



ÉVALUATION NATIONALE DES RISQUES LIÉS AUX ESPÈCES AQUATIQUES ENVAHISSANTES (EAE) POUR LES MOULES ZÉBRÉES (*DREISSENA POLYMORPHA*) ET QUAGGA (*DREISSENA ROSTRIFORMIS BUGENSIS*), AVRIL 2022

A Moule zébrée

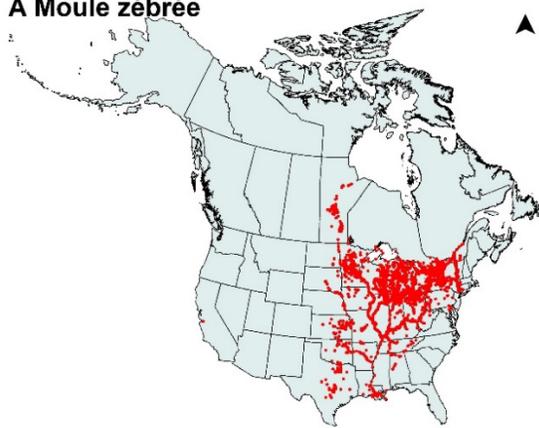


Figure 1A. Répartition (1986-2021) de la moule zébrée en Amérique du Nord (Wilcox et al. 2024)

B Moule quagga

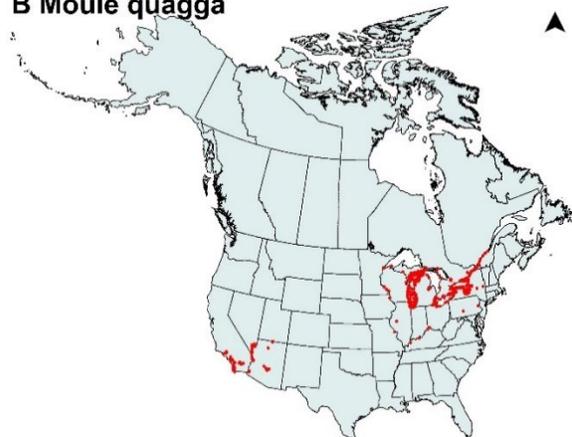


Figure 1B. Répartition (1989-2021) de la moule quagga en Amérique du Nord (Wilcox et al. 2024)

Contexte :

Les espèces envahissantes sont des moteurs importants de changement dans les écosystèmes et menacent les écosystèmes à l'échelle mondiale. Dans les écosystèmes d'eau douce, deux importantes espèces de moules dreissénidées, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*), toutes deux indigènes de la région pontocaspienne, ont une longue histoire d'impacts écologiques et économiques importants en Europe et en Amérique du Nord. Étant donné que ces espèces non indigènes peuvent avoir de graves impacts négatifs sur les réseaux trophiques et la transformation des nutriments, une évaluation des risques écologiques liés à ces espèces a été menée en 2012 pour les écosystèmes d'eau douce, en mettant l'accent sur les provinces de l'Ouest canadien, l'Ontario et le Québec (Therriault et al. 2013). Depuis, la répartition des moules dreissénidées a continué d'augmenter au Canada. Par exemple, des moules zébrées ont été découvertes dans le lac Winnipeg en 2013, puis se sont propagées dans des plans d'eau connexes et adjacents. De même, en 2017, des moules zébrées ont été signalées pour la première fois dans le lac Memphrémagog (Québec), confirmant la propagation plus à l'est. De plus, au début de 2021, des moules zébrées ont été trouvées dans des boules de mousse associées au commerce des aquariums partout au Canada, ce qui a accru le potentiel de propagation.

Compte tenu de la possibilité que ces espèces non indigènes aient des impacts négatifs importants sur les écosystèmes d'eau douce du Canada et qu'elles continuent de se propager dans tout le Canada, le Programme national sur les espèces aquatiques envahissantes de Pêches et Océans Canada (MPO) a demandé au Secteur des sciences du MPO de mettre à jour l'évaluation des risques écologiques de 2012. La nouvelle évaluation des risques écologiques identifie les bassins versants

d'eau douce qui présentent un risque plus élevé d'invasion par les moules zébrées et quaggas au Canada en étendant la couverture à tous les écosystèmes d'eau douce du Canada et en incluant les nouvelles données disponibles sur l'environnement et la répartition des espèces. La nouvelle évaluation des risques fournit une orientation scientifique aux gestionnaires des ressources pour éclairer les décisions et les mesures de gestion, y compris la détection précoce, la planification d'intervention ou les mesures réglementaires et stratégiques visant à atténuer la propagation potentielle et le risque que présentent les moules zébrées et quaggas pour les écosystèmes d'eau douce du Canada.

Le présent avis scientifique découle de l'examen par les pairs national sur l'évaluation nationale des risques liés aux espèces aquatiques envahissantes (EAE) pour les moules zébrées et quaggas, mise à jour de 2022, qui a eu lieu du 4 au 7 avril 2022. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- Depuis leur introduction dans la région des Grands Lacs laurentiens dans les années 1980, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) se sont répandues dans toute l'Amérique du Nord et ont eu d'importants impacts écologiques sur les écosystèmes d'eau douce. Au Canada, la moule zébrée s'est par la suite répandue dans certains plans d'eau du Manitoba et du sud du Québec, tandis que la moule quagga ne s'est répandue que dans la région des Grands Lacs laurentiens.
- Comparativement à l'évaluation des risques de 2012, cette nouvelle évaluation a été effectuée à une résolution spatiale plus élevée. Elle comprenait toutes les provinces et tous les territoires, des données environnementales nouvelles et mises à jour, des renseignements sur la présence des espèces, ainsi que deux modèles différents d'habitats propices. Le risque écologique associé à la moule zébrée et à la moule quagga a été évalué en intégrant des mesures liées à l'introduction, à l'établissement et aux impacts écologiques.
- Cette nouvelle évaluation n'a pas évalué le risque pour les plans d'eau individuels. Elle a plutôt fourni une évaluation du risque écologique à une résolution de cellules de grille de 9 260 m sur 9 260 m à l'échelle du Canada. Par conséquent, les risques et les impacts peuvent différer à de plus petites échelles spatiales où les conditions peuvent être plus ou moins favorables.
- L'introduction a été évaluée en fonction d'une approximation de l'activité humaine (indice de l'empreinte humaine) et de la proximité aux plans d'eau envahis (mesure de la connectivité).
- L'établissement a été évalué à l'aide de deux approches de modélisation pour caractériser les habitats propices (modèle basé sur le calcium et modèle MaxEnt basé sur l'entropie maximale).
- Étant donné que la moule zébrée et la moule quagga ont des impacts écologiques négatifs importants et bien documentés, il a été déterminé que les impacts sur les écosystèmes aquatiques d'eau douce du Canada étaient très élevés.
- Pour la moule zébrée et la moule quagga, toutes les provinces et tous les territoires contiennent des bassins versants présentant un risque écologique modéré ou élevé. Des zones à risque écologique élevé sont réparties le long de la partie sud du Canada, de la Nouvelle-Écosse au sud de l'Alberta et de la Colombie-Britannique.

Région de la capitale nationale

- Le risque écologique présenté ici représente les conditions actuelles. À mesure que les invasions de moules zébrées et quaggas se poursuivent et que les facteurs environnementaux changent, le risque pour les écosystèmes d'eau douce du Canada pourrait changer et devra être réévalué.
- Les limites des données ont entraîné un certain nombre d'incertitudes liées à la caractérisation du risque dans cette évaluation. Des données géospatiales améliorées et élargies (p. ex., sur l'environnement, les espèces et les vecteurs d'introduction) amélioreront les évaluations futures des risques.

INTRODUCTION

Dans les écosystèmes d'eau douce, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*D. rostriformis bugensis*) ont eu d'importants impacts écologiques et économiques en Europe et en Amérique du Nord (Mackie et Claudi 2010, van der Velde *et al.* 2010). Ces moules peuvent avoir une incidence négative sur la qualité de l'eau et sur tous les niveaux trophiques importants, et elles peuvent se propager par des activités naturelles de dispersion ou par intervention humaine.

En 2012, le Secteur des sciences du MPO a réalisé une évaluation des risques écologiques associés à trois espèces de moules dreissénidées dans les écosystèmes d'eau douce du Canada, qui a permis de cerner plusieurs zones à risque élevé, mais qui n'a pas évalué pleinement les risques pour les sous-aires de drainage dans les Maritimes, à Terre-Neuve-et-Labrador et dans l'Arctique canadien (MPO 2013). Depuis 2012, la répartition des moules zébrées et quaggas a continué d'augmenter au Canada (figure 1); une nouvelle évaluation était donc nécessaire. Cette nouvelle évaluation des risques tient compte non pas seulement de la répartition élargie de ces espèces, mais aussi de la portée géographique pour inclure tous les écosystèmes d'eau douce du Canada, y compris l'ensemble des provinces et des territoires. Elle a été menée à une résolution spatiale plus élevée (cellules de grille de 9 260 m sur 9 260 m), a inclus des variables environnementales supplémentaires (comme les concentrations de calcium et le pH interpolés partout au Canada) et a utilisé deux approches de modélisation d'habitats propices (un modèle basé sur le calcium et un modèle basé sur MaxEnt). Cette évaluation, qui comprend à la fois la probabilité et les conséquences d'une invasion (c.-à-d. les impacts prévus), identifie les bassins versants d'eau douce présentant un risque écologique plus élevé à l'aide de nouvelles données et approches pour évaluer le risque afin d'améliorer la capacité des gestionnaires à informer, prévenir, prioriser et réagir aux invasions de dreissénidés au Canada.

Il est important de noter que même si certaines zones peuvent être considérées comme présentant un faible risque, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de risque, car les deux espèces ont démontré leur capacité d'être transportées sur de longues distances et vers des endroits éloignés et elles ont des impacts écologiques très importants dans les systèmes envahis. De plus, pour faciliter divers processus de prise de décisions, les résultats sont communiqués dans différents formats. Plus précisément, cette évaluation utilise deux modèles d'habitat différents (pour chaque espèce, les données sont présentées à la fois au niveau de la cellule de grille à haute résolution et résumées au niveau de la sous-aire de drainage à l'aide de deux mesures (la valeur de risque écologique la plus élevée pour toute zone de la sous-aire de drainage [maximum] et la valeur de risque écologique la plus commune dans la sous-aire de drainage [mode]). Selon la décision particulière et la tolérance au risque, les renseignements contenus dans cette évaluation peuvent être utilisés pour éclairer les mesures de gestion, y compris la détection précoce, la planification d'interventions ou les mesures réglementaires et stratégiques

visant à atténuer le risque posé par la moule zébrée et la moule quagga qui peuvent envahir les écosystèmes d'eau douce du Canada.

ÉVALUATION

En général, le risque représente le produit de la probabilité qu'un événement se produise et des conséquences de cet événement. Dans la présente évaluation, le risque écologique associé à la moule zébrée et la moule quagga représente la probabilité d'une invasion et les conséquences ou les impacts prévus de cette invasion pour chaque unité spatiale (cellule de grille) sur une période approximative de cinq à dix ans (selon les conditions climatiques actuelles). La probabilité d'invasion représente les étapes séquentielles du processus d'invasion où un organisme doit être entraîné dans un vecteur d'invasion, déplacé par ce vecteur vers un nouvel emplacement, survivre au transit, être libéré par le vecteur dans un nouvel écosystème, rencontrer des conditions propices à la survie et à la reproduction, puis se propager à partir du point d'introduction initial. Par conséquent, les invasions sont complexes et comportent plusieurs variables inconnues et d'incertitudes, de sorte que les probabilités réelles entourant cette séquence d'événements menant à une invasion réussie ne sont pas connues.

Évaluation des risques du MPO en 2012 comparée à la nouvelle évaluation des risques du MPO en 2022

En 2012, le MPO a effectué une évaluation des risques écologiques associés à trois moules dreissénidées non indigènes (Therriault *et al.* 2013) en tenant compte des probabilités de survie (d'habitats propices) et de l'arrivée à l'échelle des sous-aires de drainage du Canada. Comparativement à l'évaluation des risques de 2012 (Therriault *et al.* 2013), cette nouvelle évaluation a été effectuée à une résolution spatiale plus élevée (cellules de grille de 9 260 m sur 9 260 m) et comprenait d'autres variables environnementales, comme la mise à jour des concentrations de calcium et le pH interpolés partout au Canada (Wilcox *et al.* 2024). À des fins de modélisation, la zone d'étude comprenait le Canada et la zone continentale des États-Unis. De plus, cette évaluation excluait la moule d'Amérique (*Mytilopsis leucophaeata*), une espèce marine côtière ou estuarienne incluse dans l'évaluation des risques précédente.

Il est important de noter que les résultats de cette évaluation ne sont pas directement comparables à ceux de l'évaluation de 2012, car ils sont fondés sur des données mises à jour et différentes approches de modélisation. De plus, il y a des différences dans la façon dont certaines composantes du risque d'invasion ont été déterminées. Par exemple, dans l'évaluation de 2012, la connectivité dans le cadre de l'estimation de la pression de propagules potentielle a été modélisée simplement en fonction de si une sous-aire de drainage était adjacente à une sous-aire de drainage envahie, alors qu'ici la connectivité a été modélisée comme une fonction géospatiale (voir ci-dessous) de la proximité aux zones envahies, mais n'intègre pas explicitement la connectivité du débit en aval des lacs envahis. De plus, les habitats propices ont été modélisés ici à l'aide de deux approches différentes (un modèle basé sur le calcium et un modèle basé sur MaxEnt) avec chacune une amélioration par rapport à l'évaluation initiale.

Il y a aussi des différences sur le plan de la terminologie. Étant donné que les probabilités réelles pour chaque étape du processus d'invasion qui mène à la réussite de l'établissement sont inconnues, des approximations ont été utilisées pour ces probabilités à l'aide des variables disponibles et connues comme étant liées au risque d'invasion. Bien que des données et des indicateurs différents aient été utilisés entre les deux évaluations, le risque écologique correspond toujours au produit du potentiel d'invasion et des impacts écologiques attendus

Région de la capitale nationale

d'une invasion. De plus, un faible risque ne signifie pas qu'il n'y a aucun risque, car les deux espèces se sont dispersées sur de grandes distances et ont eu de très grands impacts écologiques dans les systèmes envahis.

Méthode d'évaluation des risques

Une évaluation des risques écologiques a été effectuée afin de déterminer le risque posé par la moule zébrée et la moule quagga pour les eaux douces canadiennes. Un résumé des produits de données est disponible dans Wilcox et al. 2024 et peut être téléchargé à partir du [portail de données du gouvernement ouvert](#).

Cette évaluation des risques a tenu compte des probabilités d'introduction (pression de propagule), d'établissement (d'habitat propices) et des impacts écologiques pour obtenir une mesure du risque écologique associé à ces deux espèces. Les zones qui sont actuellement envahies ne se traduisent pas automatiquement par un risque élevé dans toute approche d'évaluation des risques. Les invasions sont complexes et peuvent réussir même lorsque le potentiel d'introduction, d'établissement ou de propagation est plus faible, ce qui pourrait entraîner une cote de risque globale plus faible. Le risque écologique posé par ces espèces a été évalué à l'aide de deux approches de modélisation distinctes pour l'établissement en fonction des concentrations de calcium et d'un modèle d'habitat propices basé sur l'entropie maximale (MaxEnt) (figure 2). Les deux modèles présentent des contraintes et des avantages différents; les deux ont été utilisés, car il n'est pas possible de déterminer un modèle « privilégié » étant donné que les invasions de moules zébrées et quaggas se poursuivent. De plus, les deux espèces occupent actuellement des zones qui seraient désignées comme présentant un risque écologique modéré ou élevé.

Pour les deux modèles, le potentiel d'établissement a été intégré au potentiel d'introduction pour obtenir le potentiel d'invasion, qui a ensuite été combiné au potentiel d'impacts écologiques à l'aide d'une matrice de points chauds pour déterminer le niveau de risque écologique global, qui varie de faible à élevé. Un seuil de température a été appliqué aux régions du Canada qui étaient considérées comme trop froides pour soutenir le développement larvaire de populations de moules zébrées et quaggas. Pour obtenir de plus amples renseignements sur la méthodologie et les résultats, ainsi que sur les produits de données intermédiaires propres aux espèces (p. ex., couches d'habitats propices basées sur le calcium et sur MaxEnt), voir Wilcox et al. 2024).

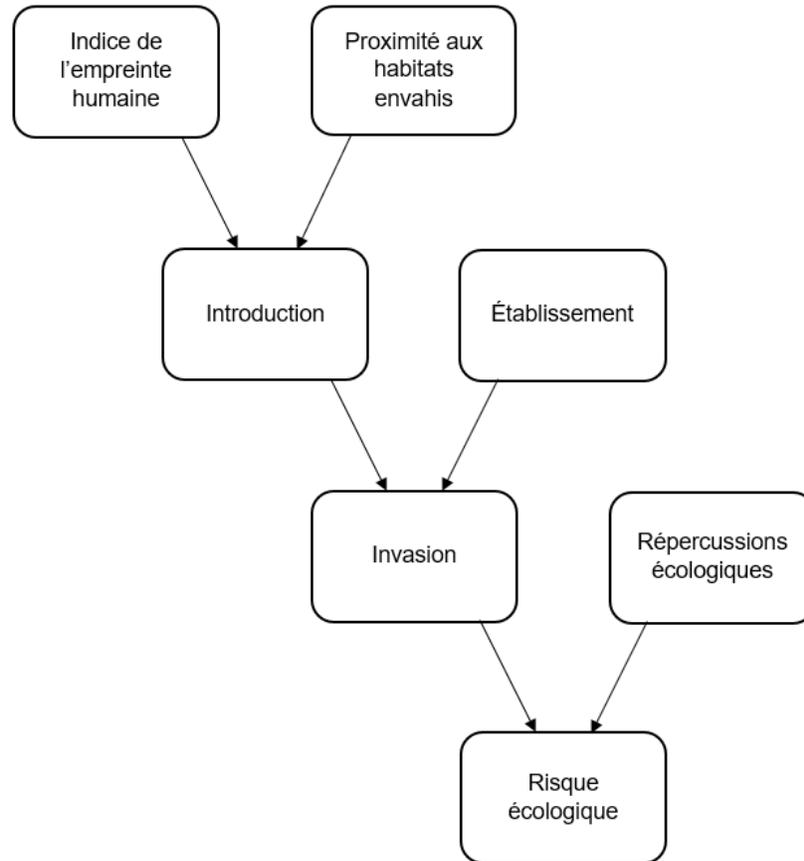


Figure 2. Diagramme conceptuel du processus d'évaluation des risques associés à l'invasion des eaux douces canadiennes par les moules zébrées et quagga. Deux approches de modélisation ont été utilisées pour déterminer les habitats propices à l'établissement : un modèle basé sur le calcium et un modèle basé sur MaxEnt.

Potentiel d'introduction

Pour que la moule zébrée et la moule quagga présentent un risque pour un écosystème canadien, il faut d'abord qu'elles y soient introduites. Le potentiel d'introduction est lié à la fois à la capacité de déplacer des propagules d'une population source et à la proximité de cette population (étant donné que la probabilité et la survie sont plus élevées sur de plus courtes distances). Le principal vecteur de l'introduction de la moule zébrée et de la moule quagga est l'activité humaine (p. ex., le déplacement d'embarcations), avec la dispersion naturelle (p. ex., le déplacement de larves en aval) contribuant à l'introduction. Une mesure de la connectivité a été élaborée en fonction de la distance par rapport à la répartition actuellement connue pour chaque espèce, puis mise à l'échelle pour refléter la navigation de plaisance (voir Wilcox et al. 2024). Cette mesure a ensuite été intégrée à l'indice de l'empreinte humaine (Venter *et al.* 2018) qui est un indice relatif basé sur la population et l'activité humaine afin de tenir compte de la variabilité géographique de la navigation de plaisance (ou d'autres mouvements anthropiques). Des cartes de la pression de propagule (indice de l'empreinte humaine) et de la proximité aux habitats envahis (mesure de la connectivité) pour la moule zébrée et la moule quagga sont présentées dans Wilcox et al. 2024.

Moule zébrée

Le potentiel d'introduction de la moule zébrée dans les écosystèmes d'eau douce du Canada est le plus grand dans les zones qui se trouvent à proximité de lieux actuellement envahis par la moule zébrée et dans les zones plus densément peuplées du Canada. Les zones où le potentiel d'introduction est le plus élevé sont le sud de l'Ontario, le Québec ainsi que le sud et le centre du Manitoba, que la moule zébrée a envahis. La Saskatchewan et le Nouveau-Brunswick présentent également un potentiel d'introduction élevé en raison de leur proximité aux lieux envahis. À Terre-Neuve-et-Labrador, dans le nord de la Colombie-Britannique, ainsi qu'au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest, le potentiel d'introduction est faible en raison de la distance qui les sépare des bassins versants envahis.

Moule quagga

Le potentiel d'introduction de la moule quagga dans les écosystèmes d'eau douce du Canada est le plus grand dans le sud de l'Ontario et du Québec, où elle a envahi le réseau des Grands Lacs laurentiens. Les zones à potentiel d'introduction élevé comprennent des parties du Nouveau-Brunswick et du Manitoba, ainsi que des régions du sud de la Saskatchewan et de l'Alberta. Les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon, la Colombie-Britannique et les régions septentrionales des provinces des Prairies présentent un potentiel d'introduction faible en raison de leur distance accrue par rapport aux bassins versants actuellement envahis.

Potentiel d'établissement

En général, les espèces envahissantes s'établissent dans des écosystèmes propices à leur survie et à leur reproduction. Dans le cas de la moule zébrée et de la moule quagga, les concentrations de calcium sont un bon indicateur du potentiel d'établissement (habitats propices) compte tenu du besoin de calcium dissous pour le développement et la croissance des coquilles (Whittier *et al.* 2008; Therriault *et al.* 2013), mais d'autres variables peuvent aussi être importantes. Une méthode pour intégrer des variables supplémentaires est la modélisation d'habitat propices qui utilise une série de variables environnementales conjointement avec la répartition de l'espèce pour déterminer l'importance relative de ces variables environnementales pour la répartition actuelle et utilise cette relation pour prédire les habitats propices.

Les deux approches de modélisation comportent des avantages et des inconvénients. La modélisation d'habitat propices intègre un éventail de variables environnementales qui influent sur la répartition de ces espèces de moules envahissantes. Toutefois, elle est fondée sur la répartition actuelle connue et ne représente probablement pas l'ensemble complet d'habitats propices que ces moules pourraient envahir. L'approche de modélisation basée sur le calcium utilise une seule variable environnementale pour déterminer le potentiel d'établissement, mais elle n'est pas limitée par la question de savoir si la répartition actuelle représente entièrement les habitats propices que ces moules pourraient envahir. Pour cette raison, les deux approches de modélisation ont été utilisées dans cette évaluation des risques. Des cartes du potentiel d'établissement de la moule zébrée et de la moule quagga basés sur les deux modèles (basé sur le calcium et basé sur MaxEnt) sont présentées dans Wilcox *et al.* 2024.

Seuil de température

On a établi le seuil de température appliqué aux deux modèles d'habitat propices à 10 °C pour la moule zébrée (Pollux *et al.* 2010) et à 5 °C pour la moule quagga (Peyer *et al.* 2010), reconnaissant que la moule quagga est mieux adaptée pour vivre dans des eaux plus profondes et plus froides. Comme les températures de l'eau n'étaient pas disponibles à l'échelle

Région de la capitale nationale

nationale, on a utilisé les températures de l'air comme indicateur de la température de l'eau, car on estime qu'elles sont corrélées (Stefan et Preud'homme 1993). Des zones ont été désignées comme étant en dessous du seuil de température si la température moyenne du trimestre le plus chaud (zone bioclimatique 10) était inférieure au seuil de température propre à l'espèce. Les valeurs pour ces zones ont été établies à 0 pour le potentiel d'établissement dans les deux approches de modélisation.

Modèle basé sur le calcium

Moule zébrée

Pour la moule zébrée, la concentration de calcium dans la majeure partie du Canada est très propice (plus de 30 mg/L) pour l'établissement. Après la prise en compte des zones où les températures sont inférieures au seuil thermique, les zones d'habitats très propices (potentiel d'établissement) comprennent l'ouest des Territoires du Nord-Ouest, le Yukon, le nord et le centre de la Colombie-Britannique, l'Alberta, ainsi que le sud et le centre de la Saskatchewan et du Manitoba, le sud de l'Ontario, les Grands Lacs laurentiens et au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec. Le reste du Canada, surtout le Bouclier canadien, est moins propice, avec quelques petites parcelles plus propices dans le nord de l'Ontario et les provinces maritimes.

Moule quagga

Dans le cas de la moule quagga, la concentration de calcium dans une grande partie du Canada est très propice (plus 30 mg/L) pour l'établissement. Après la prise en compte des régions où les températures sont inférieures au seuil thermique, les régions où le potentiel d'établissement est élevé comprennent le Yukon, l'ouest des Territoires du Nord-Ouest, le nord et le centre de la Colombie-Britannique, l'Alberta, le sud et le centre de la Saskatchewan et du Manitoba, ainsi qu'une grande partie du sud de l'Ontario, les Grands Lacs laurentiens et au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec. Dans les autres régions du Canada, l'habitat est moins propice, à l'exception des petites régions du nord de l'Ontario et des provinces maritimes, qui le sont davantage.

Modèle basé sur MaxEnt

Moule zébrée

Le modèle basé sur MaxEnt pour la moule zébrée fournit une zone géographique plus restreinte d'habitat très propice (potentiel d'établissement) que celle du modèle basé sur le calcium, et il correspond aux conditions environnementales actuelles de la moule zébrée dans sa répartition actuelle connue en Amérique du Nord. Par conséquent, les zones les plus propices sont situées dans les Grands Lacs laurentiens, le sud de l'Ontario et le lac Winnipeg, ce qui correspond à la répartition actuelle de l'espèce au Canada. Le sud-est de la Colombie-Britannique, au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec, ainsi que les provinces maritimes, en particulier le Nouveau-Brunswick, sont d'autres régions avec des habitats plus propices. Dans le reste du Canada, l'habitat est moins propice.

Moule quagga

Le modèle basé sur MaxEnt pour la moule quagga offre une zone géographique plus restreinte d'habitat très propices (potentiel d'établissement) que celui du modèle basé sur le calcium, et il correspond aux conditions environnementales que connaît actuellement la moule quagga dans sa répartition actuellement connue en Amérique du Nord. Les zones les plus propices au Canada se trouvent dans les Grands Lacs laurentiens et dans le sud de l'Ontario. Des régions

Région de la capitale nationale

avec des parcelles d'habitats propices incluent la vallée de l'Okanagan dans le sud de la Colombie-Britannique et la majeure partie du sud de l'Alberta. Dans le reste du Canada, l'habitat est moins propice.

Potentiel d'invasion

Le potentiel d'invasion a été déterminé en fonction du produit du potentiel d'introduction et du potentiel d'établissement, les deux ayant une pondération égale, car l'importance relative de chacun de ces éléments est inconnue. Ces calculs conditionnels ont été effectués pour les modèles basés sur le calcium et MaxEnt; les cartes connexes se trouvent dans Wilcox et al. 2024.

Modèle basé sur le calcium

Moule zébrée

Les zones où le potentiel d'invasion est le plus élevé comprennent le sud et le centre des provinces des Prairies (y compris le fleuve Nelson au Manitoba), le sud-est de l'Ontario et au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec, ainsi que certaines régions du nord de l'Ontario et des provinces maritimes. Les zones à faible potentiel d'invasion comprennent le Yukon, les Territoires du Nord-Ouest et le reste de l'Ouest canadien.

Moule quagga

À l'instar de la moule zébrée, le potentiel d'invasion de la moule quagga selon l'approche de modélisation basée sur le calcium a également été fortement influencé par le potentiel d'établissement. Les zones où le potentiel d'invasion est le plus élevé comprennent le sud-est de l'Ontario, le sud et le centre des provinces des Prairies, au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec et plusieurs régions distinctes des provinces maritimes.

Modèle d'habitat propices basé sur MaxEnt

Moule zébrée

Le potentiel d'invasion de la moule zébrée selon l'approche de modélisation basée sur MaxEnt reflète généralement la distribution actuellement connue de la moule zébrée. Par conséquent, les zones où les valeurs prévues du potentiel d'invasion sont les plus élevées comprennent le réseau des Grands Lacs laurentiens, le sud de l'Ontario, la région du lac Winnipeg ainsi qu'au sud du fleuve Saint-Laurent au Québec et au Nouveau-Brunswick.

Moule quagga

À l'instar de la moule zébrée, le potentiel d'invasion de la moule quagga selon l'approche de modélisation basée sur MaxEnt reflète généralement la répartition actuelle connue de l'espèce. Par conséquent, les zones présentant le potentiel d'invasion le plus élevé se trouvaient autour du réseau des Grands Lacs laurentiens et du sud de l'Ontario. Le potentiel d'invasion dans le reste du Canada devrait être plus faible.

Potentiel d'impacts écologiques

Pour assurer l'uniformité entre les modèles et les espèces en ce qui a trait aux critères servant à déterminer les impacts écologiques prévus, l'approche de Therriault *et al.* (2013), modifiée par rapport à Therriault et Herborg (2008), a été adoptée. Cette approche définit cinq catégories pour chaque impact, allant de très faible à très élevé (Wilcox et al. 2024). À l'heure actuelle, il n'existe pas de paramètres établis pour les espèces qui sont disponibles à l'échelle ou à la

Région de la capitale nationale

résolution requise pour différencier la variabilité géographique des impacts écologiques. Étant donné que les invasions de moules zébrées et quaggas ont des effets écologiques négatifs bien documentés sur les réseaux d'eau douce où elles sont introduites, les impacts écologiques dans cette évaluation des risques devraient être très élevés partout au Canada. L'incertitude devrait être très faible étant donné que ces impacts ont été bien documentés en Amérique du Nord et en Europe.

Potentiel de risque écologique

Le risque écologique posé par ces espèces envahissantes a été déterminé en combinant le potentiel d'impacts écologiques et le potentiel d'invasion pour chaque approche de modélisation à l'aide d'une matrice de points chauds. Le risque écologique pour la moule zébrée et la moule quagga est présenté à la résolution de cellule de grille de 9 260 m sur 9 260 m dans les figures 3 à 6, tandis que le risque écologique par sous-aire de drainage (mode et maximum) sont présentés aux annexes A et B. Des cartes détaillées des risques écologiques à l'échelle régionale utilisant la résolution des cellules de grille sont présentées dans Wilcox *et al.* (2023). Étant donné que les impacts écologiques sont très élevés dans l'ensemble du Canada, la détermination finale du risque écologique représente des différences dans le potentiel d'invasion. Par conséquent, les zones à faible risque présentent un potentiel d'invasion plus faible que les zones à risque élevé, mais cela ne signifie pas que les moules zébrées ou quaggas auraient moins d'impacts si elles les envahissaient.

Modèle basé sur le calcium

Moule zébrée

À l'aide du modèle basé sur le calcium, les zones de risque écologique élevé de la moule zébrée comprennent le réseau des Grands Lacs laurentiens et les zones autour du lac Winnipeg (Manitoba), ce qui correspond à la répartition actuelle connue de cette espèce (figure 3). À l'extérieur de la répartition actuelle connue, on a prédit des zones distinctes de risque écologique élevé au Nouveau-Brunswick, en Saskatchewan et en Alberta. Les provinces de l'Ontario, de l'Alberta, de la Saskatchewan, du Manitoba, de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick affichaient principalement un risque écologique modéré. Il y a aussi de grandes zones de risque écologique modéré au Québec, en Colombie-Britannique et dans les Territoires du Nord-Ouest. Les Territoires du Nord-Ouest, le Nunavut, le Labrador, les régions septentrionales du Québec et les régions montagneuses des provinces de l'Ouest sont en deçà du seuil de température et présentent probablement un très faible risque écologique.

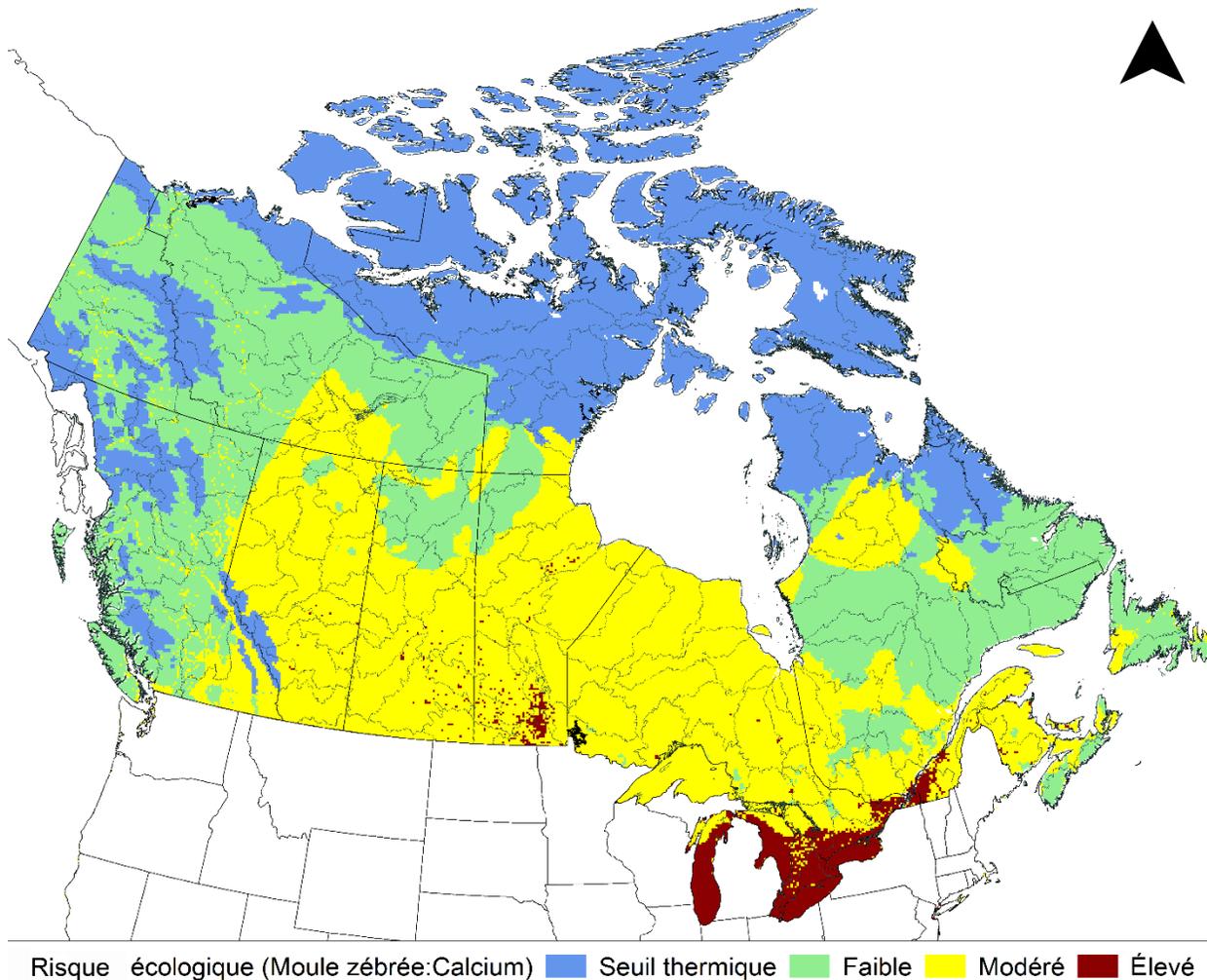


Figure 3. Risque écologique associé à la moule zébrée au Canada selon le modèle basé sur le calcium. Le risque est basé sur le potentiel d'invasion et les impacts écologiques. Étant donné que les impacts écologiques sont très élevés dans l'ensemble du Canada, la détermination finale du risque écologique représente des différences dans le potentiel d'invasion.

Moule quagga

À l'aide du modèle basé sur le calcium, le risque écologique associé à la moule quagga au Canada est généralement faible (figure 4). Les zones à risque écologique élevé sont situées dans le réseau des Grands Lacs laurentiens, ce qui correspond à la répartition actuelle connue de l'espèce. Il y avait également des zones distinctes à risque élevé au Nouveau-Brunswick et au Manitoba, en particulier autour du lac Winnipeg. On trouve des zones à risque écologique modéré dans la majeure partie de l'Ontario, dans le sud et le centre du Manitoba par le fleuve Nelson, dans le sud de l'Alberta et de la Saskatchewan, au sud de l'estuaire du Saint-Laurent au Québec, ainsi que dans les provinces maritimes, en particulier au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard. Contrairement à la moule zébrée, les zones à très faible risque en raison du seuil de température sont généralement limitées à l'archipel Arctique.

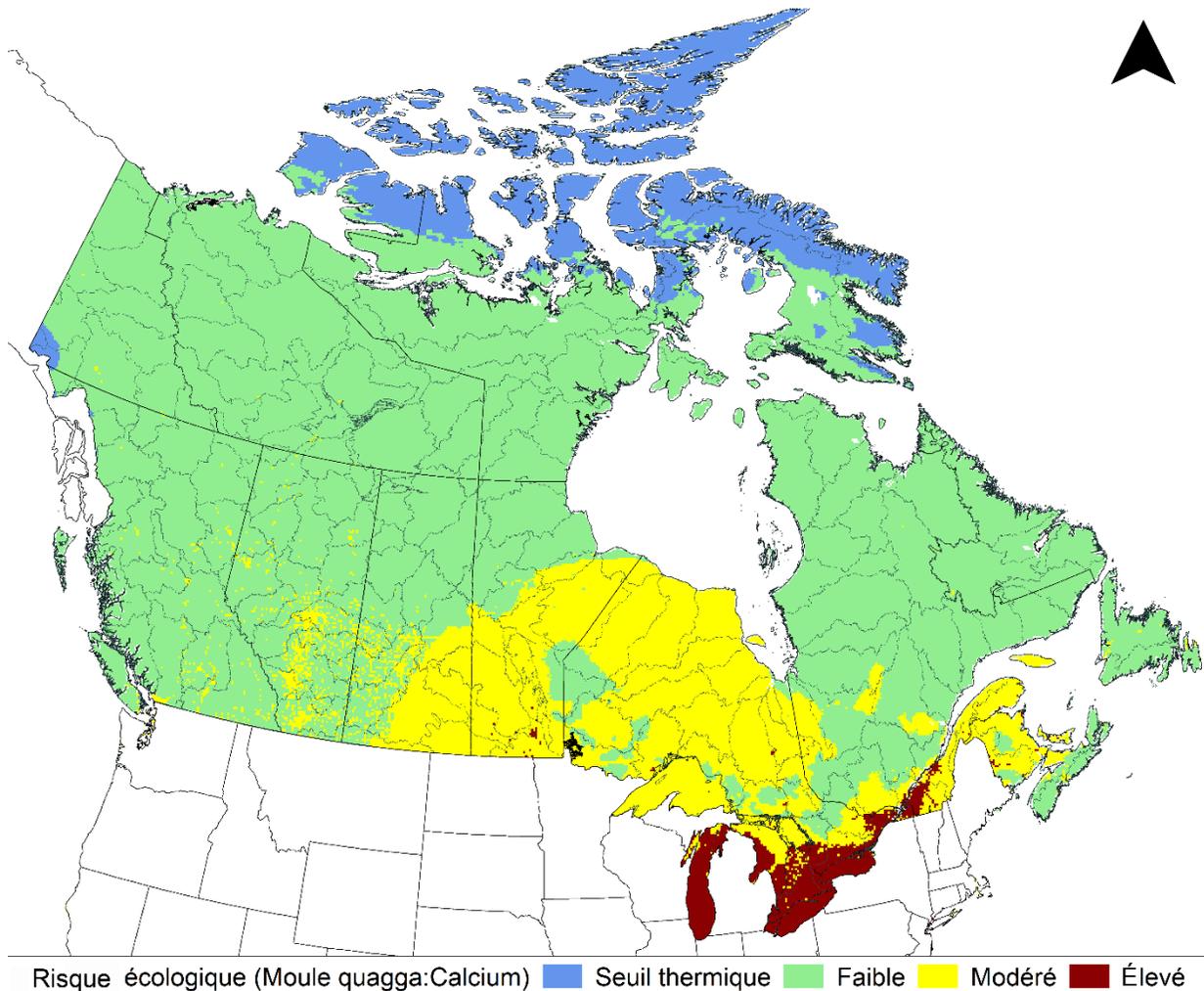


Figure 4. Risque écologique associé à la moule quagga au Canada selon le modèle basé sur le calcium. Le risque est basé sur le potentiel d'invasion et les impacts écologiques. Étant donné que les impacts écologiques sont très élevés dans l'ensemble du Canada, la détermination finale du risque écologique représente des différences dans le potentiel d'invasion.

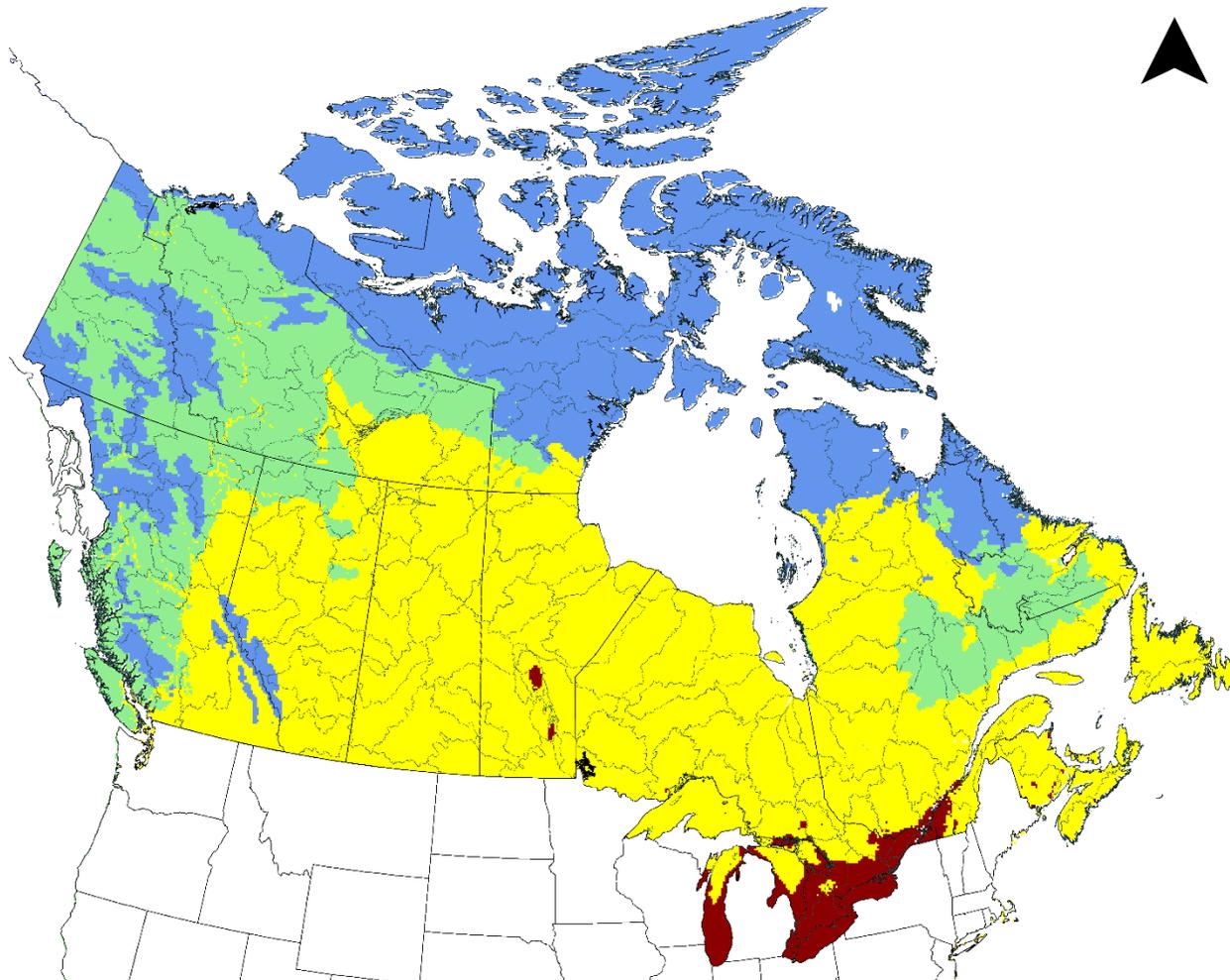
Modélisation d'habitat propices basé sur MaxEnt

Moule zébrée

D'après le modèle basé sur MaxEnt, le risque écologique associé à la moule zébrée était modéré dans la majeure partie du Canada, y compris dans la majeure partie de l'est du Canada et dans les provinces des Prairies (figure 5). Les zones à faible risque comprenaient les régions côtières et le nord de la Colombie-Britannique, le Yukon, les Territoires du Nord-Ouest, le nord-est du Québec et la majeure partie du Labrador. Les zones à risque élevé comprenaient la région des Grands Lacs laurentiens et les environs du lac Winnipeg (Manitoba), ce qui correspond à la répartition actuelle connue de cette espèce. Les limites de cette approche sont représentées par le fait que la rivière Rouge, le lac Manitoba et le fleuve Nelson ne sont pas présentés comme présentant un risque élevé dans les résultats du modèle où l'on sait que des moules zébrées sont présentes (figure 5). Plusieurs régions distinctes du Nouveau-Brunswick,

Région de la capitale nationale

qui sont à l'extérieur de la répartition actuelle de la moule zébrée au Canada, sont également à risque élevé. Le Labrador, les Territoires du Nord-Ouest, les régions septentrionales du Québec, la majeure partie du Nunavut et les régions montagneuses des provinces de l'Ouest sont en deçà du seuil de température et, par conséquent, présentent probablement un risque écologique très faible.



Risque écologique (Moule zébrée:MaxEnt) ■ Seuil thermique ■ Faible ■ Modéré ■ Élevé

Figure 5. Risque écologique associé à la moule zébrée au Canada selon le modèle d'habitat propices basé sur MaxEnt. Le risque est basé sur le potentiel d'invasion et les impacts écologiques. Étant donné que les impacts écologiques sont très élevés dans l'ensemble du Canada, la détermination finale du risque écologique représente des différences dans le potentiel d'invasion.

Moule quagga

En raison du niveau relativement faible d'habitats propices (potentiel d'invasion) révélée par le modèle basé sur MaxEnt et de la répartition limitée de cette espèce, le risque écologique associé à la moule quagga était faible pour la majeure partie du Canada (figure 6). Il existe des zones distinctes de risque modéré dans le sud de l'Alberta, le sud de la Colombie-Britannique, le Québec et le Nouveau-Brunswick. Le réseau des Grands Lacs laurentiens comprend des

Région de la capitale nationale

zones à risque modéré et à risque élevé, ce qui correspond à la répartition actuelle connue de cette espèce.

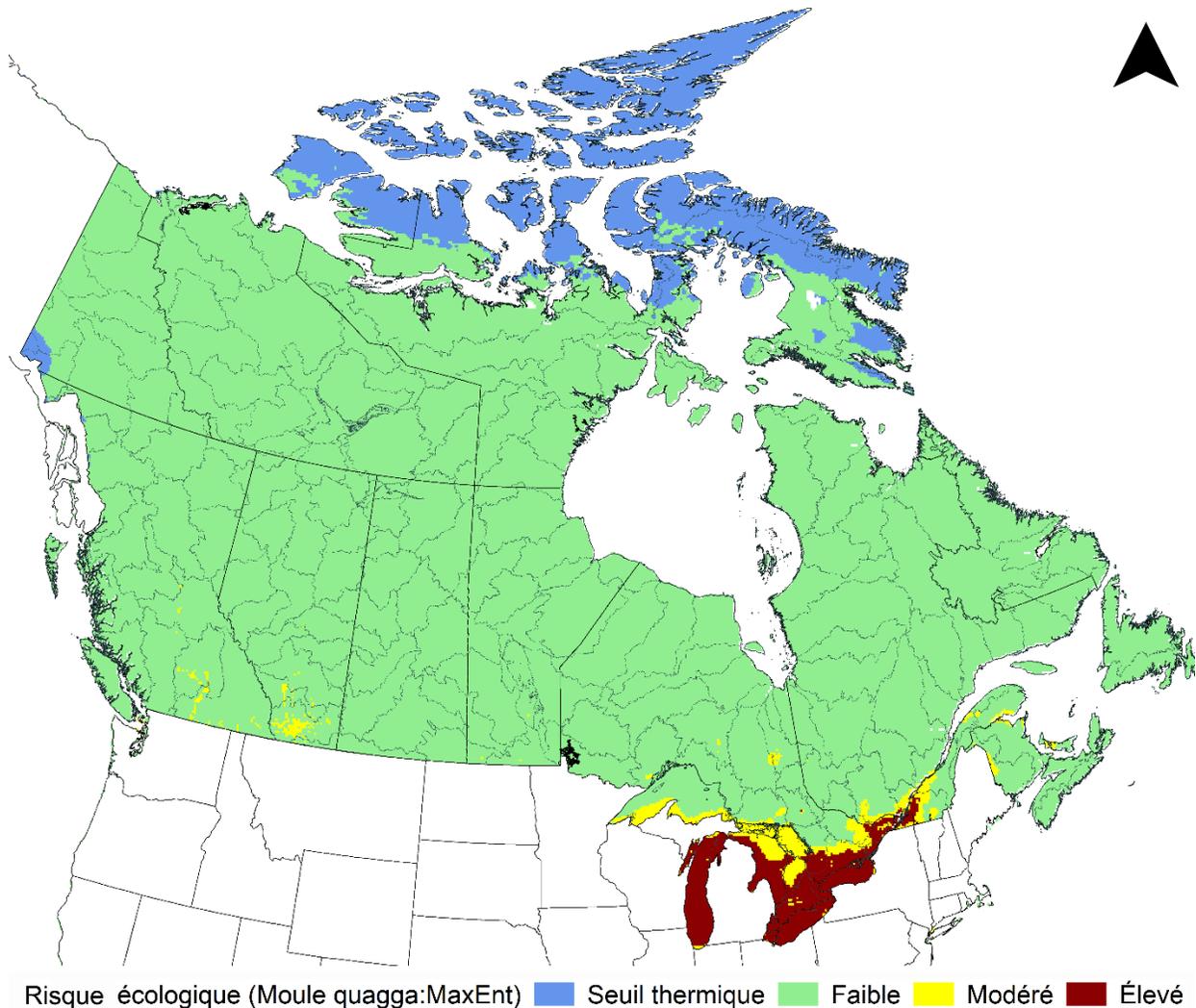


Figure 6. Risque écologique associé à la moule quagga au Canada selon le modèle d'habitat propices basé sur MaxEnt. Le risque est basé sur le potentiel d'invasion et les impacts écologiques. Étant donné que les impacts écologiques sont très élevés dans l'ensemble du Canada, la détermination finale du risque écologique représente des différences dans le potentiel d'invasion.

Sources d'incertitude

Tous les modèles sont intrinsèquement imparfaits et reposent sur les données et les hypothèses utilisées pour les élaborer. Les deux modèles d'habitat propices utilisés dans cette évaluation ne sont pas différents, et chacun comporte des biais, des forces et des faiblesses. Le modèle basé sur le calcium a utilisé des seuils biologiques pour les deux espèces tirées de la littérature afin de déterminer l'habitat propice partout au Canada. Il suppose que tous les habitats sont propices, sauf les zones à faible teneur en calcium et que les populations ne sont pas influencées par d'autres facteurs environnementaux ou biotiques (alimentation, oxygène, interactions entre les espèces, etc.), et il est indépendant de la répartition des espèces. Il est

Région de la capitale nationale

probable que les zones qui ne devraient pas être propices ne le soient pas, mais il existe une plus grande incertitude pour les zones qui devraient être propices, car la tendance dans cette approche est de surestimer l'habitat propice. En revanche, le modèle basé sur MaxEnt repose sur des corrélations entre les données sur l'occurrence des espèces et plusieurs variables environnementales (p. ex., calcium, pH, température et précipitations). Étant donné que l'invasion est toujours en cours, la répartition actuelle des espèces (1989-2021) pourrait ne pas représenter l'ensemble pleinement réalisé d'habitats propices que ces moules dreissénidées pourraient envahir. Par conséquent, les modèles basés sur l'entropie maximale pourraient sous-estimer les habitats propices. Les zones prévues comme étant très propices le sont probablement, mais il existe une plus grande incertitude lorsque l'on tient compte des zones qui devraient être moins propices.

Certaines régions comme l'Arctique, en particulier le Nunavut, les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et l'Alaska, étaient pauvres en données, ce qui a entraîné un degré plus élevé d'incertitude pour les interpolations du calcium et du pH. De plus, les résultats et les prévisions des modèles dépendent fortement de l'échelle utilisée des données, dans ce cas environ 100 km². La priorisation des efforts visant à produire des données environnementales à plus grande résolution améliorerait la résolution des évaluations futures tout en créant des couches de données qui pourraient être utilisées pour des évaluations semblables.

Il y a une variabilité considérable dans la littérature scientifique faisant état des tolérances environnementales des moules dreissénidées en raison de la variabilité des observations de leur empreinte géographique étendue et d'un certain nombre d'études de laboratoire qui ne reflètent pas nécessairement les conditions réelles sur le terrain. Il est important de noter qu'à l'échelle de cette évaluation des risques, il peut y avoir une variabilité considérable à l'intérieur d'une sous-aire de drainage. Cette variabilité est la plus grande source d'incertitude lorsqu'il s'agit de prévoir les habitats propices à l'échelle spatiale de la sous-aire de drainage utilisée dans cette évaluation des risques.

D'autres variables qui n'ont pas été incluses dans cette évaluation des risques pourraient avoir une incidence sur la répartition des moules zébrées et quaggas (p. ex., absence de couches de données spatiales sur la chlorophylle), et leur inclusion dans de futures évaluations des risques pourrait améliorer les prévisions d'habitats propices et des risques écologiques. De même, l'amélioration des données saisies (p. ex., température de l'eau *in situ* par rapport aux approximations de température de l'air) pourrait améliorer le rendement des modèles.

Étant donné la fréquence à laquelle les moules dreissénidées utilisent le transport terrestre pour se disperser (y compris sur de longues distances) et atteindre de nouveaux environnements, le potentiel d'introduction pourrait être sous-estimé. Le potentiel d'introduction calculé ici utilise des indicateurs de l'activité humaine et de la connectivité et n'inclut pas l'utilisation de l'habitat par l'humain (c.-à-d. l'attrait du site). Par conséquent, une mesure de l'attractivité pourrait améliorer les évaluations futures et servir de moyen de prioriser les sites de surveillance et de détection précoce, en particulier les zones à forte utilisation qui ont des habitats propices.

Les zones qui sont actuellement envahies ne se traduisent pas automatiquement par un risque élevé dans toute approche d'évaluation des risques. Il est difficile de déterminer comment chaque paramètre du processus d'invasion devrait être pondéré sans une compréhension de l'importance relative de chaque paramètre pour la composante connexe et de chaque composante à la probabilité globale de l'invasion et des impacts de l'invasion. Par exemple, l'indice de l'empreinte humaine et la mesure de la connectivité ont reçu une pondération égale

Région de la capitale nationale

dans le calcul du potentiel d'introduction, mais on ne sait pas si une mesure contribue plus à la probabilité d'une introduction que l'autre.

Les impacts de la moule zébrée et de la moule quagga sur les écosystèmes qu'elles envahissent ont été bien démontrés. Cependant, il est difficile de quantifier ces impacts à l'échelle du Canada, car leur ampleur varie sur le plan spatial et dépend de nombreux facteurs, y compris ceux liés à la taille et à l'étendue de la population de moules envahissantes et aux caractéristiques du milieu récepteur, y compris la présence d'espèces en péril. Les efforts futurs devraient viser à établir des indicateurs appropriés qui peuvent être appliqués à haute résolution et à l'échelle nationale afin de préciser les impacts écologiques propres aux cellules de grille.

CONCLUSIONS ET AVIS

Depuis leur introduction dans la région des Grands Lacs laurentiens dans les années 1980, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) se sont répandues dans toute l'Amérique du Nord et ont eu d'importants impacts écologiques sur les écosystèmes d'eau douce. Au Canada, la moule zébrée s'est par la suite répandue dans certains plans d'eau du Manitoba et du sud du Québec, tandis que la moule quagga ne s'est répandue que dans la région des Grands Lacs laurentiens (figures 1A et 1B). La réalisation d'une évaluation du risque écologique est un outil de gestion important qui permet d'être plus efficace et efficient pour informer, prévenir, prioriser et réagir aux espèces aquatiques envahissantes. À mesure que les invasions de moules zébrées et quaggas se poursuivent et que les facteurs environnementaux changent, le risque pour les écosystèmes aquatiques d'eau douce du Canada pourrait aussi changer au fil du temps et devra être réévalué. De plus, des nouvelles données et mises à jour ainsi que des nouvelles méthodes d'analyse pourraient améliorer les futures évaluations du risque.

La nouvelle évaluation a été menée à une résolution spatiale plus élevée (cellules de grille de 9 260 m sur 9 260 m à l'échelle du Canada), alors que l'évaluation précédente avait été menée au niveau de la sous-aire de drainage (MPO 2013). La nouvelle évaluation comprenait également toutes les provinces et tous les territoires, des données environnementales nouvelles et mises à jour et des renseignements sur la présence des espèces, ainsi que deux modèles différents d'habitat propices. Le risque écologique associé à la moule zébrée et à la moule quagga a été évalué en intégrant des mesures liées à l'introduction, à l'établissement et aux impacts écologiques. L'introduction a été évaluée en fonction d'une approximation de l'activité humaine (indice de l'empreinte humaine) et de la proximité aux plans d'eau envahis (mesure de la connectivité). L'établissement a été évalué au moyen de deux approches de modélisation pour caractériser les habitat propices. Étant donné que la moule zébrée et la moule quagga ont des impacts écologiques négatifs importants et bien documentés, il a été déterminé que les impacts sur les écosystèmes aquatiques d'eau douce du Canada étaient très élevés.

Cette évaluation a utilisé deux modèles d'habitat différents (basé sur le calcium et basé sur MaxEnt) pour chaque espèce, présentés à la fois au niveau des cellules de grille à haute résolution et résumés au niveau de la sous-aire de drainage à l'aide de deux mesures (valeur du risque écologique la plus élevée pour toute zone de la sous-aire de drainage [maximum] et valeur du risque écologique la plus commune dans la sous-aire de drainage [mode]). Selon la décision particulière et la tolérance au risque, les renseignements contenus dans cette évaluation peuvent être utilisés pour éclairer les mesures de gestion, y compris la détection précoce, la planification de l'intervention ou les mesures réglementaires et stratégiques visant à

Région de la capitale nationale

atténuer le risque posé par la moule zébrée et la moule quagga qui peuvent envahir les écosystèmes d'eau douce du Canada.

La nouvelle approche d'évaluation a révélé que toutes les provinces et tous les territoires ont des bassins versants présentant un risque écologique modéré ou élevé selon au moins un scénario pour la moule zébrée et la moule quagga (annexes A et B). Les zones à risque écologique plus élevé sont réparties le long des cours d'eau du sud du Canada, allant des provinces maritimes au sud de la Colombie-Britannique, les plus grandes zones à risque élevé se trouvant dans les Grands Lacs laurentiens et dans le sud et le centre du Manitoba (figures 3 à 6).

Les valeurs de risque écologique ne sont pas absolues. Ce n'est pas parce qu'une zone présente un faible risque que la moule zébrée et la moule quagga ne peuvent pas y être introduites, s'y établir ou y avoir des impacts écologiques; cela signifie plutôt que le risque d'impacts écologiques à la suite d'une invasion est plus faible par rapport aux zones à risque élevé (ou déjà envahies). Les deux espèces ont démontré qu'elles pouvaient être transportées sur de longues distances et dans des régions éloignées. De plus, l'évaluation du risque écologique présentée ici représente les conditions au moment de la rédaction (conditions environnementales et répartition connue en 2021). Si un plan d'eau (lac ou cours d'eau) est envahi par la moule zébrée ou la moule quagga, il faut supposer qu'il y a un risque très élevé d'invasion de tout plan d'eau connexe en aval en raison de la dispersion naturelle ainsi que des plans d'eau adjacents par les activités humaines.

Comme pour l'évaluation de 2012 et la présente nouvelle évaluation, les limites en terme de données ont entraîné un certain nombre d'incertitudes liées à la caractérisation du risque. De plus, il a été noté qu'il y avait des divergences entre la répartition connue des moules zébrées et quaggas (figures 1A et 1B) et la capacité du modèle à identifier celles-ci en utilisant les données fournies aux modèles et les paramètres des modèles (p. ex., centre du Manitoba). Des données géospatiales améliorées et élargies (p. ex., sur l'environnement, les espèces et les vecteurs d'introduction) amélioreront les évaluations futures du risque. L'information présentée dans le présent avis scientifique s'appuie sur l'avis scientifique antérieur (MPO 2013) et vise à améliorer davantage l'efficacité et l'efficacé de la réduction du risque posé par la moule zébrée et la moule quagga qui peuvent envahir les écosystèmes d'eau douce du Canada.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Rien n'indique que l'invasion par la moule zébrée et la moule quagga en Amérique du Nord soit terminée et que la répartition actuelle représente la répartition pleinement réalisée de ces deux espèces. Par conséquent, il est nécessaire d'affiner les nouvelles données au fur et à mesure que l'invasion se poursuit, y compris la mise à jour des données sur l'occurrence des espèces et l'amélioration de la couverture spatiale et temporelle pour les variables environnementales. Cette évaluation du risque devra être mise à jour régulièrement pour tenir compte de la nouvelle répartition de chaque espèce de moule dreissenidée, ce qui pourrait modifier le potentiel d'introduction en modifiant la mesure de la connectivité. Il faudrait également que le modèle d'habitats propices basé sur MaxEnt soit réutilisé à l'aide des nouvelles données sur la répartition, ce qui permettrait d'affiner les paramètres du modèle de façon à mieux refléter la gamme complète d'habitats propices à l'établissement.

Il faut une base de données nationale de données géoréférencées sur la qualité de l'environnement et de l'eau et sur la présence d'espèces envahissantes dans les écosystèmes aquatiques canadiens. Une telle base de données serait utile pour prédire la répartition

Région de la capitale nationale

potentielle des espèces aquatiques envahissantes et aiderait également à mieux comprendre les variables climatiques et leur incidence sur les espèces et les écosystèmes canadiens.

Une surveillance accrue de l'environnement, de la qualité de l'eau et des espèces envahissantes est nécessaire pour générer des données environnementales à plus haute résolution qui amélioreraient la résolution des futures évaluations tout en créant des couches de données qui pourraient être utilisées pour des évaluations semblables pour d'autres espèces.

Les données géospatiales sont nécessaires pour les principaux vecteurs d'introduction et de propagation, y compris le transport d'équipement nautique et d'embarcations, ainsi que le rôle du commerce électronique et du transport d'organismes aquatiques. Avant la détection de moules zébrées dans des boules de mousse associées au commerce des aquariums au Canada, ce vecteur aurait été complètement omis.

Le transport par l'humain de la moule zébrée et de la moule quagga, en particulier le transport terrestre d'embarcations et d'équipement nautique (sur de courtes et longues distances), est probablement le vecteur le plus important qui contribue à la propagation de ces espèces en Amérique du Nord. Il est recommandé que les évaluations futures visent à raffiner les mesures de connectivité à l'aide de renseignements à plus grande échelle sur les déplacements d'embarcations, particulièrement en ce qui concerne les réseaux envahis. Un tel ensemble de données pourrait être basé sur les données d'inspection des embarcations (comme celles disponibles pour l'Alberta, la Saskatchewan et le Manitoba), mais devrait être accessible à l'échelle nationale.

Les impacts écologiques de la moule zébrée et de la moule quagga ont été jugés très élevés. Bien qu'il soit probable que les impacts se situent à l'extrémité supérieure de l'échelle, il est également probable qu'elles varient spatialement et qu'elles dépendent du contexte à une petite échelle spatiale (celle des plans d'eau). Les travaux futurs pourraient inclure une analyse complète des impacts lorsque différents types d'impacts liés aux moules dreissénidées sont caractérisés spatialement et augmenteraient le potentiel de quantification des impacts écologiques. Par ailleurs, une évaluation à l'échelle nationale de la vulnérabilité générale de l'habitat, indiquant les zones plus sensibles aux perturbations, comme une invasion, pourrait être utilisée pour fournir une plus grande différenciation et potentiellement être utilisée conjointement avec l'information actuelle sur la répartition des espèces en péril (ou l'intégrer).

À l'heure actuelle, il n'existe pas d'ensembles de données indépendantes pour valider la pondération de chaque composante de cette évaluation du risque ni les deux modèles utilisés pour le potentiel d'établissement. Pour améliorer les futures évaluations de risques, la surveillance continue de l'expansion de la répartition des espèces pourrait fournir les données d'occurrence nécessaires pour déterminer l'importance relative des différentes mesures, valider les modèles futurs et améliorer l'exactitude des prévisions.

LISTE DES PARTICIPANTS À LA RÉUNION

Nom	Affiliation
Beck, Martina	Ministère de l'Intendance de l'eau, des terres et des ressources de la Colombie-Britannique
Brinsmead, Jeff	Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
Chu, Jackson	MPO, Sciences, région du Pacifique
Claudi, Renata	RNT Consulting Inc.

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Nom	Affiliation
Corbett, Emma	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador – ministère des Pêches, des Forêts et de l'Agriculture
Counihan, Tim	United States Geological Survey
Currie, Warren	MPO, Sciences, région de l'Ontario et des Prairies
DeBouver, Krista	Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick
Gill, Kim	Ministère des Pêches et des Communautés de l'Île-du-Prince-Édouard
Goldsmid, Jesica	MPO, Sciences, région du Québec
Guerin, Andrew	MPO, Sciences, région du Québec
Higgins, Scott	Institut international du développement durable, région des lacs expérimentaux
Janusz, Laureen	Ministère des Ressources naturelles et du Développement du Nord du Manitoba.
Jeffery, Nick	MPO, Sciences, région des Maritimes
Karatayev, Alexander	Buffalo State College
Kimmel, Nicole	Ministère de l'Agriculture et du Développement rural de l'Alberta
King, Joshua	MPO, Sciences, région de la capitale nationale
Kingsbury, Sarah	MPO, Gestion des écosystèmes, région des Maritimes
Koops, Marten	MPO, Sciences, région de l'Ontario et des Prairies
Lowen, Ben	MPO, Sciences, région des Maritimes
Sargent, Philip	MPO, Sciences, région de Terre-Neuve-et-Labrador
Settingington, Lisa	MPO, Secrétariat canadien des avis scientifiques, région de la capitale nationale
Shead, Justin	MPO, Secrétariat canadien des avis scientifiques, région de l'Ontario et des Prairies
Spearin, Brendan	MPO, Gestion des écosystèmes, région de l'Ontario et des Prairies
Tita, Guglielmo	MPO, Sciences, région de la capitale nationale
Therriault, Thomas	MPO, Sciences, région du Pacifique
Tuen, Alex	MPO, Secrétariat canadien des avis scientifiques, région de la capitale nationale
Weise, Andréa	MPO, Sciences, région du Québec
Whittier, Thom	Université de l'Oregon
Wilcox, Mark Allan	MPO, Sciences, région du Pacifique

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de l'examen par les pairs national sur l'évaluation nationale des risques liés aux espèces aquatiques envahissantes (EAE) pour les moules zébrées et quaggas, mise à jour de 2022, qui a eu lieu du 4 au 7 avril 2022. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

Mackie, G.L., and Claudi, R. 2010. Monitoring and control of macrofouling mollusks in freshwater systems, Second Edition. CRC Press, Boca Raton, FL. 508 p.

- MPO. 2013. [Avis scientifique découlant de l'évaluation des risques posés par trois espèces de moules dreissénidées \(*Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis* et *Mytilopsis leucophaeata*\) dans les écosystèmes d'eau douce au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/082
- Natural Resources Canada. 2016. "[Atlas of Canada 1,000,000 National Frameworks Data, Hydrology - Fundamental Drainage Areas](#)", 10.5203/ze9g-4t83, Canadian Watershed Information Network, V1.
- Peyer, S.M., Hermanson, J.C., and Lee, C.E. 2010. [Developmental plasticity of shell morphology of quagga mussels from shallow and deep-water habitats of the Great Lakes](#). J. Exp. Biol. 213:2601-2609.
- Pollux, B.J.A., van der Velde, G., and bij de Vaate, A. 2010. A perspective on global spread of *Dreissena polymorpha*: a review on possibilities and limitations. In: Van der Velde, G., Rajagopal, S., and Bij de Vaate, A. (eds). The Zebra Mussel in Europe. Backhuys Publishers, Leiden/Margraf Publishers, Weikersheim, pp 45-58.
- Stefan, H.G. and Preud'homme, E.B. 1993. Stream temperature estimation from air temperature. J. Am. Water Resour. As. 29, 27–45.
- Therriault, T. W., and Herborg, L-M 2008. A qualitative biological risk assessment for vase tunicate *Ciona intestinalis* in Canadian waters: using expert knowledge. ICES J. Mar. Sci. 65:781-787.
- Therriault, T.W., Weise, A.M., Higgins S.N., Guo, S. et Duhaime, J. 2013. [Évaluation des risques posés par trois espèces de moules dreissénidées \(*Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis* et *Mytilopsis leucophaeata*\) dans les écosystèmes d'eau douce au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2012/174. v + 99 p.
- Whittier, T.R., Ringold, R.L., Herlihy, A.T., and S.M. Pierson. 2008. A calcium-based invasion risk assessment for zebra and quagga mussels (*Dreissena* spp). Front. Ecol. Environ. 6:180-184.
- Wilcox, M.A., Weise, A.M., Guerin, A.J., Chu, J.W.F., et Therriault, T.W. 2024. [Évaluation nationale des risques liés aux espèces aquatiques envahissantes pour les moules zébrées \(*Dreissena polymorpha*\) et quaggas \(*Dreissena rostriformis bugensis*\), avril 2022](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/008. iv + 92 p.
- van der Velde, G., Rajagopal, S., and bij de Vaate, A. (eds.) 2010. The Zebra Mussel in Europe. Backhuys Publishers, Leiden/Margraf Publishers, Weikersheim, pp
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K.R., Possingham, H.P., Laurance, W.F., Wood, P., Fekete, B.M., Levy, M.A., and Watson, J. E. 2018. [Last of the Wild Project, Version 3 \(LWP-3\): 2009 Human Footprint, 2018 Release](#). Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Accessed 11 November 2021.

ANNEXES

Annexe A : Résumé du risque écologique (mode et maximum) par sous-aire de drainage associé à la moule zébrée selon le modèle d'habitat propices basé sur le calcium et celui basé sur MaxEnt.

Pour chacune des deux approches de modélisation (modèle d'habitat propices basé sur le calcium et celui basé sur MaxEnt), les valeurs du risque écologique associé à la moule zébrée (figure A1-2, tableau A1) ont été attribuées à chaque sous-aire de drainage représentant le mode (valeur du risque écologique la plus courante), et les valeurs de risque maximal des cellules de grille à l'intérieur de cette sous-aire de drainage. Les désignations de sous-aire de drainage (codes et noms) de l'Atlas du Canada (Ressources naturelles Canada 2016) se trouvent dans Wilcox et al. 2024. Il convient de mentionner que la sous-aire de drainage 020 (Grands Lacs et Saint-Laurent) comprend à la fois des habitats d'eau douce et des habitats marins; cependant, les habitats marins ne conviennent pas aux deux espèces et, par conséquent, le risque ne devrait être appliqué qu'aux zones d'eau douce de cette sous-aire de drainage.

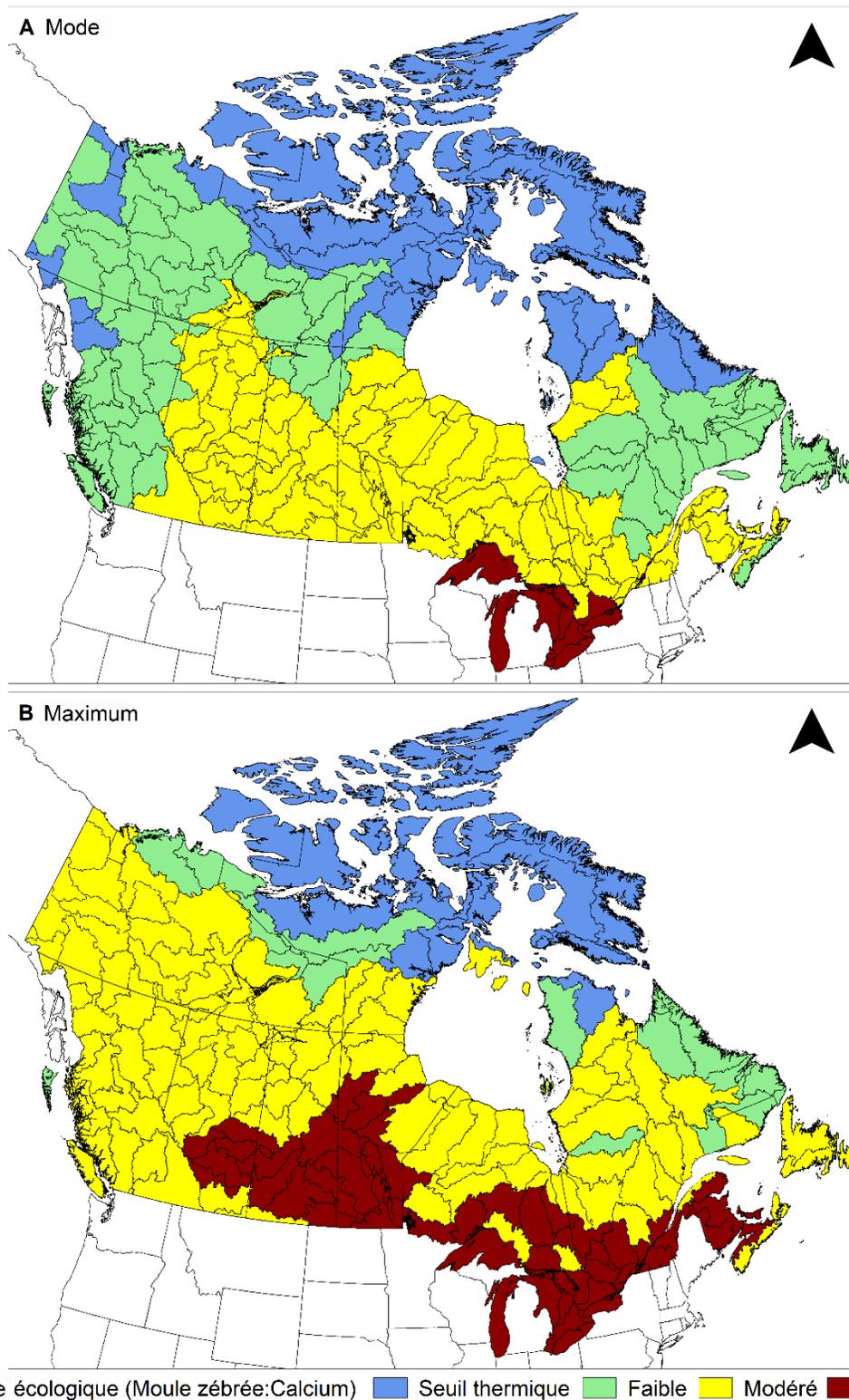


Figure A1. Mode (A) et maximum (B) du risque écologique associé à la moule zébrée par sous-aire de drainage au Canada selon le modèle basé sur le calcium.

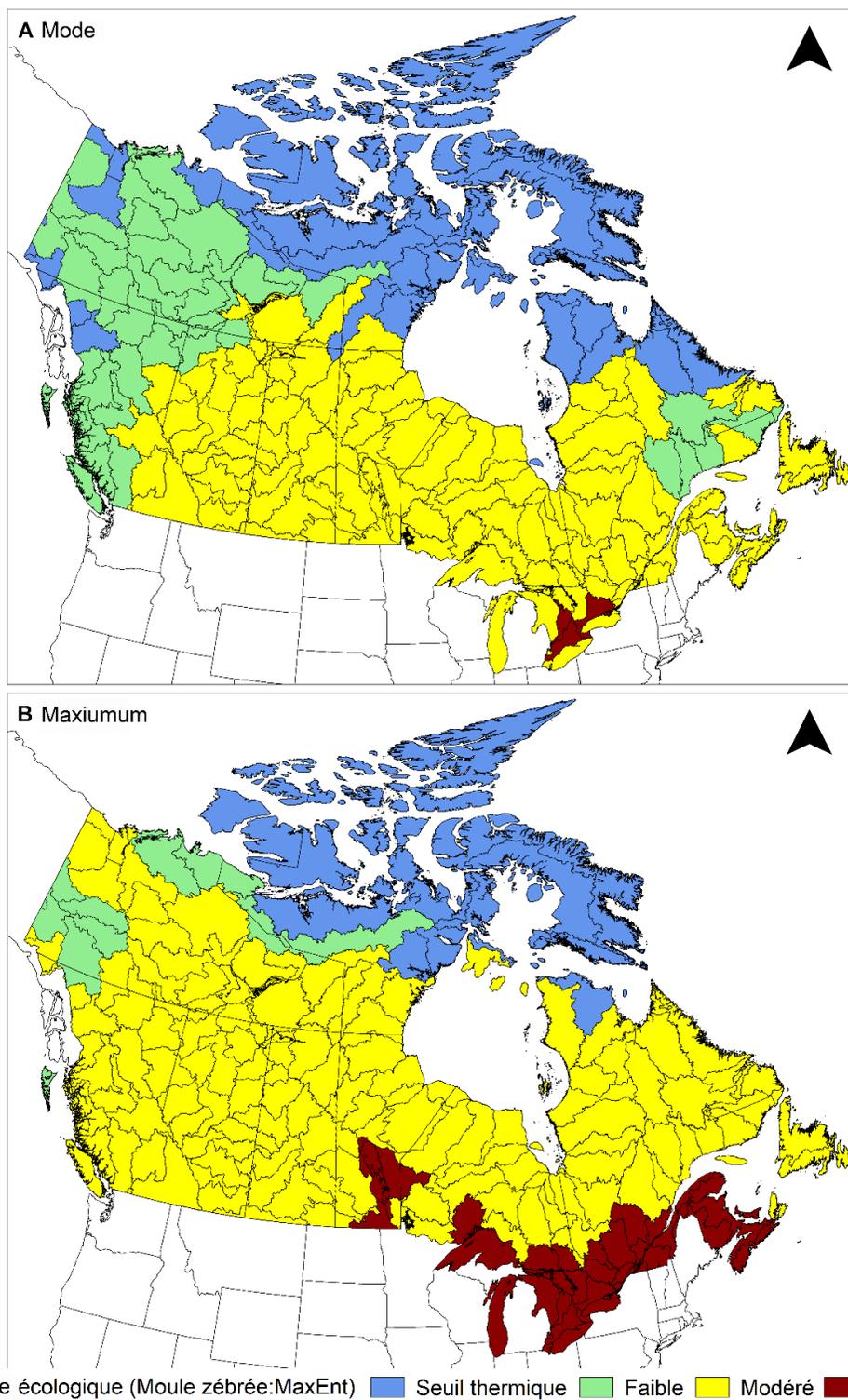


Figure A2. Mode (A) et maximum (B) du risque écologique associé à la moule zébrée par sous-aire de drainage au Canada selon le modèle d'habitat propices basé sur MaxEnt.

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Tableau A1. Résumé du risque écologique (mode et maximum) par sous-aire de drainage associé à la moule zébrée selon les modèles d'habitat propices basés sur le calcium et sur MaxEnt.

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
N.-B. et Qc	01A	Fleuve Saint-Jean et sud de la baie de Fundy (N.-B.)	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
N.-B. et Qc	01B	Golfe du Saint-Laurent et nord de la baie de Fundy (N.-B.)	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Î.-P.-É.	01C	Île-du-Prince-Édouard	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
N.-É.	01D	Baie de Fundy et golfe du Saint-Laurent (N.-É.)	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
N.-É.	01E	Sud-est de l'océan Atlantique (N.-É.)	Faible	Modéré	Modéré	Élevé
N.-É.	01F	Île du Cap-Breton	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Qc et Ont.	020	Grands Lacs et fleuve Saint-Laurent	Élevé	Élevé	Modéré	Élevé
Ont.	02A	Nord-ouest du lac Supérieur	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Ont.	02B	Nord-est du lac Supérieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont.	02C	Nord du lac Huron	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Ont.	02D	Wanipitai et French (Ont.)	Modéré	Modéré	Modéré	Élevé
Ont.	02E	Est de la baie Georgienne	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Ont.	02F	Est du lac Huron	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Ont.	02G	Nord du lac Érié	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Ont.	02H	Lac Ontario et péninsule du Niagara	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Qc et Ont.	02J	Cours supérieur de la rivière des Outaouais	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Qc et Ont.	02K	Cours moyen de la rivière des Outaouais	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Qc et Ont.	02L	Cours inférieur de la rivière des Outaouais	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Qc et Ont.	02M	Cours supérieur du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Qc	02N	Saint-Maurice	Faible	Modéré	Modéré	Élevé

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Qc	02O	Cours moyen du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Qc	02P	Cours inférieur du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
N.-B. et Qc	02Q	Nord de la péninsule de la Gaspésie	Modéré	Modéré	Modéré	Élevé
Qc	02R	Saguenay	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Qc	02S	Betsiamites – côte	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Qc	02T	Manicouagan et aux Outardes	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Qc	02U	Moisie et estuaire du Saint-Laurent	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.-N.-L. et Qc	02V	Golfe du St-Laurent – Romaine	Faible	Faible	Faible	Modéré
T.-N.-L. et Qc	02W	Golfe du St-Laurent – Natashquan	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
T.-N.-L. et Qc	02X	Petit Mécatina et détroit de Belle Isle	Faible	Faible	Faible	Modéré
T.-N.-L.	02Y	Nord de Terre-Neuve	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
T.-N.-L.	02Z	Sud de Terre-Neuve	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Qc	03A	Nottaway – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Qc et Nt	03B	Broadback et Rupert	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Qc	03C	Eastmain	Faible	Faible	Modéré	Modéré
Qc et Nt	03D	La Grande – côte	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Qc et Nt	03E	Grande rivière de la Baleine – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Qc et Nt	03F	Est de la baie d'Hudson	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Qc et Nt	03G	Nord-est de la baie d'Hudson	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Modéré
Qc et Nt	03H	Ouest de la baie d'Ungava	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Qc et Nt	03J	Aux Feuilles – côte	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
Qc	03K	Koksoak	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Qc	03L	Caniapiscau	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
T.-N.-L., Qc et Nt	03M	Est de la baie d'Ungava	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Modéré
T.-N.-L., Qc et Nt	03N	Nord du Labrador	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
T.-N.-L.	03O	Churchill (T.-N.)	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.-N.-L.	03P	Centre du Labrador	Faible	Faible	Modéré	Modéré
T.-N.-L.	03Q	Sud du Labrador	Faible	Faible	Modéré	Modéré
Ont. et Man.	04A	Hayes (Man.)	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Man.	04B	Sud-ouest de la baie d'Hudson	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Man.	04C	Severn	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont.	04D	Winisk – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Nt	04E	Ekwan – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Nt	04F	Attawapiskat – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont.	04G	Cours supérieur de l'Albany	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Nt	04H	Cours inférieur de l'Albany – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont.	04J	Kenogami	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Ont.	04K	Moose (Ont.)	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont.	04L	Missinaibi-Mattagami	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Qc et Ont.	04M	Abitibi	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Qc et Ont.	04N	Harricanaw – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Man.	050	Lac Winnipeg	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Sask. et Alb.	05A	Cours supérieur de la Saskatchewan Sud	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	05B	Bow	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	05C	Red Deer	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Alb.	05D	Cours supérieur de la Saskatchewan Nord	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	05E	Cours moyen de la Saskatchewan Nord	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	05F	Battle	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	05G	Cours inférieur de la Saskatchewan Nord	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	05H	Cours inférieur de la Saskatchewan Sud	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	05J	Qu'Appelle	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	05K	Saskatchewan	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Man. et Sask.	05L	Lac Winnipegosis et lac Manitoba	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	05M	Assiniboine	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	05N	Souris	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man.	05O	Rouge	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Ont. et Man.	05P	Winnipeg	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Ont.	05Q	English	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Ont. et Man.	05R	Est du lac Winnipeg	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Man.	05S	Ouest du lac Winnipeg	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé
Man.	05T	Grass et Burntwood	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man.	05U	Nelson	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	06A	Beaver (Alb. et Sask.)	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	06B	Cours supérieur du fleuve Churchill (Man.)	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask.	06C	Cours moyen du fleuve Churchill (Man.) – cours supérieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	06D	Reindeer	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Man. et Sask.	06E	Cours moyen du Churchill (Man.) – cours inférieur	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré
Man. et Nt	06F	Cours inférieur du fleuve Churchill (Man.)	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Man. et Nt	06G	Seal – côte	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Man., Sask., Nt	06H	Ouest de la baie d'Hudson – sud	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
T.N.-O. et Nt	06J	Thelon	Faible	Faible	Faible	Modéré
T.N.-O. et Nt	06K	Dubawnt	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Man., Sask., T.N.-O. et Nt	06L	Rivière Kazan	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
Nt	06M	Inlet Chesterfield	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	06N	Ouest de la baie d'Hudson – centre	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
Nt	06O	Ouest de la baie d'Hudson – nord	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	06P	Baie d'Hudson – île Southampton	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Nt	06Q	Bassin Foxe – île Southampton	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	06R	Bassin Foxe – péninsule Melville	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	06S	Bassin Foxe – île de Baffin	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	06T	Détroit d'Hudson – îles de Baffin et Southampton	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
T.N.-O.	070	Grand lac des Esclaves	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	071	Lac Athabasca	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	07A	Cours supérieur de l'Athabasca	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	07B	Cours moyen de l'Athabasca – cours supérieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	07C	Cours moyen de l'Athabasca – cours inférieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	07D	Cours inférieur de l'Athabasca	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
C.-B.	07E	Lac Williston	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb. et C.-B.	07F	Cours supérieur de la rivière de la Paix	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Alb. et C.-B.	07G	Smoky	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	07H	Cours moyen de la rivière de la Paix – cours supérieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	07J	Cours moyen de la rivière de la Paix – cours inférieur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb.	07K	Cours inférieur de la rivière de la Paix	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et T.N.-O.	07L	Fond-du-Lac	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Sask. et Alb.	07M	Lac Athabasca – rivages	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
Alb., T.N.-O.	07N	Esclaves	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
Alb., C.-B. et T.N.-O.	07O	Hay	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
Alb. et T.N.-O.	07P	Sud du Grand lac des Esclaves	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
Sask., Alb. et T.N.-O.	07Q	Grand lac des Esclaves – bras est, rive sud	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
T.N.-O.	07R	Lockhart	Faible	Faible	Faible	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
T.N.-O.	07S	Nord-est du Grand lac des Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	07T	Marian	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb., C.-B. et T.N.-O.	07U	Ouest du Grand lac des Esclaves	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
C.-B. et Yn	08A	Alsek	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
C.-B.	08B	Eaux côtières du Nord de la Colombie-Britannique	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
C.-B.	08C	Stikine – côte	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
C.-B.	08D	Nass – côte	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08E	Skeena – côte	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08F	Eaux côtières du centre de la Colombie-Britannique	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08G	Eaux côtières du sud de la Colombie-Britannique	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08H	Île de Vancouver	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08J	Nechako	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08K	Cours supérieur du Fraser	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
C.-B.	08L	Thompson	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
C.-B.	08M	Cours inférieur du Fraser	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08N	Columbia – États-Unis	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
C.-B.	08O	îles de la Reine-Charlotte	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B.	08P	Skagit	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
C.-B. et Yn	9A	Eaux en amont du Yukon	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09B	Pelly	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09C	Cours supérieur du Yukon	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09D	Stewart	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09E	Cours moyen du Yukon	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09F	Porcupine	Faible	Modéré	Faible	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Yn	09H	Tanana	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Faible
Yn	09M	Copper	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
T.N.-O.	100	Delta du fleuve Mackenzie (chenal principal)	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B., Yn	10A	Cours supérieur de la Liard	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B. et Yn	10B	Cours moyen de la Liard	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb. et C.-B.	10C	Fort Nelson	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb., C.-B., Yn et T.N.-O.	10D	Cours moyen de la Liard – Petitot	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10E	Cours inférieur de la Liard	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10F	Cours supérieur du Mackenzie – lac Mills	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10G	Cours supérieur du Mackenzie – courbe dans la Camsell	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10H	Cours moyen du Mackenzie – lac Blackwater	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O. et Nt	10J	Grand lac de l'Ours	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10K	Cours moyen du Mackenzie – The Ramparts	Faible	Modéré	Faible	Modéré
T.N.-O.	10L	Cours inférieur du Mackenzie	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Yn et T.N.-O.	10M	Peel et sud-ouest de la mer de Beaufort	Seuil thermique	Modéré	Seuil thermique	Modéré
T.N.-O.	10N	Sud de la mer de Beaufort	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10O	Golfe Amundsen	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
T.N.-O. et Nt	10P	Coppermine	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
Nt	10Q	Baie du Couronnement – golfe de la Reine-Maud	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
T.N.-O. et Nt	10R	Back	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
Nt	10S	Golfe de Boothia	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
T.N.-O. et Nt	10T	Sud de l'archipel Arctique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Nt	10U	Île de Baffin – hydrographie de l'Arctique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
T.N.-O. et Nt	10V	Nord de l'archipel Arctique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Sask. et Alb.	11A	Missouri	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré

Annexe B : Résumé du risque écologique (mode et maximum) par sous-aire de drainage associé à la moule quagga selon le modèle d'habitat propices basé sur le calcium et celui basé sur MaxEnt.

Pour chacune des deux approches de modélisation (modèle d'habitat propices basé sur le calcium et celui basé sur MaxEnt), les valeurs du risque écologique associé à la moule quagga (figure B1-2, tableau B1) ont été attribuées à chaque sous-aire de drainage représentant le mode (valeur du risque écologique la plus courante), et les valeurs de risque maximal des cellules de grille à l'intérieur de cette sous-aire de drainage. Les désignations de sous-aire de drainage (codes et noms) de l'Atlas du Canada (Ressources naturelles Canada 2016) se trouvent dans Wilcox et al. 2024. Il convient de mentionner que la sous-aire de drainage 020 (Grands Lacs et Saint-Laurent) comprend à la fois des habitats d'eau douce et des habitats marins; cependant, les habitats marins ne conviennent pas aux deux espèces et, par conséquent, le risque ne devrait être appliqué qu'aux zones d'eau douce de cette sous-aire de drainage.

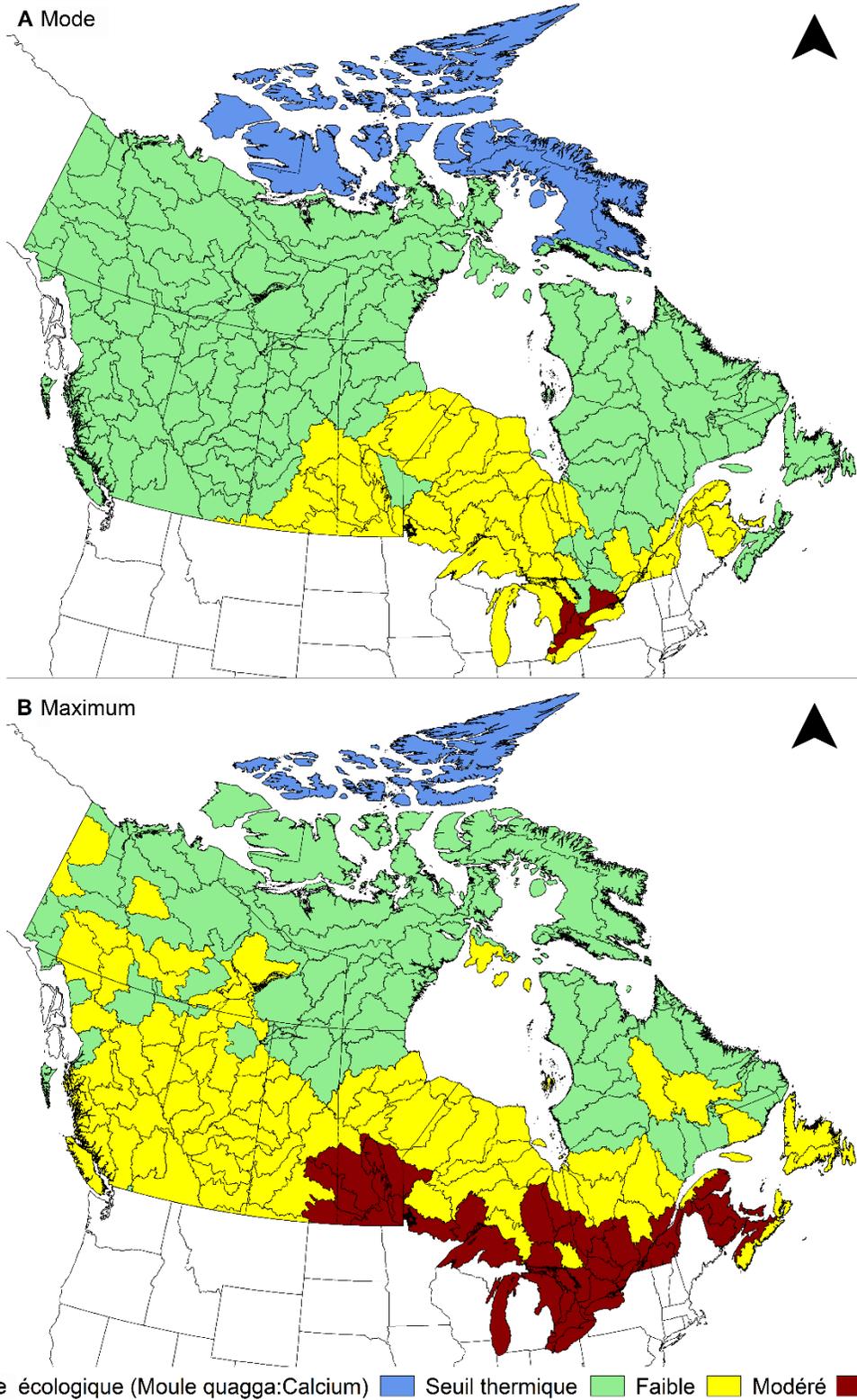


Figure B1. Mode (A) et maximum (B) du risque écologique associé à la moule quagga par sous-aire de drainage au Canada selon le modèle basé sur le calcium.

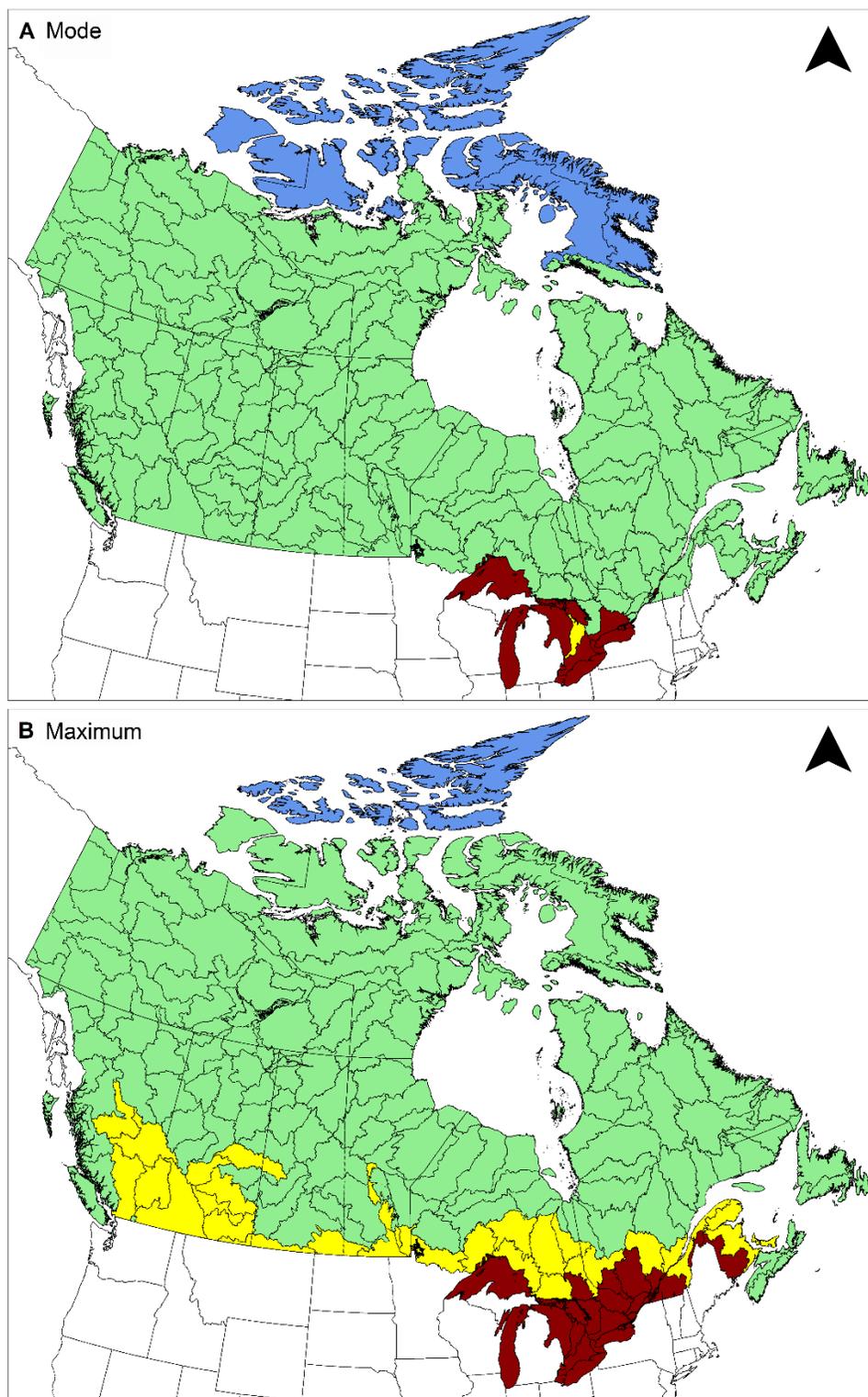


Figure B2. Mode (A) et maximum (B) du risque écologique associé à la moule quagga par sous-aire de drainage au Canada selon le modèle d'habitats propices basé sur MaxEnt.

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Tableau B1. Résumé du risque écologique (mode et maximum) par sous-aire de drainage associé à la moule quagga selon les modèles d'habitat propices basés sur le calcium et l'entropie maximale.

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
N.-B. et Qc	01A	Fleuve Saint-Jean et sud de la baie de Fundy (N.-B.)	Modéré	Élevé	Faible	Élevée
N.-B. et Qc	01B	Golfe du Saint-Laurent et nord de la baie de Fundy (N.-B.)	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Î.-P.-É.	01C	Île-du-Prince-Édouard	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
N.-É.	01D	Baie de Fundy et golfe du Saint-Laurent (N.-É.)	Faible	Élevée	Faible	Faible
N.-É.	01E	Sud-est de l'océan Atlantique (N.-É.)	Faible	Modéré	Faible	Faible
N.-É.	01F	Île du Cap-Breton	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc et Ont.	020	Grands Lacs et fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Élevé	Élevé
Ont.	02A	Nord-ouest du lac Supérieur	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Ont.	02B	Nord-est du lac Supérieur	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
Ont.	02C	Nord du lac Huron	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Ont.	02D	Wanipitai et French (Ont.)	Modéré	Modéré	Faible	Élevé
Ont.	02E	Est de la baie Georgienne	Faible	Élevé	Faible	Élevé
Ont.	02F	Est du lac Huron	Élevé	Élevé	Modéré	Élevé
Ont.	02G	Nord du lac Érié	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Ont.	02H	Lac Ontario et péninsule du Niagara	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Qc et Ont.	02J	Cours supérieur de la rivière des Outaouais	Faible	Élevée	Faible	Modéré
Qc et Ont.	02K	Ottawa Centre	Faible	Élevée	Faible	Élevée
Qc et Ont.	02L	Cours inférieur de la rivière des Outaouais	Modéré	Élevé	Faible	Élevée
Qc et Ont.	02M	Cours supérieur du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Faible	Élevée
Qc	02N	Saint-Maurice	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Qc	02O	Cours moyen du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Faible	Élevée
Qc	02P	Cours inférieur du fleuve Saint-Laurent	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
N.-B. et Qc	02Q	Nord de la péninsule de la Gaspésie	Modéré	Modéré	Faible	Modéré

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Qc	02R	Saguenay	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc	02S	Betsiamites – côte	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc	02T	Manicouagan et aux Outardes	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc	02U	Moisie et estuaire du Saint-Laurent	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L. et Qc	02V	Golfe du St-Laurent – Romaine	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L. et Qc	02W	Golfe du St-Laurent – Natashquan	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.-N.-L. et Qc	02X	Petit Mécatina et détroit de Belle Isle	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L.	02Y	Nord de Terre-Neuve	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.-N.-L.	02Z	Sud de Terre-Neuve	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc	03A	Nottaway – côte	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc et Nt	03B	Broadback et Rupert	Faible	Modéré	Faible	Faible
Qc	03C	Eastmain	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03D	La Grande – côte	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03E	Grande rivière de la Baleine – côte	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03F	Est de la baie d'Hudson	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03G	Automne	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03H	Ouest de la baie d'Ungava	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc et Nt	03J	Aux Feuilles – côte	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc	03K	Koksoak	Faible	Faible	Faible	Faible
Qc	03L	Caniapiscau	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.-N.-L., Qc et Nt	03M	Est de la baie d'Ungava	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L., Qc et Nt	03N	Nord du Labrador	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L.	03O	Churchill (T.-N.)	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.-N.-L.	03P	Centre du Labrador	Faible	Faible	Faible	Faible
T.-N.-L.	03Q	Sud du Labrador	Faible	Faible	Faible	Faible
Ont. et Man.	04A	Hayes (Man.)	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont. et Man.	04B	Sud-ouest de la baie d'Hudson	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont. et Man.	04C	Severn	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont.	04D	Winisk – Côte	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont. et Nt	04E	Ekwan – Côte	Modéré	Modéré	Faible	Faible

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Ont. et Nt	04F	Attawapiskat – côte	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont.	04G	Cours supérieur de l'Albany	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont. et Nt	04H	Cours inférieur de l'Albany – côte	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont.	04J	Kenogami	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
Ont.	04K	Moose (Ont.)	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont.	04L	Missinaibi-Mattagami	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Qc et Ont.	04M	Abitibi	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Qc et Ont.	04N	Harricanaw – Côte	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Man.	050	Lac Winnipeg	Modéré	Élevé	Faible	Faible
Sask. et Alb.	05A	Cours supérieur de la Saskatchewan Sud	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb.	05B	Bow	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Sask. et Alb.	05C	Red Deer	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Alb.	05D	Cours supérieur de la Saskatchewan Nord	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Sask. et Alb.	05E	Cours moyen de la Saskatchewan Nord	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Sask. et Alb.	05F	Battle	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	05G	Cours inférieur de la Saskatchewan Nord	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	05H	Cours inférieur de la Saskatchewan Sud	Faible	Modéré	Faible	Faible
Man. et Sask.	05J	Qu'Appelle	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Man. et Sask.	05K	Saskatchewan	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Man. et Sask.	05L	Lac Winnipegosis et lac Manitoba	Modéré	Élevé	Faible	Faible
Man. et Sask.	05M	Assiniboine	Modéré	Élevé	Faible	Faible
Man. et Sask.	05N	Souris	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Man.	05O	Rouge	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Ont. et Man.	05P	Winnipeg	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Ont.	05Q	English	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Ont. et Man.	05R	Est du lac Winnipeg	Faible	Élevée	Faible	Faible
Man.	05S	Ouest du lac Winnipeg	Modéré	Élevé	Faible	Modéré
Man.	05T	Grass et Burntwood	Faible	Modéré	Faible	Faible

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Man.	05U	Nelson	Modéré	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	06A	Beaver (Alb. et Sask.)	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	06B	Cours supérieur du fleuve Churchill (Man.)	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask.	06C	Cours moyen du fleuve Churchill (Man.) – cours supérieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Man. et Sask.	06D	Reindeer	Faible	Faible	Faible	Faible
Man. et Sask.	06E	Cours moyen du fleuve Churchill (Man.) – cours inférieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Man. et Nt	06F	Cours inférieur du fleuve Churchill (Man.)	Faible	Modéré	Faible	Faible
Man. et Nt	06G	Seal – côte	Faible	Faible	Faible	Faible
Man., Sask., Nt	06H	Ouest de la baie d'Hudson – sud	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	06J	Thelon	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	06K	Dubawnt	Faible	Faible	Faible	Faible
Man., Sask., T.N.-O. et Nt	06L	Rivière Kazan	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06M	Inlet Chesterfield	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06N	Ouest de la baie d'Hudson – centre	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06O	Ouest de la baie d'Hudson – nord	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06P	Baie d'Hudson – île Southampton	Faible	Modéré	Faible	Faible
Nt	06Q	Bassin Foxe – île Southampton	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06R	Bassin Foxe – péninsule Melville	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	06S	Bassin Foxe – île de Baffin	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
Nt	06T	Détroit d'Hudson – îles de Baffin et Southampton	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	070	Grand lac des Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	071	Lac Athabasca	Faible	Faible	Faible	Faible
Alb.	07A	Cours supérieur de l'Athabasca	Faible	Modéré	Faible	Faible

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
Alb.	07B	Cours moyen de l'Athabasca – cours supérieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	07C	Cours moyen de l'Athabasca – cours inférieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask. et Alb.	07D	Cours inférieur de l'Athabasca	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B.	07E	lac Williston	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb. et C.-B.	07F	Cours supérieur de la rivière de la Paix	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb. et C.-B.	07G	Smoky	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb.	07H	Cours moyen de la rivière de la Paix – cours supérieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb.	07J	Cours moyen de la rivière de la Paix – cours inférieur	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb.	07K	Cours inférieur de la rivière de la Paix	Faible	Faible	Faible	Faible
Sask. et T.N.-O.	07L	Fond-du-Lac	Faible	Faible	Faible	Faible
Sask. et Alb.	07M	Lac Athabasca – Rives	Faible	Faible	Faible	Faible
Alb., T.N.-O.	07N	Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb., C.-B. et T.N.-O.	07O	Hay	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb. et T.N.-O.	07P	Sud du Grand lac des Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Faible
Sask., Alb. et T.N.-O.	07Q	Grand lac des Esclaves – bras est, rive sud	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	07R	Lockhart	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	07S	Nord-est du Grand lac des Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.N.-O.	07T	Marian	Faible	Faible	Faible	Faible
Alb., C.-B. et T.N.-O.	07U	Ouest du Grand lac des Esclaves	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B. et Yn	08A	Aisek	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B.	08B	Eaux côtières du Nord de la Colombie-Britannique	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B.	08C	Stikine – côte	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B.	08D	Nass – côte	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B.	08E	Skeena – côte	Faible	Modéré	Faible	Faible

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
C.-B.	08F	Eaux côtières du centre de la Colombie-Britannique	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B.	08G	Eaux côtières du sud de la Colombie-Britannique	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B.	08H	Île de Vancouver	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B.	08J	Nechako	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08K	Cours supérieur du Fraser	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08L	Thompson	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08M	Cours inférieur du Fraser	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08N	Columbia – États-Unis	Faible	Modéré	Faible	Modéré
C.-B.	08O	îles de la Reine-Charlotte	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B.	08P	Skagit	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B. et Yn	9A	Eaux en amont du Yukon	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09B	Pelly	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09C	Cours supérieur du Yukon	Faible	Faible	Faible	Faible
Yn	09D	Stewart	Faible	Faible	Faible	Faible
Yn	09E	Cours moyen du Yukon	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09F	Porcupine	Faible	Modéré	Faible	Faible
Yn	09H	Tanana	Faible	Faible	Faible	Faible
Yn	09M	Copper	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	100	Delta du fleuve Mackenzie (chenal principal)	Faible	Faible	Faible	Faible
C.-B., Yn	10A	Cours supérieur de la Liard	Faible	Modéré	Faible	Faible
C.-B. et Yn	10B	Cours moyen de la Liard	Faible	Faible	Faible	Faible
Alb. et C.-B.	10C	Fort Nelson	Faible	Modéré	Faible	Faible
Alb., C.-B., Yn et T.N.-O.	10D	Cours moyen de la Liard – Petitot	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	10E	Cours inférieur de la Liard	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.N.-O.	10F	Cours supérieur du Mackenzie – lac Mills	Faible	Faible	Faible	Faible

**Évaluation nationale des risques liés aux
espèces aquatiques envahissantes pour les
moules zébrées et quagga, avril 2022**

Région de la capitale nationale

Provinces et territoires	Code	Sous-aire de drainage	Modèle basé sur le calcium		Modèle basé sur MaxEnt	
			Mode	Maximum	Mode	Maximum
T.N.-O.	10G	Cours supérieur du Mackenzie – courbe dans la Camsell	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.N.-O.	10H	Cours moyen du Mackenzie – lac Blackwater	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10J	Grand lac de l'Ours	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	10K	Cours moyen du Mackenzie – The Ramparts	Faible	Modéré	Faible	Faible
T.N.-O.	10L	Cours inférieur du Mackenzie	Faible	Faible	Faible	Faible
Yn et T.N.-O.	10M	Peel et sud-ouest de la mer de Beaufort	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O.	10N	Sud de la mer de Beaufort	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10O	Golfe Amundsen	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10P	Coppermine	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	10Q	Baie du Couronnement – golfe de la Reine-Maud	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10R	Back	Faible	Faible	Faible	Faible
Nt	10S	Golfe de Boothia	Faible	Faible	Faible	Faible
T.N.-O. et Nt	10T	Sud de l'archipel Arctique	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
Nt	10U	Île de Baffin – hydrographie de l'Arctique	Seuil thermique	Faible	Seuil thermique	Faible
T.N.-O. et Nt	10V	Nord de l'archipel Arctique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique	Seuil thermique
Sask. et Alb.	11A	Missouri	Modéré	Modéré	Faible	Modéré

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de la capitale nationale
Pêches et Océans Canada
200, rue Kent (Ottawa) ON K1A 0E6

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

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

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-69717-8 N° cat. Fs70-6/2024-008F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2024



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2024. Évaluation nationale des risques liés aux espèces aquatiques envahissantes (EAE)
pour les moules zébrées (*Dreissena polymorpha*) et quagga (*Dreissena rostriformis*
bugensis), avril 2022. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2024/008

Also available in English:

DFO. 2024. *National Aquatic Invasive Species (AIS) Risk Assessment for Zebra Mussel*
(*Dreissena polymorpha*) and *Quagga Mussel* (*Dreissena rostriformis bugensis*), April 2022.
DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2024/008.