

STOP Moule zébrée

Bilan des opérations 2022



Mars 2023

Remerciements

L'ensemble des réalisations présentées dans ce rapport ont été rendues possibles grâce au soutien financier du programme ÉcoAction d'Environnement et Changement Climatique Canada, des cinq municipalités composant le Parc régional Massawippi (Ayer's Cliff, Canton de Hatley, Hatley, North Hatley et Ste-Catherine de Hatley), de la municipalité de Waterville.



Environment and
Climate Change Canada
Environnement et
Changement climatique Canada

Hatley



Ayer's Cliff



Hatley



Municipalité du Village de
Municipality of the Village of
North Hatley



Waterville

Sans le soutien financier de nos nombreux donateurs et, en particulier, de la compagnie Hatley qui nous soutient depuis des années et qui accentué son support dernièrement, le travail accompli et rapporté dans ce document n'aurait pas été rendu possible.

Ce travail a également été rendues possibles grâce au soutien logistique et à l'expertise de (en ordre alphabétique) : l'Aquarium du Québec, du Biodôme de Montréal, du Cogesaf, du Conseil régional en environnement de l'Estrie, du MELFFCP, du ministère Pêches et Océans Canada, de Memphrémagog Conservation Inc., de Plongée Magog, de plongeurs bénévoles (voir Équipe de travail), de l'Université de Sherbrooke, de l'University of California Davis et du village de North Hatley.



Aquarium du Québec



Conseil de gouvernance de l'eau
des bassins versants de la rivière Saint-François



Fisheries and Oceans
Canada
Pêches et Océans
Canada



Memphrémagog
Conservation inc.



Table des matières

Équipe de travail.....	iii
Liste des figures et tableau.....	iv
1 Résumé	1
2 Mise en contexte	3
2.1 Biologie de la moule zébrée	3
2.2 Introduction et propagation.....	4
2.3 Impacts de sa présence	4
2.4 Le cas du lac Massawippi.....	4
2.5 Détection de la moule zébrée au lac Massawippi et premières interventions.....	5
3 Méthodologie des activités réalisées en 2022	7
3.1 Suivi de la population	7
3.1.1 Densités par quadrats.....	7
3.1.2 Substrats pyramidaux.....	7
3.1.3 Petits substrats citoyens.....	8
3.1.4 Concentrations de véligères	9
3.1.5 Plongées de détection en apnée	9
3.2 Contrôle de la population.....	9
3.2.1 Plongées sous-marines de retrait.....	10
3.2.2 Plongées de retrait en apnée	11
3.2.3 Arrachage d'un herbier envahissant	11
3.3 Activités complémentaires.....	12
3.3.1 École de plongée	12
3.3.2 Étude sur les courants	12
3.3.3 Opération de la station de lavage de North Hatley.....	13
3.3.4 Retrait de déchets (projet pilote).....	13
4 Bilan des activités, résultats et discussion	13
4.1 Protocole de détection et efforts de retrait.....	15
4.1.1 Suivi des véligères.....	15
4.1.2 Substrats.....	16
4.1.3 Plongées de retrait	20
4.1.4 Inventaires par quadrats	21
4.2 Bilan des autres activités liées à la lutte contre la moule zébrée	23
4.2.1 Opération de la station de lavage de North Hatley.....	23
4.2.2 Mise en place de l'école de plongées.....	24
4.2.3 Étude des courants	25
4.2.4 Projet pilote de retrait de déchets	25
4.3 Interprétation globale des résultats et perspectives	27
5 Conclusion	28
6 Références.....	29
7 Annexes	30

Équipe de travail

En bleu : équipe de Bleu Massawippi

En noir : principaux collaborateurs

Coordination:

Sophie Payeur - Directrice
Vincent Lemieux - Responsable scientifique
Philippe-David Blanchette - Conseil d'administration
Denis Mongeau - Plongée Magog
Annick Drouin - MELCCFP

Plongeurs scientifiques :

Denis Mongeau - Plongée Magog
Samuel Fortin - Bénévole
Jacques Tremblay - Conseil d'administration
Youri Pinard - Bénévole
Marie-Ève Paquette - Bénévole
Charles-Édouard Grisé - Contractuel
Valérie Maltais - Bénévole
Ulysse Pinard - Bénévole
Marie-Pierre Lessard - Aquarium du Québec
Florence Robertson - Aquarium du Québec
Stéphann G. - Bénévole, Aquarium du Québec
Daniel Babin - Bénévole, Aquarium du Québec
Michael Friesen - Bénévole, Biodôme de Montréal
Amélie Germain-Paulette - Aquarium du Québec
Nicolas Gagnon - Aquarium du Québec
Julian Wilson - Contractuel
Camille Pépin - Contractuelle

Autres travaux terrain :

Vincent Lemieux - Responsable scientifique
Nolwenn LeMétayer - Étudiante à la maîtrise en environnement
Marie Beaubien - Étudiante au baccalauréat en écologie
Andrew Janelle - Étudiant au baccalauréat en environnement
Catherine Ducharme - Étudiante, baccalauréat en environnement
Gabriel Vaillancourt - Étudiant, technique santé-sécurité au travail
Nicolas Bousquet - Cogesaf

Rédaction :

Vincent Lemieux - Responsable scientifique

Révision :

Sophie Payeur - Directrice
Denis Petitclerc - Président

Liste des figures et tableau

Figure 1 : Cycle de reproduction de la moule zébrée.....	3
Figure 2 : Cartographie du risque d'implantation de la moule zébrée par plan d'eau	5
Figure 3 : Bilan des plongées sous-marines réalisées au lac Massawippi en 2021	6
Figure 4 : Photo d'un substrat pyramidal et d'un petit substrat collecteur pour citoyens.....	8
Figure 5: Photo de moules zébrées présentes sur des racines de Myriophylle à épis.....	11
Figure 6 : Estimations spatio-temporelles de la concentration de végigères	15
Figure 7 : Répartition et bilan des petits substrats collecteurs pour citoyens	17
Figure 8 : Bilan de l'analyse des substrats pyramidaux.....	19
Figure 9 : Bilan des plongées de retrait menées par Bleu Massawippi, en 2022.....	20
Figure 10 : Inventaire de densités par quadrats.....	22
Figure 11 : Achalandage hebdomadaire à la station de lavage de North Hatley, en 2022.	24
Figure 12 : Photos prises lors de la journée pilote de retrait de déchets du lac Massawippi.....	26
Tableau 1 : Contrôle de la moule zébrée : principales réalisations de Bleu Massawippi (2022)...	13

1 Résumé

La détection de la moule zébrée dans le lac Memphrémagog en 2017 a résulté en la mise en place d'un protocole de détection serré au lac Massawippi et au renfort des mesures préventives à l'échelle régionale. Ces actions ont permis de repousser son arrivée au lac Massawippi de plus de 4 ans. Sa détection hâtive en octobre 2021, suivi des premiers travaux de caractérisation ont dressé un constat clair : la population est à un stade extrêmement précoce, présentant de très faibles effectifs. Les populations à ce stade seraient plus vulnérables aux opérations de contrôle, et présentent un potentiel reproductif encore faible. Ainsi, Bleu Massawippi et sa communauté ont entrepris de freiner et, idéalement, renverser sa prolifération dans le lac Massawippi. Ces actions sont d'autant plus importantes dans ce plan d'eau, puisque sa physico-chimie favorable pourrait supporter des densités record entraînant un déséquilibre majeur de l'écosystème, la perte de nombreux usages par la population, et des impacts financiers considérables pour tous.

Ce rapport détaille les accomplissements de l'année 2022, pour laquelle la lutte a été menée sur plusieurs fronts en simultané. Principalement, l'accréditation de Bleu Massawippi par l'association Canadienne des sciences subaquatiques, jumelée à du support financier, a permis de former 7 bénévoles au travail de plongée, réaliser 262 plongées de retrait totalisant 700h de recherche sous l'eau et retirer 18 727 moules zébrées. En parallèle, le suivi en continu de la population a révélé qu'elle n'a pas colonisé tout le lac, qu'elle se concentre dans la portion Nord et que les densités et le recrutement demeurent faibles. Bleu Massawippi a également avancé d'autres actions qui apparaissent tout aussi capitales à la lumière du constat émis, comme le maintien du lavage des embarcations et l'amélioration de notre compréhension de l'implantation des larves véligères.

Une fenêtre d'opportunité unique est présente pour la gestion de la moule zébrée et son succès dépendra entièrement de la capacité de Bleu Massawippi et de sa communauté, supportés par les instances gouvernementales, à maintenir et décupler les actions de contrôle en 2023.

Summary

The detection of zebra mussels in Lake Memphremagog in 2017 resulted in the implementation of a tight detection protocol at Lake Massawippi and the reinforcement of preventive measures at the regional level. These actions made it possible to postpone its introduction into Lake Massawippi by more than 4 years. Its early detection in October 2021, followed by the first characterization work, resulted in a clear observation: the population is at an extremely early stage, with a very small population. Populations at this stage are more vulnerable to control operations, and still have a low reproductive potential. Thus, Bleu Massawippi and its community set out to curb and, ideally, reverse its proliferation in Lake Massawippi. These actions are extremely important in this body of water, since its very favorable physico-chemistry could support record densities leading to a major imbalance of the ecosystem, the loss of many usages by the population, and major financial costs to all.

This report details the 2002 achievements carried out on several fronts simultaneously. Mainly, the accreditation of Bleu Massawippi by the Canadian Association of Underwater Science. Through appropriate financial support, 7 volunteers were trained to support diving operations and performed 262 withdrawal dives totaling 700 hours of research underwater and leading to the removal of 18,727 zebra mussels. At the same time, our continuous monitoring of the population revealed that it has not colonized the entire lake, being mostly concentrated in the northern portion where the densities and recruitment remain low. Bleu Massawippi has also put forward other actions that appear just as crucial considering the observation made, such as maintaining boat washing and improving our understanding of the implantation of veliger larvae.

A unique window of opportunity is opened for the management of this zebra mussel population and its success will depend entirely on the ability of Bleu Massawippi and its community, supported by government authorities, to maintain and multiply control actions in 2023.

2 Mise en contexte

La lutte à la moule zébrée menée par Bleu Massawippi représente une opération d'une envergure inégalée en Amérique du Nord en termes d'actions entreprises relativement à la superficie et de vitesse de mise en œuvre. Les opérations de contrôle s'appuient toutefois sur un certain historique et des notions clés, dont le rappel constitue l'objectif de cette première section. Consultez la section 2 pour la méthodologie employée et la section 3 pour les résultats des activités 2022.

2.1 Biologie de la moule zébrée

La moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) est une espèce exotique envahissante originaire d'Europe. Sa longévité est de près de 3 ans et elle atteint une taille d'environ 3cm à maturité. Elle se fixe à tout substrat solide submergé pour son développement et se reproduit lorsque l'eau atteint une température supérieure à 12 degrés Celsius, environ. À ce moment, chaque femelle relâche des centaines de milliers, voire un million d'œufs dans l'eau, qui éclosent après 4-5 jours pour devenir un type de larve nommée véligère (figure 1). Invisibles à l'œil nu, les véligères se développent en suspension dans l'eau pendant près de 3 semaines avant de s'attacher à un substrat favorable et poursuivre leur développement, incluant notamment la formation d'une coquille. Il faudra cependant attendre 3-4 mois avant qu'elles deviennent visibles à l'œil nu avec une taille de quelques millimètres et au moins un an avant qu'elle atteigne la maturité sexuelle.

Mentionnons que le taux de mortalité naturel du relâchement des œufs à la maturité est extrêmement élevé, de l'ordre de 95% ou plus (figure 1). Cela dit, vu le nombre colossal d'œufs pouvant être relâchés à l'échelle d'une population, il apparaît évident que la moule zébrée possède un potentiel de reproduction extrêmement élevé.

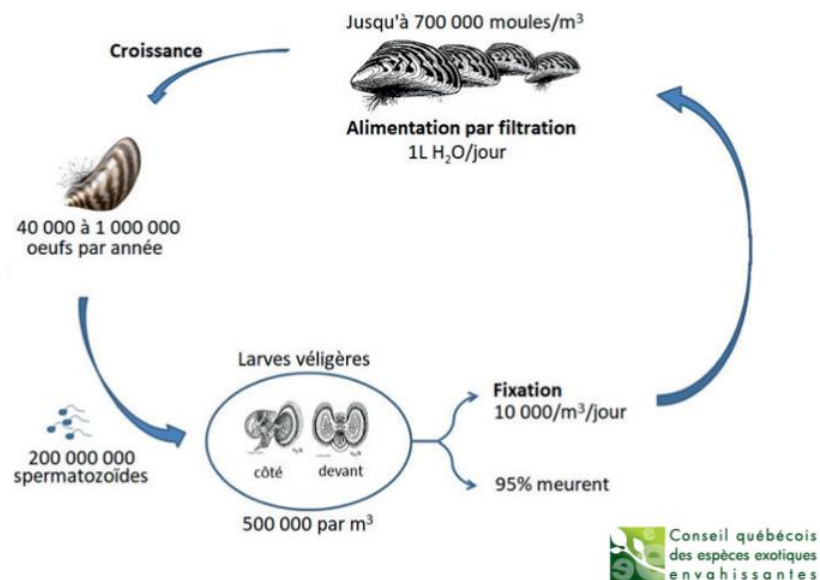


Figure 1 : Cycle de reproduction de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*)

2.2 Introduction et propagation

La moule zébrée aurait été introduite en Amérique du Nord par les voyages intercontinentaux des embarcations nautiques. Observée pour la première fois en Amérique du Nord en 1988, dans les Grands Lacs, elle s'est rapidement propagée dans plusieurs plans d'eau douce aux États-Unis, en Ontario et au Québec, principalement par le biais du trafic nautique (Biorex, 1995a, b). Elle peut coloniser de nouveaux plans d'eau de deux manières, grâce à la capacité à se fixer à tout objet solide, comme des embarcations, et grâce au relargage d'eaux résiduelles provenant d'un plan d'eau contenant des larves microscopiques en suspension (Picard, 2019). Elle a ainsi progressé rapidement depuis les dernières décennies, envahissant le fleuve Saint-Laurent, le lac Champlain et la rivière Richelieu pour n'en nommer que quelques-uns. Elle a également fait une percée en Estrie ayant probablement été introduite par les plaisanciers visitant différents plans d'eau au sein d'une même année. Elle y a d'abord été détectée au lac Memphrémagog en 2017 puis dans le lac Magog, la rivière Magog, la rivière Saint-François et, depuis le 15 octobre 2021, dans le lac Massawippi. Elle continue de se répandre dans de nouvelles régions, mentionnons sa détection dans le lac Témiscouata en 2022.

2.3 Impacts de sa présence

Les conséquences de l'implantation de la moule zébrée sont nombreuses et des impacts écologiques et économiques peuvent se faire sentir à partir de densités de moules atteignant les milliers d'individus par mètres carrés. Les moules zébrées peuvent atteindre de telles densités sans problème, dans les environnements adéquats, vu sa petite taille et sa capacité à se fixer sur d'autres moules zébrées déjà implantées. Sur le plan écologique, elle peut causer de graves perturbations, notamment en faisant compétition aux espèces indigènes. Puisque chaque individu peut filtrer jusqu'à un litre d'eau par jour pour se nourrir, des populations bien établies peuvent faire chuter la quantité de nourriture (plancton) disponible pour les jeunes poissons et les invertébrés aquatiques. L'implantation de la moule zébrée aurait causé l'extinction de plusieurs espèces de bivalves indigènes, leur principal compétiteur, dans le fleuve Saint-Laurent. Cette chute, en retour, déséquilibre le réseau trophique et provoque le déclin d'espèces indigènes, incluant les espèces de poissons pêchés (Picard, 2019). Le retrait des organismes en suspension a aussi comme effet indirect d'augmenter la transparence de l'eau, améliorant la pénétration de la lumière en eaux plus profondes et favorisant la prolifération des plantes aquatiques et des cyanobactéries (Picard, 2019). Au niveau socio-économique, elle risque d'encrasser et endommager toute infrastructure submergée comme les prises d'eau, les quais résidentiels et les bateaux qui nécessiteront des travaux d'entretien spécialisés et récurrents. À ce titre, les coûts cumulés et projetés de l'implantation de la moule zébrée au lac Memphrémagog ont été récemment estimés à près de 600 millions de dollars (MPO, non publié).

2.4 Le cas du lac Massawippi

Le lac Massawippi se distingue des autres plans d'eau de la région, puisque ses propriétés physico-chimiques laissent croire qu'il offre un milieu idéal à la prolifération de la moule zébrée. Le niveau de prolifération et la taille de la population sont limités principalement, en Amérique du Nord, par la quantité de calcium dissout dans l'eau nécessaire à la production de sa coquille, et du pH (Picard, 2019). Or, des analyses répétées ont permis de révéler des valeurs optimales de 30 mg/L et de 7.7, respectivement (figure 2). Ces plages de valeurs sont associées à de fortes densités de moules zébrées dans d'autres plans d'eau, et, sans interventions, le lac Massawippi pourrait voir

les densités de moules zébrées atteindre plus de 100 000 individus par mètres carrés dans certains secteurs. Mentionnons à titre comparatif le lac Memphrémagog qui, bien que théoriquement moins propice, observe déjà des densités dépassant 6000 individus par mètres carrés dans certains secteurs, sans signe de ralentissement (figure 2, MCI 2022). Les hautes densités menaçant de se développer au lac Massawippi seront accompagnées du décuplement des impacts négatifs anticipés tant sur l'écosystème que sur les usages économiques du lac.

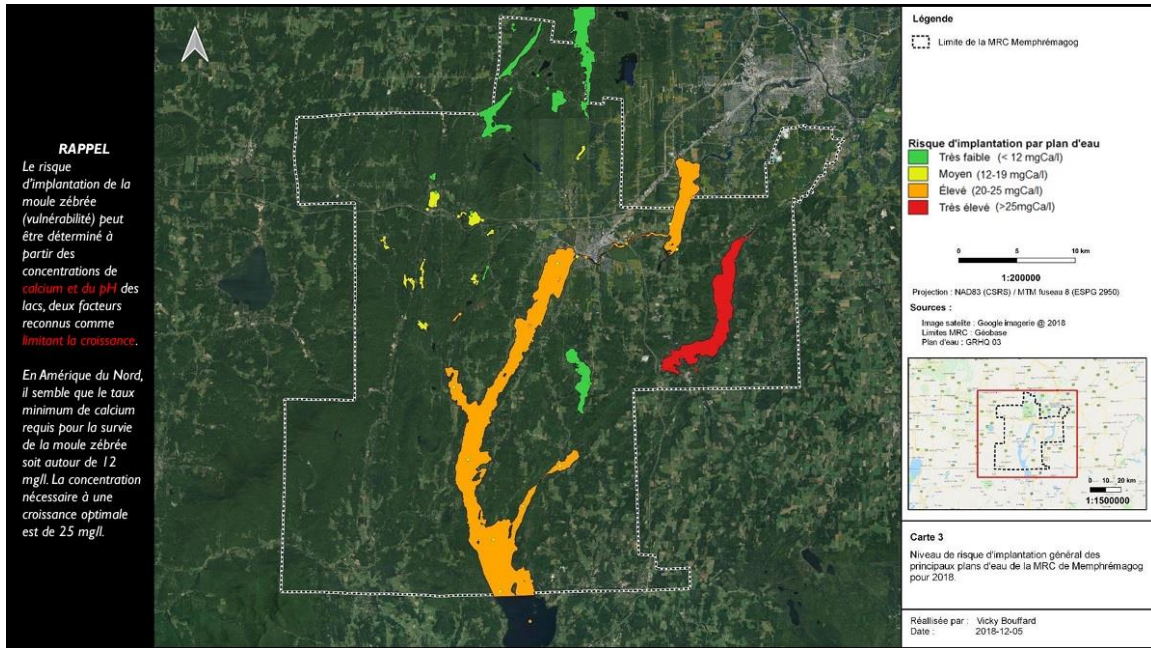


Figure 2 : Cartographie du risque d'implantation de la moule zébrée par plan d'eau dans le territoire de la MRC de Memphrémagog

2.5 Détection de la moule zébrée au lac Massawippi et premières interventions

Après la détection de la moule zébrée au lac Memphrémagog, en 2017, un protocole annuel de détection de la moule zébrée a été mis en place au lac Massawippi dès 2018. Conjointement, du travail de prévention et de sensibilisation auprès des usagers et des acteurs de gestion du territoire a été entamé, afin d'éviter ou repousser autant que possible toute introduction. Le protocole de détection, renforcé d'années en année, était composé de 3 axes principaux, soit :

1. La pose de 10 substrats pyramidaux¹
2. L'inspection de 40 stations réparties autour du lac, en apnée, durant 60 minutes¹
3. L'échantillonnage périodique de l'eau du lac par le MELCCFP à des fins d'analyses d'ADN environnemental¹

Les tests d'ADN environnemental ont permis de suspecter la présence de la moule zébrée à l'été 2021, or ce sont les des substrats pyramidaux qui ont permis d'observer le 1er individu, le 15 octobre 2021. S'en sont suivies des activités de plongées impliquant de nombreux partenaires

¹ Consulter les annexes du présent document pour des renseignements concernant la méthodologie et les résultats

scientifiques² dans le but de caractériser le front d'invasion et l'intensité de la colonisation, résultant en 96 plongées sous-marines et 1972 moules zébrées récoltées, à l'automne 2021. Les plongeurs et biologistes ont observé une colonisation incomplète du lac Massawippi, de faibles densités de moules zébrées dans les secteurs colonisés et une concentration de la population dans le secteur Nord (figure 3).

L'analyse préliminaire des densités et de la structure d'âge de la population par le MELCCFP a révélé que la population a été détectée à un stade extrêmement précoce et que le maintien des interventions avait le potentiel de freiner, voir renverser la prolifération de la moule zébrée. Pesant cette possibilité avec le potentiel de détérioration du plan d'eau advenant un laisser-aller, Bleu Massawippi a décidé de multiplier les efforts de contrôle en 2022.

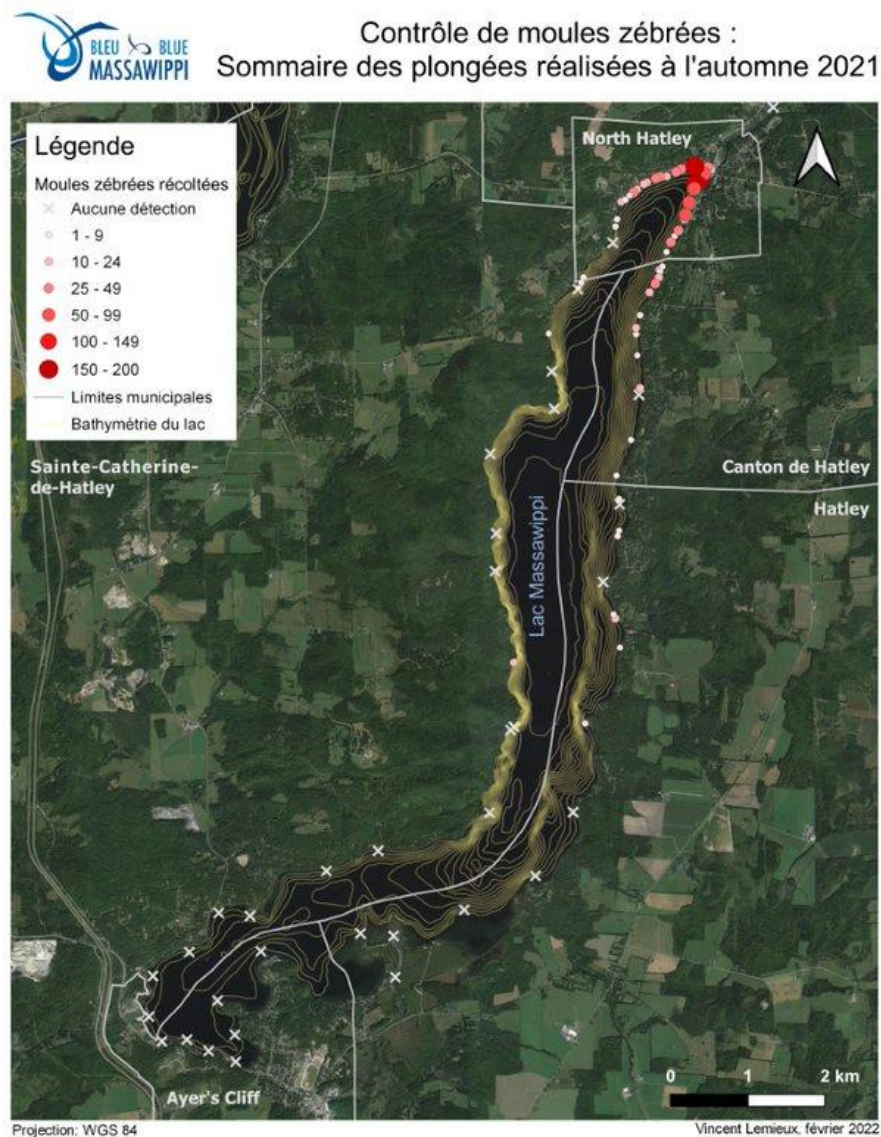


Figure 3 : Bilan des plongées sous-marines réalisées au lac Massawippi en 2021

² En ordre alphabétique : Aquarium du Québec, Explos-nature, MELCCFP, MCI, Plongée Magog,

3 Méthodologie des activités réalisées en 2022

La présente section détaille les différents protocoles déployés sur le terrain à l'été et l'automne 2022. Consultez la section 3 pour la présentation des résultats et une première interprétation et les annexes pour davantage de détails méthodologiques.

Il est à noter que chaque volet décrit dans les sections 2.1 et 2.2 a été réalisé dans le cadre de dérogations octroyées par le MELCCFP (permis SEG no. 2022-04-01-110-05-G-P et autorisation no. 2022 01-05-0509-98).

3.1 Suivi de la population

Le principe théorique, les principaux avantages et un aperçu de méthodologie employée pour les différentes méthodes complémentaires de suivi de la population utilisées au lac Massawippi, en 2022, sont abordés dans les sections subséquentes.

3.1.1 Densités par quadrats

Élaboré en collaboration avec le MELCCFP, le protocole d'inventaire par quadrats est un suivi à long terme visant à quantifier avec précision les densités de moules zébrées présentes dans les différents secteurs d'un lac colonisé. Elle nécessite cependant le déploiement de plongeurs scientifiques pour sa réalisation, ce qui peut limiter son potentiel d'application dans d'autres plans d'eau.

Rapidement, le protocole établi par le MELCCFP vise à visiter annuellement des stations préalablement identifiées, réparties de manière systématique dans l'ensemble du plan d'eau. À chaque station, deux sous-stations sont identifiées aux profondeurs de 2 m et 6 m et 8 quadrats de 0.5 m x 0.5 m (ou 0.25 m²) y sont dispersés aléatoirement dans un rayon de 8 m, pour un total de 16 quadrats par station. Les plongeurs inspectent minutieusement le nombre de moules zébrées à l'intérieur de chaque quadrat et caractérisent sommairement l'environnement afin d'évaluer sa propiété à la colonisation (ex. : type de sol, présence de végétation, etc.). Les moules détectées sont retirées et mesurées afin de déterminer leur âge probable. Les inventaires par quadrats sont faits à l'automne afin de permettre l'inclusion des juvéniles de l'année aux estimations, s'il y a lieu.

En 2022, le MELCCFP a permis l'étude de 21 stations réparties tout le tour du lac Massawippi.

3.1.2 Substrats pyramidaux

Cette méthode de détection robuste se base sur la biologie du développement des véligères. Rappelons qu'une fois relâchées, elles dérivent dans la colonne d'eau durant une période moyennant 15 à 30 jours avant de s'accrocher à une surface solide pour y poursuivre leur développement (Picard, 2019). La détection par substrats vise à déposer des dispositifs standardisés hébergeant quatre plaques de PVC propices au développement des véligères (figure 4). Ils sont submergés à 2m sous la surface, en eau profonde, suffisamment longtemps pour permettre aux véligères d'y croître et d'atteindre une taille de 2-6 millimètres, soit environ 4 mois. Une inspection mensuelle permet de valider le bon déroulement du suivi passif, et à l'automne, les substrats sont extirpés et observés minutieusement, afin de repérer des moules zébrées juvéniles.



Figure 4 : Photo d'un substrat pyramidal (gauche) et d'un petit substrat collecteur pour citoyens (droite)

Initialement conçu pour établir une première détection, le protocole de détection par substrats peut être maintenu afin de suivre l'évolution de la propagation dans le temps et l'espace. Puisque les dimensions des plaques sont connues, il est possible de calculer le taux de recrutement par unité de surface (ex : nouvelles moules par mètres carrés) pour le secteur correspondant. Des comparaisons peuvent donc être dressées entre les secteurs, les années et les autres lacs utilisant la même méthodologie.

Le 16 juin 2022, 16 substrats ont été suspendus aux bouées de navigation de la MRC de Memphrémagog.

3.1.3 Petits substrats citoyens

Cette méthode développée par le MELCCFP se base sur le même principe que celle des substrats pyramidaux pour estimer l'intensité locale du recrutement des moules zébrées (voir section 2.1.1). Elle utilise des dispositifs plus petits à suspendre au bout des quais en eau peu profonde, deux facteurs associés à un niveau de détection réduit. Elle tire cependant sa force de la simplicité de conception et d'assemblage des dispositifs, rendant possible un déploiement à plus grande échelle (assiettes de pots de fleurs, corde et poids, voir figure 4). Elle permet également aux riverains de prendre en charge la collecte de données et de participer au travail de préservation des plans d'eau, moyennant un responsable ou une entité responsable de la coordination de la pose et du retrait.

Malgré la similarité des méthodes des substrats pyramidaux et des petits substrats, une complémentarité émerge de leur déploiement en parallèle. D'une part, cela augmente la quantité totale de dispositifs pouvant détecter l'implantation de végétaux. D'autre part, les substrats pyramidaux, placés en zones plus profondes, pourraient être plus propices à l'élaboration d'une vue d'ensemble au sein de secteurs élargis et les petits substrats à l'obtention d'une résolution fine au sein d'un ou plusieurs secteurs d'intérêt.

En 2022, Bleu Massawippi a bénéficié d'un prêt de matériel du MELCCFP ayant permis le déploiement de 47 petits substrats au bout de quais de 37 riverains du lac Massawippi. Le

COGESAF a complété le travail de pose autour du lac Massawippi en déployant 30 petits substrats supplémentaires dans les rivières Massawippi, Niger et Tomifobia, ainsi que le lac Lyster. Les substrats ont été submergés de juillet à octobre avant d’être retirés et inspectés.

3.1.4 Concentrations de véligères

Ce protocole consiste en l’échantillonnage périodique de l’eau, à des stations prédéterminées, par coups verticaux d’un filet aux mailles suffisamment serrées pour retenir les véligères microscopiques. Les parois sont ensuite rincées afin de concentrer les véligères dans un récepteur au bas du filet. Les véligères de l’échantillon sont ensuite observées et comptées à l’aide d’un binoculaire de grossissement 50x et leur densité dans l’eau du lac est ensuite calculée à partir du volume d’eau filtré. Il permet donc d’anticiper le recrutement à venir, en évitant le décalage de quelques mois autrement requis pour les observations de moules juvéniles à l’œil nu.

Cependant, puisque les véligères dérivent dans l’eau durant une longue période et que le taux de mortalité associé à cette classe d’âge est très élevé, on ne peut établir un lien direct entre le taux de véligères et la quantité ou l’emplacement des moules juvéniles (voir section 1.1).

En 2022, le support du ministère Pêche et Océans Canada a permis d’échantillonner entre 3 et 6 stations prédéterminées à 10 reprises.

3.1.5 Plongées de détection en apnée

Les plongées de détection en apnée consistent en la recherche de moules zébrées dans la tranche de profondeur de 0-2 m, évitant ainsi la complexité logistique du travail de plongée sous-marine. Les moules zébrées sont généralement moins présentes dans cette gamme de profondeur, possiblement en raison de la vulnérabilité des véligères aux rayons UV qui sont plus forts près de la surface (Picard, 2019). Malgré cela, il est tout de même possible d’y trouver des moules zébrées et la détection par apnée peut représenter une méthode fiable et économique, moyennant un effort de recherche suffisant (Picard, 2019).

Le protocole de plongées en apnée de Bleu Massawippi, de 2019 à 2021, visait l’inspection de 40 stations réparties à tous les 750m, environ (détails en Annexe). Cette méthode a été suspendue en 2022 en raison du recrutement de plongeurs sous-marins pour la suite des opérations.

3.2 Contrôle de la population

Considérant l’objectif de Bleu Massawippi de tout faire en son pouvoir afin d’enrayer la prolifération de la moule zébrée, ou au minimum de la ralentir autant que possible, les opérations de contrôle ont représenté la majeure partie des efforts déployés par Bleu Massawippi et ses partenaires depuis la première détection. La mise en œuvre de trois volets principaux complémentaires est abordée dans la présente section.

Mentionnons d’entrée de jeu que diverses méthodes de contrôle potentielles existent, comme le bâchage, l’utilisation de produits chimiques ou l’abaissement du niveau de l’eau (MPO, 2022). Cependant, ces méthodes infligent des impacts collatéraux d’ampleur mal comprise sur les espèces présentes dans le plan d’eau touché, dont la préservation représente une grande partie de la motivation derrière le déploiement des opérations de contrôle de moule zébrée. Les avantages, inconvénients, implications logistiques et impacts collatéraux de chaque méthode doivent être considérés attentivement lors de la conception de la stratégie de contrôle, de manière à cibler une ou plusieurs approche(s) ayant un bon potentiel de réussite et ne risquant

pas de détériorer davantage, accidentellement, la condition des organismes présents dans le plan d'eau.

Ainsi, le protocole de suivi de l'invasion décrit précédemment, comme le protocole de contrôle décrits dans les sections suivantes, est le fruit d'une réflexion profonde ayant pris place à l'hiver 2022 et impliquant plusieurs experts dans différents domaines (Aquarium du Québec, MPO, MELCCFP, Plongée Magog, UCDavis, McGill, MCI, COGESAF, CRE Estrie, RAPPEL et Bleu Massawippi). Les autres cas de figures ont également été étudiés, notamment celui du lac Georges au États-Unis qui représente le seul cas d'éradication documenté jusqu'à maintenant (Wimbusch et al. 2009) La stratégie de contrôle est adaptée au fil des nouvelles observations et des nouvelles études de cas portés à l'attention de Bleu Massawippi et sera mise en œuvre tant que notre équipe aura la capacité financière pour le faire et tant que les observations terrain supporteront l'hypothèse selon laquelle les efforts déployés ont un effet positif et significatif contre l'établissement de la moule zébrée dans le lac.

3.2.1 Plongées sous-marines de retrait

Le protocole de plongées a été tiré du plan de plongées 2022 de Bleu Massawippi, affiché en Annexe. En équipes de deux, les plongeurs explorent le fond du lac, principalement dans la tranche de profondeur de 2 à 6 m, celle présentant habituellement le plus de moules zébrées. Un éventail de profondeurs plus large peut-être inspecté, jusqu'à 12 m au cas par cas, selon les observations des plongeurs et le relief du site. Les plongées ont une durée minimale de 40 minutes, mais atteignent habituellement près de 60 minutes. Les plongeurs y inspectent minutieusement tout substrat favorable, comme les troncs, les pierres, les objets d'origine humaine, etc. et mettent les moules zébrées trouvées dans un sac en filet. Un deuxième sac est réservé aux moules zébrées implantées sur les mulettes indigènes, afin de mesurer la pression globale exercée sur ce groupe d'espèces. Les plongeurs caractérisent aussi sommairement le milieu, dans la volée, estimant la visibilité sous l'eau, la proportion de végétaux et de différentes classes de substrat composant le sol (sable, gravier, blocs, etc.).

Le déploiement de marqueurs de surface gonflables permet de délimiter l'aire de recherche à l'aide d'une application mobile d'informations géographiques (ArcGIS FieldMaps). À la fin de la plongée, les moules sont ensuite comptées, euthanasiées par congélation et mesurées ultérieurement, lorsque possible.

Cette approche flexible permet aux plongeurs de composer avec les différents types de relief présents, de couvrir beaucoup de terrain et de maximiser l'allocation du temps de recherche aux endroits présentant les plus grandes densités. La compilation du nombre de moules, du temps de recherche et la délimitation de l'aire de recherche permettront également de comparer les densités entre les stations et entre les années (analyse à venir). Il est à noter que l'exploration libre au sein d'une parcelle signifie que plusieurs visites peuvent être nécessaires afin de retirer la totalité des moules zébrées d'un endroit.

En 2022, Bleu Massawippi a été en mesure de réaliser 241 plongées sous-marines. Remercions à cet effet nos partenaires de plongées, soit les plongeurs bénévoles, Plongée Magog, l'Aquarium du Québec et le Biodôme de Montréal.

3.2.2 Plongées de retrait en apnée

La plongée de retrait en apnée est une méthode d'intervention économique utilisée pour attaquer les secteurs dans lesquels la moule zébrée a été détectée à moins de 2 m de profondeur. Une équipe de deux nageurs équipés de masques et tuba explorent le fond d'une région peu profonde prédéfinie durant une durée de 30 minutes et collectent les moules zébrées dans un sac en filet. Les moules retirées sont également comptées, euthanasiées par congélation et mesurées lorsque possible. Sous l'eau, les nageurs réalisent du même coup la même caractérisation du milieu que les plongeurs sous-marins. Afin de standardiser davantage l'effort de collecte et comparer rapidement le taux de colonisation des différents secteurs, celles-ci se déroulent à l'intérieur de segments de berge de 50m dont les limites sont visibles depuis l'application d'information géographique utilisée (ArcGIS Fieldmaps).

En 2022, Bleu Massawippi a été en mesure de réaliser 21 plongées en apnée dans la zone la plus densément peuplée du lac Massawippi.

3.2.3 Arrachage d'un herbier envahissant

Lors des premières opérations de retrait, les plongeurs ont retiré des moules zébrées logées à la racine de myriophylle à épis, une plante exotique envahissante présente dans la baie de North Hatley, observation répétée le 24 juillet 2022 (figure 5). Devant l'hypothèse que cet herbier puisse servir de foyer de propagation, Bleu Massawippi a entrepris sa caractérisation et entamé une réflexion avec le MELCCFP à savoir si son arrachage permettrait de diminuer la présence simultanée de moules zébrées et de plantes envahissantes dans le lac. Bien que mixte, c'est-à-dire composé en partie d'espèces indigènes et envahissantes, la proportion d'espèces envahissantes semble suffisante pour justifier une intervention (autorisation no. 2022 01-05-0509-98). Le projet vise l'arrachage intégral de cet herbier, dans le but de priver la moule zébrée d'opportunités de développement.



Figure 5: Photo de moules zébrées présentes sur des racines de Myriophylle à épis

L'arrachage sera réalisé par des plongeurs scientifiques à l'été 2023. Les plantes seront prélevées par la racine et transportées dans des sacs en filets jusqu'au ponton de travail de Bleu Massawippi. L'examen approfondi d'une partie des plantes ramassées permettra d'estimer les proportions relatives des différentes espèces et d'évaluer leur taux de colonisation par la moule zébrée.

3.3 Activités complémentaires

Bien que la détection et le contrôle de moules zébrées ont représenté le cœur des opérations de Bleu Massawippi en 2022, toute lutte aux espèces envahissantes doit se dérouler sur plusieurs fronts complémentaires afin d'être efficace. Cette section détaille les activités complémentaires à la lutte, visant à améliorer la résilience de Bleu Massawippi et de sa communauté aux espèces exotiques envahissantes à plus long terme.

3.3.1 École de plongée

La préservation d'un plan d'eau relève autant de l'implication des entités de gestion que de sa communauté. Dans cette optique, Bleu Massawippi travaille à mettre en place une plateforme permettant aux utilisateurs des plans d'eau de pouvoir contribuer aux opérations de contrôle. L'organisation a été en mesure de devenir membre de l'association canadienne des sciences subaquatiques (ACSS) et de développer une collaboration avec Plongée Magog, un organisme d'expérience dans la formation de plongeurs et la réalisation de travaux scientifiques. Cela permet à Bleu Massawippi de compléter la formation de plongeurs récréatifs et ainsi leur permettre de contribuer à la lutte, à titre de plongeurs scientifiques.

Bleu Massawippi espère ainsi recruter des plongeurs bénévoles désireux de contribuer à la lutte et prendre part à un projet d'envergure. Advenant un financement favorable, des contrats pourront être offerts à certains diplômés se distinguant par leur motivation et présentant une disponibilité suffisante. En 2022, Bleu Massawippi a formé 7 plongeurs volontaires.

3.3.2 Étude sur les courants

Les premières consultations avec les experts régionaux ont révélé que tout plan d'intervention, même s'il s'avère efficace, devra prendre place sur plusieurs années. Dans cette optique, Bleu Massawippi désire accroître sa compréhension de la dispersion de la moule zébrée, afin de pouvoir augmenter l'efficacité de ses interventions. Un point faible identifié dans les démarches en cours est la lourdeur logistique derrière la réalisation du travail de détection d'individus matures et d'actualisation annuelle des densités. Beaucoup de plongées sont nécessaires afin d'obtenir un niveau de détail suffisant ce qui, vu le contexte de ressources limitées, diminue la quantité d'efforts pouvant être déployés au retrait. Il en résulte un risque d'angles morts dans les opérations terrain.

Dans ce contexte, Bleu Massawippi souhaite développer une modélisation de l'émission et implantation des végétaux dans le lac Massawippi, afin d'identifier les secteurs où la croissance de la population devrait être le plus fort et où un niveau de surveillance accru sera nécessaire. Cela permettra de prioriser efficacement le déploiement des plongeurs et d'éviter autant que possible le développement de grappes denses de moules à l'insu de l'équipe de lutte.

Une telle entreprise prédictive compilera plusieurs données de pointe, séparées en 3 volets :

1. Une étude des courants de surface permettra de prédire les déplacements des végigères. Un premier modèle en ce sens sera généré à l'hiver 2023, en fonction de données amassées à l'été.
2. Une cartographie détaillée du fond du lac permettra de déterminer la probabilité d'implantation des végigères dans les différents secteurs.
3. Les données de densité les plus actuelles, récoltées par les plongeurs, permettront d'alimenter la situation initiale du modèle.

L'équipe de Bleu Massawippi n'a cependant pas les ressources ni l'expertise afin de mener ce genre d'études et cherche à développer des partenariats avec des chercheurs académiques.

3.3.3 Opération de la station de lavage de North Hatley

En plein processus de renouvellement de leur infrastructure de lavage d'embarcations, le village de North Hatley a mandaté Bleu Massawippi afin d'assurer le maintien du service de lavage d'embarcations durant la saison 2022. L'équipe de Bleu Massawippi a ainsi déployé sa station de lavage mobile et lavé toute embarcation entrant via la rivière Massawippi ou le quai fédéral de North Hatley. La station de lavage était en fonction 7 jours sur 7, du 22 avril au 31 octobre, de 12 à 15h par jour selon la période. Essentiel pour la lutte à la moule zébrée, ce volet a permis de consolider l'adoption de la procédure de lavage dans la population, créé un point de transmission des connaissances sur le terrain et a permis d'éviter l'introduction de végigères supplémentaires ou d'autres espèces envahissantes.

Bleu Massawippi souligne les efforts essentiels déployés par le Parc Régional pour la gestion de la station de lavage d'Ayer's Cliff.

3.3.4 Retrait de déchets (projet pilote)

L'expertise de l'Aquarium du Québec et leur implication dans les travaux a permis de mener un projet pilote de retrait de déchets, par plongées sous-marines, dans le secteur North Hatley du lac Massawippi (Quai fédéral). Bien qu'une seule journée ait été consacrée à la corvée de nettoyage, les 10 plongeurs présents ont collectivement amassé 883 livres de déchets, sur lesquels se trouvaient 185 moules zébrées (figure 14).

4 Bilan des activités, résultats et discussion

Cette section présente de manière continue les résultats des différents volets de la lutte à la moule zébrée, ainsi qu'une première interprétation pouvant être tirée de la vue d'ensemble. De manière globale, les premières interventions sur le terrain semblent avoir le potentiel de contrôler la prolifération, en assumant leur maintien à court et moyen terme. Le tableau 1 illustre les principaux accomplissements, et des observations plus détaillées sont présentées dans les sections subséquentes. Pour connaître le mode d'action ou la méthodologie employée pour chaque volet, consulter la section 2.

Tableau 1 : Contrôle de la moule zébrée : principales réalisations de Bleu Massawippi (2022)

Axe	Activité	Accomplissements 2022
Suivi de la population	Inventaire par quadrats	21 stations inventoriées
	Substrats pyramidaux	12 substrats analysés
	Petits substrats citoyens	67 substrats déployés 52 propriétaires participants
	Concentrations de véligères	9 échantillonnages sur 6 stations Données de mai à novembre
Contrôle de la population	Plongées de retrait	241 plongées sous-marines de retrait 21 plongées de retrait en apnée 700h de recherche sous l'eau 18 727 moules retirées
	Arrachage d'un herbier envahissant	1 permis obtenu, travaux reportés à l'été 2023
	Retrait de déchets (projet pilote)	883 kg de déchets retirés en une journée
	Activités complémentaires	École de plongée
	Étude sur les courants	Échantillonnage de 5 paramètres physicochimiques 27 sondes submergées en continu 1 station météorologique déployée
	Station de lavage de North Hatley	2612 embarcations décontaminées Prolongation du lavage jusqu'au 16 octobre
Autres indicateurs	Collaborations	11 partenariats (voir remerciements)
	Apparition majeure dans les médias	1 capsule Découverte

4.1 Protocole de détection et efforts de retrait

Le protocole de détection et suivi des densités de population, divisé en 4 volets (suivi des végigères, petits substrats, substrats pyramidaux et inventaires par quadrats, voir sections 2.1.1 à 2.1.4) suggèrent que la moule zébrée n'a pas fait de progrès significatif dans le lac Massawippi depuis 2021 (avis du MELCCFP à venir). Le frein posé par les actions de Bleu Massawippi, et tout autre facteur environnemental semble toutefois précaire et la poursuite des opérations apparaît essentielle dans l'immédiat afin d'espérer éviter ou limiter les impacts négatifs auxquels le lac et ses usagers font face.

4.1.1 Suivi des végigères

Les 10 inventaires de végigères menés avec la collaboration de Pêche et Océans Canada révèlent leur présence sur l'ensemble du lac Massawippi. Elles furent présentes dès le réchauffement des eaux en mai, ont atteint un pic de densité en juin, puis ont subi un déclin progressif jusqu'à l'absence de détection au dernier échantillonnage de novembre (voir figure 6). Bien que les stations d'échantillonnage aient été dispersées sur l'ensemble du lac, le bruit important au sein d'un même échantillonnage empêche de tirer des conclusions sur la répartition spatiale des végigères à ce stade-ci. Bleu Massawippi poursuit les discussions avec MPO en ce sens.

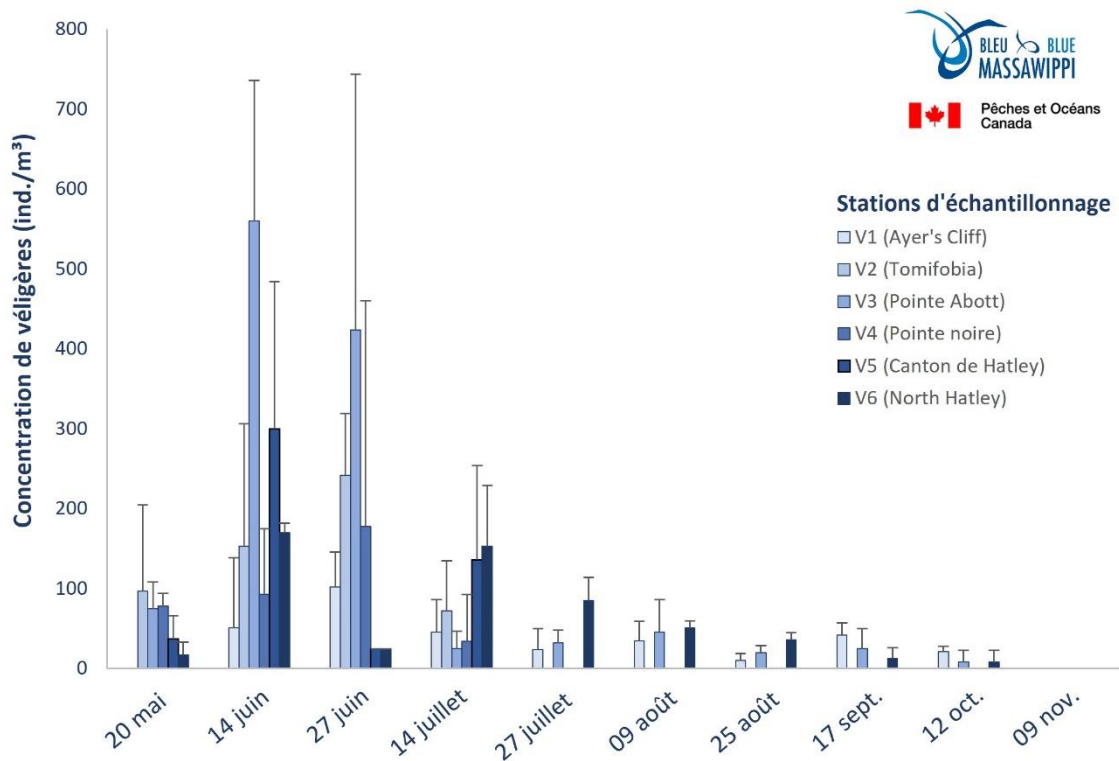


Figure 6 : Estimations spatio-temporelles de la concentration de végigères dans le lac Massawippi, en 2022. Consulter les annexes pour connaître l'emplacement exact des stations d'échantillonnage.

Un échantillonnage de véligères a eu lieu au lac Massawippi en octobre 2021, ce qui permet une certaine comparaison des concentrations. Les densités de véligères y étaient de 28 individus/m³, en moyenne (voir annexes). L'échantillonnage d'octobre 2022 révèle une concentration plus faible moyennant 12 individus/m³ (figure 6). Bien qu'encourageant à première vue, il est impossible de dire à ce stade-ci si cette diminution est attribuable aux efforts de contrôle déployés ou à un cumul de facteurs environnementaux influençant la reproduction. Le maintien du suivi permettra de dresser une tendance temporelle plus solide.

En ce qui concerne les concentrations maximales, elles ont été observées à l'échantillonnage du 14 juin, pour une valeur moyennant 222 véligères/m³. À titre comparatif, le lac Memphrémagog, colonisé depuis au moins 2017, a vu des pics moyens de densité d'environ 750 individus/m³ en 2021 et d'environ 2600 individus/m³ en 2022 (MCI, 2022). Autre constat d'importance, un second pic de densité a été mesuré au début de l'automne, au lac Memphrémagog, ce qui augmente davantage le niveau moyen de véligères dans l'eau. Ce deuxième pic a été absent en 2022 au lac Massawippi, possiblement en raison d'une structure d'âge de la population orientée vers les jeunes adultes débutant leur vie reproductive.

En l'absence du maintien des mesures de contrôle, le lac Massawippi verra une évolution similaire des concentrations de véligères dans les prochaines années qui se traduira par l'implantation irréversible de moules zébrées adultes en quantités importantes.

4.1.2 Substrats

Grâce au support des riverains et du Cogesaf, Bleu Massawippi a pu cumuler les données d'occurrence de 12 substrats pyramidaux dans le lac Massawippi et de 77 petits substrats dispersés dans le lac Massawippi et ses plans d'eau en amont et aval. La moule zébrée a été détectée sur 5 substrats pyramidaux et sur 5 petits substrats (figures 7 et 8).

Petits substrats citoyens (2022)

Détection du recrutement des moules zébrées :
77 substrats chez 62 riverains, submergés de juillet à octobre

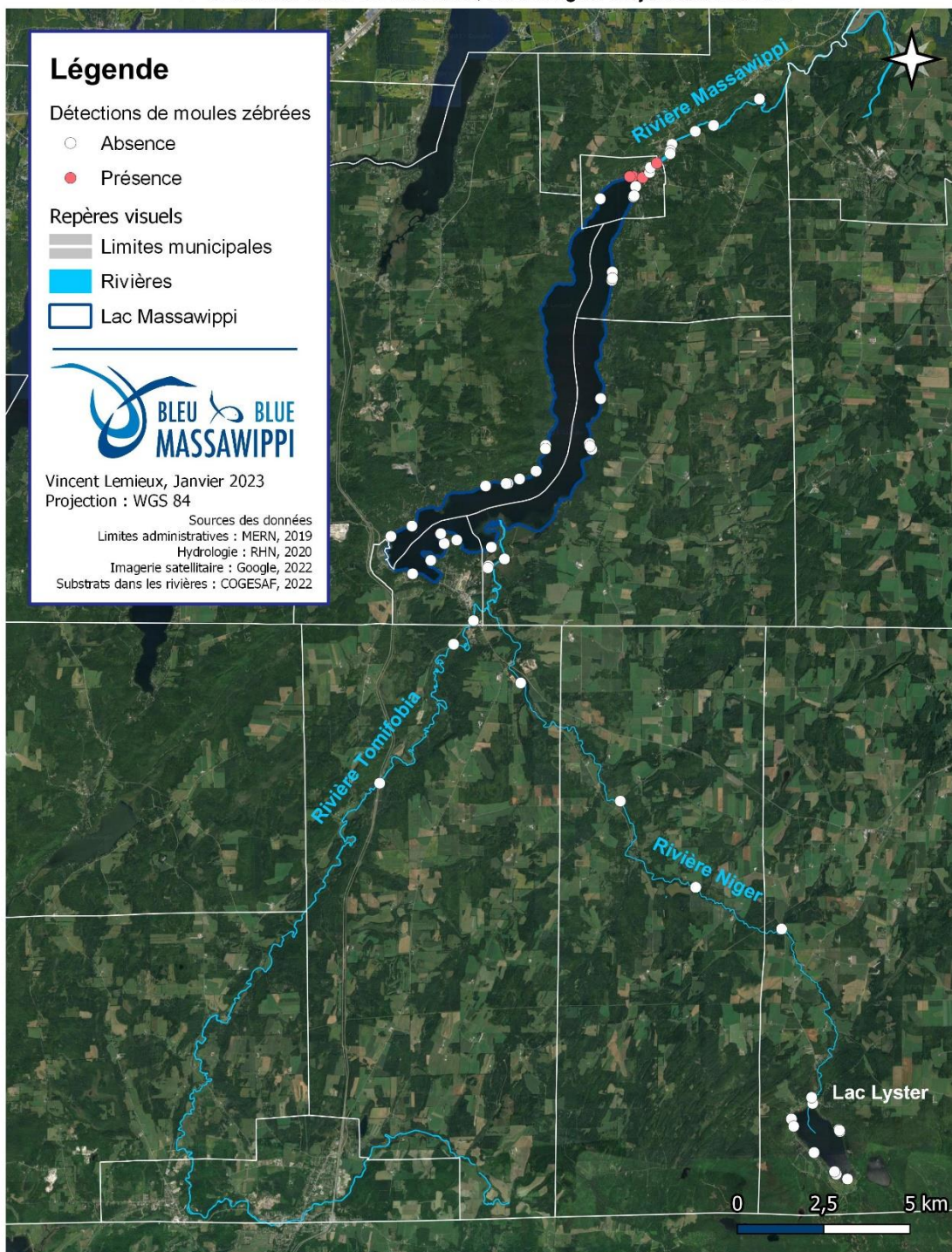


Figure 7 : Répartition et bilan des petits substrats collecteurs pour citoyens, en amont et aval du lac Massawippi, en 2022. Certains points rapprochés sont difficiles à distinguer, en raison de l'échelle utilisée.

Les décomptes de moules zébrées variaient de 1 à 3 pour les 5 substrats potitifs.

Malgré la présence apparente de véligères dans l'ensemble du lac Massawippi, l'implantation des substrats n'a révélé d'implantation efficace que dans le secteur Nord du lac Massawippi et dans la rivière Massawippi, l'exutoire. Le lac Lyster, la rivière Tomifobia et la rivière Niger ne semblent pas colonisés à ce jour (figure 7). Mentionnons cependant que le potentiel de détection du modèle de petits substrats apparaît plus faible que celui des substrats pyramidaux, possiblement vu leur surface réduite et leur implantation en eau peu profonde (environ 1m). De plus, la moitié des petits substrats déployés à l'intérieur ou à proximité de la baie de North Hatley, au Nord, n'ont pas détecté de moules zébrées, même si cette zone présente les plus fortes densités d'individus depuis 2021. Les nombres de moules sur les petits substrats colonisés étaient également faibles, c'est-à-dire d'une à trois par dispositif. Il se pourrait que les faibles concentrations de véligères chevauchent le seuil inférieur de détection de cette méthode et qu'un plus grand nombre de dispositifs doive être déployé afin de générer un potentiel de détection suffisant. Bleu Massawippi planifie la saison 2023 en ce sens.

En ce qui concerne les substrats pyramidaux, l'effort de reproduction de la moule zébrée apparaît comparable à celui de 2021, autant pour le taux de colonisation des substrats que pour l'emplacement des substrats colonisés. En 2021, 5 substrats sur 10 étaient colonisés, surtout dans la moitié Nord du lac, et les substrats présentaient de 1 à 11 moules zébrées (voir Annexe). En 2022, les 5 substrats pyramidaux colonisés étaient tous dans la moitié Nord et hébergeaient de 1 à 7 moules par dispositif (figure 8). Cette apparente stabilité pourrait être due aux efforts de retrait, ou à d'autres facteurs. Par exemple, il est possible que les nouvelles moules zébrées générées à l'été 2021 n'aient pas atteint la maturité sexuelle et que leur contribution au recrutement de la population soit encore à venir. Bleu Massawippi poursuivra la pose de substrats à l'été 2023, afin d'établir un suivi à plus long terme.

Substrats pyramidaux (2022)

Détection du recrutement des moules zébrées :
12 substrats submergés de juin à octobre

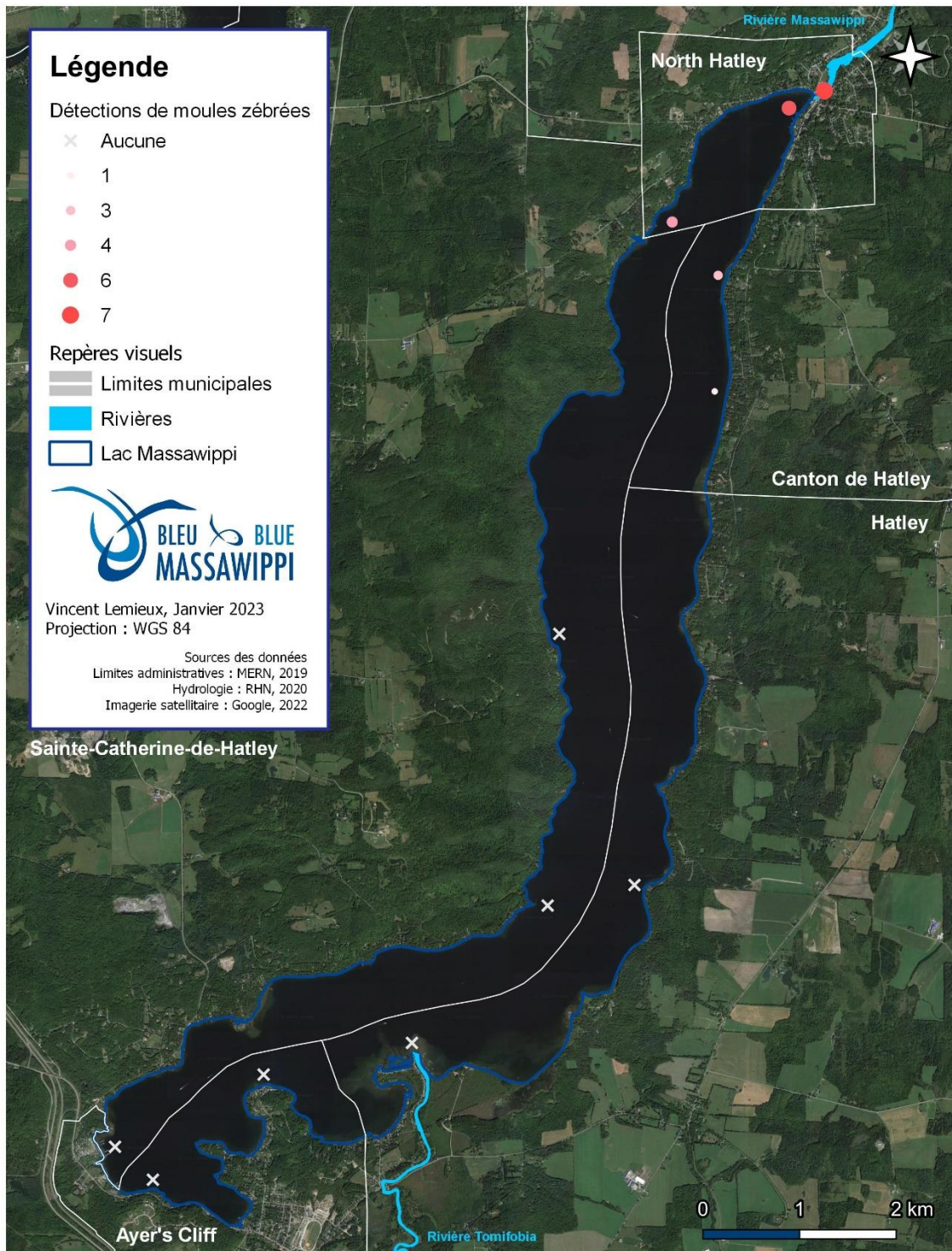


Figure 8 : Bilan de l'analyse des substrats pyramidaux déployés dans le lac Massawippi, en 2022.

4.1.3 Plongées de retrait

Le soutien financier et logistique important et soutenu de la communauté, des experts régionaux et des instances municipales et gouvernementales a permis à l'équipe de plongées de Bleu Massawippi de réaliser 241 plongées sous-marines de retrait et 21 plongées en apnée. Les opérations se sont déroulées sur 50 jours de terrain, cumulent 700 heures de recherche active sous l'eau et ont permis de retirer un total de 18 727 moules zébrées (Figure 9). À cela s'ajoutent les 95 plongées et 1972 moules zébrées de l'automne 2021 (Figure 3).

Retrait de moules zébrées (2022)

241 plongées sous-marines et 21 plongées en apnée, total de 18 727 moules zébrées retirées.

Comptes de moules zébrés regroupés, pour simplification.

Aires de plongées agrandies dans la carte principale, pour visualisation.

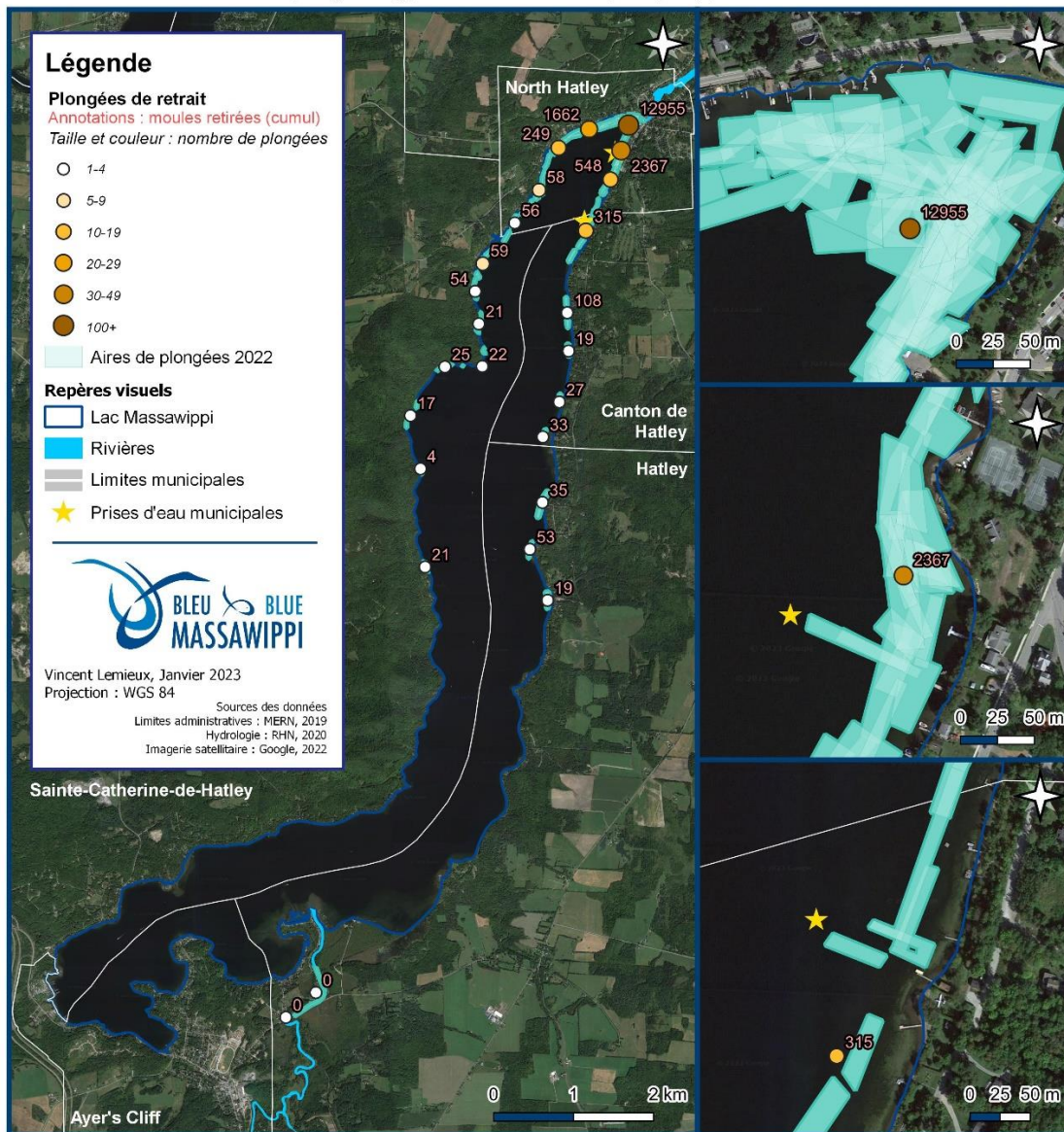


Figure 9 : Bilan des plongées de retrait menées par Bleu Massawippi, en 2022. À gauche : représentation de l'ensemble du lac. En haut : grossissement sur la zone ayant fait l'objet du plus grand nombre de plongées.

Au milieu : grossissement sur la prise d'eau

Les plongées de retrait ont presque exclusivement été menées dans le secteur le plus au Nord du lac Massawippi, cette région présentant systématiquement les plus fortes densités de moules zébrées depuis les opérations de 2021 (Figure 3). Des plongées exploratoires s'étendant jusqu'au centre du lac ont permis de détecter des moules zébrées dans ce secteur, toutefois à de plus faibles densités. Le retrait du plus grand nombre d'individus possible, au Nord, a été privilégié à une couverture spatiale étendue, dans l'objectif de contrecarrer autant que possible les efforts de reproduction.

Cette compréhension de la dispersion de la population, jumelée à une détection plus facile des moules grandissantes, l'aisance de la plongée en eau estivale et, bien sûr, le nombre de plongées accru, permet d'expliquer la différence importante dans le nombre de moules récoltées entre les années 2021 et 2022 (1 972 vs 18 727). En effet, puisque les moules juvéniles issues de végétaux atteignent une grosseur de quelques millimètres à l'automne, l'équipe de Bleu Massawippi s'est attaqué aux mêmes cohortes et apparaît donc de plus en plus efficace dans ses opérations.

L'inspection périodique des prises d'eau de North Hatley et de Waterville ont permis de retirer des moules zébrées résiduelles sur les installations. Bien qu'en quantités relativement faibles pour l'instant, la moule zébrée semble en mesure de coloniser l'entrée des prises d'eau, malgré leur profondeur normalement sous la zone d'habitat préférentiel. Les municipalités concernées tireraient avantage à mettre en place une stratégie de surveillance de l'intérieur des conduits et, au besoin, de dégrèvement.

4.1.4 Inventaires par quadrats

L'inventaire d'évaluation des densités par quadrats, réalisés en novembre en collaboration avec le MELCCFP, a représenté les dernières activités de plongées de la saison 2022 et permet donc d'évaluer le niveau de progression de la moule zébrée et la portée des efforts de retrait. La moule zébrée y a été détectée dans 12 des 21 stations réparties autour du lac et toutes les détections étaient localisées dans la moitié Nord du lac (figure 10). Cela corrobore une fois de plus l'hypothèse selon laquelle la moule zébrée ne serait pas implantée dans la portion Sud et ne suggère aucune progression significative de la moule zébrée dans le lac, depuis 2021 (avis du MELCCFP en rédaction). Rappelons toutefois la limite de détection de la méthodologie par quadrats qui ne permet d'explorer qu'une petite superficie à chaque station. Ainsi, la présence de moules zébrées à des densités particulièrement faibles pourrait avoir échappé à la détection par ce protocole.

Néanmoins, ce constat apparaît, dans l'ensemble, encourageant. Bleu Massawippi poursuivra le travail de suivi et détection afin de contre-vérifier ce constat et réagir rapidement, le cas échéant.

Densité des moules zébrées (2022)

Inventaire par quadrats : 16 par station, 21 stations.
Densités par mètres carrés en cours d'analyse.

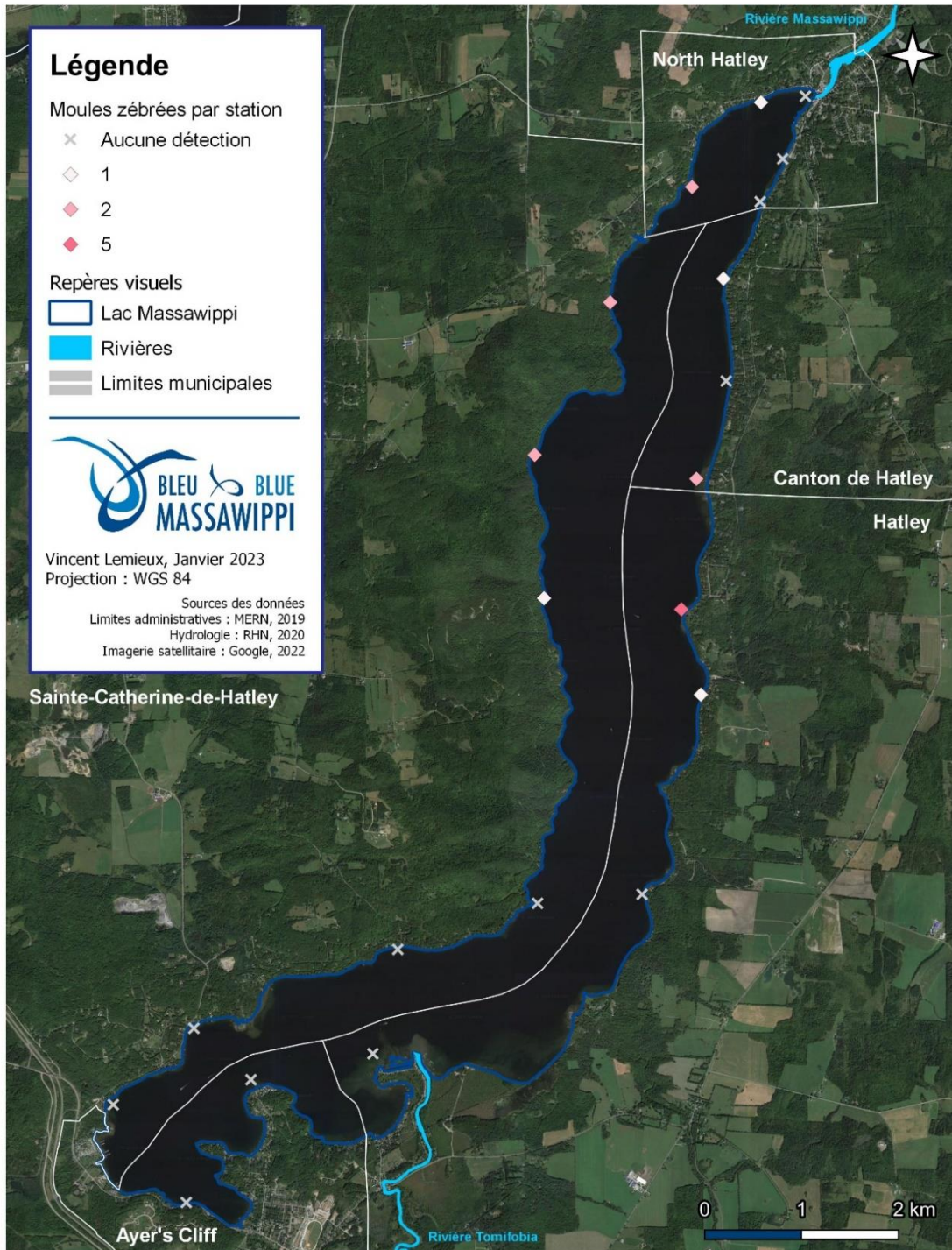


Figure 10 : Inventaire de densités par quadrats, réalisé en novembre 2022. À chaque station, 16 quadrats de 0.25m² étaient déployés aléatoirement et inspectés, 8 à 2 mètres de profondeur et 8 à 6 mètres.

Densité moyenne approximative de 0,2 individus/m²

La densité de moules zébrées moyenne de 0.2 moule/m² pour l'ensemble des stations, valeur qui monte à 1.25 pour la station présentant le plus de détections (analyses approfondies du MELCCFP à venir). À titre comparatif, les valeurs de densité disponibles pour le lac Memphrémagog moyennaient 4.25, 14.0, 10.4 et 1988.0 individus/m² pour les années 2019 à 2022, respectivement (MCI, 2022). Au lac Témiscouata, les premiers inventaires faits en 2022, en réponse à la première détection de la moule zébrée, révèlent des densités moyennant approximativement 300 moules/m² (MELCCFP, comm. pers., 27 janvier 2022). La moule zébrée a été découverte au lac Massawippi à un stade précoce et le cumul des observations suggère une position favorable pour son contrôle, moyennant une grande mobilisation.

Pour appuyer ce propos, mentionnons l'absence de détection dans les trois stations sur la rive Est de North Hatley (figure 10). Cette région présentait les densités de moules zébrées les plus élevées en 2021 et a fait l'objet d'une partie importante des efforts de contrôle de l'été 2022 (figures 3 et 10). La diminution de la quantité de moules est incontestable et directement attribuable aux efforts de retrait.

Malgré cela, il est impossible à ce stade-ci de se prononcer sur l'efficacité du contrôle, dans son ensemble. La population continue d'évoluer et de mûrir parallèlement au décuplement des efforts de Bleu Massawippi et de ses partenaires. En ce sens, le bilan 2023 sera décisif.

4.2 Bilan des autres activités liées à la lutte contre la moule zébrée

Les actions présentées dans la section précédente sont celles directement reliées au suivi et au contrôle de la population. Or, la lutte aux espèces envahissantes touche de nombreuses facettes qui doivent être adressées en simultané dans le but d'obtenir les résultats escomptés à long terme. La présente section présente les principaux efforts complémentaires réalisés par Bleu Massawippi.

4.2.1 Opération de la station de lavage de North Hatley

Même si la moule zébrée a déjà infiltré le lac Massawippi, l'importance du lavage d'embarcations n'en est pas moins réduite. L'introduction de nouvelles végigères, ou moules zébrées adultes diminuera les probabilités de succès des efforts laborieux de contrôle de Bleu Massawippi. De plus, la communauté du lac Massawippi n'aura pas la capacité de lutter simultanément contre la prolifération d'une nouvelle espèce exotique envahissante. Mentionnons rapidement la vivipare Chinoise (*Cipangopaludina/Bellamya chinensis*) présente dans le lac Stukley, le cladocère épineux (*Bythotrephes longimanus*) présent dans le Haut-Richelieu ou la moule Quagga (*Dreissena bugensis*) présente dans le fleuve Saint-Laurent.

La collaboration étroite entre Bleu Massawippi et North Hatley a permis de réaliser le lavage de 2612 embarcations, un record pour la rampe de mise à l'eau. La procédure de lavage et d'accès au lac a également été consolidée sur plusieurs points. Mentionnons une prolongation importante des heures d'ouverture, d'un minimum de 12h par jour montant jusqu'à 15h en haute saison. La saison d'ouverture de la station de lavage a également été prolongée d'environ un mois, jusqu'au 16 octobre. Finalement, une barrière a été installée afin d'empêcher toute mise à l'eau dépourvue de lavage adéquat.

Une première analyse des lavages réalisés souligne la prépondérance et la popularité des embarcations non motorisées, particulièrement en haute saison et en période d'abondance de

véligères (Figures 6 et 11). L'augmentation de cette classe d'utilisateurs implique de nouveaux défis de gestion pour les plans d'eau. En effet, bien que ce type d'embarcation présente un risque individuel réduit de propagation, le risque se trouve augmenté par leur nombre accru et la grande facilité à contourner, consciemment ou pas, les installations de lavage en place. Bien que des campagnes de communications aient eu lieu en ce sens dans les dernières années, le maintien de la diffusion d'un message apparaît capital au frein de la prolifération des espèces envahissantes entre les plans d'eau.

Bleu Massawippi investiguera également la possibilité de systématiser le lavage à la sortie, afin d'éviter que le lac Massawippi ne devienne un vecteur de propagation de la moule zébrée vers les autres lacs.

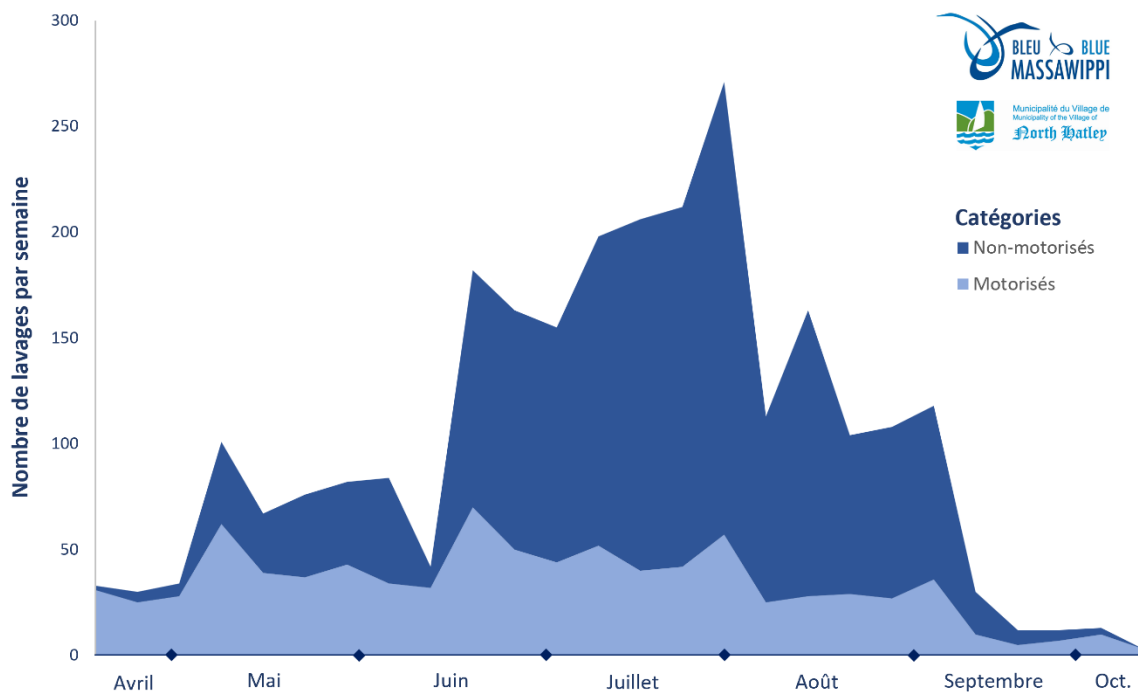


Figure 11 : Achalandage hebdomadaire à la station de lavage de North Hatley, en 2022.

4.2.2 Mise en place de l'école de plongées

À l'été 2022, Bleu Massawippi et Plongée Magog ont été en mesure de concevoir la programmation d'une formation de plongeur scientifique, dans le cadre de l'ACSS, et de former deux cohortes totalisant 7 plongeurs bénévoles. Cette démarche a permis de cumuler 50h de recherche active via l'école de plongée et l'implication des bénévoles dument formés est attendue à l'été 2023. Bleu Massawippi compte publiciser cette programmation et élargir son réseau de plongeurs bénévoles en 2023.

4.2.3 Étude des courants

La saison 2022 s'est avérée prolifique en développement de partenariats visant à modéliser la dispersion des végétaux dans les courants et leur probabilité d'implantation dans les différents secteurs du lac Massawippi. La faisabilité d'un tel type d'analyse a été validée via une modélisation préliminaire réalisée par le laboratoire du professeur Forrest de la University of California, Davis (visualisation disponible sur demande).

Le professeur Forrest a ensuite joint ressources et expertise avec le laboratoire du professeur Lacey de l'Université de Sherbrooke afin de déployer, au début de l'hiver, 26 enregistreurs de température et un profileur acoustique Doppler de courants le long de quatre stations submergées, avec l'assistance de Bleu Massawippi. Une station météorologique a également été déployée au Sud du lac et une station au Nord sera mise en fonction dans les prochains mois. De plus, le Cégep de Sherbrooke a entrepris les démarches permettant d'intégrer à sa formation scolaire l'échantillonnage physico-chimique périodique du lac Massawippi par des étudiants de la technique en Environnement, hygiène, santé et sécurité au travail. Ces données permettront de compléter celles des enregistreurs de température et de modéliser avec plus de précision les courants de surface. Le redéploiement de ces appareils au printemps permettra de récolter des données sur l'ensemble de l'été et de générer un premier modèle complet. L'analyse exhaustive du fond du lac avec un sonar de pointe est également dans la programmation de l'été 2023.

4.2.4 Projet pilote de retrait de déchets

Bénéficiant de l'expertise de l'Aquarium du Québec et de Mission 1000 tonnes, un projet pilote de retrait de déchets a pu prendre place au lac Massawippi, devant le Quai fédéral. Un total de 9 plongeurs a été en mesure de retirer un total de 883 livres de déchets en une seule journée, un record pour l'Aquarium du Québec qui œuvre depuis 5 ans dans le fleuve Saint-Laurent (Lessard, M-P., Aquarium du Québec, comm. pers., 21 sept. 2022). Bleu Massawippi a relevé la présence de 185 moules zébrées sur les déchets retirés, ce qui laisse croire que le retrait de déchets aurait un effet positif double au lac Massawippi (Figure 13). L'Aquarium du Québec a confirmé vouloir appuyer Bleu Massawippi dans la réalisation de ce type de démarches à l'été 2023.



Figure 12 : Photos prises lors de la journée pilote de retrait de déchets du lac Massawippi.

4.3 Interprétation globale des résultats et perspectives

La lutte contre la moule zébrée, comme toute espèce exotique envahissante, représente une dualité entre, d'une part, la capacité de retrait des individus du plan d'eau et, d'autre part, la capacité reproductive de l'espèce en question. Le potentiel reproductif de la moule zébrée est très élevé, d'où l'envergure des opérations décrites. Ce potentiel augmente avec l'apparition de colonies denses, puisque les probabilités de fécondation des gamètes relâchés en eau libre y sont plus élevées. Pour cette raison, une population de moules zébrées croît souvent de manière exponentielle une fois implantée (figure 1).

Il y a ainsi consensus au sein de la communauté scientifique : les tentatives de contrôle des populations d'espèces exotiques envahissantes denses et bien établies sont souvent infructueuses, particulièrement en ce qui concerne la moule zébrée. Bleu Massawippi se rallie à ce consensus. Le lac Memphrémagog en représente un exemple concret : notre organisation sœur, Memphrémagog Conservation Inc., devant une explosion récente des densités atteignant une moyenne de 2000 moules par mètres carrés, a arrêté toute activité de contrôle. Le lac Témiscouata en est un autre : les inventaires suivant la première détection révèlent des densités moyennant déjà environ 300 moules par mètres carrés. Devant ce constat, aucune mesure de contrôle de la population n'est envisagée (MCI 2022, Chrétien G, MRC Témiscouata, comm. pers., janvier 2023, Drouin A, MELCCFP, comm. pers, janvier 2023).

Or, la situation du lac Massawippi est singulière. Les densités de moules zébrées les plus récentes y moyennent 0,2 individus par mètres carrés, un niveau exceptionnellement bas (figure 10, Drouin A, MELCCFP, comm. pers, janvier 2023). Ainsi, le potentiel reproductif devrait être proportionnellement réduit et les interventions de contrôle devraient pouvoir agir sur une plus grande proportion de la population, par quantité d'effort fixe. De plus, la moule zébrée semble n'avoir colonisé, pour l'instant, que la partie Nord du lac (figures 3, 7 8 et 10). Des opérations afin de freiner sa propagation vers le Sud sont souhaitables. De plus, cette répartition concentrée vers le Nord du lac concentre également les efforts de contrôle qui s'en retrouvent plus efficaces.

Rappelons que les efforts déployés ont fait chuter drastiquement les densités de population dans le secteur initialement le plus colonisé (figures 3, 9 et 10). L'apparente stabilité de la population à court terme, jumelé aux effets mesurables des premières mesures de contrôle, suggère un impact notable des opérations de contrôle de Bleu Massawippi sur la population de moules zébrées et légitimisent la poursuite des opérations.

Cela étant dit, il est encore trop tôt pour statuer sur la réussite ou l'insuffisance des opérations (Drouin A, MELCCFP, comm. pers, janvier 2023). En effet, des végétaux ont toujours le potentiel de se propager dans l'ensemble le lac, la population atteint de plus en plus la maturité sexuelle et l'achalandage élevé du lac présente un risque d'introductions répétées (figures 6 et 11). Un suivi temporel prolongé sera nécessaire pour statuer avec un bon niveau de confiance sur les tendances observées ou anticipées. À cet effet, l'année 2023 sera décisive. Le lac Massawippi se situe présentement dans une fenêtre temporelle favorable à des actions efficaces de contrôle, alors que le potentiel reproductif de la population est au plus faible et que l'impact du retrait est maximal. Le maintien et le décuplement des efforts de prévention, de suivi et de contrôle, à très court terme, est capital à la lutte sur le plus long terme, puisque chaque avancée accordée à la moule zébrée sera extrêmement difficile à reprendre.

5 Conclusion

Depuis la détection de la moule zébrée au lac Massawippi, grâce au support incroyable de sa communauté, Bleu Massawippi a été en mesure de réaliser de multiples collaborations complémentaires ayant permis de rapidement connaître l'étendue de la prolifération et mettre en œuvre une stratégie de contrôle. Le premier bilan annuel montre une stabilité dans la prolifération et une chute drastique des densités dans les zones initialement les plus colonisées, grâce aux efforts déployés. Il est cependant impossible à ce stade-ci de savoir si les actions entreprises sont d'une envergure suffisante pour contrôler la population. Une chose apparaît cependant certaine : la lutte, même si fructueuse, s'échelonne sur plusieurs années et l'envergure des actions devra rester la même, au moins à court et moyen terme, pour éviter tout recul. Bien qu'exigeante, cette avenue est cependant de loin préférable au laisser aller, une alternative qui résultera en une dégradation drastique et irréversible de l'écosystème du lac et des services qu'il procure.

6 Références

- 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 à 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 bugensis* et prévisions relatives à leur occurrence dans les lacs, rivières et réservoirs du Québec. Rapport final. Volume II. Rapport présenté à la Direction de la recherche et des technologies environnementales, Ministère de l'Environnement et de la Faune. 129 pages.
- Memphrémagog conservation Inc. 2022, Suivi des populations de moules zébrées et caractérisation des vivipares exotiques au lac Memphrémagog – Été 2022. Rapport technique. 25 pages.
- Picard, I. 2019 Avis scientifique sur la moule zébrée au lac Massawippi : Résumé de la problématique et recommandations de suivis et de mesures à prendre. Rapport interne non-publié présenté à Bleu Massawippi, Stantec. 25 pages
- Wimbusch, J., Frischer, M. E., Zarzynski, J. W., Nierzwicki-Bauer, S. A., 2009. Eradication of colonizing populations of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) by early detection and SCUBA removal: Lake George, NY. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 19: 703-717p.

7 Annexes

En construction