



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/044

Région de l'Ontario et des Prairies

Données utiles pour l'évaluation du potentiel de rétablissement des unités désignables de grand corégone (*Coregonus clupeaformis*) de petite taille et de grande taille du lac Opeongo

Julia E. Colm et D. Andrew R. Drake

Pêches et Océans Canada
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques
867, chemin Lake Shore
Burlington (ONTARIO) L7S 1A1 Canada

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022
ISSN 2292-4272
ISBN 978--0-660-43838-2 N° cat. Fs70-5/2022-044F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Colm, J.E., et Drake, D.A.R. 2022. Données utiles pour l'évaluation du potentiel de rétablissement des unités désignables de grand corégone (*Coregonus clupeaformis*) de petite taille et de grande taille du lac Opeongo. Secr. can. des avis sci. du MPO. 2022/044. iv + 45.

Also available in English :

Colm, J.E., and Drake, D.A.R. 2022. Information in support of a Recovery Potential Assessment of Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*), Lake Opeongo large-bodied and small-bodied Designatable Units. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/044. iv + 40 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
BIOLOGIE, ABONDANCE, RÉPARTITION ET CYCLE BIOLOGIQUE.....	2
DESCRIPTION DE L'ESPÈCE	2
CYCLE VITAL	3
RÉGIME ALIMENTAIRE	4
IMPORTANCE DE L'ESPÈCE	5
ABONDANCE	6
RÉPARTITION	6
SITUATION ACTUELLE	9
ÉVALUATION DE LA POPULATION.....	13
PARAMÈTRES DU CYCLE BIOLOGIQUE.....	15
BESOINS EN MATIÈRE D'HABITAT ET DE RÉSIDENCE	18
FONCTIONS, CARACTÉRISTIQUES ET PARAMÈTRES	20
MENACES ET FACTEURS LIMITATIFS LIÉS À LA SURVIE ET AU RÉTABLISSEMENT DU GRAND CORÉGONE	24
CATÉGORIES DE MENACES	24
Intrusions et perturbations humaines	25
Espèces et gènes envahissants ou problématiques	25
Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents	27
Menaces cumulatives.....	28
ÉVALUATION DES MENACES	29
Facteurs limitatifs	33
SCÉNARIOS DES MESURES D'ATTÉNUATION DES MENACES ET DES SOLUTIONS DE RECHANGE	35
Espèces et gènes envahissants ou problématiques	35
SOURCES D'INCERTITUDE.....	37
REMERCIEMENTS	37
RÉFÉRENCES CITÉES	38

RÉSUMÉ

Le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*) est un benthivore d'eau froide dont la répartition est vaste et dont les caractéristiques écologiques et morphologiques varient grandement au Canada. Une paire d'espèces de grands corégonos du lac Opeongo, de petite taille et de grande taille, a été découverte pour la première fois en 1940. Les deux formes (désormais considérées comme des unités désignables [UD] distinctes) ont été désignées comme menacées par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) en avril 2018. La raison de cette désignation est que les deux UD ne sont connues que dans le lac Opeongo, situé dans le parc provincial Algonquin (Ontario), et que l'introduction d'espèces aquatiques envahissantes pourrait perturber les processus écologiques uniques qui ont conduit à la divergence et maintiennent la paire d'espèces (COSEPAC 2018). L'évaluation du potentiel de rétablissement fournit les renseignements de base et les avis scientifiques nécessaires pour répondre à diverses exigences de la *Loi sur les espèces en péril* du gouvernement fédéral. Le présent document de recherche décrit l'état actuel des connaissances sur la paire d'espèces, y compris la biologie, la répartition, les tendances des populations, les besoins en matière d'habitat et les menaces; ces renseignements seront utilisés pour orienter les plans de rétablissement. Il existe peu de renseignements permettant d'évaluer correctement l'état de l'une ou l'autre des UD, en particulier des poissons de petite taille. Une évaluation des menaces a permis de déterminer que les plus grandes menaces pour les UD de grands corégonos de petite taille et de grande taille du lac Opeongo sont les espèces aquatiques envahissantes, le changement climatique et les perturbations humaines; cependant, les effets de ces menaces ne sont pas bien compris. Les mesures d'atténuation et les autres activités liées aux menaces cernées sont présentées, le cas échéant. D'importantes lacunes dans les connaissances subsistent concernant les tendances de la population, ainsi que les différences dans l'occupation des niches et les effets des menaces actuelles et prévues sur les deux UD.

INTRODUCTION

Le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*, Mitchill 1818) est un benthivore d'eau froide de la famille des *Salmonidae*. Sa répartition en Amérique du Nord est vaste : il est présent aussi dans les lacs et les rivières de l'Alaska au Labrador (d'ouest en est) et de l'île Victoria au nord-est des États-Unis (du nord au sud). Au Canada, il est présent dans toutes les provinces et tous les territoires, sauf l'Î.-P.-É. Le grand corégone est l'une des espèces commerciales d'eau douce les plus importantes au Canada et revêt une importance pour les pêches récréatives et comme poisson de consommation (Scott et Crossman 1998, MPO 2018). En plus de son importance socio-économique au Canada, le grand corégone a suscité beaucoup d'attention dans la communauté scientifique en raison de l'importante variation observée dans son aire de répartition, tant au sein des populations qu'entre elles. Certaines populations contiennent deux formes distinctes, une forme plus petite (généralement limnétique), dite « naine », et une forme plus grande (généralement benthique), dite « normale », qui résultent d'adaptations locales. Ce degré de différenciation a rendu l'espèce difficile à classer, et au bout du compte, à évaluer et à gérer.

Certaines populations de grands corégones ont fait l'objet d'efforts de conservation prioritaires dès le début. En 1987, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a évalué le premier groupe distinct de grands corégones (anciennement le corégone du Squanga) comme étant préoccupant (Bodaly *et al.* 1987); bien que ce groupe ait récemment été reclassé et réévalué (COSEPAC 2018). En novembre 2000, les données sur la population de grand corégone de la rivière Mira ont été jugées insuffisantes (Goodchild 2001) et en avril 2005, les données sur la population du lac Simcoe ont également été jugées insuffisantes (COSEPAC 2005). Aucune population de grand corégone n'a été inscrite sur la liste de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP). La confusion persistante et la difficulté à classer par ordre de priorité les populations ont conduit à un rapport spécial (Rogers 2009) et à des efforts supplémentaires (Mee *et al.* 2015) pour classer l'espèce en unités désignables (UD) qui justifiaient un examen indépendant fondé sur les nouvelles lignes directrices du COSEPAC pour la classification sous le niveau de l'espèce (COSEPAC 2012).

Un total de 36 UD a été défini d'après des critères imbriqués 1) d'isolement reproductif, 2) d'histoire phylogéographique, 3) d'adaptation locale et 4) de séparation biogéographique (Rogers 2009, Mee *et al.* 2015). Certaines de ces UD représentent une forme unique et ont une large répartition géographique, et d'autres représentent des membres de paires d'espèces trouvées de manière isolée. Les paires d'espèces peuvent être le résultat de la rencontre en sympatrie de deux espèces distinctes (c.-à-d. *C. lavaretus* et *C. clupeaformis* du lacs du Yukon), de la rencontre de deux populations autrefois allopatriques (c.-à-d. provenant de différents refuges glaciaires, comme la paire du lac Como) ou de la rencontre en sympatrie d'adaptations locales (c.-à-d. le passage à une niche inexploitée dans le lac pour réduire la concurrence intraspécifique, comme la paire du lac Opeongo). Les paires d'espèces ont divergé à des degrés différents par des mécanismes différents. En tant que telles, elles sont uniques à leurs lacs et représentent des unités discrètes et importantes de la diversité des grands corégones (Bodaly 1979, Vuorinen *et al.* 1993, Landry *et al.* 2007, Rogers 2009, Landry et Bernatchez 2010, Mee *et al.* 2015).

À partir de ces efforts de classification, 10 UD représentant des paires d'espèces de cinq lacs canadiens ont été déterminées comme prioritaires en matière de conservation d'après des preuves d'isolement reproductif entre les formes et des preuves suffisantes d'adaptations locales qui ont entraîné la différenciation des paires d'espèces (Mee *et al.* 2015). Ces 10 UD ont été évaluées par le COSEPAC en avril 2018 (COSEPAC 2018). Deux des UD trouvées dans le lac Como, en Ontario, ont été évaluées comme disparues, car les formes originales naines ou

normales n'ont pas été trouvées dans le lac après l'invasion d'un zooplancton (Reid *et al.* 2017); ces UD ne seront pas examinées plus avant pour le moment. Pour six des UD trouvées dans les lacs du Yukon, une évaluation du potentiel de rétablissement a été réalisée en avril 2020 (MPO 2021). Deux des autres UD de grand corégone évaluées en 2018 se trouvent dans le lac Opeongo, en Ontario, et consistent en une UD de grande taille et une UD de petite taille. Les deux UD ont été évaluées comme menacées, d'après les critères D2 d'un indice restreint de la zone d'occupation dans un seul endroit et en raison du risque d'établissement d'espèces aquatiques envahissantes qui pourraient perturber les processus écologiques qui ont conduit à la divergence et au maintien de la paire d'espèces.

Le processus d'évaluation du potentiel de rétablissement a été élaboré par Pêches et Océans Canada (MPO) pour fournir l'information et les avis scientifiques nécessaires pour satisfaire aux exigences de la LEP. Le processus s'appuie sur les lignes directrices du MPO (2007) et sur des lignes directrices mises à jour (données inédites du MPO) qui évaluent 22 éléments du potentiel de rétablissement. Ce document résume les données sur la biologie, la répartition, le cycle biologique, les paramètres de population, les menaces et les mesures d'atténuation applicables à l'appui du processus d'évaluation du potentiel de rétablissement de ces deux UD du lac Opeongo. Ce document de recherche accompagne un document de recherche sur la modélisation du potentiel de rétablissement (Fung *et al.* 2022) et, ensemble, ils traitent des 22 éléments décrits dans le processus d'évaluation du potentiel de rétablissement (MPO 2007, données inédites du MPO).

Lorsqu'elles sont disponibles, les données sur les UD de grands corégonnes de petite taille et de grande taille du lac Opeongo seront présentées en premier, puis complétées par des données sur les paires d'espèces provenant d'ailleurs et par des données générales sur le grand corégone lorsque des données précises font défaut.

BIOLOGIE, ABONDANCE, RÉPARTITION ET CYCLE BIOLOGIQUE

Élément 1 : Résumer la biologie du grand corégone

DESCRIPTION DE L'ESPÈCE

Le grand corégone est une espèce benthique d'eau froide de la famille des *Salmonidae* (sous-famille des corégonnes). Cette espèce, ainsi que d'autres du genre *Coregonus*, présentent de grandes variations morphologiques et écologiques dans leur aire de répartition, et sont souvent désignées comme un « complexe d'espèces ». Le grand corégone est généralement de couleur argentée avec une légère coloration sur les nageoires; cependant, la couleur du corps et des nageoires varie selon les régions (Scott et Crossman 1998). Son corps a une forme allongée et est quelque peu comprimé latéralement. Sa nageoire dorsale présente entre 11 et 13 rayons mous; il dispose d'une nageoire adipeuse; sa nageoire caudale est profondément fourchue; sa nageoire anale présente entre 10 et 14 rayons; et un processus axillaire pelvien est présent. Il a une tête relativement courte, un petit œil, deux narines (caractéristiques de *Coregonus*) et un museau qui surplombe une petite bouche subterminale. Il possède, le long de la ligne latérale, de grandes écailles cycloïdes dont le nombre est variable. L'espèce possède une couche muqueuse épaisse. Les individus plus âgés peuvent développer une bosse derrière la tête. Des tubercules nuptiaux proéminents se développent sur les mâles reproducteurs et, dans une moindre mesure, sur les femelles reproductrices (Scott et Crossman 1998). Dans le lac Opeongo, d'autres corégonnes sont présents aux côtés du grand corégone. Il se distingue du ménomini rond (*Prosopium cylindraceum*), qui possède un seul rabat de narine et une encoche à la base de la paupière, et du cisco (*Coregonus artedii*) qui possède un museau qui ne surplombe pas la bouche (Scott et Crossman 1998, Holm *et al.* 2009).

Les populations de grands corégones se sont adaptées à un tel point que certains lacs contiennent deux formes distinctes, généralement une forme « normale » plus grande et une forme « naine » plus petite. La forme la plus grande se développe plus rapidement, atteint une plus grande taille et un âge plus avancé à maturité, vit plus longtemps et occupe généralement une niche benthique. La forme la plus petite croît plus lentement, arrive à maturité plus tôt et à une taille plus petite, a une durée de vie plus courte et occupe généralement une niche limnétique. La présence de deux formes distinctes de grand corégonne dans le lac Opeongo a été documentée pour la première fois par Kennedy (1943). Ces formes se distinguent par une répartition bimodale par taille des adultes matures. La forme de grande taille avait une longueur standard moyenne de 251 mm, arrivait à maturité plus tard (entre 4 et 7 ans), grandissait plus vite et plus longtemps pendant la saison de croissance et vivait plus longtemps (jusqu'à 14 ans). Un échantillonnage récent effectué par le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO) a permis de détecter des individus matures de grande taille, âgés de 4 à 24 ans, dont la longueur moyenne à la fourche est de 301 mm (données inédites du MRNFO). La forme de petite taille avait une longueur standard moyenne de 126 mm, atteignait une longueur standard maximale observée de 160 mm, arrivait à maturité plus tôt (2 ans), grandissait plus lentement et pendant une période plus courte pendant la saison de croissance, et vivait moins longtemps (jusqu'à 5 ans) (Kennedy 1943). En 2018, le MRNFO a détecté des individus matures de petite taille avec une longueur moyenne à la fourche de 145 mm âgés de 2 à 8 ans (données inédites du MRNFO). Kennedy (1943) a également remarqué des différences dans le nombre de branchiospines et d'écaillés sur une ligne latérale entre les formes. La forme de grande taille avait en moyenne (\pm écart-type) 27,7 (\pm 1,1) branchiospines et 83,3 écaillés sur une ligne latérale, et la forme de petite taille avait en moyenne (\pm écart-type) 25,4 (\pm 0,14) branchiospines et 77,3 écaillés sur une ligne latérale (Kennedy 1943). Il n'y a pas de données morphométriques/méristiques modernes ni de données sur le régime alimentaire de ces deux formes. De légères différences d'autres mesures corporelles (p. ex. le diamètre des yeux, la longueur de la tête et la longueur du pédoncule caudal) ont été remarquées par Kennedy (1943) entre les deux formes, mais ces différences n'étaient pas importantes. Les seules différences importantes de morphologie corporelle entre les sexes étaient la longueur de la nageoire pectorale et le poids des adultes de grande taille. Des preuves laissent entendre que, contrairement aux paires d'espèces présentes ailleurs, la forme de grande taille du lac Opeongo occupe des eaux moins profondes que la forme de petite taille (Kennedy 1943, Mark Ridgway, MRNFO, comm. pers.).

CYCLE VITAL

L'UD de grand corégonne de grande taille du lac Opeongo atteint la maturité sexuelle entre 4 et 7 ans (quelques spécimens atteignent la maturité dès l'âge de 3 ans); l'UD de petite taille atteint la maturité à l'âge de 2 ans (Kennedy 1943). On sait peu de choses sur les différences de cycle vital entre les UD de petite taille et de grande taille, c'est pourquoi les données sont présentées pour les deux combinées.

Dans le lac Opeongo, la fraie a lieu de la fin octobre à la fin novembre, le pic étant atteint lorsque les températures se situent entre 4 et 7 °C (Ihssen *et al.* 1981, Cucin et Faber 1985). La fraie dure de sept à dix jours dans les autres populations (Hart 1930). La fraie à la volée a lieu près du rivage (profondeurs inférieures à 8 m) sur les rochers et les hauts-fonds de galets, où les œufs restent jusqu'à l'éclosion, de fin avril à mai (Ihssen *et al.* 1981, Cucin et Faber 1985, Scott et Crossman 1998). Les œufs incubent entre 0,1 et 6,0 °C pendant environ 175 jours; la plage de température d'incubation optimale observée en laboratoire pour le grand corégonne est généralement comprise entre 0,5 et 8,1 °C (Price 1940, Brooke 1975). Ihssen *et al.* (1981) ont constaté que les œufs de grand corégonne du lac Opeongo ont incubé jusqu'à deux semaines

de plus que ceux des autres populations voisines de grand corégone en Ontario. Les œufs ont une membrane incolore, un vitellin de couleur ambre et sont légèrement adhésifs.

Les larves de grand corégone éclosent dans le lac Opeongo lorsque les températures de surface atteignent 5 à 8 °C (éclosion maximale entre 6,5 et 10 °C); les larves mesurent environ 11,5 mm de longueur (la longueur moyenne au pic d'éclosion était de 13 mm [$\pm 1,07$]) (Cucin et Faber 1985). Les larves restent près de la surface sur les frayères pendant 4 à 6 semaines, puis se déplacent généralement vers des eaux plus profondes au début de l'été (Scott et Crossman 1998, McKenna et Johnson 2009). Tous les stades biologiques du grand corégone restent sous la thermocline en été et les adultes retournent dans des eaux moins profondes pour frayer en automne. On s'attend à ce que la fraie des UD de grande taille et petite taille ait lieu chaque année dans le lac Opeongo une fois la maturité atteinte (Scott et Crossman 1998).

L'isolement reproductif entre les UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo est déduit d'après les différences de morphologie corporelle et de cycle biologique remarquées par Kennedy (1943). Des données génétiques ont confirmé l'isolement reproductif dans d'autres lacs avec deux formes sympatriques (Mee *et al.* 2015). Les mécanismes d'isolement ne sont pas clairs, mais des preuves provenant d'autres paires sympatriques canadiennes laissent entendre que des obstacles post-zygotiques sont les plus probables, où des anomalies de développement sont observées dans les croisements (Rogers et Bernatchez 2007 et références associées). Les UD de petite taille et de grande taille du lac Como, en Ontario, ont frayé sur les mêmes terrains au même moment (Vuorinen *et al.* 1993). Certaines preuves d'obstacles prézygotiques ont été remarquées à l'extérieur du Canada. Dans un lac du Maine où l'on trouve une paire d'espèces sympatriques, les grands corégones de grande taille ont commencé à frayer jusqu'à plusieurs semaines avant les individus de petite taille (Fenderson 1964), ce qui laisse entendre qu'il pourrait y avoir un isolement temporel. Chez les paires d'espèces sympatriques de corégones lavarets (*Clupeaformis lavaretus*) en Scandinavie, les formes de grande taille semblaient frayer dans les habitats peu profonds des lacs, et les formes de petite taille dans les zones plus profondes du lac et les habitats riverains (Ohlund *et al.* 2020).

RÉGIME ALIMENTAIRE

Sandercock (1964) a analysé l'estomac de 280 grands corégones du lac Opeongo dont la longueur (standard) était comprise entre 160 et 450 mm (c'est-à-dire que la plupart d'entre eux étaient probablement de grande taille, mais n'étaient pas formellement différenciés) et a constaté que le régime alimentaire se composait principalement d'organismes benthiques avec un peu de plancton pélagique et d'autres éléments. Tout au long de l'été, les cladocères représentaient en moyenne 32,4 % du volume stomacal (le plus souvent : *Sida crystallina*, *Eurycercus lamellatus*, *Latona setifera*, and *Ophroxoyus gracillis*), suivis des éphéméroptères (moyenne de 18,2 %), des diptères (12,2 %; principalement des moucheron) et des bivalves (11,3 %; *Pisidium* sp.), le reste étant composé de gastéropodes, de copépodes, d'hydracariens, et rarement de poissons (perchaude [*Perca flavescens*]) et d'amphipodes. Le contenu de l'estomac varie selon les saisons. En mai, le grand corégone a consommé presque exclusivement des nymphes d'éphéméroptères. En juin, le gastéropode *Amnicola limosa* et le cladocère *Leptodora kindtii* étaient les proies dominantes. En juillet, le bivalve *Pisidium* sp. et le cladocère *Eurycercus lamellatus* dominaient. En août, la perchaude et le cladocère *Sida crystallina* étaient les éléments les plus abondants en volume stomacal. Ihssen *et al.* (1981) ont constaté que les grands corégones du lac Opeongo consommaient généralement des aliments plus petits que les grands corégones des lacs voisins qui ne contenaient qu'une seule forme. Le grand corégone, en général, est connu pour avoir un régime alimentaire variable selon la

disponibilité de la nourriture, ainsi que l'intensité de la concurrence avec d'autres espèces (Ihssen *et al.* 1981, Carl 2007, MacPherson *et al.* 2010).

Dans d'autres lacs où les deux formes existent, la forme de grande taille a généralement un régime benthique et la forme de petite taille un régime limnétique (Mee *et al.* 2015). Les formes de grande taille ont souvent des branchiospines plus courtes et moins nombreuses, plus efficaces pour se nourrir d'invertébrés benthiques, alors que les formes de petite taille ont souvent des branchiospines plus longues et plus nombreuses, meilleures pour retenir le zooplancton (Lindsey 1981, Trudel *et al.* 2001). Cependant, dans le lac Opeongo, l'UD de grande taille a un nombre de branchiospines bien plus élevé (Kennedy 1943). Doyon *et al.* (1998) ont constaté que les deux formes dans un lac du Québec consommaient du plancton (principalement des nymphes de chironomes et des cladocères) jusqu'à l'âge de 2 à 3 ans, après quoi la forme de grande taille s'alimentait d'invertébrés benthiques tandis que la forme de petite taille continuait à consommer du zooplancton.

En général, les jeunes de l'année consomment des copépodes peu après l'éclosion, puis se nourrissent de cladocères au début de l'été et passent à des invertébrés benthiques plus gros (souvent des chironomidés), un régime similaire à celui des adultes, à la fin de l'été (Hart 1930, Scott et Crossman 1998, Claramunt *et al.* 2010, Pothoven *et al.* 2014, Pothoven 2020). Dans le lac Cliff (Maine), Chouinard et Bernatchez (1998) n'ont observé aucune différence dans le régime alimentaire des formes larvaires du grand corégone de petite taille et de grande taille pendant les quatre semaines suivant l'éclosion, malgré de fortes différences dans le régime alimentaire des adultes entre ces deux formes.

IMPORTANCE DE L'ESPÈCE

Une pêche commerciale a été établie pour le grand corégone du lac Opeongo pendant la Première Guerre mondiale pour compléter l'approvisionnement alimentaire, mais elle a été fermée peu de temps après (Kennedy 1943, Kerr 2010). Le grand corégone, qui est présent ailleurs au Canada, a toujours été l'espèce de poisson d'eau douce ayant la plus grande valeur commerciale. Bien que les stocks aient diminué dans une grande partie de son aire de pêche traditionnelle, elle demeure une espèce importante sur le plan commercial (troisième espèce d'eau douce la plus précieuse en 2018; MPO 2018).

Le lac Opeongo est l'un des 18 lacs au Canada (Mee *et al.* 2015; ainsi que d'autres dans le Maine et en Europe) connus pour contenir une paire d'espèces sympatriques de grands corégones. Chacune de ces paires d'espèces semble être le résultat d'adaptations locales à des processus écologiques indépendants propres à chaque lac, maintenus par l'isolement géographique. Peu importe les mécanismes de différenciation, chaque paire d'espèces contribue à la diversité du grand corégone au Canada (Vuorinen *et al.* 1993, Bernatchez *et al.* 1996, Pigeon *et al.* 1997, Landry et Bernatchez 2007, Mee *et al.* 2015, COSEPAC 2018).

Dans de nombreux autres lacs où se trouve une paire d'espèces, la forme de grande taille (ou « normale ») occupe une niche benthique, habite des eaux plus profondes et a moins de branchiospines typiques d'un régime benthique; la forme de petite taille (ou « naine ») occupe normalement une niche limnétique, habite des eaux moins profondes et a plus de branchiospines typiques d'un régime pélagique de zooplancton (Bodaly 1979, Lindsey 1981, Bodaly *et al.* 1991, Lu et Bernatchez 1999). La paire d'espèces du lac Opeongo ne correspond pas nécessairement à ces observations. Le dénombrement des branchiospines et les observations de profondeur enregistrées par Kennedy (1943) laissent entendre que le contraire pourrait être vrai dans la paire de grands corégones du lac Opeongo; cependant, d'autres caractéristiques du cycle biologique (p. ex. la croissance, l'âge et la taille à maturité) sont les mêmes que celles observées pour les paires d'espèces présentes ailleurs (Mee *et al.* 2015). De

plus, aucune autre paire d'espèces n'existe en présence du cisco; pourtant la paire du lac Opeongo a persisté malgré l'introduction du cisco dans le lac en 1948.

Élément 2 : Évaluer la trajectoire récente de l'espèce pour en déterminer l'abondance, l'aire de répartition et le nombre de populations

ABONDANCE

Deux estimations de l'abondance ont été faites pour l'UD de grande taille du lac Opeongo (données inédites du MRNFO). Une première estimation a été réalisée en modélisant les dénombrements de grand corégone à l'échelle du site en 2010 à partir de traits de filets maillants en zones profondes (64 m) (durée d'immersion de deux heures) en fonction de la profondeur, puis de la mise en commun de l'estimation de l'abondance en résultant pour chaque site (quadrillage de 64 m²). Cela a donné une estimation de l'abondance dans tout le lac de 11 378 (IC à 95 %, 6 509, 18 712). Une deuxième estimation a été faite à partir de la modélisation des dénombrements de grands corégonnes à l'échelle du site corrigés en fonction de la détection et effectués en 2019 à l'aide de filets maillants (50 m) (durée d'immersion d'une heure, quatre passages), puis de la mise en commun de l'estimation de l'abondance en résultant pour chaque site (quadrillage de 50 m²). Cela a donné une estimation de 22 792 (IC à 95 %, 10 437, 54 414). La différence dans les estimations de l'abondance de ces deux ensembles de données est attribuée à la différence de taille des sites et à l'utilisation d'un facteur de correction de la détection, qui n'est sans doute pas représentatif d'un changement de taille de la population au cours de la période (données inédites du MRNFO). La plupart des individus capturés étaient matures, avaient une longueur à la fourche supérieure à 190 mm et étaient considérés comme des individus de grande taille; peu d'individus immatures ont été capturés au cours de ces efforts, mais il s'agissait probablement d'individus de grande taille d'après leur taille et leur âge.

Il n'y a actuellement aucune estimation de la taille de la population disponible pour le grand corégone de petite taille du lac Opeongo. D'après l'échantillonnage effectué par le MRNFO en 2018 à l'aide de filets maillants à petites mailles, 23 individus de petite taille (c'est-à-dire matures et d'une longueur à la fourche de moins de 180 mm) ont été capturés sur un total de 73 grands corégonnes capturés à l'aide de cet engin dans 16 filets à stratification en profondeur (données inédites du MRNFO). Les rapports entre les formes de grande taille et de petite taille dans d'autres lacs n'ont pas été largement documentés, probablement en raison des différences de sélectivité de taille entre les engins.

RÉPARTITION

Les UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo se trouvent dans le lac Opeongo, dans le parc provincial Algonquin, en Ontario (Figure 1). Le lac a une superficie de 58,6 km² et se compose de trois bras (est, nord et sud) reliés par des canaux. Bien que la plupart des études sur le grand corégone se soient concentrées sur les bras est et sud, on présume que la paire d'espèces existe partout dans le lac. Il n'y a plus de connexions hydrologiques praticables avec d'autres lacs (Martin et Fry 1973), bien que des mouvements hors du lac Opeongo puissent se produire à travers le barrage de la baie Annie pendant les événements de hautes eaux (Mark Ridgway, MRNFO, comm. pers.). Comme les deux UD ne sont connues que dans ce lac et qu'on suppose qu'elles existent dans tout le lac, dans ce cas, l'indice de la zone d'occupation et la zone de présence ont été calculés comme étant la

superficie du lac de 58,6 km² (COSEPAC 2018¹). Il s'agit de la première évaluation pour ces deux UD, de sorte qu'aucune comparaison avec l'indice de la zone d'occupation ou la zone de présence historique ne peut être faite.

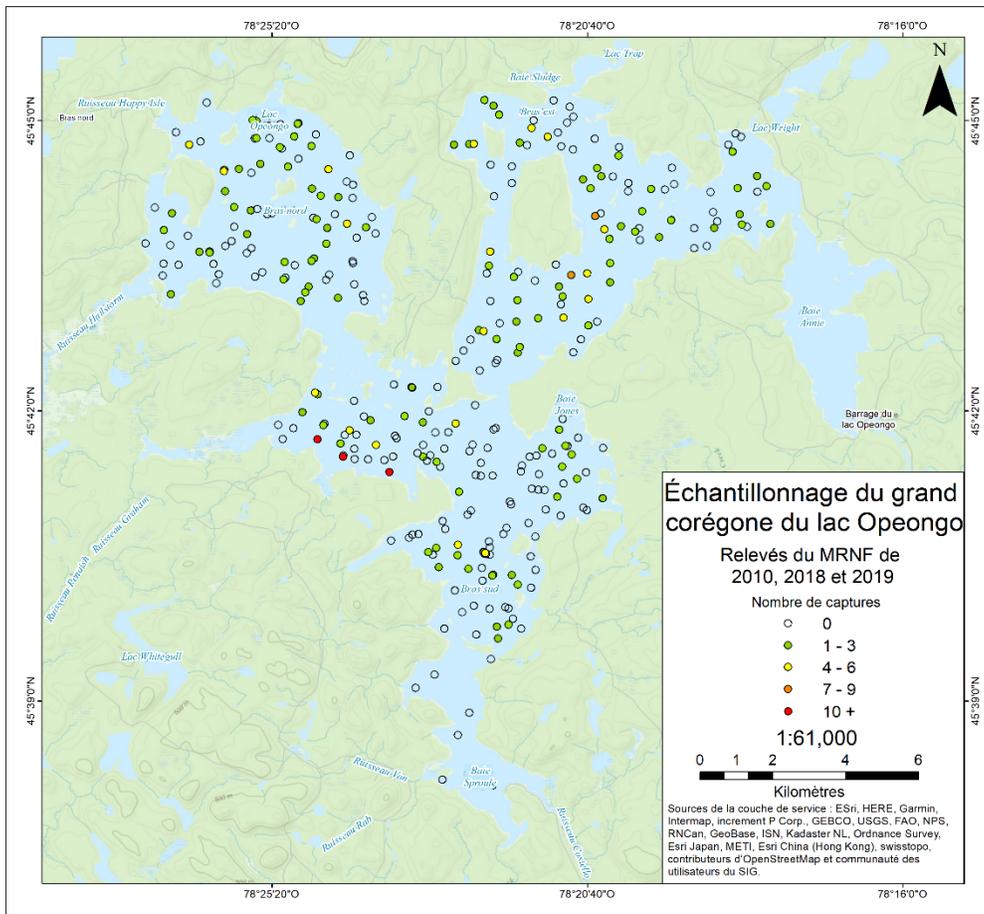


Figure 1. Carte du lac Opeongo, parc provincial Algonquin (Ontario). On suppose que l'indice de la zone d'occupation et l'indice de la zone de présence correspondent à la totalité de la superficie du lac (58,6 km²) pour les UD de grand corégone de petite taille et de grande taille. Les prises de grands corégonnes (non différenciées par UD) provenant des relevés d'été du ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO) de 2010 (index des poissons des zones profondes pris au filet en été), de 2018 (filets maillants à petites mailles) et de 2019 (filets maillants à grandes mailles) sont présentées (données inédites du MRNFO, Tableau 1).

Kennedy (1943) a capturé des grands corégonnes adultes des deux formes ensemble pendant une grande partie du printemps et de l'automne, lorsque la température du lac était homogène, mais il a remarqué à l'occasion quelques différences dans la répartition en profondeur (et de la température) entre les deux formes pendant l'été. En juin, les individus de grande taille ont été capturés dans des eaux légèrement moins profondes (environ trois mètres d'eau) et plus chaudes (entre 7 et 16 °C), et les individus de petite taille ont été capturés dans des eaux plus

¹ La zone d'occurrence et l'IZO du COSEPAC (2018) ont été signalés comme étant de 150,5 km² par erreur et devraient être la zone du lac (N. Mandrak, Université de Toronto Scarborough, comm. pers.).

profondes (entre 6,0 et 12,2 m) et plus fraîches (entre 7 et 14 °C). De même, en août, la forme de grande taille se concentrait à nouveau dans des eaux moins profondes (environ neuf mètres de profondeur) et plus chaudes (15 °C), et la forme de petite taille se concentrait dans des eaux plus profondes (15,2 m) et plus fraîches (9 °C); cependant, Kennedy (1943) a remarqué que cette différence en août était largement due à deux ensembles de filets contenant chacun un grand nombre d'individus de grande taille ou d'individus de petite taille, respectivement. L'UD de petite taille a également été observée dans des eaux plus profondes que l'UD de grande taille dans le bras Est lors d'une étude récente (Mark Ridgway, MRNFO, comm. pers.). La répartition en profondeur observée dans le lac Opeongo est contraire aux observations des paires d'espèces dans d'autres lacs et pourrait être liée à la concurrence avec le cisco dans la zone limnétique, où l'UD de grande taille est plus à même de rivaliser.

Une étude récente a révélé des différences dans la répartition en profondeur entre les bras est et sud en été (Figure 2; il convient de souligner les captures supposées de l'UD de grande taille). Dans le bras est, le grand corégone était réparti sur des profondeurs très variées (en moyenne 27 m environ). Dans le bras sud, le grand corégone n'a pas été observé à des profondeurs aussi importantes (en moyenne 16 m environ) et se concentrait là où le métalimnion était en contact avec le substrat (données inédites du MRNO, Challice *et al.* 2019). Challice *et al.* (2019) ont rapporté avoir capturé un nombre bien plus élevé de grands corégones le matin plutôt que l'après-midi, probablement en raison de la recherche de nourriture sur des larves d'insectes migrant verticalement. Les deux UD retournent dans les zones littorales pour frayer en octobre et novembre (Ihssen *et al.* 1981). La répartition du grand corégone dans le lac Opeongo pendant les mois d'hiver n'est pas connue.

Relevé de 2019 dans le lac Opeongo

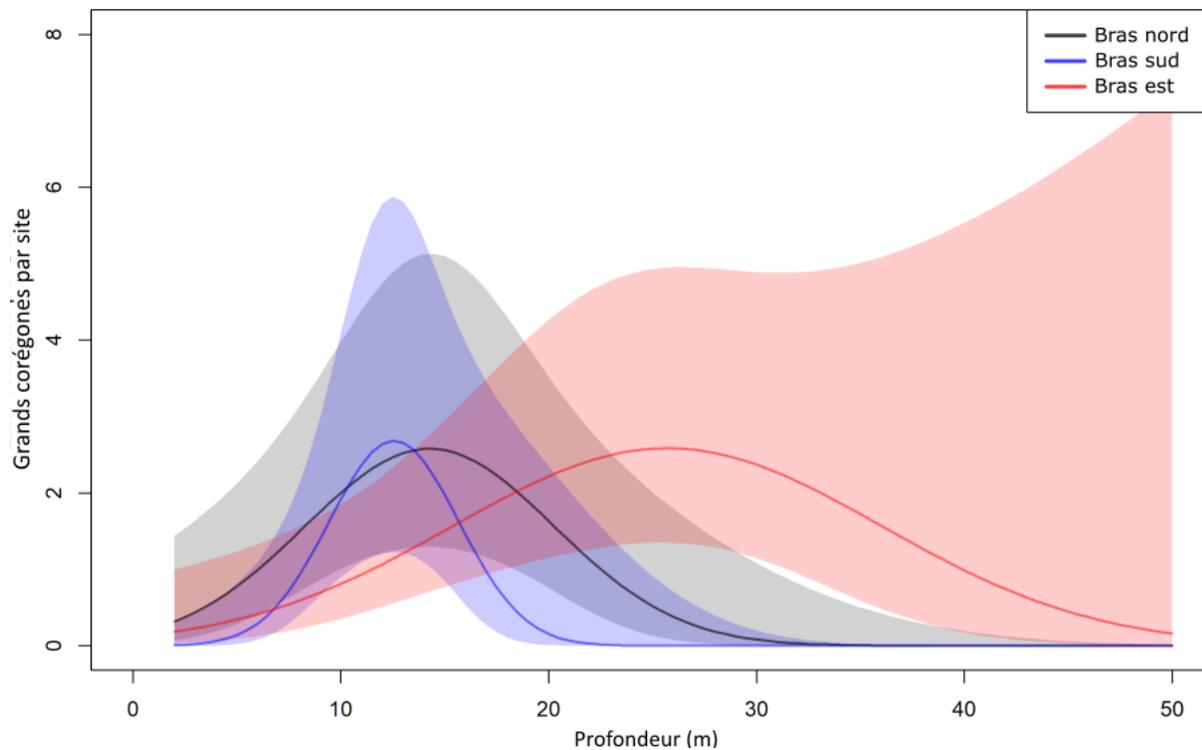


Figure 2. Nombre de grands corégones de grande taille capturés en fonction de la profondeur dans les trois bras du lac Opeongo lors des relevés au filet maillant à grandes mailles effectués en 2019 par le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. Intervalles de confiance à 95 % présentés (données inédites du MRNFO; figure fournie par le MRNFO).

SITUATION ACTUELLE

La répartition actuelle du grand corégone dans le lac Opeongo est présentée à la Figure 1 (UD non différenciées). Les données des séries chronologiques ne distinguent pas les deux UD. Les formes de grande taille et de petite taille du grand corégone ont été signalées pour la première fois dans le lac Opeongo par Kennedy (1943). L'échantillonnage mené dans les bras est et sud en 1939 et dans le bras sud en 1940 était d'ampleur; l'échantillonnage a eu lieu de mai à novembre chaque année. Kennedy (1943) a déployé trois ensembles de filets maillants à panneaux multiples ainsi qu'un filet en voile qui a été utilisé pour cibler les poissons plus petits. Il a constaté que les filets maillants de 2,54 cm (1 po) capturaient entre deux à neuf fois plus d'individus de petite taille que les filets de 3,18 cm (1 ¼ po). Des échantillonnages récents effectués par le MRNFO à l'aide de divers protocoles ont confirmé la persistance des deux UD (données inédites du MRNFO). Un échantillonnage ciblé pour l'UD de petite taille a été réalisé en 2018 pour confirmer sa présence dans le lac (Figure 3). Les efforts d'échantillonnage où les UD ont été distinguées sont résumés dans le Tableau 1.

D'autres échantillonnages ont eu lieu dans le lac Opeongo des années 1980 jusqu'au début des années 2000, ciblant le grand corégone (Tableau 2; COSEPAC 2018, données inédites du MRNFO), mais les deux UD n'ont pas été formellement distinguées (c.-à-d. qu'aucune donnée sur la maturité n'est disponible); toutes les captures étaient probablement des individus de grande taille. Il ne s'agit pas d'une liste complète de tous les échantillonnages qui ont eu lieu dans le lac Opeongo, mais cela représente les efforts au cours desquels le grand corégone a été capturé. Les échantillonnages supplémentaires réalisés pendant cette période dans le cadre d'autres projets de recherche ne sont pas résumés (Ihssen *et al.* 1981, Cucin et Faber 1985, Evans et Ihssen 1993, Carl et McGuinness 2006, Morbey *et al.* 2007, Challice *et al.* 2019).

Tableau 1. Résumé de l'effort de pêche dans le lac Opeongo au cours duquel des formes de grands corégones de petite taille et de grande taille ont été observées. Le grand corégone immature est probablement de grande taille. Des détails supplémentaires sur l'échantillonnage du MRNFO sont fournis par Sandstrom et Lester (2009). La température moyenne et l'oxygène dissous moyen ont été calculés à partir des sites où le grand corégone a été capturé.

Année	Étude	Engin	Effort	Profondeurs échantillonnées	Grand corégone immature	Grand corégone de grande taille	Grand corégone de petite taille
1939-1940 (de mai à novembre)	Kennedy (1943)	Filets maillants à panneaux multiples (274 m de long; 45,7 m par panneau; mailles de 2,5 à 12,7 cm [1 à 5 po]) Filets en voile (filet à maille de 1,27 cm [½ po] entre deux panneaux de filet maillant de 3,81 cm [1 ½ po]).	166 coups de filet nocturnes	De 3 à 43 m	524	524	167
1984, 1986	Evans et Ihssen (1993)	Inconnu	Inconnu	Inconnues	-	65	42
2010 (de juillet à août)	Index des poissons des zones profondes pris au filet en été, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples (64 m de long; 8 panneaux; mailles étirées de 5,72 à 12,7 cm); plan d'échantillonnage aléatoire stratifié	150 coups de filet de deux heures	(profondeur moyenne de capture = 19,1 m; température moyenne = 8,7 °C; oxygène dissous moyen = 9,19 mg/L)	(25)	186 * (89)	0
2018 (août)	Filets maillants à petites mailles, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples (25 m de long; 5 panneaux; mailles étirées de 1,3 à 3,8 cm)	16 coups de filet de deux heures	De 10,9 à 24 m (profondeur moyenne de capture = 12,6 m)	41	9	23

Année	Étude	Engin	Effort	Profondeurs échantillonnées	Grand corégone immature	Grand corégone de grande taille	Grand corégone de petite taille
2019 (juillet)	Filets maillants à mailles larges à passages multiples, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples (longueur de 50 m; 8 panneaux; mailles étirées de 3,8 à 12,7 cm); plan d'échantillonnage systématique stratifié en profondeur	173 sites pendant une heure, 4 passages chacun	(profondeur moyenne de capture = 16,4 m, température moyenne = 9,0 °C; oxygène dissous moyen = 9,45 mg/L)	(1)	109 † (20)	0

* 186 grands corégonos (tous supposément de grande taille) ont été capturés, mais des données biologiques étaient disponibles pour 114 d'entre eux (89 matures et 25 immatures). Une moyenne de 2,4 (entre 1 et 7) individus ont été capturés par filet.

† 109 grands corégonos (tous supposément de grande taille) ont été capturés, mais des données biologiques étaient disponibles pour 21 (20 matures, un immature).

Tableau 2. Résumé de l'effort de pêche dans le lac Opeongo, au cours duquel des grands corégones ont été capturés, mais où les UD de grande taille et de petite taille n'ont pas été distinguées (données inédites du MRNFO).

Année	Étude	Engin	Grand corégone (n)
1981, 1982, 1986, 1988, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000	Index des poissons pris au filet du MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples	2512 (38, 44, 13, 56, 735, 347, 344, 117, 426, 392)
1990, 1991	Enquêtes par interrogation des pêcheurs à des points d'accès au lac, MRNFO	-	3 (2, 1)
1990	Poissons des zones littorales pris au filet en été, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples	1
1990	Traits courts de filets maillants, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples	319
1994, 1998	Index des communautés de poissons riverains pris au filet, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples	47 (20, 27)
1999, 2002	Pêche au filet NORDIC, MRNFO	Filets maillants à panneaux multiples	147 (80, 67)

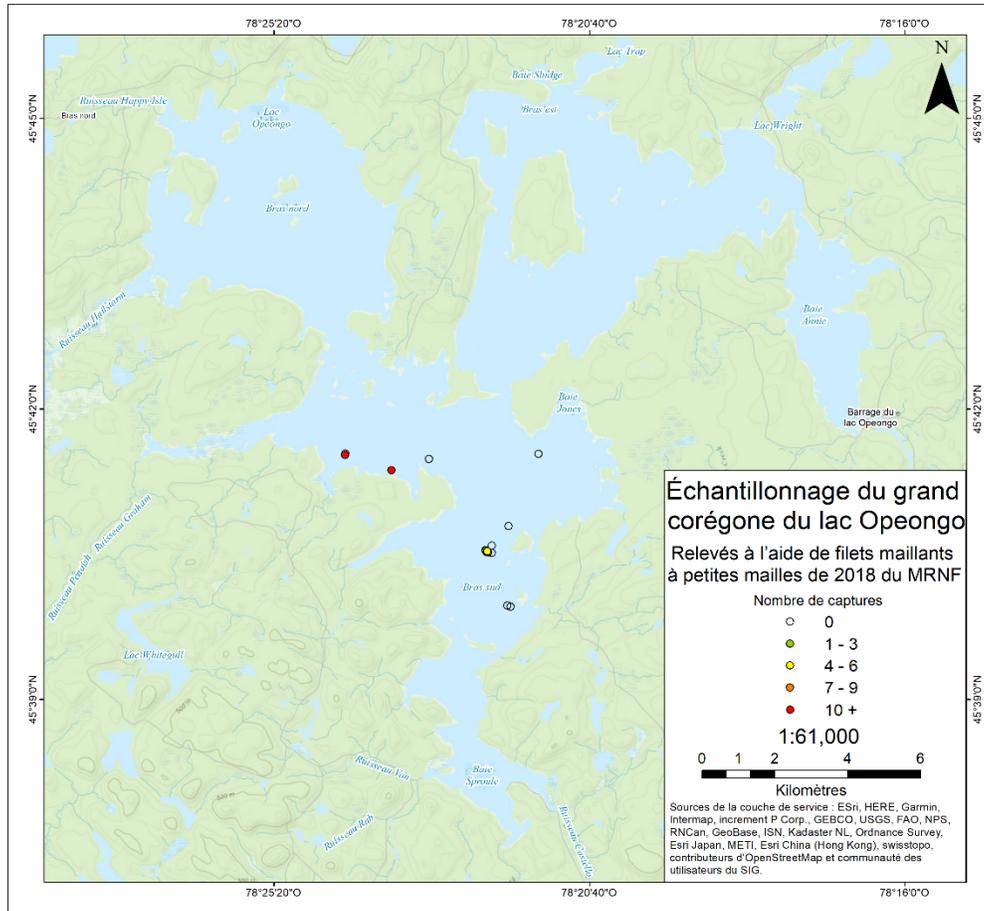


Figure 3. Prises de grands corégones (non différenciées par UD au moment de la capture) du relevé d'été du ministère des Ressources naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO) de 2018 à l'aide de filets maillants à petites mailles; 16 filets ont été déployés pendant environ deux heures chacun. Un total de 73 grands corégones ont été capturés, dont 23 appartiennent à l'UD de petite taille (matures et d'une longueur à la fourche inférieure à 180 mm; données inédites du MRNFO).

ÉVALUATION DE LA POPULATION

Pour évaluer l'état de l'UD (traditionnellement, l'état de la population) du grand corégone de petite taille et de grande taille dans le lac Opeongo, les deux UD ont été classées en fonction de leur abondance (indice d'abondance relative) et de leur trajectoire (Tableau 3).

L'indice d'abondance relative correspondait à l'une des catégories suivantes : disparu, faible, moyen, élevé ou inconnu. Le nombre de grands corégones capturés au cours de chaque période d'échantillonnage a ensuite été pris en compte pour attribuer l'indice d'abondance relative. L'indice d'abondance relative est un paramètre relatif, car les valeurs attribuées à chaque UD sont relatives par rapport à l'UD la plus abondante. Dans le cas du grand corégone du lac Opeongo, la plupart des études qui l'ont capturé utilisaient des engins dont le maillage était plus approprié pour détecter l'UD de grande taille.

La trajectoire a été évaluée en fonction des catégories suivantes : en augmentation (augmentation de l'abondance au fil du temps), en déclin (diminution de l'abondance au fil du temps) ou stable (absence de changement de l'abondance au fil du temps). Le nombre

d'individus capturés au fil du temps pour chaque UD a été pris en compte. Dans les cas où l'on ne disposait pas d'information suffisante pour étayer une trajectoire, la trajectoire de l'UD a été classée comme étant inconnue.

Il n'existe pas d'estimations définitives de l'abondance des UD de grand corégone de petite taille et de grande taille. Deux estimations des individus présumés de grande taille étaient de 11 378 et 22 792 (données inédites du MRNFO). L'UD de grande taille a été détectée de façon constante depuis sa découverte par Kennedy (1943); la plupart des grands corégonnes capturés dans le lac Opeongo avaient une longueur à la fourche supérieure à 200 mm et appartenaient présumément à l'UD de grande taille (Tableaux 1, 2). Les captures de l'UD de grande taille dans le lac Opeongo sont comparables aux captures de grand corégone dans d'autres lacs du parc provincial Algonquin dont la structure de taille et les communautés de poissons et d'invertébrés (y compris les espèces indigènes et introduites) sont similaires et qui ont été échantillonnés selon les mêmes protocoles (données inédites du MRNFO, Carl et McGuinness 2006). L'UD de petite taille n'a pas été détecté de façon constante depuis sa découverte et on pensait qu'elle avait peut-être disparu du lac (COSEPAC 2018). Sa présence continue a été confirmée en 2018 par la capture d'individus matures d'une taille à la fourche inférieure à 180 mm (données inédites du MRNFO); cependant, très peu de poissons ont été capturés (n = 23). La plupart des efforts d'échantillonnage dans le lac Opeongo ont utilisé des maillages peu susceptibles de détecter l'UD de petite taille, ce qui rend difficiles les inférences sur les tendances de la population.

Tableau 3. Indice d'abondance relative et trajectoire des UD du grand corégone dans le lac Opeongo. Un degré de certitude a été associé aux catégories de l'abondance relative et de la trajectoire de l'UD, selon les catégories suivantes : 1 = analyses quantitatives, 2 = captures par unité d'effort (CPUE) ou échantillonnage normalisé, 3 = opinion d'expert.

UD	Indice d'abondance relative	Certitude	Trajectoire	Certitude
Grande taille	Moyen	2	Stable	2
Petite taille	Inconnu	3	Inconnue	3

Les valeurs de l'indice d'abondance relative et de la trajectoire ont ensuite été combinées (c.-à-d. population) dans la matrice de l'état de l'UD (Tableau 4) pour déterminer l'état de chaque UD. L'état d'une UD a ensuite classé comme étant mauvais, passable, bon, inconnu ou sans objet (Tableau 5).

Tableau 4. La matrice de l'état des unités désignables (UD; c.-à-d. population) combine l'indice d'abondance relative et les classements des trajectoires pour établir l'état des UD pour chaque UD de grand corégone dans le lac Opeongo, en Ontario. L'état de l'UD qui en résulte a été classé dans les catégories suivantes : disparu, mauvais, passable, bon ou inconnu.

		Trajectoire			
		En	Stable	En déclin	Inconnu
Indice d'abondance relative	Faible	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	Moyen	Passable	Passable	Mauvais	Mauvais
	Élevé	Bon	Bon	Passable	Passable
	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu
	Disparu	Disparu	Disparu	Disparu	Disparu

Tableau 5. État de l'UD du grand corégone dans le lac Opeongo d'après une analyse de l'indice d'abondance relative et de la trajectoire. La certitude associée à l'état de chaque UD reflète le niveau de certitude le moins élevé associé à l'un ou l'autre des paramètres initiaux (indice d'abondance relative ou trajectoire).

UD	État de l'UD	Certitude
Grande taille	Passable	2
Petite taille	Inconnu	3

Élément 3 : Estimer les paramètres actuels ou récents du cycle biologique du grand corégone.

PARAMÈTRES DU CYCLE BIOLOGIQUE

L'information sur les taux de croissance des UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo provient principalement de l'évaluation des écailles de Kennedy (1943). Dans l'ensemble, la forme de grande taille grandit plus rapidement et arrive à maturité plus tard (entre 4 et 7 ans) que la forme de petite taille. Sa longueur standard moyenne était de 251 mm et la plupart des individus vivaient jusqu'à l'âge de 9 ans, mais pouvait dépasser 400 mm et atteindre l'âge de 14 ans (Figure 4). Un échantillonnage récent effectué par le MRNFO a permis de détecter des individus matures de grande taille, dont la longueur à la fourche variait entre 198 et 519 mm et pouvant avoir jusqu'à 24 ans (évaluation à partir des otolithes; Figure 5) (données inédites du MRNFO). Challice *et al.* (2019) ont observé un grand corégone dont la longueur à la fourche était de 658 mm dans le lac Opeongo. Les écailles sont généralement considérées comme valables pour les corégones jusqu'à l'âge de 7 à 10 ans (Barnes et Power 1984, Yule *et al.* 2008, Herbst et Marsden 2011). L'âge scalaire des individus plus âgés capturés par Kennedy (1943) peut avoir été sous-estimé par rapport aux âges évalués sur les otolithes (données inédites du MRNFO).

La forme de grande taille s'est développée à un rythme similaire à celui de la forme de petite taille pendant la première année, puis sa croissance a été plus rapide après la première année (Figure 6; Kennedy 1943). La croissance semble ralentir entre deux et six ans, puis s'accélérer à nouveau vers la fin de la vie. Cette tendance est inattendue, et Kennedy a supposé qu'elle pourrait être due au fait que le petit nombre d'individus qui a atteint un âge supérieur à neuf ans a pu avoir un taux de croissance particulièrement rapide; cependant, une tendance similaire a également été observée par Ihssen *et al.* (1981) dans le lac Opeongo, ainsi que chez les grands corégones du lac Como (Ontario) (Bodaly *et al.* 1991) et du lac Cliff (Maine) (Fenderson 1964).

La forme de petite taille du lac Opeongo grandit plus lentement, atteint une taille plus petite et arrive à maturité plus tôt (à l'âge de 2 ans) que la forme de grande taille. La forme de petite taille avait une longueur standard moyenne de 126 mm et un âge maximal observé de cinq ans (évaluation à partir des écailles; Figure 4). La croissance est similaire à celle de la forme de grande taille au cours de la première année, mais s'arrête presque après l'âge de deux ans (Kennedy 1943). Un échantillonnage récent effectué par le MRNFO a permis d'observer des individus matures de petite taille avec une longueur à la fourche jusqu'à 176 mm et allant jusqu'à l'âge de 8 ans (évaluation à partir des otolithes; Figure 5) (données inédites du MRNFO). La croissance cesse également plus tôt au cours de la saison de croissance pour l'UD de petite taille par rapport à l'UD de grande taille (Kennedy 1943). Les courbes de croissance d'autres populations de grands corégones de petite taille sont comparables à celles de l'UD de petite taille du lac Opeongo, mais d'autres peuvent atteindre une taille légèrement supérieure ou un âge plus avancé (Figure 6; Fenderson 1964, Bodaly *et al.* 1991).

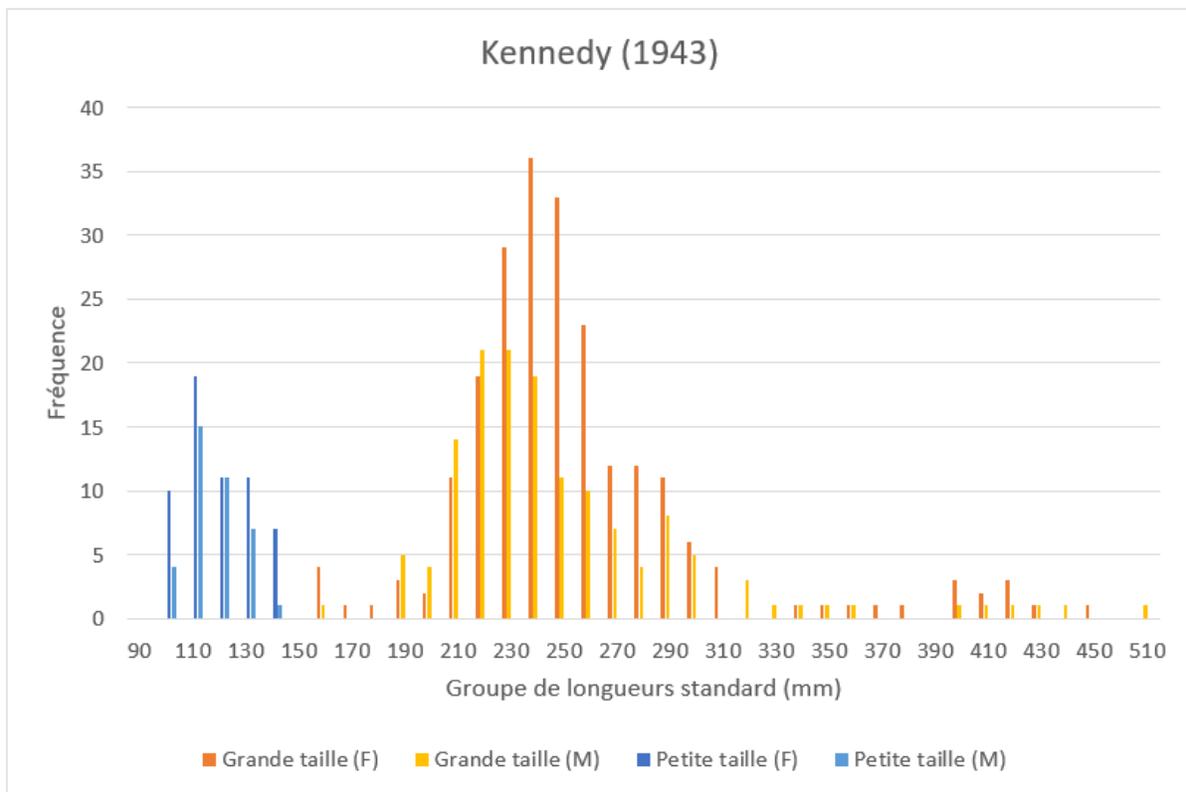


Figure 4. Répartition bimodale par taille des grands corégones matures du lac Opeongo; distinction en fonction du sexe et de la forme. Il n'y avait aucun individus matures mesurant entre 150 et 160 mm, et des modes sont apparus à 120 et 240 mm. Données de Kennedy (1943) recueillies en 1939 et 1940. Les longueurs sont rapportées en tant que longueurs standard.

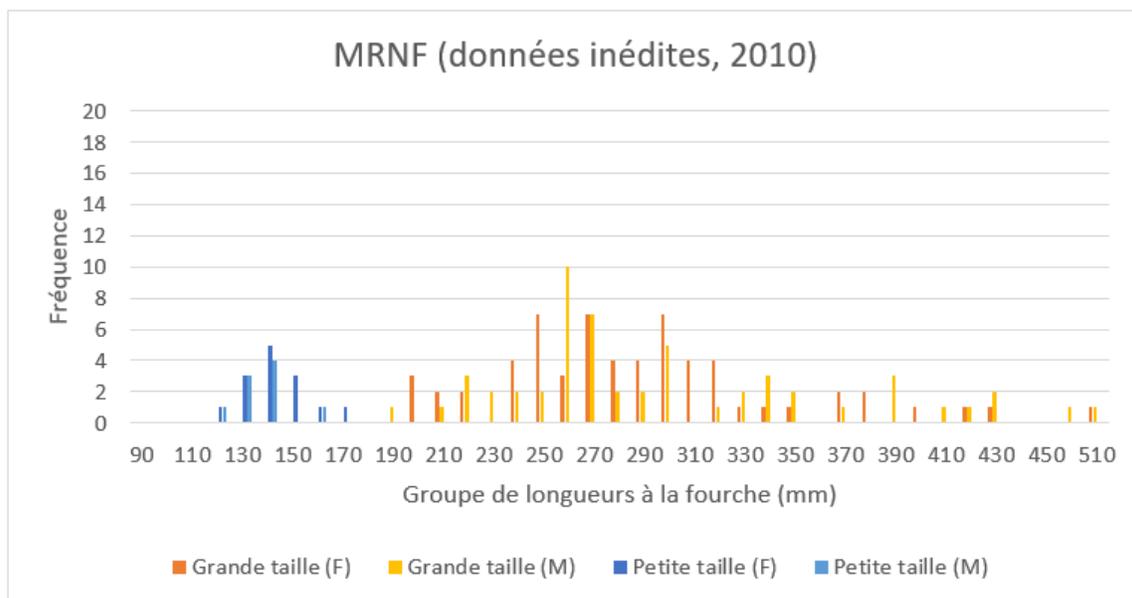


Figure 5. Répartition bimodale par taille des grands corégones matures du lac Opeongo; distinction en fonction du sexe et de l'UD. Il n'y avait aucun individus matures mesurant entre 180 et 190 mm, et des modes sont apparus à 149 et 249 mm. Données du MRNFO (inédites) recueillies en 2010, 2018 et 2019. Les longueurs sont rapportées en tant que longueurs à la fourche.

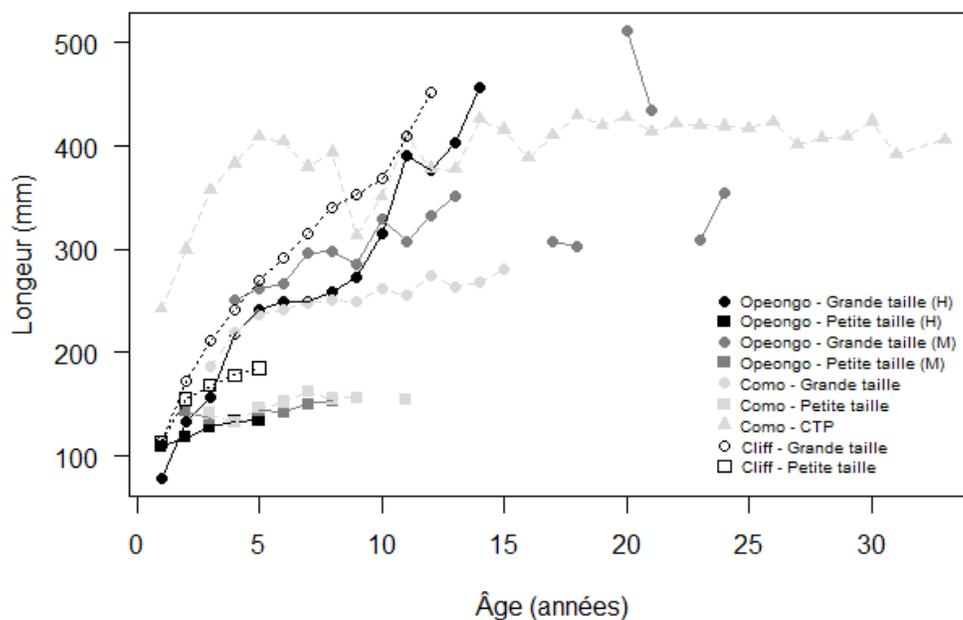


Figure 6. Données sur la longueur moyenne en fonction de l'âge pour les formes de grande taille (cercle), de petite taille (carré) et contemporaines (CTP; triangle) du grand corégone du lac Opeongo (Kennedy [1943] – Données historiques [H] inédites du MRNO – Données modernes [M] du lac Como (Reid et al. 2017) et du lac Cliff (Fenderson 1964). Les données sont des valeurs empiriques; les données de Kennedy (1943) sont des longueurs standard et des âges évalués en fonction des écailles; les données du MRNFO et de Reid et al. (2017) sont des longueurs à la fourche et des âges évalués sur des otolithes; les données de Fenderson (1964) sont des longueurs totales et des âges évalués en fonction des écailles.

Kennedy (1943) a observé que la saison de croissance du grand corégone du lac Opeongo commençait au plus tôt à la mi-mai et se terminait au plus tard à la fin septembre, et que la forme de grande taille se développait pendant une plus longue partie de la saison de croissance, terminant sa croissance annuelle plus tard que la forme de petite taille. Les taux de croissance variaient d'une année à l'autre (p. ex. les classes d'âge 1926 et 1927 ont connu une croissance particulièrement rapide). Les femelles matures de la forme de grande taille pesaient environ 2 % de plus que les mâles ($p = 0,04$), mais cela pourrait être dû aux différences de poids des ovaires par rapport aux testicules.

Les femelles du lac Opeongo (non différenciées par forme) pondaient en moyenne 7 632 œufs par poisson (ou jusqu'à 27 460 œufs par kg de poids corporel) et avaient un rapport gonadosomatique moyen (rapport du poids des ovaires au poids corporel calculé en octobre et novembre) de 12,95 % (écart-type de $\pm 2,35$) (Ihssen *et al.* 1981). Les œufs avaient un diamètre de 1,9 à 2,1 mm dans l'ovaire et d'environ 2,4 à 2,7 mm durcis, avec un poids humide de 5,09 mg (écart-type de $\pm 0,92$) (Ihssen *et al.* 1981, Cucin et Faber 1985).

Cucin et Faber (1985) ont constaté que les larves de grand corégone du lac Opeongo avaient une longueur totale moyenne de 11,32 mm (écart-type de $\pm 0,61$) le 1^{er} mai, la date de capture la plus précoce, et que le 15 juin, leur longueur totale moyenne était de 19,2 mm (écart-type de $\pm 2,78$), mais ils ont observé que la moyenne réelle était probablement plus élevée, car les larves plus grandes et plus âgées pouvaient nager pour éviter les coups de filet. Les auteurs n'ont pas été en mesure de faire la distinction entre les individus de grande taille et de petite taille. Un relevé des larves de grand corégone à Chaumont Bay, dans le lac Ontario, a révélé que les larves grandissaient en moyenne de 0,12 mm (écart-type de $\pm 0,04$) par jour en avril et de 0,39 mm (écart-type de $\pm 0,04$) par jour en mai sur une période de trois ans (McKenna et Johnson 2009).

BESOINS EN MATIÈRE D'HABITAT ET DE RÉSIDENCE

Élément 4 : *Décrire les propriétés de l'habitat du grand corégone nécessaires au bon déroulement de toutes les étapes du cycle biologique. Décrire les fonctions, les caractéristiques et les attributs de l'habitat, et quantifier la variation des fonctions biologiques qu'assurent les composantes de l'habitat selon l'état ou l'étendue de l'habitat, y compris les limites de la capacité biotique, le cas échéant.*

Le lac Opeongo se situe dans le parc provincial Algonquin, en Ontario. Il s'agit d'un bassin hydrographique de 346,1 km². Le lac a une superficie de 5 860 ha, avec une profondeur moyenne de 14,6 m et une profondeur maximale d'environ 50 m (Martin et Fry 1973, Rogers 2009, MRNFO 2020). Environ 48,3 % du lac a une profondeur inférieure à 10 m (Chalice *et al.* 2019). Le lac se compose de trois bassins, appelés bras est, nord et sud. Les bras nord et est sont reliés au bras sud par des canaux. Les niveaux d'eau du lac sont maintenus par un déversoir à crête fixe à la sortie de la baie Annie. Les zones infralittorales du lac sont principalement constituées de granit, certaines zones présentant des plages de sable ou des baies végétalisées peu profondes. Le substrat en profondeur est de la terre tourbeuse organique (Kennedy 1943). L'eau est tourbeuse (profondeur d'après le disque de Secchi de 5,5 m), a un pH de 6,8 et comporte des solides dissous totaux de 31,0 à 35,0 ppm (Martin et Fry 1973, Ihssen *et al.* 1981, Carl 2007). La communauté de poissons contient au moins 27 espèces représentant 10 familles de poissons (Martin et Fry 1973, Cucin et Faber 1985), notamment la lotte (*Lota lota*), le touladi (*Salvelinus namaycush*), le ménomini rond, le meunier noir (*Catostomus commersonii*), la perchaude et deux espèces introduites : l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*; introduit avant 1920) et le cisco (introduit en 1948; Morbey *et al.* 2007).

Adultes

L'utilisation de l'habitat estival par les grands corégones de petite taille et de grande taille du lac Opeongo a été décrite par Kennedy (1943). Certaines différences dans la répartition en profondeur (et de la température) ont été observées entre les deux formes tout au long de la saison estivale. Le grand corégone adulte (des deux formes) se trouvait à toutes les profondeurs échantillonnées en mai, lorsque les températures étaient homogènes dans le lac. Les deux formes se sont rapprochées du rivage en juin; cependant, des individus de grande taille ont été capturés dans environ trois mètres d'eau (où la température de l'eau variait de 7 à 16 °C) et des individus de petite taille ont été capturés à des profondeurs comprises entre 6 et 12,2 m (7 à 14 °C). En juillet, les deux formes ont été capturées à des profondeurs de 12 à 15,2 m (avec des températures de l'eau comprises entre 8 et 18 °C). En août, les formes de grande taille et petite taille occupaient à nouveau des profondeurs différentes; la forme de grande taille se concentrait à des profondeurs plus faibles de 9 m (15 °C) et la forme de petite taille se concentrait à 15,2 m (9 °C). Kennedy a fait remarquer que cette différence observée en août était largement due à un seul trait de filet avec une grande concentration d'individus de grande taille et à un autre coup de filet avec une grande concentration d'individus de petite taille. En septembre, les deux formes ont été capturées ensemble à nouveau, occupant des profondeurs de 15,2 à 18,3 m (de 7 à 10 °C). Le grand corégone du lac Opeongo occupait de préférence une eau à la température supérieure à 7 °C lorsqu'elle était disponible, jusqu'à un maximum de 18 °C en juillet et août et 10 °C en septembre. L'amplitude thermique du grand corégone dans le lac Opeongo rapportée par Challice *et al.* (2019) était de 7,6 à 20,0 °C, la plus grande occupation étant observée entre 7,7 et 13,6 °C. Les auteurs ont également observé que l'occupation était la plus élevée là où la thermocline entrainait en contact avec le substrat (la zone de lavage), utilisant à la fois l'hypolimnion et le métalimnion inférieur, ce qui peut donner une communauté d'invertébrés benthiques plus diversifiée. L'oxygène dissous (OD) n'a pas été jugé limitant dans le lac Opeongo; la quantité d'OD était supérieure à 7 mg/L à toutes les profondeurs mesurées (Challice *et al.* 2019) et était presque toujours supérieure à 8,5 mg/L sur les sites où des grands corégones ont été capturés en 2010 et 2019 (données inédites du MRNO).

Le grand corégone adulte se déplace vers les frayères à la fin octobre et en novembre, lorsque la température de l'eau atteint entre 4 et 7 °C (Ihssen *et al.* 1981). Le grand corégone fraie généralement à des profondeurs inférieures à 7,6 m sur des substrats durs (Scott et Crossman 1998). Ihssen *et al.* (1981) ont observé que le lac contenait de nombreux rochers de granit et des hauts-fonds de galets près de la rive, où la fraie a probablement lieu. Les captures de larves de grand corégone dans les bras est et sud laissent penser que la fraie a probablement lieu à plusieurs endroits autour du lac (Cucin et Faber 1985). Martin et Fry (1973) ont indiqué que le bras Est contenait les principales frayères du grand corégone.

L'utilisation de l'habitat hivernal dans le lac Opeongo n'est pas connue, mais dans le lac Clear (Maine, profondeur moyenne de 8,8 m, profondeur maximale de 26,2 m), les grands corégones adultes porteurs d'étiquettes occupaient des profondeurs d'environ 15 m (plage de profondeurs de 8,1 à 17,7 m) de décembre à mai. Après la fonte des glaces, les poissons se déplacent dans des eaux plus chaudes et moins profondes (moins de 5 m de profondeur) pendant plusieurs semaines, puis se retirent dans des eaux plus profondes (entre 10 et 15 m) et plus froides en été (Gorsky *et al.* 2012).

Juvéniles

Il existe peu de données sur l'habitat occupé par le grand corégone juvénile dans le lac Opeongo. Kennedy (1943) et le MRNFO (données inédites) ont capturé des individus immatures avec des individus matures de petite taille et de grande taille, ce qui laisse entendre

que les juvéniles peuvent occuper des habitats similaires à ceux des adultes. Kennedy (1943) soupçonnait que les individus immatures étaient de la forme de grande taille et que les individus immatures de petite taille étaient trop petits pour être capturés avec l'engin. Ainsi, l'utilisation de l'habitat des juvéniles de petite taille reste inconnue. On pense que le grand corégone juvénile d'autres populations occupe également des habitats similaires à ceux des adultes (Scott et Crossman 1998). Edsall (1999a) a constaté que l'amplitude thermique préférée du grand corégone juvénile (âge 1) était comprise entre 15,5 et 19,5 °C dans un environnement de laboratoire.

Jeunes de l'année

Peu de relevés larvaires du grand corégone ont été effectués dans le lac Opeongo. Ihssen *et al.* (1981) ont décrit des larves de grand corégone occupant des zones littorales au-dessus des frayères pendant environ six semaines après l'éclosion lorsque la température de l'eau de surface était comprise entre 6,5 et 9,5 °C; cela est vrai pour les larves de grand corégone en général (Hart 1930, Freeberg *et al.* 1990, Jude *et al.* 1998, McKenna et Johnson 2009, Herbst *et al.* 2011). Les larves de poisson ont des capacités de dispersion limitées à ce moment-là et, dans les grands systèmes, elles sont parfois déplacées vers le rivage (McKenna et Johnson 2009). Après environ six semaines, un changement de régime alimentaire ontogénétique se produit et les larves de poisson commencent à se retirer vers des eaux plus profondes. Dans certaines populations des Grands Lacs, les poissons d'âge 0 sont capturés par les chaluts de fond à des profondeurs moindres que les adultes (Hart 1930, Pothoven *et al.* 2014); cependant, les profondeurs occupées par ce stade biologique dépendent probablement de la bathymétrie du système. Il existe des enregistrements de grands corégonnes d'âge 0 capturés à des profondeurs supérieures à 20 m dans le lac Opeongo (Ihssen *et al.* 1981). Des études en laboratoire ont montré que l'ampleur thermique préférée des jeunes grands corégonnes de l'année était entre 12,9 et 17,8, selon la température d'acclimatation (Edsall 1999b).

Cucin et Faber (1985) ont détecté des larves de grand corégone dans la plupart des lieux d'échantillonnage larvaire (bras est et sud) du lac Opeongo, l'abondance étant plus grande dans la partie nord du bras est. Dans le lac Cliff (Maine), Chouinard et Bernatchez (1998) n'ont trouvé aucune différence de répartition en profondeur des larves de grand corégone de petite taille et de grande taille (confirmée par une analyse génétique) pendant le jour ou la nuit.

FONCTIONS, CARACTÉRISTIQUES ET PARAMÈTRES

Le Tableau 6 présente une description des fonctions, des caractéristiques et des paramètres associés à l'habitat du grand corégone de grande taille et de petite taille dans le lac Opeongo. L'habitat nécessaire à chacun des stades biologiques de l'espèce s'est vu attribuer une fonction du cycle biologique qui correspond à un besoin biologique du grand corégone. En plus de la fonction de cycle biologique, une composante de l'habitat a été attribuée à chaque stade biologique. Une caractéristique est considérée comme l'élément structurel de l'habitat nécessaire à l'espèce. Des propriétés de l'habitat, qui décrivent de manière mesurable de quelle façon les composantes de l'habitat soutiennent la fonction du cycle biologique à chacun des stades biologiques, sont aussi indiquées. Cette information est fournie pour orienter la désignation future de l'habitat essentiel de l'espèce. L'information est fournie pour les UD du lac Opeongo lorsqu'elle est disponible et est complétée par de l'information générale sur le grand corégone provenant d'ailleurs lorsque cela est nécessaire.

Tableau 6. Résumé des fonctions, des caractéristiques et des propriétés essentielles pour chaque stade biologique du grand corégone dans le lac Opeongo. Les propriétés de l'habitat tirées de la documentation publiée et celles qui ont été enregistrées lors des récentes captures de grand corégone dans le lac Opeongo ont servi à déterminer les propriétés de l'habitat nécessaires à la délimitation de l'habitat essentiel. On suppose que l'information est la même pour les UD de grande taille et de petite taille lorsqu'elles ne sont pas différenciées.

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Propriétés de l'habitat	
			Documentation scientifique	Habitat essentiel
Du frai à l'éclosion.	Frai (de fin octobre à novembre).	Zones littorales sur des substrats durs.	<ul style="list-style-type: none"> • Températures de l'eau entre 4 et 7°C (Ihssen <i>et al.</i> 1981). • Rochers de granit et hauts-fonds rocheux (Ihssen <i>et al.</i> 1981, Cucin et Faber 1985). • Plage de profondeurs entre 3 et 5 m (Cucin et Faber 1985); en général, profondeur de l'eau de 8 m (Scott et Crossman 1998). • Entre 10 et 50 m environ depuis le rivage (Cucin et Faber 1985). 	Zones proches du rivage (jusqu'à 50 m au large) sur des substrats durs (rochers de granit et hauts-fonds rocheux), moins de 8 m de profondeur, en particulier dans les bras est et sud.
	Développement des œufs (pendant l'hiver).	Substrats durs; températures froides; couverture de glace étendue.	<ul style="list-style-type: none"> • Rochers ou hauts-fonds de granit ou de calcaire (avec pierres, galets et gravier) exempts de sédiments fins (Hart 1930, Fudge et Bodaly 1984, Freeberg <i>et al.</i> 1990, Jude <i>et al.</i> 1998, McKenna et Johnson 2009). • Températures de l'eau généralement comprises entre 0,5 et 8,1 °C (Price 1940, Brooke 1975). • Hivers généralement froids avec une couverture importante pour protéger les œufs des perturbations/des déplacements (Freeberg <i>et al.</i> 1990, Jude <i>et al.</i> 1998, McKenna et Johnson 2009). 	
	Éclosion (jours suivant la fonte des glaces, fin avril et mai).	Eaux chaudes et productives (épilimnion).	<ul style="list-style-type: none"> • Températures de l'eau entre 4 et 8 °C (Ihssen <i>et al.</i> 1981, Cucin et Faber 1985). 	

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Propriétés de l'habitat	
			Documentation scientifique	Habitat essentiel
État larvaire (jusqu'à environ six semaines après l'éclosion).	Zone d'alevinage; alimentation.	Eaux chaudes et productives (épilimnion).	<ul style="list-style-type: none"> Eaux superficielles plus chaudes aux températures comprises entre 4 et 8 °C lors de l'éclosion, atteignant généralement entre 6,5 et 12 °C (Ihssen <i>et al.</i> 1981, Cucin et Faber 1985) dans la couche supérieure comprise entre 0,3 et 1 m (Hart 1930, Reckahn 1970, Freeberg <i>et al.</i> 1990, Herbst <i>et al.</i> 2011) directement au-dessus des profondeurs comprises 1,5 et 10 m ou près des frayères (Cucin et Faber 1985). Nombreuses proies de zooplancton, en général (Hart 1930, Freeberg <i>et al.</i> 1990, Cucin et Faber 1985). 	Eaux superficielles chaudes et productives sur des profondeurs allant jusqu'à 10 m (généralement les mêmes que ci-dessus).
Âge 0 (environ 50 mm ou lorsque le premier changement ontogénétique de régime alimentaire se produit).	Alimentation.	Eaux fraîches de profondeur intermédiaire.	<ul style="list-style-type: none"> Inconnus dans le lac Opeongo. Dans les populations des Grands Lacs, les individus d'âge 0 se déplacent sous la surface et occupent des habitats benthiques moins profonds que les habitats finaux des adultes (Hart 1930, Claramunt <i>et al.</i> 2010, Pothoven <i>et al.</i> 2014). 	Inconnu.
Juvéniles (de l'âge 1 au début de la maturité [de 4 à 5 ans environ pour l'UD de grande taille; 2 ans pour l'UD de petite taille]).	Alimentation.	Eau froide et profonde de l'hypolimnion.	<ul style="list-style-type: none"> Généralement, même habitat que les adultes. Les expériences en laboratoire laissent entendre que l'ampleur thermique préférée (âge 1) est comprise entre 15,5 et 19,5 °C; 18,5°C est la température optimale pour la croissance (Edsall 1999a,b). 	Zones d'eau profonde et froide, ne dépassant pas 20 °C.

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Propriétés de l'habitat	
			Documentation scientifique	Habitat essentiel
Adultes.	Alimentation.	Eau froide et profonde (hypolimnion) avec accès aux invertébrés pélagiques et benthiques.	<ul style="list-style-type: none"> – Profondeurs d'eau allant de 3 à 18 m. – Températures de l'eau en été comprises entre 7 et 14 °C, et ne dépassant pas 20 °C (Kennedy 1943, Challice <i>et al.</i> 2019). – Abondance de cladocères, de larves d'éphéméroptères (notamment en mai), de chironomidés et de bivalves <i>Pisidium</i> sp. (Sandercock 1964) 	Zones d'eau profonde et froide, ne dépassant pas 20 °C.
Adultes (UD de grande taille).	Alimentation.	Eau froide et profonde (hypolimnion).	– Peuvent occuper occasionnellement des eaux moins profondes et plus chaudes pendant les mois d'été (3 m de profondeur avec des températures comprises entre 7 et 16 °C en juin, et 9 m de profondeur et 15 °C en août [Kennedy 1943]).	Inconnu.
Adultes (UD de petite taille).	Alimentation.	Eau froide et profonde (hypolimnion).	– Peuvent occuper occasionnellement des eaux plus profondes et plus fraîches pendant les mois d'été (6 à 12 m de profondeur avec des températures comprises entre 7 et 14 °C en juin, et 15 m de profondeur et 9 °C en août [Kennedy 1943]).	Inconnu

Élément 5 : Fournir de l'information sur l'étendue spatiale des zones de l'aire de répartition du grand corégone qui sont susceptibles de présenter les propriétés de l'habitat recherchées.

Il est probable qu'à l'exception de quelques baies végétalisées peu profondes, tout le lac Opeongo offre un habitat au grand corégone pendant au moins un stade biologique ou à un moment de l'année. Challice *et al.* (2019) ont signalé que 48,3 % du lac avait une profondeur inférieure à 10 m et que 23,3 % du lac avait une profondeur supérieure à 20 m et offrirait probablement un habitat d'été thermiquement adapté aux grands corégonos juvéniles et adultes. Il existe autour du lac de nombreux rochers en granit et hauts-fonds de galets (chacun d'une superficie d'un hectare ou moins) dont la profondeur convient à la fraie et au développement des œufs (Ihssen *et al.* 1981). Au total, le rivage s'étend sur 109,3 km, le substrat du littoral étant composé d'une moyenne de 22,2 % de sable, de gravier et de petits rochers et d'une moyenne de 34,5 % de substrat rocheux, de gravats et de gros rochers (Cucin et Faber 1985); ces deux types de substrat sont probablement appropriés pour la fraie et la quête de nourriture. Le bras sud a la ligne de côte la plus longue (49 km) et la plus grande proportion de substrat rocheux, de gravats et de gros rochers (41,2 %; Cucin et Faber 1985). L'UD de petite taille n'a pas été signalée dans le bras nord, mais cela est probablement dû à un biais d'échantillonnage (c'est-à-dire un effort insuffisant ou des maillages inadaptés).

Élément 6 : Quantifier la présence et l'étendue des contraintes associées à la configuration spatiale, comme la connectivité et les obstacles à l'accès, s'il y en a.

Il n'y a pas de connexions constamment praticables entre le lac Opeongo et les autres lacs voisins, de sorte que le grand corégone est effectivement confiné au lac; toutefois, le grand corégone peut être en mesure de passer par-dessus le barrage de la baie Annie pour sortir du lac pendant les périodes de hautes eaux (Mark Ridgway, MRNFO, comm. pers.). Certains affluents peuvent être accessibles sur une courte distance, mais on ne sait pas dans quelle mesure (le cas échéant) le grand corégone du lac Opeongo utilise ces habitats. Des canaux relient chacun des bras du lac Opeongo et rien ne permet de penser qu'ils empêchent ou découragent les mouvements entre les bassins.

Élément 7 : Évaluer dans quelle mesure la notion de résidence s'applique à l'espèce et, le cas échéant, décrire la résidence de l'espèce.

La LEP définit la résidence comme suit : « Gîte – terrier, nid ou autre aire ou lieu semblable -- occupé ou habituellement occupé par un ou plusieurs individus pendant tout ou partie de leur vie, notamment pendant la reproduction, l'élevage, les haltes migratoires, l'hivernage, l'alimentation ou l'hibernation ». Le MPO interprète la notion de résidence comme un lieu construit par l'organisme. Dans le contexte de la description narrative ci-dessus des exigences en matière d'habitat au cours des stades biologiques du grand corégone, les individus de l'une ou l'autre des UD ne construisent pas de résidences au cours de leur stade biologique.

MENACES ET FACTEURS LIMITATIFS LIÉS À LA SURVIE ET AU RÉTABLISSEMENT DU GRAND CORÉGONE

Élément 8 : Évaluer et classer par ordre d'importance les menaces à la survie et au rétablissement du grand corégone.

CATÉGORIES DE MENACES

Un certain nombre de menaces peuvent avoir un effet négatif sur les UD de grande taille et de petite taille du grand corégone du lac Opeongo; toutefois, en raison de leur présence dans le parc provincial Algonquin, certaines menaces liées à l'habitat sont limitées. Les plus grandes menaces proviennent de l'introduction d'espèces aquatiques envahissantes qui pourraient

perturber les réseaux trophiques et les autres processus écologiques qui permettent aux deux UD de persister en sympatrie. Les données disponibles sont limitées pour classer les menaces séparément pour chaque UD, mais les menaces ont été distinguées lorsqu'elles étaient sous-tendues par des données probantes. Les menaces ont été classées selon le système de classification unifiée des menaces directes du Partenariat de l'UICN pour les mesures de conservation (Salafsky *et al.* 2008). Les menaces jugées négligeables par le COSEPAC (2018) n'ont pas été incluses dans ce document.

Intrusions et perturbations humaines

Le lac Opeongo est le lac le plus visité du parc provincial Algonquin, tant pour la pêche à la ligne récréative que pour le camping dans l'arrière-pays. Il compte 142 aires de camping, 12 portages et diverses infrastructures dans le parc, notamment un bureau des permis, des logements pour le personnel, des aires de stationnement, des pourvoiries et le Harkness Laboratory for Fisheries Research (P. Gelok, ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et des Parcs de l'Ontario, comm. pers.). Une zone tampon boisée de 120 m est présente autour de la ligne de côte (Ontario 2013). Le lac Opeongo accueille en moyenne plus de 2 100 soirées de pêche à la ligne à l'achigan et à la truite par an (Mitchell *et al.* 2020) et il s'agit d'un des deux lacs du parc provincial Algonquin qui autorise les bateaux de puissance illimitée.

La pêche récréative dans le lac Opeongo cible généralement le touladi et l'achigan à petite bouche (Mitchell *et al.* 2020); toutefois, le grand corégone peut être capturé accidentellement. D'après les données des enquêtes par interrogation des pêcheurs recueillies depuis 1992, un total de 870 334 heures de pêche à la ligne ont été enregistrées dans le lac Opeongo (l'effort de pêche annuel moyen était de 32 235 heures). Au total, 1 138 heures ont été consacrées au ciblage du grand corégone (moyenne annuelle de 42 heures). Un total de 358 grands corégonos ont été capturés au cours de cette période (moyenne annuelle de 13 captures) et 189 spécimens ont été récoltés (moyenne annuelle de sept captures; données inédites du MRNFO). Les individus de grande taille sont probablement plus souvent capturés que ceux de petite taille.

Les bateaux de plaisance sont connus pour avoir une incidence sur les poissons et leur habitat, en général (Whitfield et Becker 2014). Des mortalités, des effets physiologiques et comportementaux sur les poissons, ainsi que des perturbations de l'habitat tels que l'augmentation de la turbidité et des changements dans les communautés d'invertébrés ont été observés dans certaines études, mais les effets au niveau des populations ne sont pas bien compris (John et Hasler 1956, Yousef *et al.* 1980, Garrad et Hey 1987, Killgore *et al.* 2001, Bishop 2007, Rellstab *et al.* 2007, Graham et Cooke 2008, Gabel *et al.* 2011, Maxwell *et al.* 2018).

Il est peu probable que des aménagements importants aient lieu près du lac en raison du zonage et d'autres règlements du parc; toutefois, de petits travaux de construction ou des activités liées aux points d'accès et à l'infrastructure du parc pourraient être réalisés, conformément au Plan de gestion du parc provincial Algonquin (Ontario 1998, 2013).

Espèces et gènes envahissants ou problématiques

Les espèces aquatiques envahissantes sont considérées comme les plus grandes menaces auxquelles sont confrontées la plupart des paires de corégonos sympatriques, car elles sont susceptibles de perturber les conditions écologiques qui entraînent et maintiennent la divergence des deux formes (Mee *et al.* 2015, Reid *et al.* 2017, COSEPAC 2018).

Deux espèces de poissons ont été introduites dans le lac Opeongo, l'achigan à petite bouche

au début des années 1900 et le cisco en 1948, mais on ne sait pas exactement quel effet ces espèces ont eu sur les deux UD du grand corégone. Kennedy (1943) a documenté la paire d'espèces de grand corégone après l'établissement de l'achigan à petite bouche, de sorte que les effets de cette espèce étaient probablement indirects et négligeables. Toutefois, Morbey *et al.* (2007) ont observé que le nombre de grands corégonos de petite taille avait diminué (comme le montre le régime alimentaire du touladi) au cours de la période allant de 1937 à 1943 et ont émis l'hypothèse que ce déclin pourrait être lié à la concurrence avec l'achigan à petite bouche pour les proies macroinvertébrées. On a longtemps remarqué que les paires sympatriques de grands corégonos ne sont connues que dans les lacs où le cisco est absent; les formes de petite taille du grand corégone occupent souvent une niche limnétique similaire à celle du cisco, où ce dernier aurait un avantage compétitif (Pigeon *et al.* 1997, Trudel *et al.* 2001, Mee *et al.* 2015). On a observé que l'UD de petite taille du grand corégone occupait des profondeurs plus importantes que l'UD de grande taille du lac Opeongo (Kennedy 1943), ce qui laisse entrevoir la possibilité qu'il soit plus benthique et ne concurrence pas le cisco (Mark Ridgway, MRNFO, comm. pers.). Le cisco a presque remplacé le grand corégone dans le régime alimentaire du touladi au cours des décennies qui ont suivi son introduction (Morbey *et al.* 2007), ce qui a peut-être allégé dans une certaine mesure la pression liée à la prédation. Le cisco est également connu pour se nourrir d'œufs de grand corégone (Hart 1930). Les UD de grande taille et de petite taille du grand corégone persistent dans le lac Opeongo, malgré les effets possibles des espèces introduites.

D'autres espèces aquatiques envahissantes ont eu un effet sur les paires de grands corégonos sympatriques ailleurs. On suppose que l'introduction du cladocère épineux (*Bythotrephes longimanus*) pourrait être responsable du remplacement de la paire de grands corégonos par une seule forme plus grande dans le lac Como (Ontario) (Reid *et al.* 2017). Le cladocère épineux est devenu la source de nourriture zooplanctonique la plus abondante et la plus importante dans le lac Como et les deux UD du grand corégone peuvent avoir modifié leur régime alimentaire pour se nourrir principalement de cette proie, ce qui a entraîné des conditions plus uniformes et une croissance plus rapide pour les deux UD. On ne sait pas si les deux UD croissent désormais si rapidement qu'elles sont impossibles à distinguer l'une de l'autre ou si elles ont donné lieu à une forme hybride, mais on n'observe plus deux formes distinctes (Reid *et al.* 2017, COSEPAC 2018). L'introduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) a également entraîné le déclin des populations de grand corégone dans de nombreux lacs de l'est de l'Amérique du Nord contenant soit une paire d'espèces, soit une seule forme, en raison des interactions concurrentielles au stade larvaire ou de la prédation du grand corégone nouvellement éclos par l'éperlan arc-en-ciel adulte (Loftus et Hulsman 1986, Evans et Waring 1987, Gorsky et Zydlewski 2013, Wood 2016). La nature et le résultat de cette interaction semblent être propres au contexte, mais se traduisent généralement par un faible recrutement pour le grand corégone (Evans et Loftus 1987). Le cladocère épineux et l'éperlan arc-en-ciel sont connus dans les lacs autour du parc provincial Algonquin, et de futures introductions dans le lac Opeongo sont possibles par le déplacement de bateaux de plaisance contaminés ou en raison d'introductions illégales par l'homme, respectivement. D'autres envahisseurs (p. ex. les moules zébrées/quagga [*Dreissena* spp.]) et des espèces non indigènes au lac Opeongo (p. ex. le grand brochet [*Esox lucius*]) existent également à proximité et peuvent également être déplacés dans le lac Opeongo par des bateaux de plaisance contaminés ou à la suite d'introductions illégales. En raison de la position trophique de niveau intermédiaire du grand corégone dans le lac Opeongo, probablement dans les réseaux trophiques orientés vers le benthique et le limnétique, les introductions de tout taxon aquatique envahissant sont susceptibles d'avoir des effets sur le grand corégone qui pourraient entraîner une homogénéisation des deux UD. Des renseignements supplémentaires sur les niches trophiques

de chaque UD sont nécessaires pour mieux comprendre comment les futures espèces envahissantes pourraient perturber la paire d'espèces.

Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents

Le réchauffement des températures et la réduction de la couverture de glace sont les deux conséquences du changement climatique les plus susceptibles d'avoir un effet négatif sur le grand corégone du lac Opeongo, d'après les changements prévus et observés qui se produisent déjà dans le parc Algonquin et les facteurs limitatifs de l'espèce connus ailleurs (Ridgway et Middel 2020).

Le réchauffement des températures de l'eau est susceptible d'avoir un effet direct sur le grand corégone de plusieurs manières. En général, les œufs de grand corégone se développent à des températures de l'eau comprises entre 0,5 et 8,1 °C, la température optimale se situant à l'extrémité inférieure ou au milieu de cette fourchette. Au-delà, des anomalies et des mortalités ont été observées dans des conditions expérimentales (Price 1940, Brooke 1975). Les températures moyennes annuelles de l'air dans la région des Grands Lacs de l'Ontario devraient augmenter de 2,3 à 7,9 °C jusqu'à la fin du siècle (McDermaid *et al.* 2015), ce qui pourrait placer les œufs dans une zone thermiquement précaire. Un début de printemps plus précoce peut entraîner un décalage entre le moment de l'éclosion des larves de grand corégone et l'abondance des proies zooplanctoniques (Winder et Schindler 2004, Straille *et al.* 2007, Jeppeson *et al.* 2012, Anneville *et al.* 2009, Pothoven 2020). La réduction de la couverture de glace peut également menacer la survie des œufs pendant l'hiver. On pense que la couverture de glace offre une protection contre les perturbations associées à l'action du vent, des vagues et des courants, qui peuvent déplacer les œufs des frayères. Dans les plus grandes baies des Grands Lacs, on a constaté que la survie hivernale des œufs de grand corégone et la densité larvaire subséquente au printemps étaient nettement plus élevées pendant les hivers froids avec une couverture de glace plus étendue, comparativement aux hivers plus chauds avec une couverture de glace moindre (Freeberg *et al.* 1990, McKenna et Johnson 2009, Ryan et Crawford 2014). Une réduction de la couverture de glace a déjà été documentée dans le lac Opeongo au cours des dernières décennies (Ridgway *et al.* 2018). On peut donc s'attendre à ce que le succès des éclosions diminue à mesure que les températures hivernales augmentent, que la couverture de glace diminue et que le printemps arrive plus tôt. Les effectifs des classes d'âges varient en conséquence, certaines classes d'âge étant peu ou pas représentées.

Le réchauffement des températures peut également avoir un effet sur l'utilisation de l'habitat à tous les stades biologiques du grand corégone. Un réchauffement plus précoce au printemps peut réduire le temps pendant lequel le grand corégone peut se nourrir dans les eaux superficielles productives sans conséquences thermiques (Gorsky *et al.* 2012). Le grand corégone du lac Opeongo occupe des profondeurs où les températures varient entre 7 et 20 °C pendant les mois d'été, mais il était plus abondant à des températures comprises entre 7,7 et 13,6 °C (Kennedy 1943, Challice *et al.* 2019). À mesure que les températures de l'eau augmentent, on pense que la stratification du lac durera plus longtemps chaque saison, ce qui limitera l'utilisation de l'habitat pour les espèces d'eau froide et prolongera les conditions hypoxiques dans lequel le grand corégone évolue pendant l'été (Sharma *et al.* 2011, Ridgway et Middel 2020). Guzzo et Blanchfield (2017) ont constaté que la quantité d'habitats oxythermiques optimaux pour les poissons d'eau froide pendant les mois d'été avait diminué depuis les années 1970 dans les lacs du bouclier boréal. On suppose que l'habitat lotique d'eau froide pourrait diminuer de 33 à 86 % dans la région des Grands Lacs en raison du changement climatique et on s'attend à ce que ce soit également le cas pour les habitats lénitiques (McKenna 2019). Les UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo pourraient être obligées de se déplacer vers le même habitat et les mêmes sources de

nourriture pour éviter le stress thermique (Guzzo et Blanchfield 2017), ce qui pourrait conduire à un chevauchement des niches et, finalement, à la disparition de la paire.

D'autres résultats du changement climatique pourraient avoir un effet indirect sur le grand corégone du lac Opeongo également. On pensait que les changements de productivité liés au changement climatique dans les lacs oligotrophes intérieurs étaient responsables de la réduction de la condition physique du grand corégone et du cisco (Rennie *et al.* 2010). L'augmentation globale des proliférations d'algues nuisibles au cours des dernières décennies a également été associée au changement climatique, et des proliférations de cyanobactéries ont récemment été documentées dans un autre lac du parc Algonquin (Chapra *et al.* 2017, Favot *et al.* 2019, Ridgway et Middel 2020). Les proliférations d'algues peuvent nuire à la qualité de l'eau et aux réseaux trophiques, et peuvent avoir un effet plus important sur les espèces pélagiques (c.-à-d. certains stades biologiques ou certaines UD du grand corégone du lac Opeongo) en raison de la bioaccumulation de toxines (Paerl *et al.* 2001, Sotton *et al.* 2014, Sukenik *et al.* 2015).

Menaces cumulatives

Les menaces sont souvent considérées de manière indépendante lors de l'évaluation des menaces, mais elles peuvent interagir de manière complexe et en fonction du contexte. Outre les effets additifs simples, les agents de stress associés peuvent s'additionner et se combiner pour amplifier les effets (c'est-à-dire des réponses synergiques) ou interférer pour atténuer les effets de tout agent de stress pris isolément (Schindler 2001, Strayer 2010, Palmer et Yan 2013, Kernan 2015, Jackson *et al.* 2016, Kovach *et al.* 2017). Il est probable que les UD du grand corégone du lac Opeongo soient soumises à des menaces cumulatives.

Pêche récréative et espèces envahissantes ou changement climatique

Peu d'études ont examiné les effets combinés entre la pêche récréative et les espèces envahissantes ou le changement climatique. Le changement climatique peut accroître les possibilités de pêche récréative, ce qui, à son tour, peut augmenter les probabilités de transport d'espèces envahissantes par l'homme (Schindler 2001). L'augmentation du potentiel d'introduction d'espèces envahissantes ou l'augmentation de la productivité des espèces envahissantes en raison du changement climatique pourrait être associée à une augmentation du potentiel de récolte (accidentelle ou autre) si le changement climatique entraîne également une augmentation des possibilités de pêche à la ligne du grand corégone. Cette situation pourrait avoir des effets cumulatifs découlant de la pêche récréative, des espèces envahissantes et du changement climatique. Les deux UD du grand corégone du lac Opeongo sont plus sensibles aux perturbations de la survie des adultes lorsque les taux de croissance de la population sont stables ou en baisse (Fung *et al.* 2022). La pêche récréative est la plus susceptible de capturer des adultes, de sorte que les effets indirects de la pêche récréative, en plus des effets négatifs résultant de l'une ou l'autre des deux autres menaces, peuvent freiner davantage la croissance de la population.

Espèces envahissantes et changement climatique

Le changement climatique peut faciliter les invasions en permettant l'expansion de l'aire de répartition des espèces indigènes et des envahisseurs établis dans des zones dont ils ont pu être exclus ou éliminés en raison de contraintes thermiques (Schindler 2001, Jackson et Mandrak 2002, Rahel et Olden 2008, Strayer 2010). Les nouveaux envahisseurs et le changement climatique peuvent tous deux modifier les conditions de l'habitat (biotiques et abiotiques) et les fonctions des écosystèmes de diverses manières (Strayer 2010, Kernan 2015). Au fur et à mesure que les espèces envahissent les eaux, les écosystèmes deviennent moins résistants aux nouveaux envahisseurs et, dans certains cas, les invasions d'une espèce

peuvent faciliter l'invasion d'une espèce qui a évolué conjointement (Ricciardi et McIsaac 2000). De même, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes peut également rendre les écosystèmes moins résilients. On ignore quelles sont les interactions entre les espèces envahissantes et le changement climatique, et comment cela affecte le grand corégone du lac Opeongo. Par exemple, l'éperlan arc-en-ciel adulte se nourrit des larves de grand corégone, et les larves d'éperlan arc-en-ciel leur font concurrence, ce qui réduit le recrutement. Le changement climatique est susceptible de réduire la survie des œufs au cours de l'hiver et peut entraîner un décalage entre l'éclosion du grand corégone et l'abondance du zooplancton au printemps, ce qui entraîne une réduction de la survie. Ces effets combinés pourraient être amplifiés par rapport à l'une ou l'autre des menaces prises isolément, ce qui entraînerait une forte réduction du recrutement. Par ailleurs, l'éperlan arc-en-ciel est également une espèce d'eau froide susceptible d'être affectée négativement par le changement climatique (expansion de l'aire de répartition, croissance, recrutement, survie) et le changement climatique pourrait contribuer à atténuer ses effets sur le grand corégone (Sharma *et al.* 2011).

ÉVALUATION DES MENACES

Les menaces ont été évaluées en suivant les directives du MPO (2014). Ainsi, chaque menace a été classée en fonction de sa probabilité de réalisation, du niveau des répercussions et de la certitude causale. La probabilité de réalisation de la menace a été classée comme Connue, Susceptible de se réaliser, Peu probable, Faible ou Inconnue, et se réfère à la probabilité selon laquelle une menace est susceptible de se réaliser pour une population donnée sur une période de dix ans ou de trois générations, selon la période la plus courte. Le niveau des répercussions de la menace a été classé comme Extrême, Élevé, Moyen, Faible ou Inconnu, et renvoie à l'étendue des répercussions causées par une menace donnée, ainsi que la mesure dans laquelle ces répercussions menacent la survie ou le rétablissement d'une UD donnée (Tableau 7). Le niveau de certitude associé à chaque menace a été évalué et classé comme suit : 1 = Très élevé, 2 = Élevé, 3 = Moyen, 4 = Faible, 5 = Très faible. La réalisation de la menace au niveau de l'UD (traditionnellement, au niveau de la population), la fréquence de la menace et l'étendue de la menace ont également été évaluées et se sont vu attribuer un statut en fonction des définitions figurant au Tableau 7 (classements dans le Tableau 8). La probabilité de réalisation et le niveau des répercussions de chaque UD ont ensuite été combinés dans la matrice des menaces et des risques (Tableau 9; classement dans le Tableau 10).

Tableau 7. Définition et termes utilisés pour décrire la probabilité de réalisation, le niveau des répercussions, la certitude causale, la réalisation de la menace au niveau de la population, la fréquence de la menace au niveau de la population et l'étendue de la menace au niveau de la population tirés du MPO (2014).

Terme	Définition
Probabilité de réalisation	
Menace connue ou très susceptible de se réaliser (K)	Cette menace a été observée dans 91 à 100 % des cas.
Menace susceptible de se réaliser (L)	Il y a de 51 à 90 % de chance que cette menace se réalise.
Peu probable (UL)	Il y a de 11 à 50 % de chance que cette menace se réalise.
Faible (R)	Il y a de 1 à 10 % de chance ou moins que cette menace se réalise.
Inconnue (U)	Il n'y a pas de données ni de connaissances préalables sur la réalisation de cette menace maintenant ou à l'avenir.
Niveau des répercussions	
Extrême (E)	Déclin important de la population (p. ex. 71 à 100 %) et possibilité de disparition du Canada.
Élevé (H)	Perte de population importante (de 31 à 70 %) ou menace <u>compromettant</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Moyen (M)	Perte modérée de population (de 11 à 30 %) ou menace <u>susceptible de compromettre</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Faible (L)	Peu de changements dans la population (de 1 à 10 %) ou menace <u>peu susceptible de compromettre</u> la survie ou le rétablissement de la population.
Inconnu (U)	Aucune connaissance, documentation ou donnée antérieure pour orienter l'évaluation de la gravité de la menace sur la population.
Certitude causale	
Très élevée (1)	Des preuves très solides indiquent que la menace se réalise et que l'ampleur des effets sur la population peut être quantifiée.
Élevée (2)	Des preuves concluantes établissent un lien de cause à effet entre la menace et les déclin de la population ou le danger pour sa survie ou son rétablissement.
Moyenne (3)	Certaines preuves établissent un lien de cause à effet entre la menace et les déclin de la population ou le danger pour sa survie ou son rétablissement.
Faible (4)	Il y a des preuves limitées soutenant un lien théorique entre la menace et les déclin de la population ou le danger pour sa survie ou son rétablissement.
Très faible (5)	Il y a un lien plausible sans aucune preuve indiquant que la menace entraîne un déclin de la population ou met en danger sa survie ou son rétablissement.
Probabilité de réalisation au niveau de la population	
Passée (H)	On sait qu'une menace s'est concrétisée par le passé et a eu un impact négatif sur la population.
Actuelle (C)	Une menace qui existe actuellement et qui a un impact négatif sur la population.
Anticipée (A)	Une menace dont on anticipe la concrétisation à l'avenir et qui aura un impact négatif sur la population.

Terme	Définition
-------	------------

Fréquence de la menace au niveau de la population

Unique (S)	La menace se réalise une fois.
Récurrente (R)	La menace se réalise périodiquement ou à répétition.
Continue (C)	La menace se réalise sans interruption.

Étendue de la menace au niveau de la population

Considérable (E)	De 71 à 100 % de la population est touchée par la menace.
Vaste (B)	De 31 à 70 % de la population est touchée par la menace.
Étroite (NA)	De 11 à 30 % de la population est touchée par la menace.
Limitée (R)	De 1 à 10 % de la population est touchée par la menace.

Tableau 8. Probabilité de réalisation de la menace (LO), niveau des répercussions (LI), certitude causale (CC), réalisation de la menace au niveau de la population (dans ce cas, l'unité désignable) (PTO), fréquence de la menace au niveau de la population (PTF) et étendue de la menace au niveau de la population (PTE) pour les UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo.

	UD grande taille						UD petite taille					
	LO	LI	CC	PTO	PTF	PTE	LO	LI	CC	PTO	PTF	PTE
Intrusions et perturbations humaines	K	L	5	H, C, A	R	R	K	L	5	H, C, A	R	R
Espèces et gènes envahissants ou problématiques	K	L	5	H, C, A	R	R	K	L	5	H, C, A	R	R
Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents	L	H	2	H, C, A	C	E	L	H	2	H, C, A	C	E

Les intrusions et les perturbations humaines dues aux activités récréatives (p. ex. pêche, utilisation de bateaux motorisés, camping, visites) sont connues dans le lac Opeongo et autour du lac. Les effets indirects de la pêche récréative sont susceptibles d'avoir un effet plus important sur l'UD de grande taille, mais ils sont probablement faibles puisque le grand corégone n'est pas fréquemment ciblé ou est capturé accidentellement par les pêcheurs sur le lac (données inédites du MRNO). Les effets des bateaux de plaisance peuvent également avoir un effet plus important sur l'UD de grande taille (s'il occupe régulièrement des eaux moins profondes) et sur les larves de grand corégone, mais les effets se produiraient surtout dans les zones littorales qui ne sont généralement pas occupées par cette espèce. Ces effets se répètent de manière saisonnière, mais ne toucheraient probablement qu'une petite proportion de la population à proximité de la perturbation.

Des espèces envahissantes et d'autres espèces et gènes problématiques ont déjà été introduits dans le lac et sont donc connus, mais le niveau des répercussions de ces espèces introduites semble être faible, car les deux UD persistent. L'arrivée et l'effet ultérieur de nouvelles espèces aquatiques envahissantes dépendent des taxons. Cette menace a été évaluée en tenant

compte des espèces introduites existantes et de deux envahisseurs qui ont eu des effets substantiels sur les paires de grands corégones ailleurs et dont on prévoit l'arrivée dans le lac Opeongo d'après leur répartition actuelle et leur propagation récente. Le cladocère épineux et l'éperlan arc-en-ciel sont déjà présents dans d'autres lacs entourant le parc Algonquin, et leur niveau des répercussions pourrait être extrême s'ils arrivaient dans le lac Opeongo (p. ex. perte de la paire d'espèces dans le lac Como, en Ontario [Reid *et al.* 2017]). Les espèces aquatiques envahissantes auraient probablement des effets importants sur les deux UD, que ce soit directement ou indirectement.

Les effets du changement climatique et des phénomènes météorologiques violents, notamment le réchauffement des températures et la réduction de la couverture de glace (durée et étendue), ont déjà été documentés dans le parc provincial Algonquin et ses environs (Ridgway *et al.* 2018); toutefois, les répercussions sur le grand corégone du lac Opeongo ne sont pas bien connues. Des déclin et des disparitions du grand corégone et du cisco ont été observés dans des lacs du Wisconsin et du Minnesota, à la limite sud de l'aire de répartition de l'espèce, en raison du changement climatique (Sharma *et al.* 2011, Jacobson *et al.* 2008, Renik *et al.* 2020). On s'attend à ce que la survie des œufs et le succès des éclosions soient réduits, à ce que des changements d'habitat se produisent à tous les stades biologiques et à ce que la condition physique soit réduite, comme cela a été observé ailleurs (Freeberg *et al.* 1990, McKenna et Johnson 2009, Rennie *et al.* 2010, Ryan et Crawford 2014, Guzzo et Blanchfield 2017). Les menaces liées au changement climatique ont été prises en compte sur une période de 10 ans (environ une à deux générations) ici. Elles sont actuelles et devraient s'aggraver avec le temps, avec des effets continus dans l'ensemble. Cette menace est susceptible de nuire à une grande partie de la population au cours d'une année donnée, mais elle variera d'une année à l'autre (c'est-à-dire que certaines années, la survie des œufs peut être faible en raison d'un hiver chaud, et d'autres années, l'alimentation des adultes peut être réduite en raison d'un été chaud).

Tableau 9. La matrice des niveaux de menace combine les classements de la probabilité de réalisation et du niveau des répercussions pour établir le niveau de menace pour les UD du grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo.

		Niveau des répercussions				
		Faible	Moyen	Élevé	Extrême	Inconnu
Probabilité de réalisation	Connu ou très susceptible de se concrétiser	Faible	Moyen	Élevé	Élevé	Inconnu
	Susceptible de se réaliser	Faible	Moyen	Élevé	Élevé	Inconnu
	Peu probable	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Inconnu
	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Inconnu
	Inconnue	Inconnue	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu

Tableau 10. Évaluation du niveau de menace pour les UD du grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo résultant d'une analyse de la probabilité et des répercussions de la menace. Le chiffre entre parenthèses renvoie au niveau de certitude associé aux répercussions de la menace (1 = très élevé; 2 = élevé; 3 = moyen; 4 = faible; 5 = très faible).

Menace	UD de grande taille	UD de petite taille
Intrusions et perturbations humaines	Faible (5)	Faible (5)
Espèces et gènes envahissants ou problématiques	Élevée (2)	Élevée (2)
Changements climatiques et phénomènes météorologiques violents	Faible (3)	Faible (3)

Élément 9 : Énumérer les activités les plus susceptibles de menacer (c.-à-d. d'endommager ou de détruire) les propriétés de l'habitat décrites dans les éléments 4 et 5, et fournir des renseignements sur l'ampleur et les conséquences de ces activités.

L'activité la plus susceptible de menacer l'habitat des UD de grand corégone de petite taille et de grande taille du lac Opeongo est la pêche récréative, qui peut entraîner des perturbations dues aux bateaux motorisés, la dégradation des zones riveraines et, surtout, l'introduction d'espèces aquatiques envahissantes par le biais d'engins et d'équipements contaminés ou de rejets accidentels; tout autre moyen d'introduire des espèces envahissantes pourrait également avoir des effets négatifs sur l'habitat. Les invertébrés envahissants sont susceptibles d'avoir le plus grand effet sur la paire d'espèces par le biais de changements de l'approvisionnement en nourriture. La base actuelle de proies invertébrées dans le lac Opeongo soutient quatre populations de corégones et est probablement, en partie, responsable du maintien de la diversité des corégones. Tout changement dans l'abondance ou la composition des invertébrés est susceptible d'accroître la concurrence entre les corégones. L'introduction du cladocère épineux dans le lac Como (Ontario) semble avoir entraîné le remplacement de la paire de grands corégones par une seule forme plus grande (Reid *et al.* 2017). Il est probable que les UD, qu'elles soient de grande ou de petite taille, aient commencé à consommer cet envahisseur abondant, homogénéisant ainsi les conditions qui avaient initialement conduit à la divergence de la paire d'espèces. Les perturbations des zones riveraines ou littorales dues à la pêche récréative et aux bateaux ont probablement un effet relativement faible sur l'habitat dans son ensemble.

Facteurs limitatifs

Élément 10 : Évaluer tous les facteurs naturels susceptibles de limiter la survie et le rétablissement du grand corégone.

Il existe plusieurs facteurs naturels abiotiques et biotiques qui pourraient limiter la survie et le rétablissement des UD du grand corégone dans le lac Opeongo. Les années où la couverture de glace sera réduite se traduiront probablement par une faible survie des œufs pendant l'hiver, car la glace offre une protection contre les perturbations et les déplacements (Freeberg *et al.* 1990, Jude *et al.* 1998, McKenna et Johnson 2009). La disponibilité de la nourriture pour les larves de grand corégone nouvellement écloses (jusqu'à six semaines) pourrait également limiter leur survie et leur recrutement (Taylor et Freeburg 1984, Cucin et Faber 1985). La densité des larves de grand corégone suit de près les densités de zooplancton dans les populations des Grands Lacs et de petites baisses du zooplancton peuvent entraîner une diminution de la croissance et de la survie (Freeberg *et al.* 1990, Hoyle *et al.* 2011, Pothoven *et al.* 2020). On sait que d'autres espèces présentes dans le lac Opeongo, en particulier la perchaude, se nourrissent des œufs et des alevins du grand corégone à d'autres endroits (Hart 1930). Hart (1930) pensait que cette prédation des œufs était probablement opportuniste, mais qu'elle pouvait entraîner une réduction de l'abondance des larves les années où la nourriture est limitée et où la prédation des œufs est élevée.

Outre la concurrence avec le cisco pour les proies pélagiques, la concurrence avec le ménomini rond relativement aux proies benthiques peut être limitante pour les deux UD. Dans d'autres lacs de l'Ontario, Carl et McGuinness (2006) ont constaté que les prises par unité d'effort (CPUE) du grand corégone étaient significativement plus faibles (moyenne de 1,4 CPUE) dans les lacs où l'on trouve à la fois des ciscos et des ménominis ronds, comparativement aux lacs où l'on trouve uniquement des ciscos (moyenne de 3,0 CPUE) ou aucun autre corégone (moyenne de 20,5 CPUE), ce qui laisse entendre que la concurrence peut entraîner une baisse de l'abondance du grand corégone. Cependant, des études concernant le régime alimentaire dans les lacs de l'Ontario ont révélé que le ménomini rond et le grand corégone pouvaient

consommer des aliments similaires ou identiques, mais pas au même moment, et qu'ils pouvaient être différenciés en fonction des profondeurs occupées, le grand corégone occupant souvent des profondeurs plus importantes (et une plage de profondeurs plus large dans l'ensemble du lac Opeongo) pour éviter la concurrence (Sandercock 1964, Martin et Fry 1973, Carl et McGuinness 2006, MacPherson *et al.* 2010).

Le grand corégone du lac Opeongo est géographiquement (et génétiquement) isolé des autres populations et pourrait être confronté à des effets liés à la structure génétique (c.-à-d. courant de dérive, dépression consanguine, perte d'hétérozygotie, goulets, effets fondateurs) (Lewin *et al.* 2007). Le degré et les mécanismes d'isolement reproductif entre la paire d'espèces ne sont pas connus, et l'intégrité génétique de la paire pourrait être particulièrement bouleversée à la suite d'événements graves qui entraînent des mortalités ou limitent la reproduction.

Élément 11 : *Décrire les effets écologiques potentiels des menaces évaluées dans l'élément 8 sur l'espèce ciblée et les espèces coexistantes. Énumérer les avantages et les inconvénients potentiels pour l'espèce ciblée et les espèces coexistantes si les menaces sont atténuées. Énumérer les efforts actuels de surveillance de l'espèce ciblée et des espèces coexistantes en rapport avec chaque menace et relever toutes les lacunes dans les connaissances.*

Les effets écologiques des activités de pêche récréative sur le lac Opeongo sont plus importants pour le touladi et l'achigan à petite bouche pour lesquels il y a des pêches actives, et peuvent être moins importants pour le grand corégone, la perchaude et la lotte, qui sont rarement ciblés et capturés accidentellement (données inédites du MRNO). Martin et Fry (1973) ont avancé que la pêche récréative doublait le taux de mortalité du touladi dans le lac Opeongo et que les effectifs des classes d'âge étaient corrélés à la pression de la pêche; cependant, certains de ces effets semblent avoir été compensés par l'introduction du cisco comme fourrage. Des changements dans l'exploitation du touladi pourraient entraîner des changements de taille et d'abondance des proies (Shuter *et al.* 2016).

Les effets des espèces aquatiques envahissantes sur le grand corégone et les espèces concomitantes dépendent des taxons, mais peuvent être directs sous l'effet de la concurrence ou de la prédation, ou indirects en raison des changements de disponibilité des proies, du cycle des nutriments, des dommages à l'habitat ou de l'introduction de maladies et de parasites. La prévention de l'introduction de nouvelles espèces aquatiques envahissantes profiterait à l'ensemble de la communauté de poissons en empêchant les changements dans les réseaux trophiques ou les conditions d'habitat. L'élimination du cisco introduit peut être bénéfique à l'une des UD du grand corégone ou aux deux en réduisant la concurrence, mais pourrait avoir un effet négatif sur le touladi qui consomme principalement du cisco (Morbey *et al.* 2007), ce qui pourrait à son tour augmenter la pression de prédation sur les UD du grand corégone. Le touladi a commencé à consommer du cisco peu de temps après son introduction et a donné naissance à des touladis plus gros et arrivant à maturité plus tard (Martin et Fry 1973, Shuter *et al.* 2016). L'élimination de l'achigan à petite bouche existant peut être bénéfique pour le touladi en réduisant la concurrence et peut être bénéfique pour les poissons du littoral et les proies des macroinvertébrés benthiques.

Le changement climatique menace tous les organismes aquatiques et ses effets sont de grande ampleur, difficiles à quantifier et souvent cumulatifs avec d'autres facteurs de stress. Le comportement et la physiologie des poissons peuvent être affectés par l'augmentation des températures de l'air et de l'eau, les changements de niveaux d'eau, la réduction de la couverture de glace, l'augmentation des phénomènes météorologiques violents (tant en fréquence qu'en intensité), l'augmentation de la fréquence des maladies et les changements dans la dynamique du réseau trophique (Lemmen *et al.* 2004). La réduction des effets des changements climatiques serait probablement la solution la plus bénéfique pour les poissons

d'eau froide comme le grand corégone, le touladi et la lotte du lac Opeongo (Casselman 2002, Chu *et al.* 2005, Sharma *et al.* 2011).

Le MRNFO effectue une surveillance occasionnelle de la communauté de poissons et recueille des données au moyen d'enquêtes par interrogation des pêcheurs (qui remontent à 1936, date à laquelle la pression de la pêche a commencé) dans le lac Opeongo. Ces données permettraient de détecter les nouveaux poissons introduits et les changements dans la communauté de poissons résultant des effets des perturbations, des espèces aquatiques envahissantes autres que des poissons et du changement climatique.

SCÉNARIOS DES MESURES D'ATTÉNUATION DES MENACES ET DES SOLUTIONS DE RECHANGE

Élément 16 : *Dresser une liste des mesures d'atténuation réalisables et des activités de rechange raisonnables aux activités qui représentent des menaces pour l'espèce et son habitat (énumérées dans les éléments 8 et 10).*

Il est possible de limiter les menaces qui pèsent sur la survie et le rétablissement de l'espèce en adoptant des mesures d'atténuation qui réduiront ou élimineront les effets néfastes susceptibles de découler des ouvrages ou des entreprises associés aux projets ou aux activités qui sont réalisés dans le lac Opeongo (habitat du grand corégone de grande taille et de petite taille). Dans les évaluations du potentiel de rétablissement précédentes, la base de données du MPO du Système de suivi des activités du programme de l'habitat a fait l'objet d'une interrogation pour une variété d'ouvrages, d'entreprises et d'activités qui ont eu lieu dans une aire de répartition connue d'une espèce au cours des cinq années précédentes et qui pourraient nuire à son habitat ou le détruire. Dans le cas du lac Opeongo, aucune activité n'a été déterminée à proximité du lac. Dans le cas où une activité menace l'habitat des UD de grand corégone de grande taille et de petite taille, les menaces liées à l'habitat peuvent être liées aux séquences des effets élaborées par le Programme de protection du poisson et de son habitat du MPO dans Coker *et al.* (2010). Le document fournit des directives sur les mesures d'atténuation pour 18 séquences des effets en vue de protéger les espèces aquatiques en péril dans la région du Centre et de l'Arctique (Coker *et al.* 2010). Coker *et al.* (2010) se doivent d'être consultés au moment d'examiner les stratégies d'atténuation et les solutions de rechange relatives aux menaces pesant sur l'habitat. Des mesures d'atténuation supplémentaires et d'autres mesures relatives aux menaces non liées à l'habitat (c'est-à-dire les espèces envahissantes) sont énumérées ci-dessous.

Espèces et gènes envahissants ou problématiques

Les espèces introduites existantes, le cisco et l'achigan à petite bouche, peuvent avoir un effet négatif sur les UD de grand corégone de petite taille et grande taille du lac Opeongo, et les nouvelles espèces aquatiques envahissantes, comme le cladocère épineux et l'éperlan arc-en-ciel, pourraient constituer des menaces importantes si elles arrivaient.

Atténuation

- Promouvoir des campagnes de sensibilisation du public à l'intention des pêcheurs à la ligne et des visiteurs du parc (c.-à-d. concernant la législation sur les appâts et le nettoyage, la vidange et le séchage adéquats des bateaux et de l'équipement), et encourager l'utilisation des systèmes de signalement des espèces envahissantes existants (c.-à-d. EDDMapS, Ligne d'assistance téléphonique pour les espèces envahissantes, iNaturalist).

-
- Effectuer une surveillance ou un suivi de détection précoce des espèces envahissantes qui pourraient avoir un effet négatif sur le grand corégone ou modifier la dynamique du réseau trophique du lac.
 - Mettre en œuvre un plan d'intervention rapide si des espèces envahissantes sont détectées de manière à les éradiquer ou à les contrôler (Locke *et al.* 2010).
 - Stations de lavage de bateaux, autres restrictions/conditions d'utilisation des bateaux.
 - Le lac Opeongo est l'un des deux lacs du parc provincial Algonquin à autoriser les bateaux à puissance illimitée (36 autres lacs autorisent les bateaux à puissance limitée) (Ontario 2013); il est plus susceptible de recevoir des espèces aquatiques envahissantes par propagation accidentelle par le biais de bateaux contaminés.

Solutions possibles

- Introductions non autorisées
 - Il n'y a pas de solution de rechange aux introductions non autorisées parce qu'elles ne devraient pas se produire.
- Introductions autorisées
 - Utiliser uniquement des espèces indigènes.
 - Ne pas introduire de grand corégone provenant d'autres populations.
 - Suivre le *Code national sur l'introduction et le transfert d'organismes aquatiques* pour toutes les introductions d'organismes aquatiques (MPO 2017).

Élément 17 : *Effectuer le dénombrement des activités susceptibles d'accroître les valeurs des paramètres de survie ou de productivité de l'espèce (définis dans les éléments 3 et 15).*

Les mesures d'atténuation décrites ci-dessus sont conformes à l'objectif de renforcer la survie et de réduire les effets sur les UD de grand corégone des menaces que représentent les espèces envahissantes et d'autres espèces et gènes problématiques. Les UD de grande taille et de petite taille sont les plus sensibles aux perturbations de la survie des adultes (Fung *et al.* 2022), mais les données concernant l'effet des menaces sur la survie des adultes sont limitées. Les options visant à améliorer la productivité devraient être évaluées en fonction de leurs mérites propres.

Élément 18 : *Présenter un avis sur la faisabilité de restaurer l'habitat selon des valeurs plus élevées si la disponibilité actuelle de l'habitat est insuffisante pour atteindre les objectifs de rétablissement (voir l'élément 14). L'avis doit être présenté dans le contexte de toutes les options possibles pour atteindre les objectifs concernant l'abondance et l'aire de répartition.*

L'habitat ne semble pas être limitant pour les UD de grande taille ou de petite taille de grand corégone dans le lac Opeongo (Fung *et al.* 2022). La superficie du lac Opeongo (58,6 km²) est supérieure à la superficie minimale nécessaire à la viabilité de la population, soit environ 42,0 km² pour l'UD de grande taille et environ 3,5 km² pour l'UD de petite taille.

SOURCES D'INCERTITUDE

L'abondance de la population et les tendances dans le temps manquent pour les deux UD, mais particulièrement pour l'UD de petite taille. Cette situation pourrait être corrigée par une surveillance normalisée des UD de grand corégone de petite taille et de grande taille (à l'aide d'engins appropriés et sélectifs en fonction de la taille), au cours de laquelle des données sur l'âge et la maturité seraient recueillies. Certaines données laissent entendre que la paire sympatrique de grands corégonos du lac Opeongo ne se conforme peut-être pas aux mêmes habitats et niches trophiques que ceux observés pour les paires d'espèces ailleurs. Des modèles d'habitat évaluant la profondeur, la température de l'eau et l'oxygène dissous, couplés à des études sur le régime alimentaire, aideraient à déterminer les niches des UD de petite taille et de grande taille dans le lac Opeongo. Ces études fourniraient également des données de référence pour évaluer les effets des futures espèces aquatiques envahissantes. L'isolement reproductif entre les deux UD est déduit d'après les différences morphologiques et de cycle biologique (et potentiellement de comportement), mais une analyse génétique confirmerait la structure des UD et le degré de différenciation génétique qui les sépare. On manque de connaissances sur les paramètres du cycle biologique propres aux UD, comme la fécondité, et les données disponibles sur d'autres paramètres comme la croissance, la maturité, les relations âge-longueur, les données méristiques/morphométriques et le sex-ratio de Kennedy (1943) datent d'avant l'introduction du cisco. De plus, des données ont été recueillies dans les années 1980 sur les deux formes de grand corégone (Evans et Ihssen 1993) : elles montrent des tendances d'âge et de croissance pour la population de petite taille qui diffèrent de celles des données historiques des années 1930 (Kennedy 1943) ou des données modernes de 2010 (données inédites du MRNO); ces données devraient être évaluées à l'avenir si elles étaient disponibles. On ne sait pas avec certitude si les deux UD occupent les trois bras du lac; aucun individu de petite taille n'a été détecté dans le bras nord, mais cela peut être un biais d'échantillonnage. Les menaces liées aux perturbations humaines, aux espèces aquatiques envahissantes et au changement climatique ont probablement un effet sur le grand corégone du lac Opeongo, mais peu de données empiriques sont disponibles pour évaluer les conséquences et l'étendue de ces menaces.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Mark Ridgway, Allan Bell et Trevor Middel du ministère des Ressources naturelles et des Forêts de l'Ontario d'avoir fourni des données d'enquête, des données d'analyse et des données de contexte sur le lac Opeongo.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Anneville, O., Souissi, S., Molinero, J.C. and Gerdeaux, D. 2009. Influences of human activity and climate on the stock-recruitment dynamics of whitefish, *Coregonus lavaretus*, in Lake Geneva. *Fish. Manage. Ecol.* 16(6): 492–500.
- Barnes, M.A., and Power, G. 1984. A comparison of otolith and scale ages for western Labrador lake whitefish *Coregonus clupeaformis*. *Environ. Biol. Fishes* 10(4): 297–299.
- Bernatchez, L., Vuorinen, J.A., Bodaly, R.A., and Dodson, J.J. 1996. Genetic evidence for reproductive isolation and multiple origins of sympatric trophic ecotypes of whitefish (*Coregonus*). *Evolution* 50(2): 624–635.
- Bishop, M.J. 2007. Impacts of boat-generated waves on macroinfauna: towards a mechanistic understanding. *J. Experim. Mar. Biol. Ecol.* 343(2): 187–196.
- Bodaly, R.A. 1979. Morphological and ecological divergence within the Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) species complex in Yukon Territory. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 1214–1222.
- Bodaly, R.A., Clayton, J.W., and Lindsey, C.C. 1987. COSEWIC status report on the Squanga Whitefish, *Coregonus lavaretus*, in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa, ON. 44 p.
- Bodaly, R.A., Vuorinen, J., and Macins, V. 1991. Sympatric presence of dwarf and normal forms of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in Como Lake, Ontario. *Can. Field Nat.* 105(1): 87–90.
- Brooke, L.T. 1975. Effect of different constant incubation temperatures on egg survival and embryonic development in Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 104(3): 555–559.
- Carl, L.M., and McGuinness, F. 2006. Lake whitefish and lake herring population structure and niche in ten south-central Ontario lakes. *Environ. Biol. Fishes* 75: 315–323.
- Carl, L.M. 2007. Lake trout demographics in relation to burbot and coregonine populations in the Algonquin Highlands, Ontario. *Environ. Biol. Fishes* 83(2): 127–138.
- Casselman, J.M. 2002. Effects of temperature, global extremes and climate change on year-class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the Great Lakes basin. *In Fisheries in a Changing Climate*. Edited by N.A. McGinn. Am. Fish. Soc. Symposium 32, Bethesda, MD. 39–60 pp.
- Chalice, A.R., Milne, S.W., and Ridgway, M.S. 2019. Does habitat occupancy by lake trout and lake whitefish in large lakes match published thermal habitat envelopes? *Ecol. Freshw. Fish* 28(4): 611–623.
- Chapra, S.C., Boehlert, B., Fant, C., Bierman, V.J., Henderson, J., Mills, D., Mas, D.M.L., Rennels, L., Jantarasami, L., Martinich, J., Strzepek, K.M., and Paerl, H.W. 2017. Climate change impacts on harmful algal blooms in U.S. Freshwaters: a screening-level assessment. *Environ. Sci. Technol.* 51: 8933–8943.
- Chouinard, A., and Bernatchez, L. 1998. A study of trophic niche partitioning between larval populations of reproductively isolated whitefish (*Coregonus* sp.) ecotypes. *J. Fish Biol.* 53(6): 1231–1242.
- Chu, C., Mandrak, N.E., and Minns, C.K. 2005. Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada. *Diversity Distrib.* 11(4): 299–310.

-
- Claramunt, R.M., Muir, A.M., Johnson, J., and Sutton, T.M. 2010. Spatio-temporal trends in the food habits of age-0 lake whitefish. *J. Great Lakes Res.* 36(Suppl.1): 66–72.
- Coker, G. A., Ming, D.L., and Mandrak, N.E. 2010. [Mitigation guide for the protection of fishes and fish habitat to accompany the species at risk recovery potential assessments conducted by Fisheries and Oceans Canada \(DFO\) in Central and Arctic Region](#). Version 1.0. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2904: vi + 40 p.
- COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 2005. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le grand corégone \(*Coregonus clupeaformis*\) au Canada - Mise à jour](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. vii + 39 p.
- COSEPAC. 2012. [Lignes directrices du COSEPAC pour reconnaître les unités désignables](#) [en ligne]. (accédé le 4 septembre 2021)
- COSEPAC. 2018. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le corégone \(*Coregonus spp.*\), Corégone européen, population d'individus de petite taille du lac Squanga \(*Coregonus lavaretus*\), Grand corégone, population d'individus de grande taille du lac Squanga \(*Coregonus clupeaformis*\), Corégone européen, population d'individus de petite taille du lac Little Teslin \(*Coregonus lavaretus*\), Grande corégone, population d'individus de grande taille du lac Little Teslin \(*Coregonus clupeaformis*\), Corégone européen, population d'individus de petite taille du lac Dezadeash \(*Coregonus lavaretus*\), Corégone européen, population d'individus de grande taille du lac Dezadeash \(*Coregonus lavaretus*\), Grand corégone, population d'individus de petite taille du lac Opeongo \(*Coregonus clupeaformis*\), Grand corégone, population d'individus de grande taille du lac Opeongo \(*Coregonus clupeaformis*\), Grand corégone, population d'individus de petite taille du lac Como \(*Coregonus clupeaformis*\) et Grand corégone, population d'individus de grande taille du lac Como \(*Coregonus clupeaformis*\), au Canada](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, ON. xlix + 46 p.
- Cucin, D. and Faber, D.J. 1985. Early life studies of Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*), Cisco (*Coregonus artedii*) and Yellow Perch (*Perca flavescens*) in Lake Opeongo, Ontario. Ontario Fish. Tech. Rep. Ser. 16: 27 p.
- Doyon, J.F., Shetagne, R., and Verdon, R. 1998. Different mercury bioaccumulation rates between sympatric populations of dwarf and normal lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in the La Grande Complex watershed, James Bay, Quebec. *Biogeochemistry* 40: 203–216.
- Edsall, T.A. 1999a. The growth-temperature relation of juvenile Lake Whitefish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 128(5): 962–964.
- Edsall, T.A. 1999b. Preferred temperatures of juvenile Lake Whitefish. *J. Great Lakes Res.* 25(3): 583–588.
- Evans, D.O., and Loftus, D.H. 1987. Colonization of inland lakes in the Great lakes region by Rainbow Smelt, *Osmerus mordax*: their freshwater niche and effects on indigenous fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 249–266.
- Evans, D.O., and Waring, P. 1987. Changes in the multispecies, winter angling fishery of Lake Simcoe, Ontario, 1961-83: invasion by Rainbow Smelt, *Osmerus mordax*, and the roles of intra- and interspecific interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 182–197.
- Evans, D.O., and Ihssen, P.E. 1993. Ecological and genetic diversity of two sympatric stocks of Lake Whitefish, *Coregonus clupeaformis*, in Algonquin Park, Ontario. Conference on The Role of Parks in Conservation of Biodiversity. Algonquin Park, Ontario. September 27, 1993.

-
- Favot, E.J., Ruhland, K.M., DeSellas, A.M., Ingram, R., Paterson, A.M., and Smol, J.P. 2019. Climate variability promotes unprecedented cyanobacterial blooms in a remote, oligotrophic Ontario Lake: evidence from paleolimnology. *J. Paleolimnol.* 62: 31–52.
- Fenderson, O.C. 1964. Evidence of subpopulations of Lake Whitefish, *Coregonus clupeaformis*, involving a dwarfed form. *Trans. Am. Fish. Soc.* 93(1): 77–94.
- Freeberg, M.H., Taylor, W.W., and Brown, R.W. 1990. Effect of egg and larval survival on year-class strength of Lake Whitefish in Grand Traverse Bay, Lake Michigan. *Trans. Am. Fish. Soc.* 199(1): 92–100.
- Fudge, R.J.P., and Bodaly, R.A. 1984. Postimpoundment winter sedimentation and survival of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) eggs in Southern Indian Lake, Manitoba. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 701–705.
- Fung, S.R., van der Lee, A.S., et Koops, M.A. 2022. [Modélisation du potentiel de rétablissement du grand corégone \(*Coregonus clupeaformis*\) dans le lac Opeongo, au Canada](#). *Secr. can. des avis sci. du MPO.* 2022/043. iv + 29.
- Gabel, F., Stoll, S., Fischer, P., Pusch, M.T., and Garcia, X.F. 2011. Waves affect predator-prey interactions between fish and benthic invertebrates. *Oecologia* 165: 101–109.
- Garrad, P.N., and Hey, R.D. 1987. Boat traffic, sediment resuspension and turbidity in a broadland river. *J. Hydrol.* 95(3–4): 289–297.
- Goodchild, C.D. 2001. The status of the Mira River population of Lake Whitefish, *Coregonus clupeaformis*, in Canada. *Can. Field Nat.* 115(4): 623–634.
- Gorsky, D., Zydlewski, J., and Basleu, D. 2012. Characterizing seasonal habitat use and diel vertical activity of Lake Whitefish in Clear Lake, Maine, as determined with acoustic telemetry. *Trans. Am. Fish. Soc.* 143(3): 761–771.
- Gorsky, D., and Zydlewski, J. 2013. Experimental evaluation of size-dependent predation by adult post-spawned Rainbow Smelt on larval Lake Whitefish. *N. Am. J. Fish. Manage.* 33(1): 163–169.
- Graham, A.L., and Cooke, S.J. 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosystems* 18(7): 1315–1324.
- Guzzo, M.M., and Blanchfield, P.J. 2017. Climate change alters the quantity and phenology of habitat for lake trout (*Salvelinus namaycush*) in small Boreal Shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 74: 871–884.
- Hart, J.L. 1930. The spawning and early life history of the whitefish *Coregonus clupeaformis* (Mitchill), in the Bay of Quinte, Ontario. *Contrib. Can. Fish. Biol.* 7: 165–214.
- Herbst, S.J., and Marsden, J.E. 2011. Comparison of precision and bias of scale, fin ray, and otolith age estimates for lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in Lake Champlain. *J. Great Lakes Res.* 37(2): 386–389.
- Herbst, S.J., Marsden, J.E., and Smith, S.J. 2011. Lake Whitefish in Lake Champlain after commercial fishery closure and ecosystem changes. *N. Am. J. Fish. Manage.* 31(6): 1106–1115.
- Holm, E., Mandrak, N.E., and Burrige, M. 2009. The ROM field guide to freshwater fishes of Ontario. Royal Ontario Museum Science, Toronto, ON. 464 p.

-
- Hoyle, J.A., Johannsson, O.E., and Bowen, K.L. 2011. Larval Lake Whitefish abundance, diet and growth and their zooplankton prey abundance during a period of ecosystem change on the Bay of Quinte, Lake Ontario. *Aquat. Ecosyst. Health* 14(1): 66–74.
- Ihssen, P.E., Evans, D.O., Christie, W.J., Reckhan, J.A., and DesJardine, R.L. 1981. Life history, morphology, and electrophoretic characteristics of five allopatric stocks of Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in the Great Lakes Region. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1790–1807.
- Jackson, D.A., and Mandrak, N.E. 2002. Changing fish biodiversity: predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change. *In Fisheries in a Changing Climate*. Edited by N.A. McGinn. Am. Fish. Soc. Symp. No. 32 Bethesda, MD. 89–98 pp.
- Jackson, M.C., Loewen, C.J.G., Vinebrooke, R.D., and Chimimba, C.T. 2016. Net effects of multiple stressors in freshwater ecosystems: a meta-analysis. *Global Change Biol.* 22(1): 180–189.
- Jacobson, P.C., Cross, T.K., Zandlo, J., Carlson, B.N., and Pereira, D.P. 2008. The effects of climate change and eutrophication on cisco *Coregonus artedii* abundance in Minnesota lakes. *Advanc. Limnol.* 63: 417–427.
- Jeppeson, E., Mehner, T., Winfield, I.J., Kangur, K., Sarvala, J., Gerdeaux, D., Rask, M., Malmquist, H.J., Holmgren, K., Volta P., Romo, S., Eckmann, R., Sandstrom, A., Blanco, S., Kangur, A., Ragnarsson Stabo, H., Tarvainen, M., Ventela, A., Sondergaard, M., Lauridsen, T., and Meerhoff, M. 2012. Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694: 1–39.
- John, K.R., and Hasler, A.D. 1956. Observations on some factors affecting the hatching of eggs and the survival of young shallow-water Cisco, *Leucichthys artedii* LeSueur, in Lake Mendota, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.* 1: 176–194.
- Jude, D.J., Tesar, F.J., and Tin, H.T. 1998. Spring distribution and abundance of larval fishes in the St. Mary's River, with a note on potential effects of freighter traffic on survival of eggs and larvae. *J. Great Lakes Res.* 24: 569–581.
- Kennedy, W.A. 1943. The Whitefish, *Coregonus clupeaformis* (Mitchill), of Lake Opeongo, Algonquin Park, Ontario. *On. Fish. Res. Lab. No. 62*: 25 p.
- Kernan, M. 2015. Climate change and the impact of invasive species on aquatic ecosystems. *Aquat. Ecosyst. Health* 18(3): 321–333.
- Kerr, S.J. 2010. [Fish and Fisheries Management in Ontario: A Chronology of Events \[online\]. Biodiversity Branch](#). Ontario Ministry of Natural Resources. Peterborough, ON. (accédé le 1 novembre, 2020)
- Killgore, K.J., Maynard, S.T., Chan, M.D., and Morgan, R.P. 2001. Evaluation of propeller-induced mortality on early life stages of selected fish species. *N. Am. J. Fish. Manage.* 21: 947–955.
- Kovach, R.P., Al-Chokhachy, R.K., Whited, D.C., Schmetterling, D.A., Dux, A.M., and Muhlfeld, C.C. 2017. Climate, invasive species and land use drive population dynamics of a cold-water specialist. *J. Applied Ecol.* 54(2): 638–647
- Landry, L. Vincent, W.F., and Bernatchez, L. 2007. Parallel evolution of lake whitefish dwarf ecotypes in association with limnological features of their adaptive landscape. *Euro. Soc. Evol. Biol.* 20(3): 971–984.
-

-
- Landry, L., and Bernatchez, L. 2010. Role of epibenthic resource opportunities in the parallel evolution of lake whitefish species pairs (*Coregonus* sp.). *J. Evol. Biol.* 23(12): 2602–2613.
- Lemmen, D.S., and Warren, F.J. 2004. [Climate change impacts and adaptation: a Canadian perspective](#). Climate Change Impacts and Adaptation Program 2004. Ottawa, ON. 174 p.
- Lewin, W.C., Arlinghaus, R., and Mehner, T. 2007. Documented and potential biological impacts of recreational fishing: insights for management and conservation. *Rev. Fish. Manage.* 14(4): 305–367.
- Lindsey, C.C. 1981. Stocks are chameleons: plasticity in gill rakers of coregonid fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1497–1506.
- Locke, A., Mandrak, N.E., et Therriault, T.W. 2010., T.W. 2011. [Un Cadre Canadien d'Intervention Rapide contre les Espèces Aquatiques Envahissantes](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2010/114. vi + 30 p.
- Loftus, D.H., and Hulsman, P.F. 1986. Predation on larval Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) and Lake Herring (*C. artedii*) by adult Rainbow Smelt (*Osmerus mordax*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 812–818.
- Lu, G., and Bernatchez, L. 1999. Experimental evidence for reduced hybrid viability between dwarf and normal ecotypes of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis* Mitchell). *Proc. R. Soc. Lond. B* 265: 1025–1030.
- Macpherson, A., Holmes, J.A., Muir, A.M., and Noakes, D.L.G. 2010. Assessing feeding competition between lake whitefish *Coregonus clupeaformis* and round whitefish *Prosopium cylindraceum*. *Current Zool.* 56(1): 109–117.
- Martin, N.V., and Fry, F.E.J. 1973. Lake Opeongo: The ecology of the fish community and man's effects on it. Great Lakes Fishery Commission Tech. Rep. No. 24: v + 34 p.
- Maxwell, R.J., Zolderdo, A.J., de Bruijn, R., Brownscombe, J.W., Staaterman, E., Gallagher, A.J., and Cooke, S.J. 2018. Does motor noise from recreational boats alter parental care behaviour of a nesting freshwater fish. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 28(4): 969–978.
- McDermaid, J., Fera, S., and Hogg, A. 2015. Climate change projections for Ontario: an updated synthesis for policymakers and planners. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Climate Change Research Report CCRR-44: vi + 27 p.
- McKenna, J.E., and Johnson, J.H. 2009. Spatial and temporal variation in distribution of larval lake whitefish in eastern Lake Ontario: signs of recovery? *J. Great Lakes Res.* 35(1): 94–100.
- McKenna, J.E. 2019. The Laurentian Great Lakes: a case study in ecological disturbance and climate change. *Fish Manag. Ecol.* 26: 486–499.
- Mee, J.A., Bernatchez, L., Reist, J.D., Rogers, S.M., and Taylor, E.B. 2015. Identifying designatable units for intraspecific conservation prioritization: a hierarchical approach applied to the lake whitefish species complex (*Coregonus* spp.). *Evol. App.* 8(5): 423–441.
- Mitchell, K., Challice, A., Lacombe, N., Taylor, C., Glenn, F., Middel, T., and Ridgway, M. 2020. Assessing recreational angling in Algonquin Provincial Park. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Science and Research Technical Report TR-35: vi + 37 p.
-

-
- Morbey, Y.E., Vascotto, K., and Shuter, B.J. 2007. Dynamics of piscivory by Lake Trout following a Smallmouth Bass invasion: a historical reconstruction. *Trans. Am. Fish. Soc.* 136(2): 477–483.
- MPO, 2007. [Protocole révisé pour l'exécution des évaluations du potentiel de rétablissement](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2007/039.
- MPO. 2014. [Lignes directrices sur l'évaluation des menaces, des risques écologiques et des répercussions écologiques pour les espèces en péril](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/013. (Erratum : juin 2016)
- MPO. 2017. [Code national sur les introductions et transferts d'organismes aquatiques](#). Pêches et océans Canada, Ottawa, ON. ii + 44 p.
- MPO. 2018. [2018 Débarquements du pêches en eau douce](#) [online]. (accédé le 1 janvier 2021)
- MPO. 2021. [Évaluation du potentiel de rétablissement de six unités désignables de corégones \(*Coregonus* spp.\) de lacs du Yukon](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2021/009.
- Ohlund, G., Bodin, M., Nilsson, K.A., Ohlund, S.O., Mobley, K.B., Hudson, A.G., Peedu, M., Brannstrom, A., Bartels, P., Praebel, K., Hein, C.L., Johansson, P., and Englund, G. 2020. Ecological speciation in European whitefish is driven by a large-gaped predator. *Evol. Lett.* 4(3): 243–256. .
- OMNRF (Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry). 2020. [Harkness Laboratory of Fisheries Research: Lake Opeongo](#) [online]. (Accessed November 1, 2020)
- Ontario. 1998. Algonquin Provincial Park Management Plan. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Ontario Parks, Algonquin Provincial Park, ON. MNR 5016. vii + 86 p.
- Ontario. 2013. Algonquin Provincial Park Management Plan Amendment. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Ontario Parks, Algonquin Provincial Park, ON. MNR 52727-0. 28 p.
- Paerl, H.W., Fulton, R.S., Moisaner, P.H., and Dyble, J. 2001. Harmful freshwater algal blooms with an emphasis on cyanobacteria. *Sci. World* 1: 76–113.
- Palmer, M.E., and Yan, N.D. 2013. Decadal-scale regional changes in Canadian freshwater zooplankton: the likely consequence of complex interactions among multiple anthropogenic stressors. *Freshw. Biol.* 58: 1366–1378.
- Pigeon, D., Chouinard, A., and Bernatchez, L. 1997. Multiple modes of speciation involved in the parallel evolution of sympatric morphotypes of Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*, Salmonidae). *Evol.* 51(1): 196–205.
- Pothoven, S.A., Hook, T.O., and Roswell, C.R. 2014. Feeding ecology of age-0 lake whitefish in Saginaw Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* 40(Suppl.1): 148–155.
- Pothoven, S.A. 2020. The influence of ontogeny and prey abundance on feeding ecology of age-0 Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in southeastern Lake Michigan. *Ecol. Freshw. Fish* 29(1): 103–111.
- Price, J.W. 1940. Time-temperature relations in the incubation of the whitefish, *Coregonus clupeaformis* (Mitchill). *J. Gen. Phys.* 449–468.
- Rahel, F.J., and Olden, J.D. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Cons. Biol.* 22: 521–533.

-
- Reckahn, J.A. 1970. Ecology of young lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in South Bay, Manitoulin Island, Lake Huron. *In* Biology of coregonid fishes. Edited by C.C. Lindsey and C.S. Woods. University of Manitoba Press, Winnipeg, MB. pp. 437–460.
- Reid, S.M., Parna, M., and Reist, J.D. 2017. Collapse of Lake Whitefish *Coregonus clupeaformis* (Mitchill, 1818) species pair in Como Lake, Ontario. *J. Appl. Ichthyol.* 33(5): 933–939.
- Rellstab C., Maurer, V., Zeh, M., Burgi, H.R., and Spaak, P. 2007. Temporary collapse of the *Daphnia* population in turbid and ultra-oligotrophic Lake Brienz. *Aquat. Sci.* 69: 257–270.
- Renik, K.M., Jennings, M.J., Kampa, J.M., Lyons, J., Parks, T.P., and Sass, G.G. 2020. Status and distribution of Cisco (*Coregonus artedii*) and Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in inland lakes of Wisconsin. *Northeastern Natur.* 27(3): 469–484.
- Rennie, M., Sprules, G., and Vaillancourt, A. 2010. Changes in fish condition and mercury vary by region, not *Bythotrephes* invasion: a result of climate change? *Ecography* 33: 471–482.
- Ricciardi, A., and McIsaac, H.J. 2000. Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species. *Trends Ecol. Evol. Rev.* 15: 62–65.
- Ridgway, M., and Middel, T. 2020. From aquatic connectivity to aquatic conservation in Algonquin Provincial Park. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Science and Research Information Report IR-20: 41 p.
- Rogers, S.M., and Bernatchez, L. 2007. Genetic architecture of ecological speciation and the association with signatures of selection in natural Lake Whitefish (*Coregonus* sp. Salmonidae) species pairs. *Mol. Biol. Evol.* 24: 1423–1438
- Rogers, S.M. 2009. Designatable units at an appropriate scale for the Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*). Special Report prepared for the Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada, Ottawa, ON. iii + 67 p.
- Ridgway, M., D. Smith and T. Middel. 2018. Climate warming projections for Algonquin Provincial Park. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Science and Research Information Report IR-1: 23 p. + append.
- Ryan, K.M., and Crawford, S.S. 2014. Distribution and abundance of larval lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in Stokes Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* 40: 755–762.
- Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A.J., Hilton-Taylor, C., Neugarten, R., Butchart S.H.M., Collen, B., Cox, N., Master, L.L., O'Connor, S., and Wilkie, D. 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conserv. Biol.* 22: 897–911.
- Sandercock, F.K. 1964. A contribution to the ecology of the whitefishes *Prosopium cylindraceum* and *Coregonus clupeaformis* of Algonquin Park, Ontario. M.Sc. thesis, Department of Zoology, The University of British Columbia, Vancouver B.C.
- Sandstrom, S. J. and N. Lester. 2009. Summer Profundal Index Netting Protocol; a Lake Trout Assessment Tool. Ontario Ministry of Natural Resources. Peterborough, Ontario. Version 2009.1: 22 p. + Appendices
- Schindler, D.W. 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 18–29.
- Scott, W.B., and Crossman, E.J. 1973. Freshwater fishes of Canada. *Bull. Fish. Res. Board Can.* No. 184. 1998 Reprint. 996 p.
-

-
- Sharma, S., Vander Zanden, M.J., Magnuson, J.J., and Lyons, J. 2011. Comparing climate change and species invasions as drivers of coldwater fish population extirpations. *PLoS ONE* 6: e22906: 9 p.
- Shuter, B.J., Giacomini, H.C., de Kerckhove, D., and Vascotto, K. 2016. Fish life history dynamics: shifts in prey size structure evoke shifts in predator maturation traits. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 693–708.
- Sotton, B., Guillard, J., Anneville, O., Maréchal, M., Savichtcheva, O., and Domaizon, I. 2014. Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food webs: evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Sci. Total Environ.* 466–467: 152–163.
- Straile, D., Eckmann, R., Jungling, T., Thomas, G., and Loffler, H. 2007. Influence of climate variability on whitefish (*Coregonus lavaretus*) year-class strength in a deep, warm monomictic lake. *Glob. Change Conserv. Ecol.* 151: 521–529.
- Strayer, D.L. 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshw. Biol.* 55: 152–174.
- Sukenik, A., Quesada, A., and Salmaso, N. 2015. Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodivers. Conserv.* 24: 889–908.
- Taylor, W.W., and Freeberg, M.H. 1984. Effect of food abundance on larval lake whitefish *Coregonus clupeaformis* Mitchell, growth and survival. *J. Fish Biol.* 25: 733–741.
- Trudel, M., Tremblay, A., Schetagne, R., and Rasmussen, J.B. 2001. Why are dwarf fish so small? An energetic analysis of polymorphism in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 394–405.
- Vuorinen, J.A., Bodaly, R.A., Reist, J.D., Bernatchez, L., and Dodson, J.J. 1993. Genetic and morphological differentiation between dwarf and normal size forms of Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in Como Lake, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 210–216.
- Winder, M. and Schindler, D.E. 2004. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Glob. Change Biol.* 10: 1844–1856.
- Whitfield, A.K., and Becker, A. 2014. Impacts of recreational motorboats on fishes: a review. *Mar. Poll. Bull.* 83: 24–31.
- Wood, J. 2016. Current status of Lake Whitefish in Maine; an update to MDIFW's 2001 whitefish assessment. Maine Department of Inland Fisheries and Wildlife, Fisheries and Hatcheries Division, Fishery Final Report Series No. 14-01. ii + 60 p.
- Yousef, Y.A., McLellon, W.M., and Zebuth, H.H. 1980. Changes in phosphorus concentrations due to mixing by motorboats in shallow lakes. *Wat. Res.* 14: 841–852.
- Yule, D.L., Stockwell, J.D., Black, J.A., Cullis, K.I., Cholwek, G.A., and Myers, J.T. 2008. How systematic age underestimation can impede understanding of fish population dynamics: lessons learned from a Lake Superior Cisco stock. *Trans. Am. Fish. Soc.* 137: 481–495.