

La détection hâtive et le suivi des cladocères envahissants dans les eaux québécoises

Bilan des activités 2015-2019

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS



Photographies de la couverture :

Cladocères épineux sur une ligne à pêche, Jeff Gunderson, *Minnesota Sea Grant*

Référence à citer :

MORISSETTE, O., VACHON, N. (2021). La détection hâtive et le suivi des cladocères envahissants dans les eaux québécoises. Bilan des activités 2015-2019. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Québec, 42 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2021

ISBN (PDF) : 978-2-550-89107-9

Équipe de réalisation

Rédaction

Olivier Morissette¹

Nathalie Vachon²

Équipe terrain

Sarah Aubé¹

Guillaume Côté¹

Pierre-Alexis Drolet¹

René Houle²

Alexis Roy¹

Savannah Bussièrès³

Équipe laboratoire

Sarah Aubé¹

Denise Deschamps¹

Karine Lamontagne¹

Alexis Roy¹

Équipe Université Laval

Louis Bernatchez⁴

Bérénice Bougas⁴

Cécilia Hernandez⁴

Alysse Perreault-Payette⁴

Révision

Simon Bernatchez¹

Guillaume Côté¹

Marie-Josée Goulet²

Jean-Pierre Hamel³

Rémy Pouliot¹

Sylvain Roy²

¹ Direction de l'expertise sur la faune aquatique, MFFP

² Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval MFFP

³ Direction de la gestion de la faune de l'Abitibi-Témiscamingue, MFFP

⁴ Université Laval

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tout d'abord les techniciens et biologistes qui ont contribué à la réalisation du réseau de détection depuis 2015. Un merci tout spécial est accordé à Jean-Pierre Hamel, Guillaume Côté et Marie-Josée Goulet pour leur contribution aux réflexions, à la planification et à la rédaction de ce rapport. Merci aussi à l'équipe du D^r Louis Bernatchez de l'Université Laval pour le développement des amorces d'ADN environnemental, à la D^{re} Sarah Bailey du Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques de Pêches et Océans Canada pour les échantillons d'eau en provenance du lac Ontario et à Jeff Brinsmead de l'Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry pour les échantillons d'eau provenant des lacs ontariens. Finalement, merci au Programme québécois de lutte contre les carpes asiatiques du MFFP et au Plan d'action sur les changements climatiques pour le financement des activités de développement des méthodes et des suivis récurrents.

Résumé

Les observations du cladocère épineux (*Bythotrephes longimanus*) et de la puce d'eau en hameçon (*Cercopagis pengoi*), deux espèces aquatiques envahissantes originaires d'Eurasie, ont augmenté de manière constante dans les bassins versants canadiens et américains de la région des Grands Lacs depuis la confirmation de leur présence en 1982 dans le lac Ontario. Le Québec n'y a pas fait exception, avec une première mention de cladocères épineux dès 2014 au lac Saint-François (fleuve Saint-Laurent). Devant cette situation, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs a mis en place un réseau de détection hâtive de ces espèces dans plusieurs régions à risque.

Ce réseau de détection s'appuie sur un protocole combinant l'utilisation de deux méthodes complémentaires : le filet à zooplancton et la détection de l'ADN environnemental. Depuis 2015, 278 stations dans 37 plans d'eau ou secteurs du fleuve Saint-Laurent ont été échantillonnées dans le but de détecter ces deux espèces de cladocères envahissants. Le cladocère épineux a été repéré au lac Témiscamingue en 2018 ainsi que dans le lac Saint-François et la rivière Richelieu en 2019. La densité moyenne de l'espèce au lac Témiscamingue était faible, soit 0,28 cladocère/m³ en moyenne (entre 0,06 et 0,87 cladocère/m³). En 2019, le réseau a aussi détecté les premières puces d'eau en hameçon dans la rivière Richelieu, de la frontière américaine jusqu'au bassin de Chambly. Le présent rapport fait état du protocole de détection, des résultats du réseau de 2015 à 2019, ainsi que des priorités d'action envisagées en matière de prévention et d'acquisition de connaissances relativement aux cladocères envahissants.

Table des matières

Équipe de réalisation	I
Remerciements	II
Résumé	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
1. Introduction	8
1.1 Historique au Québec	10
1.2 Objectifs de la stratégie de détection	11
2. Matériel et méthodes	11
2.1 Méthodes de détection 2015 et 2017	12
2.1.1 Filet à zooplancton	12
2.1.2 ADN environnemental	12
2.2 Changements apportés aux méthodes de détection depuis 2018	13
2.3 Validation des amorces d'ADN environnemental (ADNe)	14
2.3.1 Lac Ontario	14
2.3.2 Autres lacs ontariens envahis.....	15
3. Résultats	15
3.1 Bilan général	15
3.2 Résultats 2015	17
3.2.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	17
3.3 Résultats 2017	19
3.3.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	19
3.3.2 Abitibi-Témiscamingue	19
3.4 Résultats 2018	21
3.4.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	21
3.4.2 Abitibi-Témiscamingue	21
3.4.3 Estrie	22
3.5 Résultats 2019	24
3.5.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires	24
3.5.2 Abitibi-Témiscamingue	24
3.5.3 Estrie	25

3.6 Validation des amorces d'ADN environnemental	27
3.6.1 Lac Ontario	27
3.6.2 Autres lacs ontariens envahis	27
4. Discussion	28
4.1 Optimisation des stratégies d'échantillonnage	28
4.2 La mise en place et la performance du réseau de détection hâtive	31
4.3 Situation du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon au Québec.....	33
4.4 Plan d'action	35
4.4.1 Priorités d'action en prévention	36
4.4.2 Priorités d'action en acquisition de connaissances.....	37
5. Conclusions	39
6. Références	41

Liste des figures

- Figure 1. Illustrations de spécimens adultes de cladocère épineux et de puce d'eau en hameçon (illustrations : Louis l'Hérault)..... 9
- Figure 2. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2015. *Ces résultats concernent uniquement le cladocère épineux.*..... 18
- Figure 3. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2017. Les points positifs correspondent aux lacs ontariens envahis échantillonnés pour les tests de l'amorce ADN environnemental. 20
- Figure 4. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2018. La détection au lac Saint-François a uniquement été faite par le filet à plancton (ADNe négatif). *Ces résultats concernent uniquement le cladocère épineux.* 23
- Figure 5. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2019. Les stations positives le sont uniquement pour le filet à plancton. Les stations en Abitibi et en Estrie sont négatives pour les deux méthodes. 26
- Figure 6. Schéma des profondeurs supérieure (ZEM) et inférieure (ZMH) du métalimnion dans un lac fictif en situation de stratification thermique. Dans ce cas, le métalimnion (thermocline) se situe entre les deux traits pointillés, soit de 5 à 13 m de profondeur. 30
- Figure 7. Distribution des cladocères envahissants au Québec lors de la publication du rapport. Les zones illustrées montrent la présence du cladocère épineux (polygone jaune) et la présence combinée du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon (polygone violet). 34

Liste des tableaux

Tableau 1. Comparaison des stratégies d'échantillonnage des cladocères envahissants entre les périodes 2015-2017 et 2018-2019	14
Tableau 2. Répartition de l'effort d'échantillonnage (exprimé en nombre de stations) réalisé dans le cadre du suivi des cladocères envahissants dans les lacs des régions de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Estrie de 2017 à 2019	16
Tableau 3. Comparaison du nombre de détections positives d'ADN environnemental ($Nb_{\text{Ampl.}}$; nombre d'amplicons sur 6) pour la puce d'eau en hameçon dans les stations du lac Ontario en 2017. Le nombre de spécimens capturés (N spécimens) et leur densité (ind/m^3) sont présentés.....	27
Tableau 4. Résultats d'amplifications obtenues en PCR quantitative pour <i>Bythotrephes longimanus</i> et <i>Cercopagis pengoi</i> pour les stations des lacs ontariens reconnus comme envahis échantillonnés en 2017. Le tableau présente le nombre d'amplifications positives (sur 6 réplicats), le nombre moyen de cycles PCR nécessaire à l'amplification (CT_{Moy}) ainsi que le nombre estimé moyen (et l'écart type) de molécules d'ADN ($Nb_{\text{Mol. Moy}}$) lors des réactions positives.....	28
Tableau 5. Période de la journée et strate d'échantillonnage les plus favorables pour la détection des cladocères envahissants selon la composition de la communauté et les caractéristiques physiques du plan d'eau	31

1. Introduction

Le cladocère épineux (*Bythotrephes longimanus*) est une espèce de crustacé (ordre des cladocères) originaire de l'Eurasie, habitant les lacs paléarctiques de cette région. Cette espèce a vraisemblablement été introduite en Amérique du Nord par l'entremise des eaux de ballast de navires commerciaux transatlantiques (Branstrator et al. 2006). Malgré sa petite taille (1 à 1,5 cm de longueur), cette espèce de cladocère prédateur peut entrer en compétition avec plusieurs espèces de poissons indigènes (Benoît et al. 2002; Yan et al. 2002), juvéniles ou adultes, en consommant les mêmes ressources alimentaires (ex. : daphnies, rotifères ou petits copépodes). Sa longue épine rigide peut rebuter ou blesser les poissons qui essayent de le consommer, l'épargnant de la pression de prédation (LeDuc et al. 2019). Son introduction peut donc, entre autres, modifier la chaîne alimentaire et engendrer des impacts négatifs importants sur les écosystèmes et les espèces aquatiques soit par la compétition ou en causant des cascades trophiques importantes (Barbiero et al. 2014; Yan et al. 2002). Ces impacts peuvent ensuite altérer certaines activités socioéconomiques d'importance, telles que la pêche sportive et le tourisme, et donc diminuer l'attrait et la valeur foncière des propriétés situées dans les régions envahies (Yan et al. 2011).

Très comparable au cladocère épineux sur le plan de la morphologie et de la niche écologique (figure 1), la puce d'eau en hameçon (*Cercopagis pengoi*) est une espèce de plus petite taille (1 cm de longueur) originaire de l'Europe (mers Caspienne, Noire et d'Azov). L'espèce a probablement aussi été introduite dans le bassin des Grands Lacs par les eaux de ballast des navires transocéaniques. À la suite de son établissement dans un plan d'eau, les impacts qu'elle peut causer sont généralement considérés comme semblables à ceux du cladocère épineux (Benoît et al. 2002; Laxson et al. 2003).

Cladocère épineux (*Bythotrephes longimanus*)



Puce d'eau en hameçon (*Cercopagis pengoi*)

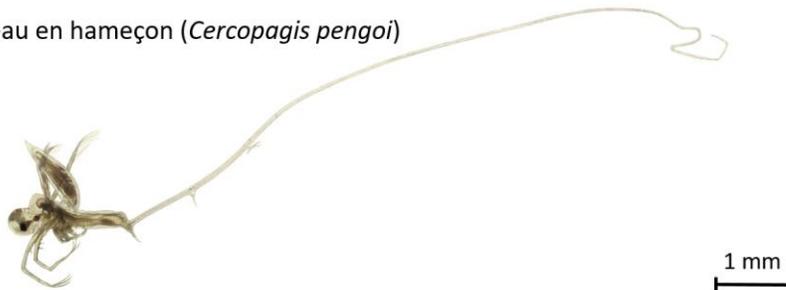


Figure 1. Illustrations de spécimens adultes de cladocère épineux et de puce d'eau en hameçon (illustrations : Louis l'Hérault)

En Amérique du Nord, le cladocère épineux est présent dans les Grands Lacs américains depuis au moins 1982 (et au lac Champlain depuis 2014). L'arrivée de la puce d'eau en hameçon semble plus récente, la première mention officielle datant de 1998 dans le lac Ontario, au large de Rochester (New York, États-Unis). Les deux espèces ont aussi été détectées par la suite dans certains lacs du nord-est ontarien, probablement transportées par le matériel des pêcheurs sportifs en provenance des Grands Lacs. Ces espèces produisent des œufs dormants très résistants, pouvant survivre à de longues périodes de sécheresse, au gel ou au passage dans le tractus digestif des poissons, ce qui facilite leur dispersion (Branstrator et al. 2006). L'utilisation de poissons appâts serait d'ailleurs un important vecteur de propagation des cladocères envahissants (Kerfoot et al. 2011). La séquence de colonisation à partir de l'Ontario et du lac Champlain laisse croire que certains lacs du Québec sont grandement à risque d'être colonisés par ces espèces, particulièrement ceux soumis à un fort achalandage lié à la pêche sportive et à la navigation de plaisance. Les risques sont exacerbés en raison des déplacements fréquents entre ces plans d'eau, notamment entre ceux à proximité des voies présumées de

dispersion (par exemple entre les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, de l'Outaouais, de l'Estrie et de la Montérégie). Afin de limiter leur dispersion, une détection rapide de ces espèces dans les plans d'eau québécois s'impose. Ce rapport présente les résultats des activités de détection hâtive et de suivi du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon (ci-après les cladocères envahissants), pilotées par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) de 2015 à 2019.

1.1 Historique au Québec

Jusqu'en 2018, les données d'occurrence des cladocères envahissants au Québec laissaient croire que ces espèces n'étaient probablement pas établies dans les eaux québécoises, car leur présence n'avait été notée que sporadiquement. En effet, le cladocère épineux n'avait été observé que deux fois au Québec depuis son établissement dans les Grands Lacs et le lac Champlain. En 2014, des cladocères épineux ont été détectés dans le contenu stomacal de quatre perchaudes du lac Saint-François (Huguette Massé, MFFP, communication personnelle). Ces perchaudes avaient été capturées dans le cadre des activités régulières du Réseau de suivi ichtyologique (RSI) du MFFP. Le phénomène ne s'est pas répété depuis dans les autres secteurs, malgré une analyse rigoureuse des contenus stomacaux des poissons capturés dans le cadre des suivis annuels du RSI. Il est cependant important de souligner que, au moment de la publication, le lac Saint-François n'avait pas fait l'objet d'autres suivis par le RSI depuis 2014. En 2015, le cladocère épineux a été détecté dans le Haut-Richelieu par la capture de spécimens lors d'un échantillonnage au filet à zooplancton (Steve Garceau, MFFP, communication personnelle).

À la même période, des cladocères épineux avaient aussi été capturés dans les eaux de la rivière Richelieu, à la frontière du Canada et des États-Unis par les partenaires du MFFP situés dans l'État du Vermont, par l'entremise du *Lake Champlain Basin Program*. Il n'y a pas eu d'autres captures dans le secteur jusqu'en 2019. Enfin, aucune mention de puce d'eau en hameçon n'a été rapportée au Québec jusqu'en 2019. Malgré la faible occurrence de ces espèces, ces observations laissaient croire qu'il existait déjà un risque réel d'introduction et de dispersion de celles-ci dans les eaux québécoises.

1.2 Objectifs de la stratégie de détection

Face à la présence accrue des cladocères envahissants dans les plans d'eau limitrophes du Québec et à la crainte qu'ils suscitent pour l'intégrité des plans d'eau québécois, le MFFP a mis en place le réseau de détection hâtive des cladocères envahissants. Cet effort vise à assurer une veille de détection de ces espèces dans le réseau du fleuve Saint-Laurent, de ses tributaires, ainsi que dans les lacs à proximité des lieux déjà envahis. Les objectifs des activités de détection hâtive et de suivi sont les suivants :

- Assurer une surveillance des cladocères envahissants au Québec;
- Documenter la situation de ces espèces au Québec;
- Identifier rapidement les plans d'eau envahis;
- Limiter la progression de ces espèces en adaptant la gestion des plans d'eaux envahis;
- Informer la population locale sur les risques et les mesures de prévention contre ces espèces.

2. Matériel et méthodes

Les activités de détections standardisées ont débuté en 2015 par une première vague d'échantillonnage dans les secteurs jugés les plus à risque. Depuis, l'effort d'échantillonnage a été augmenté afin d'étendre le réseau de détection à un plus grand nombre de sites à risque. Les activités de détection des cladocères envahissants sont réalisées par l'utilisation simultanée de deux méthodes complémentaires à chaque station, soit le filet à zooplancton et l'ADN environnemental (ADNe). Tous les échantillonnages ont été réalisés en période estivale par les équipes du MFFP. Spécifiquement, les échantillonnages dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue ont été réalisés par l'équipe de la Direction de la gestion de la faune aquatique de l'Abitibi-Témiscamingue (DGFa 08) et les échantillonnages en Estrie ont été effectués par celle de la Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval (DGFa 05-06-13-16). Finalement, les stations dans le système du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires ont été échantillonnées par l'équipe de la Direction de l'expertise sur la faune aquatique (DEFA, Québec).

2.1 Méthodes de détection 2015 et 2017

2.1.1 Filet à zooplancton

À chaque site échantillonné, un trait vertical de filet à zooplancton était effectué sur toute la colonne d'eau (profondeur maximale jusqu'à la surface). La longueur du trait pouvait varier selon la profondeur à la station. Aucune donnée de volume filtré (débitmètre) n'avait été récoltée. En 2015 et 2017 (aucun échantillonnage n'a été fait en 2016), le filet à zooplancton utilisé était un filet à contre-levier de 25 cm de diamètre et de mailles de 250 µm (industries Fipec, Grande-Rivière, Québec). Une fois le filet retiré de l'eau, l'échantillon était traité sur un tamis de mailles identiques (250 µm) afin d'en retirer un maximum d'eau avant la fixation de l'échantillon dans de l'éthanol 95 %.

En laboratoire, les échantillons ont été triés sous une loupe binoculaire, afin de vérifier la présence de cladocères envahissants. Les organismes suspects devaient être identifiés à l'espèce en utilisant des clés d'identification pour les cladocères (Edmonson 1959; Torke 1974). Dans le cas d'une capture, tous les cladocères envahissants identifiés devaient être dénombrés et conservés.

2.1.2 ADN environnemental

Les campagnes d'échantillonnage d'ADNe ont été généralement réalisées entre la fin du mois de juillet et la mi-août, de jour, entre 8 h et 16 h. Les échantillons d'eau ont été filtrés sur le terrain dans l'embarcation immédiatement après le prélèvement. La filtration a été réalisée avec un filtre en fibre de verre (1,2 µm, Whatman GF/C) à l'aide d'une pompe péristaltique ou par filtration sous vide. Les volumes d'eau filtrés étaient variables selon la quantité de matière organique dans l'échantillon d'eau (entre 2 et 6 L). Les filtres ont ensuite été conservés à une température de -20 °C jusqu'à l'extraction de l'ADN.

L'ADNe a été extrait selon le protocole de Goldberg et al. (2011). La présence d'ADNe des deux espèces de cladocères envahissants a été évaluée par la réaction de polymérase en chaîne quantitative (PCRq), à l'aide d'une amorce et d'une sonde spécifiques aux espèces ciblées. L'amorce utilisée pour le cladocère épineux a été décrite dans une publication scientifique (Bronnenhuber and Wilson 2013). L'amorce pour la puce d'eau en hameçon a été développée et conçue par le laboratoire du D^r Louis Bernatchez de l'Université Laval (Hernandez et al.

2020). L'amplification en PCRq a été réalisée selon les conditions suivantes : 2 min à 50 °C, 10 min à 95 °C, suivies par 50 cycles de 15 s à 95 °C et 60 s à 60 °C.

Lors de la PCRq, l'amplification cause la dégradation de la sonde spécifique, ce qui produit de la fluorescence. Ce rayonnement est capté en temps réel par l'appareil PCR (PCR 7500 Fast Real-Time, Life Technologies). La détection de l'espèce est confirmée lorsque la fluorescence résultant de l'amplification est suffisante pour dépasser le seuil de détection préalablement établi. Pour chaque station, six réplicats de PCRq ont été réalisés. La spécificité des amorces a été évaluée par séquençage Sanger pour l'ensemble des échantillons ayant connu une amplification significative. En 2017, la spécificité et la performance des amorces ont été évaluées à l'aide d'échantillons d'eau provenant de lacs envahis de la province de l'Ontario (voir la section 3.6).

2.2 Changements apportés aux méthodes de détection depuis 2018

Après les deux premières années de déploiement du réseau de détection, certains correctifs ont été apportés au protocole concernant la période et la strate d'échantillonnage, l'engin de capture utilisé et la prise d'échantillons d'eau pour les détections par l'ADNe à partir de 2018. Ces ajustements ont été apportés afin d'augmenter la probabilité de détection au sein du réseau. Le tableau 1 présente les principales différences dans les stratégies d'échantillonnage entre les deux périodes, soit celle de 2015 et 2017 et celle qui comprend les années 2018 et 2019. Les éléments qui ont mené à ces changements sont présentés dans la section *Discussion*.

Tableau 1. Comparaison des stratégies d'échantillonnage des cladocères envahissants entre les périodes 2015-2017 et 2018-2019

Éléments du protocole	Périodes	
	2015-2017	2018-2019
Type de filet à zooplancton, strate d'échantillonnage	Filet conique à contre-levier de 25 cm de diamètre d'ouverture et de mailles de 250 µm	Filet conique de 50 cm de diamètre d'ouverture et de mailles de 250 µm, équipé d'un débitmètre mécanique
Stratégie d'échantillonnage	Verticale sur toute la colonne d'eau	Horizontale dans les limites du métalimnion (voir le tableau 5)
ADNe	Échantillonnage d'eau en surface	Échantillonnage d'eau dans le métalimnion ou colonne d'eau intégrée
ADNe, amorces disponibles	2015 : cladocère épineux seulement 2017 : cladocère épineux et puce d'eau en hameçon	Cladocère épineux et puce d'eau en hameçon

Conformément aux changements apportés aux échantillonnages au moyen du filet à zooplancton, la récolte d'échantillons d'eau a été modifiée pour être effectuée dans la strate d'échantillonnage établie selon le plan d'eau à l'étude (voir la section 4.1). Cette modification a pour but d'augmenter la probabilité de détection de l'ADN de cladocères envahissants en ciblant la zone où la plus grande biomasse de ces espèces a le potentiel de s'accumuler. L'eau est prélevée à l'aide d'un échantillonneur à profondeur variable de type Niskin ou Schindler-Patalas, ou encore d'une bouteille lestée à colonnes d'eau intégrées. Aucune modification n'a cependant été apportée aux manipulations en laboratoire.

2.3 Validation des amorces d'ADN environnemental (ADNe)

2.3.1 Lac Ontario

Afin de vérifier la spécificité de l'amorce de la puce d'eau en hameçon, deux types d'échantillonnages (combinant l'échantillonnage d'eau et l'usage de filets à zooplancton) ont été réalisés dans le lac Ontario les 30 août et 6 septembre 2017. Ces échantillonnages ont été réalisés par une équipe du Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences

aquatiques de Pêches et Océans Canada. Des sites potentiellement envahis (30 août, 3 stations) et exempts (6 septembre, 2 stations) ont été visités afin de vérifier la performance de l'amorce.

2.3.2 Autres lacs ontariens envahis

Afin de contre-valider la méthode de détection par l'ADNe dans les petits lacs boréaux, des lacs présentant un historique connu et établi d'envahissement par le cladocère épineux ont fait l'objet d'un échantillonnage. Cette activité a été réalisée en collaboration avec une équipe de l'Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry qui a récolté les échantillons d'eau. Les lacs à l'étude étaient les lacs Harp (45,382; -79,136, envahis depuis 1993), Bear (45,335; -78,708, envahi depuis 2003) et Raven (45,205; -78,852, envahi depuis les années 2000, *date incertaine*). Un échantillon d'eau par lac a été récolté du 13 au 14 juin 2017.

3. Résultats

3.1 Bilan général

Cette section présente les résultats pour les quatre premières années d'activités de détection hâtive des cladocères envahissants dans les eaux québécoises, soit les années 2015, 2017, 2018 et 2019. Deux cent soixante-dix-huit stations (figures 2 à 5) ont été échantillonnées et analysées depuis le début des activités de détection hâtive. Cinq secteurs ont été visités et échantillonnés en 2015, six en 2017, cinq en 2018 et finalement six en 2019. Trois secteurs sont communs aux quatre périodes d'échantillonnage, soit le lac Saint-François, le secteur du Haut-Richelieu et la baie Missisquoi dans le lac Champlain (tableau 2). De plus, la région de l'Abitibi-Témiscamingue a été visitée depuis 2017 et celle de l'Estrie, depuis 2018. Les informations plus détaillées par rapport à la répartition de l'effort d'échantillonnage dans ces deux dernières régions sont présentées au tableau 2. Au total, 21 lacs ont été visités dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue entre 2017 et 2019 et seuls les lacs Kipawa et Opasatica ont été visités lors des trois années du suivi. Dans la région de l'Estrie, cinq lacs ont été visités en 2018 et 2019.

Tableau 2. Répartition de l'effort d'échantillonnage (exprimé en nombre de stations) réalisé dans le cadre du suivi des cladocères envahissants dans les lacs des régions de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Estrie de 2017 à 2019

Province	Région administrative	Plan d'eau	Secteur	Année			
				2015	2017	2018	2019
Québec	Outaouais	Rivière des Outaouais		5			
			Lac Saint-François Tronçon Montréal-Sorel	5	22	5	14
	Montérégie	Rivière Richelieu	Haut-Richelieu	5	11	7	20
			Baie Missisquoi	2	6	3	4
			Bassin de Chambly	2			5
			Aval bassin de Chambly à l'embouchure	3			
	Abitibi-Témiscamingue ^a	Divers lacs		29	29	39	
	Estrie ^b				15	22	
	Ontario		Lac Ontario		5		
			Trois lacs envahis		6		
Nombre total de stations				36	79	59	104
				278			

^a Nombre annuel de lacs visités en Abitibi-Témiscamingue : 2017 (6), 2018 (8), 2019 (10).

^b Nombre annuel de lacs visités en Estrie : 2018 (2), 2019 (3).

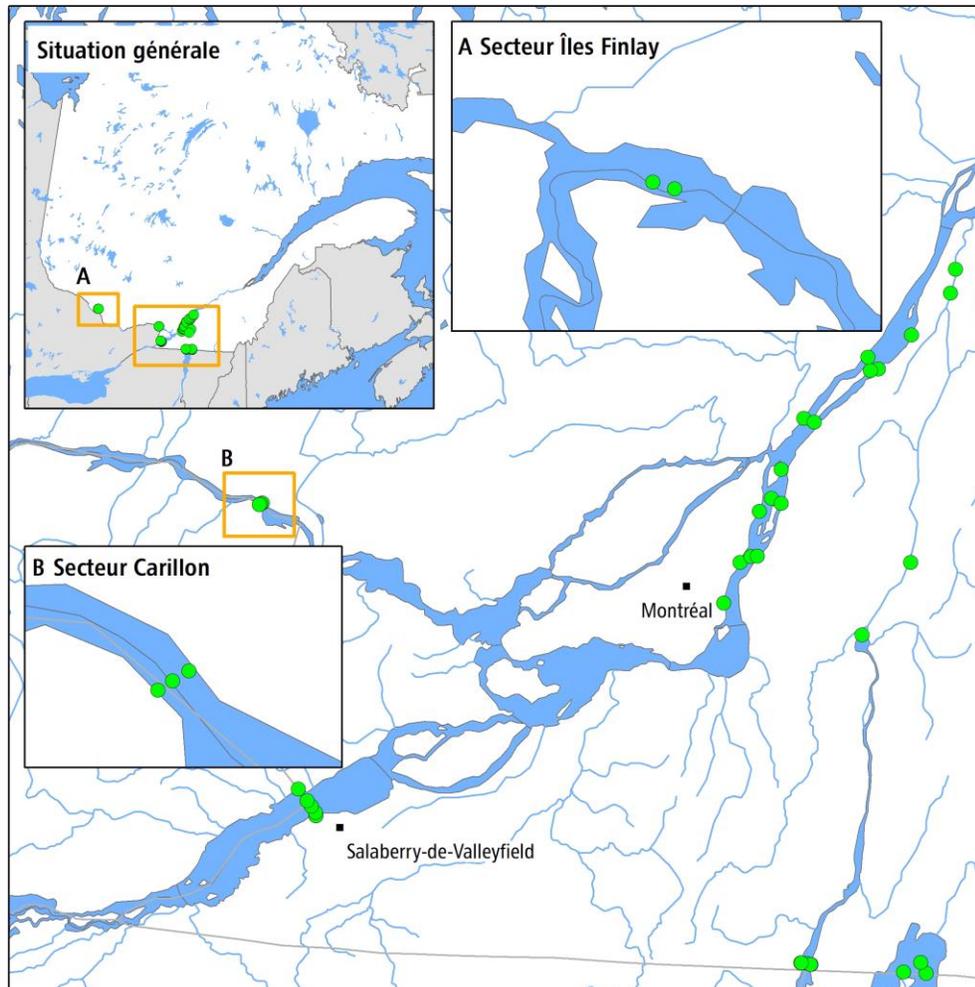
3.2 Résultats 2015

Un bilan de la répartition des efforts de détection hâtive de cladocères envahissants déployés au Québec et des résultats obtenus en 2015 est présenté à la figure 2. Les résultats détaillés sont présentés dans les sections qui suivent.

3.2.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

Du 28 au 30 juillet 2015, un total de 36 stations a été échantillonné dans cinq grands secteurs à risque, soit le lac Saint-François, la rivière des Outaouais, la rivière Richelieu (secteurs du Haut-Richelieu et de la baie Missisquoi) et le tronçon du fleuve entre Montréal et Sorel (figure 2).

Aucun cladocère envahissant n'a été trouvé dans les échantillons de filet à zooplancton et aucune détection positive d'ADNe de cladocère épineux n'a été enregistrée (figure 2). Il est à noter que l'amorce pour la puce d'eau en hameçon a été développée seulement en 2017; ainsi, les résultats d'ADNe pour la saison 2015 concernent seulement le cladocère épineux.



Programme de détection hâtive
du cladocère épineux

Échantillonnage 2015
Filets et ADN

Légende

- Négatif (36)
- Positif (0)
- Plans d'eau
- Sol

Métadonnées

Système de coordonnées NAD 1983
Québec Lambert

0 25
km

Réalisation

Olivier Morissette
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction de l'expertise sur la faune aquatique
Québec, 2018

**Forêts, Faune
et Parcs**
Québec

Figure 2. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2015. Ces résultats concernent uniquement le cladocère épineux.

3.3 Résultats 2017

Un bilan de la répartition des efforts de détection hâtive de cladocères envahissants déployés au Québec et des résultats obtenus en 2017 est présenté à la figure 3. Les résultats détaillés sont présentés dans les sections qui suivent.

3.3.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

Du 11 au 17 juillet 2017, 39 stations ont été échantillonnées dans les secteurs à risque du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires (lac Saint-François, rivière Richelieu [Haut-Richelieu et baie Missisquoi]). Contrairement à 2015, aucune station n'a été échantillonnée dans la rivière des Outaouais et le tronçon entre Montréal et Sorel (figure 3).

Aucun cladocère envahissant n'a été trouvé dans les échantillons de filet à zooplancton et aucune détection positive d'ADNe de cladocère épineux ni de puce d'eau en hameçon n'a été enregistrée lors de l'année 2017 (figure 3).

3.3.2 Abitibi-Témiscamingue

Du 3 au 6 juillet 2017, 29 stations ont été échantillonnées dans 6 lacs de l'Abitibi-Témiscamingue, soit les lacs Kipawa (9 stations), Tee (5 stations), Beauchêne (5 stations), Ostaboningué (4 stations), Saseginaga (4 stations) et Marsac (1 station). Un échantillonnage supplémentaire a été réalisé le 1^{er} août 2017 au lac Opasatica (5 stations), à la suite d'une mention de cladocère épineux par un pêcheur sportif. La mention n'était cependant pas accompagnée de preuves supplémentaires (photos ou spécimens).

Aucune capture de cladocère envahissant n'a été réalisée dans ces lacs lors des périodes d'échantillonnage. Sans surprise, les résultats d'ADNe ont tous été négatifs. Les positions géographiques des lacs ontariens envahis où les essais d'amorces ont été effectués sont également présentées dans la figure 3.

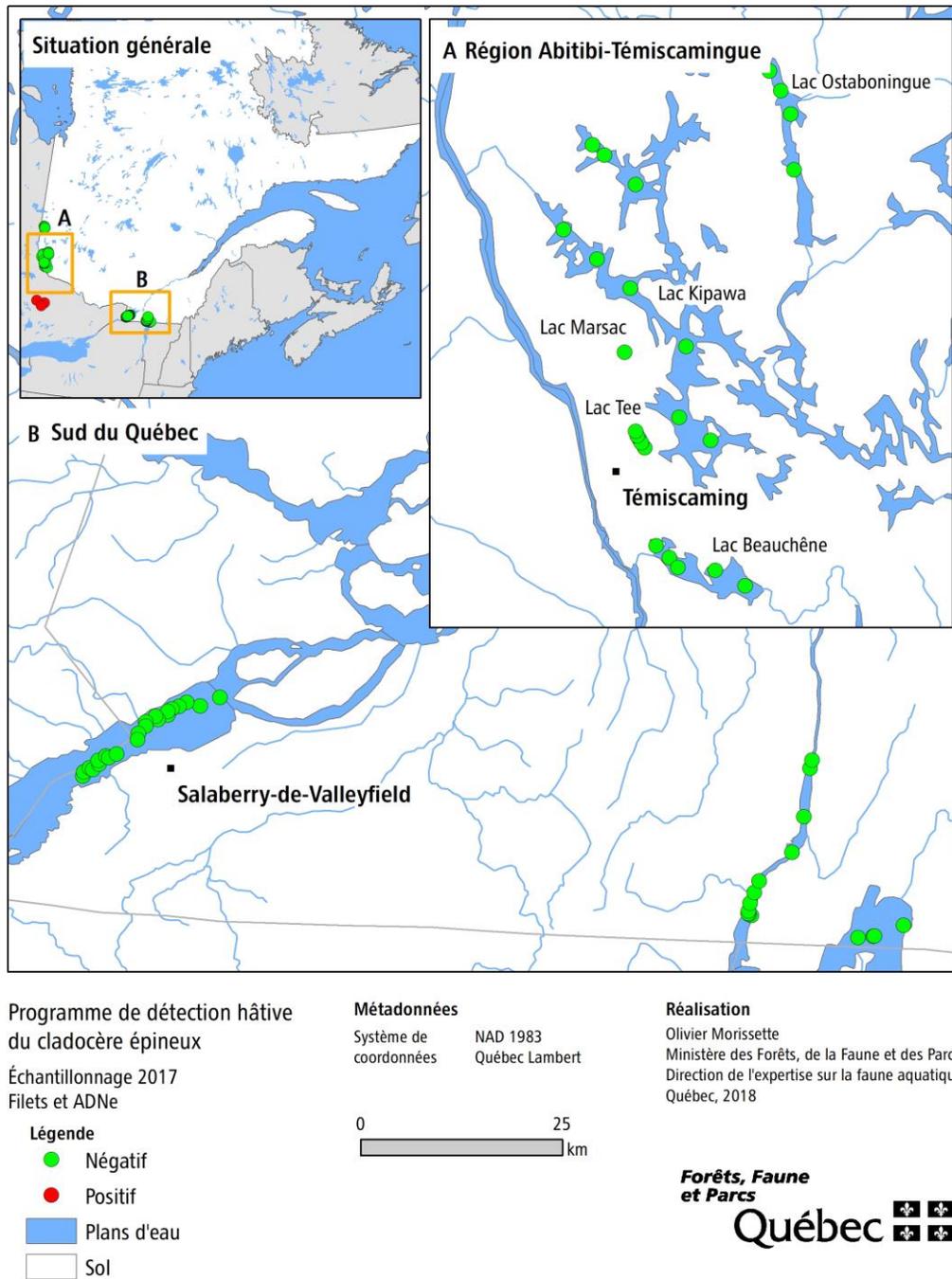


Figure 3. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2017. Les points positifs correspondent aux lacs ontariens envahis échantillonnés pour les tests de l'amorce ADN environnemental.

3.4 Résultats 2018

Un bilan de la répartition des efforts de détection hâtive de cladocères envahissants déployés au Québec et des résultats obtenus en 2018 est présenté à la figure 4. Les résultats détaillés sont présentés dans les sections qui suivent.

3.4.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

Du 17 juillet au 1^{er} août 2018, 15 stations ont été échantillonnées dans les secteurs à risque du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires (lac Saint-François, Haut-Richelieu et baie Missisquoi). Aucun des prélèvements d'eau n'a mené à une détection positive d'ADNe de cladocère épineux ni de puce d'eau en hameçon. Cependant, un spécimen de cladocère épineux a été identifié lors du tri des échantillons de filet à zooplancton. Cet individu unique provenait d'une station au nord-ouest du lac Saint-François. La densité estimée de l'espèce à cette station est relativement faible, soit de 0,19 cladocère/m³. Aucun autre spécimen n'a été trouvé dans les échantillons provenant des autres secteurs échantillonnés dans la rivière Richelieu (figure 4).

3.4.2 Abitibi-Témiscamingue

Du 4 juillet au 10 septembre 2018, 29 stations ont été échantillonnées dans 8 lacs de la région de l'Abitibi-Témiscamingue, soit les lacs Roger (2 stations), Beaudry (1 station), Kipawa (9 stations), Opasatica (7 stations), Duparquet (2 stations), Matchi-Manitou (2 stations), Témiscamingue (4 stations) et Victoria (2 stations). Le nombre de stations échantillonnées était généralement adapté à la taille du lac.

Toutes les stations du lac Témiscamingue ($n = 4$) ont mené à des détections positives du cladocère épineux, autant par la technique d'ADNe que par les filets à zooplancton. La densité moyenne de l'espèce était de 0,28 cladocère/m³ (entre 0,06 et 0,87 cladocère/m³). Les quatre tests d'ADNe pour le lac Témiscamingue ont mené à des détections positives, avec un nombre d'amplifications entre un et quatre (sur six réplicats) et une concentration d'ADN (C_{Tmoy}) très similaire entre les amplifications ($40,53 \pm 0,26$ cycles). Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la densité de cladocères épineux observée et la concentration d'ADNe dans l'échantillon. Aucune autre station n'a mené à des détections positives de cladocères envahissants dans la région (figure 4).

3.4.3 Estrie

Les 12 et 13 septembre 2018, 15 stations ont été échantillonnées dans 2 lacs de la région de l'Estrie, soit le lac Memphrémagog (10 stations) et le lac Massawippi (5 stations) au moyen des deux méthodes. Aucun de ces prélèvements (filet à plancton et ADNe) n'a mené à la détection de cladocères envahissants (figure 4).

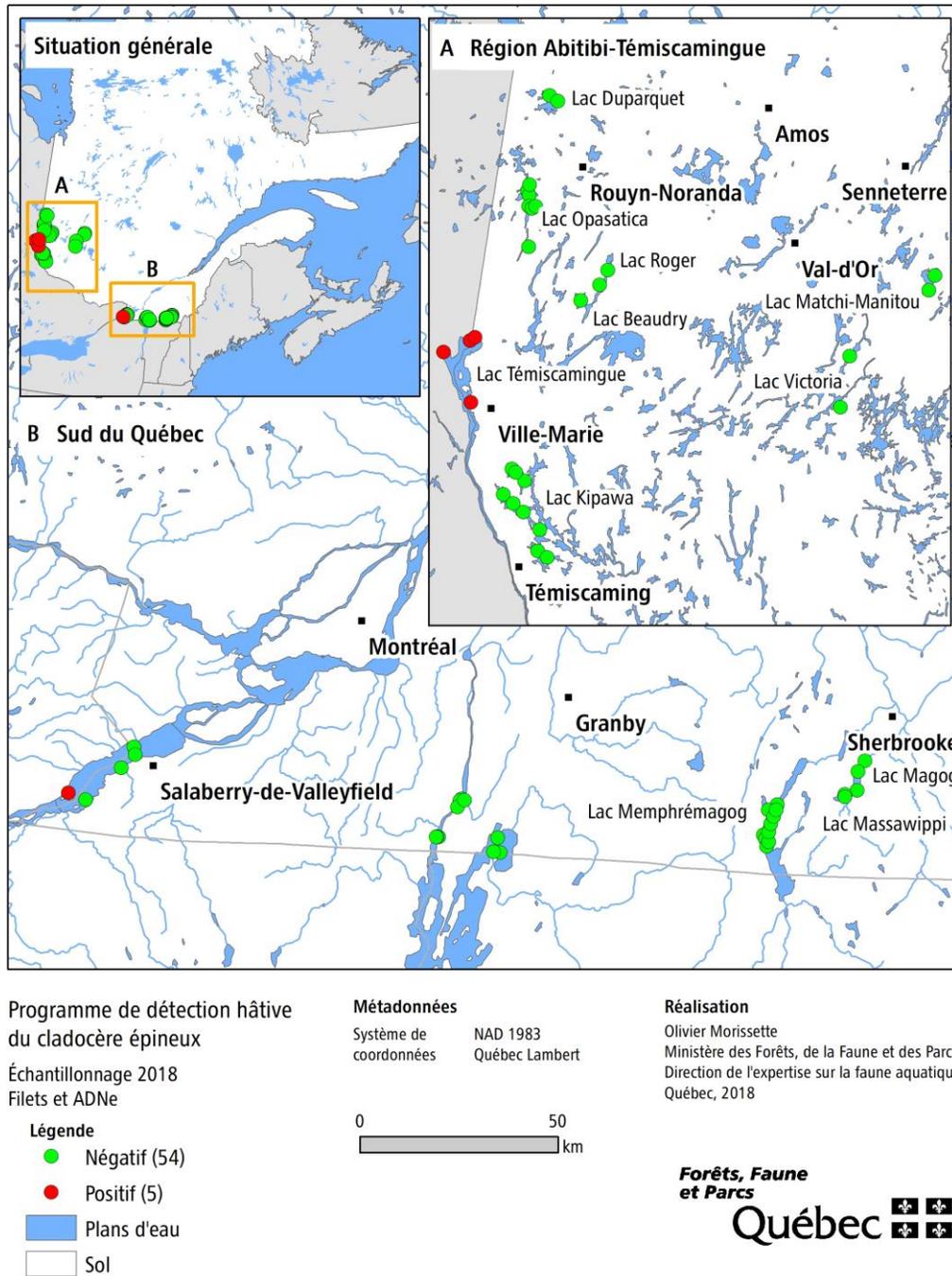


Figure 4. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2018. La détection au lac Saint-François a uniquement été faite par le filet à plancton (ADNe négatif). Ces résultats concernent uniquement le cladocère épineux.

3.5 Résultats 2019

Un bilan de la répartition des efforts de détection hâtive de cladocères envahissants déployés au Québec et des résultats obtenus en 2019 est présenté à la figure 5. Les résultats détaillés sont présentés dans les sections qui suivent.

3.5.1 Secteurs du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires

Entre le 10 juillet et le 8 août 2019, 12 stations ont été échantillonnées dans les secteurs à risque du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires (lac Saint-François, Rivière Richelieu [secteurs du Haut-Richelieu et de la baie Missisquoi]). Parmi ces stations, trois étaient positives en raison de la capture de spécimens de cladocères épineux (lac Saint-François et Haut-Richelieu) et une station était positive pour la puce d'eau en hameçon dans le secteur du Haut-Richelieu. Ces résultats ont mené à un deuxième échantillonnage, du 9 au 11 septembre 2019, au cours duquel des stations ont été revisitées au lac Saint-François (10 stations), dans le bassin de Chambly (5 stations) et dans le Haut-Richelieu (16 stations). Huit stations étaient positives pour le cladocère épineux dans le lac Saint-François. Les 16 stations du Haut-Richelieu et 1 station dans le bassin de Chambly étaient positives pour la puce d'eau en hameçon (figure 5). En raison de contraintes de temps de laboratoire, les cladocères envahissants trouvés dans ces stations n'ont pas été dénombrés, mais des estimations préliminaires montrent que les densités étaient les plus fortes jamais observées dans la province (> 1 cladocère/m³). Ces résultats concernent uniquement le filet à plancton, les résultats d'ADNe n'étaient pas disponibles pour le fleuve Saint-Laurent au moment de la publication.

3.5.2 Abitibi-Témiscamingue

En septembre 2019 (dates inconnues), 39 stations ont été échantillonnées dans 10 lacs de la région de l'Abitibi-Témiscamingue, soit les lacs Kipawa (9 stations), Opasatica (7 stations), Preissac (4 stations), Soufflot (4 stations), à la Truite (3 stations), Bleu (3 stations), Caugnawana (3 stations), aux Sangsues (2 stations), des Jardins (2 stations) et Maganasipi (2 stations). Le nombre de stations échantillonnées était généralement proportionnel à la taille du lac. Aucune station n'a mené à des détections positives de cladocères envahissants dans la région en 2019 autant pour le filet à plancton que l'ADNe (figure 5).

3.5.3 Estrie

Du 9 au 11 juillet 2019, 22 stations ont été échantillonnées dans 3 lacs de la région de l'Estrie, soit le lac Mégantic (10 stations), le lac Brompton (8 stations) et le lac Aylmer (4 stations). Aucune de ces stations n'a mené à la détection d'espèces de cladocères envahissants par la capture d'individus et l'ADNe (figure 5).

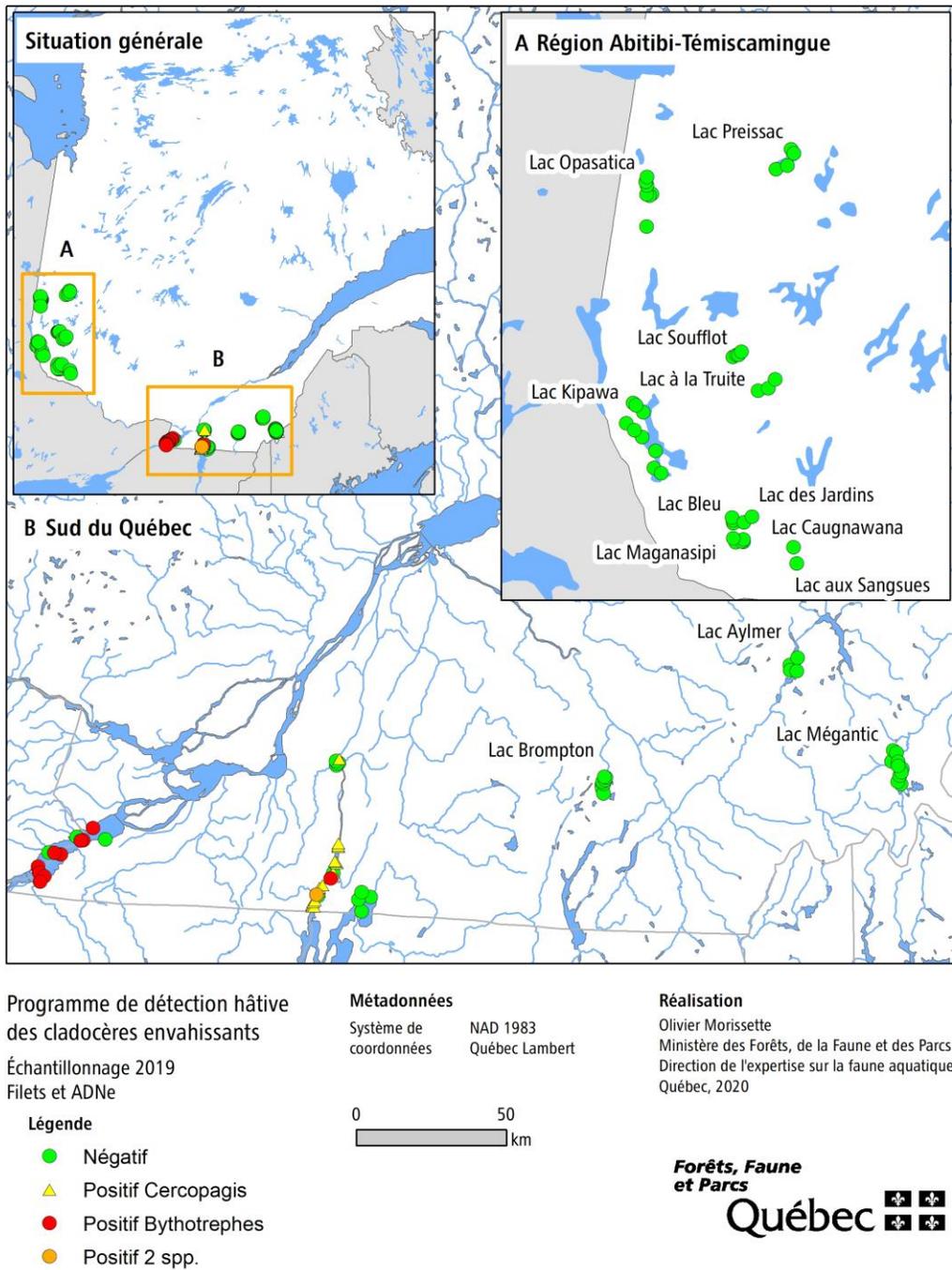


Figure 5. Carte récapitulative des résultats des activités de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants pour l'année 2019. Les stations positives le sont uniquement pour le filet à plancton. Les stations en Abitibi et en Estrie sont négatives pour les deux méthodes.

3.6 Validation des amorces d'ADN environnemental

3.6.1 Lac Ontario

Tous les sites considérés comme envahis ont conduit à une amplification positive (tableau 3). Aucune amplification n'a été observée pour les échantillons des sites considérés comme exempts de puces d'eau en hameçon. Les sites positifs ont montré une certaine variabilité dans le nombre de réplicats positifs (entre 3 et 6). La comparaison avec les résultats obtenus dans le filet à zooplancton lors des missions d'échantillonnage montre une certaine concordance entre le nombre de détections positives et la densité (cladocère/m³) d'individus de puces d'eau en hameçon capturées, les sites avec la plus grande densité de puces d'eau étant ceux avec le plus de détections positives (tableau 3). Cependant, le faible nombre de stations échantillonnées ne permet pas de conclure à une corrélation directe et robuste entre le nombre d'amplifications et l'abondance de puces d'eau en hameçon sur le site.

Tableau 3. Comparaison du nombre de détections positives d'ADN environnemental (Nb_{Ampl.}; nombre d'amplicons sur 6) pour la puce d'eau en hameçon dans les stations du lac Ontario en 2017. Le nombre de spécimens capturés (N spécimens) et leur densité (ind/m³) sont présentés.

Station	Date	<i>Cercopagis Pengoi</i>			Engin de capture
		Nb _{Ampl.} (ADNe)	N spécimens	Densité (ind/m ³)	
LO2 – envahie	30 août	3	544	70,70	Mailles 153 µm
BUR – envahie	30 août	6	369	339,47	Mailles 153 µm
HH258 – envahie	30 août	4	128	43,32	Mailles 153 µm
HB – exempte	6 septembre	0	0	0,00	Piège Schindler-Patalas
C – exempte	6 septembre	0	0	0,00	Mailles 64 µm

3.6.2 Autres lacs ontariens envahis

Tous les échantillons d'eau en provenance des trois lacs ontariens ont mené à une détection positive d'ADNe de cladocère épineux. Aucun de ces échantillons n'a mené à une détection positive de puce d'eau en hameçon (tableau 4).

Tableau 4. Résultats d'amplifications obtenues en PCR quantitative pour *Bythotrephes longimanus* et *Cercopagis pengoi* pour les stations des lacs ontariens reconnus comme envahis échantillonnés en 2017. Le tableau présente le nombre d'amplifications positives (sur 6 réplicats), le nombre moyen de cycles PCR nécessaire à l'amplification (CT_{Moy}) ainsi que le nombre estimé moyen (et l'écart type) de molécules d'ADN ($Nb_{Mol. Moy}$) lors des réactions positives.

Région	Échantillons	<i>Bythotrephes longimanus</i>			<i>Cercopagis pengoi</i>		
		NbAmpl.	CT_{Moy}	$Nb_{Mol. Moy}$	NbAmpl.	CT_{Moy}	$Nb_{Mol. Moy}$
Ontario <i>Bythotrephes</i> présent	Bear 1	1	39,9	0,3	0	--	--
	Bear 2	2	$39,7 \pm 0,0$	$0,4 \pm 0,0$	0	--	--
	Harp 1	0	--	--	0	--	--
	Harp 2	1	$39,2 \pm 0,0$	$0,6 \pm 0,0$	0	--	--
	Raven 1	5	$37,7 \pm 0,7$	$1,8 \pm 0,7$	0	--	--
	Raven 2	6	$38,8 \pm 1,0$	$1,0 \pm 0,7$	0	--	--
Lac Ontario <i>Cercopagis</i> présent	L02	0	--	--	3	$38,3 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,4$
	BUR	6	$37,5 \pm 1,3$	$2,4 \pm 1,5$	6	$39,3 \pm 0,9$	$1,5 \pm 1,1$
	HH 258	0	--	--	4	$38,4 \pm 1,0$	$2,5 \pm 1,2$
	HB	0	--	--	0	--	--
	C	2	$39,0 \pm 1,3$	$0,8 \pm 0,7$	0	--	--

4. Discussion

4.1 Optimisation des stratégies d'échantillonnage

Les travaux réalisés lors des deux premières années (2015 et 2017) d'activité du réseau de détection hâtive et de suivi des cladocères envahissants n'ont mené à aucune capture ou détection de l'ADNe de ces espèces. Il importe cependant de rappeler que plusieurs volets des stratégies d'échantillonnage ont été ajustés au cours de ce suivi dans le but d'optimiser la détection, et ce, tant pour les activités de pêche au filet à plancton que pour la récolte d'échantillons d'eau destinés aux analyses d'ADNe.

Dans la situation appréhendée d'une faible densité de cladocères envahissants, l'effort consenti à l'échantillonnage au moyen du filet à zooplancton en 2015 et 2017 était probablement, dans certains cas, insuffisant. Les échantillonnages réalisés en trait vertical durant ces deux premières années permettaient certainement d'avoir une caractérisation représentative de la communauté zooplanctonique présente sur l'ensemble de la colonne d'eau, mais étaient moins adaptés à la détection des cladocères envahissants. Selon la profondeur de la station d'échantillonnage, les volumes d'eau filtrés pouvaient être faibles et la contribution de la strate

d'échantillonnage, considérée comme optimale lors de la révision des protocoles pour les années 2018 et 2019, était relativement minime.

La strate d'échantillonnage a été redéfinie en 2018 afin d'augmenter la probabilité de détection, puisque les espèces de cladocères envahissants montrent un comportement de migration verticale journalière (MVJ) et que leur densité peut être très variable dans la colonne d'eau. La périodicité et l'amplitude de la MVJ sont majoritairement influencées par la stratification thermique du lac et la présence de prédateurs pélagiques comme le cisco de lac (*Coregonus artedii*), le corégone (*Coregonus clupeaformis*) ou l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). La présence de prédateurs pélagiques a été démontrée comme étant un facteur pouvant diminuer l'amplitude de la MJV et ainsi concentrer les cladocères envahissants à des profondeurs moindres (Young and Yan 2008).

De plus, en cas de stratification thermique, la strate d'échantillonnage optimale des cladocères envahissants est déterminée par rapport aux limites du métalimnion (ou thermocline, figure 6). Le métalimnion est défini comme la zone de la colonne d'eau où la température diminue de > 1 °C par mètre. Ces limites sont la profondeur supérieure Z_{EM} (début de la zone > 1 °C/m) et la profondeur inférieure Z_{MH} du métalimnion (fin de la zone > 1 °C/m, température stable). Les périodes et les strates d'échantillonnage ont donc été définies selon les caractéristiques du lac (tableau 5) et les travaux de 2018 et de 2019 ont été planifiés en prenant ces éléments en considération. Enfin, en l'absence de stratification thermique (une situation courante en réservoir), les cladocères envahissants sont localisés près du fond du plan d'eau pendant la journée (Brown et al. 2012). Dans ce cas, un échantillonnage de nuit s'impose. Ce cas de figure ne s'est cependant pas encore présenté depuis la mise en place de la nouvelle stratégie d'échantillonnage.

Finalement, l'absence de quantification du volume filtré durant les deux premières années ne permettait pas d'estimer l'abondance de la population en cas de capture. Pour réaliser cette mesure, les filets à zooplancton devaient être équipés d'un débitmètre mécanique permettant de produire une estimation du volume d'eau filtré par le filet (effort d'échantillonnage) à chaque station, ce qui a été mis en place en 2018. La stratégie de détection a ainsi été modifiée pour un échantillonnage horizontal dans le métalimnion (strate d'échantillonnage optimale). Pour ce faire, l'engin de capture a été changé pour un filet conique de 50 cm de diamètre d'ouverture,

d'une maille de 250 µm qui, d'après une revue de littérature scientifique (Morissette, données non publiées), représentait le choix optimal pour la capture des cladocères envahissants.

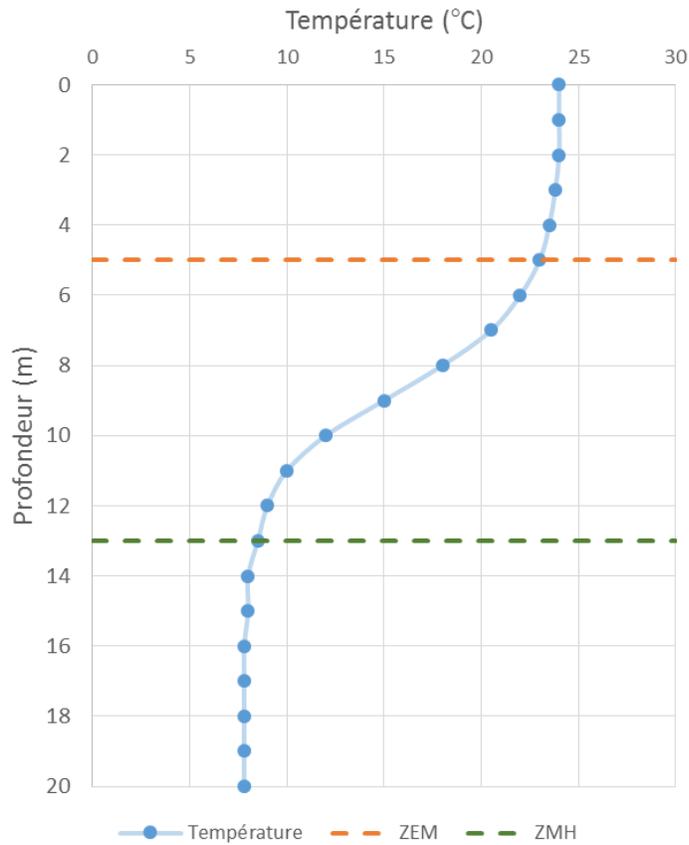


Figure 6. Schéma des profondeurs supérieure (ZEM) et inférieure (ZMH) du métalimnion dans un lac fictif en situation de stratification thermique. Dans ce cas, le métalimnion (thermocline) se situe entre les deux traits pointillés, soit de 5 à 13 m de profondeur.

Tableau 5. Période de la journée et strate d'échantillonnage les plus favorables pour la détection des cladocères envahissants selon la composition de la communauté et les caractéristiques physiques du plan d'eau

Prédateurs pélagiques?	Stratification thermique?	Période de la journée	Strate à viser
Oui	Oui	Jour : 1 h après le lever du soleil – 1 h avant son coucher	Métalimnion supérieur : < Z _{EM} à < Z _{MH}
Oui	Non	Nuit : 1 h après le coucher du soleil – 1 h avant son lever	Épilimnion : Surface à Z _{EM}
Non	Oui	Jour : 1 h après le lever du soleil – 1 h avant son coucher	Métalimnion inférieur : > Z _{EM} à > Z _{MH}
Non	Non	Nuit : 1 h après le coucher du soleil – 1 h avant son lever	Métalimnion supérieur : < Z _{EM} à < Z _{MH}

Comme pour les autres espèces qui composent le zooplancton, l'abondance des cladocères envahissants est variable durant l'année (Kelly et al. 2013). Elle est particulièrement influencée par des facteurs abiotiques (température de l'eau) et biotiques (disponibilité des proies, présence de prédateurs). Dans un lac typique, les populations de cladocères envahissants connaissent de 1 à 2 maxima d'abondance par année. Ces maxima ont lieu en été (fin juin, début juillet) et en automne (août-septembre). Entre ces périodes, les populations de cladocères envahissants peuvent connaître des baisses d'abondance importantes, pouvant même s'approcher de l'absence de spécimens (Brown et al. 2012; Kelly et al. 2013). Afin d'augmenter la probabilité de détection, les périodes d'échantillonnage pour le réseau ont été établies dans une fenêtre temporelle le plus près possible de l'une ou l'autre des périodes décrites plus haut.

4.2 La mise en place et la performance du réseau de détection hâtive

Les résultats des activités de suivi nous permettent de formuler certains constats sur les méthodes utilisées pour la détection hâtive des cladocères envahissants. Ainsi, les résultats obtenus par la détection d'ADNe dans les lacs ontariens ont montré la très bonne performance de cette technique. Les deux espèces ont été détectées de manière constante dans chacun des plans d'eau envahis visités. Cependant, le faux négatif observé dans le lac Harp (seulement une amplification sur les deux essais) met en évidence l'importance de réaliser l'échantillonnage de détection hâtive de ce type d'espèce envahissante avec un effort d'échantillonnage suffisant et dirigé. La combinaison de l'analyse de l'ADNe et des méthodes traditionnelles (filets à

zooplancton) est également une stratégie efficace permettant d'atteindre une probabilité de détection suffisante par des méthodes diversifiées. Bien que la détection par ADNe soit une technique très sensible, le signal de détection peut montrer une certaine variabilité attribuable à plusieurs facteurs hors du contrôle de l'échantillonneur (densité variable des organismes, présence d'inhibiteurs de la réaction PCR, dégradation de l'ADN). Cette considération avait cependant été prise en compte depuis le début des activités de suivi, avec un effort terrain visant un échantillonnage de plus d'une station par secteur du Saint-Laurent ou par plan d'eau.

Il importe de rappeler que les lacs ontariens visités dans le cadre de la validation des amorces sont des plans d'eau colonisés depuis plus d'une quinzaine d'années. Les populations de cladocères envahissants y sont bien établies et leur densité y est importante. Dans le cadre d'activités de détection hâtive, le signal recherché est vraisemblablement plus faible puisque les populations sont aux premières étapes de la colonisation, donc à des densités très faibles. Ainsi, il est d'autant plus important de déployer un effort suffisant. Les deux premières années d'activités ont permis de cibler certaines faiblesses du protocole expérimental qui ont été corrigées à partir de 2018. L'observation de résultats positifs dans l'exercice de 2018 peut être une conséquence de ce changement ou un événement fortuit. Le lac Témiscamingue a fait l'objet d'une activité de détection du cladocère épineux à l'été 2014, réalisée par la Direction de la gestion de la faune aquatique de la région de l'Abitibi-Témiscamingue (DGFa-08) à 2 stations (Jean-Pierre Hamel, communication personnelle). L'échantillonnage a été réalisé avec un filet à plancton conique identique à celui du réseau de détection actuel (mailles de 250 µm, ouverture de 50 cm), mais sur des profils verticaux (sous la thermocline jusqu'à la surface) faits en triplicata. Le cladocère épineux n'a pas été détecté en 2014. Il n'est présentement pas possible de déterminer si l'invasion du lac Témiscamingue aurait eu lieu seulement après 2014, puisqu'il subsiste un risque que ces résultats représentent un faux négatif.

Puisque les méthodes déployées actuellement sont très sensibles et complémentaires, la concordance dans les résultats des deux méthodes (filet et ADNe) renforce le niveau de confiance quant aux exercices réalisés en 2015 et en 2017. Cependant, la détection hâtive de cladocères envahissants peut être difficile à certaines occasions. Par exemple, une étude de 2018 montre que la population de cladocères épineux du lac Mendota (Wisconsin) est passée inaperçue durant plus de 14 ans, malgré des suivis fréquents (15 par année) de la communauté zooplanctonique (Walsh et al. 2018).

Évidemment, le protocole de détection mis en place pourrait encore être bonifié pour augmenter sa sensibilité et sa capacité de détection. Une étude récente réalisée dans 10 lacs du Wisconsin a montré que la détection des cladocères épineux par une analyse des sédiments (recherche d'épines) représente une technique très efficace (Walsh et al. 2019). Les auteurs affirment qu'un programme de détection combinant un échantillonnage par filets à zooplancton (traits verticaux) et l'analyse des sédiments (benne Ekman) présente une performance supérieure à l'utilisation combinée du filet à zooplancton et de l'ADNe. La faisabilité et l'efficacité de cette modification seront analysées afin de déterminer si cela pourrait représenter une optimisation des ressources humaines et financières investies dans le réseau de détection québécois (ex. : temps terrain et rapidité de traitement). Bien que le protocole de surveillance puisse être amélioré en termes de performance et d'efficacité, ses corrections ne discréditeraient en rien la validité des résultats du présent rapport. Il est également à noter que l'épine du cladocère épineux, unique et très caractéristique de l'espèce, résiste aux sucs gastriques des estomacs de poissons. C'est d'ailleurs grâce à cette structure que la présence de cette espèce a été détectée au lac Saint-François lors de l'examen des estomacs de poissons capturés dans le RSI en 2014. L'examen des contenus stomacaux, bien que ne visant pas directement la détection d'espèces aquatiques envahissantes, constitue également une façon indirecte de les détecter dans certaines occasions (ex. : suivi ichtyologique).

4.3 Situation du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon au Québec

Les travaux de 2018 ont mené à la détection d'une population de cladocères épineux dans le lac Témiscamingue et le lac Saint-François. Finalement, les résultats de 2019 montrent la présence des deux espèces de cladocères envahissants dans les eaux de la rivière Richelieu, et une augmentation de l'abondance du cladocère épineux au lac Saint-François (figure 6).

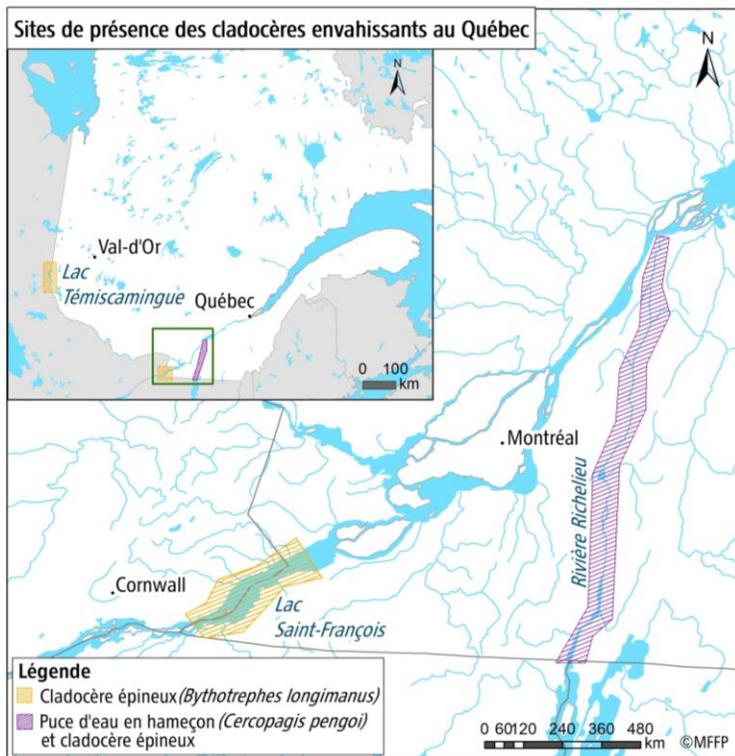


Figure 7. Distribution des cladocères envahissants au Québec lors de la publication du rapport. Les zones illustrées montrent la présence du cladocère épineux (polygone jaune) et la présence combinée du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon (polygone violet).

Les densités moyennes estimées dans le lac Témiscamingue ($0,28 \text{ cladocère/m}^3$), le lac Saint-François et le Haut-Richelieu ($\sim 1 \text{ cladocère/m}^3$) sont en deçà des densités observées dans d'autres plans d'eau envahis. Notamment, le lac Simcoe en Ontario affiche une densité moyenne de $4,3 \pm 1,1$ à $29,9 \pm 6,5 \text{ cladocères/m}^3$ selon un suivi bihebdomadaire tenu durant 9 ans (Kelly et al. 2013). Des densités moyennes variant de 20 à 57 cladocères/m³ ont également été mesurées dans le suivi en place au Island Lake Reservoir (Minnesota) (Brown et al. 2012). Il est cependant hasardeux de tirer des conclusions sur la gravité de l'invasion sur la base unique d'une comparaison entre ces premières estimations des densités de l'espèce au Québec et celles des autres plans d'eau envahis en Amérique du Nord, lesquelles sont issues de données récoltées à des stations normalisées (traits verticaux) à une fréquence temporelle élevée, au contraire de la stratégie de détection qui vise à prélever des échantillons préférentiellement dans la strate de profondeur où la présence des cladocères envahissants est la plus probable. Il est important de rappeler que l'abondance des cladocères envahissants peut varier de plusieurs ordres de grandeur durant une saison. La dynamique des populations de ces

cladocères envahissants au Québec étant inconnue jusqu'à ce jour, il n'est pas possible de déterminer si les observations dans la province étaient effectuées lors des maxima d'abondance de l'espèce ou non.

Les mentions de cladocères envahissants de la rivière Richelieu sont de nature particulière. Cet écosystème principalement lotique est caractérisé par une concentration relativement plus élevée en matière organique et en sédiments, ce qui est loin de l'habitat optimal pour ces espèces, reconnues comme typiques des lacs profonds et oligotrophes (Branstrator et al. 2006; MacIsaac et al. 2000). La forte abondance des deux espèces de cladocères envahissants dans le lac Champlain (habitat lentique), où la rivière Richelieu prend sa source, laisse supposer que les observations plus en aval dans cette rivière pourraient trouver leur origine dans un déplacement passif issu du lac.

Nos résultats permettent de faire le constant que ces deux espèces de cladocères envahissants sont bel et bien présentes au Québec, mais vraisemblablement encore à des densités de faible à moyenne d'après les suivis réalisés depuis 2015. La situation n'en demeure pas moins préoccupante.

4.4 Plan d'action

La découverte de populations de cladocères envahissants au Québec appelle maintenant à l'établissement d'actions subséquentes. En d'autres termes, quelles sont les prochaines actions à mettre en place pour y donner suite? L'élaboration d'un plan d'action provincial très fortement axé sur la prévention et la sensibilisation de même que sa mise en œuvre s'avèrent essentielles pour concerter les actions entre les régions tout en permettant de répondre à des enjeux particuliers déjà décrits dans ce rapport.

En raison de leur nature, une fois qu'ils sont implantés dans un système, il n'existe pas de moyens efficaces de contrôle ou de réduction des cladocères envahissants. Ainsi, les priorités d'action devraient s'orienter autour des objectifs suivants : 1) diminuer les risques de dispersion des cladocères envahissants vers d'autres plans d'eau et 2) documenter la dynamique de population et les impacts du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon dans les différents systèmes envahis.

4.4.1 Priorités d'action en prévention

Le maintien d'activités de détection hâtive dans les plans d'eau jugés à risque, soit à proximité des plans d'eau où l'une ou l'autre des espèces est déjà présente ou des fronts de colonisation sont connus, est important. Il apparaît également important d'adapter le plus rapidement possible les mesures de prévention afin d'éviter que de nouvelles introductions en eaux intérieures se multiplient. Comme la prévention et l'éducation sont des actions collectives, ce volet gagnerait à être développé conjointement avec divers partenaires (ex. : municipalités, organismes de bassins versants, autres ministères). La participation citoyenne représente également une contribution non négligeable, et qui se doit d'être encouragée, pour contribuer à la détection hâtive de ces espèces dans les plans d'eau du Québec.

Les données disponibles sur les vecteurs de dispersion potentiels des cladocères envahissants montrent que la navigation de plaisance, la pêche sportive et l'utilisation de poissons appâts (vivants ou morts) sont les principales sources de dispersion (Kerfoot et al. 2011; Weisz and Yan 2010). Ainsi, les actions visant la prévention de la dispersion des cladocères envahissants sont très comparables à celles généralement déployées pour les autres espèces envahissantes reliées à ces vecteurs, telles que la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et le myriophylle à épi (*Myriophyllum spicatum*). Pour réduire les risques de dispersion, le nettoyage des embarcations et des équipements de pêche représente un des moyens les plus efficaces. La promotion du nettoyage des embarcations, dans le respect des consignes mises de l'avant dans le guide québécois des bonnes pratiques (Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs 2018), constitue une priorité d'action dans le cas des secteurs envahis. En plus de la sensibilisation, la mise en place de stations de nettoyage publiques et de modalités réglementaires concernant l'obligation légale pour les usagers des plans d'eau à les utiliser pourrait faciliter la pratique du nettoyage des embarcations pour les utilisateurs des régions envahies et diminuer significativement le risque de dispersions secondaires. Finalement, l'interdiction d'utiliser des poissons appâts à la pêche sportive, implantée en avril 2017, est une action préventive efficace face à l'introduction et à la dispersion de plusieurs espèces aquatiques envahissantes, notamment les cladocères envahissants (Kerfoot et al. 2011).

Ces efforts préventifs visent à limiter les introductions secondaires, mais aussi à éviter les nombreux impacts négatifs associés aux cladocères envahissants, tels que le déclin des espèces de poissons indigènes (dont certaines d'intérêt sportif), l'encrassement des

équipements (ex. : cordages, lignes à pêche, viviers), l'augmentation de l'apport en phosphore, la diminution de la clarté de l'eau, les épisodes de floraison de cyanobactéries, la diminution de l'attrait touristique des régions envahies et la dévaluation foncière de celles-ci. Certaines actions de prévention nécessiteront inévitablement des dépenses pour les municipalités et les régions touchées, mais aussi une prise en main et une adhésion du public. L'étude de Walsh et al. (2016) a montré que le seul impact de la dégradation de la qualité de l'eau causée par le cladocère épineux peut représenter des coûts en services écologiques de l'ordre de 86 à 163 millions de dollars pour un seul plan d'eau, faisant la démonstration des coûts relativement infimes requis par les activités de prévention. Le MFFP contribue déjà à cet effort de prévention par la détection hâtive, les campagnes d'éducation et l'installation d'infrastructures de nettoyage par l'entremise du programme Stations de nettoyage d'embarcations, qui vise la subvention de l'installation de stations de nettoyage d'embarcations sur le territoire du Québec depuis 2017.

4.4.2 Priorités d'action en acquisition de connaissances

Les activités de la stratégie visent essentiellement à faire la détection des cladocères envahissants dans les plans d'eau québécois. Les données recueillies donnent donc peu d'information sur l'état de la population détectée et sa progression. Une activité plus rigoureuse d'acquisition de ce type de connaissances pourrait nous renseigner sur l'état de la population (densité et dynamique) ainsi que la place qu'occupent ces espèces dans la communauté aquatique d'un lac envahi (zooplanctons, poissons). Entre autres, des suivis normalisés et ponctuels pourraient nous renseigner sur la phénologie de la population (ex. : nombre de maxima d'abondance et densité moyenne et maximale). Ces inventaires pourraient s'orienter autour de prélèvements par filet au moyen de traits verticaux, sur une ou des stations fixes dans le lac Témiscamingue à une fréquence bihebdomadaire ou mensuelle selon la saison. Ces informations sont importantes pour mieux connaître la périodicité des maxima d'abondance dans les populations et ainsi cibler les moments dans l'année où les chances d'introduction sont maximales, et donc où la sensibilisation et la vigilance des organismes riverains doivent redoubler.

Les impacts écologiques des cladocères envahissants dans un écosystème boréal sont encore peu connus, tout comme les implications par rapport à la gestion des espèces de poissons d'intérêt sportif. Des études pourraient, par exemple, évaluer l'intégration du cladocère

envahissant à la diète des poissons du lac Témiscamingue, son influence sur la communauté zooplanctonique ainsi que sur la production larvaire et juvénile des poissons sportifs dans le lac. L'infestation du lac Témiscamingue représente une occasion de mieux comprendre ces phénomènes en eaux intérieures, par l'implantation de programmes de suivis plus intensifs. Le maintien de suivis dans la rivière Richelieu et le lac Saint-François pour documenter plus précisément le rôle de ces plans d'eau en tant qu'habitats de recrutement, voies de transit et sources de potentielles invasions secondaires serait également pertinent pour comprendre cette dynamique particulière et adapter les mesures de prévention s'il est possible de le faire. Ces travaux nécessiteront évidemment une collaboration avec les établissements de recherche (ex. : universités), mais aussi avec les agences de gestion de ressources naturelles des États et provinces limitrophes du Québec.

5. Conclusions

Les premières années d'activités du réseau de détection hâtive du cladocère épineux et de la puce d'eau en hameçon montrent que la distribution connue du cladocère épineux se limite aux eaux du lac Témiscamingue, du lac Saint-François et de la rivière Richelieu. Quant à la puce d'eau en hameçon, sa distribution serait présentement limitée à la rivière Richelieu. Nous ne pouvons cependant pas affirmer que ces populations sont les seules au Québec. Ce fait souligne la nature cryptique de ces espèces et le défi de détection qu'elles représentent. L'examen de contenus stomacaux de poissons en provenance des plans d'eaux potentiellement envahis s'avère une façon complémentaire et efficace pour détecter ces espèces de façon indirecte, surtout le cladocère épineux. La détection par l'analyse des sédiments des lacs serait aussi une stratégie à considérer.

On ne sait pas, à l'heure actuelle, si la rivière Richelieu est un habitat transitoire ou un lieu de recrutement de ces espèces. Peu importe leur origine, la présence de cladocères envahissants vivants dans la rivière Richelieu représente un risque de dispersion secondaire vers les lacs du Québec, ce qui appelle à un effort plus soutenu en prévention dans le secteur. En outre, la présence du cladocère épineux dans la rivière Richelieu et son possible transport vers le fleuve Saint-Laurent constituent des sources de dispersion naturelle qui s'ajoutent au front de colonisation plus à l'ouest (lac Saint-François). Dans le cas de la puce d'eau en hameçon, la rivière Richelieu constitue la seule source naturelle potentielle d'introduction de l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent connue à ce jour. La puce d'eau en hameçon pourrait également être transportée vers les eaux intérieures par un vecteur anthropique (ex. : navigation de plaisance, pêche sportive). Par ailleurs, contrairement à ce qui se produit avec la moule zébrée, l'établissement des cladocères envahissants ne serait pas freiné par les conditions environnementales des lacs boréaux, ces derniers sont donc à risque. De plus, le potentiel d'établissement de populations de ces espèces dans de grands systèmes fluviaux est peu connu, mais ne peut pas être totalement exclu, notamment dans les grands lacs fluviaux du Saint-Laurent.

La mise en place hâtive du réseau de détection et de suivi des cladocères envahissants fournit un point de référence solide et permet de cibler et de mettre en œuvre rapidement des actions préventives et de lutte contre les cladocères envahissants. Parallèlement, des actions de

prévention ont aussi déjà été mises en place sur le territoire québécois et elles fournissent des informations pertinentes et à jour pour adapter rapidement les interventions. Pensons notamment à l'interdiction de l'utilisation des poissons appâts à la pêche sportive et à l'implantation de stations de nettoyage aux abords des plans d'eau, grâce au financement offert par le programme Stations de nettoyage d'embarcations du MFFP. Ces premières années d'activités soulignent l'importance des actions concertées de détection hâtive, instaurées de manière préventive afin de donner la capacité au MFFP et à ses partenaires de mettre en place des mesures concrètes dès la détection d'une espèce.

6. Références

- Barbiero, R.P., Lesht, B.M., & Warren, G.J. 2014. Recent changes in the offshore crustacean zooplankton community of Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research* **40**(4): 898-910. doi:10.1016/j.jglr.2014.08.007.
- Benoît, H.P., Johannsson, O.E., Warner, D.M., Sprules, W.G., & Rudstam, L.G. 2002. Assessing the impact of a recent predatory invader: The population dynamics, vertical distribution, and potential prey of *Cercopagis pengoi* in Lake Ontario. *Limnology and Oceanography* **47**(3): 626-635. doi:10.4319/lo.2002.47.3.0626.
- Branstrator, D.K., Brown, M.E., Shannon, L.J., Thabes, M., & Heimgartner, K. 2006. Range expansion of *Bythotrephes longimanus* in North America: Evaluating habitat characteristics in the spread of an exotic zooplankton. *Biological Invasions* **8**(6): 1367-1379. doi:10.1007/s10530-005-5278-7.
- Bronnenhuber, J.E., & Wilson, C.C. 2013. Combining species-specific COI primers with environmental DNA analysis for targeted detection of rare freshwater species. *Conservation Genetics Resources* **5**(4): 971-975. doi:10.1007/s12686-013-9946-0.
- Brown, M.E., Branstrator, D.K., & Shannon, L.J. 2012. Population regulation of the spiny water flea (*Bythotrephes longimanus*) in a reservoir: Implications for invasion. *Limnology and Oceanography* **57**(1): 251-271. doi:10.4319/lo.2012.57.1.0251.
- Edmonson, W.T. 1959. *Freshwater Biology*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York.
- Goldberg, C.S., Pilliod, D.S., Arkle, R.S., & Waits, L.P. 2011. Molecular detection of vertebrates in stream water: A demonstration using rocky mountain tailed frogs and Idaho giant salamanders. *PLOS ONE* **6**(7): e22746. doi:10.1371/journal.pone.0022746.
- Hernandez, C., Bougas, B., Perreault-Payette, A., Simard, A., Côté, G., & Bernatchez, L. 2020. 60 specific eDNA qPCR assays to detect invasive, threatened, and exploited freshwater vertebrates and invertebrates in Eastern Canada. *Environmental DNA* **n/a**(n/a). doi:10.1002/edn3.89.
- Kelly, N.E., Young, J.D., Winter, J.G., & Yan, N.D. 2013. Dynamics of the invasive spiny water flea, *Bythotrephes longimanus*, in Lake Simcoe, Ontario, Canada. *Inland Waters* **3**(1): 75-92. doi:10.5268/IW-3.1.519.
- Kerfoot, W.C., Yousef, F., Hobmeier, M.M., Maki, R.P., Jarnagin, S.T., & Churchill, J.H. 2011. Temperature, recreational fishing and diapause egg connections: dispersal of spiny water fleas (*Bythotrephes longimanus*). *Biological Invasions* **13**(11): 2513. doi:10.1007/s10530-011-0078-8.
- Laxson, C.L., McPhedran, K.N., Makarewicz, J.C., Telesh, I.V., & Macisaac, H.J. 2003. Effects of the non-indigenous cladoceran *Cercopagis pengoi* on the lower food web of Lake Ontario. *Freshwater Biology* **48**(12): 2094-2106. doi:10.1046/j.1365-2427.2003.01154.x.
- LeDuc, J.F., Hobmeier, M.M., & Kerfoot, W.C. 2019. Pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*) counter spiny cladoceran (*Bythotrephes longimanus*) defenses. *Journal of Great Lakes Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.11.008>.
- MacIsaac, H.J., Ketelaars, H.A., Grigorovich, I.A., Ramcharan, C.W., & Yan, N.D. 2000. Modeling *Bythotrephes longimanus* invasions in the Great Lakes basin based on its European distribution. *Archiv für Hydrobiologie* **41**(1): 1-21.
- Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs. 2018. Guide des bonnes pratiques en milieu aquatique dans le but de prévenir l'introduction et la propagation d'espèces aquatiques envahissantes. Gouvernement du Québec, Québec. p. 40.

- Torke, B.G. 1974. An illustrated guide to the identification of the planktonic crustacea of Lake Michigan with notes on their ecology. Special report. No. 17. University of Wisconsin - Milwaukee, Milwaukee, Wisconsin.
- Walsh, J.R., Carpenter, S.R., & Vander Zanden, M.J. 2016. Invasive species triggers a massive loss of ecosystem services through a trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **113**(15): 4081. doi:10.1073/pnas.1600366113.
- Walsh, J.R., Pedersen, E.J., & Vander Zanden, M.J. 2018. Detecting species at low densities: a new theoretical framework and an empirical test on an invasive zooplankton. *Ecosphere* **9**(11): e02475. doi:10.1002/ecs2.2475.
- Walsh, J.R., Spear, M.J., Shannon, T.P., Krysan, P.J., & Vander Zanden, M.J. 2019. Using eDNA, sediment microfossils, and zooplankton nets to detect invasive spiny water flea (*Bythotrephes longimanus*). *Biological Invasions* **21**(2): 377-389. doi:10.1007/s10530-018-1862-5.
- Weisz, E.J.W.J., & Yan, N.D.Y.D. 2010. Relative value of limnological, geographic, and human use variables as predictors of the presence of *Bythotrephes longimanus* in Canadian Shield lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **67**(3): 462-472. doi:10.1139/f09-197.
- Yan, N.D., Girard, R., & Boudreau, S. 2002. An introduced invertebrate predator (*Bythotrephes*) reduces zooplankton species richness. *Ecology Letters* **5**: 481-485.
- Yan, N.D., Leung, B., Lewis, M.A., & Peacor, S.D. 2011. The spread, establishment and impacts of the spiny water flea, *Bythotrephes longimanus*, in temperate North America: a synopsis of the special issue. *Biological Invasions* **13**(11): 2423. doi:10.1007/s10530-011-0069-9.
- Young, J.D., & Yan, N.D. 2008. Modification of the diel vertical migration of *Bythotrephes longimanus* by the cold-water planktivore, *Coregonus artedii*. *Freshwater Biology* **53**(5): 981-995. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.01954.x.



**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 