient être tenus au courant rapidement suivant la détection d'une introduction pour limiter le risque de propagation;
- Plan d'échantillonnage d'urgence post-invasion;
- Liste des ressources humaines et financières possibles pour effectuer ce suivi d'urgence;
- Liste des ressources pour effectuer des interventions dans des problématiques de prises d'eau bloquées ou autres;
- Ressources scientifiques et professionnelles pouvant offrir des conseils scientifiques sur les actions à prendre (contrôle envisageable et meilleures méthodes) selon les dernières connaissances disponibles. Synthèse des recommandations :
  1. Effectuer un suivi par des substrats artificiels, de la recherche active et de l'ADN environnemental annuellement au minimum et idéalement à intervalles réguliers d'un mois entre mai et octobre ;
  2. Trouver un partenaire qui pourrait réaliser une diagnose complète du lac Massawippi pour obtenir une base de référence récente autant physicochimique que biologique ;
  3. Monter un fichier synthèse des structures anthropiques à risque de dommages par les moules zébrées ;
  4. En plus des prises d'eau privées, il faudrait documenter aussi toutes les rampes de mise à l'eau privées (nombre et type d'embarcations, fréquence d'utilisation, etc.);
  5. Acquérir une station de lavage mobile à l'eau chaude permettant d'augmenter l'efficacité du lavage et d'être implantée rapidement en cas d'urgence ;
  6. Fermer tous les accès et débarcadères non surveillés ;
  7. Augmenter la surveillance pour le respect du règlement sur le lavage. Augmenter l'intensité des patrouilles et imposer des sanctions (contraventions) susceptibles d'inciter les utilisateurs au lavage ;
  8. Effectuer des représentations auprès de la MRC Memphrémagog pour vérifier les possibilités d'augmenter ou d'ajuster les heures d'ouverture, d'effectuer des lavages à la sortie du lac



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

Memphrémagog en particulier, et d'effectuer du lavage à l'eau chaude en particulier de la mi-juillet à la fin du mois d'août ;

9. Monter une campagne de sensibilisation intensive et efficace pouvant être réalisée en partie à l'aide de partenaire pour augmenter les chances de détection et sensibiliser les utilisateurs du lac Massawippi à l'importance du lavage ;
10. Préparer un plan d'urgence prêt à être utilisé en cas de détection de la moule zébrée.



### 3. RÉFÉRENCES

- Bleu Massawippi. 2018. Synthèse des résultats. Provenance des usagers. 16 pages.
- Biorex inc. 1995a. Exigences écologiques de *Dreissena polymorpha* et *Dreissena bugensis* et prévisions relatives à leur occurrence dans les lacs, rivières et réservoirs du Québec. Rapport final. Volume I. Rapport présenté la Direction de la recherche et des technologies environnementales, ministère de l'Environnement et de la Faune. 171 pages.
- Biorex inc. 1995 b. Exigences écologiques de *Dreissena polymorpha* et *Dreissena bugensiet* prévisions relatives à leur occurrence dans les lacs, rivières et réservoirs du Québec. Rapport final. Volume II. Rapport présenté la Direction de la recherche et des technologies environnementales, ministère de l'Environnement et de la Faune. 129 pages.
- Cohen, A.N. 2005. A Review of Zebra Mussels' Environmental Requirements. Rapport pour le California Department of Fish and Game. Oakland, Californie 33 pp.
- Cohen, N. C. et A. Weinstein. 2001. Zebra Mussel's Calcium Threshold and Implications for its Potential Distribution in North America. Rapport publié par le San Francisco Estuary Institute. 41 pages + 1 annexe.
- Cope, W.G., M.R. Bartsch et J.E Hightower. 2006. Population dynamics of zebra mussels *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) during the initial invasion of the upper Mississippi river, USA, *Journal of Molluscan Studies* 72 (2): 179–188.
- Gagnon, J.-F. 2017. La moule zébrée fait son apparition au lac Memphrémagog. *Journal La Tribune*, le samedi 22 juillet 2017. Article disponible à l'adresse Internet : <https://www.latribune.ca/actualites/la-moule-zebree-fait-son-apparition-au-lac-memphremagog-45491035ef1824d176d376bfa28cc649>.
- Holoubek, N. S., J. M. Goeckler, B. R. Smith, et D. R. Edds. 2014. Comparison of zebra mussel veliger laboratory enumeration and sampling techniques. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 117:69–75.
- Jones, L.A. et A. Ricciardi. 2005. Influence of physicochemical factors on the distribution and biomass of invasive mussels in the St. Lawrence River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62:1953-1962.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E. et Padilla D.K. 2002. Impacts of Zebra Mussels on Aquatic Communities and their Role as Ecosystem Engineers. Dans: Leppäkoski E., Gollasch S., Olenin S. (éditeurs) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Springer, Dordrecht.
- Lucy, F. 2006. Early life stages of *Dreissena polymorpha* (zebra mussel): the importance of long-term datasets in invasion ecology. *Aquatic Invasions* (2006) Volume 1, Issue 3:171-182. DOI: 10.3391/ai.2006.1.3.12.



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

- Mackie, G.L., and Claudi, R. 2010. Monitoring and control of macrofouling molluscs in fresh water systems. 2nd Ed. CRC Press, New York. 508 p.
- Martel, A. 1993. Dispersal and recruitment of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in a nearshore area in west— central Lake Erie: the significance of postmetamorphic drifting. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50:3-12.
- Martel, A. 1995. Demography and growth of the exotic zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Rideau River (Ontario). Canadian Journal of Zoology, 73:2244–2250.
- Martel, A.L. et J.B. Madill. 2018. Twenty-six years (1990–2015) of monitoring annual recruitment of the invasive zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Rideau River, a small river system in Eastern Ontario, Canada. Revue canadienne de zoologie 96(10): 1071-1079. <https://doi.org/10.1139/cjz-2017-0360>.
- Martel A. 1993. Dispersal and recruitment of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in a nearshore area in west-central Lake Erie: the significance of postmetamorphic drifting. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50(1): 3-12.
- Martel A., A.F. Mathieu, C.S. Findlay, S.J. Nepszy et L.H. Leach. 1994. Daily settlement rates of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, on an artificial substrate correlate with veliger abundance. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51(4): 856-861.
- Mellina, E. et J.B. Rasmussen. 1994. Patterns in the distribution and abundance of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in rivers and lakes in relation to substrate and other physicochemical factors. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51:1024–1036.
- Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP). [2019]. La moule zébrée (*Dreissena polymorpha*). Adresse du site Internet : <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/moule-zebrée/> [consulté le 5 juillet 2019].
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques (MELCC). [2019]. Système d'information hydrogéologique (SIH). Banque de données interrogeable disponible à l'adresse Internet : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/> [consulté et cartographié par Bleu Massawippi le 28 juin 2019]
- O'Neill, C. R. Jr. 1993: Coastal Resources Fact Sheet, July 1993. New York Sea Grant, SUNY College at Brockport, New York.
- Orjikh, A. 2014. Profil physicochimique de l'eau du lac Memphrémagog, saison estivale 2014. Étude effectuée par la patrouille du MCI 2014. 32 pages. Rapport disponible sur le site Internet : [http://www.memphremagog.org/FCKeditor/ckfinder/userfiles/files/Centre\\_de\\_documents/FR/Rapport-profil-physicochimiques-2014.pdf](http://www.memphremagog.org/FCKeditor/ckfinder/userfiles/files/Centre_de_documents/FR/Rapport-profil-physicochimiques-2014.pdf).
- Picard, I. 2018. Évaluation de la présence de dard de sable dans le lac Massawippi et la baie Missisquoi. Étude réalisée pour le compte de Pêches et Océans Canada. 31 p. + 5 annexes.





## AVIS SCIENTIFIQUE SUR LA MOULE ZÉBRÉE AU LAC MASSAWIPPI

- Picard, I. et S. Doyon. 2018. Vérification de la présence de moules zébrées dans la baie de Magog au lac Memphrémagog et première évaluation de l'état de situation. Étude réalisée pour Memphrémagog Conservation inc. (MCI). 11 pages.
- Pêche et Océans Canada (MPO). [2019]. Moule zébrée (*Dreissena polymorpha*). Adresse du site Internet : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profils/zebramussel-moulezebrée-fra.html> [consulté le 5 juillet 2019].
- Ramcharan, C. W., D. K. Padilla et S. I. Dodson. 1992. Models to predict potential occurrence and density of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 2611-2620.
- Société de la Faune et des Parcs du Québec (FAPAQ). 2000. Diagnostic des plans d'eau pour la moule zébrée. Banque de données des caractéristiques physicochimiques et des diagnostics mise à jour avec les échantillons prélevés en 1999. Banque de données. Banque de données comprenant 3184 enregistrements.
- Sprung, M. 1987. Ecological requirements of developing *Dreissena polymorpha* eggs. Arch. Hydrobiol./Suppl. 79:69-86.
- Therriault, T.W., A.M. Weise, S.N. Higgins, S. Guo et J. Duhaime. 2013. Risk Assessment for Three Dreissenid Mussels (*Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, and *Mytilopsis leucophaeata*) in Canadian Freshwater Ecosystems. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/174 v + 88 p.
- Whittier, T.R., R.L. Ringold, A.T. Herlihy et S.M Pierson. 2008. A calcium-based invasion risk assessment for Zebra and Quagga Mussels (*Dreissena spp*). Front. Ecol. Environ. 6:180-184.

