

Rapport de la coordination terrain des travaux de suivi et de contrôle des populations de moules zébrées dans le lac Memphrémagog et ses environs

Conseil québécois des espèces exotiques envahissantes

2020



COORDINATION DU PROJET



Conseil québécois des espèces
exotiques envahissantes

Chargée de projet du CQEEE responsable de la coordination :

Camille Gosselin-Bouchard, Bac. Biologie
Camille.Gosselin-Bouchard@usherbrooke.ca

Directrice de projet :

Hélène Godmaire, Ph.D.

PARTENAIRES



Collecte de données :

Bleu Massawippi

Vincent Lemieux, Coordonnateur
Alexandre Martineau, Stagiaire
Alexandre Grégoire-Mailhot, Stagiaire

FNX-INNOV

Laurie Lamoureux-Samson, Biologiste
Rose Provençal-Lachance, Technicienne
Xavier Allard, Biologiste
Vincent Létourneau, Chef de service

Memphrémagog Conservation Inc.

Ariane Orjikh, Directrice générale
Eric Phendler, Coordonnateur de la patrouille
Marguerite Duchesne, Patrouilleuse
Frédérique Thibault-Lessard, Patrouilleuse

Plongeurs professionnels :

Jean-Marc Gaudreau, Plongeur
Hélène Pomerleau, Assistante
Denis Mongeau, Plongée Magog

Suivi du projet et correction du rapport :

David Largy-Nadeau, Chargé de projet en environnement, MRC de Memphrémagog
Mélanie Desautels, Coordonnatrice au développement durable, MRC de Memphrémagog

Table des matières

COORDINATION DU PROJET	1
PARTENAIRES	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1 LA MOULE ZÉBRÉE (<i>DREISSENA POLYMORPHA</i>).....	3
1.2 HISTORIQUE DE L'INFESTATION EN ESTRIE.....	5
2. OBJECTIFS DU MANDAT	7
3. DESCRIPTION DES SITES À L'ÉTUDE	9
3.1 LAC MEMPHRÉMAGOG	9
3.2 RIVIÈRE ET LAC MAGOG	9
3.3 LAC MASSAWIPPI.....	10
4. MÉTHODES D'INVENTAIRE	11
4.1 ÉVALUATION DE LA DISTRIBUTION PAR RECHERCHE ACTIVE.....	11
4.2 ÉVALUATION DE LA DENSITÉ	12
4.3 SUBSTRATS ARTIFICIELS	13
4.4 ACTIVITÉS DE CONTRÔLE DE LA MOULE ZÉBRÉE	16
5. PORTRAIT DE L'INVASION DE LA MOULE ZÉBRÉE EN 2020	18
5.1 DISTRIBUTION DE LA MOULE ZÉBRÉE ET COMPARAISON AVEC 2019	18
5.2 DENSITÉS DE MOULE ZÉBRÉE ET COMPARAISON AVEC 2019.....	25
5.3 SUBSTRATS ARTIFICIELS	32
5.4 FIXATION DES MOULES ZÉBRÉES SUR DES MULETTES INDIGÈNES	33
6. PERSPECTIVES	34
6.1 PRÉVISIONS.....	34
6.2 ÉVALUATION DE LA PERTINENCE DE DIFFÉRENTES MÉTHODES DE SUIVI	35
6.3 RECOMMANDATIONS.....	39
BIBLIOGRAPHIE	44

1. MISE EN CONTEXTE

1.1 La moule zébrée (*Dreissena polymorpha*)

La moule zébrée est un petit bivalve d'eau douce provenant du bassin de la mer Caspienne. Mesurant à peine 5 cm, elle tient son nom des rayures qu'on retrouve généralement sur sa coquille. L'espèce a cependant une apparence très variable et il ne s'agit pas d'un critère d'identification fiable. Ce qui la distingue de nos espèces de moules indigènes, appelées aussi mulettes indigènes, est le fait que la moule zébrée se fixe aux surfaces solides à l'aide de ses byssus, qui sont des groupes de filaments situés sur sa face ventrale plane. Ceux-ci lui servent à s'accrocher solidement à diverses surfaces telles des roches, mais aussi à des structures anthropiques telles que des quais, des coques de bateaux ou des tuyaux de prise d'eau.

La moule zébrée tient sa capacité d'invasion à sa reproduction efficace et abondante. Elle est capable de se reproduire dès que la température de l'eau atteint 12°C (Borcherding, 1991). Chaque année, pendant la saison de reproduction, une femelle moule zébrée adulte peut pondre jusqu'à 1 000 000 œufs qui éclosent ensuite pour devenir des larves invisibles à l'œil nu appelées véligères. Celles-ci dérivent généralement



Large (véligère) de dreissenidé

pendant 2 à 3 semaines, pour ensuite se fixer à une surface solide (Lucy, 2006). Le temps de dérive peut cependant être aussi court que 8 jours, et aussi long que 240 jours dans certaines régions (Nichols, 1996). Il dépend surtout de la température de l'eau : les larves se développent plus rapidement dans une eau plus chaude. Les véligères, ainsi emportées par le courant, permettent à la moule de se propager rapidement vers l'aval du cours d'eau qu'elle habite. Contrairement à nos mulettes indigènes qui peuvent vivre de nombreuses années, voire des décennies, la moule zébrée ne vit que 3 ou 4 ans.

C'est en filtrant de grandes quantités d'eau que la moule zébrée s'alimente. Elle en extrait le plancton et des particules organiques. Chaque individu est capable de filtrer jusqu'à 1 litre d'eau par jour et comme les moules zébrées peuvent atteindre des densités de 100 000 individus par

mètre carré à des endroits fortement infestés, elles sont des compétiteurs importants pour les organismes filtrants indigènes comme les moulettes (Timar & Phaneuf, 2009).

La moule zébrée est capable de coloniser une grande variété d'habitats, mais elle préfère les cours d'eau à faible débit et les substrats rocheux, sableux ou denses en macrophytes. On la trouve généralement à des profondeurs de 0 à 12 mètres. Des moules zébrées ont cependant été observées à des profondeurs beaucoup plus importantes au Canada, allant jusqu'à 95 m dans le lac Ontario (Mills, et al., 1993). Dans le Memphrémagog, des individus avaient été trouvés à 8 m en 2019.

Les principaux facteurs limitants restent toutefois le taux de calcium de l'eau. En Europe, elle ne peut coloniser de cours d'eau ayant des taux de calcium plus bas que 28.3 mg/l et un pH de moins de 7.3 (Ramcharan, Padilla, & Dodson, 1992). En Amérique du Nord, elle s'est adaptée et parvient à survivre à des taux de calcium aussi bas que 12 mg/l pour un pH semblable au minimum européen (Whittier, Ringold, Herlihy, & Pierson, 2008). Cependant, elle survit et se reproduit de façon optimale à des concentrations de plus de 20 ou 25 mg/l.

Figure 1
Niveau de susceptibilité des cours d'eau à une infestation par la moule zébrée en fonction de leur concentration en calcium en Amérique du Nord
(Therriault, Weise, Higgins, Guo, & Duhaime, 2013)

Catégorie	Définition	Moule zébrée Ca (mg/l)
Très faible	Les adultes ne peuvent pas survivre.	< 12
Moyenne	On constate que la survie des adultes ET la reproduction sont assurées à un niveau minimal.	12 -19
Élevée	On constate que la survie et la reproduction sont assurées pour des populations de bonne taille.	20 - 25
Très élevée	Concentrations optimales ou presque pour tous les stades du cycle biologique des moules, se traduisant généralement par un niveau d'infestation élevé à très élevé.	> 25

La moule zébrée est capable de survivre hors de l'eau pour de longues périodes allant de 3 à 18 jours selon le taux d'humidité ambiant et la température (McMahon, Ussery, & Clarke, 1993). Cela lui permet donc de coloniser d'autres points d'eau en s'accrochant par exemple aux embarcations qui circulent d'un bassin versant à l'autre. Les véligères survivent quant à elles très peu de temps hors de l'eau, et elles représentent un risque pour la colonisation de nouveaux lacs lorsqu'elles

sont transportées dans l'eau résiduelle des ballasts ou autres compartiments des bateaux. Il a été démontré qu'elles peuvent survivre dans l'eau résiduelle des bateaux pendant 5 jours dans des conditions chaudes estivales, mais que dans les conditions plus fraîches de l'automne, elles pouvaient survivre jusqu'à 27 jours (Choi, Gerstenberger, McMahon, & Wong, 2013).

Une infestation de moule zébrée a d'importantes conséquences écologiques et socioéconomiques telles que l'obstruction des prises d'eau potable, le bris des moteurs de bateau, une diminution de la nourriture pour les poissons, la disparition des moules indigènes ou encore le risque de blessures aux pieds des baigneurs. Il va sans dire que les impacts sur les utilisateurs, les riverains, les pêcheurs, les touristes, les gestionnaires d'infrastructures (barrages, usine de traitement d'eau potable, etc.) et les municipalités riveraines sont nombreux.



Bouée envahie de moules dans les Grands Lacs, en Ontario

1.2 Historique de l'infestation en Estrie

La moule zébrée est une espèce envahissante redoutable. Dès les années 1700, elle a su coloniser l'Europe, puis l'Amérique du Nord à partir de 1986. Quelques années seulement après son introduction en Amérique du Nord, elle avait déjà colonisé les Grands Lacs, puis le fleuve Saint-Laurent. C'est l'humain qui est en grande partie responsable de son expansion en transportant des spécimens adultes fixés aux bateaux ou des véligères dans les viviers, moteurs ou ballasts. C'est d'ailleurs probablement via les ballasts des navires transocéaniques que la moule est arrivée en Amérique. Maintenant, sa présence est connue dans le fleuve Saint-Laurent jusqu'à l'Île d'Orléans, où la salinité devient trop élevée pour sa survie, ainsi que dans la rivière Richelieu, le lac Champlain, le lac des Deux Montagnes, la rivière des Outaouais côté ontarien, et depuis tout récemment, en Estrie.

Suite à la découverte de la moule zébrée dans le fleuve Saint-Laurent, Dr Anthony Ricciardi et Dr Joseph Rasmussen, des chercheurs experts sur les EEE de l'Université McGill, ont émis des recommandations en 1996 visant à prévenir son introduction au lac Memphrémagog. C'est ainsi que certaines mesures, telles le lavage des embarcations qui entrent dans le lac, ont été instaurées. Il est probable que ces mesures et le taux de calcium suboptimal du lac Memphrémagog ont permis d'éviter l'introduction de la moule zébrée pendant près de 20 ans, et ce, malgré la proximité du fleuve Saint-Laurent, du lac Champlain et de la rivière Richelieu. Malheureusement, des spécimens de moule zébrée ont été découverts dans le lac Memphrémagog en 2017. L'établissement de l'espèce a ensuite été confirmé en 2018 et de faibles densités ont été mesurées à ce moment (Picard & Doyon, 2018). Des mentions de moules zébrées ont aussi été enregistrées dans le lac Magog. Par la suite, en 2019, une stagiaire doctorale a pu être embauchée par la MRC de Memphrémagog grâce à une subvention de Pêches et Océans Canada. C'est ainsi que Geneviève d'Avignon de l'Université McGill a été mandatée pour poursuivre l'acquisition des connaissances à travers le territoire s'étendant du lac Memphrémagog jusqu'à la rivière Magog à la hauteur de Sherbrooke, en passant par le lac Massawippi. Ces inventaires ont révélé une progression dans l'envahissement de la moule zébrée, et des densités en augmentation (D'Avignon, Ricciardi, Bourgault, & Hsu, 2020). Ils n'ont cependant révélé la présence d'aucune moule dans le lac Massawippi, alors que celui-ci présente un taux de calcium lui étant très propice.

En 2019, la moule zébrée avait été découverte aussi loin qu'en amont des îlots de la Scaswan, dans la rivière Magog Sud, à Sherbrooke. Un substrat artificiel avait en effet révélé la présence d'un apport en véligères jusqu'à ce point. Aucune moule n'avait été trouvée accrochée au substrat fixé dans la rivière Saint-François. Malheureusement, le 23 juin 2020, une moule zébrée adulte a été découverte dans la rivière Saint-François juste en aval du barrage de Windsor par l'équipe du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. On ne peut exclure que cet individu soit issu d'une autre introduction que celle à l'origine de la population du lac Memphrémagog. Cependant, il est fort probable, vu la stratégie de reproduction de la moule zébrée, qu'elle révèle un important avancement de la propagation de l'invasion, laquelle pourrait même avoir dépassé le territoire de Sherbrooke et de notre mandat.

2. OBJECTIFS DU MANDAT

La présence de la moule zébrée a des répercussions potentielles au niveau environnemental, social et économique de la région. Plusieurs partenaires provenant de différentes organisations se sont mobilisés autour de cette problématique et sont prêts à mettre du temps et des ressources afin de faire un suivi et limiter les impacts causés par l'infestation. Cependant, le mandat et le territoire de chacun de ces partenaires étant différents, un des enjeux qui avait été relevé en 2019 était la difficulté de la coordination des actions entre les différents partenaires.

Afin d'améliorer la logistique des opérations en 2020, un mandat a été octroyé par la MRC de Memphrémagog et la Ville de Sherbrooke au Conseil québécois des espèces exotiques envahissantes.

Les objectifs visés pour le mandat étaient :

- La coordination des différentes activités de terrain réalisées par les partenaires;
- La réalisation de certaines tâches d'acquisition de connaissances sur la moule zébrée pour le lac Magog, la rivière Magog et le lac Memphrémagog;
- L'organisation d'événements bénévoles de contrôle
- La production d'un rapport résumant les activités réalisées au cours de l'été par le CQEEE et les partenaires ainsi que l'état de la situation concernant la moule zébrée dans le territoire à l'étude.

Les partenaires impliqués dans le projet :

- Bleu Massawippi
- Memphrémagog Conservation Inc. (MCI)
- Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parc (MFFP)
- Ville de Magog
- Ville de Sherbrooke et son sous-traitant FNX-INNOV

Les autres partenaires du projet sont :

- Association pour la préservation du lac Magog (APLMagog)
- Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François (COGESAF)
- Conseil régional en environnement de l'Estrie (CRE Estrie)

Le mandat octroyé au CQEEE comprenait également l'obtention d'un permis SEG du MFFP autorisant la manipulation, capture et la congélation des moules zébrées pour l'ensemble des partenaires.

3. DESCRIPTION DES SITES À L'ÉTUDE

3.1 Lac Memphrémagog

Situé tout au sud du Québec dans la MRC de Memphrémagog, le lac Memphrémagog revêt une importance particulière pour la région. En effet, en plus d'abriter une grande biodiversité et d'offrir une panoplie d'activités récréatives, il fournit de l'eau potable à 175 000 personnes de Sherbrooke, Magog et de municipalités riveraines. Le lac Memphrémagog est allongé et étroit. Il mesure 44 km de longueur et s'étend de Newport au Vermont (États-Unis) d'où il prend sa source, jusqu'à Magog au Québec où il se jette dans la rivière Magog. Il s'agit d'un des lacs les plus profonds de l'Estrie, atteignant une profondeur maximale de 107 m.

Les activités récréotouristiques qui y sont pratiquées sont variées et nombreuses, allant de la navigation de plaisance à la pêche sportive, en passant par la plongée sous-marine, la baignade et la planche à voile. Il s'agit d'ailleurs d'un pôle touristique important pour la région, et par conséquent d'un moteur économique.

Le lavage des embarcations est obligatoire pour accéder au lac Memphrémagog. Il y a cinq stations de lavage à la disposition des usagers et elles se trouvent à Ogden, Canton de Stanstead (à Fitch Bay), Potton et deux se trouvent à Magog (au Club de Voile et à la Capitainerie).

Selon le tableau d'analyse développé par Therriault et al., plusieurs secteurs du lac Memphrémagog sont considérés comme à risque élevé de contamination par la moule zébrée de par leurs concentrations en calcium (Figure 1). En effet, on y trouve des concentrations allant jusqu'à 20.2 mg/L (D'Avignon, Ricciardi, Bourgault, & Hsu, 2020), ce qui indique que le lac peut supporter la reproduction et la croissance des populations, mais de manière suboptimale. Certains affluents du lac transportent de fortes concentrations de calcium et peuvent contribuer à créer un milieu plus favorable à la moule.

3.2 Rivière et lac Magog

La rivière Magog prend son origine du lac Memphrémagog à Magog, et elle se jette dans la rivière Saint-François à Sherbrooke. Le lac Magog est un renflement de la rivière et il s'étend de Sainte-Catherine-de-Hatley à Sherbrooke (secteur Deauville). Sept barrages hydroélectriques sont

répartis le long de la rivière Magog. Dans le présent rapport, la section allant du lac Memphrémagog au lac Magog sera nommée « Rivière Magog Sud », tandis que la section allant du lac Magog à la rivière Saint-François s'appellera « Rivière Magog Nord ».

Le lavage des embarcations n'est pas obligatoire pour accéder à la rivière Magog ou au lac Magog.

Le lac et la rivière Magog présentent des concentrations de calcium autour de 18.3 mg/L (Ville de Sherbrooke, 2020). Ces taux peuvent être plus bas à certains endroits, mais les valeurs ne descendent pas sous 12 mg/L qui est le minimum pour la survie des moules zébrées (Figure 1). Les conditions sont donc moyennement bonnes pour la moule zébrée, qui pourrait s'y reproduire et y survivre, mais de façon minimale.

3.3 Lac Massawippi

Le lac Massawippi se situe dans la MRC de Memphrémagog, à l'est du lac Memphrémagog, de la rivière Magog Sud et du lac Magog. Il appartient à un bassin versant différent de celui de ces cours d'eau. De forme allongée et d'une longueur de 14 km, le lac Massawippi se situe entre Ayer's Cliff, à son extrémité sud, et North Hatley à son extrémité nord. Il s'agit d'un des lacs les plus profonds de la région, atteignant plus de 75 m à certains endroits. Son affluent principal est la rivière Tomifobia, et il se jette dans la rivière Massawippi, qui elle s'écoule dans la rivière Saint-François à Lennoxville. Il s'agit d'une destination vacances populaire auprès des Américains depuis la fin du 19^e siècle et le lac attire un grand nombre de touristes et de locaux qui y pratiquent de nombreuses activités telles la baignade, la navigation et la pêche. Le lac Massawippi est aussi la source d'eau potable pour plusieurs municipalités de la région.

Comme au lac Memphrémagog, le lavage des embarcations est obligatoire pour accéder au lac. Trois stations de lavage d'embarcations sont disponibles pour les usagers : une à North Hatley, une à Ayer's Cliff, et une station mobile opérée par Bleu Massawippi, qui est l'association de protection du lac.

Le lac Massawippi présente un risque très élevé d'introduction, car le calcium y dépasse 25 mg/l. Ce lac épargné jusqu'à maintenant par la moule est par conséquent très sensible à l'envahisseur : si la moule zébrée y était introduite, elle pourrait s'y reproduire et y survivre avec grand succès et pourrait atteindre des densités très élevées.

4. MÉTHODES D'INVENTAIRE

Les méthodes d'inventaires ont été développées par des experts dans le domaine et sont inspirées de protocoles développés dans d'autres régions aux prises avec cette problématique. Après chaque année, un bilan est effectué et de légers ajustements peuvent être réalisés afin de rendre les méthodes de suivis plus adaptées à la réalité terrain des partenaires et des besoins en termes de collectes d'informations. Pour 2020, la planification terrain a été réalisée en collaboration entre les différents partenaires au cours du printemps.

4.1 Évaluation de la distribution par recherche active

Les inventaires ont été effectués en se basant sur le *Protocole d'évaluation de la distribution, de la densité et de retrait de moules zébrées (*Dreissena polymorpha*)* (MFFP, 2019). Cette méthode est utilisée principalement pour identifier les limites de la répartition des moules zébrées sur le territoire, mais elle informe aussi sur les quantités présentes à chaque site d'échantillonnage.

Les sites d'échantillonnage ont été sélectionnés de façon à ce qu'ils soient répartis tout au long du territoire visé, c'est-à-dire le lac Memphrémagog, la rivière Magog (sections sud et nord du lac Magog), le lac Magog et le lac Massawippi. Un total de 104 points a été inventorié : 49 au lac Memphrémagog, 39 au lac Massawippi et 16 au lac Magog et dans la rivière Magog.

En résumé, à chaque point présélectionné, une zone était ratissée par recherche active en apnée pour une durée correspondant à 1h/personne. Les moules zébrées accrochées au substrat étaient mises dans un sac, et celles qui étaient fixées à des mulettes étaient mises dans un autre sac. Les mulettes étaient libérées immédiatement selon le *Protocole de remise à l'eau des moules indigènes* (MFFP, 2019). Les caractéristiques de l'habitat, les conditions météorologiques, les distances parcourues et la turbidité de l'eau étaient notées pour chaque site d'échantillonnage. Les moules zébrées étaient mises dans des sacs ziplocs identifiés pour être déposées dans une glacière avant d'être congelées au bureau.

Certains sites ont été jugés non propices à l'échantillonnage. Ils apparaissent en blanc sur les cartes de répartition (Cartes 3 à 5). Ces sites ont été visités, mais non inventoriés, car ils présentaient une trop forte densité de plantes aquatiques et un substrat vaseux, ce qui aurait rendu la détection des moules impossible. De plus, les moules zébrées ont besoin de substrats

durs pour s'accrocher. S'il est jugé utile de savoir si la moule zébrée est présente en ces sites, il faudrait les inventorier plus tôt dans l'été, avant l'apparition d'une trop grande quantité de plantes aquatiques.

4.2 Évaluation de la densité

Les inventaires ont été effectués en se basant sur le *Protocole d'évaluation de la distribution, de la densité et de retrait de moules zébrées (*Dreissena polymorpha*)* (MFFP, 2019). Pour les travaux terrains de 2020, il a été décidé que la section du protocole portant sur la récolte d'information des mulettes ne serait pas suivie. Cette méthode d'inventaire permet d'obtenir une évaluation précise des densités retrouvées à différentes profondeurs à un endroit spécifique dans le plan d'eau.



Plongeurs mesurant la densité de moules zébrées

Les mesures de densité ont nécessité la présence d'un plongeur professionnel, en plus des plongeurs en apnée. 16 points à inventorier ont été sélectionnés par les partenaires et triés en ordre d'importance. Certains de ces sites n'étaient inventoriés que si une recherche active préalable y avait détecté des moules zébrées. Ainsi, puisqu'aucune moule zébrée n'a été

découverte à Georgeville et au quai Knowlton, les densités n'ont pas été mesurées pour ces sites. Le parc Monseigneur-Vel n'a pas été inventorié non plus vu l'omniprésence de vase, de sédiments et de plantes aquatiques y étant présents et qui auraient rendu la détection impossible. Ce point d'inventaire a été remplacé par un autre au parc du Trianon, sur la rive ouest au sud du lac Magog. Un autre point a été ajouté juste en aval du barrage de la Grande-Dame, car le point en amont présentait aussi trop de plantes aquatiques, de vase et de sédiments. De plus, des moules zébrées avaient été aperçues dans le passé par le plongeur professionnel Jean-Marc Gaudreault. Finalement, un point près de Cedar Lodge (chemin Mon-Virage à Georgeville) devait être inventorié, mais il a été abandonné à cause de contraintes temporelles. Ce point avait été classé comme étant moins prioritaire par les partenaires.

À chaque point d'inventaire, cinq transects de 10 m étaient placés parallèlement à la rive, aux isobathes de 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m et 2.5 m. Le long de ces transects, cinq quadrats de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m²) étaient placés à tous les deux mètres. Le protocole indique que les isobathes de 1 m et moins doivent être inventoriées en plongée en apnée, alors que ceux d'une plus grande profondeur doivent être inventoriées en plongée sous-marine. Sur le terrain, nous avons réalisé qu'il était toutefois possible pour les plongeurs en apnée d'aider le plongeur professionnel à faire les quadrats de l'isobathe de 1.5m, ce qui diminuait le temps requis pour terminer le point d'inventaire. Le substrat à l'intérieur des quadrats était inspecté avec précaution et les pierres étaient retournées afin d'y trouver toutes les moules visibles à l'œil nu. Les moules se trouvant sur des mulettes indigènes étaient placées dans un sac séparé des autres. Toutes les moules d'une même isobathe étaient ensuite mises dans le même sac ziploc, et les sacs de toutes les isobathes d'un même site étaient mis dans un autre sac bien identifié. Les moules étaient ensuite placées dans une glacière en attendant d'être congelées au bureau. Si des mulettes indigènes devaient être manipulées, elles étaient ensuite remplacées avec précaution selon le *Protocole de remise à l'eau des moules indigènes*.

4.3 Substrats artificiels

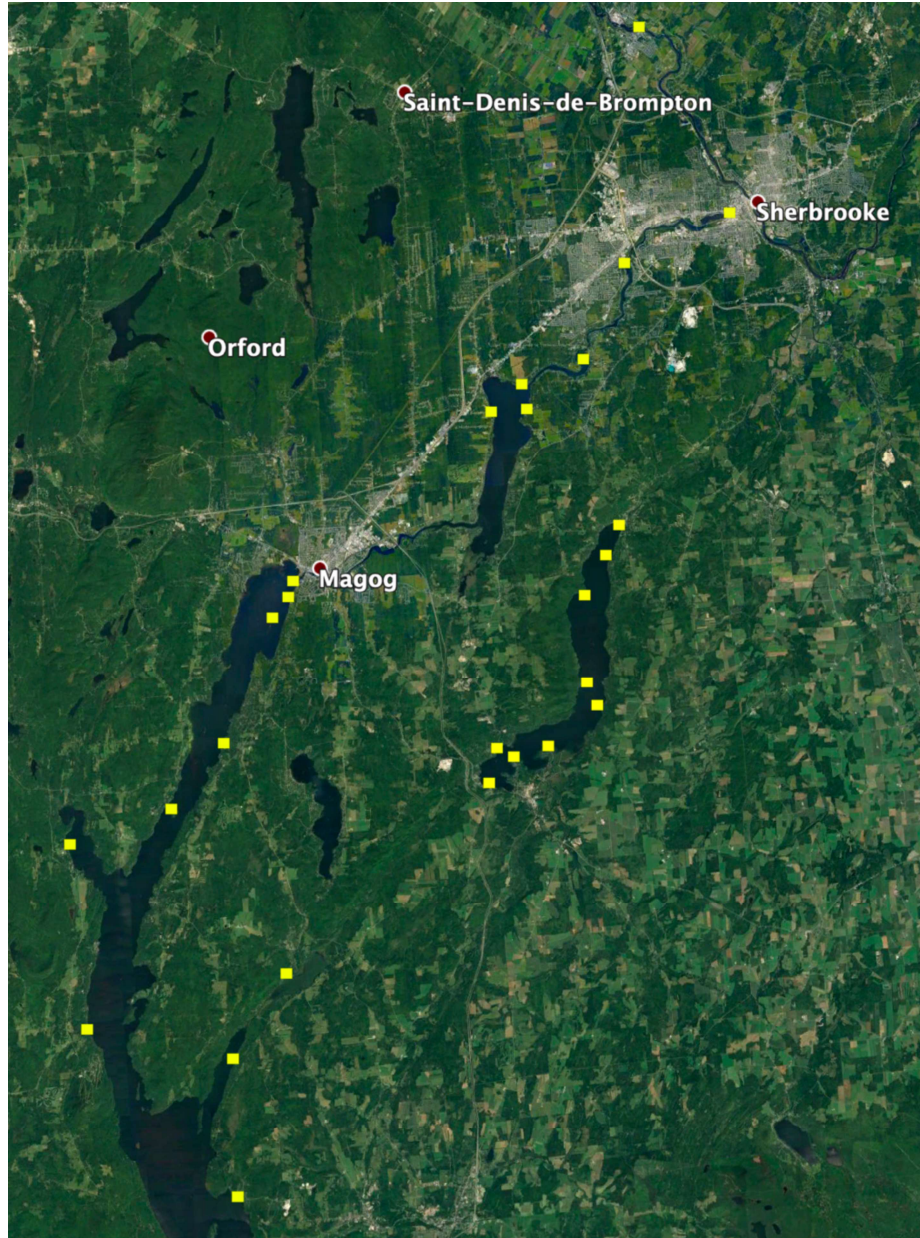
Les substrats artificiels servent à évaluer la présence de véligères pendant l'été et le recrutement de la moule zébrée. Ils peuvent aussi servir à révéler la présence de moules zébrées dans des lacs jusqu'à maintenant non contaminés. Ils sont constitués de quatre plaques carrées de PVC de différentes tailles installées en forme de pyramide le long d'un support solide et espacées par des

tubes en PVC. Les substrats sont accrochés à des bouées de navigation pendant plusieurs mois et les végétales peuvent s’y fixer. Le calcul de l’aire disponible pour les moules sur les plaques et les tubes de PVC permet de calculer la densité des moules fixées sur les plaques. Le *Protocole de prélèvement et décompte des substrats artificiels* révisé par Geneviève d’Avignon en 2019 (Annexe 4 de son rapport) a été suivi pour le relevé et le décompte des moules sur les substrats artificiels.



Substrat artificiel utilisé dans le cadre du projet

Pour l’été 2020, un total de 25 substrats artificiels ont été posés dans l’ensemble des trois lacs à l’étude, dans la rivière Magog et dans la rivière Saint-François en aval de la jonction de la rivière Magog. Ils ont été posés le 7 juin dans le lac Massawippi, le 9 juillet dans le Memphrémagog et les 10 et 15 juillet dans le lac Magog, la rivière Magog et la rivière Saint-François.



Carte 1 - Emplacements des substrats artificiels installés pour l'été 2020

À l'origine, les substrats devaient être relevés et inspectés une fois par mois. Cependant, comme ceux-ci sont difficiles à manipuler sur un bateau, ils n'ont été relevés que deux fois au lac Memphrémagog. Ils ont tout de même été relevés à tous les mois au lac Massawippi vu l'importance de la détection précoce en cas d'introduction. La firme d'ingénierie FNX-INNOV, mandatée pour relever les substrats du lac Magog, de la rivière Magog et de la rivière Saint-François a émis trois rapports mensuels : un lors de la pose des substrats en juillet ainsi que deux lors de relevés en août et octobre.

La difficulté technique à relever régulièrement les substrats à plaques et le besoin de faciliter le décompte des moules sur les substrats sont les raisons qui ont incité la MRC de Memphrémagog à participer à l'essai de substrats artificiels expérimentaux pendant l'été 2020. En effet, le MFFP a offert un financement additionnel afin de réaliser un projet de validation d'un modèle différent de substrat. Ces substrats artificiels sont constitués d'un tuyau en PVC de 25 cm de long et 5 cm de diamètre frotté avec un papier sablé pour favoriser l'adhésion des végigères. Le tuyau est rempli de ciment ou attaché à une pesée. Ce modèle est utilisé dans le cadre du programme « Adult Invasive Mussel Monitoring (AIMM) » et permettrait de faire le suivi des populations de moules zébrées de façon plus simple et moins coûteuse. Ces substrats, de plus petite taille, ont été fixés aux mêmes bouées que les dix substrats à plaque réguliers du lac Memphrémagog. La comparaison des résultats des substrats expérimentaux et réguliers permet de vérifier l'efficacité des tubes de PVC.

4.4 Activités de contrôle de la moule zébrée

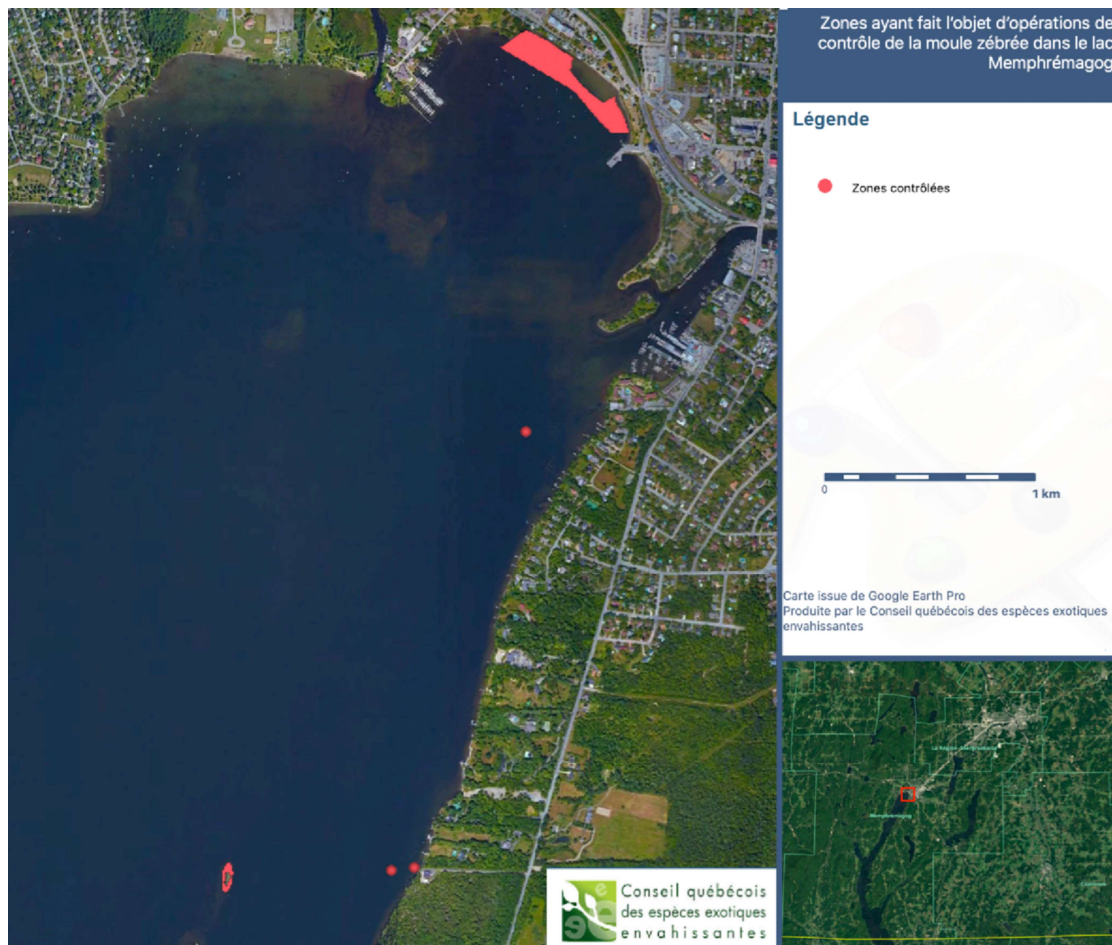
Trois journées de contrôle de la moule zébrée ont été organisées dans le lac Memphrémagog, soit dans la Baie de Magog, autour de l'Île des Trois Sœurs 1 et près des prises d'eau de la ville de Sherbrooke et de la ville de Magog. Ces sites ont été sélectionnés, car ils présentaient des densités



Décompte des moules zébrées retirées par le CQEEE et MCI lors de l'activité de contrôle dans la Baie de Magog

importantes de moules et étaient faciles d'accès. Des plongeurs en apnée parcouraient la zone sélectionnée de façon à ne pas passer deux fois au même endroit, et toutes les moules zébrées trouvées étaient récoltées et placées dans un sac filet. Le contrôle aux prises d'eau a été fait en plongée avec l'aide du plongeur professionnel Denis Mongeau. Les pierres et autres structures étaient retournées et inspectées. Les zones parcourues se situaient entre 0 et 1.5 m de profondeur. À la fin de l'opération, toutes les moules zébrées récoltées étaient dénombrées sur place par l'équipe. Au cours de ces sorties, un total de 12 296 moules zébrées a été récolté en un total de 10h15.

Considérant que chacune de ces opérations a nécessité la participation de 1 à 7 personnes, on peut déduire qu'en moyenne, une personne collecte 387 moules en une heure. Il est à noter que les sites sélectionnés pour les opérations de retrait présentaient des densités élevées de moules zébrées et que ce taux serait nettement inférieur dans des sites moins envahis.



Carte 2 - Zones ayant fait l'objet d'opérations de contrôle de la moule zébrée dans le lac Memphrémagog.

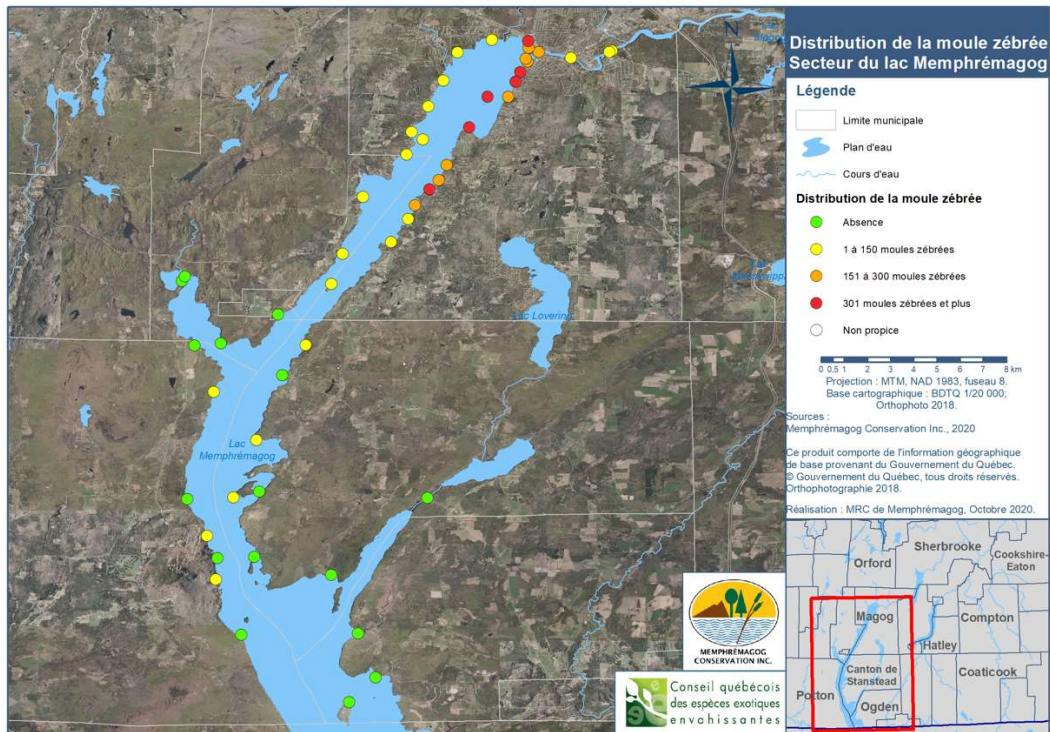
5. PORTRAIT DE L'INVASION DE LA MOULE ZÉBRÉE EN 2020

Les résultats présentés pour 2020 dans cette section proviennent des activités réalisées par Bleu Massawippi, le MCI et la MRC de Memphrémagog par l'entremise du CQEEE et la Ville de Sherbrooke par l'entremise du CQEEE et de FNX-INNOV.

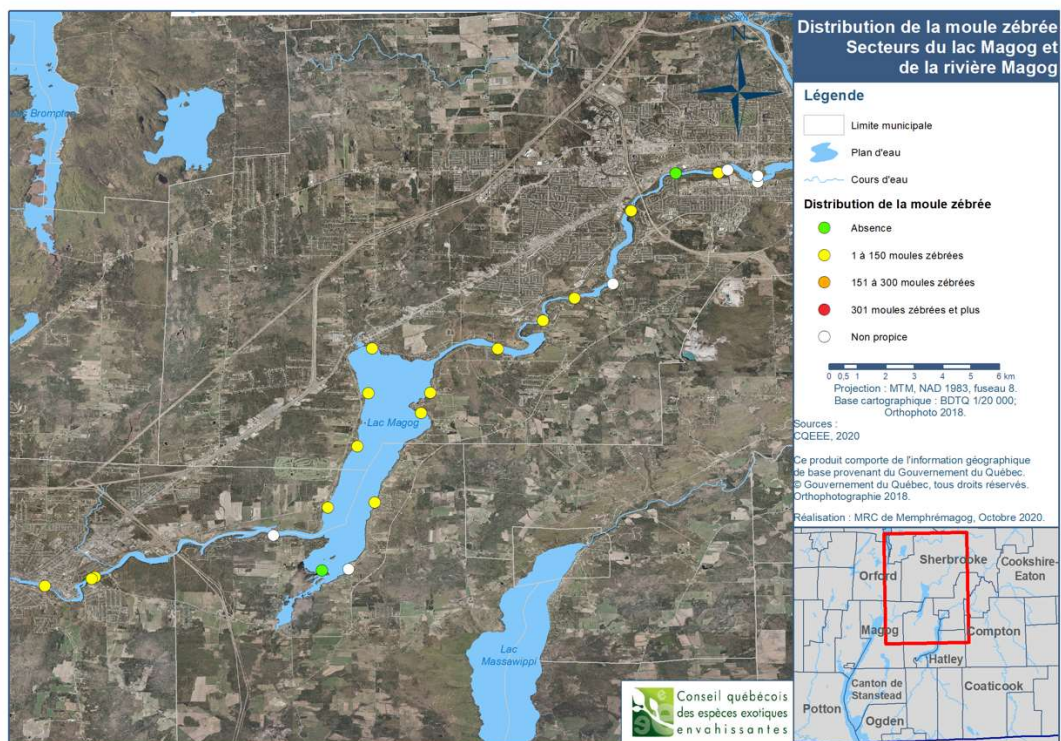
5.1 Distribution de la moule zébrée et comparaison avec 2019

5.1.1 Résultats des inventaires 2020

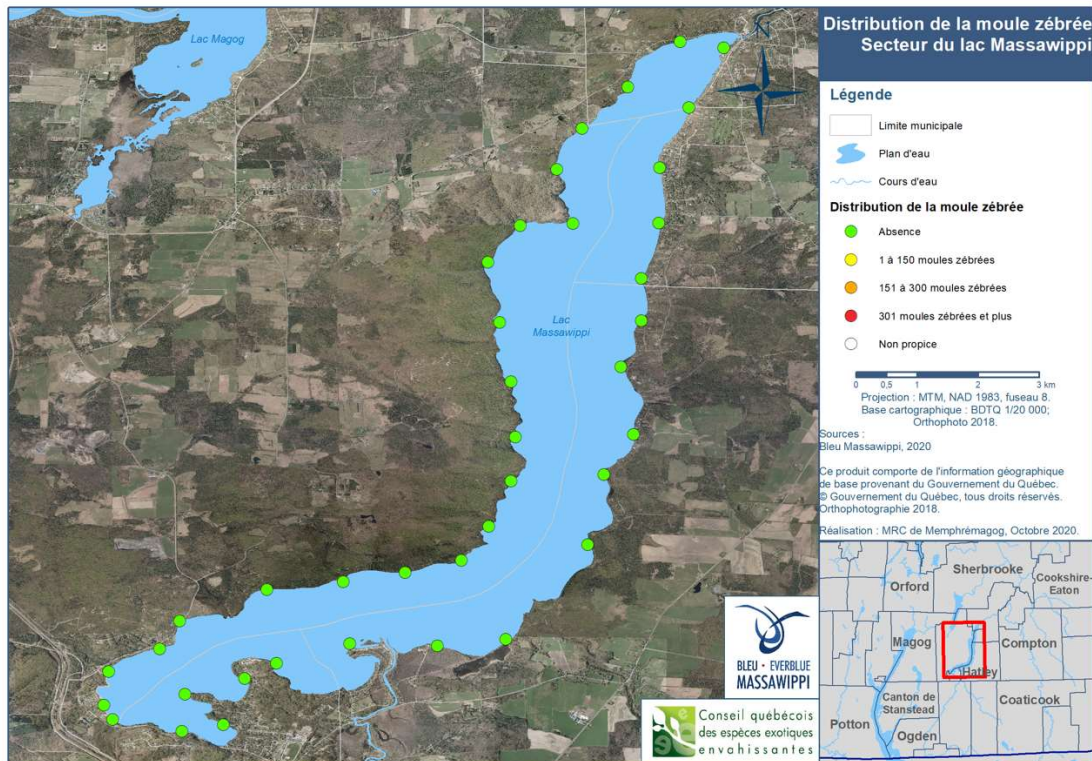
Les inventaires effectués sur le territoire en 2020 ont révélé une progression de l'invasion par la moule zébrée. Ci-dessous se trouvent les cartes illustrant la distribution de la moule zébrée sur le territoire à l'étude. Il a été constaté au fil des inventaires de présence/absence que ceux-ci offraient une bonne indication de la densité de moules zébrées dans ces secteurs. Sur les cartes, les points d'inventaires apparaissent de différentes couleurs selon le nombre de moules zébrées trouvées en 1h/personne. Aucune moule n'a été trouvée aux points verts, 1 à 150 moules ont été trouvées aux points jaunes, 151 à 300 moules aux points oranges, et plus de 301 moules aux points rouges. Les points blancs représentent les sites visités mais jugés non propices à l'inventaire.



*Carte 3 - Distribution de la moule zébrée dans le lac Memphrémagog en 2020.
Source des données : Memphrémagog Conservation Inc., 2020*



*Carte 4 - Distribution de la moule zébrée dans le lac Magog et la rivière Magog en 2020.
Source des données : CQEEE, 2020*



Carte 5 - Distribution de la moule zébrée dans le lac Massawippi en 2020.

(Aucun spécimen inventorié)

Source des données : Bleu Massawippi, 2020

Encore cette année, les 39 points d'inventaires effectués par Bleu Massawippi au lac Massawippi n'ont révélé la présence d'aucune moule zébrée. C'est au lac Memphrémagog qu'on retrouve les plus grandes quantités de moules zébrées dans le territoire à l'étude. Aucune mesure de taille de moule n'a été prise pour l'année 2020, mais les évaluations visuelles réalisées dans le cadre des activités ont tout de même permis de constater que les moules y étaient plus grosses, et donc probablement plus vieilles. Le point le plus au sud où des moules ont été découvertes est à la Baie Mountain House, à Potton. Le point le plus au nord inventorié est à la rampe de mise à l'eau près du parc Blanchard, à Sherbrooke. Les inventaires ont révélé que la moule zébrée était présente dans une bonne partie du lac Memphrémagog et tout au long du lac Magog et de la rivière Magog. Sur 104 points d'inventaires, seulement 18 points étaient absents de moules, donc la moule était présente à 83% des points inventoriés. Les 18 points inventoriés où la moule zébrée n'était pas présente étaient principalement situés dans le sud du lac Memphrémagog que le front d'invasion n'a pas encore atteint, ou dans des sites qui semblent moins propices à la colonisation à cause d'une absence de surfaces dures pour s'accrocher ou d'une importante quantité de sédiments.

On peut aussi constater que le point inventorié à l'extrémité sud du lac Magog, à l'île du Marais, est exempt de moules. Il est possible que cela soit dû au fait que l'embouchure de la rivière Magog Sud se trouve plus haut (au nord) que ce site, et que comme les véligères se déplacent avec le courant, elles n'aient pas pu l'envahir. Aucune moule zébrée n'avait d'ailleurs été trouvée au parc Monseigneur-Vel en 2019 et celui-ci se trouve aussi plus au sud que l'embouchure de la rivière.

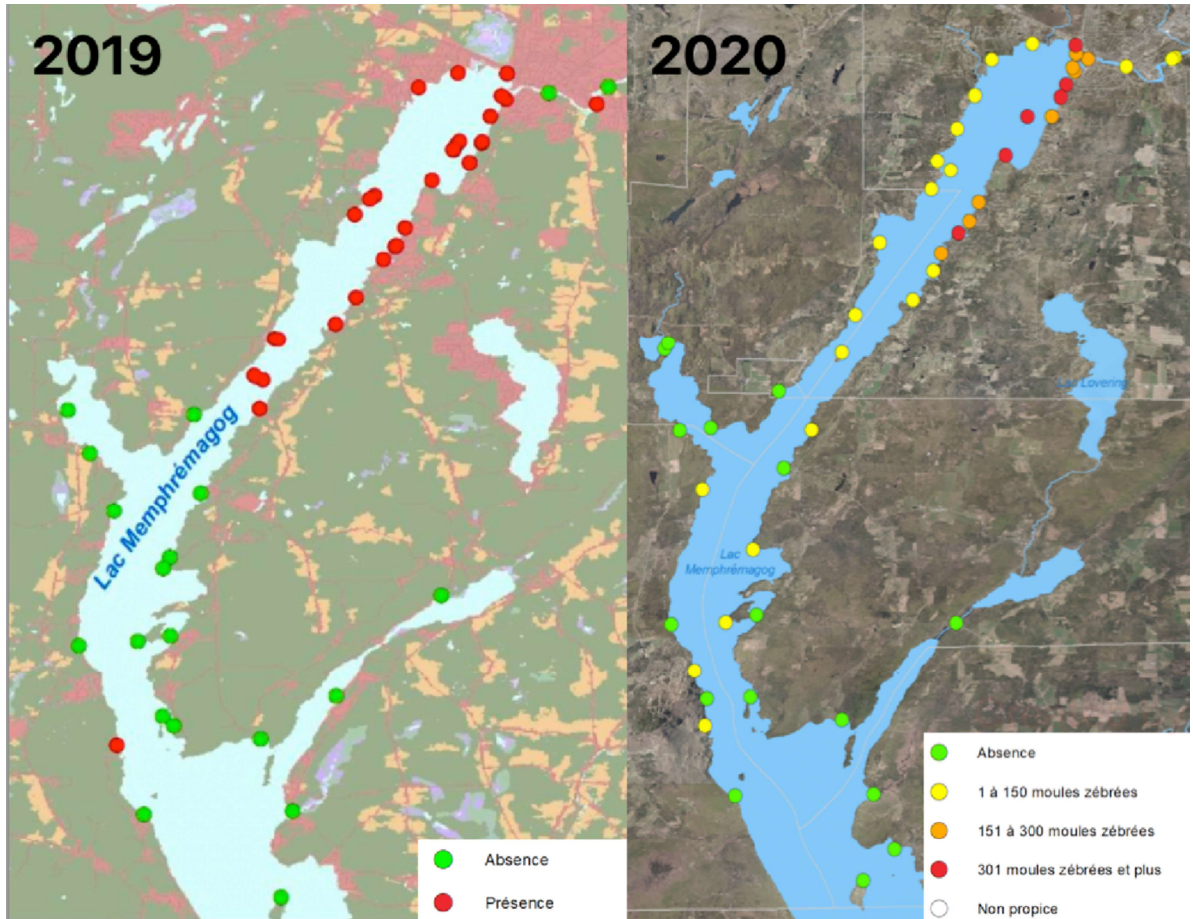
Le nombre maximal de moules ayant été récoltées en 1h/personne est de 654 moules à l'Île des Trois Sœurs 1 Ouest, dans le lac Memphrémagog. C'est d'ailleurs dans ce secteur que les plus hautes densités de moules avaient été mesurées en 2018, ce qui porte à croire que c'est le site ayant le plus long historique d'infestation. Il est probable que la moule zébrée ait été introduite près de ce site. L'Île des Trois Sœurs 1 Ouest est caractérisée par une grande quantité de blocs de roches offrant une importante structure tridimensionnelle aux moules, qui se fixent sur, mais surtout sous les blocs. D'importantes densités de moules ont aussi été trouvés à proximité, dans une zone allant de la baie de l'Anse à l'embouchure de la rivière Magog. Les moules zébrées sont surtout concentrées sur la rive est du nord du lac, comme en 2019. Ceci pourrait être dû à l'emplacement de l'origine de l'infestation, aux taux plus élevés de calcium mesurés dans le secteur (D'Avignon, Ricciardi, Bourgault, & Hsu, 2020), et au ralentissement du courant à proximité de l'embouchure de la rivière Magog Sud qui favorise une concentration des véligères et des conditions propices pour leur fixation.

L'évaluation de la distribution de la moule zébrée au lac Memphrémagog a représenté un effort de 423h par l'organisme MCI (superficie de 102 km², 49 points d'inventaire). Les patrouilleurs de Bleu Massawippi ont quant à eux investi 281h dans l'évaluation de la distribution de la moule au lac Massawippi (superficie de 18 km², 39 points d'inventaire). Cette information peut être utile dans la planification du suivi d'une infestation, ou pour la détection précoce dans un lac non infesté. On peut en déduire que le nombre d'heures investies dépend beaucoup du nombre de points d'inventaire à effectuer et de la superficie du plan d'eau. Un plus grand nombre de points est nécessaire pour la détection précoce, car il faut couvrir tout le lac, alors que pour le suivi d'une infestation, les efforts peuvent être concentrés aux fronts d'infestation et à quelques autres sites d'importance (descentes, sites de hautes densités, etc.).

5.2.2 Progression de la moule zébrée de 2019 à 2020

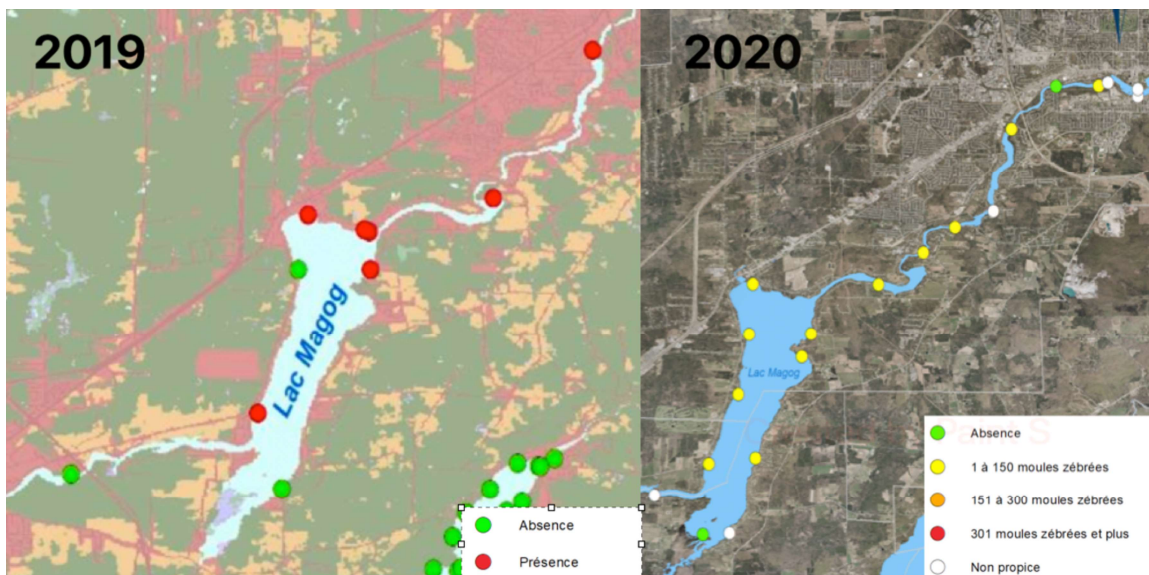
La comparaison des cartes de distribution de la moule zébrée de 2019 et 2020 permet de bien observer la progression de l'invasion. Notons que sur les cartes de 2019, toutes les méthodes d'inventaire (distribution, densité, substrats artificiels, observations et retrait) ont été incluses, alors que les cartes de 2020 ne comportent que les sites de présence/absence.

Dans le lac Memphrémagog, sur la Carte 6, on peut observer que plusieurs points qui étaient exempts de moule zébrée en 2019 sont maintenant colonisés, comme la Baie MacPherson, Mansonville et l'Île Molson. Ces sites sont situés plus au sud du lac. En 2019, une moule zébrée avait été découverte à la Baie Mountain House près de Owl's Head. Ce point était alors très isolé des autres points de présence. En 2020, les inventaires ont révélé une présence de moules dans plus de points du secteur sud. La Baie Mountain House reste cependant encore le point le plus au sud où la moule a été détectée. Il est difficile de dire si ces résultats démontrent une seconde introduction de moules qui se propage vers l'aval, ou si ce sont des véligères du nord qui remontent tranquillement le courant, quoi qu'il en soit, ces deux options sont possibles.



Carte 6 - Progression de la distribution de la moule zébrée dans le lac Memphrémagog de 2019 à 2020. Source des données : Geneviève D'Avignon et Memphrémagog Conservation Inc., 2019 et 2020

Dans le cas du lac Magog et de la rivière Magog, sur la Carte 7, on peut tout d’abord observer que beaucoup plus de points ont été inventoriés en 2020. En fait, sur la carte de 2019, seuls les points de la rue Bournival, du barrage de la Grande-Dame et de Deauville avaient été directement inventoriés. Les autres points représentent des substrats artificiels et des observations ponctuelles. Les inventaires de cette année ont pu confirmer l’infestation de la rivière Magog par la moule zébrée. On peut aussi observer qu’encore cette année, les points plus au sud que l’embouchure de la rivière Magog Sud ont été épargnés. Des moules ont aussi été découvertes au Club Nautique du Petit Lac Magog en 2020, alors qu’il ne semblait pas y en avoir en 2019. C’est d’ailleurs là qu’a été découverte la plus grande quantité de moules zébrées hors du lac Memphrémagog au cours des inventaires de présence/absence.



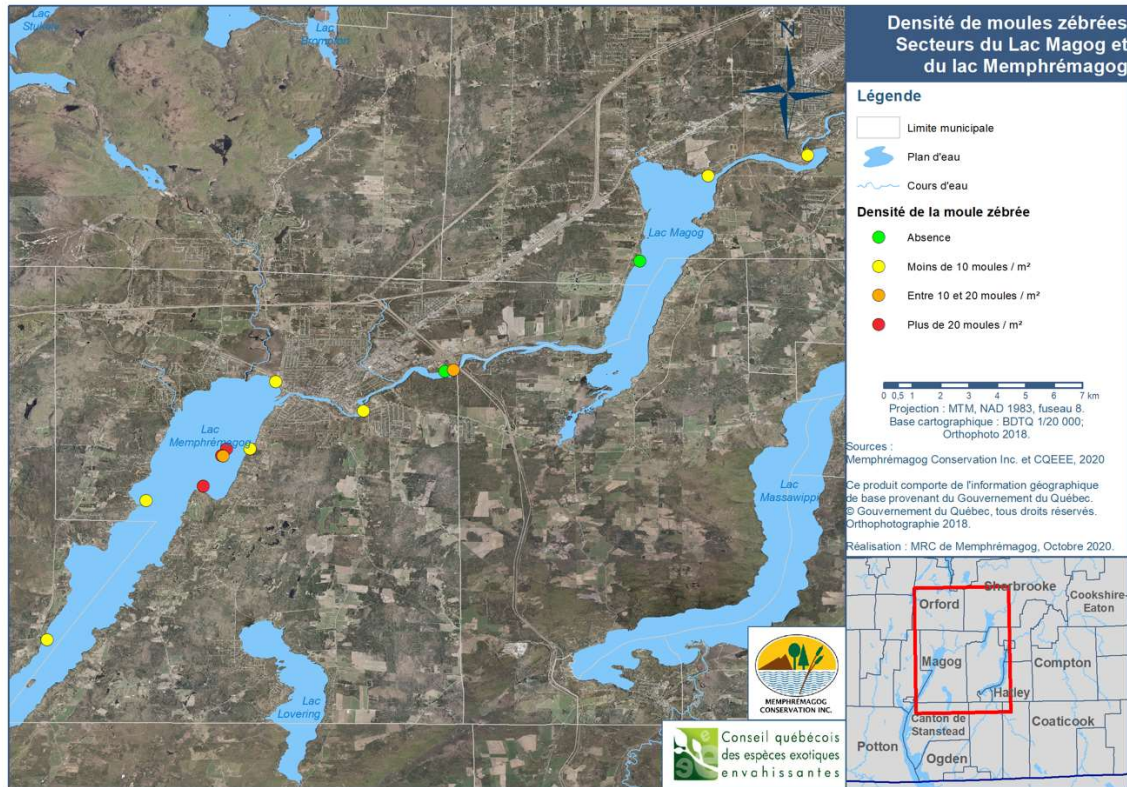
Carte 7 - Progression de la distribution de la moule zébrée dans le lac Magog et la rivière Magog de 2019 à 2020.

Source des données : Geneviève D’Avignon et CQEEE, 2019 et 2020

5.2 Densités de moule zébrée et comparaison avec 2019

5.2.1 Résultats des inventaires 2020

Voici la répartition des points d'inventaire de densité pour l'été 2020.



Carte 8 - Densités de moules zébrées dans le lac Memphrémagog, la rivière Magog et le lac Magog en 2020. Source des données : Memphrémagog Conservation Inc. et CQEEE, 2020

Les inventaires de densité de moules zébrées ont révélé que les densités les plus importantes se trouvent dans le lac Memphrémagog près des Îles des Trois Sœurs et de l'Île à l'Aigle (points rouges).

Des densités plus faibles ont été observées dans la rivière Magog et le lac Magog jusqu'à Sherbrooke, sauf en aval du barrage de la Grande-Dame, où la densité mesurée était assez élevée. Il est d'ailleurs assez étonnant d'observer une si grande quantité de moules zébrées à cet endroit vu le fort courant de la rivière. Une des raisons pouvant expliquer cette situation est la grande présence de substrats solides qui permettent aux moules de s'accrocher, tels que l'enrochement et un muret qui s'étend sous l'eau à partir du barrage. Le barrage crée un milieu peu propice à la

fixation en amont, car le ralentissement du courant entraîne une abondance de plantes aquatiques et de sédiments, ce qui rend plus difficile la fixation des végétaux. Aucune moule n'a d'ailleurs été détectée dans le bassin en amont du barrage. En aval, il y a un courant important, mais une grande quantité de substrat propice et d'abris pour les moules zébrées. Les moules zébrées étaient d'ailleurs accompagnées de nombres très élevés de vivipares géorgiennes, une autre espèce exotique envahissante, qui tapissaient entièrement toutes les surfaces disponibles.

Figure 2
Densités de moules zébrées mesurées dans le lac Memphrémagog,
le lac Magog et la rivière Magog en 2020

Nom de la station	Latitude	Longitude	Densité (moules/m ²)
Baie de Magog	45.2692848	-72.161202	0.2
Île à l'Aigle	45.2361330	-72.1841250	23.8
Pointe Cummins	45.2316671	-72.2022805	9.8
Prise d'eau Sherbrooke	45.2479964	-72.1693423	9.4
Île des Trois Sœurs 1 Est	45.2479638	-72.1766943	26.7
Île des Trois Sœurs 2 Ouest	45.2459274	-72.1782302	23.0
Île des Trois Sœurs 2 Est	45.2457600	-72.1778885	10.9
Bryant's Landing	45.1875488	-72.2337254	0.2
Baie Beaulieu (Barrage Magog 2020)	45.3410592	-71.9924081	3.4
Plage Deauville	45.3345355	-72.0240752	3.4
Rue Moore	45.260056	-72.133353	1.0
Barrage Grande Dame AMONT	45.272588	-72.107450	0.0
Barrage Grande Dame AVAL	45.272961	-72.104764	14.6
Parc du Trianon	45.3074834	-72.0456784	0.0

La faible densité mesurée à la Baie de Magog est probablement une erreur d'inventaire. En effet, le MCI et l'équipe présente lors de l'opération de retrait ont pu y observer d'assez grands nombres de moules. Par contre, le point choisit pour l'inventaire n'en contenait que très peu.

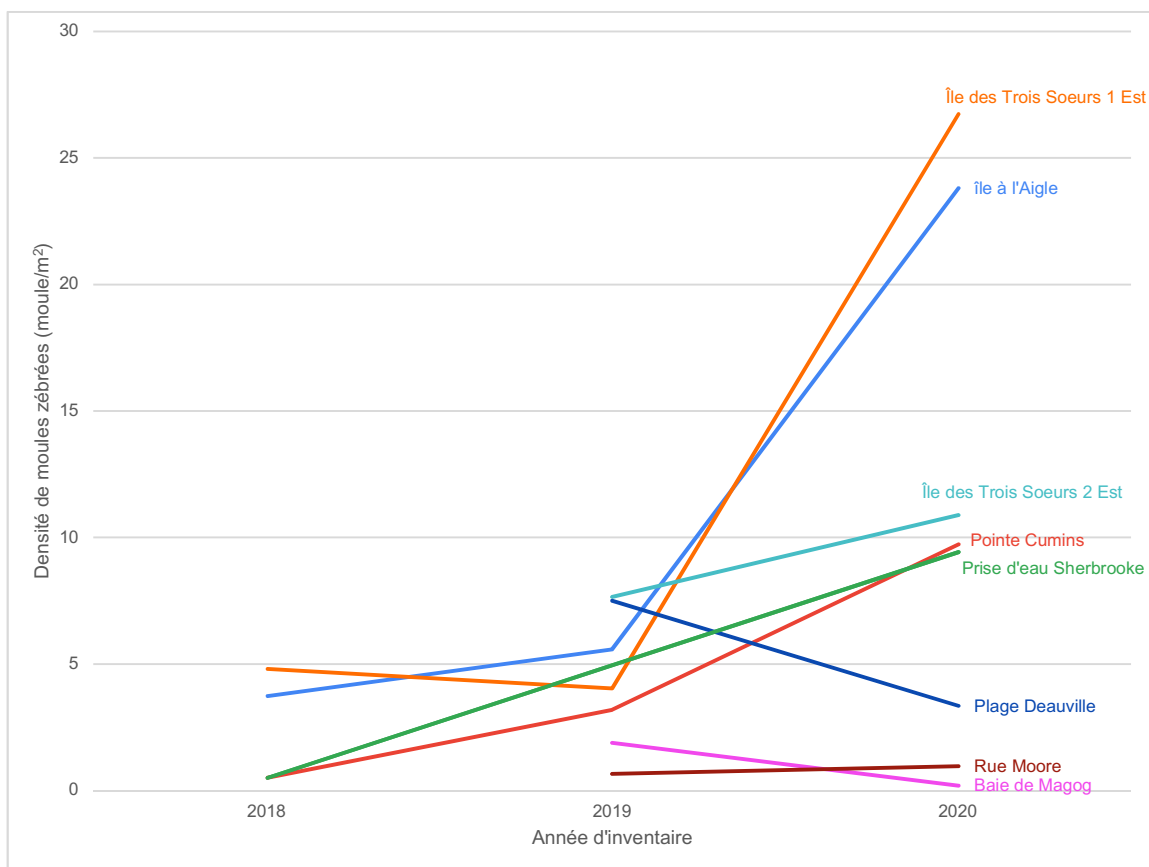
La structure tridimensionnelle du fond de l'eau a un fort impact sur la densité de moules zébrées qu'on y trouve. En effet, les sites présentant des enrochements anthropiques ou naturels offrent une plus grande surface de colonisation, ce qui permet d'abriter beaucoup plus de moules par mètre carré. À titre d'exemple, certaines ont été retrouvées sur des roches ensevelies sous plusieurs étages de roches. De cette manière, elles occupaient l'habitat de façon verticale aussi. À l'opposé, les fonds sablonneux ou rocheux sans enrochements n'offrent qu'une structure bidimensionnelle aux moules, et on y trouve donc moins de moules par mètre carré.

Aucune moule zébrée n'a été trouvée au parc du Trianon, malgré le fait que 39 individus avaient été trouvés lors de l'inventaire de présence/absence. Précisons que l'emplacement du point d'inventaire de densité a été choisi légèrement plus au nord que la zone parcourue précédemment. Cela peut être dû au hasard, ou à une légère différence d'habitat.

5.2.2 Évolution des densités au fil des ans

Des 14 sites inventoriés en 2020, 7 sites ont fait l'objet d'un inventaire de densité en 2019 et 2020. Quatre sites avaient aussi été inventoriés en 2018. La prise d'eau de Sherbrooke avait été inventoriée en 2018 et 2020, mais pas en 2019. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution de la densité de moules d'une année à l'autre. Seules les données de densité mesurées selon le protocole de mesure de densité ont été utilisées, et non les données approximatives de densité obtenues lors des inventaires de présence/absence ou des opérations de retrait. Il est important de tenir compte que la droite de la prise d'eau de Sherbrooke n'illustre pas la valeur de densité de 2019 : celle-ci pourrait être plus élevée ou plus basse, elle n'a pas été mesurée.

Figure 3
Évolution des densités de moules zébrées dans le lac Memphrémagog, la rivière Magog et le lac Magog au cours des années 2018 à 2020.



Ce graphique permet de bien voir l'augmentation des densités de moules zébrées dans la majorité des secteurs, tout particulièrement à l'Île des Trois Sœurs 1 Est et à l'Île à l'Aigle où les densités

ont augmenté respectivement de 568 % et 325 %. Les densités de l'Île des Trois Sœurs 2 Est, de Pointe Cummins, de la prise d'eau de Sherbrooke et de la rue Moore ont aussi augmenté, mais de façon moins drastique.

Une diminution de la densité a toutefois été observée à la plage de Deauville et dans la Baie de Magog. La plage de Deauville avait la deuxième densité la plus élevée en 2019¹ et il n'est pas impossible que celle-ci ait été surévaluée. Il est en effet étonnant qu'on y trouvait de plus hautes densités qu'à proximité de l'origine suspectée de l'invasion. Pour ce qui est de la Baie de Magog, l'observation des alentours du site d'échantillonnage ainsi que l'opération de retrait ayant eu lieu plus tard a révélé des densités plus élevées que l'endroit choisit aléatoirement pour échantillonner. Il est donc fortement probablement que la valeur de densité de 2020 soit sous-évaluée.

Malgré la forte augmentation de la densité de moules zébrées à certains sites, il s'agit de faibles densités si on les compare aux densités de plusieurs dizaines de milliers, voire de plusieurs centaines de milliers d'individus par mètre carré pouvant être atteintes dans des conditions optimales, comme au lac Érié en Ontario. Cependant, l'augmentation observée d'année en année dans le lac Memphrémagog et son réseau hydrographique en aval suggère qu'aucun plateau n'a encore été atteint.

5.2.3 Efficacité des opérations de retrait 2019

Des opérations de retrait ont été effectuées en 2019 aux sites de l'Île des Trois Sœurs 2 Ouest, à l'Île des Trois Sœurs 2 Est et à la prise d'eau de Sherbrooke vers la fin du mois de juillet et le début du mois d'août. Afin d'évaluer l'impact de ces activités de contrôle, la densité de moules zébrées a été mesurée en 2020 à ces trois sites.

Pour ce qui est de la densité à l'Île des Trois Sœurs 2 Ouest, celle-ci n'avait pas été mesurée en 2019, il n'est donc pas possible de voir l'effet du retrait à cet endroit. Cependant, la densité mesurée pour ce site en 2020 était l'une des plus élevées mesurées de l'ensemble des sites

¹ Dans le rapport 2019 il est inscrit que la plage de Deauville présente la densité la plus élevée de moules (7.52 moules/m²) et que celle de l'Île des Trois Sœurs 2 Est est beaucoup plus basse (1.76 moules/m²). Cependant, dans le document de données 2019, l'Île des Trois Sœurs 2 Est a une densité de 7.68 moules/m², ce qui est en fait la plus haute densité observée en 2019.

envahis, soit de 23 moules/m². Un total de 3 756 moules zébrées avait pourtant été retiré à cet endroit en 2019.

Dans la Figure 3, on peut observer que la densité de moules zébrées a augmenté à l'Île des Trois Sœurs 2 Est en 2020 suite à l'opération de retrait de 2019. L'augmentation de 42 % (7.7 à 10.9 moules/m²) est nettement inférieure à celle observée à d'autres sites à proximité, comme à l'Île des Trois Sœurs 1 Est, à l'Île à l'Aigle et à Pointe Cummins. Seules 48 moules zébrées avaient été retirées à l'Île des Trois Sœurs 2 Est en 2019, probablement à cause de la faible densité de celles-ci de ce côté de l'île. Le faible nombre de moules retirées rend l'interprétation de l'impact des activités de retrait difficile pour ce site.

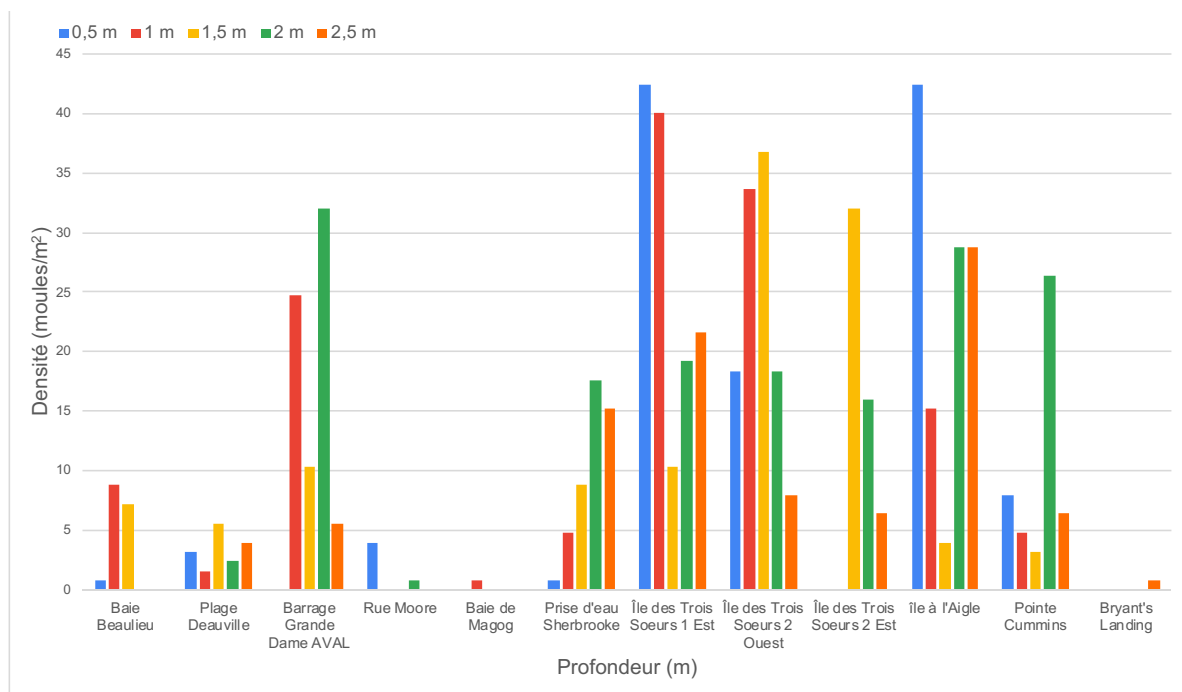
Pour ce qui est de la prise d'eau de Sherbrooke, la densité de moule zébrée avait été mesurée à 0.5 moules/m² en 2018. En 2019, une activité de retrait est effectuée et 641 moules zébrées y sont retirées. La densité avant l'activité de retrait n'avait pas été mesurée à la prise d'eau de Sherbrooke, mais il est très probable que celle-ci ait augmenté vu le nombre de moules qui ont été retirées. En 2020, la densité est mesurée à 9.4 moules/m². En fonction de ces résultats il est possible de conclure que l'activité de retrait effectuée en 2019 a eu un résultat mitigé. Le retrait n'a pas permis de réduire la densité sous celle mesurée en 2018, car celle-ci a augmenté de 0.5 à 9.4 moules/m² entre 2018 et 2020. Cependant, en raison de la manière dont les données ont été collectées, il n'est pas possible d'exclure la possibilité que la densité de moule zébrée était plus élevée en 2019, avant l'activité de retrait, que la densité de 9.4 moules/m² mesurée en 2020.

Bien que les opérations de retrait soient de bonnes occasions de sensibilisation et d'éducation, il est peu probable qu'elles aient un réel impact vu l'état actuel d'envahissement et la taille du territoire colonisé par la moule zébrée. Elles sont tout de même intéressantes pour observer la vitesse à laquelle la moule zébrée recolonise des sites contrôlés, car cela peut être utile pour évaluer à quelle fréquence des structures telles que les prises d'eau devraient être nettoyées. D'autres opérations de retrait ont été menées à quatre sites en 2020, et il serait intéressant de revisiter ceux-ci afin de mesurer la vitesse de recolonisation par la moule et l'impact réel des opérations de retrait.

5.2.4 Profondeur des moules zébrées

Le protocole d'inventaire de densité prévoit des mesures effectuées à 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m et 2.5 m afin d'observer la préférence des moules pour ces différentes profondeurs. Les résultats démontrent que les moules peuvent favoriser différentes profondeurs d'un site à l'autre. L'histogramme suivant illustre ce phénomène. On peut y observer que dans certains sites, comme l'Île à l'Aigle et l'Île des Trois Sœurs 1 Est, les moules préfèrent nettement les plus faibles profondeurs. À l'opposé, les moules se trouvent davantage à 2 m ou 2.5 m de profondeur à Pointe Cummins et à la prise d'eau de Sherbrooke. Ce constat souligne la variabilité individuelle de chaque site et soulève une des limitations du protocole de prise de données, puisque nous avons peu d'information sur la présence de moule zébrée à plus de 2.5 mètres de profondeur.

Figure 4
Densités de moules zébrées à différentes profondeurs à chacun des sites inventoriés dans le lac Memphrémagog et ses effluents



La Figure 4 montre aussi les densités élevées que les moules zébrées peuvent atteindre à certains sites et profondeurs précis. Par exemple, à l'Île des Trois Sœurs 1 Est et à l'Île à l'Aigle, des densités de plus de 40 moules/m² ont été observées en rive à 0.5 m de profondeur.

5.3 Substrats artificiels

Le relevé des substrats artificiels du lac Massawippi et du lac Memphrémagog n'a révélé la présence d'aucune moule zébrée en 2020 (substrats réguliers et expérimentaux). Dans le cas du lac Magog, de la rivière Magog et de la rivière Saint-François, aucune moule zébrée n'a été trouvée lors du relevé du 5 août, mais il y en avait sur 4 substrats sur 6 lors du relevé du 14 octobre. Les résultats de ce relevé se trouvent dans le tableau de la Figure 5. Très peu de moules zébrées ont été trouvées sur les substrats du lac Magog. La plus grande quantité de moules a été trouvée 3 km en aval, sur le substrat artificiel de la Baie Beaulieu. Cela pourrait être dû au ralentissement du courant à cet endroit qui permettrait aux véligères de s'attacher si un substrat solide est présent. Les moules récoltées à cet endroit étaient toutes des juvéniles de petite taille (1.1 à 11 mm). Le nombre de moules zébrées trouvées sur les substrats diminue ensuite vers l'aval, et aucune n'a été trouvée sur le substrat de la rivière Saint-François.

Figure 5
Résultats du dernier relevé des substrats artificiels du lac Magog, de la rivière Magog et de la rivière Saint-François.

Emplacement du substrat artificiel	Nombre de moules zébrées trouvées sur les substrats lors du retrait le 14 octobre 2020
Plage municipale (Deauville)	1
Camping du Lac Magog	0
Baie Beaulieu	1054
Amont des îlots de la Scaswan	87
Lac des Nations (pont 112)	37
Brompton	0

Il est difficile d'identifier avec certitude la raison pour laquelle presque aucune moule ne s'est fixée aux substrats au cours de l'été. Il n'est pas impossible que les substrats aient été posés trop tard et que la reproduction ait eu lieu avant leur installation. En effet, la température de l'eau avait atteint 12°C au début du mois de juin, et la dérive des véligères dure en moyenne 2 à 3 semaines. Comme les substrats ont été installés entre le 9 et le 15 juillet, les véligères auraient pu avoir le temps de se fixer avant ce moment. Cela voudrait dire que la période de reproduction de tout le territoire aurait été circonscrite à cette période seulement. Bien que cela ne soit pas impossible, les études suivant les densités de véligères au cours de l'été démontrent que celles-ci tombent

rarement à zéro au cours de l'été (Lucy, 2006; Morales, Lizana, Flechoso, Bejarano, & Negro, 2019; Vidal, Hamilton, & Pick, 2004). On peut généralement observer des périodes de plus hautes densités, mais des véligères subsistent entre celles-ci. Cela est en partie dû aux moments différents où les conditions nécessaires à la reproduction sont atteintes en fonction, par exemple, de la profondeur des moules. En effet, les moules zébrées fixées plus en profondeurs tendent à se reproduire plus tard, comme elles sont dans une eau plus froide (Wacker & Von Elert, 2003).

Pour ce qui est du dernier relevé du territoire de Sherbrooke, il démontre qu'il y a tout de même eu reproduction dans la rivière Magog Nord entre le 5 août et le 14 octobre et que les véligères ont été présentes jusqu'au lac des Nations.

L'installation et le relevé périodique des substrats artificiels a nécessité un investissement de temps de 61h pour le MCI (10 substrats) et 110h pour Bleu Massawippi (9 substrats) au cours de l'été. Il est à noter que les substrats ont été relevés deux fois au lac Memphrémagog, alors qu'ils ont été relevés à tous les mois au lac Massawippi (quatre fois), afin d'assurer une détection très rapide en cas d'introduction.

5.4 Fixation des moules zébrées sur des mulettes indigènes

Lors des inventaires de distribution et de densité, le pourcentage de moules zébrées fixées sur des mulettes a été mesuré. Nous avons remarqué que les moules avaient davantage tendance à se fixer sur les mulettes si celles-ci étaient les seuls objets solides présents, comme sur un sol sablonneux. Par exemple, au Camping du Lac Magog, le substrat était constitué à 100 % de sable, et 100 % des moules se trouvaient sur des mulettes.

6. PERSPECTIVES

6.1 Prévisions

Il est clair que la moule zébrée est maintenant bien établie et qu'elle a étendu son aire de répartition au-delà des limites du territoire étudié par le présent suivi. La découverte cet été d'une moule zébrée adulte et bien vivante en aval du pont de Windsor (rivière Saint-François) par l'équipe du MFFP pourrait en effet démontrer la progression rapide de celle-ci. On ne peut exclure que la moule découverte soit un individu provenant d'un autre foyer d'infestation, mais vu le mode de reproduction de la moule zébrée, il est probable qu'elle soit issue de la population provenant du lac Memphrémagog.

Des données de calcium et de pH ont été récoltées par le MFFP au cours des étés 2018, 2019 et 2020 dans le lac Magog, la rivière Magog et la rivière Saint-François. Bien qu'il existe une certaine variabilité d'un site et d'une année à l'autre, toutes les données récoltées démontrent que la moule zébrée serait au minimum capable de survivre, sinon de se reproduire abondamment. En effet, tout au long de la rivière Magog et du lac Magog et dans la rivière Saint-François en aval de l'embouchure de la rivière Massawippi, le taux de calcium était toujours supérieur à 12 mg/L, ce qui est généralement reconnu pour être la concentration minimale pour assurer la survie des moules zébrées.

On peut donc prévoir que la moule zébrée continuera sa progression dans la rivière Saint-François. Selon la concentration de calcium dans la rivière, il est possible que cette progression soit ralentie ou même arrêtée si les affluents de la rivière Saint-François ont une composition qui dilue le taux de calcium dans la rivière. Cela pourrait en effet le rendre trop bas pour la survie des moules zébrées. Bien qu'une partie du calcium puisse être d'origine anthropique, ce taux est principalement influencé par la composition minérale du sol d'un bassin versant.

De plus, les mesures de densité ont permis de démontrer une augmentation des quantités de moules zébrées dans la plupart des sites étudiés, ce qui indiquerait que l'espèce parvient à se reproduire, se fixer et croître convenablement. Il est probable que les densités continueront à augmenter. Vu les conditions suboptimales, notamment en calcium, rencontrées dans le lac Memphrémagog et ses effluents, il est possible que les densités n'atteignent pas celles des Grands Lacs, mais il est peu probable que nous ayons déjà atteint un maximum. Le rapport déposé à la

MRC par Geneviève D'Avignon de l'Université McGill en janvier 2020, indique que pour plusieurs plans d'eau une phase de latence est observée en début d'invasion suivi par un boom démographique soudain qui entraîne une cascade d'impacts environnementaux et économiques. La densité maximale de population est généralement atteinte 7 à 12 ans après l'introduction initiale de la moule zébrée. Cependant, les densités pouvant être atteintes dans le lac Memphrémagog et son réseau hydrographique en aval sont incertaines à cause des conditions physicochimiques suboptimales. Il est possible que la situation ne s'avère pas aussi problématique que dans les Grands Lacs, le lac Winnipeg ou la rivière Mississippi, mais il semble encore trop tôt pour le savoir.

6.2 Évaluation de la pertinence de différentes méthodes de suivi

Après la réalisation du mandat, certaines réflexions sur les méthodes de suivis peuvent être considérées pour la poursuite des activités de suivis.

6.2.1 Évaluation de la distribution par recherche active

Avantages :

Cette méthode s'est révélée efficace pour évaluer la distribution des moules zébrées et elle permet également de faire un suivi qualitatif sur les densités des moules zébrées. La comparaison de densité entre les sites pourrait se baser sur le nombre de moules trouvées en 1h/personne plutôt que d'utiliser la densité calculée avec l'aire ratisée. En effet, puisqu'avec le protocole d'évaluation de la distribution la zone n'est pas inspectée méthodiquement et que toutes les moules ne sont pas ramassées comme dans le cas du protocole de mesure de densité, la densité au mètre carré s'en trouverait sous-évaluée.

Comme cette méthode est peu coûteuse, car elle ne nécessite pas d'engager des plongeurs et qu'elle est facile et rapide, elle pourrait être privilégiée pour faire un suivi de la progression de la moule zébrée sur le territoire. L'utilisation de cette méthode permet en effet d'inventorier plus de sites plus rapidement et à coût moindre. Elle peut s'effectuer à deux personnes et nécessite peu de matériel. C'est d'ailleurs ce qui a été fait cette année. En 2019, la carte de distribution était constituée seulement de points verts ou rouges (absence ou présence). Nous avons décidé d'apporter des nuances cette année et d'ajouter des points jaunes et oranges en fonction du

nombre de moules ramassées en 1h/personne. Nous pensons que cette méthode pourrait être utilisée dans les années à venir.

Cette méthode est donc pratique, car elle offre un suivi qualitatif des quantités de moules zébrées présentes aux sites, en plus de permettre d'effectuer un suivi efficace des fronts d'invasion. Il s'agit aussi d'une méthode qui peut être utilisée pour la détection dans des lacs non contaminés, comme le Massawippi.

Désavantages :

Le seul désavantage de cette méthode est qu'elle ne donne pas une idée précise de la densité en moules/m². C'est pourquoi elle ne peut servir qu'à évaluer grossièrement les densités de moules. Elle peut être utilisée pour comparer des abondances de moules seulement si le même protocole est suivi pour les inventaires, avec le même nombre de personnes (en l'occurrence, deux), afin de limiter les sources de variation. Les résultats obtenus ne peuvent cependant pas être comparés à des densités des moules en moules/m² issues de la littérature. Cette méthode pourrait être utilisée pour donner une idée de l'efficacité d'une opération de contrôle, mais des petites variations de densités pourraient ne pas être détectées.

6.2.2 Évaluation de la densité

Avantages :

L'évaluation de la densité donne une valeur plus exacte de densité que les inventaires de distribution. Cela permet une comparaison avec la littérature et les autres cours d'eau. Une évaluation précise de la densité permet aussi de mesurer l'efficacité des opérations de contrôle et de détecter des plus faibles variations de densité.

Désavantages :

Comme le total de l'aire des quadrats est relativement petit (6.25 m²) et que la zone inventoriée peut être assez réduite si le dénivelé du fond de l'eau est abrupt, il est très possible d'avoir des valeurs non représentatives du secteur (comme il a été le cas pour la Baie de Magog cette année, par exemple). De plus, l'utilisation de plongeurs augmente les coûts, le temps de travail et apporte un autre facteur de variabilité possible dans la méthode. Finalement, bien que le protocole puisse

être suivi à deux personnes, cela serait assez fastidieux. Nos inventaires ont été effectués avec un minimum de 4 personnes dans l'eau (un plongeur professionnel et trois en apnée) en plus d'une cinquième personne hors de l'eau pour aider les plongeurs et gérer les échantillons. Ce nombre semblait adéquat pour éviter de s'épuiser trop vite.

La question à se poser est peut-être à savoir s'il est utile d'avoir des mesures exactes de densité, ou si une évaluation de nombre de moules trouvées en 1h/personne de recherche active est suffisante pour faire le suivi de l'invasion.

6.2.3 Substrats artificiels

Avantages :

L'utilisation de substrats artificiels est pertinente vu sa relative simplicité. Ils sont installés et vérifiés idéalement une fois par mois pour obtenir une date plus précise de la reproduction, mais ils peuvent être relevés moins souvent. Ils permettent de voir la quantité de véligères qui se sont fixées pendant une période donnée. Cette valeur peut être comparée à celle d'autres lacs ou à la littérature scientifique. Ils sont intéressants pour voir le recrutement des moules, peuvent permettre de connaître le nombre d'évènements de reproduction ayant eu lieu dans l'été et peuvent être utilisés pour faire de la détection hâtive dans les cours d'eau non infestés. Il est cependant important qu'ils soient installés assez tôt dans l'année pour éviter de manquer la période de reproduction si celle-ci arrive tôt dans l'été. Couplés à une mesure de la quantité de véligères présente dans la colonne d'eau, les substrats artificiels peuvent aussi servir à évaluer la survie et le taux de fixation des véligères, ce qui donne des informations supplémentaires à la compréhension de la reproduction de la moule zébrée au lac Memphrémagog et son bassin en aval.

Désavantages :

Les substrats artificiels en pyramide sont encombrants à manipuler à partir d'une embarcation. De plus, les substrats artificiels servent à identifier le moment de la reproduction après que celle-ci ait eu lieu. Ils ne sont donc pas adéquats pour prendre des mesures additionnelles de prévention (lavage des embarcations à la sortie, meilleure surveillance des descentes, etc.) lors des périodes plus à risque étant donné que ces périodes varient beaucoup d'une année à l'autre.

L'identification de la période de reproduction à une année donnée ne peut pas servir à prendre des mesures supplémentaires au même moment l'année suivante.

6.2.4 Activités de contrôle

Avantages :

Les activités de contrôle sont un bon moyen de sensibilisation et elles peuvent servir à retirer les moules des structures sur lesquelles la fixation de moules peut occasionner des bris ou augmenter les chances de propagation (prises d'eau, quais, descentes de bateau, etc.).

Désavantages :

Il est difficile de se fier aux comparaisons des densités aux sites de retrait de 2019 pour évaluer l'efficacité du retrait. Cependant, il est difficile d'imaginer comment ces opérations pourraient avoir un impact sur la population de moules zébrées. Plusieurs facteurs limitants sont à considérer tel que l'immensité du territoire à couvrir, les densités élevées à plusieurs endroits, les profondeurs seulement atteignables par des plongeurs et la dissimulation des moules zébrées sous plusieurs étages de roches pour ne citer que ces points. La moule zébrée semble malheureusement trop bien établie dans le bassin hydrographique en aval du lac Memphrémagog pour pouvoir y être retirée à ce point.

6.3 Recommandations

- **Poser les substrats artificiels plus tôt et les retirer aussi tard que possible**

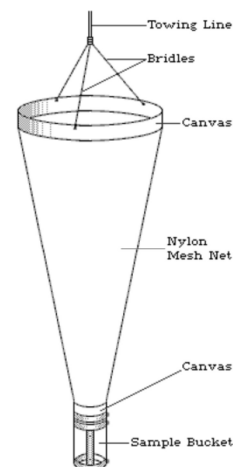
Cette année, en partie à cause de la COVID-19, les substrats ont été installés alors que les températures de l'eau avaient depuis longtemps atteint 12°C. Les substrats ont été retirés à différentes dates selon les lacs. Au lac Memphrémagog, les substrats ont été retirés le 16 septembre pour éviter les vents forts d'octobre qui pourraient causer la perte des substrats. Il est possible que les substrats aient été installés trop tard puisqu'aucune moule n'a été retrouvée sur les substrats alors que leur présence est confirmée. Au lac Massawippi, les substrats ont été retirés le 21 octobre. Au lac et à la rivière Magog ainsi que dans la rivière Saint-François les substrats ont été retirés le 14 octobre. Comme ce dernier relevé est le seul qui a révélé la présence de moules zébrées, il n'est pas impossible qu'il y ait eu un événement de reproduction très tardif, à la fin septembre ou au début du mois d'octobre.

- **Poursuivre l'installation de substrats artificiels.**

Essayer de mettre des substrats artificiels encore au moins une autre année pour au moins évaluer l'efficacité des substrats expérimentaux. Les substrats devraient être attachés aux bouées avec des câbles métalliques pour diminuer les risques de les perdre.

- **Échantillonner les végétales présentes dans la colonne d'eau.**

Mesurer la quantité de végétales en suspension dans l'eau de façon régulière, à toutes les semaines si possible, pendant tout l'été. Il s'agit d'une méthode plus directe que les substrats artificiels pour identifier précisément les périodes de reproduction. Il faudrait probablement faire un suivi à chaque année, car le moment de la reproduction et le nombre d'épisodes de reproduction peuvent varier d'une année à l'autre. L'avantage de cette technique est l'obtention de résultats rapidement ce qui permet de réagir en resserrant les mesures de précautions (lavage des embarcations, sensibilisation, voire fermeture de certaines descentes et obligation de lavage à la sortie) lors des périodes de hautes densités de végétales. Les protocoles de



Filet à plancton

mesure des véligères nécessitent un microscope (minimum 30x, idéalement 40x), un filet à plancton de 63 – 64 µm, un micromètre oculaire et un compteur de cellules Sedgewick-Rafter. Le « Standard Protocol for Monitoring and Sampling Zebra Mussels » explique bien la marche à suivre (Marsden, 1991). Plus récemment, le ministère de l'Environnement et des Changements climatiques de la Colombie-Britannique a également publié le « British Columbia Dreissenid Mussel Lake Monitoring Field Protocol » dans lequel la méthode d'échantillonnage de véligères est très bien détaillée (Ecosystems Branch BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, 2018). Il semble que cette méthode soit recommandée dans les suivis de la moule zébrée, qu'elle soit utilisée ailleurs, et qu'il serait parfaitement possible pour une organisation comme le MCI de la faire si elle possédait le matériel nécessaire.

- **Favoriser le protocole d'évaluation de la distribution pour le suivi.**

N'utiliser le *Protocole de densité* que s'il est vraiment utile de connaître des valeurs précises de densités, par exemple pour évaluer l'effet d'une opération tel un retrait. Utiliser le *Protocole d'évaluation de la distribution* pour suivre l'évolution des fronts d'invasion, pour la détection, ainsi que pour suivre l'évolution des densités de façon plus générale.

- **Instaurer le lavage des embarcations à la sortie des points d'eau contaminés pour protéger les lacs environnants.**

Le lac Memphrémagog et ses effluents sont des sources importantes de contamination pour les autres lacs, dont certains sont très vulnérables de par leurs paramètres physico-chimiques, leur proximité ou l'absence de stations de lavage. Instaurer le lavage à la sortie permettrait de mettre des efforts où les résultats auraient le plus grand impact en agissant dans la prévention de nouvelles invasions. En effet, bien trop souvent, les mesures sont prises en réaction, et les mesures de prévention sont rarement assez agressives. Il faut se rappeler qu'une fois que la moule est introduite, il est déjà trop tard. Il faut agir en amont.

Des inquiétudes existent par rapport au refoulement de l'achalandage des stations de lavage si les bateaux sont lavés à la sortie également, ainsi qu'au manque de ressource existant déjà pour laver les embarcations à l'entrée. Il pourrait être intéressant, par exemple, de faire un projet pilote pour évaluer l'impact réel de cette mesure. Aussi, le lavage pourrait peut-être être suggéré gratuitement à la sortie, afin que les plaisanciers

qui comptent changer de plan d'eau puissent nettoyer volontairement leur embarcation. Ce ne serait ainsi pas 100% des plaisanciers qui laveraient leur embarcation à la sortie, ce qui diminuerait le risque d'achalandage trop important. Il est très probable qu'offrir ce lavage à la sortie gratuitement favoriserait l'acceptation sociale de la mesure et la participation des plaisanciers.

- **Installer des stations de lavage d'embarcation au lac Magog.**

La plage de Deauville connaît un achalandage important durant l'été. Il n'y a pas de surveillance des embarcations et les densités de moules zébrées à proximité sont relativement élevées. Il serait intéressant d'installer un poste de lavage à cet endroit. Ceci diminuerait les risques d'introduction d'une nouvelle espèce aquatique envahissante et, si cette mesure est réalisable, pourrait permettre d'offrir le lavage des embarcations à la sortie afin de limiter les risques d'invasion aux autres plans d'eau à risque de la région. Idéalement, cette mesure serait accompagnée d'un meilleur contrôle des autres descentes accessibles au public du lac Magog et de la rivière Magog.

- **Retourner mesurer les densités aux sites ayant fait l'objet d'opérations de contrôle**

Cette mesure permettrait d'acquérir plus d'information sur la vitesse à laquelle la moule zébrée recolonise les sites contrôlés ainsi que sur l'efficacité des opérations de retrait.

- **Augmenter la sensibilisation des usagers sur tout le territoire.**

La présence de la moule zébrée dans le lac Magog et la rivière Magog n'est pas encore bien connue du public. Il serait important de faire circuler cette information, de la médiatiser. Il pourrait aussi être intéressant d'installer des pancartes aux descentes de bateaux qui indiquent quelles sont les espèces envahissantes présentes dans le cours d'eau. Ces pancartes pourraient donc indiquer la présence de la moule zébrée à toutes les descentes du territoire. Des pancartes indiquant les espèces aquatiques qui menacent le cours d'eau ont été posées à 9 sites sur le territoire de la Ville de Sherbrooke en 2020. Bien que l'initiative soit intéressante et qu'elle permette de sensibiliser les usagers aux espèces préoccupantes, ces pancartes ne spécifient pas clairement que la moule zébrée est présente dans le lac Magog et la rivière Magog.

De l'information et même des formations pourraient aussi être offertes aux organisations qui possèdent une descente ou qui œuvrent dans le domaine nautique, comme par exemple au Club de Voile du Petit Lac Magog, le parc Blanchard de Sherbrooke (Maison de l'eau) ou au Camping du Lac Magog. Celles-ci serviraient à mieux outiller les

propriétaires et employés à identifier les moules zébrées et à prévenir leur propagation. Ils pourraient ainsi à leur tour sensibiliser les usagers. Finalement, il faudrait informer les riverains des précautions à prendre pour limiter les risques de propagation de la moule s'ils visitent d'autres plans d'eau.

Afin de garder une longueur d'avance sur l'invasion, il serait pertinent d'étendre la sensibilisation et l'installation de pancartes au-delà du lac Memphrémagog et de ses effluents, et de sensibiliser les usagers et les riverains des autres lacs du territoire (surtout ceux qui sont à risque d'introduction), ainsi que le long de la rivière Saint-François en aval de Sherbrooke. Les pancartes aux lacs à risque d'introduction de moule zébrée pourraient même indiquer quels sont les lacs et rivières contaminés au Québec, en indiquant que les embarcations venant de ces cours d'eau doivent impérativement avoir été nettoyées avant d'utiliser la descente. Dans les plans d'eau à risque de la région, le lac Massawippi et son tributaire principal, la rivière Tomifobia, sont dans les plus vulnérables en raison de leur haut taux de calcium. Il est impératif de poursuivre le lavage des embarcations et d'évaluer la possibilité que l'ensemble des stations de lavage du lac fonctionnent à l'eau chaude tout en continuant la sensibilisation aux usagers et riverains.

Bien que des opérations de retrait aient probablement peu d'impact sur la population de moule zébrée en général, elles peuvent être une occasion de médiatiser l'enjeu, d'augmenter la visibilité et de sensibiliser la population. Des activités de contrôle pourraient donc être organisées pendant l'été dans cette optique.

- **Entretien des infrastructures des stations de pompage et de traitement d'eau potable**
Les moules zébrées devraient être retirées des tuyaux de prise d'eau des villes de Sherbrooke et Magog. La prise d'eau de Magog se trouve à une moins grande profondeur et elle serait par conséquent plus à risque d'obstruction. Il faudra sans doute, dans le futur, évaluer les dommages possibles de la moule zébrée sur le reste du système d'approvisionnement en eau potable et trouver des moyens de les limiter.
- **Surveiller la limite sud de la population de moules zébrées.**
Il serait utile de suivre la progression de la moule zébrée vers le sud du lac Memphrémagog. Le lac Memphrémagog est un grand plan d'eau et certains secteurs du lac sont moins propices à l'installation de la moule zébrée, tels que la baie Fitch. Il serait utile de savoir si la moule zébrée parvient à s'installer dans ces secteurs. Le *Protocole de*

suivi de la distribution devrait être maintenu des deux côtés du lac dans les secteurs situés au sud du front de l'invasion.

- **Poursuivre la détection au lac Massawippi.**

L'installation de substrats artificiels et des inventaires de suivi de distribution devraient être maintenus afin d'assurer une détection précoce si une introduction se produisait.

- **Poursuivre les efforts de protection des cours d'eau contre les autres espèces envahissantes.**

Les cours d'eau contaminés restent sensibles à l'introduction d'autres espèces aquatiques envahissantes telles que la moule quagga, qui n'a pas encore été détectée en Estrie. Dans plusieurs autres plans d'eau en Amérique du Nord, la moule zébrée a été la première à envahir les cours d'eau pour ensuite être suivie de la moule quagga qui finit par remplacer la moule zébrée et dominer les habitats. Même si les deux espèces se ressemblent, la moule quagga peut se reproduire à des températures plus basses et à de plus grandes profondeurs. À cause d'une aire de répartition combinée plus grande, la présence des deux espèces peut multiplier les effets négatifs. Il est donc important de prévenir l'introduction de cette autre espèce de dreissenidé.

- **Formation des gestionnaires des infrastructures à risque**

Les gestionnaires des infrastructures à risque tels que les opérateurs de barrages, de stations de traitement d'eau potable et d'autres infrastructures pouvant être affectées par la présence de moules zébrées doivent être informés de la situation afin qu'ils puissent prévoir des mesures de gestion adaptées à la problématique.

BIBLIOGRAPHIE

- Borcherding, J. (1991). The annual reproductive cycle of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in lakes. *Oecologia*, 87(2), pp. 208-218.
- Choi, W. J., Gerstenberger, S., McMahon, R. F., & Wong, W. H. (2013). Estimating survival rates of quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) veliger larvae under summer and autumn temperature regimes in residual water of trailered watercraft at Lake Mead, USA. *Management of Biological Invasions*, 4(1), 61-69.
- D'Avignon, G., Ricciardi, A., Bourgault, J., & Hsu, S. (2020). *Évaluation de la distribution et de la structure des populations de moule zébrées au lac Memphrémagog et ses environs*.
- Ecosystems Branch BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy. (2018). *British Columbia Dreissenid Mussel Lake Monitoring Field Protocol*. Ministry of Environment and Climate Change Strategy.
- Lucy, F. (2006). Early life stages of *Dreissena polymorpha* (zebra mussel): the importance of long-term datasets in invasion ecology. *Aquatic Invasions*, 1(3), 171-182.
- Marsden, J. E. (1991). *Standard Protocol for Monitoring and Sampling Zebra Mussels*. Zion, Illinois Natural History Survey: Lake Michigan Biological Station.
- McMahon, R. F., Ussery, T. A., & Clarke, M. (1993). *Use of Emersion as a Zebra Mussel Control Method*. US Army Corps of Engineers, Arlington, Tx.
- MFFP (2019). *Protocole d'évaluation de la distribution, de la densité et de retrait de moules zébrées (Dreissena polymorpha)*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.
- Mills, E. L., Dermott, R. M., Roseman, E. F., Dustin, D., Mellina, E., Con, D. B., & Spidle, A. P. (1993). Colonization, Ecology, and Population Structure of the "Quagga" Mussel (*Bivalvia: Dreissenidae*) in the Lower Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(11), 2305-2314.

- Morales, J., Lizana, M., Flechoso, F., Bejarano, G. M., & Negro, A. I. (2019). Estimate zebra mussel veliger density from the riverbanks, lotic stretch and reservoir, in two Mediterranean rivers (E Spain). *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 420, 7.
- Nichols, S. J. (1996). Variations in the Reproductive Cycle of *Dreissena Polymorpha* in Europe, Russia, and North America. *American Zoologist*, 36(3), 311-325.
- Picard, I., & Doyon, S. (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).
- Ramcharan, C. W., Padilla, D. K., & Dodson, S. I. (1992). Models to Predict Potential Occurrence and Density of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(12), 2611-2620.
- Therriault, T. W., Weise, A. M., Higgins, S. N., Guo, Y., & Duhaime, J. (2013). *Évaluation des risques posés par trois espèces de moules dreissénidées (*Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis* et *Mytilopsis leucophaeata*) dans les écosystèmes d'eau douce au Canada*. Pêches et Océans Canada. Région de la capitale nationale: Secrétariat canadien de consultation scientifique.
- Timar, L., & Phaneuf, D. J. (2009). Modeling the human-induced spread of an aquatic invasive: The case of the zebra mussel. *Ecological Economics*, 68, pp. 3060-3071.
- Vidal, M., Hamilton, P. B., & Pick, F. R. (2004). Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) veliger larvae: distribution and relationship to phytoplankton biomass and composition in the Rideau River, Ontario, Canada. *Archiv für hydrobiologie*, 161(1), 113-131.
- Ville de Sherbrooke. (2020). Compilation Ca et pH 2018 à 2020(Document Excel). Sherbrooke.
- Wacker, A., & Von Elert, E. (2003). Food quality controls reproduction of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Ecophysiology*, 135(3), 332-338.
- Whittier, T. R., Ringold, P. L., Herlihy, A. T., & Pierson, S. M. (2008). A calcium-based invasion risk assessment for zebra and quagga mussels (*Dreissena* spp). *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(4), 180-184.

