



ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉTABLISSEMENT DE LA MULETTE VERRUQUEUSE (*CYCLONAIAS TUBERCULATA*)



Crédit photo : MPO

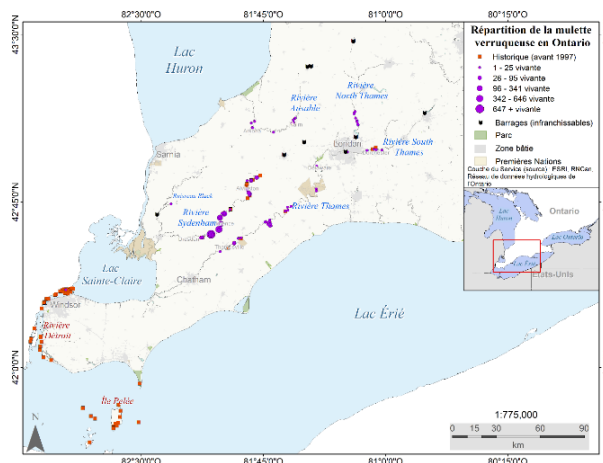


Figure 1. Répartition de la mulette verruqueuse au Canada. Les carrés rouges indiquent les données historiques (avant 1997) et les cercles violets indiquent les collectes récentes de données (1997-2022) sur les individus vivants.

Contexte :

La mulette verruqueuse (*Cyclonaias tuberculata*) est une moule d'eau douce de taille moyenne et à longue durée de vie que l'on trouve actuellement dans trois rivières du sud-ouest de l'Ontario. Elle a été évaluée comme menacée par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) en mai 2021 en raison d'une aire de répartition restreinte, de la perte de deux populations historiques et d'un déclin continu de la qualité de l'habitat lié à la pollution, au changement climatique, aux espèces aquatiques envahissantes et aux activités de dragage.

Un processus d'EPR mis au point par Pêches et Océans Canada (MPO) a été entrepris pour la mulette verruqueuse en 2022 à l'appui de la décision d'inscription sur la liste de la Loi sur les espèces en péril (LEP). Cette EPR résume l'information disponible jusqu'en 2022 sur la répartition, l'abondance, les tendances démographiques, les besoins en matière d'habitat, les menaces qui pèsent sur la mulette verruqueuse au Canada (et les mesures d'atténuation possibles), comprend une évaluation des dommages admissibles et détermine les objectifs de rétablissement appropriés. Ces informations peuvent être utilisées pour élaborer une stratégie de rétablissement et un plan d'action, et fournir les conseils scientifiques nécessaires pour répondre aux diverses exigences de la LEP, y compris les décisions liées à la délivrance de permis et d'autorisations.

Ce rapport d'avis scientifique est issu de la réunion régionale d'examen par les pairs du 25 au 27 octobre 2022 sur l'évaluation du potentiel de rétablissement de la mulette verruqueuse, qui s'est tenue virtuellement sur MS Teams. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, [sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO](#).

SOMMAIRE

- La moule verruqueuse est une moule d'eau douce (Unionidae) à longue durée de vie (âge maximum > 90 ans). L'âge de maturité est estimé à 6-10 ans et la durée de génération à 26 ans au Canada.
- L'aire de répartition actuelle de la moule verruqueuse au Canada se limite à trois rivières du sud-ouest de l'Ontario, dont la rivière Ausable (bassin versant du lac Huron) et les rivières Sydenham et Thames (bassin versant du lac Sainte-Claire). Les populations des rivières Sydenham et Thames affichent une croissance positive, tandis que celle de la rivière Ausable est probablement stable. Il a disparu de la rivière Detroit et du lac Érié autour de l'île Pelée.
- Au Canada, la moule verruqueuse occupe les rivières de taille moyenne à grande. L'occurrence est associée à une gamme de conditions d'habitat, y compris des types de substrat variables, la profondeur et la vitesse de l'eau.
- Les glochidies de la moule verruqueuse doivent s'enkyster sur les branchies d'un poisson hôte approprié pour survivre et se métamorphoser. Les poissons hôtes potentiels de la moule verruqueuse au Canada comprennent la barbotte noire et la barbotte jaune (*Ameiurus melas*, *A. natalis*), la barbotte de rivière (*Ictalurus punctatus*) et peut-être la barbotte à tête plate (*Pylodictis olivaris*). Ceci est fondé sur des infestations en laboratoire aux États-Unis (étant donné que des expériences d'infestation n'ont pas eu lieu avec la moule verruqueuse au Canada), et le chevauchement de la distribution des aires connues dans les eaux canadiennes.
- Pour atteindre une probabilité de persistance d'environ 99 % sur 250 ans, il faut environ 2 800 (IC : 1 900-4 000) moules verruqueuses adultes. Un minimum de 623,3 m² (IC : 251,9-1 396,9) et de 2 900 m² (intervalle crédible [IC] : 301,5-17 166,3) d'habitat approprié dans les rivières Sydenham et Thames, respectivement, est nécessaire pour soutenir une population minimale viable (PMV); il y a suffisamment d'habitats disponibles dans les deux rivières. La configuration spatiale des populations et de l'habitat est importante et n'a pas été prise en compte.
- Des projections de population ont été réalisées pour la zone d'échantillonnage par quadrats des rivières Sydenham, Thames et Ausable. L'abondance estimée dans les habitats échantillonnés dans la rivière Sydenham dépassait l'intervalle de confiance supérieur estimé de la PMV. Des taux de croissance positifs de la population ont été estimés dans les rivières Sydenham et Thames, et la distribution des tailles de la moule verruqueuse laisse entendre qu'un recrutement réussi a lieu dans les deux systèmes. Les populations de la rivière Ausable n'ont pas montré une croissance positive de leur population et restent à une faible densité. Les résultats sont considérés comme prudents, car les relevés par quadrat n'ont pas été réalisés dans tous les habitats occupés et une quantité importante d'habitats n'a pas été étudiée.
- Les populations de moules verruqueuses sont généralement les plus sensibles aux perturbations de la survie des adultes; cependant, elles deviennent plus sensibles aux perturbations de la survie des juvéniles lorsqu'elles connaissent une croissance importante de leur population. L'incertitude quant à l'âge de la maturité et à la proportion de la reproduction qui a lieu plus tard dans la vie (fertilité relative) affecte la sensibilité des populations aux perturbations de la survie des adultes et des juvéniles.

- Les moules Dreissenid sont à l'origine de la disparition de la moule verruqueuse de la rivière Detroit et du lac Érié autour de l'île Pelée. Les plus grandes menaces qui pèsent sur les populations existantes sont la pollution d'origine agricole et urbaine et le ruissellement des routes, les phénomènes météorologiques extrêmes associés au changement climatique, les espèces aquatiques envahissantes (moules dreissenidés et gobie à taches noires *Neogobius melanostomus*) et les travaux de construction et d'entretien des ponts et des ponceaux.
- Des lacunes importantes subsistent en ce qui concerne les taux vitaux, les relations entre les glochidies et les hôtes, les mécanismes de menace, l'ampleur de l'impact et les interactions. Les lacunes dans les connaissances qui entraînent des incertitudes quant à la façon dont la moule verruqueuse réagira aux menaces et aux mesures de rétablissement doivent être comblées par des recherches supplémentaires.

INTRODUCTION

En mai 2021, le COSEPAC a évalué le statut de la moule verruqueuse (*Cyclonaias tuberculata*) comme étant menacé (COSEPAC 2021). Cette désignation s'explique par le fait que l'espèce a une aire de répartition restreinte, qu'elle n'est connue que de trois rivières en Ontario (rivières Ausable, Sydenham et Thames) et qu'elle est considérée comme disparue de deux zones historiquement occupées (rivière Detroit et ouest du lac Érié). En outre, la qualité de l'habitat dans l'ensemble de son aire de répartition diminue en raison des sources de pollution agricoles et urbaines, des effets du changement climatique (sécheresses), des espèces aquatiques envahissantes (EAE) et des activités de dragage. La moule verruqueuse n'est pas inscrite actuellement à la LEP. Le MPO a élaboré le processus d'EPR afin de fournir l'information et les conseils scientifiques nécessaires pour éclairer les décisions d'inscription sur la liste et pour satisfaire aux exigences de la LEP, y compris l'élaboration de stratégies de rétablissement et de plans d'action, et les autorisations de mener des activités qui, autrement, violeraient la LEP. Le processus s'appuie sur les lignes directrices du MPO (2007) et sur des lignes directrices mises à jour (données inédites du MPO) qui évaluent 22 éléments du potentiel de rétablissement. Des informations complémentaires se trouvent dans Colm et Morris (2023) et Van der Lee et Koops (2023) et des informations supplémentaires dans van der Lee *et al.* (en préparation¹).

Biologie

La moule verruqueuse est une moule d'eau douce de taille moyenne à coquille épaisse, comprimée latéralement et modérément gonflée, de forme circulaire à subquadratique. Le périostacum est typiquement jaune à jaune-vert chez les juvéniles et peut aller du jaune-vert au brun rougeâtre chez les adultes. La nacre est violette et iridescente. La partie antérieure de la coquille est généralement lisse, tandis que la partie postérieure est couverte de nodules suivant les lignes de croissance qui s'étendent sur le bec, formant parfois des crêtes le long de l'aile dorsale. Les becs sont bas, la cavité du bec est profonde et la sculpture du bec présente de nombreuses crêtes ondulées (ou en zigzag) (Metcalf-Smith *et al.* 2005). On rapporte souvent que l'espèce atteint 130 mm de longueur, mais elle peut atteindre un maximum de 200 mm au

¹ van der Lee, A.S., Goguen, M.N., McNichols-O'Rourke, K.A., Morris, T.J., and Koops, M.A. En prép. Evaluating the status and biology of an imperilled freshwater mussel, Purple Wartback (*Cyclonaias tuberculata*), in Southern Ontario. En préparation.

Canada. Elle est dioïque, mais pas sexuellement dimorphe. Les glochidies de la moule verruqueuse sont relativement grandes, avec un bord lisse et arrondi et sans crochets.

La fraie a probablement lieu au début du printemps jusqu'à l'été, lorsque les températures atteignent environ 9 °C. Comme toutes les moules d'eau douce, les mâles libèrent le sperme par leur siphon excurrent, qui est filtré par les branchies des femelles situées en aval. Une fois filtrés par la femelle, les spermatozoïdes pénètrent dans la partie postérieure de la branchie (chambres suprabranchiales) où les ovules matures sont stockés puis fécondés, et les embryons se développent dans l'ensemble externe de branchies (marsupia). La moule verruqueuse est un éleveur à court terme (tachytique), ce qui signifie que les œufs sont fécondés et les glochidies libérées au cours de la même saison de ponte. Les femelles couvent probablement des glochidies jusqu'à la fin juillet, qui sont libérées (ou exposées) pendant environ un mois à la fin de l'été et au début de l'automne, lorsque la température de l'eau varie entre 19 et 27 °C. Le nombre d'œufs produits par les femelles n'est pas connu, mais on peut l'estimer à environ 170 000 d'après la longueur de la coquille (Haag 2012, Van der Lee et Koops 2023).

Les glochidies ont besoin d'une période d'enkystement sur un poisson hôte où elles se nourrissent de fluides corporels et subissent une métamorphose pour achever leur développement. On présume que les glochidies de l'Ontario utilisent les plus gros membres de la famille des poissons-chats nord-américains (Ictaluridae), notamment les barbottes noires et jaunes (*Ameiurus melas*, *A. natalis*), la barbotte de rivière (*Ictalurus punctatus*) et peut-être la barbotte à tête plate (*Pylodictis olivaris*) d'après des études d'infestation en laboratoire des États-Unis (Hove *et al.* 1994, 1997). Les femelles peuvent utiliser deux techniques d'attraction de l'hôte, la présentation du manteau et les agglomérats amorphes; cependant, les femelles semblent utiliser l'une ou l'autre au cours d'une saison de ponte donnée (Sietman *et al.* 2012). La présentation du manteau consiste en des glochidies lâches présentes sur le bord du manteau en forme de stomate (tissu gonflé autour du siphon excurrent). Les agglomérats forment des brins lâches et gélatineux de mucus avec des glochidies incorporées. Ils sont généralement de couleur pâle et peuvent ressembler à des tissus d'animaux morts, ce qui attire probablement leurs hôtes omnivores qui se nourrissent d'invertébrés benthiques. Des preuves récentes provenant de la rivière Sydenham laissent entendre que les glochidies de la moule verruqueuse sont plus abondantes à l'aube et au crépuscule, ce qui porte à croire que le moment de la libération correspond généralement bien aux périodes d'activité des hôtes nocturnes (présomés) du poisson-chat (Smodis 2022). On a rapporté que la période d'enkystement des glochidies de la moule verruqueuse durait de 17 à 38 jours, mais le moment peut dépendre de la température de l'eau et de l'espèce d'hôte (Hove *et al.* 1994, 1997). La dispersion du poisson hôte permet également le déplacement en amont des moules et l'échange génétique entre les sous-populations. Après la période d'enkystement, les moules juvéniles se détachent du poisson hôte et s'enfouissent dans les sédiments où elles restent pendant plusieurs années (probablement > 6 ans pour la tortue violette) pour se développer. Une fois matures, les moules adultes remontent à la surface des sédiments et restent relativement sédentaires.

La moule verruqueuse est une espèce longévive. Les données récentes sur le vieillissement laissent entendre qu'elle peut vivre jusqu'à plus de 90 ans. Le temps de génération des populations canadiennes a été estimé à 26 ans, et la maturité peut être atteinte à l'âge de 6-8 (estimé à 7,2) ans, ou < 53,1 mm de longueur (Van der Lee *et al.* en préparation¹, Jirka et Neves 1992). D'après les relevés par quadrat effectués de 1997 à 2021, la longueur moyenne de la coquille de la tortue luth détectée dans la rivière Ausable était de 60,3 mm, de 80,4 mm dans la rivière Sydenham et de 59,8 mm dans la rivière Thames (Van der Lee *et al.* en

préparation¹). Les données de longueur-fréquence laissent entendre que la fraie a eu lieu récemment dans les trois rivières. Le plus grand spécimen canadien mesurait 198,9 mm de longueur, observé dans la rivière Sydenham, et le plus vieil individu était âgé de 92 ans (Van der Lee *et al.* en préparation¹). Les glochidies prélevées sur des femelles gravides dans les rivières Ausable, Sydenham et Thames avaient une longueur de coquille moyenne de 0,264 mm ($\pm 0,005$ mm), une hauteur de coquille moyenne de 0,325 mm ($\pm 0,009$ mm) et une longueur de charnière moyenne de 0,124 mm ($\pm 0,005$ mm) (Tremblay *et al.* 2015).

Les moules unionidés adultes sont des suspensivores, consommant généralement des débris organiques, des algues et des bactéries de la colonne d'eau et des sédiments. Les juvéniles, qui restent enfouis dans les sédiments pendant les premières années de leur vie, se nourrissent de matières organiques disponibles par l'eau interstitielle des pores. Les moules larvaires (glochidies) se nourrissent des tissus du poisson hôte lorsqu'elles sont enkystées. Il n'existe pas de données spécifiques sur le régime alimentaire de la moule verruqueuse.

ÉVALUATION

Abondance

Il n'y a pas d'estimations fiables de l'abondance pour toutes les populations de moules verruqueuses au Canada. Pour comprendre grossièrement la taille relative de la population, le COSEPAC (2021) a calculé les captures par unité d'effort (CPUE; d'après les relevés par recherche chronométrée) et la densité moyenne (estimée d'après les relevés par quadrats)² pour chaque rivière; de plus, la longueur des tronçons occupés dans chaque rivière est estimée d'après la longueur des segments de cours d'eau continus d'Ontario Hydro Network ayant des enregistrements de l'occurrence (Mandrak *et al.* 2014) (Tableau 1). Les estimations d'abondance propres au site ont été générées à l'aide de données de relevés par quadrat provenant du réseau de surveillance Unionid Monitoring and Biodiversity Observation (UMBO) du MPO pour les rivières Sydenham et Thames (Van der Lee *et al.* en préparation¹), et pour la rivière Ausable selon les méthodes de Van der Lee *et al.* (en préparation¹). Un modèle bayésien hiérarchique a été utilisé pour projeter l'estimation de la densité propre au site sur l'ensemble de l'habitat étudié. Les projections ont été faites pour 2022 dans la rivière Ausable, 2015 dans la rivière Sydenham, et 2017 pour la rivière Thames; ces années représentent l'année la plus récente d'échantillonnage dans chaque rivière. On a ainsi obtenu des estimations de l'abondance de 294 (IC à 95 % : 207-409) moule verruqueuse dans la rivière Ausable, de 10 504 (IC à 95 % : 9 563-11 505) dans la rivière Sydenham et de 872 (IC à 95 % : 696-1 091) dans la rivière Thames, couvrant environ 2 490 m², 3 600 m², 3 000 m², respectivement, dans chaque rivière. Les taux de croissance de la population ont également été estimés à partir de ce modèle en utilisant les données des quadrats de 2006 à 2022 dans la rivière Ausable, de 1999 à 2015 dans la rivière Sydenham et de 2004 à 2017 dans la rivière Thames. Les populations de ces deux dernières rivières ont augmenté en taille depuis le début du relevé, alors qu'aucune tendance significative n'a été détectée dans la rivière Ausable (Tableau 1).

² L'abondance de la population a été aussi grossièrement estimée par COSEPAC 2021 en extrapolant les densités moyennes à l'échelle du site dans l'ensemble de la distribution connue de chaque rivière. Les estimations de la population probablement surestiment l'abondance réelle de la population, car l'échantillonnage a été conçu pour évaluer les tendances au fil du temps et non pour estimer l'abondance de la population, de sorte qu'elles ne sont pas incluses ici.

Tableau 1. Captures actuelles par unité d'effort (CPUE; individus/personne-heure) provenant de relevés à recherche chronométrée, et densité moyenne provenant de relevés par quadrat pour la moule verruqueuse au Canada; adapté du COSEPAC (2021). Une estimation de l'habitat occupé est fournie en fonction des segments continus et occupés du réseau d'Ontario Hydro Network. Estimations de la densité médiane et du taux de croissance de la population (y compris les IC à 95 %) provenant de Van der Lee et al. (en préparation¹) pour les rivières Sydenham et Thames, et calculées pour la rivière Ausable selon les méthodes de Van der Lee et al. (en préparation¹).

Localité	CPUE (ind./HP ± ET)	Densité moyenne (vivantes/m² ± ET)	Longueur approximative de la rivière occupée (km)	Densité médiane (vivantes/m²) (IC à 95 %)	Taux de croissance de la population (IC à 95 %)
Rivière Ausable	0,61 (± 0,17)	0,09 (± 0,03)	62,2 km	0,031 (IC : 0,002-0,25)	1,016 (IC : 0,985- 1,049)
Rivière Sydenham	6,63 (± 2,38)	2,52 (± 0,76)	85,9 km	1,82 (IC : 0,94-3,87)	1,047 (IC : 1,037- 1,058)
Rivière Thames	1,53 (± 0,27)	0,26 (± 0,12)	136,0 km (inférieur) 23,6 km (Sud) 9,6 km (Nord)	0,12 (IC : 0,03-0,42)	1,157 (IC : 1,10-1,221)

Répartition et situation actuelle

À l'échelle mondiale, on connaît la moule verruqueuse dans les bassins versants du fleuve Mississippi et des Grands Lacs inférieurs. On la trouve dans la province de l'Ontario au Canada et dans 20 États des États-Unis. Au Canada, l'aire de répartition actuelle et historique de la moule verruqueuse se limite à cinq plans d'eau dans le sud-ouest de l'Ontario (Figure 1). Les emplacements existants comprennent la rivière Ausable dans le bassin versant du lac Huron, et les rivières Sydenham et Thames (y compris la rivière Thames Nord, la rivière Thames Sud et le cours inférieur de la rivière Thames) dans le bassin versant du lac Sainte-Claire. On pense que la moule verruqueuse a disparu de la rivière Détroit et du lac Érié autour de l'île Pelée. Depuis sa découverte au Canada, environ 7 000 individus vivants ont été observés à partir de plus de 200 rapports sur les échantillons.

Rivière Ausable

La présence de l'espèce dans la rivière Ausable est une découverte relativement récente, probablement le résultat d'un effort de recherche accru. L'espèce a été signalée pour la première fois en 1998 lorsque quatre individus vivants et deux coquilles fraîches (une entière, une valve) ont été détectés au cours d'un relevé de recherche programmée. L'espèce a ensuite été détectée au cours de relevés de recherche programmée et par quadrat en 2002 (n=2), 2004 (1 coquille altérée), 2006 (n=38), 2007 (n=2), 2008 (n=14 + 1 coquille altérée), 2011 (n=26), 2012 (n=25), 2013 (n=35), 2014 (n=3), 2015 (n=2), 2016 (n=10), 2018 (n=13), 2019 (n=27) et 2022 (n=15). On pensait auparavant que la répartition des animaux vivants dans la rivière Ausable était constituée de deux tronçons de rivière distincts, l'un à Nairn et l'autre à Arkona; cependant, une détection en 2019 entre ces tronçons suggère que la moule verruqueuse pourrait occuper un tronçon plus long, d'environ 62,2 km.

Rivière Sydenham

La présence de l'espèce a été documentée pour la première fois dans la rivière East Sydenham en 1963 (n=5), ce qui représente les premiers individus vivants de l'espèce signalés au Canada. Des individus vivants ont été régulièrement détectés depuis cette époque, avec des enregistrements en 1965 (n=3 + 25 coquilles fraîches), 1967 (n=10), 1971 (n=17), 1973 (n=14 + 8 coquilles fraîches), 1985 (n=1), 1991 (n=21), 1997 (n=241 + 53 coquilles fraîches et 1 valve fraîche), 1998 (n=40 + 3 coquilles fraîches), 1999 (n=44), 2001 (n=95), 2002 (n=704), 2003 (n=392), 2008 (n=110), 2010 (n=25), 2012 (n=2 886), 2013 (n=981), 2014 (n=153), 2015 (n=424), 2017 (n=217), 2018 (n=29), 2019 (n=11), 2020 (n=268), 2021 (n=265), et 2022 (n=680) représentant les relevés de recherche programmée et par quadrat. L'aire de répartition de l'espèce dans la rivière East Sydenham est un tronçon d'environ 85,9 km (presque continu) allant de Napier à l'aval de Dresden.

En 2013, une seule personne vivante a été observée accidentellement dans le ruisseau Black, un affluent de la rivière North Sydenham (COSEPAC 2021). On ne sait pas si elle représente une population.

Rivière Thames

On a trouvé des preuves de la présence de l'espèce dans le cours inférieur de la rivière Thames en 1935 (quatre coquilles fraîches) et en 1965 (une coquille fraîche), mais le premier individu vivant n'a été détecté qu'en 1985. Des observations supplémentaires de l'espèce ont été rapportées lors de relevés de recherche programmée et de relevés par quadrat en 1986 (n=1), 1994 (une valve fraîche), 1997 (n=30 + 11 coquilles et valves fraîches, 23 coquilles et valves altérées), 2004 (n=9), 2005 (n=65 + 1 coquille fraîche), 2010 (n=7), 2012 (n=39), 2013 (n=37 + 1 coquille altérée), 2015 (n=24 + 1 coquille altérée), 2016 (n=125), 2017 (n=1), 2018 (n=3), 2021 (n=28 + 1 coquille altérée), et 2022 (n=10 + 1 coquille altérée et 1 valve altérée). Dans le cours inférieur de la rivière Thames, l'espèce est répandue du Delaware jusqu'en aval de Thamesville (pont de Kent), ce qui représente un total d'environ 136 km. Compte tenu de la continuité de l'habitat convenable et du nombre limité de relevés effectués plus en aval, l'aire de répartition pourrait se poursuivre jusqu'à l'embouchure de la rivière sur 46,9 km supplémentaires; les relevés par époussette effectués par le ministère des Richesses naturelles et des Forêts (MRNF) en 2022 entre le pont Kent et le confluent du ruisseau Jeannette n'ont pas permis de détecter l'espèce.

Dans le bassin versant supérieur de la rivière Thames, une coquille fraîche a été observée pour la première fois dans la rivière South Thames à Dorchester en 1936. Seuls quatre relevés ont été effectués dans le bassin versant supérieur de la rivière Thames jusqu'en 1997, lorsque les premiers individus vivants (n=2) ont été trouvés près de l'observation historique de coquilles de Dorchester lors d'un relevé de recherche programmée. Des individus vivants ont été observés dans la rivière South Thames lors des relevés par quadrat en 2004 (n=3), 2017 (n=8) et 2018 (n=5). L'aire de répartition de l'espèce dans la rivière South Thames s'étend de Dorchester jusqu'à la ville de Londres (en amont du barrage Hunt et de la fourche), soit environ 21,4 km. Dans la rivière Thames Nord, des individus vivants ont été observés en 2004 (n=9), en 2008 (n=20), en 2015 (n=6), en 2018 (n=7), en 2021 (n=14) et en 2022 (n=72) au cours de relevés de recherche programmée et par quadrat. Les observations dans la rivière North Thames ont lieu sur un tronçon de 7 km allant de Plover Mills à l'amont immédiat du lac Fanshawe.

Rivière Détroit

Le plus ancien signalement connu de la moule verruqueuse au Canada provient de la rivière Détroit en 1934, et les premiers individus vivants ont été observés dans ce système en 1982

(n=5 + 4 valves fraîches). Un total de 32 individus vivants a été capturé dans les années 80 et 90, avec 38 valves fraîches et 22 valves altérées supplémentaires collectées au cours de cette période. Il n'avait pas été détecté dans la rivière Detroit depuis 1998, date à laquelle un individu vivant avait été observé pour la dernière fois. On pense que l'invasion des moules dreissenidés (*Dreissena polymorpha* et *D. rostriformis*) a conduit à sa disparition. En 2019, 72 coquilles altérées ont été signalées dans la rivière Détroit, mais aucun individu vivant n'a été prélevé et l'espèce est considérée comme disparue de ce système (Keretz *et al.* 2021, COSEPAC 2021).

Lac Érié

La moule verruqueuse était historiquement connue de l'île Pelée et des îles environnantes (île East Sister, récif Little Chicken, île Hen) et du parc national de la Pointe-Pelée. Elle y a été signalée pour la première fois en 1960 (20 coquilles fraîches, 19 coquilles altérées, une valve). Des individus vivants ont été signalés en 1969 (n=2), 1970 (n=3), et 1982 (n=1), et 236 autres coquilles fraîches ont été observées de 1961 à 1990. Un individu vivant a été observé pour la dernière fois dans le lac Érié en 1982, et les preuves les plus récentes de l'existence de l'espèce à cet endroit sont cinq valves altérées recueillies en 2005. On considère que l'espèce est disparue de cet endroit (COSEPAC 2021).

Évaluation de la population

Pour évaluer l'état de la population, les populations ont été classées en fonction de l'abondance (indice d'abondance relative; disparue du pays, faible, moyenne, élevée ou inconnue) et de la trajectoire (trajectoire de la population; croissante, décroissante, stable ou inconnue). L'indice d'abondance relative prend en compte les estimations de la densité médiane ainsi que les estimations grossières de la longueur de rivière occupée, et la trajectoire de la population est basée sur les estimations du taux de croissance de la population (Tableau 1). Les populations ont été évaluées par rapport à la rivière Sydenham, la population la plus importante et la mieux étudiée au Canada. Une valeur de certitude a été attribuée en fonction du type de renseignements utilisés pour évaluer la population (1 = analyse quantitative, 2 = capture par unité d'effort, 3 = opinion d'expert). L'indice d'abondance relative et la trajectoire de la population ont été combinés pour produire un état de la population (Tableau 2). Voir Colm et Morris (2023) pour connaître les méthodes détaillées.

Tableau 2. État de toutes les populations de moules verruqueuses au Canada, d'après une analyse de l'indice de l'abondance relative et de la trajectoire de la population. La certitude associée à l'état de chaque population reflète le niveau de certitude le moins élevé associé à l'un ou l'autre des paramètres initiaux (indice de l'abondance relative ou trajectoire de la population)

Population	État de la population	Certitude
Rivière Ausable	Médiocre	1
Rivière Sydenham	Bon	1
Rivière Thames	Passable	1

Besoins en matière d'habitat

La moule verruqueuse habite les rivières de taille moyenne à grande et parfois les habitats lacustres plus profonds. On la trouve généralement dans les zones où les courants sont modérés à rapides, mais elle tolère les courants lents. On la trouve à l'interface substrat-eau à une large gamme de profondeurs allant jusqu'à 6,0 m, et généralement sur des substrats plus grossiers de gravier, de sable et de galets, et occasionnellement de limon ou de rochers. Les

moules adultes se trouvent souvent dans des endroits de la rivière qui ont des substrats stables sous les débits de pointe, mais qui restent mouillés pendant les faibles débits, et cela peut également être lié à l'hydrodynamique où les moules juvéniles se déposent. Les informations sur l'habitat des juvéniles sont limitées; on pense que les juvéniles occupent des habitats similaires à ceux des adultes, mais enfouis dans les sédiments. Les glochidies ont besoin d'un poisson hôte, vraisemblablement un poisson-chat ictaluridé (barbotte noire et jaune, barbue de rivière, barbue à tête plate), qui occupe une gamme d'habitats dans l'ensemble du bassin des Grands Lacs et se trouve dans toute l'aire de répartition de la moule verruqueuse (à l'exception de la barbue à tête plate connue uniquement dans le cours inférieur de la rivière Thames).

La résidence, dans le contexte de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), est considérée comme un lieu d'habitation occupé par l'organisme pendant l'ensemble ou une partie de son cycle de vie. La moule verruqueuse ne construit pas de résidence au cours de son cycle de vie.

Il existe plusieurs barrières physiques situées dans les rivières Ausable, Sydenham et Thames, qui pourraient empêcher la dispersion de la moule verruqueuse et de ses poissons hôtes ou l'accès à de nouveaux habitats. Plus particulièrement, le barrage Fanshawe est complètement infranchissable pour les poissons et isole effectivement la sous-population de la rivière North Thames du reste de la rivière Thames. Le barrage de Hunt sur le cours inférieur de la rivière South Thames pourrait également être impraticable. D'autres barrages importants existent dans les trois bassins versants, mais pas dans la zone de répartition connue de la moule verruqueuse. Il existe plusieurs centaines de barrages et de structures de barrage plus petits situés dans les bassins versants de l'aire de répartition de la moule verruqueuse, mais on ignore dans quelle mesure ces petites structures empêchent les déplacements des animaux aquatiques. De plus, les moules dreissenidés continuent d'empêcher la recolonisation des Grands Lacs et des voies interlacustres par la moule verruqueuse, ce qui représente une contrainte entre les zones occupées.

Fonctions, caractéristiques et propriétés

Une description des fonctions, des caractéristiques et des paramètres associés à l'habitat de la moule verruqueuse se trouve dans le Tableau 3. L'habitat nécessaire à chacun des stades biologiques de l'espèce s'est vu attribuer une fonction du stade biologique qui correspond à un besoin biologique de la moule verruqueuse. En plus de la fonction correspondant à un besoin biologique, une caractéristique de l'habitat a été attribuée à chaque stade biologique. Une caractéristique est considérée comme un élément structurel de l'habitat qui est nécessaire à la survie de l'espèce. Le tableau décrit également les paramètres de l'habitat; il s'agit de composantes mesurables décrivant la façon dont les caractéristiques de l'habitat soutiennent la fonction de chacun des stades biologiques.

Tableau 3. Résumé des fonctions, des caractéristiques et des paramètres essentiels pour chaque stade biologique de la muette verruqueuse au Canada. Les attributs de l'habitat provenant de la documentation publiée et ceux enregistrés au cours des récents événements d'échantillonnage (données non publiées de la base de données sur les unionidés des Grands Lacs inférieurs, Quider 2021) peuvent être utilisés pour soutenir les délimitations de l'habitat essentiel.

Stade biologique	Fonction	Caractéristique	Attribut		Habitat essentiel
			Documentation scientifique	Connaissances récentes	
Fraie et fertilisation (du printemps au début de l'été)	Reproduction	Bords de petites et grandes rivières	Substrat de galets, de gravier, de petits blocs; profondeur de l'eau de 0,4 à 1,2 m; température de l'eau ≥ 9 °C (Jirka et Neves 1992).	-	Bords de rivières moyennes à grandes avec un courant modéré à rapide et des substrats de sable, de gravier et de galets.
Stade de glochidie enkystée (de la fin de l'été à l'automne)	Alimentation Couvert Zone d'alevinage	Idem que ci-dessus avec présence de poissons hôtes (poissons hôtes présumés : barbottes noire et jaune, barbue de rivière, peut-être barbue à tête plate).	Barbotte noire et barbotte jaune : cours d'eau à faible gradient, baies d'eau chaude peu profondes des lacs et des zones humides; Barbue de rivière et barbue à tête plate : cours d'eau de taille moyenne à grande ou zones plus profondes des lacs avec une végétation abondante et une couverture du cours d'eau (p. ex. débris ligneux grossiers) (Scott et Crossman 1998, Holm <i>et al.</i> 2009).	Chimie de l'eau : conductivité moyenne = 558,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (plage : 5,49-863 $\mu\text{s}/\text{cm}$); oxygène dissous moyen = 9,07 mg/L (5,68-20 mg/L); pH moyen = 8,32 (7,19-9,12); Paramètres physiques : profondeur moyenne = 2,07 m (0,26-9,60 m); vitesse moyenne de l'eau = 0,02 m/s (0-0,26 m/s); largeur moyenne du cours d'eau = 93 m (11-233 m); couverture moyenne de débris ligneux grossiers = 13 % (0-60 %); Composition moyenne du substrat : 39 % (0-95 %) d'argile, 36 % (0-80 %) de limon, 13 % (0-80 %) de matière organique, 9 % (0-100 %) de sable. (base de données sur la biodiversité des poissons , à partir des rivières Ausable, Sydenham, et Thames où l'on trouve des poissons hôtes)	Comme précédemment Présence d'un nombre suffisant de poissons hôtes

Stade biologique	Fonction	Caractéristique	Attribut		Habitat essentiel
			Documentation scientifique	Connaissances récentes	
Juvenile (de l'âge 0 à l'âge 7 environ ou 55 mm)	Alimentation Couvert Zone d'alevinage	Bords de rivières de petite à grande taille présentant une combinaison de substrats mous et durs adaptés à l'enfouissement	-	Vitesse moyenne de l'eau de 0,373 m/sec (plage : 0,00-2,05 m/s); Profondeur moyenne de 0,250 m (0,04-0,78 m); Composition moyenne du substrat de 33 % (0-85 %) de gravier, 25 % (0-75 %) de sable, 25 % (0-70 %) de galets, 10 % (0-80 %) de rochers et 5 % (0-40 %) de limon. (données non publiées de la base de données sur les unionidés des Grands Lacs inférieurs)	Comme précédemment
Adulte (> 7 ans ou 55 mm)	Alimentation Couvert	Bords de petites et grandes rivières	Substrat variable de sable, de gravier, de galets, de petits rochers, parfois de limon; débit presque nul à rapide; (Jirka et Neves 1992, Haggerty <i>et al.</i> 1995); profondeurs de 0,6 à 6,0 m (Parmalee et Bogan 1998, COSEPAC 2021).	Vitesse moyenne de l'eau 0,376 m/s (plage : 0,00-2,63 m/s); Profondeur moyenne de l'eau 0,249 m (0,04-0,78 m); Composition moyenne du substrat : 32 % (0-90 %) de gravier, 26 % (0-80 %) de sable, 24 % (0-70 %) de galets, 10 % (0-80 %) de blocs rocheux et 6 % (0-60 %) de limon. (données non publiées de la base de données sur les unionidés des Grands Lacs inférieurs)	Comme précédemment

Menaces

Diverses menaces peuvent nuire à la survie et au rétablissement de la mulette verruqueuse au Canada. La pollution d'origine agricole et urbaine, les répercussions du changement climatique (p. ex. les sécheresses), les interactions biotiques des EAE et le dragage sont considérés comme les plus grandes menaces pour cette espèce (COSEPAC 2021). La connaissance des répercussions des menaces sur les populations de mulettes verruqueuses est limitée, car il existe peu d'informations sur les causes et les effets propres aux menaces dans la documentation. Bien que la mulette verruqueuse soit dépendante des poissons hôtes pour compléter son cycle de vie, l'évaluation de la menace ne prend pas en compte les menaces sur les hôtes.

Pollution

En tant que filtreurs sédentaires, les moules d'eau douce sont généralement vulnérables aux effets de la pollution, tant dans la colonne d'eau que dans les sédiments. Les glochidies et les moules juvéniles sont les plus sensibles aux effets des contaminants, tandis que les adultes sont mieux à même de résister à des expositions aiguës grâce à un comportement d'évitement (fermeture des valves/renflement). Les premiers stades de la vie sont les plus sensibles à la pollution; cependant, les polluants qui ont une incidence sur les adultes sont plus susceptibles d'entraîner des déclinés au niveau de la population (Van der Lee et Koops 2023). L'utilisation des terres agricoles est intensive dans les trois bassins versants occupés par la mulette verruqueuse. L'envasement et la sédimentation des cours d'eau sont un résultat majeur des pratiques d'utilisation des terres agricoles (y compris les activités d'entretien des drains en amont) qui peuvent entraîner d'importantes charges de sédiments en suspension, qui peuvent obstruer les siphons et les branchies incourants, interrompant l'alimentation, la respiration, la croissance et la reproduction; ou bien les sédiments peuvent se déposer sur des substrats plus grossiers ou sur des animaux vivants. La charge en nutriments provenant du ruissellement agricole peut avoir un effet négatif sur les moules et les poissons hôtes en augmentant la productivité primaire, en particulier la croissance des algues, ce qui peut entraîner une réduction de l'oxygène dissous, affectant la respiration. Les engrais et autres composés azotés peuvent entraîner une augmentation des niveaux d'ammoniac et de potassium, et les moules d'eau douce au stade précoce sont parmi les taxons les plus sensibles à ces contaminants. Les pesticides appliqués dans les champs agricoles ou occasionnellement dans ou près de l'eau pour lutter contre les espèces envahissantes (par exemple, le glyphosate pour *Phragmites australis australis* ou les lampricides pour lutter contre la lamproie marine [*Petromyzon marinus*]) peuvent également être toxiques pour les moules d'eau douce selon la concentration d'exposition, ou avoir des effets génotoxiques.

Bien que la majorité de l'utilisation des terres entourant les bassins hydrographiques des rivières Ausable, Sydenham et Thames soit agricole, le développement urbain peut également avoir un effet négatif sur la mulette verruqueuse. Les sels de voirie appliqués pour le déglacage hivernal constituent une préoccupation majeure, car le chlorure est l'une des substances les plus toxiques pour les unionidés, en particulier au stade glochidien (Gillis 2011, Pandolfo *et al.* 2012, Todd et Kaltenacker 2012). D'autres contaminants associés aux routes (p. ex. les hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAP] et les métaux lourds) sont susceptibles de nuire à l'alimentation, au comportement, à la reproduction et à la croissance, mais peuvent aussi avoir des effets toxiques et mutagènes sur les moules d'eau douce. On trouve dans les bassins versants des rivières Ausable, Sydenham et Thames de nombreuses stations d'épuration des eaux usées ou des eaux d'égout qui pourraient avoir un effet négatif sur la mulette verruqueuse. Les effluents d'eaux usées municipales contiennent souvent des niveaux élevés de nitrites et d'ammoniac, ainsi que des produits pharmaceutiques et des produits de

soins personnels, qui peuvent avoir des effets toxiques ou des effets de perturbation endocrinienne, selon la concentration (Gagné *et al.* 2004, Gagné *et al.* 2011, Tetreault *et al.* 2011, Gillis *et al.* 2017). En outre, les contaminants présents dans les eaux de ruissellement urbaines (p. ex. les métaux lourds) peuvent interagir avec ceux présents dans les effluents d'eaux usées, entraînant une réduction de la condition physique et de la longévité des moules trouvées en aval de ces apports (Gillis 2012, Gillis 2014). Des microplastiques provenant de sources urbaines et industrielles apparaissent également dans les eaux de surface et les sédiments autour du bassin des Grands Lacs (Driedger *et al.* 2015, Dean *et al.* 2018) et ont été documentés dans des lasmigones cannelées (*Lasmigona costata*) dans la rivière Grand (Wardlaw et Prosser 2020), mais des recherches supplémentaires sur les répercussions sur la fonction biologique sont nécessaires.

Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents

Les unionidés sont généralement considérés comme vulnérables aux répercussions du changement climatique, car ils dépendent de poissons hôtes pour accomplir leur cycle de vie et ont une capacité limitée à se disperser dans de nouveaux habitats si les conditions deviennent défavorables (Brinker *et al.* 2018). Le changement climatique peut avoir des effets indirects sur les moules et leur habitat, notamment une augmentation des charges de nutriments et de turbidité, une modification des régimes d'écoulement et de la vitesse de l'eau, une augmentation de la prévalence des maladies et des changements dans la répartition des hôtes, des concurrents et/ou des prédateurs, mais l'ampleur et la direction de ces changements sont difficiles à prévoir (Lemmen et Warren 2004, COSEPAC 2021). L'impact le plus important du changement climatique pour la moule verruqueuse devrait être une réduction de la quantité et de la qualité de l'habitat en raison de l'augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses. Van der Lee et Koops (2023) notent que la probabilité d'extinction augmente avec les décès à grande échelle qui pourraient être associés à des conditions de sécheresse. Les sécheresses entraîneront une perte d'espace d'habitat, un risque accru de dessiccation, un risque accru de prédation par les prédateurs terrestres et aviaires, et des effets dépendant de la densité tels qu'une réduction de l'approvisionnement en nourriture en raison de la concurrence, un risque accru de transfert de maladies en raison de la promiscuité, et une réduction de l'oxygène dissous en raison de la consommation. On s'attend également à ce que les vagues de chaleur augmentent en fréquence et en intensité, et l'augmentation du stress thermique peut réduire la capacité de tampon thermique lors d'expositions répétées (Seuront *et al.* 2019). La tolérance thermique létale de la moule verruqueuse n'est pas connue, mais les plages rapportées pour d'autres moules d'eau douce englobent 33,2-40,8 °C (Pandolfo *et al.* 2010, Martin 2016). On a signalé que les limites thermiques supérieures des hôtes présumés de la moule verruqueuse se situent entre 33,5 et 37,5 °C (Scott et Crossman 1998). Les crues extrêmes peuvent également avoir un effet négatif sur la moule verruqueuse et son habitat en poussant les moules vers des habitats moins idéaux et en affouillant les lits des cours d'eau.

Espèces et gènes envahissants ou problématiques

L'invasion des moules dreissenidés (moule zébrée et moule quagga) dans le bassin des Grands Lacs a entraîné la quasi-éradication des moules unionidés indigènes dans les lacs, les voies interlacustres et les tronçons inférieurs des tributaires au milieu des années 1990, et est la cause probable de la disparition de la moule verruqueuse de la rivière Détroit et du lac Érié autour de l'île Pelée. Les moules dreissenidés sont généralement peu abondantes dans les habitats fluviaux, car elles ont de faibles capacités d'attachement dans des conditions d'écoulement. Ainsi, les populations de moules verruqueuses des rivières Ausable, Sydenham et Thames sont probablement exposées à un risque d'impact relativement faible. Cependant, des moules zébrées ont été détectées dans les tronçons inférieurs de la rivière Sydenham

(sous la répartition de la mulette verruqueuse), dans le lac Fanshawe sur la rivière Thames Nord, et de Forks à Thamesville sur la rivière Thames inférieure, y compris attachées à des unionidés vivants (Morris et Edwards 2007).

Le gobie à taches noires est un petit poisson benthique originaire de la mer Ponto-Caspienne qui occupe maintenant une grande partie de l'aire de répartition de la mulette verruqueuse dans les rivières Ausable, Sydenham et Thames. (Poos *et al.* 2010). Le gobie à taches noires peut se nourrir des moules juvéniles, entrer en compétition avec les poissons hôtes ou en être la proie, ou encore constituer un piège pour les glochidies en offrant un faible taux de réussite de métamorphose (Poos *et al.* 2010, Tremblay *et al.* 2016). L'incidence du gobie à taches noires sur la mulette verruqueuse n'est pas clair.

Autres menaces à considérer

Les projets de construction ou d'entretien de ponts et de ponceaux peuvent avoir des effets locaux directs et indirects, notamment : mortalité, augmentation de la turbidité, modification du substrat et du régime d'écoulement, érosion des berges, modification des ressources nutritives et alimentaires et perte de connectivité pour les poissons hôtes. Bien que les effets locaux puissent être graves, les impacts au niveau des populations sont peu probables, et l'impact global de cette menace est donc considéré comme négligeable. Si ces activités augmentent en fréquence, se produisent sans relocalisation, ou si la planification du projet ne tient pas compte des parcelles à haute densité de moules, cette menace doit être reconsidérée.

L'utilisation de véhicules récréatifs (p. ex. VTT) dans les cours d'eau peut avoir des répercussions sur les zones riveraines environnantes en raison du compactage du sol, de la détérioration de la végétation et du transport d'espèces envahissantes, ainsi que sur la qualité de l'eau (en raison de l'augmentation de la pollution et de la turbidité), la composition du lit du cours d'eau et la mortalité des animaux aquatiques. Compte tenu de la zone d'impact localisée et des coquilles robustes et épaisses des espèces, il est peu probable que ces activités aient des effets au niveau des populations. On pense que cette menace a un impact négligeable sur la mulette verruqueuse pour le moment, mais elle devrait être reconsidérée si les activités augmentent en fréquence ou en intensité.

Enfin, les zones habitées par la mulette verruqueuse sont probablement soumises à de multiples menaces simultanées, qui peuvent interagir de manière complexe et dépendante du contexte. Les recherches sur les effets des menaces multiples se multiplient et ont mis en évidence que des impacts cumulatifs sont probables lorsque des conditions telles que l'augmentation de la température, la sédimentation, des débits extrêmement élevés ou faibles et des contaminants multiples (tels que l'ammoniac, le chlorure, le cuivre et le potassium) sont combinés (Salerno *et al.* 2020, Beermann *et al.* 2021, Luck et Ackerman 2021). Toutes ces conditions sont probables avec le changement climatique et le développement croissant dans le sud de l'Ontario.

Évaluation des menaces

Une évaluation des menaces a été réalisée pour la mulette verruqueuse conformément aux lignes directrices fournies par le MPO (2014). Compte tenu de la longue durée de génération de la mulette verruqueuse (26 ans), l'évaluation de la menace a été effectuée sur une période de dix ans. Chaque menace a été classée en fonction de sa probabilité de réalisation, du niveau des répercussions et de la certitude causale. La probabilité de réalisation et le niveau des répercussions pour chaque population ont ensuite été combinés dans la matrice des risques de menaces, permettant d'obtenir une évaluation du risque de menace à l'échelle de la population. Les termes utilisés pour décrire les catégories de menace sont indiqués au Tableau 4. Les

menaces ont ensuite été regroupées pour créer une évaluation des menaces au niveau de l'espèce présentées dans le Tableau 5. Voir Colm et Morris (2023) pour connaître les méthodes détaillées.

Tableau 4. Définitions et termes utilisés pour décrire la probabilité de réalisation, le niveau des répercussions, la certitude causale au niveau de la population, la fréquence de la menace au niveau de la population et l'étendue de la menace au niveau de la population; selon les données du MPO (2014).

Terme	Définition
Probabilité d'occurrence (PO)	
Connu ou très susceptible de se concrétiser (C)	Cette menace a été observée dans 91 % à 100 % des cas.
Probable (P)	Il y a de 51 % à 90 % de risques que cette menace survienne actuellement ou éventuellement.
Peu probable (PP)	Il y a de 11 à 50 % de chance que cette menace se réalise, maintenant ou à l'avenir.
Très faible (TF)	Il y a au plus de 1 à 10 % de risques que cette menace survienne actuellement ou éventuellement.
Inconnu (I)	Il n'y a pas de données ni de connaissances préalables sur la réalisation de cette menace, maintenant ou à l'avenir.
Niveau d'incidence (NI)	
Extrême (Ex)	Déclin important de la population (p. ex. 71 à 100 %) et possibilité de disparition.
Élevé (E)	Perte de population importante (de 31 à 70 %) ou menace <u>compromettant</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Moyen (M)	Perte modérée de population (de 11 à 30 %) ou menace <u>susceptible de compromettre</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Faible (F)	Peu de changements dans la population (de 1 à 10 %) ou menace <u>peu susceptible de compromettre</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Inconnu (I)	Aucune connaissance, documentation ou donnée antérieure pour orienter l'évaluation de la gravité de la menace pour la population.
Certitude causale (CC)	
Très élevée (1)	Des preuves irréfutables indiquent que la menace va se produire et que l'ampleur des effets sur la population peut être quantifiée.
Élevée (2)	Preuves solides établissant un lien de cause à effet entre la menace et le déclin de la population ou la mise en péril de la survie ou du rétablissement.
Moyenne (3)	Certaines preuves établissant un lien de cause à effet entre la menace et le déclin de la population ou la mise en péril de la survie ou du rétablissement.
Faible (4)	Il existe un lien théorique avec des données probantes limitées indiquant que la menace mène à un déclin des effectifs ou à un danger pour leur survie ou leur rétablissement.
Très faible (5)	Lien plausible sans aucune preuve entre la menace et le déclin de la population ou la mise en péril de la survie ou du rétablissement.
Occurrence de la menace à l'échelle de la population (OMP)	
Historique (H)	Une menace dont on sait qu'elle a été présente par le passé et qu'elle a eu une incidence négative sur la population.
Actuelle (A)	Une menace qui existe actuellement et qui a une incidence négative sur la population.
Prévue (P)	Une menace dont on anticipe la concrétisation à l'avenir et qui aura une incidence négative sur la population.

Terme	Définition
Fréquence de la menace à l'échelle de la population (FMP)	
Unique (U)	La menace se réalise une fois.
Récurrente (R)	La menace se réalise périodiquement ou à répétition.
Continue (C)	La menace se réalise sans interruption.
Ampleur de la menace à l'échelle de la population (AMP)	
À vaste échelle (V)	De 71 à 100 % de la population sont touchés par la menace.
Importante (Imp)	De 31 à 70 % de la population est touchée par la menace.
Étroite (E)	De 11 à 30 % de la population sont touchés par la menace.
Limitée (L)	De 1 à 10 % de la population sont touchés par la menace.

Tableau 5. Évaluation des menaces à l'échelle de l'espèce pour toutes les populations de mulette verruqueuse, fondée sur une synthèse de l'évaluation des menaces au niveau de la population. L'évaluation de la menace au niveau de l'espèce retient le niveau de risque le plus élevé pour toute population. Le chiffre entre parenthèses représente le niveau de certitude causale le plus élevé associé à l'impact de la menace (1 = très élevé; 2 = élevé; 3 = moyen; 4 = faible; 5 = très faible). Toutes les catégories de fréquence de la menace (H = historique; A = actuelle; P = prévue) et de fréquence de la menace (U = unique; R = récurrente; C = continue) sont retenues, et l'étendue de la menace au niveau de l'espèce (E = à vaste échelle; I = importante; E = étroite; L = limitée) est le mode de l'étendue de la menace au niveau de la population.

Catégorie de menaces de l'IUCN	Sous-catégorie	Détails	Menace à l'échelle de l'espèce (certitude)	Occurrence de la menace à l'échelle de l'espèce	Fréquence de la menace à l'échelle de l'espèce	Ampleur de la menace à l'échelle de l'espèce
Pollution	Effluents agricoles et forestiers	Sédimentation (ruissellement des champs, entretien des drains en amont)	Faible (5)	H, A, P	C	I
		Chargement de nutriments (+ ammoniac)	Faible (5)	H, A, P	C	I
		Pesticides (+ Bayluscide granulaire)	Faible (5)	H, A, P	C	I
	Eaux usées domestiques et urbaines (y compris le ruissellement urbain)	Chargement de nutriments (+ ammoniac)	Faible (5)	H, A, P	C	I
		Produits pharmaceutiques et composés œstrogéniques	Faible (5)	H, A, P	C	I
		Chlore	Faible (5)	H, A, P	R	I
		Métaux lourds	Faible (5)	H, A, P	C	I
Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents	-	Sécheresses et vagues de chaleur fréquentes et graves	Faible (5)	A/P	R	I
Espèces et gènes envahissants ou problématiques	-	Moules dreissenidés, Gobie à taches noires	Faible (5)	H, A, P	C	N

Modélisation du rétablissement

Les données de surveillance à long terme recueillies dans les rivières Sydenham et Thames par le biais du réseau UMBO du MPO ont été utilisées pour modéliser les estimations propres à la population de la trajectoire et de la densité de la population, de la croissance et du taux de survie (Van der Lee *et al.*, en préparation¹). Des méthodes similaires ont été utilisées pour estimer la trajectoire et la densité des populations de la rivière Ausable. La modélisation du potentiel de rétablissement a été réalisée en trois étapes principales. Tout d'abord, les informations sur les taux vitaux ont été compilées pour construire des matrices de projection qui intègrent l'incertitude des paramètres, la stochasticité environnementale et la densité-dépendance agissant sur la première année de vie (spécifiquement, après le détachement du poisson hôte). Ensuite, l'effet des dommages anthropiques sur les populations a ensuite été quantifié au moyen d'analyses de l'élasticité et par simulation. Enfin, des estimations des objectifs de rétablissement pour l'abondance et l'habitat ont été réalisées en fonction de l'estimation de la population minimale viable (PMV) et de la superficie minimale pour la viabilité de la population (SMVP). Étant donné que de nombreuses incertitudes subsistent quant à l'histoire de la vie de l'espèce, des fourchettes de valeurs de paramètres plausibles ont été incluses dans les modèles pour en tenir compte; les estimations des dommages et les objectifs de rétablissement peuvent être peaufinés au fur et à mesure que des recherches supplémentaires sont menées sur l'espèce pour combler les lacunes dans les connaissances. Se référer à Van der Lee et Koops (2023) pour les méthodes complètes, et des analyses complémentaires se trouvent dans le document de Van der Lee *et al.* (en préparation¹).

Dommmages acceptables

L'impact des dommages sur les populations de mulettes verruqueuses a été analysé à l'aide d'une analyse déterministe de l'élasticité des taux vitaux spécifiques à chaque stade de la vie sur le taux de croissance de la population, et par l'utilisation de simulations de population. Cette combinaison de méthodes a permis d'évaluer les répercussions des changements des taux vitaux sur le taux de croissance d'une population dans des situations de changements permanents (élasticité) et de dommages transitoires/périodiques (simulations).

Dans la plupart des cas, la croissance de la population de mulettes verruqueuses était la plus sensible aux changements du taux de survie des adultes, mais le taux de survie des juvéniles avait ensuite la plus grande influence sur le taux de croissance de la population, et dépassait celui de la survie des adultes lorsque les populations connaissaient une croissance significative ($\lambda > \sim 1,2$). Les perturbations de la fertilité (englobant à la fois la production d'œufs et la survie de la première année) ont généralement eu une incidence relativement faible sur la croissance de la population. La fécondité des adultes âgés a eu une faible incidence, inférieure à celle de la fécondité des jeunes adultes. Les élasticités du taux vital ont été influencées par des caractéristiques incertaines de l'histoire de vie, en particulier la croissance de la population, l'âge de la maturité et la fécondité relative (la contribution relative de la reproduction entre les adultes plus âgés et les adultes plus jeunes). L'élasticité de la survie des adultes augmente généralement avec la fécondité relative; le stade adulte devient plus important si une plus grande proportion de la reproduction a lieu plus tard dans la vie (c'est-à-dire après l'âge de 35 ans), tandis que la survie juvénile devient plus importante quand la maturité a lieu à des âges plus jeunes.

La quantité maximale de dommages permettant de maintenir des populations stables ou en croissance (c'est-à-dire un taux de croissance de la population égal ou supérieur à 1,0) a été estimée pour les systèmes fluviaux des rivières Sydenham et Tamise selon leurs états actuels.

Comme les taux de croissance de la population diffèrent entre ces deux populations, les estimations des dommages admissibles diffèrent également. Dans la rivière Sydenham, l'atteinte à la survie des adultes aurait la plus grande incidence (une atteinte entraînant une réduction de 6,4 % de la survie des adultes permettrait tout de même d'avoir une population stable), tandis que dans la rivière Thames, où le taux de croissance de la population est beaucoup plus élevé, les réductions de la survie des juvéniles sont les plus importantes pour la croissance de la population (une atteinte entraînant une diminution de 20,0 % de la survie des juvéniles permettrait tout de même d'avoir une population stable). Dans les deux systèmes, les dommages appliqués à la survie des juvéniles et des adultes auraient la plus grande incidence (Tableau 6). Aucun des deux systèmes n'était particulièrement sensible aux atteintes à la fertilité (c'est-à-dire aux interruptions de la reproduction ou aux atteintes aux glochidies/moules d'âge 0 après la mise en place). En raison de l'incertitude de certains paramètres du cycle biologique et des estimations de la croissance de la population, il est prudent de considérer les intervalles de confiance inférieurs (Tableau 6) comme la représentation du dommage maximal admissible.

Tout comme les analyses d'élasticité, les simulations utilisées pour déterminer les répercussions des dommages périodiques ont révélé que les dommages appliqués au stade adulte ou à tous les stades avaient une incidence significative sur l'abondance. De petites quantités de mortalité avaient une incidence importante sur la taille de la population. Des taux de mortalité annuels de seulement 1 à 2 % appliqués au stade adulte ont entraîné une réduction de 25 % de la taille de la population. Si les dommages sont appliqués tous les deux ans, tous les cinq ans ou tous les dix ans, les mortalités deviennent respectivement de ~3 %, ~7 % et ~15 %. Les effets des dommages étaient plus faibles, mais toujours significatifs si seules les moules juvéniles étaient touchées. Comme pour l'analyse d'élasticité, les populations de moule verruqueuse n'ont pas été aussi touchées par les atteintes à la fertilité, en particulier si les atteintes sont peu fréquentes.

Les populations de la rivière Ausable sont de faible densité et stables. En tant que tel, il n'y a que peu ou pas de possibilités de nuisance, car toute perturbation augmente les chances de disparition.

Tableau 6. Estimations des dommages maximaux admissibles pour les populations de moules verruqueuses de la rivière Sydenham et de la rivière Thames. Les valeurs représentent la diminution maximale en pourcentage des taux vitaux qui permettra à la population de maintenir un taux de croissance démographique ≥ 1 . Les estimations des dommages admissibles sont basées sur les taux de croissance de la population estimés pour chaque rivière (Van der Lee et al. en préparation¹); rivière Sydenham : 1,03-1,07, rivière Thames : 1,07-1,27.

Indice vital	Médiane	ICI	ICS
Rivière Sydenham			
Survie des juvéniles	9,9	6,1	16,1
Survie des adultes	6,2	3,7	10,0
Survie des jeunes et des adultes	3,8	2,5	5,5
Fertilité	65,4	49,3	84,6
Rivière Thames			
Survie des juvéniles	19,4	11,0	31,3
Survie des adultes	24,5	9,2	48,2
Survie des jeunes et des adultes	10,9	5,4	17,6
Fertilité	> 100	80,7	> 100

Objectifs de rétablissement

Abondance (population minimale viable)

Le concept de la viabilité démographique a été utilisé pour déterminer les cibles potentielles minimales de rétablissement de la moule verruqueuse. La durabilité démographique est liée au concept de PMV; elle a été définie comme étant la taille minimale de la population d'adultes qui donne lieu à la probabilité souhaitée de persistance sur 250 ans (environ 10 générations pour la moule verruqueuse). La PMV a été estimée à l'aide d'une analyse de simulation intégrant l'incertitude des paramètres, la stochasticité environnementale et la dépendance à la densité. L'estimation médiane de la PMV était de ~1 400 (IC : 950-2 000) femelles adultes, selon une probabilité d'extinction de 1 %. Si l'on suppose un rapport de masculinité de 1:1, la PMV incluant toutes les moules verruqueuses adultes était de ~2 800 (IC : 1 900-4 000).

Habitat (superficie minimale pour une population viable)

La superficie minimale pour la viabilité de la population (SMVP) représente la quantité d'habitat nécessaire pour soutenir une population dont la taille correspond à la taille de la population minimale viable. La SMVP est estimée en divisant l'estimation de la PMV par la densité. Des estimations de densité étaient disponibles pour les populations de moules verruqueuses dans les rivières Sydenham et Thames à partir d'un modèle hiérarchique bayésien ajusté aux données d'enquêtes par quadrat (Van der Lee *et al.* en préparation¹); cependant, ces estimations, prises avec la croissance positive de la population pour les deux rivières, suggèrent qu'aucune des deux populations n'est à la capacité de charge, et produiraient donc une surestimation de la quantité d'habitat nécessaire pour soutenir une population de la taille de la PMV. Le modèle matriciel de population a été utilisé pour fournir une estimation de la densité qui donnerait une taille stable à la population, selon la densité actuelle et le taux de croissance de la population. La densité attendue de femelles adultes dans la rivière Sydenham qui a donné un taux de croissance stable de la population ($\lambda=1,0$) était de 2,21 moules·m⁻² (IC : 1,14-5,04) et pour la rivière Thames était de 0,48 moules·m⁻² (IC : 0,08-4,47). Cela correspond à des estimations de la SMVP de 623,3 m² (IC : 251,9-1 396,9) et de 2 900 m² (IC : 301,5-17 166,3) pour les rivières Sydenham et Thames respectivement. La quantité d'habitat disponible pour la moule verruqueuse dans les deux systèmes dépasse ces estimations; cependant, l'estimation de la SMVP n'indique que la quantité d'habitat nécessaire pour abriter une population de taille de la PMV et ne tient pas compte d'autres considérations telles que l'habitat d'élevage ou la configuration spatiale des populations.

Délai du rétablissement

Le temps de rétablissement a été estimé pour la population de la rivière Thames comme étant le temps nécessaire à la population actuelle pour atteindre la taille de la PMV pour un taux de catastrophe donné. La capacité de charge de l'habitat disponible de la rivière Thames a été résolue à l'aide de la matrice de projection de la population, compte tenu des estimations de la taille et de la trajectoire actuelles de la population (Van der Lee *et al.* en préparation¹). Le temps médian de rétablissement était de 20 ans (IC : 10-240). La population de la rivière Sydenham dépasse la PMV estimée (après prise en compte des juvéniles) et n'a donc pas été incluse.

Mesures d'atténuation et solutions de rechange

Les menaces pesant sur la survie et le rétablissement de l'espèce peuvent être réduites par la mise en œuvre de mesures d'atténuation visant à réduire ou à éliminer les effets néfastes potentiels résultant des travaux, entreprises ou activités (T/E/A) associés aux projets dans l'habitat de l'espèce. De novembre 2013 à janvier 2022, une variété de T/E/aA ont eu lieu dans

l'habitat de la moule verruqueuse, notamment : la construction et l'entretien de ponts et de ponceaux, la stabilisation des berges des cours d'eau, le dragage, la construction de quais/d'abris à bateaux, la canalisation par forage directionnel, la modification des canaux et la gestion des eaux pluviales. Une étude a été réalisée pour résumer les types de projets qui ont été entrepris dans l'habitat connu pour être actuellement occupé par la moule verruqueuse (voir Colm et Morris 2023 pour plus de détails). Au total, 25 projets ont été déterminés, dont 23 dans le bassin versant de la rivière Thames. Aucun projet n'a été autorisé en vertu de la *Loi sur les pêches*, car la plupart des projets ont été jugés à faible risque pour les poissons et leur habitat (y compris les moules) et ont fait l'objet de lettres d'avis avec des mesures d'atténuation standard et des mesures d'évitement. En l'absence de mesures d'atténuation appropriées, les projets ou les activités se déroulant à proximité ou à côté de ces zones pourraient avoir eu des répercussions sur la moule verruqueuse (p. ex. par une turbidité accrue, la sédimentation, la mortalité directe ou d'autres répercussions physiologiques). Le type de projet le plus fréquent était la construction ou l'entretien de ponts et de ponceaux. En supposant que les futures pressions exercées par l'aménagement seront similaires aux pressions antérieures, il est à prévoir que des types de projets similaires continueront, dans les années à venir, d'être réalisés dans l'habitat de la moule verruqueuse ou à proximité.

De nombreuses menaces qui pèsent sur les populations de moules verruqueuses au Canada sont liées à la perte ou à la dégradation d'habitats (Tableau 7). Le Programme de protection du poisson et de son habitat (PPPH) du MPO a élaboré des directives sur les mesures d'atténuation pour 18 voies d'effets afin de protéger les espèces aquatiques en péril dans la région de l'Ontario et des Prairies (qui faisait autrefois partie de la région du Centre et de l'Arctique) (Coker *et al.* 2010). Il faut consulter ces documents pour examiner les stratégies d'atténuation et les solutions de rechange relatives aux menaces pesant sur l'habitat. En outre, le MPO a élaboré des codes de pratique pour les types de projets courants dans l'eau et autour de l'eau, notamment pour les [ponts à portée libre](#) et [l'entretien des ponceaux](#), qui doivent être consultés lorsque ces activités se déroulent dans l'habitat de la moule verruqueuse. De même, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario dispose d'un certain nombre de [pratiques de gestion optimales](#) pertinentes pour la réduction de la sédimentation, des charges de nutriments et d'autres sources de pollution agricole autour des milieux aquatiques. Les conseils élaborés pour déplacer les moules pendant les travaux dans les cours d'eau et pour atténuer les menaces non liées à l'habitat sont résumés ci-dessous.

**Évaluation du potentiel de rétablissement
(EPR) de la mulette verruqueuse**

Région de l'Ontario et des Prairies

Tableau 7. Résumé des ouvrages, entreprises et activités réalisés durant la période s'échelonnant entre novembre 2013 et janvier 2022 dans des zones que l'on sait occupées par la mulette verruqueuse. Les menaces connues pour être associées à ces types d'ouvrages, d'entreprises et d'activités sont cochées. Le nombre d'ouvrages, d'entreprises et d'activités associés à chaque population de mulettes verruqueuses, tel que déterminé par l'analyse réalisée dans le cadre de l'évaluation du projet, est présenté ci-dessous. La séquence des effets applicable a été précisée pour chaque menace associée à un ouvrage, une entreprise ou une activité : 1 – élimination de la végétation; 2 – nivellement; 3 – excavation; 4 – utilisation d'explosifs; 5 – utilisation d'équipement industriel; 6 – nettoyage et entretien de ponts ou d'autres structures; 7 – reforestation des berges; 8 – pâturage du bétail sur les berges des cours d'eau; 9 – levés sismiques marins; 10 – mise en place de matériaux ou de structures dans l'eau; 11 – dragage; 12 – extraction d'eau; 13 – gestion des débris organiques; 14 – gestion des eaux usées; 15 – ajout ou enlèvement de végétation aquatique; 16 – changement dans les périodes, la durée et la fréquence du débit; 17 – problèmes associés au passage des poissons; 18 – enlèvement de structures. *Les contaminants et les substances toxiques proviennent des pesticides agricoles, des eaux usées domestiques et urbaines et du ruissellement.

Ouvrage, entreprise ou activité	Menaces (associées aux ouvrages, entreprises ou activités)			Cours d'eau/masse d'eau (nombre de travaux/entreprises/activités entre novembre 2013 et janvier 2022)		
	Pollution : sédimentation	Pollution : charges en éléments nutritifs	Pollution : contaminants et substances toxiques*	Rivière Ausable	Rivière Sydenham	Rivière Thames
Séquence des effets applicable pour l'atténuation des menaces et solutions de rechange au projet	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18	1, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18			
Franchissements de cours d'eau (ponts, ponceaux, tuyauterie)	✓	-	✓	0	2	9
Travaux sur les rives et les berges (digues, stabilisation des berges, remplissage, création de plages, gestion de la végétation riveraine)	✓	✓	✓	0	0	5
Structures de barrage/barrière dans l'eau (entretien, modifications, réaménagements hydroélectriques)	✓	-	✓	0	0	4
Travaux dans les cours d'eau (entretien des drains, enlèvement de la végétation aquatique, dragage, modifications/réorientation des canaux)	✓	✓	✓	0	0	1
Gestion de l'eau (gestion des eaux de ruissellement, prélèvement d'eau)	✓	✓	✓	0	0	0

Ouvrage, entreprise ou activité	Menaces (associées aux ouvrages, entreprises ou activités)			Cours d'eau/masse d'eau (nombre de travaux/entreprises/activités entre novembre 2013 et janvier 2022)		
	Pollution : sédimentation	Pollution : charges en éléments nutritifs	Pollution : contaminants et substances toxiques*	Rivière Ausable	Rivière Sydenham	Rivière Thames
Séquence des effets applicable pour l'atténuation des menaces et solutions de rechange au projet	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18	1, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18			
Structures dans l'eau (rampes de mise à l'eau, quais/hangars à bateaux, émissaires d'évacuation, prises d'eau)	✓	✓	✓	0	0	4

Protocole de relocalisation des moules

Mackie *et al.* (2008) fournissent des conseils sur la réalisation d'études visant à détecter la présence de moules d'espèces en péril (EP), sur la relocalisation des moules dans le cadre des T/E/A et sur la réalisation d'une surveillance après la relocalisation. Ce guide est destiné aux projets prévus dans et autour de l'eau, tels que la construction de ponts ou de ponceaux, les traversées de pipelines et les activités de dragage où les moules d'EP peuvent être affectées. Après avoir déterminé que les moules d'EP sont présentes, qu'un déplacement est jugé faisable et que les permis appropriés ont été obtenus, le déplacement peut commencer. Voir Mackie *et al.* (2008) pour une méthodologie détaillée.

Mesures d'atténuation

- Indiquer un site de relocalisation adéquat, généralement en amont des T/E/A, qui présente des propriétés d'habitat (superficie, profondeur de l'eau, types de substrat, vitesse de l'eau) et une structure biotique (communautés de poissons et de moules, absence d'EAE similaires).
- Effectuer la réinstallation au moins un mois avant que la température de l'eau ne soit susceptible de descendre en dessous de 16 °C (généralement entre le milieu et la fin août en Ontario).
- S'assurer que toutes les moules juvéniles et adultes sont retirées de la zone touchée;
- Garder les moules humides ou dans l'eau, éviter le surpeuplement et réduire au minimum la durée du transit pour réduire le stress des moules.
- Viser à replacer les moules dans la même orientation et dans un substrat similaire à celui dans lequel elles ont été trouvées.
- Effectuer un contrôle de suivi un mois, un an et deux ans après la réinstallation. La surveillance doit être effectuée lorsque la température de l'eau est > 16 °C afin de s'assurer que les moules peuvent se réenfourir.

Solutions de rechange

- Si le projet est prévu autour d'un lit de moules ou près d'une zone à forte densité de moules d'EP, envisagez de déplacer le projet en aval ou de le remanier pour éviter les effets sur le cours d'eau.

Espèces et gènes envahissants ou problématiques

Plusieurs taxons aquatiques invasifs menacent directement (par la compétition/la prédation) et indirectement (par des modifications de l'habitat ou par l'attachement/les bio-salissures) la mulette verruqueuse.

Mesures d'atténuation

- Élaborer des campagnes de sensibilisation du public et encourager l'utilisation des systèmes de signalement des espèces envahissantes existants (p. ex. la ligne d'urgence du Programme de sensibilisation aux espèces envahissantes de l'Ontario, EDDMapS).
- Effectuer une surveillance ou un suivi de détection précoce des espèces invasives qui pourraient avoir un effet négatif direct sur les populations de mulettes verruqueuses, ou un effet négatif sur leur habitat.
- Élaborer un plan d'intervention portant sur les risques potentiels, les répercussions ainsi que les mesures proposées si la surveillance permet de détecter l'arrivée ou l'établissement d'une espèce envahissante.

Solutions de rechange

- Introductions non autorisées
 - Aucune
- Introductions autorisées
 - Ne pas ensemercer des espèces non indigènes dans les zones fréquentées par la mulette verruqueuse.
 - Ne pas améliorer l'habitat d'espèces non indigènes dans les zones fréquentées par la mulette verruqueuse.
 - Respecter le Code national sur l'introduction et le transfert d'organismes aquatiques pour toute introduction d'organisme aquatique (MPO 2017).

Sources d'incertitude

Les sources d'incertitude ont été organisées en thèmes de recherche basés sur Drake *et al.* (2021) afin de créer une cohérence entre les EPR et de faciliter la planification et la priorisation des objectifs de recherche.

Écologie des populations*Cycle biologique*

Il y a plusieurs lacunes dans nos connaissances sur le cycle de vie de l'espèce de la mulette verruqueuse. En particulier, le moment de la saison de fraie (y compris l'affichage des glochidies) n'est pas connu pour l'Ontario, et serait utile pour comprendre les fenêtres de temps appropriées pour les projets de cours d'eau. De plus, il y avait des incertitudes significatives dans les paramètres du cycle biologique utilisés dans les modèles de population, y compris : presque tous les aspects de la fertilité, la survie des juvéniles, l'âge à la maturité et la

contribution relative à la reproduction avec l'âge, le taux de croissance maximum de la population, et les hypothèses sur la dépendance de la densité. Pour tenir compte de cette incertitude, une gamme de valeurs potentielles a été utilisée dans les modèles représentés par des distributions de probabilité, mais des résultats plus précis pourraient être extraits si davantage d'informations étaient disponibles. Chaque rivière a été traitée comme une seule population, mais une structure de population plus complexe est possible (en particulier dans la rivière Thames avec des barrières infranchissables à chaque direction), ce qui peut avoir une incidence sur la façon dont l'abondance est estimée et la probabilité de persistance de la population dans son ensemble.

La fréquence des événements catastrophiques est une variable inconnue et a eu une incidence considérable sur les résultats du modèle de population. Le taux d'événements catastrophiques peut varier d'un endroit à l'autre en raison de la variabilité environnementale et, par conséquent, l'objectif de rétablissement le plus approprié peut varier également. Les estimations fondées sur des événements catastrophiques plus fréquents sont plus prudentes, surtout si la fréquence des perturbations stochastiques à grande échelle augmente avec les changements climatiques).

Abondance

Les données de surveillance à long terme permettant de suivre les tendances dans le temps ont permis d'estimer les taux de croissance de la population de la mulette verruqueuse au Canada. Ces données ont également été utilisées pour estimer la densité (et déduire la taille de la population), mais des données supplémentaires, y compris des informations sur l'habitat et la densité provenant d'une étude randomisée, permettraient de mieux comprendre comment l'habitat influence la densité et d'obtenir des estimations plus précises de l'abondance de la population dans les systèmes fluviaux.

Répartition

En dépit d'un effort d'étude approfondie, l'incertitude demeure quant à la répartition complète de l'espèce dans les sites connus, et peut-être au-delà. La répartition dans la rivière Ausable consiste maintenant en trois petits tronçons, mais on ne sait pas s'ils occupent la totalité du tronçon entre ces zones. De même, sur la rivière Thames, la mulette verruqueuse est connue du Delaware au pont Kent, et on suppose qu'elle occupe la rivière jusqu'à l'embouchure; cependant, en raison des contraintes d'échantillonnage, ceci n'est pas confirmé. Un individu a été récemment détecté dans le ruisseau Black, un affluent de la rivière North Sydenham, mais on ne sait pas si une population viable existe dans cet affluent.

Interactions entre espèces

De nombreuses incertitudes entourent les interactions entre les moules et les hôtes. Les poissons-chats ictaluridés à gros corps sont les poissons hôtes présumés de la mulette verruqueuse au Canada, mais cela n'est pas confirmé. Il n'existe aucune information sur la densité optimale des poissons hôtes pour des rencontres réussies ni sur les taux d'infestation ou de métamorphose des glochidies sur les hôtes. La capacité de dispersion des glochidies lorsqu'elles sont enkystées sur des poissons hôtes est également inconnue, mais peut aider à comprendre la détection du ruisseau Black. Les interactions entre le dos pourpre et les poissons hôtes n'ont pas pu être explicitement incorporées dans le modèle de population, mais les répercussions sur les populations des espèces hôtes pourraient influencer de manière significative la persistance ou le rétablissement de la mulette verruqueuse. Par exemple, une population hôte peut être sujette à des catastrophes aléatoires de la même manière que ce qui a été supposé pour la mulette verruqueuse dans les simulations de la PMV. Même si une population de mulettes verruqueuses évite les répercussions de l'événement catastrophique au

départ, elle pourrait être fortement touchée si ses hôtes deviennent limités, et le rétablissement peut être retardé ou limité par l'abondance des hôtes.

Habitat

Association espèces-habitats en fonction du stade biologique

L'espèce semble relativement tolérante à une gamme de conditions environnementales, mais l'habitat optimal pour l'achèvement des processus de l'histoire de vie reste inconnu. Les conditions idéales (ou les limites supérieures) de l'habitat (p. ex. le débit, le type de substrat, l'oxygène dissous, la température) et la disponibilité de la nourriture dans ces micro-habitats sont inconnues.

Disponibilité de l'habitat

La répartition de l'espèce est considérée comme des tronçons distincts dans chacune des trois rivières occupées, mais il est peu probable que la totalité de ces tronçons contiennent un habitat approprié. Comme les propriétés idéales de l'habitat de la mulette verruqueuse ne sont pas explicitement connues, l'étendue spatiale de ces propriétés dans les rivières (historiquement et actuellement) occupées reste également inconnue. De plus, la quantité d'habitat nécessaire pour soutenir des populations saines et suffisamment denses de poissons hôtes est inconnue, mais en utilisant la SMVP comme une estimation approximative, on ne pense pas actuellement qu'elle soit limitative.

Menaces

Mécanismes d'incidence

Toutes les moules d'eau douce sont connues pour être sensibles à la pollution, mais peu d'études toxicologiques, voire aucune, n'ont été réalisées sur la mulette verruqueuse en particulier. Les fourchettes de toxicité pour les moules d'eau douce sont connues grâce à des études en laboratoire sur d'autres espèces; mais sans les études spécifiques de la mulette verruqueuse, ce n'est pas possible de comprendre les limites létales ou les répercussions plus larges sur le cycle de vie et les taux vitaux (p. ex. la croissance, le métabolisme, la reproduction). Il convient d'étudier dans quelle mesure des espèces plus communes et étroitement apparentées pourraient servir de substituts appropriés. Le changement climatique aura de nombreuses répercussions sur les écosystèmes aquatiques, dont beaucoup sont susceptibles d'interagir avec d'autres facteurs de stress anthropiques. Les mécanismes par lesquels le changement climatique aura une incidence sur la mulette verruqueuse et ses poissons hôtes pourraient être mieux compris par l'étude des tolérances physiologiques aux facteurs de stress environnementaux (p. ex. la température, l'oxygène dissous, les changements rapides de débit). En outre, des recherches plus poussées établissant un lien entre les changements des conditions climatiques (ou d'autres facteurs de stress) et les changements des taux vitaux contribueraient à améliorer les modèles de rétablissement des populations.

Probabilité, étendue et ampleur des impacts

Bien que l'on dispose de mesures ponctuelles de certains contaminants dans les bassins versants où l'on trouve la mulette verruqueuse, on ne connaît pas les concentrations réalisées dans l'environnement aux endroits occupés par l'espèce, ni la persistance des contaminants dans la colonne d'eau et à la surface du substrat. Il n'est pas clair dans quelle mesure les barrages et autres barrières peuvent avoir une incidence sur la dispersion des poissons hôtes, et comment cela affecte la dispersion de la mulette verruqueuse. En outre, les barrages sont relativement récents dans le contexte de la durée de vie de la mulette verruqueuse pour que les

effets puissent être déterminés. Les mécanismes d'impact des EAE sont souvent clairs (p. ex. la compétition, la prédation, l'altération de l'habitat, les biosalissures), mais l'étendue et l'ampleur de ces répercussions sur la mulette verruqueuse, en particulier dans les habitats fluviaux, ne sont pas claires. La mulette verruqueuse est confrontée à de multiples menaces et les interactions de ces menaces sont susceptibles d'entraîner des répercussions différentes de celles de chaque menace prise isolément, mais l'étendue et l'ampleur de ces interactions sont mal connues.

LISTE DES PARTICIPANTS À LA RÉUNION

Nom	Affiliation
Josef Ackerman	University of Guelph
Dave Balint	MPO - Gestion des espèces en péril
Lynn Bouvier (présidente)	MPO - Science
Heather Bowlby	MPO - Science
Julia Colm	MPO - Science
Amanda Conway	MPO - Programme de protection du poisson et de son habitat
Jessica Epp-Martindale	MPO - Gestion des espèces en péril
Patty Gillis	Environnement et Changement climatique Canada
Kari Jean	Ausable Bayfield Conservation Authority
Marten Koops	MPO - Science
Anita LeBaron	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario
Darcy McGregor	MPO - Politiques et l'économiques
Vicki McKay	Lower Thames Valley Conservation Authority
Kelly McNichols-O'Rourke	MPO - Science
Todd Morris	MPO - Science
Craig Paterson	St. Clair Region Conservation Authority
Scott Reid	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario
Adam van der Lee	MPO - Science
Julia Willsie	University of Windsor

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de l'examen par les pairs régionale du 25 au 27 octobre 2022 sur l'évaluation du potentiel de rétablissement de la muette verruqueuse (*Cyclonaias tuberculata*). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, [sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO](#).

Beermann, A.J., Elbrecht, V., Karnatz, S., Ma, L., Matthaei, C.D., Piggott, J.J., and Leese, F. 2018. Multiple-stressor effects on stream macroinvertebrate communities: A mesocosm experiment manipulating salinity, fine sediment and flow velocity. *Sci. Total Environ.* 601–611: 961–971.

Brinker, S. R., Garvey, M., and Jones, C.D. 2018. Climate change vulnerability assessment of species in the Ontario Great Lakes Basin. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Climate Change Research Report CCRR-48. 85 p. + append..

Coker, G.A., Ming, D.L. and Mandrak, N.E. 2010. [Mitigation guide for the protection of fishes and fish habitat to accompany the species at risk recovery potential assessments conducted by Fisheries and Oceans Canada \(DFO\) in Central and Arctic Region. Version 1.0](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2904: vi + 40 p.

Colm, J.E. et Morris, T.J. 2023. [Renseignements à l'appui d'une évaluation du potentiel de rétablissement de la muette verruqueuse \(*Cyclonaias tuberculata*\) au Canada](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/088. v + 76 p

- COSEPAC. 2021. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la moule verruqueuse \(*Cyclonaias tuberculata*\) au Canada](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa. x + 73 p.
- Dean, B. Y., Corcoran, P.L., and Helm, P.A. 2018. Factors influencing microplastic abundances in nearshore, tributary and beach sediments along the Ontario shoreline of Lake Erie. *J. Great Lakes Res.* 44(5): 1002–1009.
- Drake, D.A.R., Lamothe, K.A., Thiessen, K.E., Morris, T.J., Koops, M.A., Pratt, T.C., Reid, S.M., Jackson, D.A., and Mandrak, N.E. 2021. Fifteen years of Canada's Species at Risk Act: Evaluating research progress for aquatic species in the Great Lakes – St. Lawrence River basin. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 78(9): 1205–1218.
- Driedger, A.G.J., Durr, H.H., Mitchell, K., and Van Cappellen, P. 2015. Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: a review. *J. Great Lakes Res.* 41(1): 9–19.
- Gagné, F., Blaise, C., and Hellou, J. 2004. Endocrine disruption and health effects of caged mussels, *Elliptio complanata*, placed downstream from a primary-treated municipal effluent plume for 1 year. *Comp. Biochem. Phys. Part C* 138(1): 33–44.
- Gagné, F., Bouchard, B., André, C., Farcy, E., and Fournier, M. 2011. Evidence of feminization of wild *Elliptio complanata* mussels in the receiving waters downstream of a municipal effluent outfall. *Comp. Biochem. Phys. Part C* 153(1): 99–106.
- Gillis, P.L. 2011. Assessing the toxicity of sodium chloride to the glochidia of freshwater mussels: implications for salinization of surface waters. *Environ. Pollut.* 159(6): 1702–1708.
- Gillis, P.L. 2012. Cumulative impacts of urban runoff and municipal wastewater effluents on wild freshwater mussels (*Lasmigona costata*). *Sci. Total Environ.* 431(1): 348–356.
- Gillis, P.L., Higgins, S.K., and Jorge, M.B. 2014. Evidence of oxidative stress in wild freshwater mussels (*Lasmigona costata*) exposed to urban-derived contaminants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 102: 62–69.
- Gillis, P.L., McInnis, R., Salerno, J., de Solla, S.R., Servos, M.R., and Leonard, E.M. 2017. Municipal wastewater treatment plant effluent-induced effects on freshwater mussel populations and the role of mussel refugia in recolonizing an extirpated reach. *Environ. Pollut.* 225: 460–468.
- Haag, W.R. 2012. *North American Freshwater Mussels: natural history, ecology, and conservation*. Cambridge University Press, New York, NY. p. 180–214.
- Haggerty, T.M., Garner, J.T., Patterson, G.J., and Jones, L.C. 1995. A quantitative assessment of the reproductive biology of *Cyclonaias tuberculata* (Bivalvia: Unionidae). *Can. J. Zool.* 73(1): 83–88.
- Holm, E., N. E. Mandrak, and M. Burrige. 2009. *The ROM field guide to freshwater fishes of Ontario*. Royal Ontario Museum, Toronto, ON. 462 p.
- Hove, M.C., Engelking, R.A., Evers, E.R., Peteler, M.E., and Peterson, E.M. 1994. *Cyclonaias tuberculata* host suitability tests. *Triannual Unionid Report* 5:10.
- Hove, M.C., Engelking, R.A., Peteler, M.E., Peterson, E.M., Kapuscinski, A.R., Sovell, L.A., and Evers, E.R. 1997. Suitable fish hosts for glochidia of four freshwater mussels. *Conservation and Management of Freshwater Mussels II: Proceedings of a UMRCC Symposium*. 21–25.

- Jirka, K.J., and Neves, R.J. 1992. Reproductive biology of four species of freshwater mussels (Molluscs: Unionidae) in the New River, Virginia and West Virginia. *J. Freshwat. Ecol.* 7(1): 35–44.
- Keretz, S.S., Woolnough, D.A., Elgin, A.K., Morris, T.J., Roseman, E.F., and Zanatta, D.T. 2021. Limited co-existence of native unionids and invasive dreissenid mussels more than 30 Y post dreissenid invasion in a large river system. *Am. Midl. Nat.* 186(2): 157–175.
- Lemmen, D.S., and Warren, F.J. 2004. [Climate change impacts and adaptation: a Canadian perspective](#). Natural Resources Canada, Ottawa, ON. 174 p.
- Luck, K., and Ackerman, J.D. 2022. Threats to freshwater mussels: the interactions of water temperature, velocity and total suspended solids on ecophysiology and growth. *Sci. Total Environ.* 821: (153101) 10 p.
- Mackie, G., Morris, T.J., and Ming, D. 2008. [Protocol for the detection and relocation of freshwater mussel species at risk in Ontario-Great Lakes Area \(OGLA\)](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2790: vi +50 p.
- Martin, K.R.C. 2016. Upper thermal limits of freshwater mussels (Bivalvia, Unionoida) in ramped temperature exposures. Thesis (M.Sc.) Missouri State University, Springfield, MO. 59 p.
- Metcalfe-Smith, J., MacKenzie, A., Carmichael, I., and McGoldrick, D. 2005. Photo field guide to the freshwater mussels of Ontario. St. Thomas Field Naturalist Club, St. Thomas, ON. 61 pp.
- Morris, T.J., and Edwards, A. 2007. [Freshwater mussel communities of the Thames River, Ontario: 2004-2005](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2810: v + 30pp.
- MPO. 2007. [Protocole révisé pour l'exécution des évaluations du potentiel de rétablissement](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2007/039.
- MPO. 2014. [Lignes directrices sur l'évaluation des menaces, des risques écologiques et des impacts écologiques pour les espèces en péril](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2014/013. (Erratum : juin 2016)
- MPO. 2017. [Code national sur l'introduction et le transfert d'organismes aquatiques](#). MPO 2017-1997.
- Pandolfo, T.J., Cope, W.G., Arellano, C., Bringolf, R.B., Barnhart, M.C., and Hammer, E. 2010. Upper thermal tolerances of early life stages of freshwater mussels. *J. North Am. Benthol. Soc.* 29(3): 959–969
- Pandolfo, T.J., Cope, W.G., Young, G.B., Jones, J.W., Hua, D., and Lingenfelter, S.B. 2012. Acute effects of road salts and associated cyanide compounds on the early life stages of the unionid mussel *Villosa iris*. *Environ. Toxicol. Chem.* 31(8): 1801–1806.
- Parmalee, P.W., and Bogan, A.E. 1998. *The Freshwater Mussels of Tennessee*. The University of Tennessee Press, Knoxville, TN. 328 pp.
- Poos, M., Dextrase, A.J., Schwalb, A.N., and Ackerman, J.D. 2010. Secondary invasion of the Round Goby into high diversity Great Lakes tributaries and species at risk hotspots: potential new concerns for endangered freshwater species. *Biol. Invasions* 12: 1269–1284.
- Salerno, J., Gillis, P.L., Khan, H., Burton, E., Deeth, L.E., Bennett, C.J., Sibley, P.K., and Prosser, R.S. 2020. Sensitivity of larval and juvenile freshwater mussels (unionidae) to ammonia, chloride, copper, potassium and selected binary chemical mixtures. *Environ. Pollut.* 256: (113398) 9 p.

- Scott, W.B., and Crossman, E.J. 1973. Poissons d'eau douce du Canada. Off. rech. pêch. Can. Bull. 184. 1026 p. 1998 réimpress.
- Seuront, L., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., Goberville, E. 2019. Decreased thermal tolerance under recurrent heat stress conditions explains summer mass mortality of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Sci. Rep.* 9: (17498) 14 p.
- Sietman, B.E., Davis, M.J., and Hove, M.C. 2012. Mantle display and glochidia release behaviours of five Quadraline freshwater mussel species (Bivalvia: Unionidae). *Am. Malacol. Bull.* 30(1): 39–46.
- Smodis, S.L. 2022. Temporal dynamics of freshwater mussel larvae. Thesis (M.Sc.) University of Guelph, Guelph, ON. 96 p.
- Tetreault, G.R., Bennett, C.J., Shires, K., Knight, B., Servos, M.R., and McMaster, M.E. 2011. Intersex and reproductive impairment of wild fish exposed to multiple municipal wastewater discharges. *Aquat. Toxicol.* 104(3–4): 278–290.
- Todd, A.K., and Kaltenecker, G. 2012. Warm season chloride concentrations in stream habitats of freshwater mussel species at risk. *Environ. Pollut.* 171: 199–206.
- Tremblay, M.E.M., Morris, T.J., and Ackerman, J.D. 2015. [A multivariate approach to the identification of unionid glochidia with emphasis on Species at Risk in Southern Ontario](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3057: vii + 51 p
- Tremblay, M.E.M., Morris, T.J., and Ackerman, J.D. 2016. Loss of reproductive output caused by an invasive species. *R. Soc. Open Sci.* 3(4): (150481) 10 p.
- van der Lee, A.S. and Koops, M.A. 2023. [Modélisation du potentiel de rétablissement de la moule verruqueuse \(*Cyclonaias tuberculata*\) au Canada](#). *Secr. can. des avis sci. du MPO.* 2023/087. iv + 28 p.
- Wardlaw, C., and Prosser, R.S. 2020. Investigation of microplastics in freshwater mussels (*Lasmigona costata*) from the Grand River watershed in Ontario, Canada. *Water Air Soil Pollut.* 231: (405) 14 p.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de l'Ontario et des Prairies
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6

Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-68817-6 N° cat. Fs70-6/2023-046F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2023



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2023. Évaluation du potentiel de rétablissement de la muette verruqueuse (*Cyclonaias tuberculata*). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/046.

Also available in English:

DFO. 2023. *Recovery Potential Assessment of Purple Wartyback (Cyclonaias tuberculata)*.
DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2023/046.