



ÉLABORATION ET ÉVALUATION DE L'OUTIL D'ÉVALUATION DE L'HABITAT ET DE L'ÉCOSYSTÈME (HEAT)

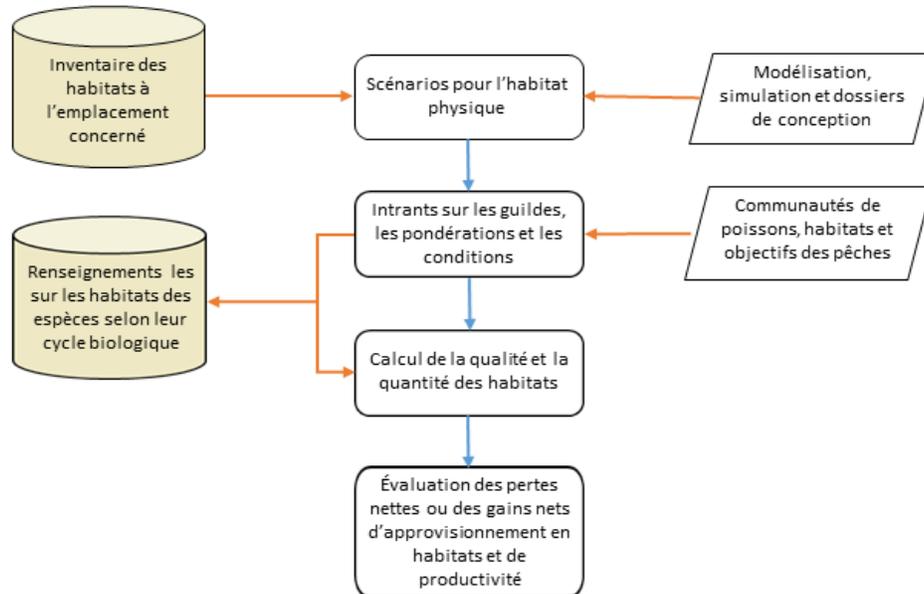


Figure 1. Cadre conceptuel de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème – une méthode valable sur le plan scientifique pour évaluer la variation nette de la productivité des habitats, dans laquelle la qualité des habitats est utilisée comme valeur de substitution.

Contexte :

Les activités humaines dans les eaux fréquentées par des poissons ou à proximité peuvent avoir des répercussions sur la capacité des habitats aquatiques à appuyer la production de poissons. Ces activités sont gérées en vertu des dispositions relatives à la protection des pêches découlant des modifications apportées à la Loi sur les pêches du Canada en 2012. Dans les dispositions et les politiques connexes, il est précisé que les projets de développement causant aux poissons des dommages sérieux et inévitables doivent comprendre des mesures de compensation dont les avantages doivent contrebalancer les effets du projet. Afin d'équilibrer ces effets, le promoteur du projet doit estimer les dommages sérieux causés aux poissons et les avantages potentiels des mesures de compensation proposées. Plusieurs modèles et méthodes permettent de quantifier les effets et les mesures de compensation potentiels, notamment l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème.

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème a été conçu pour évaluer les effets des projets de développement proposés sur l'habitat du poisson et on l'utilise principalement dans la région des Grands Lacs. Le Programme de protection des pêches a demandé aux services scientifiques d'examiner cet outil afin de vérifier s'il serait possible de l'utiliser dans d'autres régions.

Une réunion d'examen par les pairs a eu lieu du 27 au 29 janvier 2016 afin d'évaluer l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème. D'autres publications découlant de cette réunion seront publiées, lorsqu'elles seront prêtes, dans le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

SOMMAIRE

- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème fournit un cadre comptable permettant d'évaluer les pertes et les gains d'habitat, ainsi que les modifications aux habitats, qui découlent des activités de développement, de compensation ou de remise en état. Il repose sur la qualité des habitats du poisson et il permet de prédire la réaction des communautés de poissons aux activités de développement et aux solutions d'atténuation.
- Il s'agit d'un modèle mathématique qui compile une série de données tabulaires afin d'interpréter les répercussions sur les poissons au vu des interactions poisson-habitat. Un modèle est une représentation de base de notre compréhension scientifique de la dynamique de systèmes. L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème permet de relier des variations de conditions dans l'habitat ou des mesures de gestion proposées à la disponibilité de l'habitat pour le poisson. À ce titre, il fournit des prédictions sur les variations d'état relatives du système réel.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème fournit une évaluation fondée sur des données probantes et appuyée par des analyses quantitatives. Les méthodes utilisées pour les analyses quantitatives sont étayées par des preuves scientifiques. Comme tous les modèles et toutes les analyses, cet outil possède son lot d'hypothèses et d'incertitudes. Dans le présent document, nous expliquons ces hypothèses et ces incertitudes, dont certaines exigent de réaliser des travaux scientifiques complémentaires (p. ex., analyses de sensibilité). Nous recommandons d'énoncer toutes les hypothèses de manière claire et de les décrire dans un document d'orientation.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème pour le Programme de protection des pêches est défendable, repose sur des données probantes et respecte les principes de la politique d'investissement en matière de productivité des pêches, en particulier le principe d'équilibrage entre les avantages offerts par les mesures de compensation et les répercussions d'un projet, car il permet de quantifier les pertes et les gains d'habitat.
- L'outil ayant été élaboré en tenant compte des besoins du Programme de protection des pêches et de l'ancien Programme de gestion de l'habitat, nous recommandons que les services scientifiques et le Programme de protection des pêches se mobilisent en continu afin de répondre aux besoins futurs et de préserver l'utilité de l'outil.
- Ce dernier est actuellement utilisé dans le bassin des Grands Lacs; les documents d'orientation devraient porter principalement sur ses usages actuels. Les conseils fournis actuellement concernent les mises à jour nécessaires pour permettre à l'outil de fonctionner en général.
- L'utilité de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème pourrait être élargie, afin qu'il soit possible de l'utiliser dans un contexte plus large, c'est-à-dire d'autres régions, d'autres écosystèmes, d'autres contextes réglementaires concernant les variations de l'habitat, ou d'autres programmes. Toutefois, il serait nécessaire de procéder à un examen et à une validation plus poussés avant de l'utiliser à ces fins.

INTRODUCTION

Contexte réglementaire

Les dispositions de la *Loi sur les pêches* relatives à la protection des pêches sont entrées en vigueur en novembre 2013. En vertu de celles-ci, le ministre doit tenir compte des mesures et

des normes visant à éviter, à atténuer ou à contrebalancer les dommages sérieux causés au poisson en raison d'une pêche commerciale, récréative ou autochtone avant d'autoriser un projet pouvant provoquer des dommages sérieux au poisson. Par ailleurs, comme il est indiqué dans le *Règlement sur les demandes d'autorisation visées à l'alinéa 35(2)b de la Loi sur les pêches*, le promoteur doit joindre à sa demande d'autorisation un plan prévoyant la mise en place de mesures visant à contrebalancer les dommages résiduels sérieux causés aux poissons. Ce plan doit comprendre une description détaillée des mesures visant à contrebalancer les dommages causés, appuyée par une analyse qui doit reposer sur des méthodes justifiables sur le plan scientifique et décrire la manière dont ces mesures permettront d'atteindre l'objectif de compensation.

La politique d'investissement en matière de productivité des pêches : guide sur les mesures de compensation à l'intention des promoteurs de projet (la [politique de compensation](#)) fournit des conseils sur l'élaboration de mesures de compensation en cas de dommages sérieux et inévitables causés au poisson. Les dommages résiduels sérieux sont évalués après que toutes les mesures d'évitement et d'atténuation ont été exécutées. Lorsque l'on comprend la nature des dommages résiduels sérieux causés au poisson, on est alors en mesure d'estimer les conséquences sur la productivité des pêches et, en retour, de caractériser la contribution du poisson concerné à la productivité continue des pêches commerciales, récréatives et autochtones [article 6(a) de la *Loi sur les pêches*]. Les dommages résiduels sérieux causés aux poissons constituent les pertes qu'il est nécessaire de contrebalancer en proposant des mesures de compensation.

Il existe des avis scientifiques sur la manière de caractériser les dommages sérieux causés aux poissons dans le contexte de la productivité des pêches, et sur l'élaboration de mesures de compensation (MPO 2014a, MPO 2014b, MPO 2014c, MPO 2013, MPO 2017 et documents à l'appui; Randall *et al.* 2013, Bradford *et al.* 2014, Clarke et Bradford 2014, Bradford *et al.* 2016). Les dommages sérieux causés aux poissons sont classés soit parmi les répercussions ayant une incidence sur la quantité d'habitats ou leur qualité, soit parmi celles modifiant l'écosystème. Pour les projets dont les dommages sérieux sont localisés et dont les mesures de compensation proposées permettent de combler la perte de productivité dans la zone immédiate des répercussions du projet, il est possible d'évaluer la variation de la qualité de l'habitat ou de sa quantité au moyen de mesures axées sur l'habitat. Si l'habitat visé par les mesures de compensation est le même que celui touché par le projet, une simple évaluation de la zone d'habitat peut suffire à définir les exigences en matière de compensation. Dans d'autres cas, il peut être nécessaire d'évaluer la fonction ou la capacité de l'habitat à produire du poisson. Pour ce faire, on peut utiliser un indice de la qualité de l'habitat dans le cadre d'un modèle d'habitat quantitatif. Ce type de modèle permet de calculer une superficie utilisable pondérée, comme il est recommandé dans Bradford *et al.* (2016). Il existe des avis scientifiques concernant l'application adéquate de divers paramètres d'équivalence, notamment l'utilisation d'un indice de qualité de l'habitat ou des hypothèses connexes (Bradford *et al.* 2014, MPO 2017).

Élaboration et utilisation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème exploite des indices de qualité de l'habitat (IQH) afin d'évaluer les effets des projets de développement proposés sur l'habitat du poisson. Des bases de données sur la répartition des espèces de poissons dans différentes régions, et sur les besoins du poisson en habitat ou les associations poisson-habitat à différents stades biologiques, permettent de définir la qualité relative de l'habitat disponible en un emplacement donné. L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème est un logiciel Web permettant de

quantifier la qualité d'un site ou d'une sous-zone aquatique pour le poisson et de calculer l'approvisionnement en habitat pondéré (superficie adéquate ou utile pondérée) en fonction d'un ou de plusieurs scénarios. Ces scénarios peuvent comprendre des options de gestion visant à contrebalancer les répercussions du projet de développement.

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème a évolué au fil des ans afin de répondre à la nécessité de quantifier les répercussions des projets de développement. À l'origine, Minns (1995, 1997) a élaboré des équations comptables de base permettant de mesurer le gain net ou la perte nette, afin de décrire les variations dans les zones d'habitat qui seraient introduites par des pertes, des modifications ou des mesures de compensation. L'outil scientifique a été développé et l'approche correspondante a été définie par le terme « méthode justifiable » (Minns *et al.* 2001). Il a été rebaptisé par la suite « outil d'évaluation de l'altération de l'habitat ». Plus récemment, cet outil a été mis en œuvre de nouveau dans un environnement informatique moderne, afin d'accroître ses capacités de manière à pouvoir y inclure plus de variables; il a été rebaptisé « outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème ». L'outil se décline deux versions : une pour les lacs et une pour les fleuves et les rivières. Cette dernière est moins avancée et son utilisation réglementaire moins fréquente que la version dédiée aux lacs. Dans le présent rapport, nous avons mis l'accent sur la version de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème dédiée aux lacs, à titre de première étape.

Le Programme de protection des pêches a demandé aux services scientifiques d'examiner les fondements scientifiques de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et de vérifier s'il serait nécessaire de mettre l'outil à jour, compte tenu des modifications apportées à la *Loi sur les pêches*, et s'il serait possible de l'utiliser dans d'autres régions. Actuellement, cet outil sert à quantifier les répercussions de projets de développement et à évaluer des projets de compensation dans le bassin des Grands Lacs. Jusqu'à maintenant, il a été surtout utilisé pour évaluer, à des fins réglementaires ou scientifiques, des projets de développement concernant principalement des remblais, y compris leurs mesures de compensation, ou des projets de remise en état ou de conservation.

ANALYSE

Aperçu de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème repose sur un certain nombre d'intrants, notamment des descriptions des habitats (avant et après les activités de développement), des listes d'espèces et une base de données prédéfinie sur les associations poisson-habitat. Tous ces éléments permettent de quantifier la superficie propice pondérée de l'habitat du poisson, et d'obtenir de l'information sur les compromis et sur les gains offerts par les mesures de compensation ou de remise en état (figure 1). L'extrait de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème dépend de la fiabilité des fichiers de l'intrant. Les tableaux du programme reposent sur des associations poisson-habitat examinées par des pairs et ils permettent de définir la qualité de l'habitat. Actuellement, cette qualité dépend des variables de profondeur, de substrat et de végétation, des guildes thermiques (p. ex., espèce d'eaux froides ou d'eaux chaudes) et de l'importance du poisson dans l'alimentation des espèces. Des détails supplémentaires sont fournis plus loin.

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème est un logiciel en ligne permettant d'estimer la qualité de l'habitat en fonction des communautés de poissons locales et de leurs besoins ou associations en matière d'habitat dans la région. Il a été codé dans un langage statistique R et il comprend des instructions pour les utilisateurs. Nous estimons que si son développement continue, il serait possible de distribuer une version libre du code R, ce qui permettrait de

développer d'autres fonctions et mises à jour en collaboration avec la collectivité des développeurs en langage R.

Conception de l'outil

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème repose sur deux types d'intrants : ceux qui sont définis par l'utilisateur, d'une part, et les renseignements prédéfinis ou intégrés au code ou au programme du modèle ou des tableaux de base, d'autre part.

L'utilisateur fournit des données d'entrée décrivant les caractéristiques des habitats accessibles pour le poisson avant et après l'exécution du projet, notamment la profondeur de l'eau (catégories de 0 à 1 m, de 1 à 2 m, de 2 à 5 m, de 5 à 10 m ou de plus de 10 m), le type de végétation (émergente, presque submergée ou aucune couverture) et les types de substrat (fond rocheux, gros galets, galets, gravats, gravier, sable, silt, argile ou argile durcie). Les proportions de chaque strate de profondeur, de chaque type de végétation et de chaque type de substrat sont décrites sous forme de parcelles du site ou de la zone du projet qui devraient être touchées directement ou indirectement par le projet (« inventaire des habitats dans l'emplacement » à la figure 1). L'utilisateur fournit également des renseignements sur l'habitat avant et après la ou les variations, afin de créer des scénarios pour l'habitat physique (figure 1). Ces scénarios décrivent la quantité d'habitat disponible pour les poissons dans les différentes catégories de profondeur et les différents types de végétation et de substrat, en fonction de stratégies de gestion variées. La zone d'étude devrait englober les effets directs et indirects du projet, ainsi que la zone des variations introduites par les mesures de compensation. D'autres variables importantes pour l'habitat risquant d'être touchées par le projet ou par les mesures de compensation sont actuellement prises en compte au moyen d'un facteur d'ajustement de la qualité de l'habitat capable de modifier l'extrait; nous abordons ce point plus loin (« intrants sur les conditions » à la figure 1).

Le niveau de détail utilisé pour décrire le scénario de base dans l'habitat (p. ex., grille d'un mètre, grille de dix mètres ou parcelles homogènes plus grandes) pourrait avoir des répercussions sur l'extrait obtenu. Les services des sciences doivent fournir une orientation plus approfondie afin de définir l'échelle et la résolution des données recueillies pouvant avoir des répercussions sur l'extrait. Pour le moment, nous recommandons d'utiliser des parcelles non hétérogènes dans les tableaux des scénarios, et ce, quelle que soit la résolution.

Par ailleurs, l'utilisateur doit indiquer un emplacement géographique pour les sites du projet et les mesures de compensation. Actuellement, toutes les répartitions des poissons par bassin hydrographique tertiaire au Canada sont accessibles dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème. Toutefois, les associations poisson-habitat par région géographique sont accessibles pour les Grands Lacs seulement. Selon l'emplacement du projet, une liste de poissons est proposée par défaut. Les listes de poissons ont été compilées à partir de la littérature et de connaissances d'experts (p. ex., Scott et Crossman 1998). Il est possible d'ajouter ou de retirer des poissons dans les listes par défaut, mais cette manipulation devrait avoir lieu seulement lorsqu'il existe de bonnes raisons de le faire. Des raisons particulières peuvent expliquer l'absence de certaines espèces de poissons dans un territoire vaste (p. ex., obstacles). Toutefois, un seul échantillonnage est insuffisant pour produire une liste des espèces présentes dans un plan d'eau donné. Réduire le nombre d'espèces à un nombre très faible ou mettre l'accent sur une espèce précise est une technique inadéquate dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, car ce dernier analyse actuellement les paramètres à l'échelle des communautés. Pour de nombreuses espèces, les associations poisson-habitat ne sont pas connues précisément, ce qui explique leur regroupement avec des espèces semblables.

Qualité de l'habitat selon l'espèce

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème comprend une base de données prédéfinie sur la qualité de l'habitat, dans laquelle les associations espèce-habitat sont définies pour les Grands Lacs (« renseignements sur les habitats des espèces selon leur cycle biologique » à la figure 1). L'utilisation relative des différentes caractéristiques de l'habitat (zone de profondeur, type de substrat de fond et couverture végétale) par les poissons y est définie pour trois stades biologiques (frai, alevinage [c.-à-d., jeunes de l'année] ou adultes), sur la foi de données probantes recueillies dans la littérature (Lane *et al.* 1996a, Lane *et al.* 1996b, Lane *et al.* 1996c). Les préférences ou les preuves d'utilisation ou d'occupation concernant les types de substrat de fond et les couvertures végétales possèdent une cote : aucune préférence, faible préférence, moyenne ou élevée. Les préférences concernant les tranches d'eau varient souvent d'une saison à l'autre, selon les régimes thermiques et la progression des cycles biologiques, ce qui a été pris en compte lors de la définition des associations poisson-profondeur. En l'absence de données probantes, aucune catégorie préférée n'est présupposée. Lorsqu'il n'existe aucune association statistique claire, l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème utilise des méta-analyses reposant sur la littérature afin de calculer des matrices de qualité de l'habitat en fonction de la guildes et du stade biologique.

La matrice de qualité de l'habitat combine des probabilités concernant la profondeur, le substrat et la couverture végétale au moyen de l'algèbre matricielle. Ces préférences sont ensuite attribuées à toutes les combinaisons possibles de profondeur, de substrat et de couverture, puis l'outil calcule le taux d'association. Des matrices de qualité distinctes sont calculées pour toutes les espèces présentes à un emplacement précis, par stade biologique.

Qualité de l'habitat selon le groupe

Dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, les espèces sont rassemblées en guildes selon trois stades biologiques (frai, alevinage et adultes). Actuellement, les valeurs par défaut comprennent deux groupes alimentaires ou trophiques (espèce piscivore ou non, selon l'importance du poisson dans l'alimentation) et trois groupes de préférence thermique pour les adultes (eaux froides, tempérées ou chaudes). Cette approche par guildes permet de réduire au minimum l'incertitude liée aux préférences en matière d'habitat ou aux associations pour une espèce précise. L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème s'appuie sur le poids cumulatif des preuves entre les espèces pour pallier les lacunes éventuelles en matière de données sur une espèce précise. Il a été conçu pour évaluer les répercussions sur des communautés; il n'a pas la capacité de pondérer l'extrait plus fortement pour une espèce d'intérêt en particulier (p. ex., espèce visée par la *Loi sur les espèces en péril*, espèce halieutique ou espèce envahissante) par rapport aux autres, sauf si l'utilisateur crée des listes personnalisées. Les listes de poissons sont présentées par guildes, afin que l'utilisateur puisse définir les espèces composant les différents groupes. Actuellement, les considérations à l'échelle des espèces devraient être traitées séparément, à l'aide d'autres renseignements plus précis tels que l'habitat essentiel. Il serait possible d'obtenir un extrait propre à une guildes en mettant l'accent sur un groupe en particulier.

Les pondérations relatives des différents groupes sont égales par défaut (« guildes et pondérations » à la figure 1) pour tous les stades biologiques (frai, alevinage ou adultes) et pour toutes les guildes thermiques et trophiques (espèces piscivores d'eaux chaudes, non piscivores d'eaux chaudes, piscivores d'eaux tempérées, non piscivores d'eaux tempérées, piscivores d'eaux froides ou non piscivores d'eaux froides). Il est possible d'ajuster les pondérations dans l'outil. Nous déconseillons toutefois cette technique actuellement, en l'absence de méthodes officielles. Il est nécessaire d'effectuer une analyse de la sensibilité afin de vérifier si la

pondération des étapes biologiques et des guildes doit être modifiée, et de déterminer le moment adéquat pour le faire sans produire des effets imprévus sur l'extrant. La modification de la pondération des guildes permettrait de tenir compte des objectifs de gestion des pêches directement dans l'extrant, si ce dernier était normalisé. Par ailleurs, il existe très probablement des compromis dans l'offre d'habitat, quelles que soit l'altération, qui n'apparaissent pas dans les gains et les pertes pour la communauté de poissons dans son ensemble, mais que l'on retrouve aux échelles des guildes et des stades biologiques avant l'application des valeurs. La modification des pondérations des stades biologiques permettrait quant à elle de tenir compte de l'importance relative des contributions de chaque stade à la réalisation du cycle biologique pour toutes les espèces de poissons, ou lorsqu'un habitat précis est privilégié aux fins de remise en état ou est réputé restrictif (« communautés de poissons, habitat et objectifs des pêches » à la figure 1).

Pour finir, la matrice composite de la qualité de l'habitat pour l'ensemble de la communauté de poissons est calculée grâce à la combinaison des matrices de qualité de l'habitat pour le groupe et le stade biologique de chaque guildes.

Superficie propice pondérée

Grâce à tous les renseignements qui précèdent, l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème permet de calculer la superficie propice pondérée de l'habitat disponible pour les poissons dans les scénarios fournis. Il s'agit d'une mesure à l'échelle des unités d'habitat du poisson, que l'on peut considérer comme un substitut à la productivité.

Extrant de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème

Les extrants concernant la superficie propice pondérée, dans la version de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème dédié aux lacs, permettent de comparer l'approvisionnement en habitat disponible pour la communauté de poissons dans un site donné avant et après l'exécution d'un projet. Au moment du présent examen, voici les catégories de modification de l'habitat incluses dans l'évaluation : la superficie perdue en raison du projet (S_{Perte}) [p. ex., remblai], la superficie modifiée directement (S_{ModD}) ou indirectement (S_{ModI}) par le projet, la superficie de compensation (S_{Comp}) obtenue grâce à l'amélioration de l'habitat aquatique existant ou à la création d'habitats, et la superficie inchangée dans la zone prévue pour le projet (S_{NonMod}). Dans les tableaux des conditions avant et après l'application de chaque scénario, chaque parcelle est classée dans l'une ou l'autre de ces catégories. Le terme « mesure de compensation » ayant été remplacé par « mesure visant à contrebalancer les dommages » dans la *Loi sur les pêches* [alinéa 6c)], dans l'énoncé de politique sur la protection des pêches (MPO 2013) et dans la politique d'investissement en matière de productivité des pêches : guide sur les mesures de compensation à l'intention des promoteurs de projet (MPO 2013), nous recommandons de remplacer le nom de la catégorie S_{Comp} par S_{Contr} , afin de tenir compte des modifications actuelles de politique et d'éviter toute confusion.

Autres caractéristiques de l'habitat

Dans le modèle existant, un coefficient de condition permet de modifier la qualité d'une parcelle afin de tenir compte d'autres variables pouvant avoir des répercussions sur sa qualité. Après examen, nous recommandons de remplacer le nom de ce facteur par « facteur d'ajustement de la qualité » (« intrants sur les conditions » à la figure 1). Ce facteur peut être appliqué à des parcelles afin de représenter les conditions dégradées de l'habitat. Par exemple, il a été utilisé pour réduire la qualité de zones dégradées dans lesquelles on a constaté des problèmes de qualité de l'eau ou des sédiments en raison d'une contamination ou d'une eutrophisation. Un facteur d'ajustement de la qualité doit être appliqué en cas de variation entre les conditions

antérieures et les conditions postérieures au projet. Il doit reposer sur la littérature ou sur des données concernant l'utilisation de l'habitat ou la productivité du poisson, idéalement dans la zone localisée. Un facteur d'ajustement de la qualité est une condition ou un état qui réduit la valeur de la productivité d'une parcelle et qu'on applique à l'échelle des parcelles à d'autres caractéristiques physiques (p. ex., énergie des vagues élevée ou envasement actif) ou biochimiques (p. ex., anoxie). Ce facteur varie de 0 à 1 (afin de réduire la qualité d'une parcelle). Par conséquent, il est utilisé en tant que modificateur de la qualité composite finale, après le calcul du résultat final pondéré selon le groupe et l'étape biologique pour chaque parcelle. Il est important de noter que l'utilisation et l'application particulière d'un facteur d'ajustement de la qualité exige une justification documentée. D'autres lignes directrices sont nécessaires pour définir les autres circonstances dans lesquelles il convient d'utiliser cette fonction.

Valeur de l'outil

Lors de notre réunion, tous les participants se sont entendus pour dire que l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème est très utile aux promoteurs de projets et au Programme de protection des pêches pour évaluer les pertes, les gains et les modifications de l'habitat résultant d'activités de développement, de compensation ou de remise en état. Nous avons également convenu que l'approche utilisée dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème peut s'appliquer plus largement à d'autres variations de l'habitat.

Pour l'avenir, les participants ont défini des exigences et des documents complémentaires, notamment une description documentée des données scientifiques et des équations qui sous-tendent les calculs dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et les hypothèses centrales contribuant aux estimations des superficies propices pondérées; un document d'orientation mis à jour en vue d'appuyer l'utilisation continue de l'outil; et une modification de l'extrait afin de tenir compte de l'évolution de la politique sur la protection des pêches et des modifications continues de la *Loi sur les pêches*. Actuellement, les renseignements sur les données scientifiques qui sous-tendent l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème sont accessibles dans plusieurs documents évalués par des pairs et ils ont été résumés en un document de recherche unique (Abdel-Fattah *et al.* 2019). L'utilisation du modèle à l'aide des valeurs par défaut du programme est appuyée par des renseignements examinés par des pairs ou par l'opinion d'experts, de sorte que toute modification des valeurs par défaut doit être étayée par d'autres preuves. Nous recommandons la poursuite de la collaboration entre les services scientifiques, le Programme de protection des pêches et les autres utilisateurs de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, afin d'utiliser ce dernier de façon adéquate et de continuer à l'améliorer.

Usage futur

Plusieurs mises à jour et modifications diverses ont été examinées en vue d'une utilisation future de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème. Les participants ont convenu que les capacités actuelles de l'outil doivent être préservées en priorité (c.-à-d., variables de base sur les habitats et tableaux de données sur les Grands Lacs). Par ailleurs, il est nécessaire de mettre à l'essai de manière plus approfondie la capacité des algorithmes à modifier les intrants, afin d'en comprendre les répercussions sur l'extrait obtenu. À la suite de ces travaux, il serait possible d'élaborer des lignes directrices complémentaires sur l'utilisation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et de suggérer des modifications de toutes sortes. Les services des sciences devraient continuer de travailler en étroite collaboration avec le Programme de protection des pêches, afin de veiller à ce que l'extrait du modèle tienne compte de la politique

actuelle et aide à prendre des décisions cohérentes par rapport aux normes métriques. Nous avons convenu qu'il serait possible d'étendre le modèle, notamment d'élargir sa couverture régionale et d'ajouter des variables permettant d'expliquer plus en détail l'utilisation des habitats par le poisson et leur qualité relative. Certains travaux sont déjà en cours à cet égard, notamment en ce qui concerne l'ajout d'une variable de température et une collecte continue de renseignements de base dans certaines régions biogéographiques du Canada.

Les bases de données centrales de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, qui comprennent les préférences en matière d'habitat et les listes de poissons, doivent être mises à jour de manière régulière avec de nouveaux renseignements. Les listes de répartition des espèces, en particulier, doivent être mises à jour afin de tenir compte de l'introduction de nouvelles espèces dans une région donnée (p. ex., espèces envahissantes telles que le gobie à taches noires dans la liste des Grands Lacs) ou de la perte d'espèces (p. ex., certains ciscos ou ménés qui sont aujourd'hui considérés comme disparus, intégralement ou seulement dans certaines zones). Il faudra régulièrement mettre à jour les tableaux de données de base à l'aide des renseignements nouveaux issus des examens normalisés de la littérature. De cette manière, les incertitudes pourront être levées à mesure que des renseignements nouveaux deviendront accessibles. Par ailleurs, il pourrait être judicieux, à l'occasion d'examens des préférences ou des associations poisson-habitat, d'envisager d'ajouter des incertitudes à ces données et d'affiner les algorithmes.

L'examen d'études de cas et de discussions sur les hypothèses intégrées à l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème a permis de repérer plusieurs domaines qui exigent des lignes directrices complémentaires. Dans la plupart des cas, ces lignes directrices devraient reposer sur une analyse de sensibilité. Par exemple, ce type d'analyses est nécessaire pour définir la sensibilité de l'extrait à la pondération des stades biologiques et des guildes et pour vérifier s'il y a lieu de modifier les niveaux par défaut (c.-à-d., modifier la pondération égale). En outre, d'autres directives sont nécessaires pour documenter les répercussions de la taille des parcelles et de l'hétérogénéité de l'habitat dans celles-ci. Une analyse de sensibilité portant sur la qualité permettrait également d'étudier les répercussions de la taille ou de la résolution des parcelles sur l'extrait du modèle. On pourrait fixer des seuils d'hétérogénéité des parcelles dans le modèle, afin d'introduire des contrôles de la qualité avant l'exécution des scénarios.

Il est nécessaire de produire d'autres lignes directrices sur la pondération des types de substrat ou sur la spécificité des intrants concernant les mélanges de sédiments présents dans différentes zones. Par exemple, il est difficile de décrire les sédiments dans les milieux humides ou dans les zones côtières extérieures à l'aide des paramètres actuels de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème. Il a par ailleurs été démontré que la manière de les spécifier a des répercussions sur l'extrait, probablement en raison de la désagrégation dans les calculs matriciels. Il serait judicieux d'étudier la sensibilité du modèle à la composition du substrat et au nombre de classes. Pour finir, d'autres lignes directrices techniques sont nécessaires pour documenter la substitution d'éléments de l'habitat par les classes existantes dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, en particulier celles qui concernent le couvert autre que végétal. Par exemple, il faudrait fournir des lignes directrices sur la manière de traiter les débris ligneux ou les structures artificielles.

Les travaux scientifiques en cours visant à ajouter des fonctions et des mises à niveau pour l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème ont été décrits pour deux extensions importantes : l'ajout de la température comme une variable de l'habitat et de la possibilité d'intégrer des comparaisons entre les niveaux d'eau (p. ex., niveau d'eau basse, moyenne, 80^e centile ou haute) pour les évaluations avant et après l'exécution des projets. À mesure que

l'on ajoutera des couches d'habitat et des caractéristiques dans le système, les documents d'orientation connexes devront être mis à jour.

Le programme informatique actuel de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème pourrait être mis à jour afin d'ajouter des tableaux applicables à d'autres régions biogéographiques du Canada. Toutefois, la conception d'une approche nationale pour cet outil doit reposer sur une réflexion autour de l'état actuel des connaissances en matière d'habitat. Cela implique d'examiner les utilisations saisonnières de l'habitat, les types de substrat, les niveaux d'eau, les classes de profondeur et les utilisations de l'habitat d'hivernage dans toutes les régions. Parmi les autres besoins en développement intéressants, mentionnons les ensembles de données sur les associations régionales poisson-habitat pour le reste du Canada. Dans certains cas, il pourrait être nécessaire de combler des lacunes concernant certaines espèces seulement, grâce à des renseignements écologiques nouveaux produits entre-temps.

Avant d'étendre l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème à d'autres types d'écosystèmes tels que les fleuves et rivières, il pourrait être judicieux d'étudier les autres outils à notre disposition. Par exemple, il existe plusieurs modèles fonctionnels d'habitat riverains qui produisent des extrants semblables (p. ex., le Système de simulation de l'habitat physique (PHABSIM), qui fait partie de la méthode des microhabitats (IFIM), ou le programme River2D).

Sources d'incertitude

Un modèle est une représentation de base de notre compréhension scientifique de la dynamique de systèmes. Tous les modèles choisissent ce qu'il convient d'inclure ou non en s'appuyant sur une certaine compréhension du système et au moyen d'essais; au final, tous les modèles (y compris les modèles statistiques) sont des simplifications de la dynamique réelle qu'ils sont censés représenter. Actuellement, les caractéristiques de l'habitat sont liées aux variables de profondeur, de substrat et de végétation, ainsi qu'à la manière dont les espèces de poissons les utilisent. Ces renseignements sont regroupés ou agrégés en fonction des affectations de la guildes thermique (p. ex., espèces d'eaux froides ou d'eaux chaudes) et de la guildes alimentaire (p. ex., espèces piscivores, ou mangeurs de poissons). Nous savons que d'autres variables ont des répercussions sur l'utilisation d'un habitat par les poissons. Elles ne sont pas prises en charge dans l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème actuellement, mais on pourrait en tenir compte à l'aide du facteur d'ajustement de la qualité.

Il est essentiel de connaître et de comprendre les hypothèses, les incertitudes, les sensibilités, l'exactitude et la précision du modèle pour permettre à l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème de répondre aux attentes des utilisateurs. Voici quelques hypothèses de base du modèle :

- si une espèce n'a jamais été observée à utiliser les caractéristiques précises de l'habitat telles qu'elles sont définies dans les classes d'habitat, on suppose qu'elle n'utilise pas cet habitat (par inférence négative). Cette observation repose sur la théorie de la répartition libre et idéale des espèces (Tyler et Rose 1994);
- les caractéristiques principales de l'habitat (profondeur, substrat et couverture végétale) sont actuellement évaluées comme si elles étaient indépendantes les unes des autres. Nous avons mis à l'essai les répercussions de cette hypothèse sur le plan qualitatif, en vérifiant que le modèle produit des valeurs acceptables de qualité de l'habitat au regard de nos connaissances d'expert sur la productivité et la diversité relatives de certaines zones du bassin hydrographique des Grands Lacs;
- de grandes superficies d'habitat de faible qualité sont équivalentes à de petites superficies d'habitat de grande qualité (c.-à-d., selon la définition de la capacité biotique)

dans les calculs, car leur superficie propice pondérée est équivalente. Cela équivaut peut-être à sous-estimer l'importance des habitats de grande qualité malgré leur petite taille, si ce n'est pas le cas;

- l'équation de base pour la variation nette (Minns 1997) repose sur l'hypothèse selon laquelle la productivité des pêches est liée de manière linéaire à la qualité des zones correspondantes pour les poissons présents. Cette hypothèse de linéarité a été nuancée à la suite d'avis scientifiques théoriques concernant les courbes de productivité des pêches et le rôle cumulatif des caractéristiques de l'habitat et de l'écosystème sous différentes conditions (MPO 2014d). Cette hypothèse a le mérite de constituer une approche de précaution, car elle suppose que toute diminution de la qualité de l'habitat ou de la superficie des habitats propices entraîne une diminution de la productivité des pêches.

Le personnel du Programme de protection des pêches doit comprendre la sensibilité du modèle aux variations des données de l'intrant et lui faire confiance pour être en mesure de s'assurer que le modèle soit utilisé et interprété de manière claire et cohérente. Il faudrait effectuer une analyse de sensibilité systématique afin de définir l'incertitude à chaque étape des calculs. La précision des données de l'intrant peut avoir des répercussions sur les calculs, tandis que la création de lignes directrices scientifiques sur l'échelle ou la précision de la collecte de données aura des répercussions sur l'extrait. Voici d'autres considérations de la façon dont les variables pourraient influencer l'extrait qui bénéficierait de faire l'objet d'analyses de sensibilité : la définition des profondeurs de l'eau pour leur utilisation par les poissons (p. ex., en fonction des niveaux moyens, des baisses saisonnières ou des hausses saisonnières), le classement des données sur les associations poisson-catégorie de substrat dans les tableaux sur la qualité de base et la prise en charge des types de substrat ou de couverture qui ne sont pas proposés dans l'intrant actuellement. Par ailleurs, il pourrait être utile d'examiner de manière plus approfondie l'utilisation fonctionnelle des différents substrats par les poissons selon le cycle biologique, afin de renforcer les liens avec la productivité des pêches. La modification du substrat a eu tendance à influencer plus fortement les valeurs de l'extrait que les autres variables étudiées lors des essais préliminaires, ce qui confirme l'intérêt d'étudier la sensibilité du modèle à la composition du substrat saisie en intrant.

Il pourrait être judicieux d'évaluer de manière systématique les résultats des études de cas, afin d'étudier plus en détail les décisions découlant des données sous-jacentes et l'application de l'approche des superficies adéquates pondérées. Des analyses de sensibilité sont nécessaires pour définir les effets de la pondération différentielle des guildes et des étapes biologiques sur l'extrait. Il s'agit d'un point important, car la modification de la pondération des guildes permettrait de tenir compte dans les évaluations d'objectifs précis concernant les communautés de poissons. La modification de la pondération des stades biologiques permettrait de tenir compte de l'importance relative des contributions de chaque stade biologique à la réalisation du cycle de vie pour toutes les espèces de poissons (« communautés de poissons, habitat et objectifs des pêches » à la figure 1).

GLOSSAIRE

Objectif de gestion des pêches : but d'une pêche sur les plans biologique, écologique et socioéconomique qui est généralement fixé par des gestionnaires des pêches fédéraux, provinciaux ou territoriaux. D'autres organismes, notamment des conseils de cogestion des ressources fauniques créés au titre d'ententes sur les revendications territoriales, peuvent eux aussi fixer des objectifs de gestion des pêches ([énoncé de politique sur la protection des pêches](#)).

Parcelle : zone spatiale définie dont la composition est unique par rapport aux parcelles voisines (méthode de désignation des parcelles d'une zone dans le modèle).

Mesure de compensation : mesure visant à contrebalancer des *dommages sérieux aux poissons* en préservant ou en améliorant la productivité des pêches après que toutes les mesures possibles pour éviter et atténuer les répercussions ont été prises.

Facteur d'ajustement de la qualité : condition ou état qui réduit la valeur de la productivité d'une parcelle et qui s'applique à l'échelle des parcelles pour d'autres caractéristiques non physiques. Il varie de 0 à 1 (afin de réduire la qualité de la parcelle) et, par conséquent, il est utilisé en tant que modificateur de la qualité composite finale, après le calcul du résultat final pondéré selon le groupe et l'étape biologique. Sa valeur est systématiquement « 1 » pour une parcelle perdue.

CONCLUSIONS ET AVIS

- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème peut être utilisé pour quantifier les répercussions de projets de développement et les avantages offerts par les mesures de compensation proposées.
- Actuellement, le modèle est utilisé pour les lacs d'eau douce du bassin hydrographique principal de la région des Grands Lacs, notamment les Grands Lacs proprement dits et tous les lacs intérieurs du bassin. Il serait toutefois possible d'étendre son utilisation à d'autres régions et habitats.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème fournit une base pour l'analyse quantitative des dommages et des mesures de compensation; il permet d'améliorer la cohérence des propositions des promoteurs et leur examen par les organismes de réglementation.
- L'extrait de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème dépend de la fiabilité des fichiers en intrant. Les tableaux de base par défaut du programme reposent quant à eux sur des associations ou des qualités d'habitat examinées par les pairs. Actuellement, la qualité d'un habitat est liée à des variables de profondeur, de substrat et de végétation, ainsi qu'à l'affectation du poisson à une guilda thermique et trophique. La modification ou l'ajout de n'importe quelle variable exige de définir de nouvelles qualités d'habitat, afin que le modèle puisse produire un extrait fiable et cohérent.
- Les renseignements de base intégrés à l'outil doivent faire l'objet d'un examen périodique, afin de tenir compte de la répartition actuelle des espèces et de mettre à jour les connaissances sur l'utilisation des habitats par les poissons et sur les relations entre les variables.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème comprend un ensemble d'espèces prédéfini permettant de sélectionner les espèces présentes dans l'environnement lacustre général du projet. Une liste d'espèces choisie pour un emplacement devrait comprendre les espèces qui pourraient potentiellement utiliser cet emplacement, et non seulement celles qui ont été échantillonnées, à moins que l'effort d'échantillonnage ait été suffisant pour tous les stades biologiques.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème possède plusieurs défauts qui ne devraient pas être corrigés sans une analyse de sensibilité et des preuves à l'appui des ajustements apportés, notamment :

- une pondération différentielle des stades biologiques (frais, alevinage ou adultes) et des guildes thermiques (p. ex., eaux froides ou eaux chaudes);
- le facteur d'ajustement de la qualité (c.-à-d., coefficient de condition).
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème a été conçu pour évaluer des répercussions à l'échelle des communautés; actuellement, il ne devrait pas être utilisé pour évaluer une espèce en particulier (p. ex., espèce visée par la *Loi sur les espèces en péril*, pêchée individuellement ou envahissante).
- Nous recommandons de procéder à une validation opérationnelle des projets de compensation dans le cadre desquels on a utilisé l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème ou l'outil d'évaluation de l'altération de l'habitat pour évaluer les répercussions et les mesures de compensation, afin de mettre à l'essai les hypothèses et les incertitudes à l'aide de données de terrain. Il pourrait s'agir d'essais après exécution des projets à l'aide de données de surveillance ou d'une approche expérimentale pour les projets futurs à des fins de validation.
- À l'appui des utilisations actuelles de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, nous avons défini plusieurs ressources pouvant être utiles, notamment un document de recherche scientifique comprenant une description plus détaillée des données scientifiques sous-jacentes à l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème, des hypothèses centrales et des principales incertitudes du modèle (Abdel-Fattah *et al.* 2019); un document d'orientation pour les utilisateurs du programme informatique en ligne; et la mise à jour des désignations dans l'extrait afin de tenir compte de l'évolution des politiques et de la *Loi sur les pêches*.
- Par ailleurs, il est nécessaire d'établir des protocoles et des lignes directrices normalisés afin de s'assurer que l'utilisation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème est uniforme au sein du Programme de protection des pêches. Nous recommandons une collaboration continue entre les services scientifiques, le Programme de protection des pêches et les utilisateurs afin d'utiliser l'outil de façon adéquate pour l'examen périodique du programme et du modèle et son amélioration.
- La distribution d'une version libre du code R du système de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et des bases de données connexes permettrait de collaborer au développement et à la recherche, afin d'améliorer continuellement l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et de l'utiliser pour évaluer et contrebalancer des variations de l'habitat de plus grande ampleur.
- Nous avons relevé plusieurs améliorations à apporter à l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème et à sa documentation, mais nous ne formulons aucune recommandation quant à leur importance relative. Voici une liste d'améliorations possibles :
 - développer des outils permettant de saisir des données spatiales, par exemple une mise en relation avec les cartes d'un système d'information géographique pour ajouter des renseignements sur l'emplacement et l'échelle des parcelles, et pour obtenir en extrait des données liées à un système d'information géographique, ce qui permettrait de visualiser les données sur la qualité de l'habitat;
 - ajouter la température comme variable ayant une incidence sur la qualité de l'habitat, car il s'agit d'une caractéristique importante sur le plan fonctionnel pour les associations poisson-habitat. L'ajout de la température exigerait des essais et une validation plus poussés des nouvelles composantes de l'outil et de leurs répercussions sur l'extrait.

- Il faudrait créer un guide technique afin de renseigner les utilisateurs sur les substitutions relatives au couvert végétal (p. ex., méthode pour introduire des débris ligneux ou des structures artificielles).
- La structure actuelle de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème peut s'appliquer à d'autres régions. Toutefois, il faudrait documenter son extension en vue d'une approche nationale en examinant l'état actuel des connaissances, notamment en étudiant de manière plus approfondie l'utilisation saisonnière des habitats, les types de substrat, les niveaux d'eau et les classes de profondeur.
- Avant d'étendre l'approche de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème aux fleuves et aux rivières, il faudrait étudier la possibilité d'utiliser d'autres outils disponibles à titre de normes existantes. Par exemple, on recense plusieurs modèles d'habitat riverains fonctionnels que l'on pourrait utiliser pour produire des extraits semblables – notamment le Système de simulation de l'habitat physique, qui fait partie de la méthode des microhabitats, ou le programme River2D, dont les extraits pourraient être normalisés pour des évaluations couvrant les deux systèmes aquatiques.
- L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème pourrait servir à quantifier les répercussions d'autres variations de la qualité de l'habitat du poisson, par exemple l'évolution de l'accessibilité des habitats due au changement climatique. Toutefois, cela dépasse le cadre de l'évaluation des projets de développement, sauf si des scénarios climatiques sont utilisés aux fins de comparaison des états futurs des projets.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Organisme/Affiliation
Sommer Abdel-Fattah	MPO – Science
Denis Chabot	MPO – Science
Gavin Christie (coprésident)	MPO – Science
Keith Clarke	MPO – Science
Susan Doka	MPO – Science
Eva Enders	MPO – Science
Sophie Foster (coprésident)	MPO – Science
Marten Koops	MPO – Science
Neil Mochnacz	MPO – Science
Robert Randall	MPO – Science
Dan Selbie	MPO – Science
Andrea Doherty	MPO – Programme de protection des pêches
Sara Eddy	MPO – Programme de protection des pêches
Guy Robichaud	MPO – Programme de protection des pêches
Alwyn Rose	MPO – Programme de protection des pêches
Ken Minns	MPO émérite – Science
Cindy Chu	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario
Dak Dekerckhove	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario

Nom	Organisme/Affiliation
Thomas Sciscione	Toronto Region Conservation Authority
Jane Tymoshuk	Consultante

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 27 au 29 janvier 2016 sur Mise au point et évaluation du logiciel de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

- Abdel-Fattah, S., Minns, K., Doka, S., and Doherty, A. 2019. La science et fondation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/060. *Sous presse*.
- Bradford, M.J., R.G. Randall, K.S. Smokorowski, B.E. Keatley et K.D. Clarke. 2014. [Cadre d'évaluation de la productivité des pêches destiné au Programme de protection des pêches correspondant](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/067. vi + 35 p.
- Bradford, M.J., Smokorowski, K.E. Clarke, K.D., Keatley, B.E. et Wong, M.C. 2019. [Paramètres d'équivalence visant l'établissement d'exigences de compensation aux fins du Programme de protection des pêches](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2016/046. vi + 37 p.
- Clarke, K.D. and Bradford, M.J. 2014. [A Review of Equivalency in Offsetting Policies](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/109. v + 18 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996a. Nursery habitat characteristics of Great Lakes fishes. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2338: 42 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996b. Adult habitat characteristics of Great Lakes fishes. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2358: 43 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996c. Spawning habitat characteristics of Great Lakes fishes. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2368: 48 p.
- Minns, C.K. 1995. Calculating net change of productivity of fish habitats. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2282: vi + 37 p.
- Minns, C.K. 1997. Quantifying "no net loss" of productivity of fish habitats. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 2463–2473.
- Minns, C.K., J.E. Moore, M. Stoneman, and B. Cudmore-Vokey. 2001. Defensible Methods of Assessing Fish Habitat: Lacustrine Habitats in the Great Lakes Basin – Conceptual Basis and Approach Using a Habitat Suitability Matrix (HSM) Method. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2559: viii + 70 p.
- MPO. 2013. [Politique d'investissement en matière de productivité des pêches: guide sur les mesures de compensation à l'intention des promoteurs de projet](#). Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario. 20 p.

- MPO. 2014a. [Cadre Scientifique pour l'analyse des variations de la productivité dans le contexte des modifications apportées à la loi sur les pêches](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/071.
- MPO. 2014b. [Avis scientifique concernant la gestion des risques et de l'incertitude lors de la prise de décisions opérationnelles relatives au Programme de protection des pêches](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/015.
- MPO. 2014c. [Avis scientifique sur les techniques de compensation pour gérer la productivité des pêches en eau douce](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/074.
- MPO. 2014d. [Cadre scientifique pour évaluer la réponse de la productivité des pêches à l'état des espèces ou des habitats](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/067.
- MPO. 2017. [Avis scientifique visant l'établissement d'exigences de compensation aux fins du programme de protection des pêches](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/009.
- Randall, R.G., Bradford, M.J., Clarke, K.D., and Rice, J.C. 2013. [A science-based interpretation of ongoing productivity of commercial, recreational or Aboriginal fisheries](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/112. iv + 26 p.
- Scott, W.B., and Crossman, E.J. 1973. Freshwater fishes of Canada. Fish. Res. Board Can. Bull. 184: 966 p.
- Tyler, J.A., and Rose, K.A., 1994. Individual variability and spatial heterogeneity in fish population models. Rev. Fish Biol. Fish 4 : 91–123.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Centre et de l'Arctique
Pêches et Océans Canada
501, croissant University
Winnipeg (Manitoba)
R3T 2N6

Téléphone : 204-983-5232

Courriel : xcna-csa-cas@dfo-mpo.gc.ca

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

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2019. Élaboration et évaluation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2019/046.

Also available in English:

DFO. 2019. *Development and Evaluation of the Habitat Ecosystem Assessment Tool (HEAT).*
DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2019/046.