



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2019/060

Région du Centre et de l'Arctique

La science et fondation de l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT)

Sommer Abdel-Fattah, Charles K. Minns, Andrea M. Doherty, Janet J. Jardine,
et Susan E. Doka

Pêches et Océans Canada
Centre canadien des eaux intérieures
867 chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) LS7 1A1

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 de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-39284-4 N° cat. Fs70-5/2019-060F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Abdel-Fattah, S., Minns, C.K., Doherty, A.M., Jardine, J.J., et Doka, S.E. 2021. 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. v + 39 p.

Also available in English :

Abdel-Fattah, S., Minns, C.K., Doherty, A.M., Jardine, J.J., and Doka, S.E. 2021. Science and Foundations of the Habitat Ecosystem Assessment Tool (HEAT). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/060. iv + 35 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
CONTEXTE ET HISTORIQUE	4
DESCRIPTION DU MODÈLE : MODÈLE DE MATRICE DE QUALITÉ DE L'HABITAT (MQH) DANS LES MÉTHODES JUSTIFIABLES/HAAT/HEAT.....	9
BASE DE DONNÉES SUR L'UTILISATION/L'OCCUPATION DE L'HABITAT PAR LE POISSON.....	11
CALCUL D'UNE MATRICE DE QUALITÉ DE L'HABITAT (MQH) POUR UNE ESPÈCE OU UN STADE BIOLOGIQUE EN PARTICULIER.....	11
GUILDE DES ESPÈCES SELON LES MATRICES DE QUALITÉ PAR STADE BIOLOGIQUE.....	12
MATRICE COMPOSITE DE QUALITÉ DE L'HABITAT.....	13
CALCUL DES UNITÉS D'HABITAT (SUPERFICIE PROPICE PONDÉRÉE) PAR PARCELLE.....	13
APPLICATION ACTUELLE, PROGRAMME DE PROTECTION DES PÊCHES ET HEAT.....	14
ANALYSE ET ÉTUDES DE CAS	15
UTILISATION TYPIQUE : NŒUD DE BRANT INN, BURLINGTON (ONTARIO).....	15
Emplacement/description du site.....	15
Interprétation des résultats et orientation du Programme de protection des pêches.....	20
SCÉNARIO MODIFIÉ : UTILISATION DES FACTEURS D'AJUSTEMENT DE LA QUALITÉ.....	21
SCÉNARIO MODIFIÉ : VARIATIONS DU SUBSTRAT	21
SCÉNARIO MODIFIÉ : CRÉATION DE TERRES HUMIDES—SUBSTRAT DE MATIÈRES ORGANIQUES/DÉTRITUS.....	22
ORIENTATIONS FUTURES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE HEAT	22
EXAMEN DE L'INFORMATION DE BASE.....	23
EXTENSIONS DES FONCTIONS DANS HEAT.....	24
Température.....	24
Niveaux d'eau	28
APPLICATIONS NATIONALES OU APPUYÉES PAR LE MPO.....	30
RÉSEAUX FLUVIAUX.....	30
AUTRES ASPECTS DE HEAT.....	31
Évaluations de référence	31
Facteurs d'ajustement de la qualité.....	31
Intégration de l'incertitude, des décalages temporels et de l'actualisation.....	32
Conversion de l'habitat disponible en mesures de productivité.....	32
Réserves d'habitat et évaluation des effets cumulatifs.....	33
DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS.....	33
RÉFÉRENCES CITÉES	34
ANNEXE 1. GLOSSAIRE DES TERMES	39

RÉSUMÉ

Le Programme de protection des pêches (l'ancien Programme de gestion de l'habitat du poisson) au Canada relève du gouvernement fédéral, plus précisément de Pêches et Océans Canada, et son mandat est défini dans la *Loi sur les pêches* et ses politiques. Minns (1995) a élaboré un cadre quantitatif pour évaluer la variation nette de la capacité de production à l'aide des concepts de base des méthodes justifiables (MJ) pour évaluer l'habitat du poisson. La région de l'Ontario et des Grands Lacs du Programme de gestion de l'habitat du poisson a adopté une application en ligne de cette méthodologie, appelée outil d'évaluation de l'altération de l'habitat (HAAT), en vue de l'utiliser dans les renvois de projets lacustres comportant un remblayage et les altérations connexes de l'habitat. Depuis, de nombreux ajouts, modifications et extensions ont été apportés à cette application logicielle. Elle a été mise à jour et modifiée et est devenue une application en R en ligne. Elle porte maintenant le nom d'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT). L'objectif ultime de HEAT est de relier la gestion de l'habitat et la gestion des pêches grâce à la dynamique de production de la population et de l'écosystème qui est influencée par tous les facteurs importants de l'habitat. L'élaboration de HEAT a évolué sur environ 20 ans depuis les MJ et continue de s'appliquer en vertu de la politique ministérielle actuelle. Le présent rapport donne des renseignements généraux sur la science et les fondements sous-jacents de l'outil, son application actuelle et son orientation future.

INTRODUCTION

L'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème (HEAT), auparavant appelé outil d'évaluation de l'altération de l'habitat (HAAT) ou Méthodes justifiables (MJ) dans différents contextes, est actuellement un outil logiciel en ligne qui quantifie l'adéquation d'un site aquatique ou d'une sous-zone pour les poissons et calcule l'habitat disponible pondéré (superficie adéquate ou utile pondérée) pour un ou plusieurs scénarios où l'on fait varier un facteur précis de l'habitat ou de l'écosystème. Les bases de données régionales sur les espèces de poissons et leurs besoins en habitat ou les associations poisson-habitat à différents stades du cycle biologique permettent de calculer la qualité relative de l'habitat disponible en fonction des listes d'espèces de poissons par défaut spécifiées par l'utilisateur ou recommandées. HEAT se décline en 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. L'outil pour les lacs utilise la profondeur de l'eau, le type de substrat et la couverture végétale comme variables pour évaluer les changements générés dans les scénarios avant et après la mise en œuvre du projet afin de prévoir comment les projets ou les mesures d'aménagement modifieront un réseau hydrographique local. La version pour les rivières est moins avancée et son utilisation réglementaire moins fréquente que celle 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. Le Programme de protection des pêches a surtout eu recours à HEAT pour évaluer divers types de projets dans le cadre des examens réalisés en vertu de la *Loi sur les pêches*.

Les récents amendements apportés à la *Loi sur les pêches* du Canada (projets de loi C-38 et C-45, 2012) ont modifié la façon dont le Programme de protection des pêches évalue et gère les impacts des projets d'aménagement sur les écosystèmes aquatiques, mais ces modifications sont actuellement à l'étude. Entre-temps, les renseignements requis et les documents que les promoteurs doivent présenter pour obtenir une autorisation sont énoncés dans le *Règlement sur les demandes d'autorisation visées à l'alinéa 35(2)b) de la Loi sur les pêches*. En ce qui concerne la compensation, ce règlement exige que les promoteurs élaborent des plans de compensation. En vertu de l'article 6 de la *Loi sur les pêches*, le ministre des Pêches et des Océans doit tenir compte des facteurs suivants dans l'examen de la demande d'autorisation :

- l'importance du poisson visé pour la productivité continue des pêches commerciale, récréative, et autochtone;
- les objectifs en matière de gestion des pêches;
- l'existence de mesures et de normes visant à éviter, à réduire ou à contrebalancer les dommages sérieux à tout poisson visé par une pêche commerciale, récréative ou autochtone, ou à tout poisson dont dépend une telle pêche;
- l'intérêt public.

Un changement clé est que la compensation est maintenant obligatoire en vertu de la *Loi sur les pêches* (facteurs énoncés à l'article 6) et qu'elle ne constitue plus un objectif stratégique. À la suite de ce changement, de nouvelles politiques ont été élaborées et continuent de l'être pour faire respecter les exigences en matière de compensation.

HEAT est un cadre et un modèle qui fournit une méthode transparente et uniforme de présentation des données sur l'habitat et de quantification des dommages sérieux (destruction ou altération permanente) et des avantages des mesures de compensation proposées. De plus, HEAT peut servir d'outil d'évaluation normalisé dans le cadre décisionnel réglementaire pour déterminer si une compensation proposée permettra de contrebalancer suffisamment les

dommages sérieux proposés dans le cadre d'un examen en vertu de la *Loi sur les pêches*. HEAT propose des unités et des paramètres écologiques opérationnels normalisés, traite de l'hétérogénéité et des types de modification de l'habitat et peut être lié à des paramètres d'équivalence pour la productivité continue. L'unité d'équivalence actuelle est calculée en mesurant la superficie propice pour les guildes de poissons et leurs stades biologiques.

L'objectif global de la *Politique d'investissement en matière de productivité des pêches* (MPO 2013) est de maintenir ou d'améliorer la productivité des pêches commerciales, récréatives et autochtones (CRA). Cette politique énonce quatre principes :

- Principe 1 : Les mesures de compensation doivent appuyer les objectifs en matière de gestion des pêches ou les priorités de restauration locales.
- Principe 2 : Les bénéfices découlant des mesures de compensation doivent contrebalancer les impacts du projet.
- Principe 3 : Les mesures de compensation doivent offrir des avantages supplémentaires à la pêche.
- Principe 4 : Les mesures de compensation doivent générer des avantages autosuffisants à long terme.

La politique définit quatre types de compensation : la restauration et l'amélioration de l'habitat, la création d'habitats, les interventions chimiques ou biologiques et les mesures complémentaires. Le Guide sur les mesures de compensation (MPO 2013) décrit la responsabilité des promoteurs d'éviter des dommages sérieux aux poissons. Lorsque des impacts sont inévitables, ce Guide offre des options d'atténuation et de compensation et il est conçu pour offrir une certaine souplesse quant aux options permettant de trouver l'approche qui convient le mieux au promoteur, mais guidée par la science. Il reconnaît qu'il est important de déterminer l'équivalence de la compensation et les options appropriées dans certains environnements, et souligne les problèmes pour le faire. La Figure 1 montre qu'au fil du temps, les mesures de compensation procurent des avantages qui contrebalancent les impacts, de sorte qu'il n'y a pas de perte nette globale.

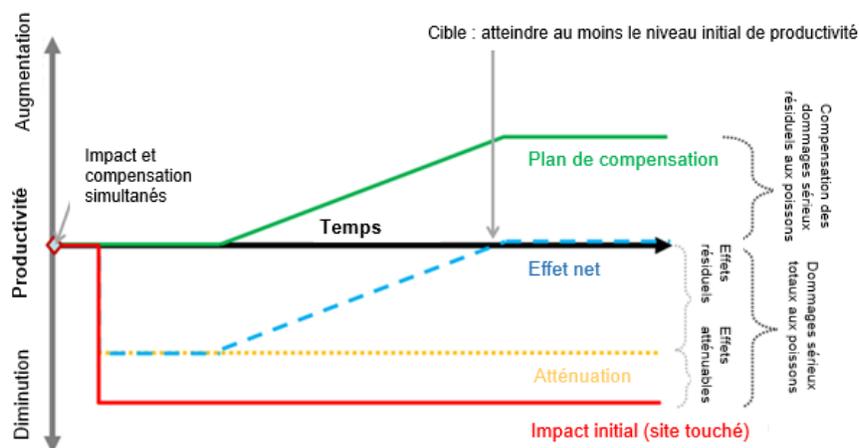


Figure 1. Méthode utilisée par les promoteurs pour déterminer les impacts de leurs projets dans le temps, y compris les mesures d'atténuation, les mesures de compensation et l'effet net global ou impact indiqué par la ligne bleue en pointillés. Adapté de : *Independent report on biodiversity offsets* (2012), Conseil International des Mines et Métaux (ICMM) et Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

HEAT génère des extraits fondés sur des données probantes qui peuvent étayer les décisions de gestion liées aux principes de la compensation, qui comprennent la quantification des impacts du projet, la quantification des avantages compensatoires et l'équilibre entre les avantages offerts par les mesures de compensation et les impacts du projet.

Un deuxième changement à la *Loi sur les pêches* prévoit que les informations requises à présenter dans une demande d'autorisation sont énoncées dans le règlement. Les données nécessaires pour HEAT peuvent être harmonisées avec les exigences en matière d'information de la *Loi sur les pêches*. À l'heure actuelle, pour HEAT, les données minimales requises sont la détermination des isobathes, de la composition du substrat et de la composition de la couverture végétale dans l'eau des zones ou des parcelles évaluées sur un site. La zone du projet comprendrait des effets directs et indirects (effets localisés sur l'habitat) ou des variations.

HEAT estime les effets des projets proposés sur l'habitat du poisson au niveau du site ou du projet. À ce jour, HEAT a surtout été utilisé pour les évaluations réglementaires ou scientifiques (p. ex. par les promoteurs, le Programme de protection des pêches, ou les scientifiques du MPO) des projets d'aménagement dans l'eau avec remblais (y compris les projets de compensation [mesures de compensation]) et de restauration. À l'heure actuelle, les utilisateurs entrent des tableaux de données qui précisent la profondeur de l'eau, la couverture végétale et le type de substrat par parcelle dans le site ou la zone pour évaluer les variations. Ils doivent fournir un emplacement géographique et sélectionner une liste de poissons pour les évaluations. Les extraits du projet LakeHEAT permettent d'évaluer, avant et après le projet, la qualité de l'habitat et sa disponibilité par parcelle ou par agrégation entre les groupes d'espèces de poissons et les stades biologiques constituant la communauté de poissons sur un site. La souplesse du modèle permet de faire varier :

- les listes d'espèces de poissons par défaut pour un emplacement;
- les regroupements d'espèces en guildes;
- la pondération des guildes du poisson ou des stades biologiques.

HEAT a un potentiel d'application plus grand que son utilisation actuelle pour deux raisons : i) la théorie et les méthodes écologiques sous-jacentes, qui sont évolutives, et ii) la transférabilité des méthodes employées, qui offrent de la souplesse et de l'adaptabilité compte tenu des nouvelles informations ou des différences régionales. De plus, l'outil ou ses algorithmes ont été utilisés dans des évaluations scientifiques des habitats côtiers et lacustres à différentes échelles (Minns et Nairn 1999; Minns *et al.* 1999, Doka *et al.* 2006, Gertzen *et al.* 2012).

En utilisant les types d'habitat dans HEAT, il est possible de quantifier la contribution des différents types de variations de l'habitat résultant des projets et des mesures de compensation (p. ex. perte, modification et création) à un objectif global. HEAT peut intégrer des mesures de compensation en général ainsi qu'un accès accru pour les espèces à l'aide de différentes fonctions comme la sélection des listes d'espèces, les facteurs d'ajustement de la qualité (FAQ) en plus des changements habituels de l'habitat physique. Plus précisément, HEAT peut également intégrer des interventions chimiques en utilisant la qualité de l'eau ou des sédiments comme facteur d'ajustement de la qualité réducteur dans les scénarios avant la mise en œuvre.

D'après les commentaires des utilisateurs, on prévoit que les modifications futures de HEAT comprendront des variables supplémentaires de l'habitat. Des intrants de température représentant les régimes thermiques saisonniers présents sur un site et des méthodes pour tenir compte des variations des niveaux d'eau et des changements de profondeur subséquents sur un site seront ajoutés à l'outil. Des conseils sur l'utilisation de ces nouvelles fonctions dans HEAT seront fournis à mesure que les mises à jour seront publiées. À l'avenir, HEAT pourrait

être appliqué dans les rivières et les lacs à l'extérieur de la région des Grands Lacs, ainsi que pour les évaluations des changements climatiques une fois que le module des températures sera entièrement opérationnel.

À mesure que HEAT continue d'être amélioré, on pourrait offrir d'autres avantages, notamment un meilleur soutien aux utilisateurs, une interface utilisateur améliorée, des mises à jour plus fréquentes et, surtout, une normalisation améliorée des intrants et des extrants des scénarios qui peuvent être utilisés dans le processus décisionnel réglementaire du MPO. Un ensemble plus vaste de variables pour les essais avant et après le scénario permettrait également d'appliquer l'outil dans de nombreux secteurs en plus du Programme de protection des pêches et du Secteur des sciences du MPO.

CONTEXTE ET HISTORIQUE

Cette section décrit les origines et les principes écologiques fondamentaux de HEAT de même que la voie de développement suivie pour créer l'outil. Le principe directeur « perte nette nulle » de la Politique de gestion de l'habitat du poisson de 1986 (MPO 1986), maintenant représenté par le terme « compensation équivalente » dans la politique d'aujourd'hui, a été l'inspiration initiale des idées qui ont mené à HEAT. Dès le départ, l'élaboration de ces idées a été encadrée par le concept de méthodes et d'évaluation défendables sur le plan scientifique, c.-à- d. une évaluation fondée sur des données probantes étayée par des analyses quantitatives. Cela était important puisque la « perte nette nulle » et la « compensation équivalente » sont des concepts fondamentalement quantitatifs. Durant l'élaboration en tant qu'outil scientifique, l'approche était décrite par le terme général « méthodes justifiables ». Plus tard, lorsque la section de l'Ontario et des Grands Lacs de la Direction de la gestion de l'habitat du poisson (DGHP) a assumé la responsabilité opérationnelle de l'outil, celui-ci a été renommé Outil d'évaluation de l'altération de l'habitat, ou HAAT. Plus récemment, cet outil a été mis en œuvre de nouveau dans un environnement informatique moderne, afin d'accroître ses capacités; il a été rebaptisé « outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème », ou HEAT. Les principales étapes de l'élaboration dans l'historique de HEAT sont décrites dans les paragraphes suivants.

L'émergence du concept de la perte nette nulle dans l'énoncé de politique de 1986 a coïncidé avec la réaffirmation par le gouvernement du Canada d'un rôle direct dans la conservation et la protection de l'habitat du poisson d'eau douce à l'appui de la productivité des pêches dans les eaux intérieures. À mesure que le personnel de la gestion de l'habitat du poisson du MPO (ci-après la GHP) assumait ses responsabilités, celui du Secteur des sciences du MPO a joué un rôle de plus en plus important à l'appui des responsabilités réglementaires. Ces collaborations entre la science et la réglementation ont pris la forme d'un « apprentissage par la pratique » (Walters et Holling 1990), un élément clé de la gestion adaptative. Ces développements ont été stimulés par le Plan vert fédéral (gouvernement du Canada 1990) qui a engagé de nouvelles ressources importantes dans la gestion de l'environnement. On a ainsi clairement reconnu que la mise en œuvre de la perte nette nulle exigeait des outils quantitatifs, mais la façon d'atteindre cet objectif n'était pas immédiatement évidente.

Il fallait tout d'abord un ensemble d'équations comptables pour décrire les variations dans les zones d'habitat qui seraient introduites par des pertes, des modifications ou des mesures de compensation. Après quelques recherches, Minns (1995, 1997) a élaboré une équation comptable de base pour mesurer le gain ou la perte nette. Charles K. Minns a été amené à élaborer cette équation alors qu'il participait à l'évaluation réglementaire d'un projet de destruction de terres humides à l'ouest de Toronto. Serge Metikosh, qui travaillait alors avec pour la région de l'Ontario et des Grands Lacs de la Gestion de l'habitat du poisson du MPO, a demandé à Charles K. Minns de l'aider à préparer un plan de perte nette nulle pour le marais

Westside, fortement dégradé près de Bowmanville, dont le propriétaire disposait d'un droit acquis d'extraire les agrégats qui se trouvent sous le marais et la zone adjacente. Le but de la Gestion de l'habitat du poisson était d'essayer de préserver les fonctions du marais. Ces discussions ont mené directement aux équations pour la variation nette de Minns (1995, 1997) et à la formulation d'un plan visant à rétablir les fonctions des zones dégradées existantes du marais afin d'équilibrer la perte associée à l'extraction des agrégats. L'équation de base pour la variation nette dépendait de l'attribution de valeurs de la qualité de l'habitat du poisson aux parcelles de la zone d'aménagement proposée, puis du calcul d'unités équivalentes de l'habitat (zone × qualité). Pour mettre en œuvre le plan, un groupe de travail d'experts a été formé afin d'établir un ensemble convenu de valeurs de la qualité pour un ensemble défini de types d'habitats dans le marais dégradé existant et un marais restauré proposé. Le MPO a autorisé la perte de 50 % des terres humides en échange de la restauration du reste. En fin de compte, le plan proposé n'a pas été réalisé en raison d'autres problèmes externes. Aujourd'hui, le site fait partie de l'aire de conservation des marais de Bowmanville/Westside détenue par l'Office de protection de la nature du lac Ontario Centre.

L'équation de base pour la variation nette (Minns 1997) repose sur l'hypothèse selon laquelle la production des pêches est liée de manière linéaire à la qualité des zones correspondantes pour les poissons présents. Cette hypothèse linéaire est encore reconnue et utilisée. En effet, elle 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. Les équations de base sont les suivantes :

$$P_{MAX} = p_{MAX} \cdot A_{ORIGINAL} = \text{maximum productive capacity}$$

$$P_{NOW} = p_{NOW} \cdot A_{NOW} = \text{productivity now prior to new development}$$

$$A_{NOW} = A_{ORIGINAL} - A_{LOST}$$

$$= \text{original area less areas lost to past development}$$

$$\Delta P_{MAX} = -p_{MAX} \cdot A_{LOSS} + [p_{MOD} - p_{NOW}] \cdot A_{MOD} + [p_{COMP} - p_{NOW}] \cdot A_{COMP}$$

$$= -\text{loss} + \text{modification} + \text{compensation due to new development}$$

Où P = productivité, A = superficie de l'habitat touchée par l'aménagement, et p = productivité de la superficie unitaire (mesurée comme la qualité). On suppose que $P_{NOW} = P_{MAX}$ pour l'habitat physique en posant l'hypothèse que les caractéristiques physiographiques originales sont intactes et que les autres agents de stress qui s'exercent sur le site ne changent pas à la suite de l'activité d'aménagement. L'équation de base s'applique à tous les projets comportant la détérioration de l'habitat du poisson ou des dommages sérieux à la productivité continue (Figure 2).

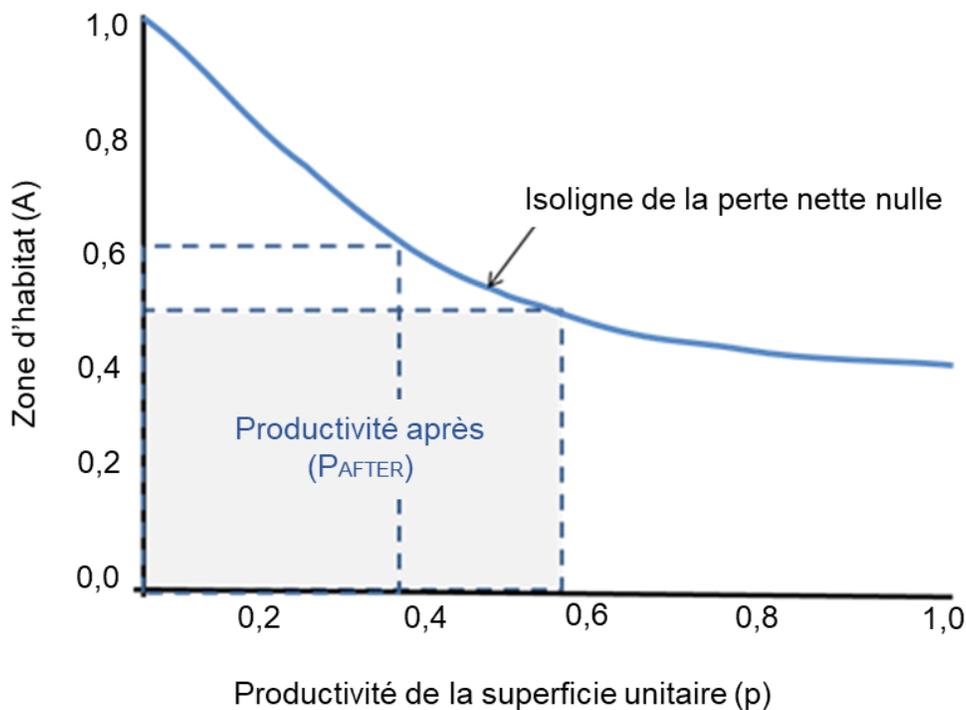


Figure 2. Représentation de l'équation de la variation nette.

La formulation de ces équations a également mené à l'adoption d'une terminologie appropriée à l'évaluation de la variation nette : a) des scénarios représentant les habitats disponibles avant et après l'aménagement dans les parcelles du site; et b) un système de classification des parcelles qui distingue les zones perdues (PERTE), modifiées directement ou indirectement (MODD, MODI) à la suite de l'aménagement ou de la compensation, que ce soit par la modification des zones adjacentes existantes (COMM) ou par la création de nouvelles zones (COMC).

Depuis que cette équation a été élaborée, le terme anglais « compensation » a été remplacé par « offsetting ». L'équation originale a été formulée selon le concept de capacité de production, qui était l'unité de prédilection à l'époque, mais le cadre de base (produit des unités spatiales × valeur de qualité) peut être appliqué à la productivité, à la biodiversité, à l'habitat, etc. Le cadre initial supposait que les conditions de référence étaient fixes, mais il est maintenant clair que, sur la plupart des échelles, les conditions de référence changent constamment (surtout à la baisse), et les changements de la période au cours de laquelle la variation nette est évaluée doivent tenir compte de ces changements, accroissant ainsi les mesures de compensation requises.

La collaboration entre le personnel de la réglementation et les scientifiques a montré clairement que des outils d'évaluation quantitative seraient utiles à la Gestion de l'habitat du poisson (l'actuel Programme de protection des pêches) pour guider les promoteurs de projets d'aménagement touchant l'habitat du poisson. Comme il n'était pas pratique d'organiser des groupes d'experts pour guider l'évaluation des parcelles d'habitat dans chaque cas de réglementation, il fallait disposer d'une méthode et d'un outil fondés sur des données probantes et défendables sur le plan scientifique. Il a alors été décidé d'utiliser le cadre de comptabilisation de la variation nette, en s'appuyant sur l'approche HEP-HSI (PEH-IQH, procédure d'évaluation de l'habitat – indice de qualité de l'habitat) utilisée par le U.S. Fish and

Wildlife Service (USFWS 1981; Terrell *et al.* 1982, Terrell 1984), dans laquelle on attribue une valeur aux parcelles d'habitat en multipliant la superficie des parcelles par une valeur de qualité fondée sur les caractéristiques présentes dans la parcelle qui se sont révélées utiles pour les poissons d'intérêt. Ce produit est connu sous le nom de superficie propice pondérée (SPP) et est considéré comme la superficie équivalente d'une parcelle où les conditions de l'habitat étaient idéales. Toutefois, les évaluations PEH-IQH étaient habituellement effectuées espèce par espèce et étaient limitées par la pertinence et la certitude dans la documentation publiée. En général, elles ne tiennent pas compte des combinaisons de caractéristiques de l'habitat pour prédire l'occupation et la productivité des différentes espèces et des divers stades biologiques.

Pour surmonter ce problème central des connaissances de base, on a adopté une approche globale. On a supposé que les habitats utilisés de préférence par un plus grand nombre d'espèces et de stades biologiques contribuaient davantage à la productivité des poissons. Cette hypothèse repose sur le fait que le poids cumulatif de la preuve parmi les espèces compenserait les lacunes dans les données pour chaque espèce. Par conséquent, les qualités de l'habitat fondées sur l'occupation de différentes caractéristiques de l'habitat par espèce et stade biologique étaient des substituts acceptables de la productivité.

La qualité de l'habitat par espèce et par stade biologique a été rassemblée dans une base de données à l'aide d'analyses documentaires approfondies effectuées par des experts. Cette base de données et les suivantes ont servi de fondement aux modèles pour estimer les qualités. Avec l'équation de la variation nette et de la base de données sur l'utilisation de l'habitat, on a pu mener les travaux sur trois fronts :

1. Un atelier sur les prototypes a été organisé pour élaborer la conception d'un outil (Minns *et al.* 1995). Des scientifiques, le personnel de la réglementation, et les consultants privés en environnement ont fourni des conseils pour mettre au point un outil conforme aux nouvelles pratiques de gestion de l'habitat du poisson.
2. Trois analyses documentaires sur l'utilisation de l'habitat par stade biologique ont été commandées pour tous les poissons présents dans le bassin des Grands Lacs (Lane *et al.* 1996a,b,c pour les stades biologiques du frais, des jeunes de l'année et des adultes + juvéniles).
3. Un prototype de modèle de calcul a été appliqué à l'aide de chiffriers Excel. L'outil a été mis en ligne pour régler les problèmes de distribution et d'exécution et assurer l'intégrité des bases de données. Bio-Software, avec Fraser Gorrie et James Moore, ont été des partenaires essentiels de l'élaboration et la mise en œuvre des idées et du logiciel.

Ces efforts ont été facilités par le soutien financier du MPO (fonds de fonctionnement locaux, fonds stratégiques nationaux, fonds de la Gestion de l'habitat du poisson) et d'autres (fonds du Plan d'action des Grands Lacs [PAGL]).

De plus, les activités de recherche et de consultation de nombreux employés du Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques (LGLPSA, Secteur des sciences du MPO) dans plusieurs secteurs préoccupants (SP) autour du bassin des Grands Lacs ont fourni des études de cas de travail pour l'élaboration et la mise à l'essai de l'outil. En particulier, les mesures prévues de restauration de l'habitat du poisson financées dans le cadre du PAGL et la planification continue de la recherche et de la restauration dans le port de Hamilton ont grandement contribué à la mise au point de l'Outil.

D'autres bases de données régionales et sur les caractéristiques du cycle biologique ont été commandées en prévision de l'expansion de l'application dans d'autres régions du Canada, notamment :

-
- les caractéristiques du cycle biologique et écologiques des poissons d'eau douce du Canada (Portt *et al.* 1988, Minns *et al.* 1993, Bradbury *et al.* 1999, Langhorne *et al.* 2001, Richardson *et al.* 2001, Roberge *et al.* 2001, Evans *et al.* 2002, Roberge *et al.* 2002);
 - l'habitat du poisson dans les lacs - région des Grands Lacs (Lane *et al.* 1996a,b,c, Chu *et al.* 2005), Terre-Neuve-et-Labrador (Bradbury *et al.* 1999), Pacifique et Yukon (Roberge *et al.* 2001), Prairies (Langhorne *et al.* 2001), Territoires du Nord-Ouest et Nunavut (Richardson *et al.* 2001);
 - l'habitat des poissons dans les cours d'eau - région des Grands Lacs (Portt *et al.* 1999), Pacifique et Yukon (Roberge *et al.* 2002), Territoires du Nord-Ouest et Nunavut (Evans *et al.* 2002), Terre-Neuve-et-Labrador (Grant et Lee 2004).

Ces bases de données ont fait l'objet d'un examen par les pairs et ont été publiées en tant que Rapports manuscrits canadiens des sciences halieutiques et aquatiques (ou rapports de données) pour être utilisées comme sources d'information de référence autonomes et comme intrants d'outils. Le modèle de base de données régionale a été remanié pour inclure :

- quatre stades biologiques, séparant initialement les juvéniles et les adultes en stades distincts;
- une portée accrue pour la description des types de couverture végétale;
- une approche plus systématique de la description de la documentation et des données probantes.

L'élaboration de l'application logicielle des méthodes justifiables a permis de régler des problèmes comme la formulation d'un modèle de qualité de l'habitat à utiliser et la façon de traiter les données manquantes sur l'utilisation de l'habitat. À des fins de recherche, on a ajouté un module pour permettre l'examen d'autres formules du modèle. Le modèle final supposait que les principaux axes de l'habitat (profondeur, substrat et couverture végétale) étaient indépendants et que les produits croisés et la normalisation (un rééquilibrage typique pour que les valeurs maximales soient de 1) donnaient des valeurs de qualité acceptables. L'examen de solutions de rechange telles que l'addition ou les minima sur les grands axes a donné des résultats similaires après normalisation. Cette recherche supplémentaire comprenait la mise à l'essai d'un module pour permettre la substitution des cotes d'utilisation de l'habitat de référence pour les valeurs manquantes par espèce (cote faible, habituellement sans données). Tant qu'un nombre relativement important d'espèces (une vingtaine ou plus) était en cause, les effets sur les matrices de qualité résultantes étaient nominales. Des questions concernant l'incertitude des valeurs de qualité, les décalages temporels et les ratios de compensation ont été soulevées (Minns et Moore 2003, Minns 2006) et des modules de recherche ont été mis en œuvre. Il faudrait utiliser les efforts subséquents de relevés sur le terrain déployés par de nombreux organismes pour préparer des tableaux améliorés sur l'utilisation de l'habitat.

Lorsque la Gestion de l'habitat du poisson a été chargée de l'Outil, ce dernier a été rebaptisé HAAT, Outil d'évaluation de l'altération de l'habitat. Le Secteur des sciences du MPO a offert une formation pratique au personnel de la Gestion de l'habitat du poisson. La Gestion de l'habitat du poisson a élaboré des lignes directrices en vue de son application et de son utilisation dans la région des Grands Lacs, notamment une taille minimale des remblais. Pour donner suite aux nombreuses propositions de petits quais, une application frontale simplifiée a été élaborée. Elle permettait aux propriétaires de « modéliser » leurs plans de quai au moyen d'une représentation quadrillée simplifiée de la zone côtière, et effectuait une analyse HAAT standard pour produire des valeurs d'évaluation normalisées. Le principal objectif de l'application était d'inciter les propriétaires à adopter des conceptions de quais moins invasives, c'est-à-dire des quais flottants maintenus en place par de petits pieux plutôt que des quais en

béton massif ou à parois en tôle d'acier. Les changements apportés à la politique opérationnelle ont annulé la poursuite de l'utilisation de cet outil. La Gestion de l'habitat du poisson utilisait régulièrement HAAT jusqu'à ce que l'évolution continue des plateformes logicielles sur Internet commence à produire des pannes. Finalement, les changements globaux apportés au logiciel de serveur Internet ont rendu HAAT inopérant et le développement de son successeur, l'outil d'évaluation de l'habitat et de l'écosystème ou HEAT, a véritablement commencé à l'aide d'un environnement de programmation moderne qui demeurerait fonctionnel à long terme, couplé à une meilleure accessibilité Web.

Entre-temps, les concepts de base enchâssés dans les méthodes justifiables/HAAT/HEAT étaient mieux acceptés dans l'ensemble du Canada pour l'évaluation de la variation nette de l'habitat propice du poisson. Le Secteur des sciences du MPO a repris ces concepts dans diverses situations. Il a fourni des avis pour un certain nombre de projets d'exploitation minière, dont plusieurs dans le Nord. On a réalisé des audits de certaines autorisations préalables à HAAT dans les Grands Lacs afin de comparer les résultats prévus et les résultats observés plus tard (MacNeil *et al.* 2008). Frezza et Minns (2002a,b) ont évalué une expérience de modification de tout un lac comportant l'enlèvement complet des débris ligneux du littoral. Des applications à plus grande échelle de HAAT ont été entreprises dans des secteurs préoccupants des Grands Lacs à l'appui des efforts visant à élaborer des cadres de planification de la gestion de l'habitat du poisson (en cours pour la baie de Quinte, le port de Hamilton, le bras Severn, la baie Long Point et le secteur riverain de Toronto). Des évaluations de l'ensemble du lac ont été préparées (lac Érié, lac Ontario – le dernier en ce qui a trait à l'élaboration d'autres plans de régulation des niveaux d'eau par la Commission mixte internationale). Les travaux sur le lac Ontario se sont appuyés sur des idées élaborées auparavant par Minns *et al.* (1996) pour examiner comment utiliser l'habitat disponible mesuré par les évaluations de la qualité de l'habitat d'écosystèmes entiers pour orienter les modèles de population de poisson et pour relier explicitement l'habitat disponible à la production du poisson et aux modèles de rendement potentiel (Hayes *et al.* 2009).

DESCRIPTION DU MODÈLE : MODÈLE DE MATRICE DE QUALITÉ DE L'HABITAT (MQH) DANS LES MÉTHODES JUSTIFIABLES/HAAT/HEAT

Les détails sur la façon dont les bases de données sur l'utilisation de l'habitat sont utilisées pour calculer une matrice de qualité de l'habitat (MHQ) et la façon dont la superficie utilisable pondérée ou les unités d'habitat à l'échelle sont calculées sont fournis dans Minns *et al.* (2001). Nous donnons ici un aperçu de base des étapes du calcul pour aider les personnes qui lisent ce document et l'avis scientifique connexe (MPO 2019). L'approche de base consistait à établir une MQH qui comprenait la profondeur de l'eau, le type de substrat et la couverture végétale, les préférences en matière d'habitat étant élaborées pour chaque espèce à chaque stade biologique, et qui classait les préférences entre faible, moyenne et élevée (Figure 3). La MQH crée de nombreuses combinaisons des caractéristiques de l'habitat. La Figure 4 illustre un exemple d'extrait de HEAT, converti en indice de l'utilisation proportionnelle, pour la valeur de l'habitat de frai en eaux froides, par combinaison du substrat et de la profondeur.

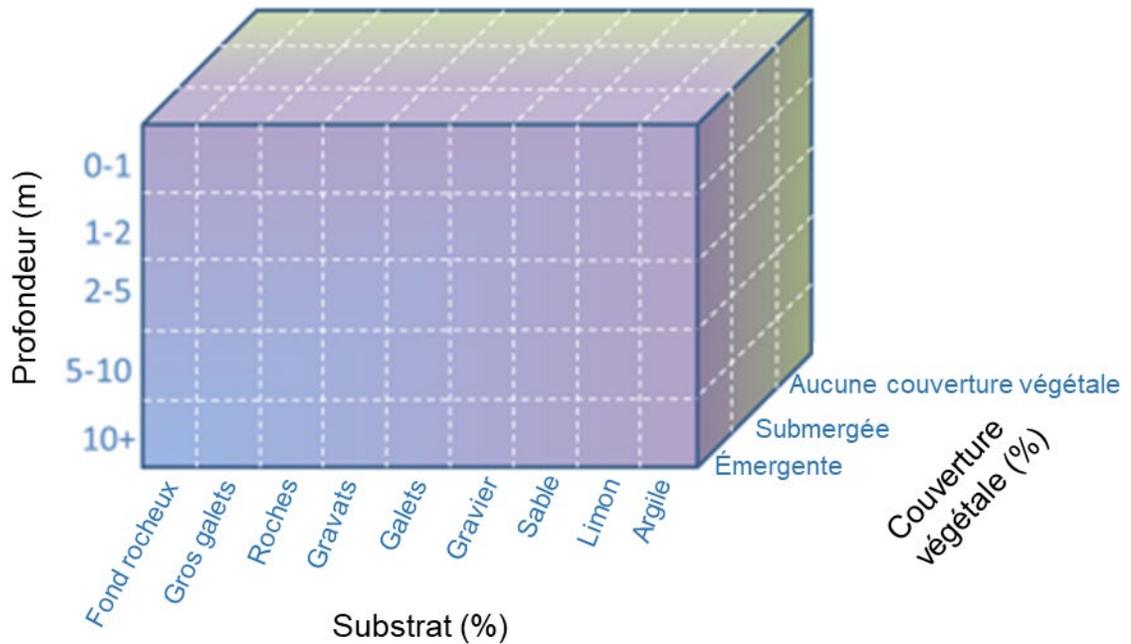


Figure 3. Matrice de qualité de l'habitat. Contient trois axes : la profondeur, le substrat et la couverture végétale.

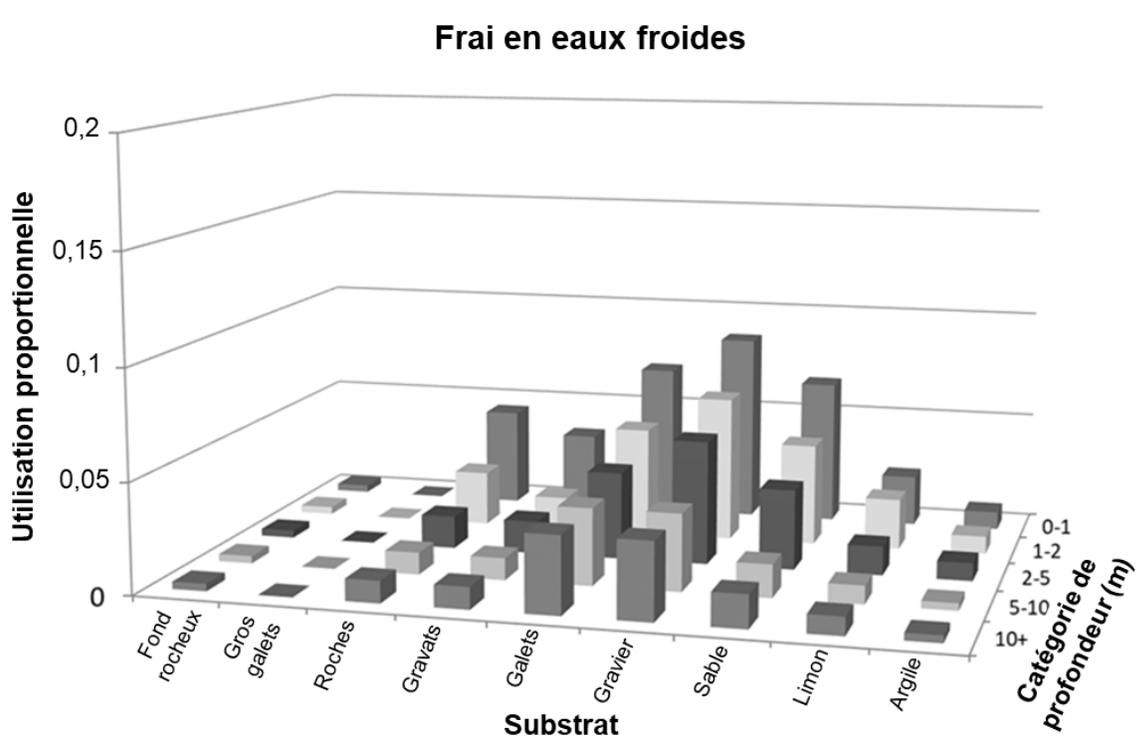


Figure 4. Exemple : poissons d'eaux froides associés à une couverture végétale aquatique submergée. Les utilisations proportionnelles agrégées selon l'axe de l'habitat (profondeur x type de substrat; adapté de Gertzen et al. [2020]) servent à estimer les qualités de l'habitat, qui sont combinées pour obtenir une qualité composite par parcelle d'habitat.

BASE DE DONNÉES SUR L'UTILISATION/L'OCCUPATION DE L'HABITAT PAR LE POISSON

À partir de la documentation publiée dans Lane *et al.* (1996a,b,c) pour trois groupes de stades biologiques (frais, jeunes de l'année et adultes + juvéniles; voir les descriptions à l'annexe 1) des espèces de poissons présentes dans les Grands Lacs, on a constitué une base de données sur la qualité de l'habitat par catégorie couvrant trois caractéristiques de l'habitat comportant chacune un certain nombre de catégories :

Profondeur (Z) : 0 à 1 m, 1 à 2 m, 2 à 5 m, 5 à 10 m ou plus de 10 m

Substrat (S) : Fond rocheux, gros galets, roches, gravats, galets, gravier, sable, limon, argile

Couverture végétale (C) : Émergente, submergée, aucune couverture

Pour chaque catégorie de chaque caractéristique de l'habitat, les préférences (preuves de l'utilisation ou de l'occupation mentionnées dans la littérature) concernant le substrat et la couverture végétale sont cotées comme aucune préférence, préférence faible, moyenne et 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. Dans leurs rapports, Lane *et al.* (1996a,b,c) ont évalué les préférences en matière de profondeur en fonction du nombre de saisons en cause (1, 2 ou 4), mais elles étaient représentées comme nulles ou élevées lorsqu'elles étaient utilisées pour calculer les qualités dans HAAT/HEAT. En l'absence de données probantes, la catégorie présumée était « aucune préférence ». Pour le calcul, les cotes aucune, faible, moyenne et élevée ont été codées 0, 1, 2 et 3. Ainsi, les préférences en matière d'habitat de l'espèce ou du stade biologique sont représentées sur trois vecteurs :

Profondeur : $Z(2,3,1,0,0)$; Substrat : $S(0,0,0,0,1,2,2,1,0)$; et Couverture végétale : $C(1,3,0)$

Dans la notation des calculs, ces vecteurs sont : Z_i où $i = 1$ à 5; S_j où $j = 1$ à 9; et C_k où $k = 1$ à 3.

CALCUL D'UNE MATRICE DE QUALITÉ DE L'HABITAT (MQH) POUR UNE ESPÈCE OU UN STADE BIOLOGIQUE EN PARTICULIER

La MQH de base est une matrice cubique dont les dimensions sont de 5 par 9 par 3 et qui contient $5 \times 9 \times 3 = 135$ combinaisons ou cellules uniques (Figure 3). En supposant que les trois valeurs de vecteur de l'habitat sont indépendantes, les préférences pour chaque cellule de la matrice sont calculées comme le produit des cotes dans les trois catégories d'habitat représentées. Par exemple, une espèce qui fraie avec une préférence élevée (3) pour le sable, une préférence moyenne (2) pour la végétation submergée, dans 0 à 1 mètre d'eau au printemps (1) a une pondération pour cette combinaison de $3 \times 2 \times 1 = 6$. Si une catégorie a une valeur de 0, la valeur combinée de la cellule est zéro. Les valeurs de toutes les cellules de la matrice peuvent être attribuées de la même façon, et les préférences combinées pour une combinaison multipliée de catégories de profondeur (Z_i), de substrat (S_j) et de couverture végétale (C_k) sont calculées comme suit :

$$P_{ijk} = Z_i * S_j * C_k$$

Les produits croisés des cellules sont additionnés sur toutes les permutations de profondeur, de substrat et de couverture végétale :

$$P^{***} = \Sigma \Sigma \Sigma (P_{ijk}) \text{ sur } i = 1 \text{ à } 5; j = 1 \text{ à } 9; \text{ et } k = 1 \text{ à } 3$$

On calcule ensuite les qualités proportionnelles (R_{ijk}) pour chaque cellule dans la matrice n -dimensionnelle comme étant le rapport entre le produit de la préférence de la cellule et P^{***} :

$$R_{ijk} = P_{ijk}/P^{***} \text{ sur } i = 1 \text{ à } 5; j = 1 \text{ à } 9; \text{ et } k = 1 \text{ à } 3$$

$$R^{***} = \sum \sum \sum (R_{ijk}) \text{ sur } i = 1 \text{ à } 5; j = 1 \text{ à } 9; \text{ et } k = 1 \text{ à } 3$$

Cette étape permet de s'assurer que la contribution totale de chaque matrice pour un stade biologique précis de l'espèce aux regroupements subséquents des matrices de l'espèce par stade biologique est égale à une pondération totale de 1 (R^{***}). R_{ijk} représente la qualité proportionnelle d'une cellule de la matrice.

GUILDE DES ESPÈCES SELON LES MATRICES DE QUALITÉ PAR STADE BIOLOGIQUE

Après avoir calculé des MQH distinctes pour toutes les espèces incluses dans la liste des emplacements par stade biologique, on les regroupe par espèce en guildes par stade biologique (Tableau 1). Les combinaisons de trois stades biologiques, deux groupes d'alimentation ou trophiques (piscivore et non piscivore) et trois préférences thermiques pour les adultes (eaux froides, eaux fraîches, eaux chaudes) ont été établies par défaut pour former les regroupements d'espèces. On pourrait utiliser d'autres critères pour former des groupes en fonction des informations existantes dans les tableaux de base ou en ajoutant des informations supplémentaires sur le cycle biologique/les caractéristiques de toutes les espèces de poissons aux bases de données de base (voir Coker *et al.* 2001). Les MQH des stades biologiques de l'espèce sont additionnées cellule par cellule, puis on normalise les sommes des cellules ainsi obtenues à une échelle de 0 à 1 en divisant les valeurs dans toutes les cellules par la somme maximale des cellules. On a alors les valeurs MQH du groupe :

$$GS_{ijk} = \sum R_{ijk} / \text{Max}(\sum R_{ijk}) \text{ additionnées sur toutes les espèces de la guilde par des combinaisons de } i, j, k.$$

Tableau 1. Comment les matrices de qualité au niveau de l'espèce (boîtes noires, □) sont regroupées dans les matrices de la guilde du poisson (boîtes rouges, ◻) par stade biologique. Chaque espèce ne peut appartenir qu'à une guilde (représentée par les boîtes noires, □), mais comporte de trois à quatre stades biologiques par guilde. Voir les définitions des stades biologiques à l'annexe 1.

Espèce	Guilde					
	A	B	C	...	M	
1	□	-	-	-	-	
2	□	-	-	-	-	
3	-	□	-	-	-	
4	-	-	□	-	-	
5	-	-	□	-	-	
..	-	□	-	-	-	
..	-	-	-	□	-	
..	-	-	-	-	□	
N	□	-	-	-	-	
Nombre d'espèces	n _A	n _B	n _C	...	n _M	
Matrices de la guilde	◻	◻	◻	◻	◻	

MATRICE COMPOSITE DE QUALITÉ DE L'HABITAT

Enfin, les pondérations proportionnelles donnant un total de 1 sont attribuées séparément aux stades biologiques et aux guildes d'espèces (Tableau 2). Les pondérations des stades biologiques visent à refléter l'importance relative des contributions des stades biologiques à l'accomplissement du cycle biologique de toutes les espèces de poissons. Le paramètre par défaut des pondérations est un 1/3 constant à tous les stades biologiques, par opposition aux pondérations de la guildes du poisson, qui sont destinées à refléter l'importance relative des groupes de poissons par rapport aux caractéristiques de l'écosystème, ainsi qu'aux objectifs de conservation et de gestion de la pêche dans la zone d'étude. Par exemple, les poissons piscivores des eaux froides peuvent recevoir une pondération plus élevée dans un lac profond du nord, où les prédateurs supérieurs des eaux froides plus gros présentent un intérêt primordial. Les MQH des stades biologiques de la guildes sont regroupées pour produire la MQH composite comme suit :

$$CS_{ijk} = \sum \sum (GS_{ijk}) * WG * WL \text{ sur toutes les guildes (G) et tous les stades biologiques (L).}$$

Tableau 2. Attribution des pondérations (W) entre les matrices de qualité de l'habitat (MQH) des stades biologiques des guildes de poissons. Les pondérations sont des proportions qui donnent un total de 1 sur chaque axe et dont la somme des produits croisés est aussi égale à 1. La MQH composite (boîte bleue, □) est calculée comme la somme pondérée des MQH du stade biologique de la guildes (boîtes rouges, □). SP = frai, AJ = adulte + juvénile. Les guildes sont les groupes A à M. Voir les descriptions des stades biologiques à l'annexe 1.

Guildes	Pondération	Stade biologique			Somme
		Frai	Jeunes de l'année	Adulte+juvénile	
		W_{SP}	W_{YOY}	W_{AJ}	
A	W_A	□ A, SP	□	□	□
B	W_B	□	□	□	□
C	W_C	□	□	□	□
..	..	□	□	□	□
M	W_M	□	□	□	□
Somme	1,0	-	-	-	□

CALCUL DES UNITÉS D'HABITAT (SUPERFICIE PROPICE PONDÉRÉE) PAR PARCELLE

Dans HEAT, les tableaux d'évaluation comprennent une série de parcelles d'habitat identifiées de façon unique avec une zone, une catégorie de modification de l'habitat attribuée (PERTE, MODD, MODI, COMM, COMC) et un pourcentage de la composition de l'habitat. Les vecteurs de l'habitat décrivent de façon indépendante le pourcentage de composition de chacune des trois caractéristiques de l'habitat composant les axes de la MQH : la profondeur de l'eau, le type de substrat et la couverture végétale. Par exemple, les vecteurs de l'habitat peuvent être représentés comme suit :

Profondeur : $PZ(70,20,0,0,0)$; Substrat : $PS(0,0,0,0,15,40,40,5,0)$; et Couverture végétale : $PC(10,90,0)$

Les vecteurs en pourcentage sont utilisés pour faciliter la configuration des ensembles de données de scénarios, mais il faut ensuite les diviser par 100 pour les convertir en proportions

au fur et à mesure que les calculs se poursuivent. Tous les pourcentages doivent donner un total de 100 % et les proportions un total de 1,00 dans chaque caractéristique de l'habitat (c.-à-d. émergente + submergée + aucune couverture = 100).

Étant donné que la qualité de l'habitat est représentée sous forme de matrice tridimensionnelle (lorsqu'il n'y a que trois variables), et que les conventions suivantes peuvent être utilisées dans les superpositions du SIG pour effectuer les calculs, on suppose que les trois vecteurs de l'habitat pour la parcelle sont indépendants et on calcule la valeur des produits croisés des triplets proportionnels pour toutes les combinaisons des catégories de profondeur, de substrat et de couverture :

$$PZSC_{ijk} = PZ_i * PS_j * PC_k \text{ sur } i = 1 \text{ à } 5; j = 1 \text{ à } 9; \text{ et } k = 1 \text{ à } 3$$

La somme de tous les PZSCijk est égale à 1,00. Ce calcul « décompose » en fait une parcelle d'habitat en un ensemble de mini-parcelles correspondant aux cellules du Tableau dans la MQH composite. Chaque produit croisé estime la proportion de la parcelle où une seule catégorie est présente sur chaque axe des trois caractéristiques de l'habitat. Ensuite, on multiplie et on additionne les produits croisés de la qualité et des proportions correspondantes :

$$SPATCH = \Sigma \Sigma \Sigma (PZSC_{ijk} * CS_{ijk}) \text{ sur } i = 1 \text{ à } 5; j = 1 \text{ à } 9; \text{ et } k = 1 \text{ à } 3$$

Ce calcul fournit une estimation pondérée de la qualité de la parcelle. On multiplie la superficie de la parcelle (A) par cette qualité pour estimer la superficie propice pondérée (SPP) ou les unités d'habitat (UH) pour calculer le résultat final pondéré entre les parcelles dans un scénario. Des calculs semblables sont effectués à l'aide des MQH des stades biologiques de la guilda afin que les utilisateurs puissent tenir compte des différentes conséquences entre les scénarios avant et après l'aménagement pour différents stades biologiques ou groupes de poissons. Les valeurs qui constituent la superficie propice pondérée sont utiles pour concevoir des parcelles de compensation pour traiter des groupes ou des stades présentant des pertes maximales.

APPLICATION ACTUELLE, PROGRAMME DE PROTECTION DES PÊCHES ET HEAT

Le Programme de protection des pêches a surtout utilisé HEAT pour examiner des propositions d'aménagement dans les Grands Lacs et d'autres grands lacs intérieurs du bassin primaire des Grands Lacs. En soi, l'application de HEAT ne constitue pas la réalisation des processus d'examen, d'évaluation et de décision du Programme de protection des pêches ou de leurs pouvoirs délégués, mais elle peut contribuer de façon constructive à ces processus exigés par la *Loi sur les pêches* et la Politique d'investissement en matière de productivité des pêches : Guide sur les mesures de compensation à l'intention des promoteurs de projet du gouvernement fédéral.

Environ 54 dossiers ont intégré une analyse HEAT au processus d'examen des renvois. La majorité des projets d'aménagement comprenaient un remblai et quelques-uns, du dragage. L'empreinte du projet variait de 61 m² à plus de 500 000 m². Environ 15 % avaient une empreinte de moins de 1 000 m², 55 % une empreinte comprise entre 1 000 et 10 000 m², 20 % une empreinte comprise entre 10 000 et 100 000 m² et 10 % une empreinte de plus de 100 000 m². Les projets visaient la stabilisation du littoral, l'expansion ou la protection des infrastructures, l'agrandissement ou la réparation de la marina, ainsi que de grands projets de parcs publics.

Des scénarios multiples ont presque toujours été utilisés pour les projets aux empreintes plus grandes (plus de 10 000 m²) avant l'élaboration d'une conception finale. Des exécutions

préliminaires ont fourni des orientations au promoteur au sujet de la sensibilité de l'habitat à l'intérieur de l'empreinte du projet et une idée approximative de la nécessité d'une compensation pour contrebalancer les dommages sérieux proposés par le projet. L'utilisation d'un outil accessible au public et appuyé par le MPO permet au promoteur d'exécuter plusieurs scénarios afin d'élaborer la conception la plus rentable et la plus productive et de déterminer la viabilité du projet avant la présentation finale au MPO.

ANALYSE ET ÉTUDES DE CAS

Certaines circonstances, à un site d'aménagement, peuvent justifier l'utilisation de la flexibilité intégrée de HEAT. Des problèmes ont également été soulevés au sujet de l'outil à la suite de commentaires antérieurs. Les exemples présentent un scénario réel et d'autres « études de cas » théoriques, et ils ont été élaborés pour souligner certaines des préoccupations mentionnées par les utilisateurs quant aux résultats de l'outil. Les études de cas visent à orienter les prochaines étapes de l'élaboration de l'outil en clarifiant les problèmes et en fournissant une orientation provisoire sur l'application appropriée de l'Outil jusqu'à ce que des mises à jour soient apportées au besoin.

UTILISATION TYPIQUE : NŒUD DE BRANT INN, BURLINGTON (ONTARIO)

Emplacement/description du site

Le secteur riverain du nœud de Brant Inn occupe environ 300 m de littoral entre le parc officiel Spencer Smith au centre-ville de Burlington et la plage de Burlington. Il y a plus d'un siècle, ce littoral assurait la transition entre une plage sablonneuse à l'embouchure de la baie et des microfalaises de schiste érodées à l'est. Au cours du dernier siècle, le littoral à cet endroit a été considérablement modifié. Au départ, les modifications comprenaient le déplacement de l'ouverture de la baie de Burlington de l'angle du chemin Lakeshore et du boulevard Northshore à l'emplacement actuel du canal de navigation, plus au sud. Par la suite, elles ont consisté en un remblai continu du lac pour soutenir une voie ferrée et, plus tard, pour protéger le site de l'ancienne Brant Inn.

Le littoral avant la construction (figures 5 et 6) était protégé par des ouvrages de protection en béton, des pierres de protection et des lourdis de béton dans des états variables. La zone littorale adjacente était composée de deux zones séparées avec un substrat schisteux exposé dans une petite échancrure, puis plus au sud, une zone de substrat sableux entre l'ancienne jetée de la Brant Inn vers le sud et la plage de Burlington. En raison de sa position dans l'angle nord-ouest du lac, l'exposition aux vagues dans cette zone est orientée vers l'est et le sud.

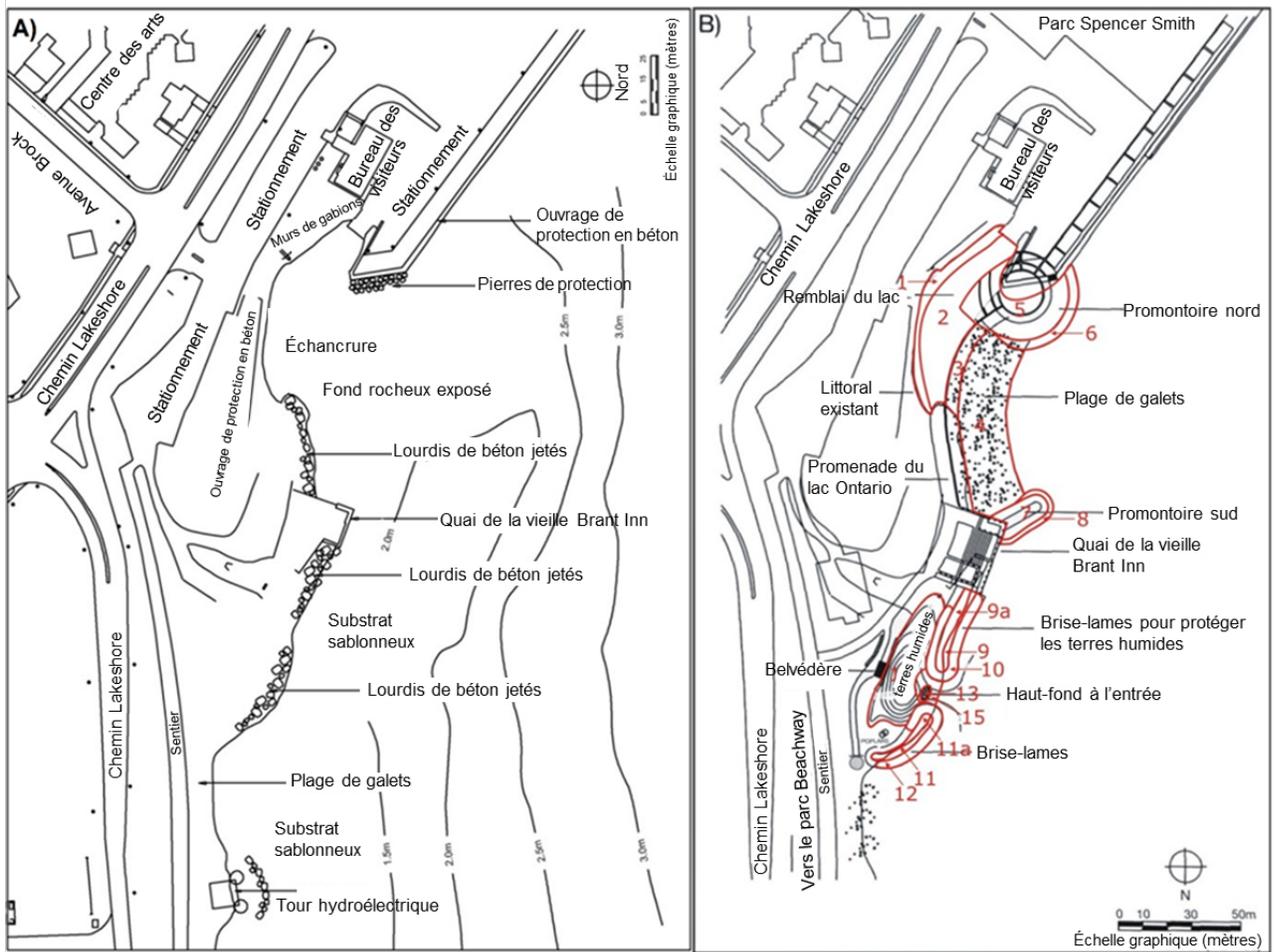


Figure 5. Nœud de Brant Inn, Burlington (Ontario), plans du site avant et après la construction. Le dessin de gauche (A) montre l'état avant la construction (voir les photographies du site avant la construction sur la Figure 6) et le dessin de droite (B) représente les modifications prévues par le projet (voir les photographies du site après la construction sur la Figure 7).

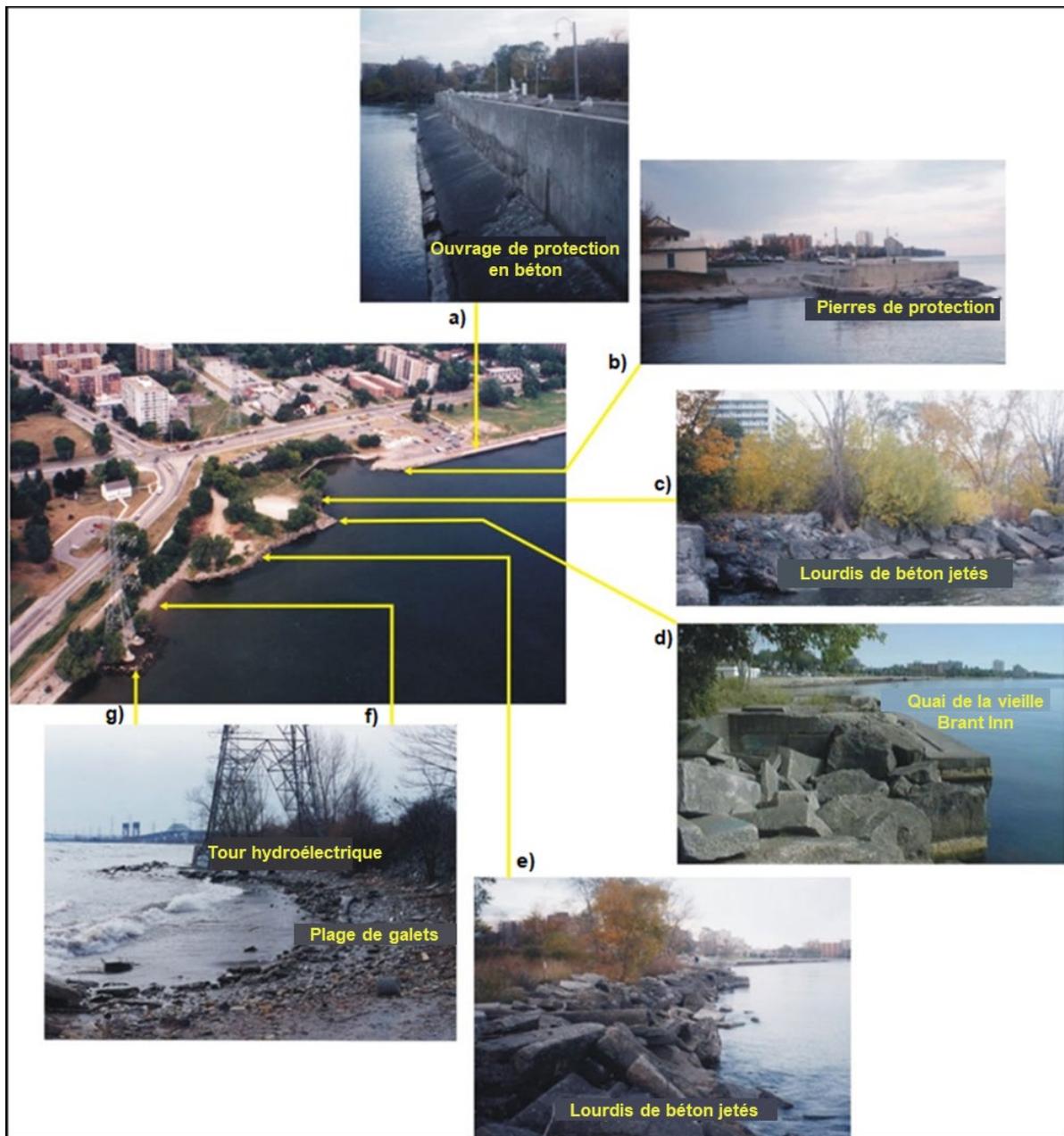


Figure 6. Nœud de Brant Inn, Burlington (Ontario), Conditions avant la construction, photographies du site montrant a) un ouvrage de protection en béton, b) un ouvrage de protection en béton avec des pierres de protection, c) des lourdis de béton jetés, d) la vieille jetée en béton de la Brant Inn, e) davantage de lourdis de béton jetés, f) une petite plage de galets et g) une tour hydroélectrique le long du littoral actif.

Le littoral du projet/après la construction (figures 5 et 7) comprenait une terre humide (0,10 hectare de superficie) excavée du site terrestre existant (à proximité de « e » sur la Figure 5), reliée au lac et protégée par des brise-lames et un haut-fond à l'entrée. La reconstruction de la vieille jetée de la Brant Inn a créé une aire de rassemblement public et d'amarrage diurne. Le remblai du lac dans la petite échancrure (0,27 hectare de superficie) a créé plus de terrain à côté du point d'accès principal pour les piétons et les véhicules, et une plage de galets a été créée entre deux promontoires en enrochement.



Figure 7. Nœud de Brant Inn, Burlington (Ontario), photographies du site après la construction montrant a, b, c, d) la terre humide nouvellement construite avec a) et d) des brise-lames pour protéger la terre humide, b) le haut-fond protecteur construit à l'entrée de la terre humide, et c) la nouvelle terre humide avec un belvédère; f) la nouvelle plage de galets entre e) la vieille jetée reconstruite de la Brant Inn avec un promontoire en enrochement au sud et g) un promontoire en enrochement au nord.

À partir d'une comparaison des scénarios avant et après la construction, un Tableau de comparaison a été compilé pour alimenter HEAT (Figure 8).

Scénario AVANT la construction							Scénario APRÈS la construction/compensation							
N° d'ID	Superficie (m ²)	Type d'habitat	Coefficient de condition	Catégorie de profondeur (m)	Substrat	Couverture végétale	N° d'ID	Superficie (m ²)	Type d'habitat	Coefficient de condition	Catégorie de profondeur (m)	Substrat	Couverture végétale	Qu'est-ce qui a changé?
Résumez le « type » d'habitat, puis ventilez chaque élément en fonction du substrat, de la profondeur et de la couverture végétale.														
1	160	PERTE	1,0	0-1	sable	aucune couverture végétale								
2	1200	PERTE	1,0	0-1	fond rocheux	aucune couverture végétale								
3	210	PERTE	1,0	0-1	fond rocheux	aucune couverture végétale								
4	1540	COMC	1,0	1-2	fond rocheux	aucune couverture végétale	4	1540			0-1	galets	aucune couverture végétale	submergée et émergente
5	820	PERTE	1,0	1-2	fond rocheux	aucune couverture végétale								
6	100	COMM	1,0	1-2	fond rocheux	aucune couverture végétale	6	100	COMM	1,0	0-1	roches	aucune couverture végétale	plage de galets sous la laisse des hautes eaux
7	260	PERTE	1,0	1-2	fond rocheux	aucune couverture végétale								
8	30	COMM	1,0	1-2	fond rocheux	aucune couverture végétale	8	30	COMM	1,0	0-1	roches	aucune couverture végétale	remplacement des pierres de protection
9	40	PERTE	1,0	0-1	sable	aucune couverture végétale								
10	40	MODD	1,0	0-2	sable	aucune couverture végétale	10	40	MODD	1,0	0-1	roches	aucune couverture végétale	brise-lames en pierre de protection sous la laisse des hautes eaux
11	35	PERTE	1,0	0-3	sable	aucune couverture végétale								
11a	35	PERTE	1,0	au-dessus de la laisse des hautes eaux	s.o.	aucune couverture végétale	11a	35		1,0	au-dessus de la laisse des hautes eaux	s.o.	s.o.	reste au-dessus de la laisse des hautes eaux
12	70	MODD	1,0	0-1	sable	aucune couverture végétale	12	70	MODD	1,0	0-1	roches	aucune couverture végétale	brise-lames en pierre de protection sous la laisse des hautes eaux
							13	20	COMC	1,0	0-1	galets et roches	aucune couverture végétale	hauts-fonds de galets et de roches
							14	980	COMC	1,0	0-1	sable limoneux	submergée et émergente	création de terres humides par excavation de la base terrestre
							15	80	COMC	1,0	0-1	sable	aucune couverture végétale	excavation pour créer un nouveau lit de lac

Ce que dit le promoteur (et où). Il s'agit de notes de bas de page et de légendes pour les formes abrégées d'habitat utilisées par le promoteur, p. ex. ce que signifie sable limoneux, etc.
 a)

Profondeur (m)	Substrats	cm	pouces	Couverture végétale	Types d'habitats	voir pages 42 et 12 dans MS 2559
0-1	fond rocheux			submergée	PERTE	Perte - seulement dans Après
1-2	roches	> 25	> 10	émergente	INCH	Inchangé - si utilisé, Après = Avant (dans la zone)
2-5	galets	17-25	6,7-10	aucune couverture végétale	MODD	Modifié-Directement - Avant = Après
5-10	gravats	6,4-17	2,5-6,7		MODI	Modifié-Indirectement - Avant = Après
10+	gravier	0,2-6,4	0,05-2,5		COMM	Compensation-Modifié - Avant = Après
	sable	< 0,2	< 0,05		COMC	Compensation-Création - seulement dans Après
	limon	plus fin que le sable avec une composante organique				
	argile					
	argile durcie					

Figure 8. Nœud de Brant Inn, Burlington (Ontario), chiffrier Excel à entrer dans HEAT (comparaison des scénarios avant et après la construction).

Interprétation des résultats et orientation du Programme de protection des pêches

Comme on peut le constater dans le Tableau 3, les projets de sites complexes peuvent produire des résultats difficiles à interpréter et pouvant donner lieu à des compromis entre les groupes ou les stades biologiques. Dans cet exemple, les résultats de HEAT indiquent un gain global de productivité, mais il y a une perte d'habitats pour les adultes piscivores et non piscivores d'eaux froides, ainsi que d'habitats des jeunes de l'année ou d'habitats d'élevage pour ces mêmes groupes. En fin de compte, l'acceptabilité de toute proposition d'aménagement revient au Programme de protection des pêches, mais HEAT peut aider à quantifier et à clarifier la justification de la décision. Par exemple, le personnel du Programme de protection des pêches doit tenir compte des objectifs de gestion des pêches locales avant de déterminer si une autorisation serait acceptable. Dans ce cas, il faut examiner l'importance relative des groupes de poissons touchés pour l'écosystème local. Les pertes indiquées dans les données combinées sur les jeunes de l'année ou dans les données sur les adultes et les jeunes de l'année pour les espèces d'eaux fraîches non piscivores et les espèces d'eaux froides peuvent être importantes ou avoir une grande incidence sur les objectifs locaux en matière d'habitat et de pêche.

Tableau 3. Nœud de Brant Inn : Sommaire des extraits de HEAT pour les scénarios avant et après la construction pour toutes les combinaisons de trois stades biologiques du poisson avec tous les regroupements de guildes thermiques et trophiques. Les pertes d'habitat sont mises en évidence en rose.

Stade biologique ^a	Groupe ^b	Pondération	Avant	Après	% de différence
Adulte	piscivore, eaux chaudes	0,17	695,3	908,8	30,7
	non piscivore, eaux chaudes	0,17	705,0	1 255,7	78,1
	piscivore, eaux fraîches	0,17	75,6	788,0	942,3
	non piscivore, eaux fraîches	0,17	1 220,9	1 139,5	-6,7
	piscivore, eaux froides	0,17	32,8	12,6	-61,6
	non piscivore, eaux froides	0,17	89,7	69,9	-22,1
Frai	piscivore, eaux chaudes	0,17	872,8	1 228,2	40,7
	non piscivore, eaux chaudes	0,17	1 048,2	1 404,7	34,0
	piscivore, eaux fraîches	0,17	318,7	589,7	85,0
	non piscivore, eaux fraîches	0,17	888,3	1 222,8	37,7
	piscivore, eaux froides	0,17	432,4	793,8	83,6
	non piscivore, eaux froides	0,17	729,9	783,9	7,4
Jeunes de l'année	piscivore, eaux chaudes	0,17	729,5	802,1	10,0
	non piscivore, eaux chaudes	0,17	336,3	918,3	173,1
	piscivore, eaux fraîches	0,17	186,5	228,8	22,7
	non piscivore, eaux fraîches	0,17	1 044,8	654,2	-37,4
	piscivore, eaux froides	0,17	1 182,3	454,1	-61,6
	non piscivore, eaux froides	0,17	178,1	144,0	-19,1
Regroupé	adulte	0,33	469,9	695,8	48,1
	frai	0,33	715,1	1 003,9	40,4
	jeunes de l'année	0,33	609,6	533,6	-12,5
Somme totale			598,2	744,4	24,4

^a Stade biologique : voir les descriptions à l'annexe 1

^b Groupe = groupes de guildes thermiques (eaux froides, eaux fraîches, eaux chaudes) et de guildes trophiques (piscivore, non piscivore).

HEAT peut servir à quantifier les compromis qui pourraient se produire pour les communautés de poissons. Le personnel du Programme de protection des pêches doit examiner les extraits

et formuler des recommandations de gestion à partir d'une compréhension détaillée des résultats, mais aussi en tenant compte des facteurs qui ne sont pas inclus dans le modèle. Cette recommandation exige de bien comprendre les hypothèses, les sensibilités et les sources d'incertitude qui existent dans HEAT.

SCÉNARIO MODIFIÉ : UTILISATION DES FACTEURS D'AJUSTEMENT DE LA QUALITÉ

HEAT a la capacité d'évaluer des facteurs en plus des données actuelles sur la profondeur de l'eau, le type de substrat et la couverture végétale qui modifient la qualité attribuée à une parcelle et, par conséquent, sa productivité inférée, grâce à l'utilisation des coefficients de condition ou des facteurs d'ajustement de la qualité (FAQ). En particulier, l'utilisation de facteurs d'ajustement de la qualité a permis de prendre en compte le fetch, la température et la qualité de l'eau. Ici, nous utilisons le fetch comme exemple de facteur d'ajustement de la qualité, étant donné qu'il existe deux parcelles de substrats identiques, mais qu'un emplacement se trouve dans une zone de fetch élevé ou exposée et l'autre dans une zone de fetch faible; ces zones auront naturellement des productivités différentes (Minns *et al.* 2001). On s'attend donc à ce qu'un plus grand nombre et une plus grande variété de poissons utilisent la zone de faible fetch plus régulièrement. Toutefois, ces résultats différentiels n'apparaîtraient pas dans les extrants sans l'utilisation de ce facteur d'ajustement de la qualité, car le modèle n'utilise pas directement le fetch (bien que le fetch influe sur la croissance de la végétation dans la zone côtière). La souplesse du modèle permet cependant d'utiliser un facteur d'ajustement de la qualité pour corriger cette situation. Des directives supplémentaires sont nécessaires avant l'application d'un facteur d'ajustement de la qualité.

SCÉNARIO MODIFIÉ : VARIATIONS DU SUBSTRAT

HEAT est très sensible aux variations du substrat, particulièrement lorsqu'on examine la composition de substrats plus fins comme le sable, le limon et l'argile. Une certaine incertitude entoure la productivité relative du sable, en particulier la situation du sable de plage à 100 %, bien qu'il existe des communautés de poissons de plage (Reid et Mandrak 2009). Ce type d'habitat est relativement courant dans les zones d'aménagement, surtout dans les Grands Lacs inférieurs. Dans ce scénario, les intrants pour la profondeur et la couverture végétale demeurent les mêmes et on propose de passer de 100 % de sable de plage à 100 % de galets. Dans un plan de compensation, les promoteurs modifiaient le substrat de sable à galets en espérant que l'ajout de galets entraîne une augmentation de la productivité et de la diversité de l'habitat. Ils pensaient que les galets seraient utilisés par plus d'espèces que le sable, car ils fournissent un espace interstitiel pour la nourriture et un refuge pour les petits poissons. De plus, les galets offrent un habitat de frai pour les espèces qui se reproduisent sur des hauts-fonds. Ce n'était pas le résultat donné par HEAT. L'extrait du modèle a montré une perte pour chaque guildes individuelle, chaque stade biologique, ainsi que pour l'habitat total disponible. Il y avait un gain uniquement pour les piscivores d'eaux froides, qui pourraient être la cible de ce type de compensation de toute façon. Il faut être prudent à la fois avec l'intrant des substrats modifiés et l'interprétation des résultats. La présence de tels résultats souligne la nécessité d'examiner et de mettre à jour continuellement le Tableau de la base de données HEAT avec la documentation fondée sur les données probantes accumulées dans les publications et dans les relevés systématiques sur l'utilisation des différents types de substrats (et des autres caractéristiques de l'habitat) par toutes les espèces de poissons aux divers stades biologiques.

SCÉNARIO MODIFIÉ : CRÉATION DE TERRES HUMIDES—SUBSTRAT DE MATIÈRES ORGANIQUES/DÉTRITUS

De nombreux plans de compensation comprennent la création ou la restauration de terres humides. Les utilisateurs de HEAT ont demandé des éclaircissements sur la façon de déterminer les pourcentages de sable, de limon et d'argile à partir de ce qui est habituellement identifié dans le champ comme des substrats de matières organiques ou des détritiques, ainsi que de classer le mélange organique utilisé pour faire croître la végétation aquatique dans les terres humides nouvellement créées. Dans ce scénario, les intrants sur la profondeur de l'eau et la couverture végétale sont demeurés les mêmes et seule la combinaison de sable, de limon et de l'argile utilisée a changé. Le résultat prévu était que le pourcentage combiné de ces trois substrats donnerait des extraits semblables puisqu'ils présentent une importance secondaire pour la végétation aquatique présente et qu'ils ne variaient que subtilement. Il est probable que les combinaisons de sable, de limon et d'argile ne favorisent pas toutes la croissance de la végétation aquatique, mais ces extrêmes n'ont pas été testés ici. Pour cette étude de cas, on a comparé quatre combinaisons de sable, de limon et d'argile :

1. 34:33:33 sable:limon:argile, ou
2. 40:40:20 sable:limon:argile, ou
3. 40:20:40 sable:limon:argile, ou
4. 20:40:40 sable:limon:argile.

Les extraits du modèle ont montré des différences dans la superficie propice pondérée pour chaque combinaison qui variait considérablement par guildes par défaut, mais moins par stade biologique. La variation des extraits peut être déterminée par le pourcentage d'argile, car 100 % d'argile ne permet pas la croissance de la végétation et, par conséquent, l'extrait pourrait être trop influencé par cette apparente contradiction. D'après l'avis scientifique connexe (MPO 2019), une analyse de sensibilité a été recommandée afin de mieux formaliser la portée de la gamme des extraits découlant des variations du type de substrat.

ORIENTATIONS FUTURES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE HEAT

Des ajouts et des mises à niveau de HEAT sont en cours pour deux importantes extensions des fonctions existantes : 1) l'inclusion de la température comme variable de l'habitat et 2) la capacité d'intégrer différentes comparaisons des niveaux d'eau dans l'outil. Un sondage récent (Tymoshuk *et al.* 2017) a demandé aux utilisateurs de classer les fonctions les plus importantes à continuer d'inclure ou à ajouter au modèle. Les principales fonctions de classement indiquées étaient la température, la capacité de personnaliser les couches de l'habitat ou d'en ajouter et des pondérations supplémentaires de l'habitat (c.-à-d. plus de facteurs d'ajustement de la qualité) pour tenir compte des variables manquantes de l'habitat (Tableau 4). Parmi les autres améliorations ou extensions de l'outil, les répondants ont mentionné l'ajout ou l'achèvement de tous les ensembles de données sur les préférences régionales compilés pour le reste du Canada, ainsi que de nouvelles données écologiques et le comblement des lacunes pour certaines espèces pour lesquelles il manque des renseignements. La possibilité d'ajouter plusieurs comparaisons avant et après le scénario à un seul fichier, et l'ajout de vidéos d'aide à titre de formation pour les nouveaux utilisateurs et les utilisateurs existants ont été mis en œuvre en ligne. Divers documents d'information inédits ont été fusionnés pour produire un document d'orientation qui a été ajouté à la trousse de formation (Doka *et al.*, MPO, données inédites) qui constitue la base d'un manuel d'utilisation. De plus, certaines présentations et certains fichiers d'exemples ont été compilés sous forme de documents de formation spéciaux sur l'outil.

Tableau 4. Classement prioritaire des fonctions élargies à inclure dans HEAT. Adapté de Tymoshuk et al. 2017.

Fonction	Classement	Cote	Fonction	Classement	Cote
Température	1	16	Décalage	10	7,5
Augmenter le nombre de couches	1	16	Saisonnalité (02)	11	6,5
Pondération de l'habitat	1	16	Couverture de glace	12	5
Niveaux d'eau	4	13,5	Autre qualité	12	5
Augmenter le nombre de coefficients de condition	4	13,5	Méthodes de calcul	14	4
Productivité	6	12	Échange de données	15	3,5
Fetch	7	11	Production de cartes	16	3
Incertitude	8	10	Personnaliser les préférences	17	2
Connectivité	9	8,5	Qualité de l'eau	18	0

EXAMEN DE L'INFORMATION DE BASE

Il faut mettre à jour de façon uniforme et opportune l'information sous-jacente des bases de données fondamentales contenant les préférences en matière d'habitat et les listes de poissons dans HEAT, en particulier : pour traiter l'introduction de nouvelles espèces dans une région (p. ex. l'information sur l'habitat du gobie à taches noires dans les Grands Lacs n'est pas complète); pour traiter la perte d'espèces dans certaines régions (p. ex. certains ciscos, ménés); et pour veiller à combler les lacunes dans les données, à corriger les erreurs et à pouvoir ajouter de nouveaux renseignements pour les extensions aux nouvelles écorégions du Canada. Les préférences sont précisées dans le système par espèce et stade biologique. Étant donné que les associations avec l'habitat (qualités) sont propres au stade biologique de l'espèce, l'analyse documentaire continue devrait s'attacher à mettre à jour les préférences en matière d'habitat ou l'information sur les associations selon le stade biologique de l'espèce. Cela permet de lever les incertitudes à mesure que de nouveaux renseignements deviennent disponibles. Il faut corriger des associations négatives avec l'habitat qui ont été initialement inférées en raison du manque d'information dans la documentation (p. ex. l'absence d'association avec des zones sans couverture végétale a été déduite d'une forte corrélation avec la végétation pour certaines espèces). Ces incertitudes doivent être résolues par des recherches dirigées ou l'exploration de données et des inférences statistiques, si elles n'ont pas déjà été faites dans les années depuis les séries de publications de Lane *et al.* (1996a,b,c). Beaucoup de recherches sur l'habitat ont été publiées et entreprises depuis la parution des premiers rapports régionaux entre le milieu des années 1990 et le milieu des années 2000. Nous recommandons de mettre régulièrement à jour les tableaux de données de base avec les

nouveaux renseignements au moyen d'analyses documentaires normalisées et vérifiées. On pourrait notamment attribuer officiellement l'incertitude aux associations sous-jacentes avec l'habitat pour différents processus vitaux propres à une espèce ou à une guildes.

À mesure que d'autres couches de l'habitat seront ajoutées au système, la portée des examens devra englober ces dimensions supplémentaires de l'habitat. Par exemple, il faudra plus d'information sur les exigences thermiques des différents stades biologiques des espèces de poissons, au-delà de la compilation de Hasnain *et al.* (2013), qui a été intégrée à nos tableaux de base, mais qui est incomplète. Hasnain et d'autres continuent de trouver des moyens de combler les écarts dans les paramètres de la température en se fondant sur la proximité phylogénétique et de nouveaux renseignements. Il existe aussi de nombreuses autres variables renseignant sur l'association ou la qualité qui sont en cours de publication, comme l'information sur la tolérance de la turbidité et de l'oxygène, qui pourraient être incluses.

De plus, les examens des préférences pourraient inclure la possibilité d'ajouter l'incertitude aux données sur les préférences en matière d'habitat à ce niveau. À ce jour, l'approche adoptée dans HEAT a consisté à supposer que les préférences de chaque stade biologique de l'espèce pour des caractéristiques particulières de l'habitat (p. ex. sable dans le substrat et végétation submergée dans la couverture végétale) sont fixées par catégorie (aucune préférence, préférence faible, moyenne ou élevée) et transférables entre les réseaux hydrographiques, au moins de la façon prévue au départ. Il faudra continuer à tester ces hypothèses, en plus de l'hypothèse de l'indépendance entre les variables de l'habitat.

EXTENSIONS DES FONCTIONS DANS HEAT

Température

Les effets de la température sur les préférences des poissons adultes en matière d'habitat sont bien documentés et les poissons adultes sont classés en guildes depuis un certain temps, bien que les sources de données ne concordent pas toujours (Scott et Crossman 1973, Eakins 2017). Les renseignements sur les premiers stades biologiques et les influences de la température sont relativement connus (p. ex. éléments déclencheurs de la migration et du frai, survie des œufs et des larves), mais la classification des premiers stades biologiques en guildes thermiques n'est pas aussi avancée que pour les adultes. Hasnain *et al.* ont récemment réalisé des progrès (2013), mais jusqu'alors, on se concentrait surtout sur les périodes, en utilisant les mois et les semaines de frai, qui peuvent changer en raison des changements climatiques. Les effets de la température sur différents taux vitaux et la dynamique des populations sont liés à la saisonnalité annuelle et à la magnitude et à la variation de la température absolue. Par conséquent, la température, en raison de sa nature dynamique, s'est révélée difficile à intégrer dans les comparaisons de l'habitat statique, mais il s'agit d'une extension logique des variables déjà utilisées dans HEAT, particulièrement comme outil pour prévoir les impacts potentiels des changements climatiques. Pour pouvoir mettre en œuvre la température en tant que couche de l'habitat dans HEAT, il faut modifier des éléments de base : la façon dont l'habitat est classé (p. ex. augmenter le nombre de catégories de profondeur au-delà des cinq actuelles dans le système pour capturer la structure thermique tridimensionnelle); la façon dont les poissons sont classés, en allant au-delà des classes thermiques simples pour adultes; et la façon dont les qualités sont attribuées par parcelle.

Ce sont là les changements fondamentaux qui ont été définis et qui seraient nécessaires pour intégrer la température comme variable de l'habitat dans les évaluations de HEAT. Des changements sont requis à chaque étape d'entrée et d'analyse dans HEAT :

-
- Choix de l'emplacement – aucun changement pour l'utilisateur à cette étape, mais l'Outil peut devoir fournir une série chronologique ou des profils de la température pour un emplacement si l'utilisateur ne peut pas le faire.
 - Information écologique sur les espèces – guides thermiques par stade biologique; périodes de frai et de température de croissance optimale par espèce; limites thermiques létales supérieure et inférieure à chaque stade.
 - Tableaux de scénarios – il faut modifier les fichiers d'entrée des utilisateurs pour ajouter des fonctions (classe écologique ou descripteurs des zones abritées/exposées d'un site). D'autres renseignements d'entrée – fournis par l'utilisateur ou renseignements internes sur les séries chronologiques et les profils de température pour le site du projet – y compris les scénarios avant et après le projet si l'on prévoit que le projet provoquera des changements. S'il ne doit pas y avoir d'effets sur la dynamique thermique locale, il n'est peut-être pas nécessaire d'ajouter la température à l'évaluation HEAT pour ce projet. Cependant, la dynamique de la température est probablement aussi importante, voire plus, que les associations avec la profondeur et y est certainement liée.
 - Étape de l'analyse – le calcul des qualités, l'utilisation de FAQs et de tableaux d'extrants seront modifiés avec l'inclusion de la température comme variable de l'habitat dans HEAT. D'autres documents sur les méthodes précises vont être fournis.

Une hypothèse de la nouvelle approche, comme pour d'autres préférences en matière d'habitat, est que les préférences thermiques et les plages de températures sont transférables dans les Grands Lacs (p. ex. que les éléments déclencheurs du frai ne sont pas différents dans le lac Supérieur par rapport au lac Érié). Étant donné que l'outil est adapté à l'échelle nationale sur de vastes régions géographiques et latitudes, il faudra revenir plus en détail sur cette hypothèse.

Une méthode prototypée d'inclusion de la température dans HEAT nécessite une série chronologique annuelle des températures et l'utilisateur peut avoir à fournir des profils possibles comme intrants s'ils sont disponibles, sinon il faut avoir des méthodes permettant de créer des profils à partir d'autres renseignements. Cette exigence serait semblable à l'exigence relative aux descriptions des caractéristiques physiques du site sous forme de tableau. Ces données sur la température seraient fournies séparément de l'information au niveau de la parcelle et ne sont probablement possibles qu'à partir d'utilisateurs plus avancés qui peuvent déployer des enregistreurs de température à l'avance ou qui ont modélisé la dynamique thermique.

Sinon, le système HEAT lui-même pourrait produire les courbes de température en fonction du choix de l'emplacement du projet et les courbes saisonnières et de profondeur différencieraient selon le sous-emplacement ou la classe écologique (p. ex. la profondeur de la parcelle). Les classes écologiques locales, comme les embouchures des rivières, les terres humides, les échancrures abritées ou exposées, les zones côtières ouvertes et les zones extracôtières, peuvent avoir des profils saisonniers et de profondeur différents. Ainsi, le système ne sera pas contraint de supposer une température constante à différentes profondeurs, quel que soit l'emplacement, et la courbe d'entrée peut être ajustée à différentes températures selon la profondeur au besoin (ce qui est probablement le plus important pour les très grands lacs). Les travaux réalisés à ce jour (Minns et Shuter 2013) ont montré que la modélisation thermique saisonnière (MTS) permet, avec relativement peu d'information, de refléter la profondeur de la thermocline et d'autres caractéristiques clés du régime thermique saisonnier des eaux libres pour les lacs (Minns *et al.* 2015).

L'inclusion de la couche « température » de l'habitat permettra au système de traiter les impacts potentiels des changements climatiques sur l'habitat et la productivité en plus des impacts de divers projets. Le Secteur des sciences du MPO examine différents scénarios futurs (comme

les scénarios sur les changements climatiques) qui sont continuellement mis à jour en vue d'une utilisation possible dans HEAT comme facteur de l'état futur des courbes de température utilisées. L'accent a été mis principalement sur la création d'une architecture logicielle pour gérer la fonctionnalité, laissant à plus tard l'exploration de ses différentes utilisations potentielles, comme l'adaptation des projets et les mesures de compensation dans le contexte des changements climatiques.

La Figure 9 illustre les concepts de base de la modélisation de la température en tant que variable de l'habitat pour différents stades biologiques. Elle montre une fourchette de 0 à 1 de la qualité de l'habitat thermique sur l'axe des ordonnées en fonction des besoins en température pendant l'année pour un reproducteur printanier et sur une courbe de la température annuelle généralisée. Le calcul de la qualité du frai serait fondé sur une série de températures pour une parcelle en particulier. On pourrait ainsi calculer la durée des différentes plages thermiques pour des guides données (p. ex. le nombre de jours dans différents intervalles de température). On aurait alors l'information nécessaire pour évaluer si les températures répondent aux exigences relatives aux poissons reproducteurs et à leur frai, ainsi qu'à la croissance et pour la survie des poissons durant les stades d'alevinage (jeunes de l'année) et d'adulte.

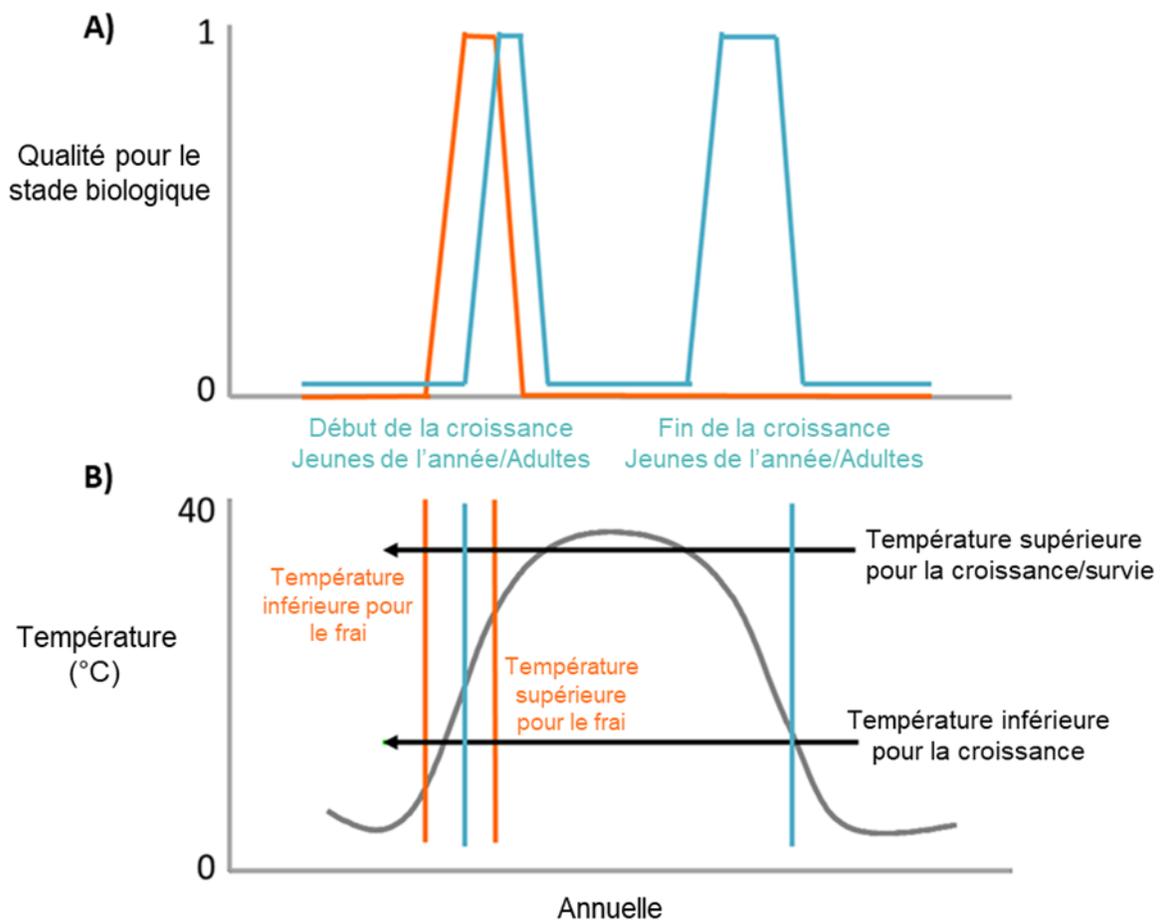


Figure 9. Approche conceptuelle de la modélisation de la température en tant que paramètre de l'habitat dans HEAT (Doka 2004, Doka et al. 2006). Le graphique inférieur est une courbe de la température généralisée dans une zone peu profonde du sud, ainsi que les plages pour le frai et la croissance/survie pour un reproducteur de printemps hypothétique. Le graphique supérieur traduit ces fenêtres en qualités (0→1).

La portée initiale des guildes de frai et d'alevinage serait semblable à celle indiquée dans Gertzen *et al.* (2012) et serait fondée sur la température, mais comprendrait les reproducteurs d'automne. Afin de simplifier l'approche pour les calculs et la nomenclature présentés aux utilisateurs, on propose les quatre guildes thermiques suivantes pour les groupes de frai : Début du printemps, Fin du printemps, Été, Automne/hiver (Tableau 5). La catégorie est attribuée à chaque espèce de poisson selon la classification thermique actuelle des adultes. Les guildes thermiques d'alevinage sont déduites de la guildes de frai, mais elles sont quelque peu liées aux classifications des adultes; ce n'est pas nécessairement le cas pour la guildes thermique du frai.

Tableau 5. Classification proposée de la guildes du frai pour les poissons d'eau douce en fonction de la saison de reproduction et des plages de températures généralisées.

Nom de la guildes du frai	Critères : Saison + Plage de températures
Début du printemps	Printemps, ≥ 6 à 12 °C
Fin du printemps	Printemps, ≥ 12 à 18 °C
Été	Été, > 18 à 28 °C
Automne/hiver	Automne/hiver, < 15 °C

On convertit en qualités une série de tableaux comptables fondés sur la structure thermique annuelle du lac selon les catégories de profondeur, la guildes et les exigences du stade biologique, ainsi que la conversion de la durée et de la magnitude de la température selon la profondeur; ces qualités sont ensuite appliquées comme un scalaire à chaque parcelle (rangée) des tableaux sur l'habitat physique que les utilisateurs téléchargent. Une autre méthode crée une cote cumulative (SPP-jours) semblable aux degrés-jours en ajoutant les superficies propices pondérées (SPP) quotidiennes accumulées sur les périodes pour former une mesure annuelle agrégée de l'habitat par plage thermique disponible. L'élaboration du module comprendra aussi les qualités de la mortalité pendant l'hiver pour le succès des jeunes de l'année ou la durée de l'hiver pour les calculs de la qualité du frai en automne/hiver en eaux froides.

On suppose toujours que les parcelles d'une profondeur comprise entre 0 et 5 m sont dans l'épilimnion; 0 est isothermique, les parcelles d'une profondeur de 5 m ou plus peuvent être stratifiées ou non selon les prévisions de la modélisation thermique saisonnière (MTS) pour le lac ou la sous-zone. La modélisation thermique saisonnière et la prévision des cycles thermiques annuels pour les grands et petits lacs intérieurs sont bien avancées. Une hypothèse clé des méthodes actuelles est que tous les œufs sont benthiques. On utilise les températures au fond pour calculer la survie des œufs selon la catégorie de profondeur de la parcelle et si elle se trouve dans la période du frai (Teletchea *et al.* 2009). Pour les autres stades biologiques, on extrait les températures pélagiques ou benthiques des profils quotidiens générés dans le code. Si une température dans le profil permet d'atteindre les exigences minimales pour la croissance ou la survie, on met la parcelle à l'échelle en conséquence. D'après la description, il peut être conseillé d'utiliser des groupes de poissons dans l'évaluation selon un système de classification benthique ou pélagique, qui ne sont pas utilisés actuellement. D'autres travaux visant à combler les lacunes dans la classification thermique des poissons (Hasnain *et al.* 2013) sont en cours, et il faudra avoir les préférences sous-jacentes en matière de température par stade biologique et espèce pour pouvoir achever le module de température et entamer les essais.

Niveaux d'eau

Dans de nombreuses situations, il faut tenir compte des niveaux d'eau actuels et historiques/futurs pour évaluer les impacts d'un projet et les mesures de compensation requises. On s'attend en général à ce que les niveaux futurs soient plus variables que les niveaux actuels, réduisant en partie la fiabilité des évaluations qui ne tiennent pas compte de ce changement potentiel. Les promoteurs devront donc examiner les changements prévus des niveaux d'eau dans leur zone d'étude, car les variations naturelles peuvent avoir une incidence sur les habitats littoraux et leur disponibilité (Mortsch *et al.* 2006). À l'heure actuelle, les évaluations réglementaires des projets ne portent habituellement que sur un seul niveau d'eau, le niveau de référence faible, le niveau d'eau moyen, le 80^e centile (Grands Lacs seulement) ou peut-être, maintenant, le niveau d'eau élevé en fonction des avis scientifiques et stratégiques. L'inclusion de la capacité d'évaluer les effets de l'aménagement à différents niveaux d'eau constitue une amélioration importante du système d'évaluation actuel.

Il n'est pas prévu que HEAT permette de prédire les niveaux d'eau futurs. Comme pour la température, le promoteur fournirait plutôt ses propres scénarios prêts à être mis à l'essai. Cependant, l'élaboration de normes qui exigent d'exécuter les scénarios à des séries de niveaux d'eau fixes (p. ex. niveau d'eau bas, niveau d'eau moyen, 80^e centile et niveau d'eau élevé) peut donner une indication de la variation possible des impacts du projet et des gains tirés des mesures de compensation dans différentes conditions de niveau d'eau.

La capacité de comparer plusieurs scénarios dans HEAT visait principalement à évaluer différents scénarios de niveau d'eau pour un seul projet. Toutefois, cette caractéristique permet également d'évaluer d'autres mesures/projets et les mesures de compensation dans la plage naturelle des variations des niveaux d'eau au fil du temps, ainsi que l'efficacité prévue des mesures compte tenu des tendances cycliques du climat (c.-à-d. l'incidence que les mesures pourraient avoir sur les fonctions de l'habitat du poisson pendant les périodes de sécheresse, de niveau moyen et de crue). Voir une illustration de la variation à long terme des niveaux d'eau annuels dans les Grands Lacs sur la Figure 10; dans les zones à faible pente, une variation de 1 à 2 m des niveaux d'eau peut avoir des répercussions sur des hectares en superficie et l'habitat disponible.

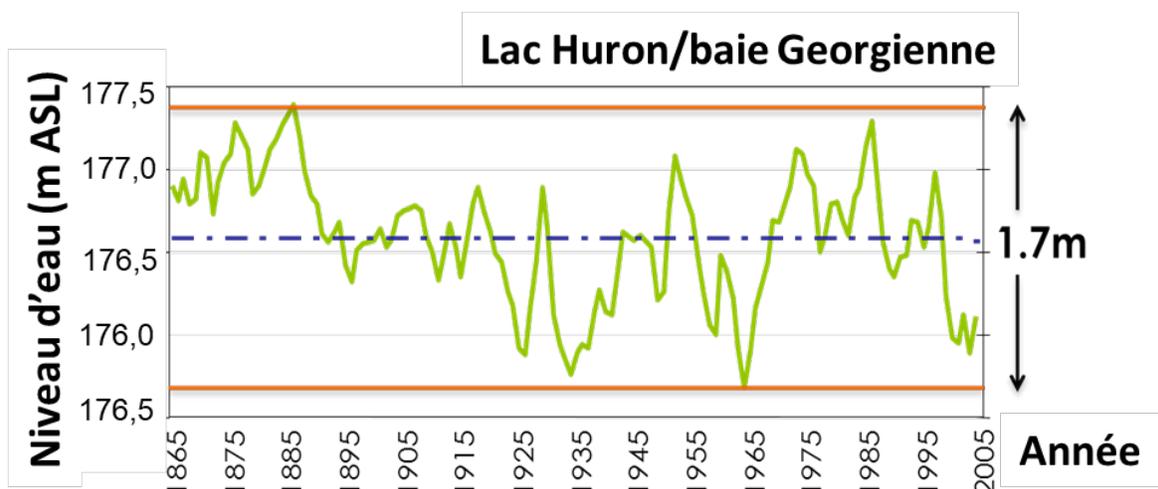


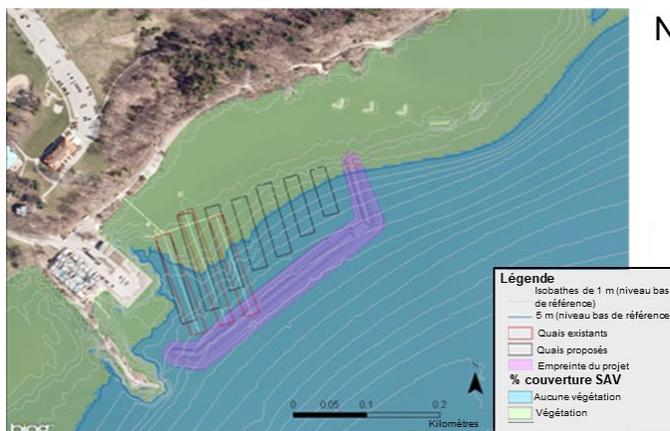
Figure 10. Variation des niveaux d'eau moyens annuels dans la baie Georgienne du lac Huron, de 1865 à 2005, en mètres au-dessus du niveau de la mer (m ASL) (selon le système de référence international des Grands Lacs de 1985; créé à partir des données disponibles dans Smith *et al.* [2016]). La ligne bleue tiretée représente le niveau moyen. Les lignes orange sont des niveaux minimum et maximum pendant cette période.

Un changement des niveaux d'eau de référence n'a aucune incidence sur la fonctionnalité de base de HEAT. L'utilisateur fournit toujours les scénarios d'entrée par parcelle dans le même format, mais les catégories de profondeur des parcelles et le nombre de parcelles qui sont sèches peuvent varier entre les ensembles de comparaisons des niveaux d'eau. Les utilisateurs auront besoin d'orientations sur les niveaux d'eau à utiliser comme valeurs de référence, et celles-ci sont faciles à fournir compte tenu de l'emplacement choisi dans les Grands Lacs proprement dits. Il est facile de créer des tableaux de recherche en centiles pour chaque Grand Lac à partir de données à long terme, comme sur la Figure 10 pour guider les utilisateurs, mais c'est la Politique sur la protection des pêches, peut-être avec des conseils des scientifiques de MPO pour la relier à la productivité continue, qui devrait choisir la période de référence (c.-à-d. historique enregistré ou plus récent sur 30 ans) pour les données sous-jacentes des tableaux. Dans le cas des lacs intérieurs plus petits, on utiliserait la connaissance des fluctuations à long terme et saisonnières des niveaux d'eau, si elle est disponible.

La Figure 11 donne un exemple de niveau d'eau bas par rapport au 80^e centile. Les différences entre les superficies propices pondérées des niveaux d'eau supérieur et inférieur étaient principalement attribuables aux éléments suivants :

1. l'expansion de la végétation aquatique submergée dans la zone du projet dans les profondeurs moins grandes prévues pendant des conditions de niveau d'eau bas;
2. une plus grande proportion du remblai devient une perte (c.-à-d. terre) lorsque le niveau d'eau est bas.

Cela a entraîné la perte de 92,5 m² supplémentaires de superficie propice pondérée pour la communauté de poissons dans son ensemble à tous les stades biologiques dans les conditions de référence de niveau d'eau bas. Les compromis entre les habitats des différents stades biologiques et les guildes thermiques et piscivores doivent être pris en compte, mais les tendances des gains et des pertes entre les stades biologiques sont semblables entre les scénarios.



Niveau d'eau bas de référence (74.2 m)

Somme pondérée	Pondération	Avant	Après	Différence
Frai	.33	5848.1	3161.9	-2686.2
Adulte	.33	1357.0	5025.5	3668.5
Jeunes de l'année	.33	6820.5	4358.7	-2461.8
Somme totale		4675.2	4182.0	-493.2

Niveau d'eau du 80^e centile (75.2 m)

Somme pondérée	Pondération	Avant	Après	Différence
Frai	.33	6008.4	3791.6	-2216.8
Adulte	.33	1614.2	5785.9	4171.7
Jeunes de l'année	.33	7698.9	4542.1	-3156.8
Somme totale		5107.2	4706.5	-400.7

Figure 11. Un projet de remblai (le brise-lames illustré en mauve) est illustré avec l'expansion des quais flottants de la marina (rectangles noirs) et l'étendue probable de la végétation aquatique submergée (verte) dans des conditions de référence de niveau d'eau bas. L'extrant du projet est présenté pour les scénarios de niveau d'eau du 80^e centile (75,2 m ASL) et de niveau d'eau bas (75,2 m ASL), avec la différence de la somme pondérée pour les trois stades biologiques (adulte, frai et jeunes de l'année; voir l'annexe 1. ASL = au-dessus du niveau de la mer).

Dans les zones à l'extérieur des lacs pour lesquelles on dispose de données sur le niveau bien mesurées, il serait important de connaître l'étendue des changements du littoral et de la

profondeur possibles dans des conditions de niveau d'eau variables en général, afin de pouvoir définir correctement les scénarios de niveau d'eau élevé, moyen ou bas pour évaluer les gains et les pertes relatifs découlant des impacts du projet et des mesures de compensation selon différentes valeurs de référence. Les fluctuations du niveau d'eau peuvent également avoir une incidence sur d'autres caractéristiques de l'habitat, comme la végétation. Il est donc important de tenir compte des connaissances locales sur la façon dont elles peuvent être touchées dans les différentes conditions de référence et les variations naturelles du site. Des modèles simples de réaction de la végétation, compte tenu des conditions locales de limpidité de l'eau, peuvent également être utiles pour élaborer des scénarios avant et après le projet.

APPLICATIONS NATIONALES OU APPUYÉES PAR LE MPO

Pour rendre le programme HEAT disponible à l'échelle nationale, il faudrait vérifier tous les renseignements de base (qualités de l'habitat, listes d'espèces, guildes, etc.) à l'échelle nationale. Il faudrait également un cadre géographique de référence pour l'application nationale (p. ex. une série de bases de données écorégionales ou à une autre échelle appropriée). Une version préliminaire d'un système national tiendrait probablement compte des fonctions de base de HEAT, mais n'inclurait pas immédiatement la fonctionnalité complète disponible pour la région des Grands Lacs. Le déploiement d'une version nationale ou interne de HEAT sur les serveurs du MPO nécessiterait également l'inclusion de versions en français et de mises à jour de la normalisation des sites Internet. Si on le souhaite, une version marine pourrait être définie, mais la publication d'une version marine pourrait prendre beaucoup de temps. Toutes ces applications de l'outil ont suscité de l'intérêt. Une version nationale en anglais est la version la plus proche d'être réalisée, puisque bon nombre des bases de données régionales sont déjà en place. Une version nationale des tableaux HEAT sous-jacents peut être jugée souhaitable à court terme.

RÉSEAUX FLUVIAUX

La capacité d'évaluer les impacts des projets d'aménagement sur l'habitat du poisson dans les réseaux fluviaux est essentielle pour les industries minière et hydroélectrique, ainsi que pour celles qui ont des traversées linéaires susceptibles de causer des dommages importants. Les plans actuels prévoient l'élaboration continue d'une version de RiverHEAT après l'examen et l'achèvement des anciens et des nouveaux éléments proposés dans LakeHEAT. Bien qu'on souhaite accélérer le développement, d'autres outils comme pHabSim (Grenney *et al.* 1993) sont disponibles dans l'intervalle, malgré certaines critiques récentes. Un avantage offert par des méthodes uniformes dans les versions pour les rivières et les lacs du même outil ou d'un outil semblable serait d'avoir des unités de mesure semblables dans les extrants afin de permettre des échanges possibles entre les impacts et les mesures de compensation si l'un ou l'autre consiste à transformer une rivière en habitat lacustre.

Compte tenu des différences entre les réseaux fluviaux et lacustres, la définition de la portée devrait commencer par une évaluation stratégique de l'approche de modélisation dans la version simplifiée, RiverHEAT, élaborée par Minns (2010). La comparaison avec d'autres modèles fluviaux et l'examen des variables de l'habitat incluses dans RiverHEAT, ainsi que la mise à jour des tableaux d'utilisation des différentes variables de l'habitat par espèce de poisson fluviale, constitueraient une première étape essentielle. Jusqu'à maintenant, le développement d'applications logicielles s'est concentré sur LakeHEAT, y compris l'ajout de fonctions et la fourniture de soutien et de formation aux utilisateurs du Programme de protection des pêches, aux promoteurs de projet et au personnel hautement qualifié pour mettre en œuvre et programmer l'outil.

AUTRES ASPECTS DE HEAT

Une fois que les éléments de base ont été préparés pour un projet d'aménagement particulier à un endroit précis, les parties doivent souvent tenir compte d'un certain nombre d'autres facteurs dans l'évaluation :

- l'évaluation de référence;
- les FAQs;
- l'incertitude, les décalages temporels et l'actualisation;
- la stratégie d'évaluation.

Chacun de ces facteurs est présenté ci-après avec des orientations sur leur mise en œuvre.

Évaluations de référence

Le point de départ de la conception du plan de mise en œuvre d'un projet devrait être une évaluation de référence du site. Cette évaluation de référence devrait comprendre une première analyse HEAT des conditions avant et après le projet, sans condition ni qualification pour une parcelle, un stade biologique ou une guildes; les plans du projet sont à peu près définis avant que les conceptions détaillées ne soient préparées. Cette analyse fournit un contexte à l'amélioration des spécifications de l'évaluation et à la modification progressive du plan du projet à mesure que toutes les parties travaillent ensemble pour atteindre le résultat final souhaité, soit aucun dommage sérieux. Il faut également prendre en compte le contexte du site, tout comme son importance relative dans le contexte de la zone (c.-à-d. dans le paysage environnant), ainsi que la présence d'espèces en péril ou d'habitats relativement rares ou essentiels, avant d'aller de l'avant.

Facteurs d'ajustement de la qualité

Outre les caractéristiques de l'habitat physique utilisées pour préciser les modèles de qualité pour des groupes de poissons, d'autres facteurs contextuels ou conditionnels peuvent influencer la détermination de la variation nette de la productivité continue. Les facteurs d'ajustement de la qualité (FAQ) peuvent être physiques, chimiques ou biologiques. Ce sont des multiplicateurs supplémentaires pour chaque parcelle d'habitat qui sont échelonnés entre 0 et 1, comme les indices de la qualité. Par exemple, la mise en œuvre d'un projet peut entraîner les effets suivants :

- les éléments clés de la communauté cible de poissons ne peuvent plus accéder aux habitats modifiés (physiques);
- une augmentation de l'enrichissement en éléments nutritifs des eaux, provoquant une baisse des niveaux d'oxygène (produits chimiques);
- un accès accru, permettant à des espèces envahissantes indésirables d'entrer dans les habitats et diminuant ainsi la qualité globale de l'habitat pour les poissons présents (biologiques);
- des changements de la végétation riveraine et du couvert arboré, contribuant à ramener les températures des cours d'eau ou des zones riveraines à un état plus frais antérieur.

Une définition plus large de ces facteurs devrait faire l'objet d'un examen distinct, et leur utilisation applicable envisagée d'un point de vue scientifique et réglementaire. Dans certains cas, les FAQs devraient devenir des variables supplémentaires dans la matrice de l'habitat s'ils sont couramment utilisés ou considérés par beaucoup comme étant des facteurs importants à

inclure jusqu'à ce qu'on leur attribue des qualités plus formelles, comme pour les variables principales de HEAT.

Intégration de l'incertitude, des décalages temporels et de l'actualisation

L'incertitude des modèles et du processus décisionnel a été explorée dans Minns et Moore (2003). Ces auteurs ont préconisé une approche plus prudente des ratios de compensation en raison de l'incertitude. On pourrait inclure la certitude des associations des espèces avec l'habitat dans les calculs en mettant à l'échelle les valeurs d'association fondées sur notre confiance scientifique. On pourrait appliquer des approches de méta-analyses plus systématiques à partir de l'analyse documentaire dans la prochaine génération de tableaux de base de l'habitat dans HEAT pour attribuer la confiance. De plus, la modélisation de la répartition des espèces, y compris les modèles logiciels MaxEnt, pourrait être incluse de façon plus officielle dans les tableaux d'association avec l'habitat puisque les valeurs d'association relatives sont mieux connues (McCusker *et al.* 2014).

Minns (2006) a démontré comment on peut intégrer les décalages dans les calculs de la variation nette. La méthodologie consiste à utiliser des taux d'actualisation permettant d'actualiser les valeurs futures des parcelles par rapport à leur valeur actuelle. Dans les analyses socio-économiques, la sagesse conventionnelle suppose un taux d'actualisation annuel d'environ 3 %. Bien que l'utilisation de taux d'actualisation soit controversée pour les analyses environnementales, il ne fait aucun doute qu'ils doivent être utilisés même lorsqu'ils sont négatifs, ce qui signifie que l'habitat aura une plus grande valeur à l'avenir qu'à l'heure actuelle.

On supposerait une transition linéaire progressive des états d'avant à après le projet utilisant la superficie propice pondérée de la parcelle comme unité, qui permet d'atteindre graduellement des niveaux de productivité continus, comme dans le cas d'un milieu humide planté, par exemple, où il faut parfois 5 ou 10 ans pour qu'il devienne pleinement fonctionnel. Ensuite, on pourrait appliquer ponctuellement une analyse du décalage temporel sous forme de chiffrer, l'utilisateur fixant le taux d'actualisation. Il pourrait être un peu plus compliqué de l'intégrer à l'analyse d'intervalles, puisque les intervalles devraient être joints pour chaque parcelle dans les scénarios avant et après le projet. Il reviendrait à l'utilisateur d'accroître les mesures de compensation dans les scénarios révisés pour trouver un point d'équilibre, compte tenu de l'échelonnement des projets et des gains actualisés en raison d'une perte de production non réalisée à mesure que les phases sont mises en place et deviennent fonctionnelles. Cette fonction de décalage temporel peut facilement être développée comme un ajout aux fonctions de base de HEAT.

Conversion de l'habitat disponible en mesures de productivité

Bien que les approches de l'habitat disponible relatif (SUP [superficie utilisable pondérée], superficie propice pondérée, procédure d'évaluation de l'habitat, etc.) soient toutes considérées comme des substituts relatifs de la production/productivité, il est possible de convertir directement les estimations de la qualité ou de l'habitat disponible pour un emplacement en unités de productivité. Il est également théoriquement possible d'étudier des méthodes de conversion de différentes superficies propices pondérées à différents stades biologiques en équivalents adultes ou de convertir également les gains et les pertes relatifs d'habitat disponible en production perdue (Randall *et al.* 2017). On peut utiliser des scalaires pour la conversion selon l'écotype ou l'emplacement géographique de l'habitat (c.-à- d. des points de référence régionaux ou fondés sur une classe écologique) pour estimer la productivité globale générée par l'habitat disponible dans différentes zones. Bien qu'elle soit exclue du changement d'habitat proximal (Clarke et Bradford 2014), la conversion peut mettre directement en contexte les

scénarios avant et après le projet pour les variations possibles de la productivité continue. Les deux approches émettent des hypothèses au sujet de la productivité réellement réalisée puisqu'il y a d'autres facteurs en jeu qui ne sont pas liés à l'habitat en soi (dynamique trophique, variabilité interannuelle).

Réserves d'habitat et évaluation des effets cumulatifs

HEAT fournit une méthode uniforme et normalisée pour évaluer les changements de l'habitat, même entre des types d'habitats différents; une évaluation cumulative des gains et des pertes nets dans une zone est donc possible. L'évaluation cumulative des effets continus de l'aménagement et des mesures de compensation peut être utilisée dans la mise en réserve des mesures de compensation (si la compensation est effectuée avant les impacts et qu'elles ont été suivies à l'aide de HEAT). Dans les secteurs préoccupants des Grands Lacs inférieurs, cette approche a été appliquée dans un cadre comptable et un outil de planification de la conservation (c.-à-d. des approches de gestion par zone) (Doka *et al.*, MPO, données inédites).

Les données des relevés et de la surveillance de l'habitat et par pêche à l'électricité provenant des sites des cours d'eau peuvent servir à déterminer des points de référence propres à la région pour la capacité de production de l'habitat. Pour illustrer cette méthode, on a utilisé comme projet pilote des données par pêche à l'électricité en rivière dans trois régions : la baie de Fundy (Nouvelle-Écosse), Miramichi (Nouveau-Brunswick) et Toronto (Ontario). Des analyses de régression et de covariance ont été utilisées pour quantifier provisoirement les relations entre la superficie du relevé et la production (superficie- P) pour chaque région. Les indices de la productivité de l'habitat (IPH) propres à la région, mesurés en fonction de la biomasse du poisson multipliée par le rapport P/B (additionné pour toutes les espèces qui cohabitent), ont été déterminés par les différences d'élévation d'un modèle d'ANCOVA. Des données semblables sur la biomasse des poissons de plusieurs régions pourraient être tirées à l'avenir de programmes de surveillance fondés sur des données scientifiques ou de données de relevé existantes (p. ex. évaluations de la population de saumon).

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

À l'heure actuelle, HEAT possède les fonctions de base des Méthodes justifiables/HAAT. Il serait simple d'ajouter d'autres bases de données régionales et une base de données nationale intégrée serait possible. Le code R pour la programmation permet d'inclure des modules supplémentaires pour une utilisation dans un groupe de développement plus large. Il est essentiel que le MPO soit en mesure d'assurer l'intégrité du système de base afin de maintenir un sain équilibre entre les utilisations concurrentes par les scientifiques, les organismes de réglementation, les consultants et les promoteurs. L'utilisation de chiffriers Excel pour les intrants et les extrants facilite l'accès des utilisateurs. L'élaboration de nouveaux modules pour les considérations relatives à l'habitat thermique lacustre et l'évaluation des impacts de la fluctuation du niveau d'eau sont bien avancées. Plusieurs modules de HEAT, comme l'incertitude, le décalage temporel et les rapports de compensation, étaient présents dans les versions précédentes de HEAT. Idéalement, « l'apprentissage par la pratique » continu chez les scientifiques, les utilisateurs et les développeurs (au gouvernement et à l'extérieur) élargira la portée des applications de HEAT à mesure que la politique du MPO continuera d'évoluer.

Comme HEAT continue d'être appliqué pour l'examen réglementaire, il est essentiel de connaître et de comprendre les hypothèses, les incertitudes, les sensibilités, ainsi que l'exactitude et la précision du modèle. Il faudrait fournir des orientations supplémentaires sur l'utilisation et l'interprétation des résultats avant d'étendre le modèle à d'autres domaines. Il est nécessaire de publier de certaines hypothèses implicites, notamment :

-
- les hypothèses utilisées pour le transfert des données de l'analyse documentaire aux données des tableaux de base (y compris les préférences des poissons, les catégories de substrat, les préférences en matière de profondeur, etc.);
 - le niveau de précision requis pour chaque catégorie d'intrant pour que l'extrait soit exact;
 - la clarification des points de référence de la profondeur ou des normes de niveau d'eau à utiliser pour les scénarios (p. ex. laisse des hautes eaux, laisse des basses eaux ou saison d'utilisation – niveau d'eau fonctionnel [80^e centile]).

De plus, pour appliquer l'outil, il faut donner des directives précises aux promoteurs sur les éléments suivants :

- comment déterminer les pourcentages de composition du substrat pour les substrats de matières organiques et de détritiques;
- comment évaluer et enregistrer les mélanges de substrats fins qui créent un habitat transitoire, en particulier dans les zones côtières ouvertes;
- comment intégrer une couverture dans l'eau qui n'est pas une catégorie incluse dans le modèle, comme les débris ligneux (certains avis précédents sont donnés dans le document d'orientation), et comment représenter des structures artificielles comme des encaissements ou des quais.

Il faudra décrire les hypothèses, les sensibilités, les incertitudes, ainsi que la précision et l'exactitude pour le moment et la façon d'utiliser les facteurs d'ajustement de la qualité. Par exemple, y a-t-il un seuil minimal nécessaire pour le fetch avant de modifier le facteur d'ajustement de la qualité? L'ampleur de l'impact du fetch change-t-elle avec la distance du fetch de façon non linéaire et, par conséquent, le FAQ changerait-il? Quelles méthodes de mesure faut-il utiliser pour le fetch?

De plus, 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 pouvoir s'assurer que le modèle est utilisé et interprété de manière claire et cohérente. Cette compréhension peut être obtenue au moyen d'une analyse de sensibilité qui examine les associations entre les espèces de poissons et les substrats fins, ainsi que les densités de végétation.

La précision de ces éléments facilitera grandement l'utilisation de l'outil comme norme, l'ajout de nouvelles composantes et l'expansion à l'échelle nationale.

Les résultats des recherches scientifiques en cours sur les liens entre l'habitat, la biodiversité et la productivité appuieront l'extension des fonctions de HEAT, au-delà de l'habitat propice disponible, aux estimations de la productivité conformément aux lois et aux politiques actuelles du MPO.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Bill C-38, *Jobs, Growth and Long-term Prosperity Act*. 2012. 1st Session, 41st Parliament, 60–61 Elizabeth II, 2011–2012, House of Commons of Canada (assented to 29 June 2012).
- Bill C-45, *Jobs and Growth Act*. 2012. 1st Session, 41st Parliament, 60–61 Elizabeth II, 2011–2012, House of Commons of Canada (assented to 14 December 2012).
- Bradbury, C., Roberge, M.M., and Minns, C.K. 1999. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in Newfoundland and Labrador, with emphasis on lake habitat requirements](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2485: vii + 150 p.

-
- Chu, C., Moore, J.E., Bakelaar, C.N., Doka, S.E., and Minns, C.K. 2005. [Supporting data for the habitat-based models developed for northern pike, smallmouth bass, largemouth bass, and yellow perch](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1160: iv + 31 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.
- Coker, G.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 2001. [Morphological and ecological characteristics of Canadian freshwater fishes](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2554: iv + 89 p.
- Doka, S.E., 2004. Spatially Explicit Habitat Characterization, Suitability Analysis, Verification, and Modelling of the Yellow Perch, *Perca flavescens* (Mitchell 1814), Population in Long Point Bay, Lake Erie. Thesis (Ph.D.) McMaster University, Hamilton, ON. 343 p.
- Doka, S.E., Bakelaar, C., and Bouvier, L. 2006. Coastal Wetland Fish Community Assessment of Climate Change in the Lower Great Lakes. *In* Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerability to Climate Change and Response to Adaptation Strategies. *Edited by* L. Mortsch, J. Ingram, A. Hebb, and S. Doka. Environment Canada and the Department of Fisheries and Oceans, Toronto, ON. pp. 9–19.
- Eakins, R.J. 2017. [Ontario Freshwater Fishes Life History Database](#). Version 4.74 [online]. (accessed 2017).
- Evans, C.E., Reist, J.D., and Minns, C.K. 2002. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in the Northwest Territories and Nunavut, with major emphasis on riverine habitat requirements](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2614: xiii + 169 p.
- Government of Canada. 1985. [Fisheries Act \(R.S.C., 1985, c. F-14\)](#). Department of Justice Canada, Ottawa, ON. ix + 102 p.
- Frezza, T., and Minns, C.K. 2002a. [Analysis of the relationship between fish habitat classifications and topological lake units](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2600: vi + 15 p.
- Frezza, T., and Minns, C.K. 2002b. [Assessing fish habitat supply and potential responses to habitat manipulation in small Canadian Shield lakes](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2599: vi + 27 p.
- Gertzen, E.L., Doka, S.E., Minns, C.K., Moore, J.E., and Bakelaar, C. 2012. Effects of water levels and water level regulation on the supply of suitable spawning habitat for eight fish guilds in the Bay of Quinte, Lake Ontario. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 15(4): 397–409.
- Gertzen, E.L., Doka, S.E., Murphy, S.C., Fung, S.R., Minns, C.K., 2020. [Index-of-probable-habitat-use guidance for restoration activities in the Toronto region](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. viii + 32 p.
- Government of Canada. 1990. [Canada's Green Plan: Canada's Green Plan for a healthy environment](#). Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, ON. xi + 174 p.
- Grant, C.G.J., and Lee, E.M. 2004. [Life History Characteristics of Freshwater Fishes Occurring in Newfoundland and Labrador, with Major Emphasis on Riverine Habitat Requirements](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2672: xii + 262 p.
- Grenney, W., Senti, T., and Bovee, K. 1993. Knowledge-based System for Evaluating In-Stream Habitat. *In* Proceedings of the IFIP TC5/WG5.11 Working Conference on Computer Support for Environmental Impact Assessment (CSEIA '93). *Edited by* G. Guariso and B. Page. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands. pp. 223–232.

-
- Hasnain, S.S., Shuter, B.J., and Minns, C.K. 2013. Phylogeny influences the relationship linking key ecological thermal metrics for North American freshwater fish species. *J. Fish. Aquat. Sci.* 70(7): 964–972.
- Hayes, D.B., Ferreri, C.P., and Taylor, W.W. 1996. Linking fish habitat to their population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(S1): 383–390. doi: [10.1139/f95-273](https://doi.org/10.1139/f95-273).
- ICMM (International Council on Mining and Metals) and IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2013. Independent report on biodiversity offsets. International Council on Mining and Metals, London, UK. 60 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996a. [Spawning habitat characteristics of Great Lakes fishes](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2368: v + 48 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996b. [Nursery habitat characteristics of Great Lakes fishes](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2338: v + 42 p.
- Lane, J.A., Portt, C.B., and Minns, C.K. 1996c. [Adult habitat characteristics of Great Lakes fishes](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2358: v + 43 p.
- Langhorne, A.L., Neufeld, M., Hoar, G., Bourhis, V., Fernet, D.A., and Minns, C.K. 2001. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in Manitoba, Saskatchewan, and Alberta, with major emphasis on lake habitat requirements](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2579: 170 p.
- MacNeil, J.E., Murphy, S., Ming, D., and Minns, C. K. 2008. [Analysis of infilling projects affecting fish habitat in the Great Lakes \(1997–2001\)](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2840: vi + 194 p.
- McCusker, M. R., Mandrak, N. E., Doka, S., Gertzen, E. L., van Wieren, J. F., McKenna, J. E., Carlson, D.M., and Lovejoy, N. R. 2014. Estimating the distribution of the imperiled pugnose shiner (*Notropis anogenus*) in the St. Lawrence River using a habitat model. *J. Great Lakes Res.* 40(4): 980–988.
- 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. 2006. Compensation ratios needed to offset timing effects of losses and gains and achieve no net loss of productive capacity of fish habitat. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 1172–1182.
- Minns, C.K. 2010. [Ontario stream fishes habitat associations and derivation of a simple habitat assessment model](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2909: vi + 31 p.
- Minns, C.K., and Moore, J.E. 2003. Assessment of net change of productive capacity of fish habitats: the role of uncertainty and complexity in decision-making. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60: 100–116.
- Minns, C.K., and Nairn, R.B. 1999. Defensible Methods: applications of a procedure for assessing developments affecting littoral fish habitat on the lower Great Lakes. *In Aquatic Restoration in Canada. Edited by T.P. Murphy and M. Munawar.* Backhuys Publishers, Kerkwerve, The Netherlands. pp. 15–35.
- Minns, C.K., and Shuter, B.J. 2013. A semi-mechanistic seasonal temperature-profile model (STM) for the period of stratification in dimictic lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 70(2): 169–181.
-

-
- Minns, C.K., King, S.W., and Portt, C.B. 1993. [Morphological and ecological characteristics of 25 fishes occurring in Great Lakes' Areas of Concern](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci., 2209: vi + 25 p.
- Minns, C.K., Meisner, J.D., Moore, J.E., Greig, L.A., and Randall, R.G. 1995. [Defensible Methods for Pre- and Post-Development Assessment of Fish Habitat in the Great Lakes. I. A prototype methodology for headlands and offshore structures](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2328: xiii + 65 p.
- Minns, C.K., Randall, R.G., Moore, J.E., and Cairns, V.W. 1996. A model simulating the impact of habitat supply limits on northern pike, *Esox lucius*, in Hamilton Harbour, Lake Ontario. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53(Suppl. 1): 20–34
- Minns, C.K., Brunette, P.C.E., Stoneman, M., Sherman, K., Craig, R., Portt, C.B., and Randall, R.G. 1999. Development of a fish habitat classification model for littoral areas of Severn Sound, Georgian Bay, a Great Lakes' Area of Concern. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2490: ix + 86 p.
- Minns, C.K., Moore, J.E., Stoneman, M., and Cudmore-Vokey, B. 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.
- Minns, C.K., Shuter, B.J., and Fung, S. 2015. Regional Projections of Climate Change Effects on Thermal Habitat Space for Fishes in Stratified Ontario Lakes. Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Climate Change Research Report 41: 32 p.
- Mortsch, L., Ingram, J., Hebb, A., and Doka S. (eds) 2006. Great Lakes coastal wetland communities: vulnerability to climate change and response to adaptation strategies. Final report submitted to the Climate Change Impacts and Adaptation Program, Natural Resources Canada. Environment Canada and the Department of Fisheries and Oceans. Toronto, ON. 251 p. + Appendices.
- MPO. 1986. [Politique de gestion de l'habitat du poisson](#). Direction générale des communications, Pêches et Océans Canada, Ottawa, ON. 28 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, ON. 22 p.
- 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.
- Portt, C.B., Minns, C.K., and King, S.W. 1988. [Morphological and ecological characteristics of common fishes in Ontario lakes](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1991: vi + 39 p.
- Portt, C.B., Coker, G., and Minns, C.K. 1999. [Riverine habitat characteristics of fishes of the Great Lakes watershed](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2481: vii + 62 p.
- Randall, R.G., Bradford, M.J., Koops, M.A., and van der Lee, A. 2017. [Potential for measuring production forgone as a metric for assessing project impacts to habitat on fisheries productivity](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/020. iv + 15 p.
- Reid, S.M., and Mandrak, N.E. 2009. Lake Erie beaches: diel variation in fish assemblage structure and implications for monitoring. Hydrobiologia 618(1): 139–148.

-
- Richardson, E.S., Reist, J.D., and Minns, C.K. 2001. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in the Northwest Territories and Nunavut, with major emphasis on lake habitat requirements](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2569: vii + 146 p.
- Roberge, M., Slaney, T., and Minns, C.K. 2001. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in British Columbia with major emphasis on lake habitat characteristics](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2574: x + 189p.
- Roberge, M., Hume, J.M.B., Minns, C.K., and Slaney, T. 2002. [Life history characteristics of freshwater fishes occurring in British Columbia and the Yukon, with major emphasis on stream habitat characteristics](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2611: xiv + 248 p.
- Scott, W.B., and Crossman, E.J. 1973. Freshwater fishes of Canada. Fish. Res. Board Can. Bull. 184: 966 p.
- Smith, J.P., Hunter, T.S., Clites, A.H., Stow, C.A., Slawewski, T., Muhr, G.C., and Gronewold, A.D. 2016. An expandable web-based platform for visually analyzing basin-scale hydro-climate time series data. Environ. Model. Softw. 78: 97–105.
- Teletchea, F., Fostier, A., Kamler, E., Gardeur, J.-N., Le Bail, P.-Y., Jalabert, B., and Fontaine, P. 2009. Comparative analysis of reproductive traits in 65 freshwater fish species: application to the domestication of new fish species. Rev. Fish Biol. Fish. 19(4): 403–430.
- Terrell, J.W. 1984. Proceedings of a workshop on fish habitat suitability index models. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85(6): 393 p.
- Terrell, J.W., McMahon, T.E., Inskip, P.D., Raleigh, R.F., and Williamson, K.L. 1982. Habitat suitability models: Appendix A. Guidelines for riverine and lacustrine applications of fish HSI models with the habitat evaluation procedures. U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-82/10.A.: 65p.
- Tymoshuk, J., Abdel-fattah, S., Gertzen, E., and Doka, S. 2017. [Habitat Ecosystem Assessment Tool \(HEAT\) Survey Results](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3214: xx + 25 p.
- USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service). 1981. Standards for the development of habitat suitability index models for use in the Habitat Evaluation Procedures. U.S. Fish and Wildlife Service Release No. 1-81 103-ESM: 171 p.
- Walters, C.J., and Holling, C.S. 1990. Large scale management experiments and learning by doing. Ecology 71: 2060–2068.

ANNEXE 1. GLOSSAIRE DES TERMES

Coefficient de condition : ancien nom du facteur d'ajustement de la qualité (FAQ; voir la définition ci-après).

Pêches commerciales, récréatives et autochtones (CRA) :

Pêche **commerciale** : le poisson est pêché en vertu d'un permis aux fins d'être vendu, commercialisé ou troqué.

Pêche **récréative** : le poisson est pêché en vertu d'un permis aux fins d'utilisation personnelle du poisson ou à des fins sportives.

Pêche **autochtone** : le poisson est pêché par une organisation autochtone ou l'un de ses membres aux fins d'une utilisation à des fins alimentaires, sociales ou rituelles, ou aux fins prévues dans un accord sur les revendications territoriales conclu avec l'organisation autochtone (art. 2(1) de *la Loi sur les pêches*).

Parcelle d'habitat : zone spatiale définie qui est relativement homogène sur le plan de la composition de l'habitat physique par rapport aux parcelles voisines (méthode de désignation des parcelles d'une zone dans le modèle); ou les parcelles d'habitat peuvent être définies comme une grille régulière dans la zone d'un projet, à condition qu'elles ne soient pas trop grandes et hétérogènes.

Stades biologiques des poissons :

Le **frai** désigne les poissons adultes pendant les activités de reproduction ou les produits de la reproduction, y compris les œufs en développement;

Les **jeunes de l'année** (ou « alevinage ») désignent les jeunes poissons de l'année mobiles et leurs associations avec les habitats d'alevinage pendant leur croissance au cours de leur première année.

Les **adultes** comprennent les poissons juvéniles et matures sur le plan de la reproduction et leurs associations avec l'habitat (ce stade exclut les périodes de reproduction et se concentre uniquement sur l'habitat d'alimentation et les refuges, y compris les zones d'hivernage).

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 impacts ont été prises.

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

Dommages sérieux aux poissons : la mort du poisson ou toute modification permanente ou destruction de l'habitat du poisson (art. 2(1) de *la Loi sur les pêches*).

Zone du projet : espace défini qui englobe les effets directs et indirects découlant d'un projet d'aménagement.