STRATÉGIE DE LUTTE CONTRE LE MYRIOPHYLLE À ÉPIS

Lac Chapleau, La Minerve

Fyto Inc.
www.fyto.ca

Stratégie de lutte contre le myriophylle à épis

Lac Chapleau
La Minerve, Québec

Préparée par :

Vincent Gagné, M. ATDR

Marc-Antoine Thireau, TACH

Pour :
Municipalité de La Minerve

Experts-conseils en gestion des plantes aquatiques envahissantes

53 rue des Érables
Saint-Thomas, Québec J0K 3L0
Téléphone : 418 930-2053
vincent.gagne@fyto.ca
www.fyto.ca

Table des matières

Liste des figures 3
Liste des tableaux 3
1. Mise en contexte 5
2. Le myriophylle à épis 6
L'écologie du myriophylle à épis 6
Les impacts du myriophylle à épis 7
Les méthodes de lutte 9
3. Le lac Chapleau 13
L'Association du lac Chapleau 14
4. État de la situation 16
Méthodologie de la caractérisation 16
Portrait du Grand secteur du lac 16
Portrait de la Baie minervale 17
Analyse de faisabilité 18
5. Stratégie de lutte 20
Stratégie pour la Baie minervale 21
Stratégie pour le Grand secteur 23
6. Le plan d'action 24
Échéancier 24
7. Conclusion 28
Références 29
Annexe A 32
Annexe B 33
Annexe C 34
Annexe D 35
Annexe E 36

Liste des figures

Figure 1. L'épi du myriophylle à épis qui émerge à la surface de l'eau. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 27 septembre 2022. 7

Figure 2. Les herbiers de myriophylle à épis monospécifique sont fréquemment observés. Le myriophylle forme d'important tapis de végétation à la surface qui peut déloger les plantes indigènes. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 27 septembre 2022. 8

Figure 3. Un plongeur utilisant le SRS de l'ALC (tuyaux orange) dans un petit herbier dense de myriophylle à épis. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 23 août 2022. 10

Figure 4. L'arrachage manuel permet également de traiter des zones où le bâchage n'est pas possible. Ici, l'arbre rend impossible une opération de bâchage, les plongeurs travaille donc manuellement afin de retirer les plants et leur racine. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022. 11

Figure 5. Le bâchage est une alternative intéressante pour les lacs où l'application d'herbicides est interdite ou dont l'acceptabilité sociale est faible. Photo : Vincent Gagné, Lac des Abénaquis, Sainte-Aurélie. 12

Figure 6. Le ponton unique de l'ALC adapté pour la lutte contre le myriophylle à épis. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022. 15

Figure 7. La table d'ensachage automatique de l'ALC, une innovation qui facilite les travaux d'arrachage manuel. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022. 15

Figure 8. Les opérations de lutte que l'équipe Fyto a entreprises sous la coordination de l'ALC en 2022 ont permis de confirmer l'efficacité des équipements conçue par l'Association. L'herbier sur la présente photo a été complètement éliminé par arrachage manuel. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 21 juillet 2022. 19

Liste des tableaux

Tableau 1. Données morphométriques et hydrologiques du lac Chapleau (Source : L'Atlas des lacs des Laurentides) 13

Tableau 2. Nombre d'herbiers de chaque classe de densité dans le Grand secteur du lac Chapleau. 17

Tableau 3. Nombre d'herbiers de chaque classe dans la Baie minervale du lac Chapleau. 18

Tableau 4. Objectifs (2027) pour chaque classe de densité de la campagne de lutte intensive pour le secteur de la Baie minervale. 21

Tableau 5. Objectifs (2023) pour chaque classe de densité de la campagne de lutte intensive pour le Grand secteur du lac. 23

Tableau 6. Échéancier des travaux pour l'été 2023. 24

Tableau 7. Échéancier des travaux pour l'été 2024. 25

Tableau 8. Échéancier des travaux pour l'été 2025. 25

Tableau 9. Échéancier des travaux pour l'été 2026. 26
Tableau 10. Échéancier des travaux pour l'été 2027. 26
Tableau 11. Échéancier des travaux pour l'été 2028. 27

1. Mise en contexte

Le myriophylle à épis est présent au lac Chapleau depuis au moins 2005 (Biofilia 2006). L'Association du lac Chapleau y travaille depuis quelques années à contrôler les populations. Les inventaires de plantes aquatiques réalisés ces dernières années (2006, 2017, 2018 et 2019-2020 suggèrent un envahissement avancé dans la baie minerval, tandis que le grand secteur du lac Chapleau est sous contrôle de par les actions entreprises par l'Association du lac Chapleau.

L'Association du lac Chapleau ayant déjà investi une somme importante dans le projet, cette dernière a demandé à la municipalité de La Minerve un appui pour le projet de lutte contre le myriophylle à épis puisque ce problème en est un qui risque d'affecter l'ensemble des contribuables. Les efforts déployés par l'Association sont majestueux, mais le manque de main-d'œuvre pose un réel problème quant au succès des mesures de contrôle de la plante. L'Association, dont la stratégie de lutte avait été bien réfléchie, souhaite poursuivre ses opérations de manière soutenue et structurée afin de réduire la prolifération du myriophylle à épis. L'appui demandé à la municipalité a pour objectif d'employé une équipe de travail (5 pers.) à temps plein du 1 juin au 30 septembre les jours de semaine. Pour sa part, l'Association du lac Chapleau désire jouer un rôle de coordonnateur et d'appui à l'équipe en fournissant des équipements spécialisés pour les tâches à effectuer.

Dans cette optique, la municipalité de La Minerve a mandaté Fyto afin de planifier une stratégie de lutte quinquennale dans le but d'offrir un encadrement et de guider les activités contre le myriophylle à épis au lac Chapleau. L'objectif étant aussi d'évaluer la faisabilité du projet proposé par l'Association du lac Chapleau et les coûts y étant associés.

2. Le myriophylle à épis

Le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*) est une plante aquatique exotique envahissante (PAEE) d'origine eurasiatique introduite aux États-Unis dans les années 1940 de manière accidentelle ou comme plante d'aquarium (Lavoie 2019). Sa première mention connue au Québec remonte à 1958 (Jacob-Racine et Lavoie 2018), mais son caractère envahissant s'est manifesté dans les années 2000. Selon les dernières données du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (avril 2022) il est présent dans au moins 205 plans d'eau de la province.

L'écologie du myriophylle à épis

Le myriophylle à épis est une plante vasculaire aquatique submergée qui s'enracine peu profondément dans des sédiments inorganiques à texture fine (Smith et Barko 1990, Hussner et al. 2017). Il croît généralement à des profondeurs de 1 à 4 m, mais en milieu oligotrophe il peut pousser jusqu'à 10 m de profondeur; c'est d'ailleurs ce que nous avons constaté au lac Chapleau (jusqu'à au moins 7 m). Sa croissance est davantage limitée par la quantité d'azote que de phosphore, mais il peut tout de même pousser dans des environnements relativement pauvres en nutriment.

Le myriophylle débute sa croissance tôt au printemps pour que ses tiges atteignent la surface plus tard dans l'été en poursuivant leur croissance à la surface de l'eau. Les feuilles sont verticillées en groupes de quatre à cinq et possèdent 5 à 24 paires de folioles filiformes qui lui confèrent l'apparence d'une plume (Aiken et al. 1979). L'inflorescence est un racème qui s'élève au-dessus de la surface de l'eau de 4 à 10 cm (figure 1).

Même si le myriophylle se reproduit de manière sexuée, la propagation végétative est son principal moyen de dispersion en Amérique du Nord (Grace et Wetzel 1978, Aiken et al. 1979, Madsen et al. 1988). Cette plante produit des fragments de tiges qui développent des racines avant ou après s'être détaché d'un plan mère afin de coloniser de nouveaux sites. Quelques plants de myriophylle peuvent produire des milliers de fragments en un seul été et ce nombre de fragments augmente à partir du milieu jusqu'à la fin de l'été (Madsen et al. 1988, Gagné 2021). Ces fragments se disséminent au gré des courants et des vents. Les perturbations humaines peuvent accélérer la fragmentation du myriophylle notamment par le passage des hélices de moteur à bateau.

Les humains propagent le myriophylle en transportant de lac en lac des fragments sur leurs embarcations ou remorques (Bruckerhoff et al. 2014), d'où l'importance de faire nettoyer les équipements qui entrent et qui sortent des plans d'eau. L'existence d'une rampe de mise à l'eau a d'ailleurs été identifiée comme l'un des principaux facteurs prédictifs de la présence du myriophylle dans un lac (Tamayo et Olden 2014).

Figure 1. L'épi du myriophylle à épis qui émerge à la surface de l'eau. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 27 septembre 2022.

Les impacts du myriophylle à épis

Les impacts du myriophylle à épis sur un plan d'eau sont variés. Il a des effets notamment sur la valeur récréative, économique et écologique des lacs.

On ne connait pas exactement les effets qu'a le myriophylle sur la faune. On sait que les populations d'invertébrés (à la base de la chaine alimentaire) sont différentes dans un herbier de myriophylle que dans un herbier de plantes indigènes (Strimaitis et Sheldon 2011). La diversité, la densité et la biomasse des invertébrés que l'on retrouve dans les herbiers de myriophylle sont plus faibles que dans ceux des plantes indigènes. Ses effets sur les poissons sont quant à eux variés. Dans les faits, il semble que certains poissons l'évitent tandis que d'autres utiliseraient les herbiers de faible densité pour se réfugier et se nourrir (Keast 1984).

Le myriophylle à épis peut avoir des impacts sur les propriétés physico-chimiques de l'eau et sur la sédimentation (en raison de la densité de tiges des herbiers qu'il forme). Le processus de décomposition

des tiges à la surface des sédiments cause parfois des conditions de faible concentration d'oxygène (Kistritz 1978). Les herbiers de myriophylle peuvent accumuler les sédiments jusqu'à 20 fois plus rapidement que les herbiers de plantes indigènes (Benoy et Kalff 1999). Ce qui peut contribuer à accélérer le processus d'eutrophisation du lac (vieillissement du lac).

Les herbiers denses que forme le myriophylle à épis auraient aussi des effets négatifs sur les plantes indigènes dans les plans d'eau qu'il envahit. Le couvert végétal dense de myriophylle empêcherait la lumière de pénétrer en profondeur ce qui délogerait progressivement les autres espèces (Boylen et al. 1996, 1999). Certaines espèces seraient toutefois plus tolérantes que d'autres (Smith et al. 2021).

Figure 2. Les herbiers de myriophylle à épis monospécifique sont fréquemment observés. Le myriophylle forme d'important tapis de végétation à la surface qui peut déloger les plantes indigènes. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 27 septembre 2022.

Les impacts du myriophylle sur les activités humaines sont mieux documentés. Les herbiers denses que forme le myriophylle à épis réduisent notamment l'esthétisme d'un plan d'eau. Ces mêmes herbiers nuisent aux activités récréatives telles que la pêche sportive, la navigation et la baignade (Nichols et Lathrop 1994). L'ensemble des nuisances que peut apporter cette plante dans un plan d'eau peut parfois se traduire en perte de valeur des propriétés riveraines (Horsch et Lewis 2009, Zhang et Boyle 2010, Liao et al. 2016, Zipp

et al. 2019). Par ailleurs les herbiers de densité moyenne sont côtoyés par des poissons prisés par les pêcheurs tels que le brochet et l'achigan, se traduisant par une augmentation de la prolifération de la plante.

Les méthodes de lutte

Plusieurs méthodes ont été expérimentées pour la lutte contre le myriophylle, comme l'utilisation d'herbicides, celle d'insectes herbivores, le faucardage, l'arrachage manuel et le bâchage. Des solutions alternatives comme l'aération, les rayons ultra-violets, l'ajout de bactéries sont souvent mentionnées comme de potentielles solutions, mais dans les faits ces techniques n'ont jamais montré de résultats concrets. Au Québec, l'arrachage manuel et le bâchage restent les techniques les plus efficaces et sécuritaires, à condition que ces techniques soient mises en œuvre de la bonne façon et guidées d'une stratégie (Lavoie 2019, Gagné 2021). C'est d'ailleurs ce que proposait l'Association du lac Chapleau.

Les populations de myriophylle à épis connaissent des fluctuations importantes d'une année à l'autre qui sont encore mal comprises (Kujawa et al. 2017) et des déclins ont été observés dans certains lacs (Carpenter 1980, Smith et Barko 1990). Ces déclins sont souvent associés à *Euhrychiopsis lecontei*, un charançon indigène en Amérique du Nord, mais dans les faits plusieurs autres facteurs pourraient en être la cause. Les conditions idéales à réunir pour le succès avec ce charançon limitent grandement le potentiel de la lutte (Lavoie 2010, Havel et al. 2017).

L'arrachage manuel est une méthode de lutte sélective ayant peu d'effets sur les espèces indigènes (Nicholson 1981, Bailey et Calhoun 2008, Hussner et al. 2017). La plante est arrachée à la main par des plongeurs en prenant soin de retirer non seulement la tige, mais aussi le système racinaire. Les plantes peuvent être remontées à la surface dans des sacs en filet ou avec un système de remontée par succion avec effet Venturi (SRS). Un SRS permet aussi d'arracher des herbiers denses de superficie assez importante.

En revanche, comme le temps de travail lors d'une opération d'arrachage manuel est directement proportionnel à la densité et à la biomasse de l'espèce envahissante, les coûts d'arrachage peuvent vite devenir prohibitifs. L'arrachage manuel seul peut être déployé pour contrôler le myriophylle à épis dans un lac, mais l'ajout de bâche pour traiter les sites très envahis permet de réduire significativement le coût des opérations tout en assurant une bonne efficacité.

Le bâchage est une méthode de lutte non sélective, c'est-à-dire que toutes les plantes qui se retrouvent en dessous de la toile sont affectées. Cette technique est une alternative intéressante pour les lacs où l'utilisation d'herbicide est réglementée ou inacceptable socialement (Laitala et al. 2012). Les bâches, ou barrières benthiques sont généralement faites de fibre de verre ou de jute. Les grandes différences entre les matériaux utilisés sont le coût, la durabilité et l'effort nécessaire pour les déployer.

Figure 3. Un plongeur utilisant le SRS de l'ALC (tuyaux orange) dans un petit herbier dense de myriophylle à épis. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 23 août 2022.

Les toiles synthétiques sont généralement plus dispendieuses (jusqu'à 7$/m^2) que le jute (2$/m^2), mais ont l'avantage d'être réutilisables. Une réutilisation des toiles sur plusieurs années permet de rentabiliser l'investissement. Les toiles de jute sont souvent cousues ensemble afin de couvrir de grande superficie, mais nécessitent de plus grandes équipes pour l'installation (entre 10 et 15 personnes). Les toiles synthétiques sont plus petites et nécessitent une équipe d'au moins 3 personnes. La réutilisation des toiles synthétiques implique nécessairement le retrait des toiles à la fin d'une saison (après 10 semaines), mais aussi un nettoyage, des réparations au besoin ainsi qu'un entreposage. Le jute qui est biodégradable est laissé au fond de l'eau, mais l'on doit tout de même récupérer le matériel utilisé pour lester la toile (sac de roche ou de sable) qui nécessite des efforts non négligeables.

Les barrières benthiques ne sont pas suffisantes à elles seules ; il faut aussi faire un arrachage d'appoint afin d'éliminer les tiges résiduelles ou celles qui se trouvent au pourtour (Shaw et al. 2016, Gagné 2021). On utilise généralement des toiles pour recouvrir les herbiers denses de grandes superficies (> 500 m^2) et qui sont dominés par le myriophylle, qu'on nomme herbier monospécifique.

La réutilisation des bâches sur une même période estivale est possible, mais peu réaliste. Les bâches doivent rester 10 semaines sur les herbiers afin d'être vraiment efficaces (Laitala et al. 2012). Une deuxième

installation arriverait en plein dans la période où les tiges de myriophylle sont à leur hauteur maximale. L'installation des toiles sur des herbiers denses dont les tiges sont hautes est complexe et l'efficacité des toiles pourrait en être affectée. L'installation de toiles tard dans l'été génère également plus de fragments qu'en début de saison.

Figure 4. L'arrachage manuel permet également de traiter des zones où le bâchage n'est pas possible. Ici, l'arbre rend impossible une opération de bâchage, les plongeurs travaille donc manuellement afin de retirer les plants et leur racine. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022.

Figure 5. Le bâchage est une alternative intéressante pour les lacs où l'application d'herbicides est interdite ou dont l'acceptabilité sociale est faible. Photo : Vincent Gagné, Lac des Abénaquis, Sainte-Aurélie.

3. Le lac Chapleau

Le lac Chapleau (4.94 km^2) est situé sur le territoire de la municipalité La Minerve dans les Laurentides. Ce lac de villégiature à environ 200 km de Montréal est un site d'intérêt récréatif important des Laurentides. Il s'agit d'un lac navigable et où la pêche sportive est une activité importante. On y retrouverait notamment de l'achigan à petite bouche, du doré jaune, du grand brochet, du grand corégone, de l'omble de fontaine, de la perchaude, du touladi et de la truite arc-en-ciel (AJ Environnement 2020).

Il est également important de noter que la protection du lac Chapleau contre les PAEE contribue à la protection des lacs en aval. Le lac Chapleau est en amont du lac des Mauves et du lac à la Truite dans lesquels le myriophylle a été découvert, mais est sous contrôle. En contrôlant le myriophylle à épis dans le lac Chapleau, on protège ainsi les plans d'eau en aval, en limitant les chances de propagation de fragments.

Les caractéristiques physico-chimiques du lac Chapleau suggèrent une excellente qualité de l'eau, mais comme les données du *Réseau de surveillance volontaire des lacs* sont disponibles que pour 2018 à 2021, il est impossible d'avoir un portrait de l'évolution sur plusieurs années. Néanmoins, l'ensemble des variables physicochimiques mesurées au lac Chapleau situe son état trophique dans la classe oligotrophe.

Les concentrations de phosphore total sont très faibles (moyenne de 3,4 µg/l). La transparence de l'eau mesurée à l'aide d'un disque de Secchi est en moyenne 6,6 m (2018 à 2021). L'ensemble de ces caractéristiques font du lac Chapleau un écosystème aquatique important à protéger. La protection de ce plan d'eau doit passer par une série de mesure préventive afin de préserver l'excellente qualité d'eau qu'on y retrouve.

Tableau 1. Données morphométriques et hydrologiques du lac Chapleau (Source : L'Atlas des lacs des Laurentides)

Superficie du lac	4,94 km^2
Volume du lac	87 737 000 m^3
Profondeur maximale	56,6 m
Profondeur moyenne	17,8 m
Altitude	266,5 m
Superficie du bassin versant	66,4 km^2
Temps de renouvellement	2,31 années
Ratio de drainage	13,44

Parmi ces mesures, le contrôle du myriophylle à épis permettrait de protéger l'intégrité de la flore aquatique indigène et par principe de précaution, assurerait un maintien de la faune. Le contrôle de cette plante envahissante éviterait surtout plusieurs désagréments dus à des perturbations des activités récréatives telles que la pêche sportive, la baignade et la navigation.

L'Association du lac Chapleau

L'Association du lac Chapleau (ALC) a été créée en 1999, mais son administration actuelle a pris son essor en 2017. C'est l'ALC qui est l'instigatrice du projet de lutte contre le myriophylle au lac Chapleau. En 2021, l'Association comptait 280 membres. L'ALC est, et de loin, **l'association la mieux équipée en matière de lutte manuelle contre le myriophylle à épis en Amérique du Nord**. Constamment en quête d'amélioration, ils ont réussi à développer des embarcations uniques afin d'améliorer l'efficacité des opérations.

L'ALC a tout d'abord conçu un ponton pour l'arrachage et le retrait des toiles. Ce ponton est muni de deux systèmes de remontée par succion de type venturi ainsi que d'une table de décantation avec ensachage automatique. Un système qui pourrait faire rêver plusieurs associations. Le ponton a été conçu et penser uniquement pour la lutte contre le myriophylle à épis. Il possède des plateformes qui descendent au niveau de l'eau pour aider les plongeurs à remonter à bord, un toit pour protéger du soleil et de la pluie l'opérateur et les assistants. Les tuyaux d'arrachage permettent d'aller jusqu'à 15 mètres de profond et des tubes d'aluminium sont spécialement installés sous le ponton pour les ranger lorsque la journée est terminée. Un support à bonbonne de plongées a aussi été installé à l'arrière du ponton ainsi que deux coffres pour ranger les outils, les poches de maïs et autres matériels. Pour les toiles, un système de lavage a été développé pour nettoyer les toiles au moment du retrait permettant de sauver au moins 170 heures de travail par saison.

La deuxième embarcation de l'ALC est une chaloupe à fond plat sur laquelle a été montée une table d'ensachement avec un système de remontée par succion. Une vitre en verre trempé a été installée sur le fond de la chaloupe afin d'imiter l'effet d'un aquascope. L'aquascope est un outil utilisé lors des inventaires floristiques aquatiques qui permet d'éliminer les reflets du soleil. L'hélice du moteur a été changée pour un système de turbine afin de pouvoir circuler dans des zones peu profondes.

L'ALC possède également un conteneur situé au débarcadère à bateau ou est rangé les 30 bonbonnes qu'ils possèdent, les pièces de rechange et du matériel supplémentaire. L'Association a également à sa disposition 684 toiles réutilisables de 2,6 m par 15,25 m totalisant une superficie d'environ 27 000 m^2. Chaque toile est lestée avec des tiges d'armatures de 15 mm aux extrémités et de 10 mm au centre. Même si l'ALC possède les équipements les plus sophistiqués pour la lutte manuelle, elle reste proactive et tente toujours de trouver des améliorations qui pourraient augmenter l'efficacité des équipements. Cet été seulement, au moins cinq nouvelles idées ont été apportées afin de faciliter le travail des plongeurs.

Tous ces équipements permettraient de faire travailler 3 équipes complètes de plongeurs sur le lac Chapleau. D'ailleurs, l'ALC avait déjà élaboré une stratégie pour le contrôle le myriophylle. Toutefois, la problématique majeure de l'ALC est le manque de main-d'œuvre qualifiée pour mettre en action leur stratégie. Le travail bénévole des fins de semaine ne suffit pas à prendre le contrôle sur la plante envahissante d'autant plus que le fardeau reposerait sur les épaules de quelques riverains.

Figure 6. Le ponton unique de l'ALC adapté pour la lutte contre le myriophylle à épis. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022.

Figure 7. La table d'ensachage automatique de l'ALC, une innovation qui facilite les travaux d'arrachage manuel. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 13 juillet 2022.

4. État de la situation

Le myriophylle à épis est présent au lac Chapleau depuis au moins 2005 (Biofilia 2006). Déjà en 2006 on notait une densification des herbiers et l'augmentation de son aire de répartition. De 2006 à 2018, aucun plan de lutte contre le myriophylle n'a été mis de l'avant, ce qui explique l'état actuel de l'envahissement. Une intervention dès 2006 aurait eu un impact majeur sur la situation actuelle. L'inventaire effectué en 2019-2020 avait permis de recenser 92 herbiers de classe de recouvrement différents et 118 plants isolés. De ces 92 herbiers, 59 étaient monospécifiques et 33 étaient mixtes (AJ Environnement 2020). Comme la dernière cartographie datait déjà de deux ans, la municipalité a mandaté notre firme afin d'effectuer une nouvelle cartographie des herbiers.

Méthodologie de la caractérisation

La caractérisation s'est déroulée du 26 au 29 septembre 2022. Deux personnes dans une embarcation ont sillonné le littoral du lac. Il y avait un conducteur et une personne qui utilisait un aquascope. Ce dernier est un instrument permettant de regarder sous l'eau depuis la surface. Il permet d'éliminer les reflets et les déformations induites par les vagues et la réfraction de la lumière.

Inspirés de la méthode du *Réseau de surveillance volontaire des lacs* du MELCC, des allers-retours ont été effectués entre la rive et le centre du lac en conservant une distance constante entre chacun des tracés. Ces allers-retours sont effectués dans la zone de 1 à 5 m de profondeur, soit la zone où les plantes aquatiques croient. À l'aide d'un GPS de marque Garmin GPSMAP 64x, la présence des plants individuels de myriophylle à épis était géolocalisée. Lorsqu'il y avait un herbier, on le délimitait d'un tracé en localisant les extrémités. Pour déterminer leurs densités, les herbiers ont été catégorisés selon les classes de recouvrements suivantes : (0 à 10 %), (10 à 25 %), (25 à 50 %), (50 à 75 %) et (75 à 100 %). S'il y avait des obstacles pour la pose de toiles dans les herbiers, on notait leurs présences. Un obstacle peut être un fond trop rocheux, un arbre, une prise d'eau, etc.

Nous avons recensé 195 herbiers de classe de recouvrement différents ainsi que 246 plants isolés (annexe A). La superficie totale envahie par le myriophylle à épis dans le lac Chapleau est d'environ 70 000 m^2 répartis sur la quasi-totalité du littoral de la baie minerval et relativement étendue sur le littoral de la grande partie. Cette superficie représente toutefois la superficie très précise des herbiers identifiés en septembre 2022. Nous prévoyons une fluctuation importante de cette superficie durant les prochaines années. L'échéancier présenté tient compte de cette variation hypothétique. Le myriophylle à épis est de loin la plante aquatique la plus abondante du lac Chapleau.

Voici le portrait actuel des deux grandes zones, soit :

Portrait du Grand secteur du lac

En 2019, la firme A.J. Environnement Inc. avait recensé 26 herbiers de myriophylle à épis dans le grand secteur du lac. En 2022, le nombre d'herbiers dans ce secteur est toujours de 26, toutefois au lieu de 3 herbiers d'une classe de densité de plus de 75 %, il n'en reste qu'un (tableau 2). Cet herbier se trouve dans

la baie vaseuse et a une superficie approximative de 1 200 m^2. Les 2 autres herbiers denses ont fait l'objet d'un travail efficace de l'Association du lac Chapleau comme en témoignent nos relevés.

Les herbiers recensés ont une très faible abondance de myriophylle à épis (moins de 25 %) d'autant plus que notre équipe a procédé à un arrachage de chacune des zones où le myriophylle avait été identifié dans le Grand secteur la semaine suivant la caractérisation (à l'exception de l'herbier dense de la baie vaseuse).

Tableau 2. Nombre d'herbiers de chaque classe de densité dans le Grand secteur du lac Chapleau.

Classe de densité	Nombre d'herbiers de myriophylle à épis		Superficie en 2022
	En 2019-2020	En 2022	
A (0-10%)	10	16	12 039 m^2
B (10-25%)	5	7	890 m^2
C (25-50%)	4	2*	24 m^2
D (50-75%)	4	0*	0 m^2
E (75-100%)	3	1*	1195 m^2

*cela démontre l'efficacité de la campagne de lutte contre le myriophylle.

Portrait de la Baie minervale

La situation dans la Baie minervale est beaucoup plus problématique. En 2019-2020, la firme A.J. Environnement avait recensé un total de 66 herbiers dans ce secteur, tandis que nous en avons recensé 169. La superficie envahie dans la Baie minervale est d'environ 55 000 m^2 (tableau 3). Le myriophylle est présent en différente abondance sur presque la totalité du littoral.

Tableau 3. Nombre d'herbiers de chaque classe dans la Baie minervale du lac Chapleau.

Classe de densité	Nombre d'herbiers de myriophylle à épis		Superficie en 2022
	En 2019-2020	En 2022	
A (0-10%)	12	32	10635 m^2
B (10-25%)	13	18	7061 m^2
C (25-50%)	11	29	7596 m^2
D (50-75%)	20	29	6667 m^2
E (75-100%)	10	61	22105 m^2

On constate donc une prolifération rapide du myriophylle dans la Baie minervale ce qui s'explique par l'absence d'effort pour ce secteur par l'Association du lac Chapleau considérant ses effectifs limités.

Analyse de faisabilité

Il est important de distinguer le pourcentage de recouvrement des herbiers que l'on tient compte dans la superficie envahie, car un herbier de 10 000 m^2 dont le recouvrement de myriophylle est de plus de 75 % ne représente pas le même travail et le même risque de prolifération qu'un herbier de 10 000 m^2 d'une classe de recouvrement de moins de 25 %.

La superficie dans le grand secteur du lac Chapleau est de 15 000 m^2 et il est important de noter qu'on n'y retrouve qu'un seul herbier de plus de 75 % d'abondance en myriophylle (celui dans la baie vaseuse). Aussi, la semaine du 3 octobre 2022, notre équipe a procédé à un arrachage ciblé des herbiers et des plants isolés qui ont été localisés lors de la caractérisation de 2022 dans le Grand secteur du lac. On peut donc considérer que l'ensemble des herbiers dans cette partie se situe dans une classe de 0-10 % à l'exception de l'herbier dense de la baie vaseuse (1 200 m^2). L'objectif que s'était donné l'ALC pour l'été 2022 est donc accompli, soit de protéger le littoral du Grand secteur afin d'éviter un envahissement important.

Nous évaluons le temps nécessaire pour abaisser significativement l'abondance de myriophylle au lac Chapleau à 5 ans si les travaux sont faits à temps complet par une firme d'experts dans un projet presque clé en main. En se basant sur une stratégie de lutte intensive quinquennale, un tel projet nécessiterait un investissement d'au moins 266 000 $ sur une base annuelle puis un investissement récurrent d'environ 40 000 - 80 000 $ sur une base annuelle pour la lutte de maintenance. Le coût de la lutte de maintenance est, de manière générale, 15-30 % du budget annuel de la lutte intensive. Évidemment ces montants sont des estimations et doivent être considérés avec précaution. **Ces coûts ne tiennent toutefois pas en compte les investissements qu'a faits l'ALC ces dernières années et l'équipement qu'elle possède.**

Les équipements pour la lutte spécifiquement développés par l'Association du lac Chapleau viennent diminuer grandement les besoins financiers. En tenant compte que l'Association possède des toiles ainsi que des équipements adaptés, le coût total du projet peut être réduit d'approximativement 25 % (200 000 $ / année). Considérant les efforts déjà investis par l'Association du lac Chapleau dans cette lutte, la faisabilité d'un contrôle du myriophylle à épis est réalisable sur un horizon de 5 ans. Un support de la municipalité est toutefois indispensable.

Les campagnes de lutte contre le myriophylle à épis nécessitent un investissement important les premières années. À titre d'exemple, dans le lac Upper Saranac aux États-Unis, un investissement de 55 000 USD annuellement ne permettait pas de prendre le contrôle sur la plante. Après analyse, ils ont alloué un budget de 350 000 USD pendant trois ans qui a mené à une diminution significative de l'envahisseur (Kelting et Laxson 2010). De plus, un projet de lutte contre le myriophylle à épis peut rarement être soutenu que par des bénévoles. La tâche devient rapidement trop importante et les bénévoles ne peuvent assumer cette charge de travail seul. Dans le cas du lac Chapleau, au moins une équipe, sinon deux, doit être assigné à temps plein durant la saison estivale pour voir un recul de la superficie des herbiers.

Figure 8. Les opérations de lutte que l'équipe Fyto a entreprises sous la coordination de l'ALC en 2022 ont permis de confirmer l'efficacité des équipements conçue par l'Association. L'herbier sur la présente photo a été complètement éliminé par arrachage manuel. Photo : Vincent Gagné, Lac Chapleau, 21 juillet 2022.

5. Stratégie de lutte

La lutte contre le myriophylle à épis est complexe, coûteuse et doit être bien planifiée afin d'être une réussite. La stratégie n'a pas pour objectif d'éradiquer le myriophylle, mais **plutôt l'atteinte d'un seuil de biomasse, de densité ou de recouvrement acceptable pour les riverains, mais qui tient aussi compte des ressources disponibles pour effectuer le travail et de l'état de la situation**. Une fois ce seuil atteint, l'objectif est de le maintenir avec des moyens plus modestes. Plus l'investissement initial est important, meilleures sont les chances de réussites, et moins les efforts à déployer les années suivantes seront élevés.

Le succès d'une campagne de lutte contre le myriophylle à épis ne peut être garanti en raison de plusieurs facteurs tel que la fluctuation importante des populations d'année en année, la fragmentation imprévisible et les caractéristiques du lac. Une bonne stratégie nécessite néanmoins :

1. Une bonne connaissance des caractéristiques du lac;
2. Une bonne connaissance de l'état de l'envahissement avec une cartographie récente;
3. Un objectif réaliste (l'éradication complète n'est pas possible);
4. Un investissement important et récurrent;
5. Une concentration des efforts visant l'élimination presque complète des sites ciblés.

Il est important de noter que la superficie et la densité des herbiers de myriophylle à épis connaissent des fluctuations importantes parfois sur de courtes périodes. Le choix des méthodes, les estimations de coût et le plan d'action proposé peuvent en être affectés. C'est pour cette raison que nous recommandons une caractérisation annuelle du myriophylle.

Dans le but de faciliter les opérations, la stratégie de lutte pour le lac Chapleau se divise entre les deux secteurs déjà mentionnés : Le **Grand secteur** et La **Baie minervale** (annexe B).

La stratégie du lac Chapleau a été planifiée à partir du budget et selon :

- Les efforts de l'Association du lac Chapleau en coordination et en innovation;
- La direction des vents dominants : La direction horaire moyenne du vent à La Minerve en juin vient principalement de l'ouest, avec une proportion de vent dominant de 41 %;
- Le principal tributaire du lac est situé au nord de la Baie minerval, tandis que la décharge est située au sud du Grand secteur, dans la baie du lac des Mauves;
- "La Passe" est le seul point de connexion entre la Baie minervale et le Grand secteur;
- Le niveau d'envahissement élevé dans la Baie minervale génère une forte prolifération de la plante;
- La seule rampe de mise à l'eau se situe dans le Grand secteur (barré à clé). Pour y accéder, il faut passer à la station de lavage. Toutefois notre constatation est qu'il y a des dizaines de descentes privées sur le lac. Considérant cet état de fait, il serait primordial qu'un règlement oblige l'utilisation de la descente publique pour la mise à l'eau des embarcations puisqu'une cinquantaine de descentes privées sont recensées sur le lac ce qui constitue un facteur aggravant.
- Le myriophylle à épis colonise majoritairement les zones de 1-5 m de profondeur, mais se poursuit par endroit jusqu'à 7 m (10 m selon les plongeurs de l'ALC).

Le choix des méthodes de lutte est évidemment une combinaison de bâchage sur les herbiers monospécifiques (avec les toiles synthétiques) et d'arrachage manuel. Les efforts déployés seront concentrés sur certains secteurs avec l'objectif d'atteindre une élimination quasi complète du myriophylle sur les herbiers ciblés chaque année. Une caractérisation annuelle des herbiers aquatiques permettra de suivre l'évolution des populations et des opérations afin d'ajuster la stratégie. Les objectifs de la stratégie seront divisés entre les deux secteurs comme le niveau d'envahissement n'est pas le même.

Stratégie pour la Baie minervale

PHASE 1 – Lutte intensive (5 ans)

La lutte intensive devrait généralement durée 5 ans (ou moins si les ressources et la situation le permettent). Lors de cette phase, les techniques d'arrachage et de bâchage sont utilisées de manière intensive dans le but de réduire significativement l'envahissement à un seuil minimal qui sera maintenu grâce à la lutte de maintenance. Nous estimons que la phase de lutte intensive dans la baie minervale sera d'une durée de 5 ans.

Objectif d'ici 2027 : Réduire la superficie dont l'abondance de myriophylle est de plus de 10 % à 0 m^2.

Tableau 4. Objectifs (2027) pour chaque classe de densité de la campagne de lutte intensive pour le secteur de la Baie minervale.

Classe de densité	Superficie en 2022	Objectifs 2027
A (0-10%)	10635 m^2	16 000 m^2 (154 %)
B (10-25%)	7061 m^2	0 m^2 (- 100 %)
C (25-50%)	7596 m^2	0 m^2 (- 100 %)
D (50-75%)	6667 m^2	0 m^2 (- 100 %)
E (75-100%)	22105 m^2	0 m^2 (- 100 %)

Les herbiers qui rencontrent les règles de bâchage (monospécifique, aucun obstacle) sont illustrés en annexe C.

Les toiles sont déroulées directement au fond de l'eau par les plongeurs et superposées afin d'éviter que les plants puissent passer entre les toiles. Le lestage des toiles est assuré par les tiges de fer. Les toiles sont retirées 10 semaines suivant leurs installations et nettoyées avant l'entreposage. Le retrait s'effectue encore à l'aide de plongeur qui attache une corde à la toile pour la retirer de l'eau à partir du ponton de l'ALC. À cet égard, le ponton développé par l'Association du lac Chapleau est d'une efficacité

impressionnante. Les herbiers mixtes ou de plus faibles densités à proximité des herbiers bâchés devront être arrachées en priorité afin d'éviter une recolonisation une fois le retrait des toiles. À cet égard, le ponton développé par l'Association du lac Chapleau est d'une efficacité impressionnante.

PHASE 2 – Lutte de maintenance à partir de 2028

Le bâchage ne devrait pas être nécessaire lors de cette phase comme l'ensemble des herbiers denses auront été éliminés. La lutte de maintenance doit être effectuée annuellement afin de protéger les acquis de la lutte intensive. Nous prévoyons débuter la lutte de maintenance en 2028 avec des efforts considérables d'arrachage afin de diminuer l'abondance de myriophylle dans les herbiers de moins de 10 % de classe de densité. Par la suite les caractérisations annuelles dicteront les efforts à investir annuellement.

La méthode à préconiser pour la lutte de maintenance est la surveillance avec arrachage ciblé. Pour procéder, il faut prévoir :

1. Une embarcation permettant de sillonner le littoral;
2. Un aquascope afin d'identifier les plantes aquatiques en profondeur;
    a. La chaloupe à fond plat que dispose l'Association peut être très utile à cet effet
3. Deux à trois personnes capables de différencier le myriophylle à épis des autres plantes aquatiques;
4. Une bonne quantité de bouées de marquage (50-100).

La lutte de maintenance se divise en deux grandes étapes :

1. La surveillance

Il s'agit en fait de parcourir le littoral du lac avec une embarcation de la même façon qu'on le fait pour un inventaire floristique. Cependant, au lieu de géolocaliser les plants myriophylle à épis on les marque à l'aide d'une petite bouée (on peut aussi les géolocaliser). Une fois qu'une bonne quantité de plants ont été marqués, on passe à un arrachage ciblé. L'opération de surveillance sur le Grand secteur était assurée par un bénévole de l'ALC en 2022.

2. L'arrachage ciblé

Une équipe de plongée se déplace à chacune des bouées (ou coordonnées gps) afin d'arracher les plants marqués. Une fois l'arrachage terminé, on récupère les bouées afin de répéter les étapes et couvrir l'ensemble du littoral. Selon l'abondance du myriophylle à épis, le tour du littoral peut être effectué plusieurs fois lors d'une saison.

Lors des premières années de la lutte de maintenance, les efforts devront probablement être plus importants que pour les années suivantes. Nous devrions observer une diminution annuelle de la biomasse de myriophylle à épis retiré du lac.

Stratégie pour le Grand secteur

La stratégie pour le Grand secteur est une lutte de maintenance, comme elle avait été établie par l'ALC, à l'exception de l'herbier 4 qui se situe dans la baie vaseuse. Cet herbier est une priorité de bâchage pour l'été 2023.

Objectif pour le grand secteur : Limiter la présence du myriophylle à épis à des tiges isolées dès l'année et à un maximum de 600 m^2 d'herbier dont l'abondance de myriophylle à épis est de moins de 10 % dès 2023.

Le but étant de protéger le littoral d'un envahissement important par le myriophylle à épis. La maintenance dans ce secteur est déjà entamée. Une série d'opérations d'arrachage ciblé a été effectuée en 2020, 2021 et 2022.

Tableau 5. Objectifs (2023) pour chaque classe de densité de la campagne de lutte intensive pour le Grand secteur du lac.

Classe de densité	Superficie en 2022	Objectifs 2023
A (0-10%)	12 039 m^2	600 m^2 (- 95 %)
B (10-25%)	890 m^2	0 m^2 (- 100 %)
C (25-50%)	24 m^2	0 m^2 (- 100 %)
D (50-75%)	0 m^2	0 m^2 (- 100 %)
E (75-100%)	1195 m^2	0 m^2 (- 100 %)

6. Le plan d'action

Afin de limiter la dispersion des fragments de la Baie minervale vers le Grand secteur, la Passe entre les deux secteurs a été ciblée comme point de départ de la lutte intensive. Nous éliminerons les herbiers du côté ouest en priorités pour éviter que les vents ne transportent les fragments vers la rive est. Nous avancerons dans la baie minervale jusqu'à arriver en 2026 au tributaire principal.

Vu la quantité importante d'herbiers de faible densité (< 50 % recouvrement) et leur superficie qui semble être importante, l'effort d'arrachage devra être substantiel. Sans compter qu'un arrachage d'appoint devra être effectué sur l'ensemble des sites qui auront été bâchés.

Échéancier

Les échéanciers pour chaque année se basent sur 17 semaines de travail par une équipe professionnelle à temps plein de semaine; le tout appuyé de ressources de l'Association du lac Chapleau. L'équipe de semaine travaille du 1er juin au 30 septembre, 40 heures par semaines. La carte illustrant les campagnes de lutte annuelles est en annexe D tandis que la numérotation des herbiers est en annexe E.

Les échéanciers devront être révisés annuellement suivant la caractérisation afin de tenir compte des avancements et de l'évolution des populations de myriophylle. En plus d'une caractérisation des herbiers à la fin de chaque saison estivale, nous recommandons qu'un suivi des mesures déployées soit effectué annuellement. Si l'une des méthodes de lutte ne donne pas les résultats escomptés, la stratégie pourra être modifiée pour en tenir compte.

Tableau 6. Échéancier des travaux pour l'été 2023.

Activités	Durée	Herbiers
Installation des toiles	4 semaines	30, 31, 32, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 52, 53, 187 et 4 (Grand secteur)
Arrachage Baie minervale	7 semaines	27, 28, 29, 33, 34, 35, 39, 40, 47, 48, 51, 192, 191, 190, 189, 188, 186, 185, 184, 183, 182, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 172, 171, 170
Arrachage Grand secteur	2 semaines	1 à 26
Retrait des toiles	3 semaines	
Caractérisation	1 semaine	Objectif de superficie : 60 000 m^2

Tableau 7. Échéancier des travaux pour l'été 2024.

Activités	Durée	Herbiers
Installation des toiles	4 semaines	55, 57, 58, 61, 62, 66, 67, 68, 69, 70, 169, 168, 167, 166, 165, 164
Maintenance Baie minervale	2 semaines	Herbiers traités en 2023
Arrachage Baie minervale	5 semaines	54, 56, 59, 60, 63, 64, 65, 163, 162,161, 160, 159,158, 157, 156, 155, 154
Arrachage Grand secteur	2 semaines	1 à 26 + Herbiers traités en 2023
Retrait des toiles	3 semaines	
Caractérisation	1 semaine	Objectif de superficie : 51 000 m^2

Tableau 8. Échéancier des travaux pour l'été 2025.

Activités	Durée	Herbiers
Installation des toiles	4 semaines	71, 72, 94, 95, 96, 152, 138, 137, 136, 135, 134, 133, 131, 130
Maintenance Baie minervale	3 semaines	Herbiers traités en 2023 et 2024
Arrachage Baie minervale	5 semaines	73 à 93 et 153, 151 à 139, 132
Maintenance Grand secteur	1 semaine	
Retrait des toiles	3 semaines	
Caractérisation	1 semaine	Objectif de superficie : 39 000 m^2

Tableau 9. Échéancier des travaux pour l'été 2026.

Activités	Durée	Herbiers
Installation des toiles	4 semaines	97, 98, 99, 100, 103, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 125, 126, 127, 128, 129
Maintenance Baie minervale	4 semaines	Herbiers traités en 2023, 2024 et 2025
Arrachage Baie minervale	4 semaines	101, 102, 116, 117, 124
Maintenance Grand secteur	1 semaine	
Retrait des toiles	3 semaines	
Caractérisation	1 semaine	Objectif de superficie : 28 000 m^2 (aucun herbier de plus de 25 % de couvert en myriophylle)

Tableau 10. Échéancier des travaux pour l'été 2027.

Activités	Durée	Herbiers
Installation des toiles	3 semaines	104 à 113 (selon l'évolution)
Maintenance Baie minervale	5 semaines	Herbiers traités en 2023, 2024 et 2025 et 2026
Arrachage Baie minervale	4 semaines	104, 105, 106, 107, 108, 111, 112
Maintenance Grand secteur	1 semaine	
Retrait des toiles	3 semaines	
Caractérisation	1 semaine	Objectif de superficie : 16 000 m^2 (aucun herbier de plus de 10 % de couvert en myriophylle)

Tableau 11. Échéancier des travaux pour l'été 2028.

Activités	Durée	Herbiers
Maintenance Baie minervale	8 semaines	Tous les herbiers traités de puis 2023
Maintenance Grand secteur	1 semaine	Tous les herbiers traités de puis 2023
Caractérisation	1 semaine	Objectif : maintenir l'abondance de myriophylle à moins de 10 % dans l'ensemble des herbiers aquatiques du lac Chapleau

En 2028, l'ensemble des activités déployées sur le lac Chapleau entreront dans le cadre d'une lutte de maintenance. Nous prévoyons que si des efforts soutenus sont maintenus, nous pourrons observer une diminution graduelle de la quantité de myriophylle arrachés annuellement, conséquence d'une réduction de son abondance à l'échelle du lac, résultant en une diminution des efforts nécessaires pour protéger le lac Chapleau.

7. Conclusion

La prolifération des plantes aquatiques envahissantes dans le lac Chapleau est inquiétante. Elle est rendue à un stade alarmant puisqu'aucun effort n'a été déployé de 2006 à 2017. Depuis, bien que la situation soit préoccupante, nous sommes rassurés de voir l'Association du lac Chapleau promouvoir la nécessité d'établir un plan d'action structuré et impressionné par l'équipement spécialisé qu'ils ont conçu. De fait, le myriophylle à épis, qui prend une place très dominante du littoral, surtout dans la Baie minvervale, pose un réel problème. D'ailleurs les nuisances que causent les infestations de myriophylle à épis se font déjà sentir depuis quelques années au lac Chapleau. On retrouve des plants ou des herbiers de myriophylle à épis sur presque l'entièreté du littoral de la Baie minervale. Au total, environ 70 000 m^2 d'herbier sont envahis par le myriophylle. La situation dans le Grand secteur, où seulement un herbier de 1 200 m^2 est dominé à plus de 50 % par le myriophylle, est sous contrôle, à condition de poursuivre les efforts annuels. Nous croyons que dès 2023, il est possible d'éliminer toutes les zones de plus de 10 % de myriophylle dans ce secteur. Dans la Baie minervale, l'équipe Fyto croit qu'il est possible d'éliminer 100 % des herbiers dont le recouvrement de myriophylle est de 10 % ou plus sur un horizon de 5 ans.

Pour réaliser ces objectifs, il faudra néanmoins y mettre les efforts nécessaires qui nécessiteront un appui financier dès les premières années. Les efforts déployés par l'ALC ces dernières années pour développer des équipements spécialisés pour la lutte contre le myriophylle à épis rendent ces objectifs réalistes.

Nous saluons l'engagement de la municipalité de La Minerve dans ce projet mobilisateur. Le professionnalisme des membres de la municipalité, additionnée de l'ingéniosité des dirigeants de l'Association du lac Chapleau soutenu par l'expertise des professionnels en la matière, rendent stimulant ce projet qui aura un impact réel pour les résidents mais également pour tous les lacs ayant un enjeu de myriophylle. À titre de leader, la municipalité peut jouer un rôle déterminant et l'équipe Fyto est confiante des chances de succès de ce projet rassembleur.

Références

Aiken, S. G., Newroth, P. R. et Wiles, I. 1979. The biology of canadian weeds: 34. *Myriophyllum spicatum* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 59: 201–215.

AJ Environnement Inc., 2020. Résultats Inventaire détaillé du myriophylle à épis. Lac Chapleau, La Minerve.

Bailey, J. E. et Calhoun, A. J. K. 2008. Comparison of three physical management techniques for controlling variable-leaf milfoil in Maine lakes. *Journal of Aquatic Plant Management*, 46: 163–167.

Benoy, G. A. et Kalff, J. 1999. Sediment accumulation and Pb burdens in submerged macrophyte beds. *Limnology and Oceanography*, 44: 1081–1090.

Biofilia, 2006. Suivi de la problématique du myriophylle à épis. Lac Chapleau, La Minerve.

Boylen, C. W., Eichler, L. W. et Madsen, J. D. 1999. Loss of native aquatic plant species in a community dominated by Eurasian watermilfoil. *Hydrobiologia*, 415: 207–211.

Boylen, C. W., Eichler, L. W. et Sutherland, J. W. 1996. Physical control of Eurasian watermilfoil in an oligotrophic lake. *Hydrobiologia*, 340: 213–218.

Bruckerhoff, L., Havel, J. et Knight, S. 2014. Survival of invasive aquatic plants after air exposure and implications for dispersal by recreational boats. *Hydrobiologia*, 746: 113–121.

Carpenter, S. R. 1980b. The decline of Myriophyllum spicatum in a eutrophic Wisconsin lake. *Canadian Journal of Botany*, 58: 527–535.

Gagné, V. 2021. *Planification d'une stratégie de lutte contre le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*).* Mémoire M.Sc.. Université Laval, Québec.

Grace, J. B. et Wetzel, R. G. 1978. The production biology of Eurasian watermilfoil (Myriophyllum spicatum L.): A review. *Journal of Aquatic Plant Management*, 16: 1–11.

Havel, J. E., Knight, S. E. et Maxson, K. A. 2017. A field test on the effectiveness of milfoil weevil for controlling Eurasian watermilfoil in Wisconsin lakes. *Hydrobiologia*, 800: 81–97.

Horsch, E. J. et Lewis, D. J. 2009. The effects of aquatic invasive species on property values: Evidence from a quasi-experiment. *Land Economics*, 85: 391–409.

Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M. J. J. M., Bakker, E. S., Grutters, B. M. C., Haury, J., van Valkenburg, J. L. C. H., Brundu, G., Newman, J., Clayton, J. S., Anderson, L. W. J. et Hofstra, D. 2017. Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: A review. *Aquatic Botany*, 136: 112–137.

Jacob-Racine, R. et Lavoie, C. 2018. Reconstitution historique de l'invasion du Québec par le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*). *Naturaliste Canadien*, 142(3): 40–46.

Keast, A. 1984. The introduced aquatic macrophyte, *Myriophyllum spicatum*, as habitat for fish and their invertebrate prey. *Canadian Journal of Zoology*, 62: 1289–1303.

Kelting, D. L. et Laxson, C. L. 2010. Cost and effectiveness of hand harvesting to control the Eurasian watermilfoil population in Upper Saranac Lake, New York. *Journal of Aquatic Plant Management*, 48: 1–5.

Kistritz, R. U. 1978. Recycling of nutrients in an enclosed aquatic community of decomposing macrophytes (*Myriophyllum spicatum*). *Oikos*, 30: 561–569.

Laitala, K. L., Prather, T. S., Thill, D., Kennedy, B. et Caudill, C. 2012. Efficacy of benthic barriers as a control measure for Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*). *Invasive Plant Science and Management*, 5: 170–177.

Lavoie, C. 2019. *50 plantes envahissantes*. *Protéger la nature et l'agriculture*. Les Publications du Québec, Québec.

Lavoie, M. 2010. *L'utilisation du charançon pour le contrôle biologique du myriophylle à épis*. Mémoire M.Sc.. Université du Québec à Montréal, Montréal.

Liao, F. H., Wilhelm, F. M. et Solomon, M. 2016. The effects of ambient water quality and Eurasian watermilfoil on lakefront property values in the Coeur d'Alene area of northern Idaho, USA. *Sustainability*, 8: 1–12.

Madsen, J. D., Eichler L. W. et Boylen, C. W. 1988. Vegetative spread of Eurasian watermilfoil in Lake George, New York. *Journal of Aquatic Plant Management*, 26: 47–50.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. 2022. *Lacs et cours d'eau où la présence du myriophylle à épi* (Myriophyllum spicatum) *a été rapportée – Juin 2021*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Québec. Disponible en ligne au : http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/myriophylle-epi/index.htm [consulté le 10 octobre 2022].

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. 2021. *Réseau de surveillance des lacs, Service en ligne – Relais*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Québec. Disponible en ligne au : https://rsvl.extranet-eauquebec.gouv.qc.ca/_login/RSVL/Identification.aspx?ReturnUrl=%2f_layouts%2f15%2fAuthenticate.aspx%3fSource%3d%252F&Source=%2F [consulté le 16 octobre 2021].

Nichols, S. A. et Lathrop, R. C. 1994. Cultural impacts on macrophytes in the Yahara lakes since the late 1800s. *Aquatic Botany*, 47: 225–247.

Nicholson, S. A. 1981. Effects of uprooting on Eurasian watermilfoil. *Journal of Aquatic Plant Management*, 19: 57–59.

Shaw, D. W. H., Hymanson, Z. P. et Sasaki, T. L. 2016. Physical control of nonindigenous aquatic plants in Emerald Bay, Lake Tahoe, CA. *Invasive Plant Science and Management*, 9: 138–147.

Smith, C. S. et Barko, J. W. 1990. Ecology of Eurasian watermilfoil. *Journal of Aquatic Plant Management*, 28: 55–64.

Smith, S., Küpper, F. C., Trinder, C. et Louca, V. 2021. Assessing watermilfoil invasion effects on native macrophyte communities in North American lakes using a novel approach for macrophyte sampling. *Knowledge Management of Aquatic Ecosystems*, 422: 1.

Strimaitis, A. M. et Sheldon, S. P. 2011. A comparison of macroinvertebrate and epiphyte density and diversity on native and exotic complex macrophytes in three Vermont Lakes. *Northeastern Naturalist,* 18: 149–160.

Tamayo, M. et Olden, J. D. 2014. Forecasting the vulnerability of lakes to aquatic plant invasions. *Invasive Plant Science and Management*, 7: 32–45.

Zhang, C. et Boyle, K. J. 2010. The effect of an aquatic invasive species (Eurasian watermilfoil) on lakefront property values. *Ecological Economics*, 70: 394–404.

Zipp, K. Y., Lewis, D. J., Provencher, B. et Vander Zanden, M. J. 2019. The spatial dynamics of the economic impacts of an aquatic invasive species: An empirical analysis. *Land Economics*, 95: 1–18.

Annexe A

Localisation des herbiers et des plants isolés de myriophylle à épis dans le lac Chapleau

Lac Chapleau, La Minerve

Carte 1
Localisation des herbiers

Myriophylle à épis

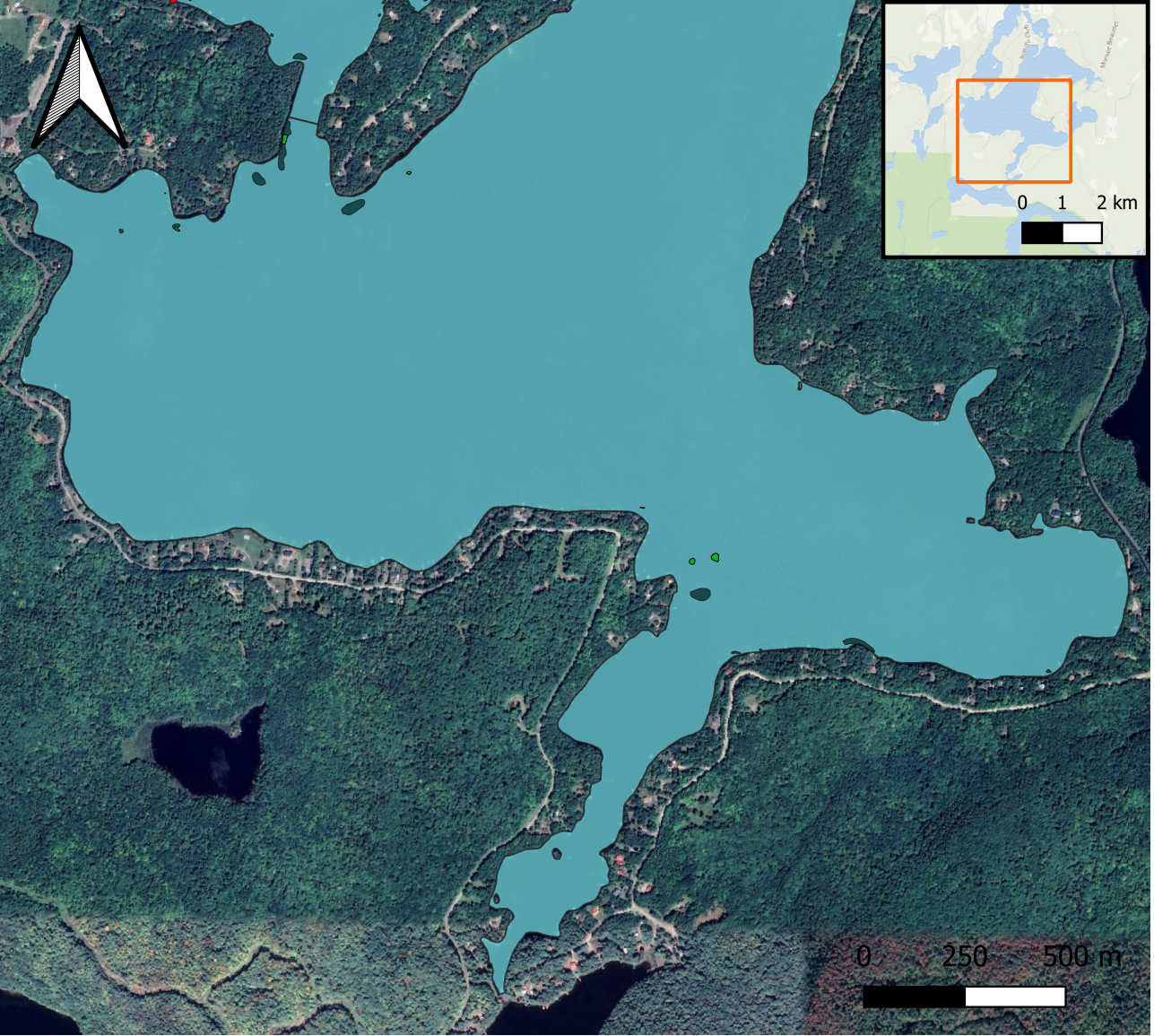
Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 2
Localisation des herbiers

Myriophylle à épis

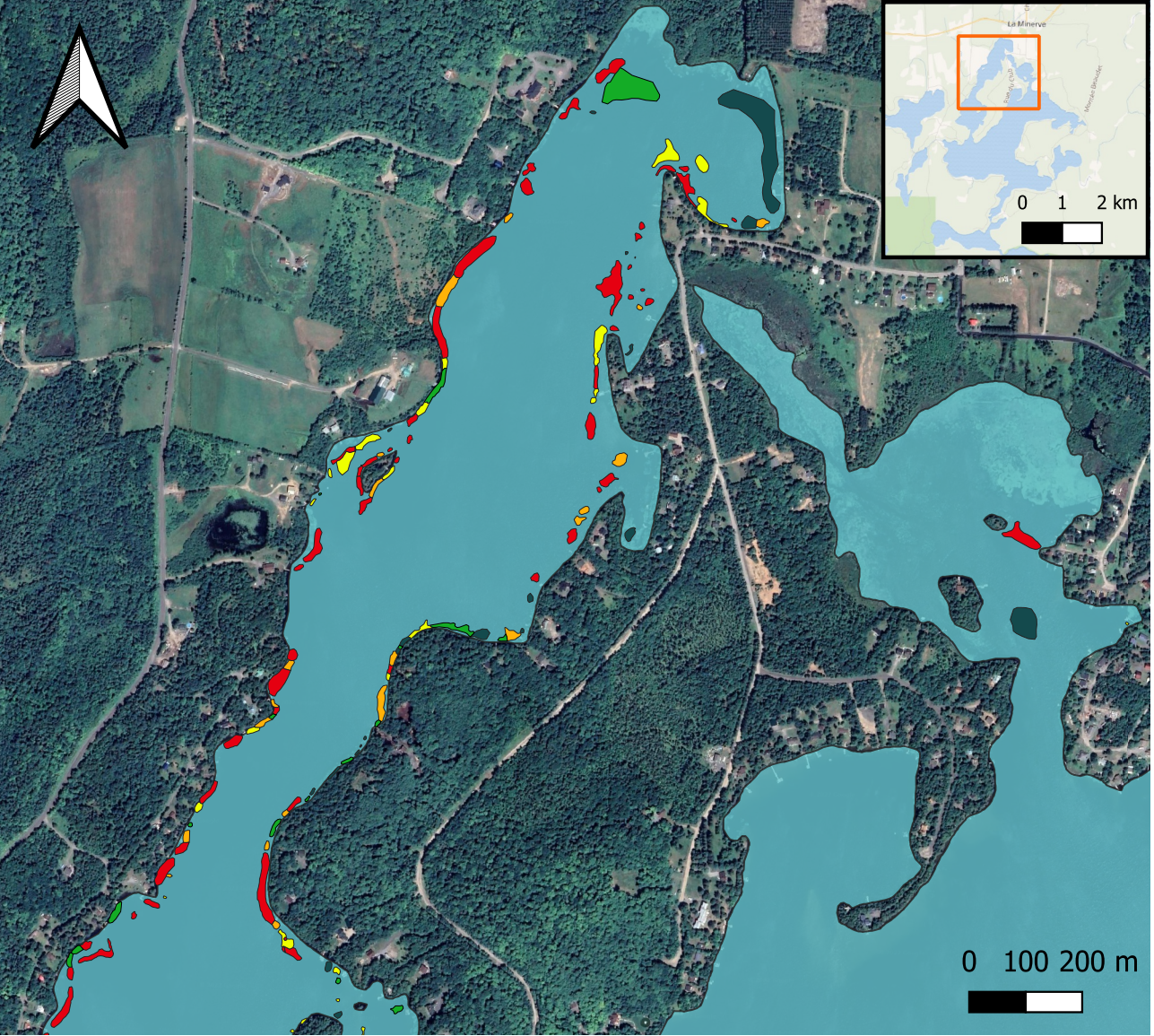
Classe de densité :

0-10%
10-25%
25-50%
75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 3
Localisation des herbiers

Myriophylle à épis

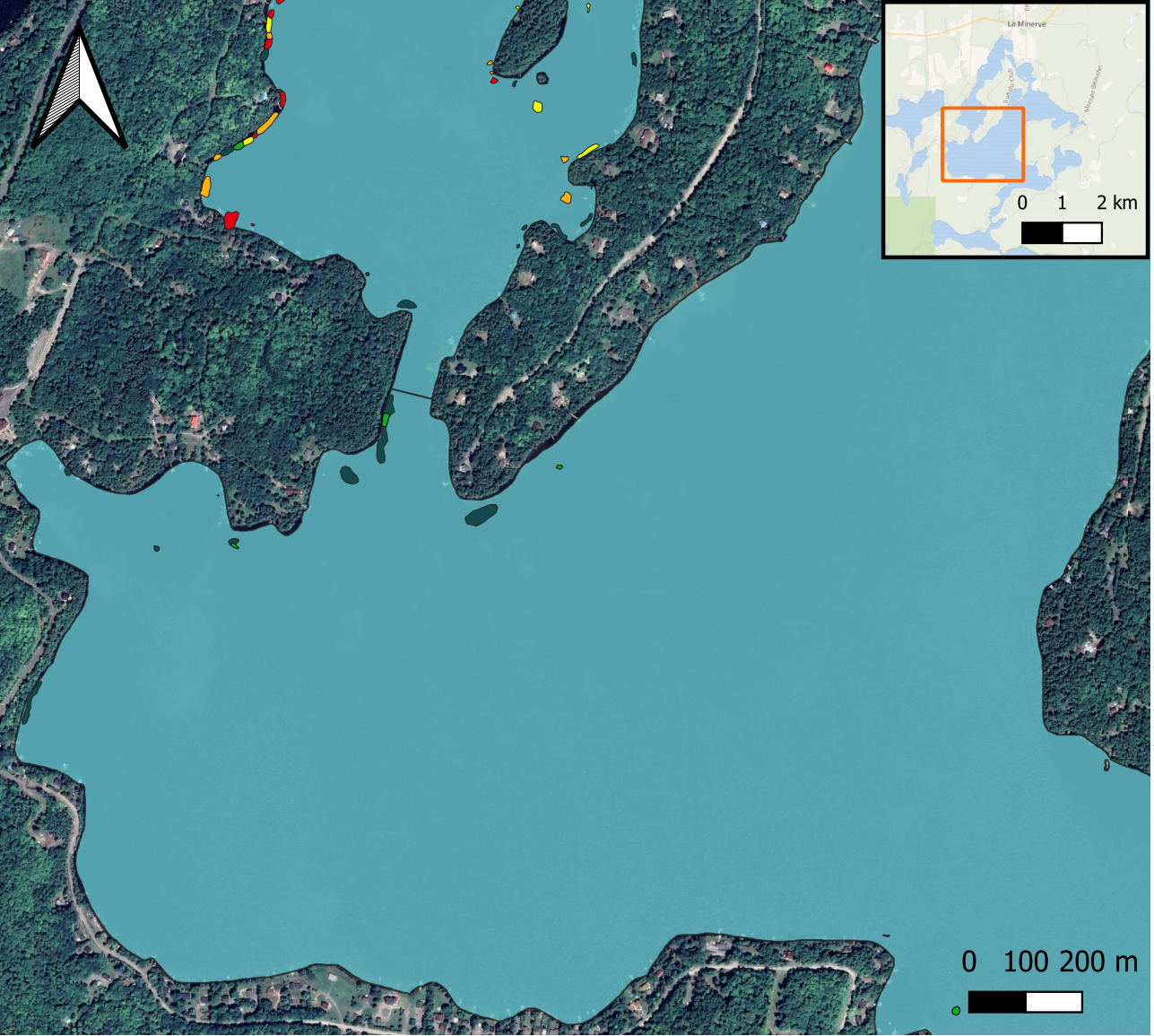
Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 4
Localisation des herbiers

Myriophylle à épis

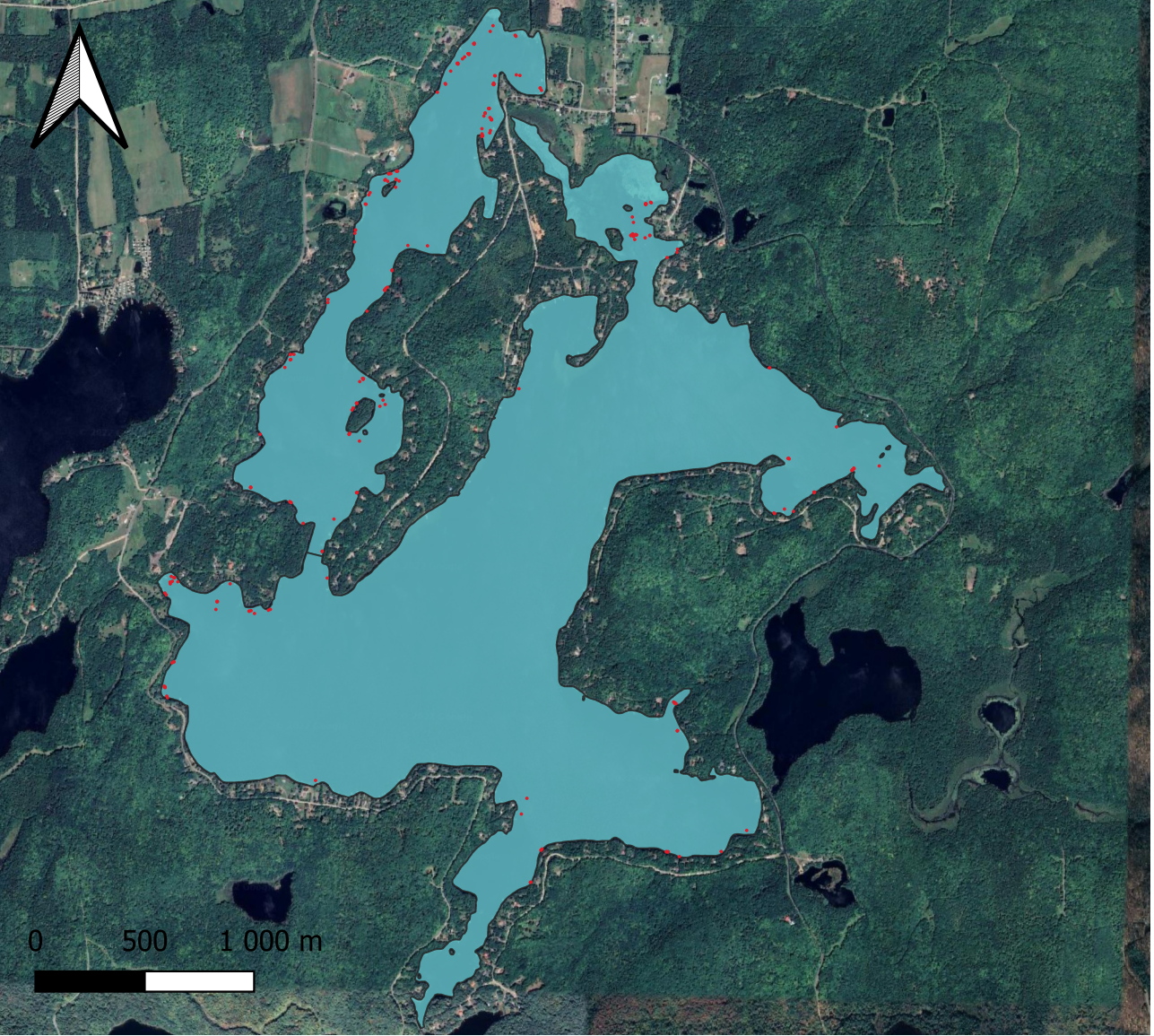
Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 5
Localisation des plants isolés

Plant de myriophylle à épis

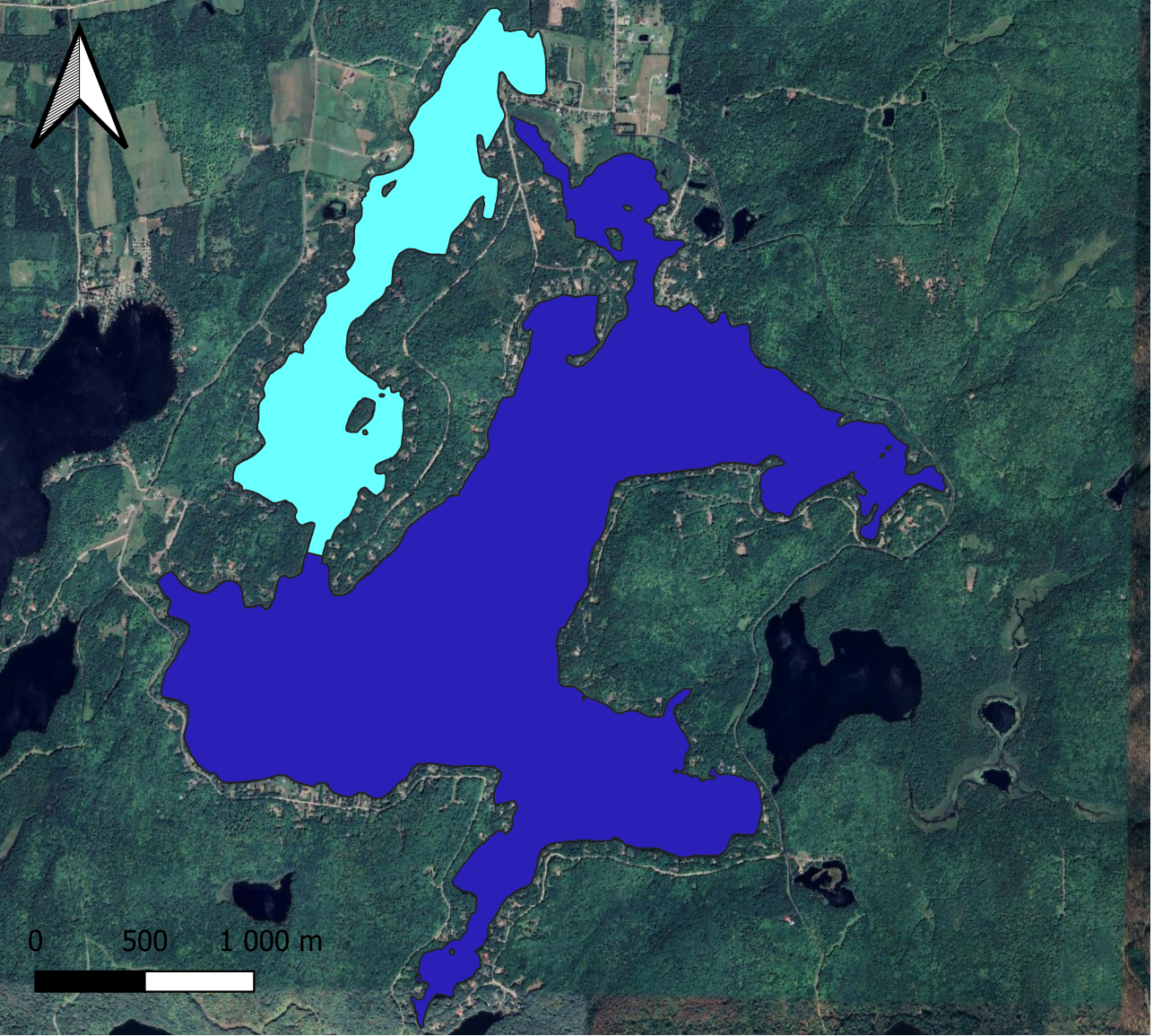
Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Annexe B

Carte des secteurs visés par l’intervention



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 6
Secteurs visés par l'intervention

Secteur

Baie Minervale

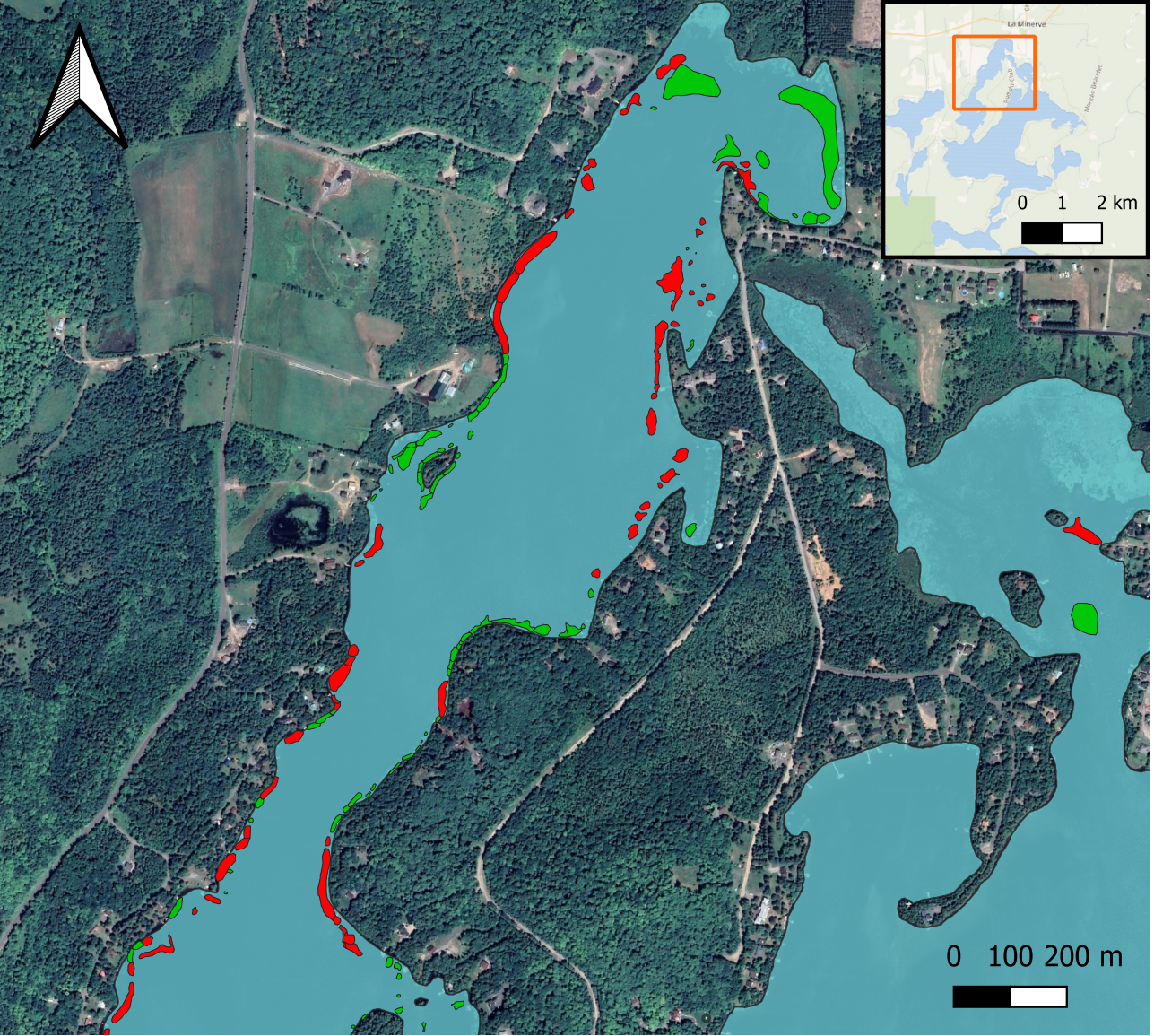
Grand secteur

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Annexe C

Prévision du bâchage et de l'arrachage de chacun des herbiers



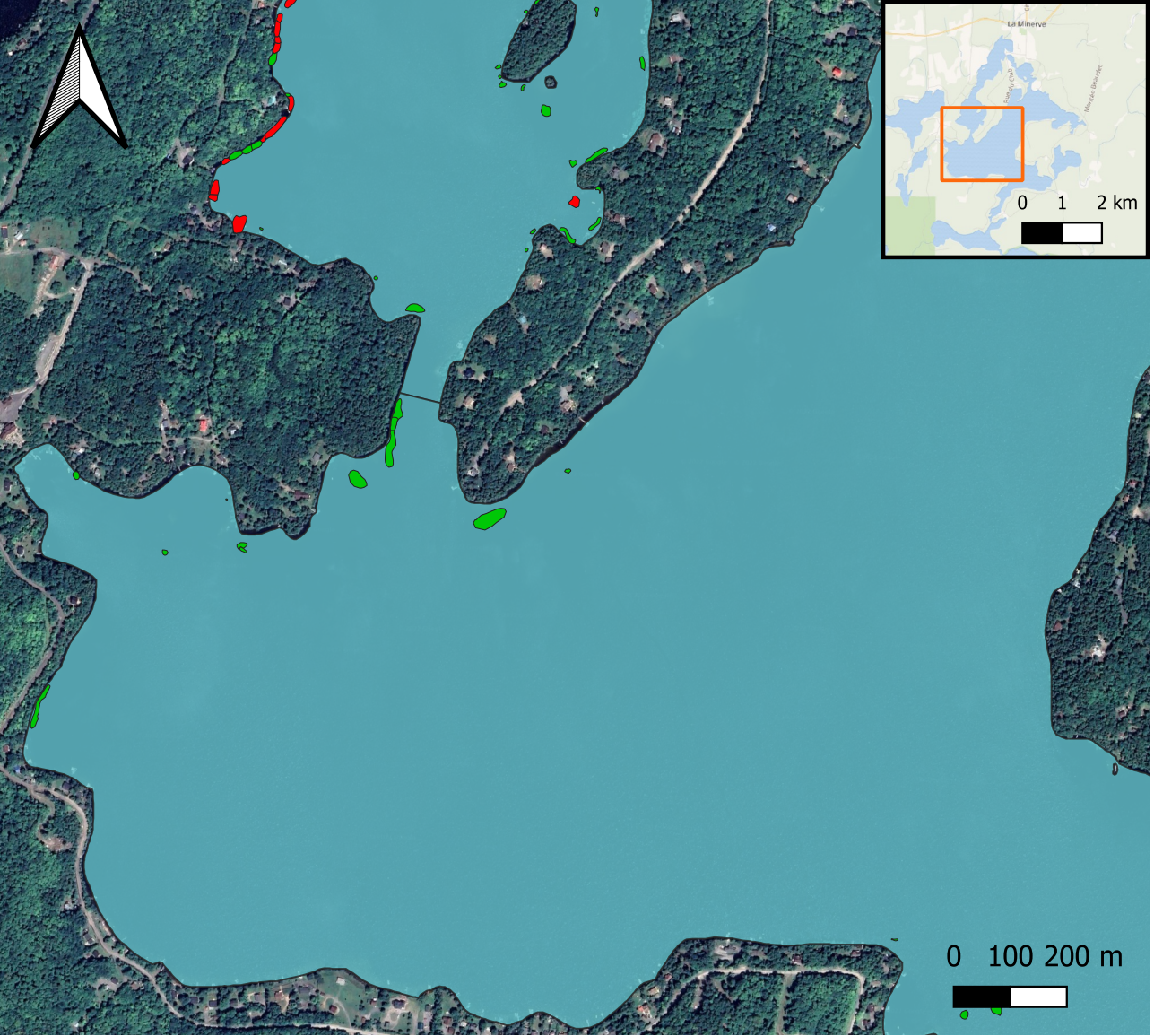
Lac Chapleau, La Minerve

Carte 7
Prévision du bâchage et de l'arrachage

Opération prévue
bâchage
Arrachage manuel

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 8
Prévision du bâchage et de l'arrachage

Opération prévue
bâchage
Arrachage manuel

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Lac Chapleau, La Minerve

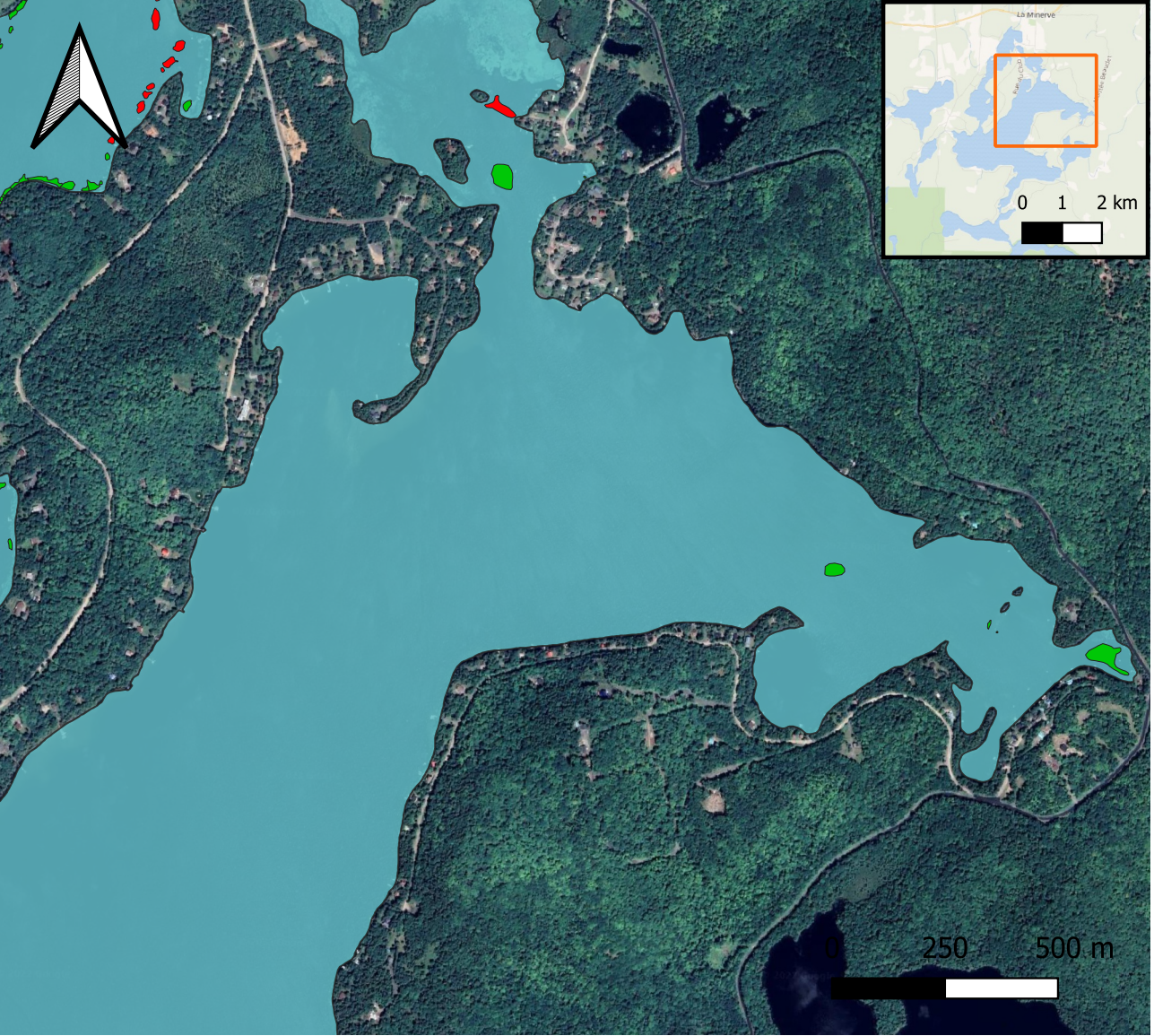
Carte 9
Prévision du bâchage et de l'arrachage

Opération prévue

Arrachage manuel

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 10
Prévision du bâchage et de l'arrachage

Opération prévue

bâchage

Arrachage manuel

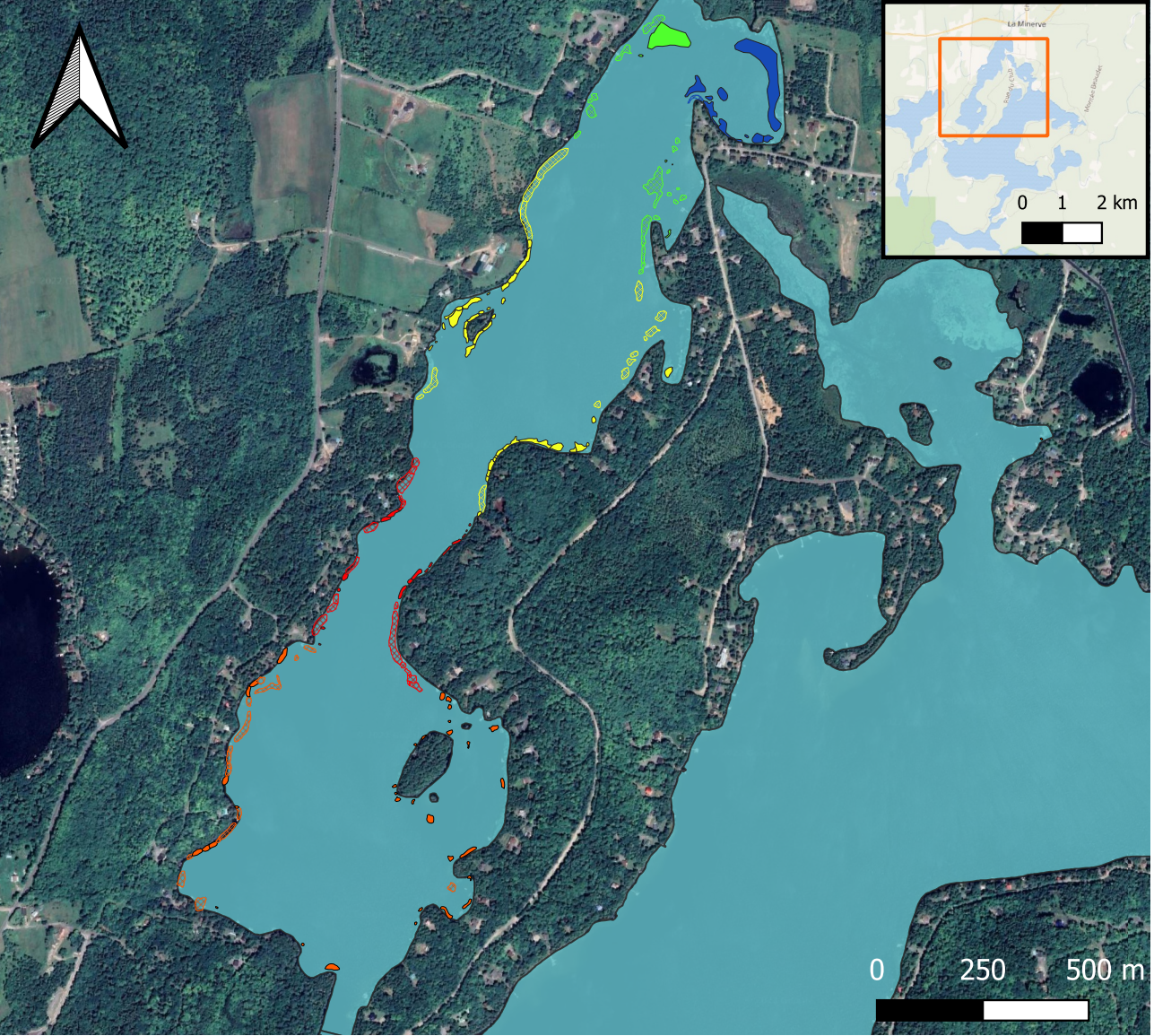
Produite par :
Marc-Antoine Thireau

04/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Annexe D

Carte des opérations prévues



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 11

lutte sur 5 ans

Lutte 2023

- Bâchage
- Arrachage

Lutte 2024

- Bâchage
- Arrachage

Lutte 2025

- Bâchage
- Arrachage

Lutte 2026

- Bâchage
- Arrachage

lutte 2027

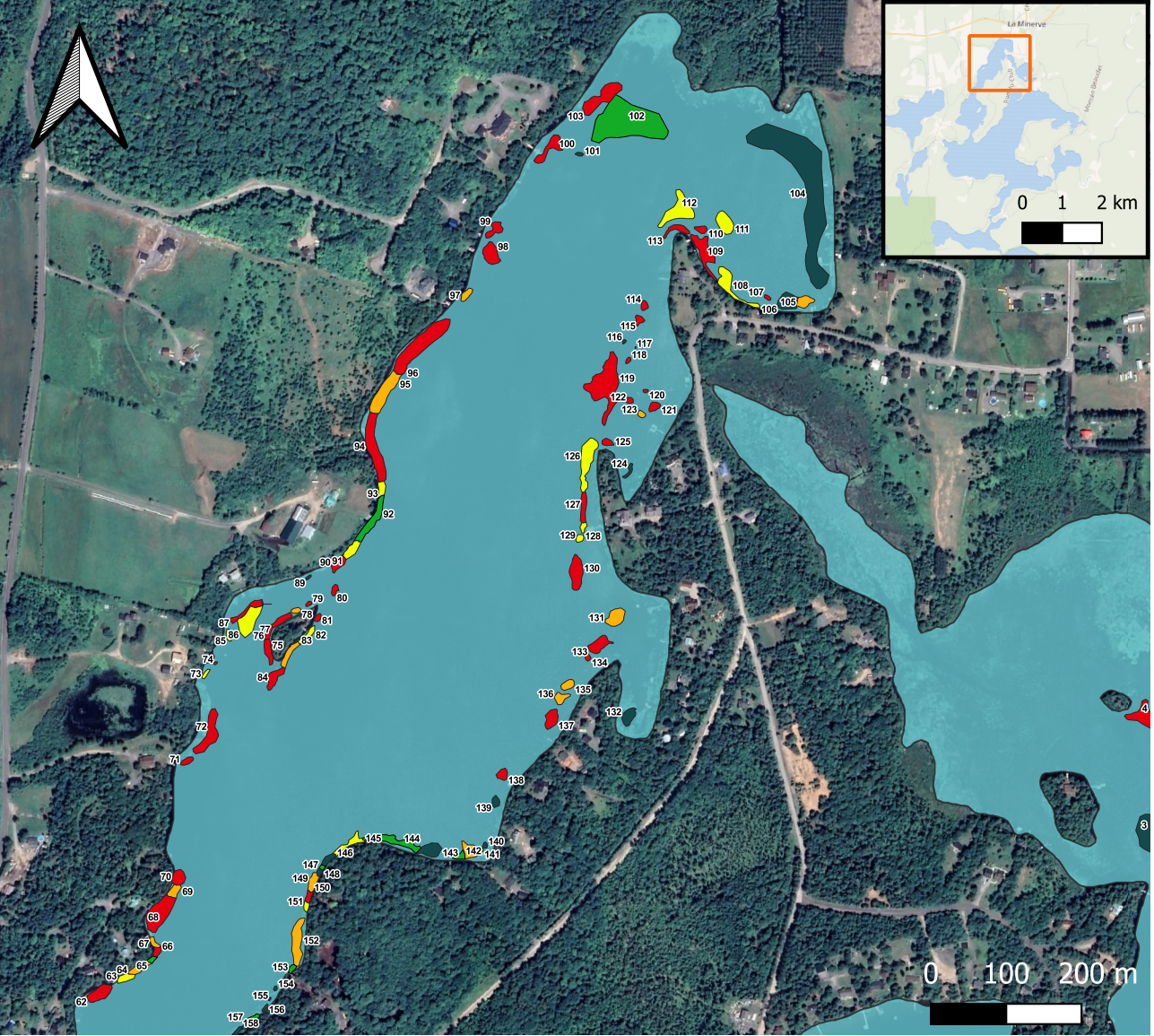
- Bâchage
- Arrachage

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Annexe E

Cartes de la localisation des herbiers (numérotés)



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 12
Localisation des herbiers (numérotés)

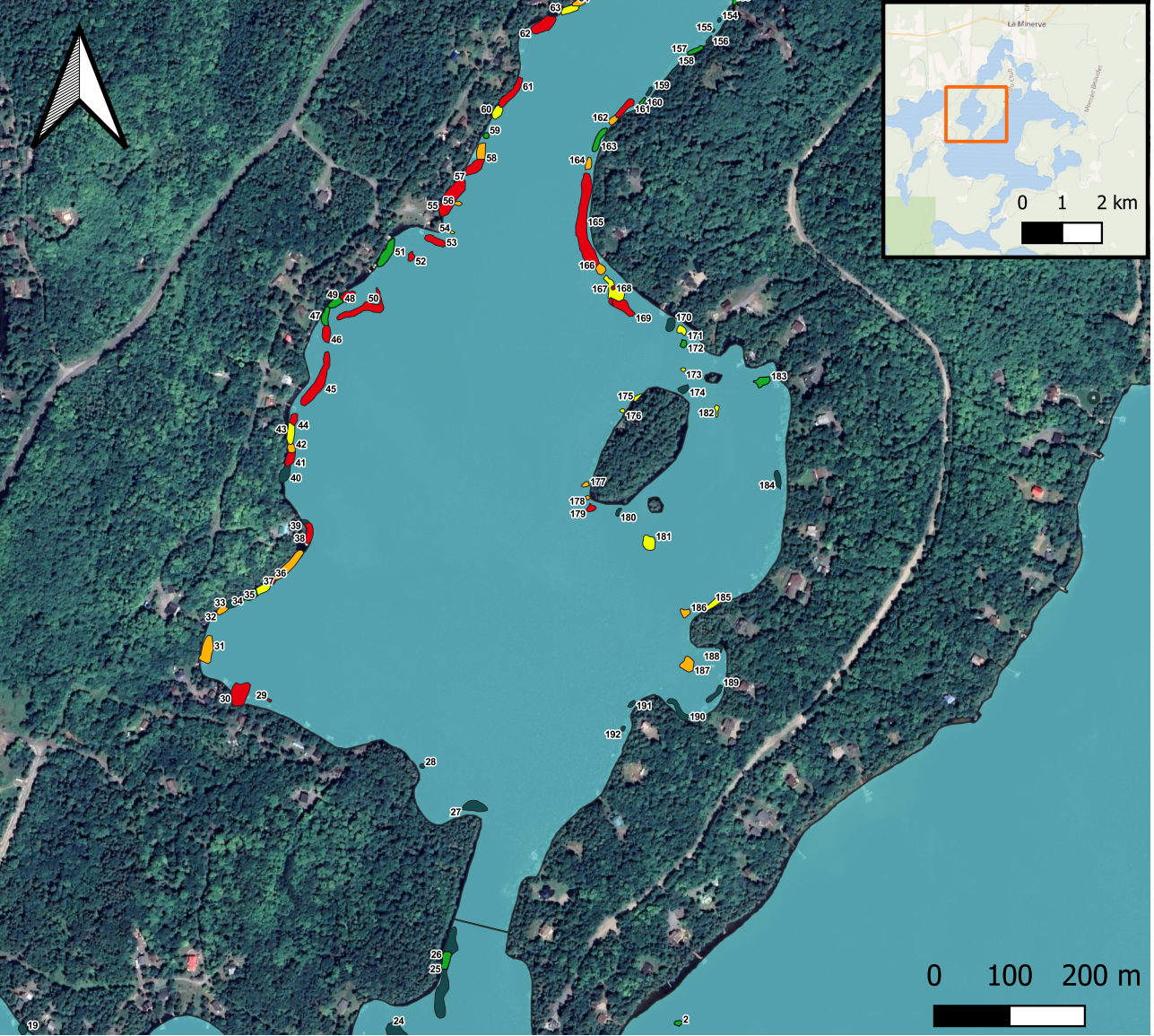
Myriophylle à épis

Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles



Lac Chapleau, La Minerve

Carte 13
Localisation des herbiers (numérotés)

Myriophylle à épis

Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau

16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Lac Chapleau, La Minerve

Carte 14
Localisation des herbiers
(numérotés)

Myriophylle à épis

Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Lac Chapleau, La Minerve

Carte 15
Localisation des herbiers
(numérotés)

Myriophylle à épis

Classe de densité :

- 0-10%
- 10-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-100%

Produite par :
Marc-Antoine Thireau
16/11/2022

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles