



CARTOGRAPHIE DES EFFETS CUMULATIFS ET VULNÉRABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES MARINS CANADIENS AUX ACTIVITÉS ET FACTEURS DE STRESS ANTHROPIQUES



Figure 1. Carte du Canada montrant les zones d'étude en bleu (régions du Pacifique et de l'Atlantique). Les matrices de vulnérabilité examinées dans le cadre de ce processus s'appliquent à ces zones. Des cartes des effets cumulatifs reposant sur cette approche sont en cours d'élaboration pour les biorégions du Pacifique et des Maritimes.

Contexte :

La prise en compte des effets cumulatifs, dans le cadre d'efforts allant de l'évaluation environnementale à la planification spatiale marine, continue de poser des défis aux scientifiques et aux gestionnaires. L'évaluation des effets cumulatifs est un domaine qui évolue rapidement et qui comporte une diversité d'approches et de méthodologies. La cartographie des effets cumulatifs est une méthode établie pour représenter les effets spatiaux de multiples activités et facteurs de stress. Depuis sa première publication par Ben Halpern et ses collègues en 2008, la cartographie des effets cumulatifs a été appliquée à diverses échelles spatiales dans des régions du monde entier, y compris au Canada. Il s'agit d'un modèle établi et semi-quantitatif de représentation spatiale des effets additifs des activités humaines et des facteurs de stress sur les écosystèmes marins. Le modèle de cartographie des effets cumulatifs comprend la compilation et la normalisation de données marines spatialement explicites de grande qualité. Trois ensembles de données sont requis : 1) la représentation spatiale des activités ou des facteurs de stress d'origine anthropique; 2) la représentation spatiale des habitats (ou des espèces); 3) une matrice de cotes représentant la vulnérabilité relative de chaque habitat à chaque

activité ou facteur de stress. Les résultats du modèle permettent de visualiser les effets cumulatifs relatifs dans la région cible, en mettant en évidence les zones les plus et les moins touchées par les activités humaines.

Les conseils découlant de ce processus national d'examen par les pairs seront utilisés pour éclairer les processus de planification spatiale marine, en fournissant une approche permettant d'évaluer l'étendue spatiale et l'intensité des effets cumulatifs des activités humaines sur les écosystèmes marins.

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques nationale du 29 au 30 novembre et 2 décembre 2021 sur la cartographie des effets cumulatifs et vulnérabilité des écosystèmes marins à multiples facteurs de stress anthropiques. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- La cartographie des effets cumulatifs est une méthode spatialement explicite et semi-quantitative utile pour illustrer les effets cumulatifs relatifs des activités humaines sur les habitats marins à de vastes échelles spatiales.
- La cartographie des effets cumulatifs s'appuie sur un modèle relativement simple qui identifie les zones où les activités et les habitats se croisent dans l'espace, puis applique une pondération de la vulnérabilité pour déterminer une cote des effets pour chaque intersection activité-habitat. La cote des effets cumulatifs est la somme de toutes les intersections habitat-activité dans une unité de surface.
- La méthode nécessite trois sources de données : 1) répartition spatiale des classes d'habitat marin (p. ex. plages intertidales, zones pélagiques peu profondes et herbiers marins); 2) répartition spatiale et intensité relative des activités humaines (p. ex. pêche, navigation et sites industriels) et des facteurs de stress connexes (p. ex. sédimentation et bruit); 3) matrice des cotes de vulnérabilité pour quantifier l'effet relatif de chaque facteur de stress sur chaque classe d'habitat.
- Composés des écosystèmes intertidaux, infratidaux, de plateau et profonds, les classes d'habitat contiennent les substrats inorganiques et les caractéristiques biogéniques dans chacun d'entre eux. Les écosystèmes pélagiques, qui en font aussi partie, sont séparés en deux classes : les écosystèmes peu profonds et les écosystèmes profonds. Entre les côtes du Pacifique et de l'Atlantique, la répartition des classes d'habitats est semblable, bien que les gammes de profondeur varient légèrement.
- Les activités humaines et les facteurs de stress sont répartis en quatre types de données : terrestres, côtières, marines et halieutiques. Les activités humaines et les facteurs de stress sont représentés sous la forme d'une valeur d'intensité relative, qui dépend de la nature de l'activité ou du facteur de stress, de la manière dont ils peuvent interagir avec l'habitat et de la disponibilité des données.
- Les matrices de vulnérabilité utilisées dans les régions canadiennes du Pacifique et de l'Atlantique ont été adaptées à partir de matrices de vulnérabilité existantes élaborées précédemment pour le courant de Californie (Pacifique) et la côte du Massachusetts (Atlantique). Des experts régionaux en écosystèmes ont été interrogés pour obtenir leur avis sur les cotes de vulnérabilité et le classement de toutes les combinaisons d'habitats et de facteurs de stress pertinentes pour chaque côte.
- Les cotes des matrices de vulnérabilité générées précédemment ont été mises à jour dans le document de recherche connexe (Clarke Murray *et al.* 2023) sur la base de l'examen d'experts, et des recommandations ont été formulées pour le classement des activités et

des facteurs de stress par classe d'habitat. Dans la région du Pacifique, 120 (12 %) des cotes habitat/facteur de stress ont été augmentées en valeur et 26 (3 %) ont été diminuées, en fonction des commentaires des experts. Pour la matrice de l'Atlantique, 105 (11 %) et 90 (9 %) des cotes habitat/facteur de stress ont été augmentées ou diminuées, respectivement. De nouvelles activités et de nouveaux facteurs de stress ont également été recommandés aux fins d'examen, mais ils n'ont pas été examinés et pourraient être mis à jour à l'avenir.

- Les travaux visant à mettre à jour les cotes de vulnérabilité en faisant appel à des experts régionaux en matière d'habitat ont été approuvés parce qu'ils visent à améliorer l'application de la méthode Halpern par rapport à ce qui s'est fait précédemment. Parmi les améliorations futures, mentionnons la possibilité que les cotes de vulnérabilité pour tous les types d'habitats soient examinées par des experts des facteurs de stress (p. ex. des experts des effets de la pêche).
- La cartographie des effets cumulatifs peut servir à plusieurs fins, notamment pour éclairer et évaluer les futurs scénarios de changement environnemental ou de planification spatiale marine (p. ex. pour évaluer les aménagements prévus et les changements climatiques), pour orienter l'évaluation environnementale stratégique ou régionale, pour déterminer les domaines de recherche et d'enquête sur le terrain ou pour établir l'ordre de priorité des activités ou des facteurs de stress en vue de mesures de gestion ou d'atténuation. Son utilisation particulière dans le contexte de la planification spatiale marine au Canada reste à déterminer.
- En plus des cartes qui en découlent, ces données marines spatialement explicites et ces produits du savoir générés individuellement au cours du processus de cartographie des effets cumulatifs peuvent être utiles aux planificateurs, aux intervenants et aux autres scientifiques qui participent à la planification spatiale marine et à la gestion écosystémique, notamment la planification de la conservation.
- Étant donné qu'il s'agit d'une approche axée sur les données, avec des extraits qui représentent un instantané dans le temps, la qualité et l'âge des données entrées auront une incidence sur leur utilité pour la planification. Les analyses de sensibilité, p. ex. une étude plus approfondie de l'incidence de l'évolution des cotes de vulnérabilité sur les résultats globaux, peuvent aider à améliorer la confiance dans les résultats.

INTRODUCTION

L'évaluation et la gestion des effets cumulatifs sont un domaine qui évolue rapidement et qui comporte une diversité d'approches et de méthodologies (Clarke Murray *et al.* 2020; Hodgson et Halpern 2019). Plusieurs méthodes d'analyse spatiale des effets cumulatifs ont proliféré ces dernières années (d'après Stock et Micheli 2016), mais la cartographie des effets cumulatifs (Halpern *et al.* 2008) reste la méthode la plus appliquée.

ÉVALUATION

La cartographie des effets cumulatifs est une méthode établie de transposition des activités humaines en effets sur les écosystèmes, en utilisant des étendues et des chevauchements définis d'écosystèmes et d'activités anthropiques. Cette analyse spatialement explicite peut être adaptée aux zones d'étude de toutes tailles et réalisée avec des données de détails et de résolutions variables. La polyvalence de la méthode en fait un outil utile permettant de soutenir la planification spatiale marine. La méthode a été décrite à l'origine par Halpern et ses collègues (Halpern *et al.* 2008) et est bien établie dans la littérature, après avoir été appliquée à l'échelle mondiale et régionale. Cette méthode a été appliquée à plusieurs reprises dans le Pacifique

canadien (Agbayani *et al.* 2015; Ban *et al.* 2010; Clarke Murray *et al.* 2015a; Clarke Murray *et al.* 2015b; Perry 2019; Singh *et al.* 2020).

Le programme national de planification spatiale marine vise à inclure des représentations spatiales des effets cumulatifs dans ses efforts de planification. Les travaux en cours sont une mise à jour dans la région du Pacifique et une nouvelle cartographie des effets cumulatifs pour la région des Maritimes. La Direction de la planification et la conservation marines (PCM) a demandé à la Direction des sciences du MPO d'examiner la méthode existante de cartographie des effets cumulatifs et de fournir des conseils sur son applicabilité et sa pertinence concernant la planification spatiale marine et la gestion écosystémique.

Aperçu de la méthode de cartographie des effets cumulatifs

La méthode de cartographie des effets cumulatifs utilise un modèle d'effets cumulatifs spatialement explicite afin de relier les empreintes des activités humaines et les classes d'habitats aux effets potentiels sur l'écosystème au moyen d'une matrice de cotes de vulnérabilité (Halpern *et al.* 2008; Teck *et al.* 2010). La méthode nécessite trois sources de données : 1) répartition spatiale des classes d'habitat marin (p. ex. plages intertidales, zones pélagiques peu profondes et herbiers marins); 2) répartition spatiale et intensité relative des activités humaines (p. ex. pêche, navigation et sites industriels) et connaissance des facteurs de stress connexes (p. ex. prélèvement de biomasse, sédimentation et bruit); 3) matrice des cotes de vulnérabilité pour quantifier l'effet relatif de chaque facteur de stress sur chaque classe d'habitat. La collecte et le traitement des données constituent la majeure partie du travail d'application de la méthode. Toutes les données utilisées dans le modèle doivent couvrir l'ensemble de la zone d'étude et être cohérentes sur le plan temporel; les cotes de vulnérabilité doivent être directement applicables aux habitats de la région d'intérêt.

Le modèle cerne les zones où les activités et les habitats se croisent dans l'espace, puis applique une pondération de la vulnérabilité pour déterminer une cote des effets pour chaque intersection activité-habitat. Les cotes sont additionnées pour toutes les activités et tous les habitats afin de produire une carte des cotes des effets cumulatifs pour l'ensemble de la région à l'étude. Les résultats sont habituellement présentés sous forme de cartes de densité, les couleurs indiquant le niveau d'effet cumulatif dans chaque cellule (p. ex. un dégradé allant du bleu au rouge, représentant des effets relativement faibles à relativement élevés).

Classes d'habitat

La cartographie des effets cumulatifs met l'accent sur les effets sur les habitats, comme substitut des effets sur l'écosystème soutenu par cet habitat. Les habitats peuvent comprendre des habitats benthiques et pélagiques, mais aussi des habitats biogéniques comme des récifs d'éponges ou des herbiers marins. Les habitats benthiques utilisés pour l'étude la plus récente portant sur le Pacifique canadien ont été stratifiés par profondeur, substrat et type géomorphologique (Clarke Murray *et al.* 2015b). Des habitats biogéniques, comme les herbiers marins, le varech et les récifs d'éponges, ont été placés au-dessus du type d'habitat benthique pertinent. Les habitats pélagiques ont été stratifiés selon la profondeur, les zones pélagiques peu profondes représentant la zone photique et les zones pélagiques profondes représentant les zones aphotiques et abyssales. La cartographie des habitats de l'Atlantique aux fins de la cartographie des effets cumulatifs est en cours. À l'instar du Pacifique, des habitats biogéniques (marais salés, varech, zone d'algues, herbier marin, bioherme de modioles, coraux, éponges et enclos marins d'eau profonde) ont été superposés sur les habitats benthiques de base. Les habitats pélagiques ont été stratifiés selon la profondeur, l'habitat pélagique dans les eaux de moins de 30 m de profondeur étant considéré comme faisant partie de l'habitat benthique selon Kappel *et al.* (2012).

Activités humaines et facteurs de stress

Les activités humaines affectent les écosystèmes par le biais d'un ou de plusieurs facteurs de stress (parfois appelés pressions). Les activités humaines sont les actions qui sont menées pour l'utilisation des ressources, le transport ou le tourisme et peuvent comprendre des activités entièrement marines, côtières et terrestres qui ont certains effets sur le milieu marin. Dans la cartographie des effets cumulatifs, la représentation spatiale des activités humaines est souvent effectuée au niveau de l'activité (pêche, navigation, aquaculture, etc.), mais peut aussi être effectuée au niveau des facteurs de stress (bruit, polluants, espèces envahissantes, etc.). Un facteur de stress est « tout élément physique, chimique ou biologique qui, à un niveau d'intensité donné, est susceptible de modifier un écosystème ou une ou plusieurs de ses composantes » [traduction] (O *et al.* 2015). Chaque activité ou facteur de stress est représenté dans le modèle de cartographie des effets cumulatifs sous la forme d'une valeur d'intensité relative qui peut être dérivée de diverses façons, selon la nature de l'activité ou du facteur de stress, la façon dont ils peuvent interagir avec l'habitat et la disponibilité des données. Par exemple, les intensités relatives peuvent être dérivées de la zone couverte par une empreinte physique (p. ex. construction d'une structure permanente sur le fond marin), de la quantité de polluants rejetés par une source ponctuelle (p. ex. charges de contaminants rejetées par les points de rejets des eaux usées) ou de la durée d'une activité dans chaque cellule de la grille (p. ex. les heures d'effort consacrées à la pêche dans des zones particulières). Les unités et la plage des valeurs d'intensité varient selon le facteur de stress ou l'activité; par conséquent, il est nécessaire de normaliser les valeurs d'intensité les unes par rapport aux autres.

Aperçu de l'examen de la matrice de vulnérabilité, enquête auprès d'experts

La vulnérabilité des habitats marins aux facteurs de stress a été estimée à l'aide d'un jugement d'experts fondé sur les diverses composantes censées rendre les espèces ou les écosystèmes plus sensibles aux perturbations. La matrice de vulnérabilité utilisée dans le Pacifique canadien (Clarke Murray *et al.* 2015b) est basée sur les matrices définies pour le courant de Californie (Teck *et al.* 2010), avec quelques modifications visant à tenir compte des différences entre les deux régions. La même matrice de Teck a été utilisée dans d'autres applications mondiales et régionales de la cartographie des effets cumulatifs fondée sur l'habitat, à une exception près. Une matrice de vulnérabilité a ensuite été élaborée pour les côtes du Massachusetts par Kappel *et al.* (2012a) en utilisant la même méthodologie que Teck *et al.* (2010), mais en interrogeant des experts travaillant dans les écosystèmes marins de la région de la Nouvelle-Angleterre. Les travaux de cartographie des effets cumulatifs dans la région des Maritimes s'appuient sur le modèle de Kappel *et al.* (2012a) parce que le cadre géographique et le contexte écologique sont plus semblables.

Les cotes de vulnérabilité dans les matrices de Teck *et al.* (2010) et de Kappel *et al.* (2012b) ont été évaluées aux fins de leur utilisation dans les habitats canadiens. On a demandé l'opinion d'experts compétents de l'écosystème dans un examen préalable des cotes et des classements de la vulnérabilité du Pacifique et de l'Atlantique. Ils ont été invités à suggérer des changements aux notes, avec justification et références à l'appui. Les changements provenant de plusieurs experts au sujet d'un même habitat ont été retransmis au groupe pour un examen plus approfondi. Les cotes mises à jour pour les deux matrices sont présentées dans le document de recherche connexe pour cette réunion (Clarke Murray *et al.* 2023).

Dans le cadre de la méthode de cartographie des effets cumulatifs, les cotes de vulnérabilité ont été conçues pour traduire l'exposition des habitats à des facteurs de stress particuliers en effets propres aux habitats. Dans ce cadre, l'exposition est caractérisée par une représentation spatiale de l'intensité relative d'une activité ou d'un facteur de stress. Il serait déconseillé d'appliquer les cotes de vulnérabilité indépendamment de la méthode, lorsque l'exposition à

une activité ou à un facteur de stress n'est pas prise en compte. En outre, il a été demandé aux experts d'examiner les cotes relatives du point de vue des habitats pour leur région particulière. Par conséquent, les cotes de vulnérabilité ne sont pas représentatives des habitats situés en dehors de la région biogéographique pour laquelle elles ont été élaborées à l'origine.

Sources d'incertitude

Le modèle de cartographie des effets cumulatifs comporte des exigences élevées en matière de données, la collecte et le traitement des données constituant la majeure partie du travail dans toute application. Les données de base sont compilées pour des dizaines de couches d'habitat et d'activité et, comme pour tout modèle, les résultats dépendent de la qualité et de la disponibilité des données. Les ensembles de données spatiales sources sont souvent à des échelles et des résolutions différentes. L'échelle de l'application devrait être proportionnelle à l'échelle de la gestion et de la prise de décision. Les résultats ne doivent pas être interprétés ou extrapolés au-delà de l'échelle de l'application.

La cartographie des effets cumulatifs comporte des hypothèses importantes qui doivent être reconnues dans toute application de la méthode (examinée par Halpern et Fujita 2013). Premièrement, le modèle suppose que les effets des facteurs de stress sont additifs, lorsqu'il y a de plus en plus de preuves que les interactions synergiques et antagonistes sont courantes. On suppose que les facteurs de stress ont la même importance et que chacun est réparti uniformément dans sa représentation spatiale. On suppose aussi que les écosystèmes préoccupants réagissent de façon uniforme et linéaire aux facteurs de stress individuels et aux effets cumulatifs.

La simplification et la visualisation de la cartographie des effets cumulatifs s'accompagnent d'une perte d'informations et, à ce jour, les résultats des travaux de cartographie des effets cumulatifs n'ont pas été utilisés dans un contexte politique ou de gestion. Les résultats étant relatifs, chaque application a des cotes qui reflètent le nombre de couches incluses et ne peut être comparée quantitativement à d'autres régions modélisées. La cote d'effets cumulatifs ne doit pas être interprétée comme une mesure quantitative ou un prédicteur des effets importants.

La rigueur des résultats de la cartographie des effets cumulatifs n'est pas souvent confirmée sur le terrain en raison des difficultés à mesurer l'état des écosystèmes à grande échelle spatiale et dans de nombreux types d'habitats. Bien que certaines analyses aient montré que les modèles généraux étaient stables malgré l'incertitude et le manque de données, Stock et Micheli (2016) ont constaté que les facteurs d'influence varient d'une étude à l'autre et d'une zone d'étude à l'autre. Les travaux de cartographie des effets cumulatifs doivent comprendre une évaluation des incertitudes et une analyse de sensibilité, dans la mesure du possible.

CONCLUSIONS ET AVIS

La cartographie des effets cumulatifs a été utilisée de plusieurs manières, son principal avantage étant sa capacité à simplifier et à visualiser des renseignements complexes. Les cartes montrent des différences d'effets entre les zones, mettant en opposition des zones à effet relativement faible et des zones à effet élevé. Au-delà de l'illustration, la cartographie des effets cumulatifs a servi à présenter avant tout les activités et les facteurs de stress ayant une incidence élevée sur les mesures de gestion ou d'atténuation. Elle a été utilisée pour déterminer un niveau de référence des effets cumulatifs et comparer ce niveau de référence à d'autres scénarios futurs.

La cartographie des effets cumulatifs peut aussi servir à définir des zones aux fins de planification; les zones à faible effet pourraient être des aires protégées potentielles, tandis que les zones à effet élevé pourraient être des cibles pour les efforts de restauration. De plus, dans

le cadre explicite de la planification spatiale marine, les cotes d'effets cumulatifs pourraient servir de couche de coût dans les analyses Marxan afin de déterminer des scénarios de planification ou des réseaux de conservation. Les cartes pourraient également être utilisées pour la surveillance ou la recherche, comme variable continue pour stratifier l'effort d'échantillonnage.

Étant donné qu'il s'agit d'une approche axée sur les données, dont les extraits représentent un instantané dans le temps, la qualité et l'âge des données entrées auront une incidence sur leur utilité pour la planification. Les ressources et les outils qui nous permettent de mettre à jour et d'intégrer les couches de données des composantes, et de produire des cartes composites et des produits de connaissance, doivent être pris en considération lors de l'examen de l'application dans un contexte de planification spatiale marine en cours. Par exemple, un ensemble de données sur les sites industriels maritimes publié en 1998 peut comprendre des installations qui ne sont plus en activité en 2021. L'utilisation de ces données peut être appropriée ou non aux fins d'inclusion dans le modèle d'effets cumulatifs en 2021, selon l'état d'assainissement des sites déclassés.

Des travaux supplémentaires seraient nécessaires pour appliquer cette méthode à l'ensemble du Canada, ou à une autre région (p. ex. l'Arctique), ou pour générer des produits normalisés qui pourraient être utilisés pour comparer les résultats entre les biorégions.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Affiliation
Agbayani, Selina	Pêches et Océans Canada
Archer, Stephanie	Louisiana Universities Marine Consortium
Beauchesne, David	Université Laval
Bundy, Alida	Pêches et Océans Canada
Chassé, Joël	Pêches et Océans Canada
Cormier, Roland	Pêches et Océans Canada
Gagliardi, Kayla	Pêches et Océans Canada
Giangioppi, Martine	Pêches et Océans Canada
Guyondet, Thomas	Pêches et Océans Canada
Hunt, Heather	Université du Nouveau-Brunswick
Kelly, Noreen	Pêches et Océans Canada
Kristmanson, James	Pêches et Océans Canada
Lévesque, David	Pêches et Océans Canada
Longtin, Caroline	Pêches et Océans Canada
Martone, Rebecca	Tula Foundation
Metaxas, Anna	Université Dalhousie
Morris, Corey	Pêches et Océans Canada
Murillo-Perez, Javier	Pêches et Océans Canada
Murphy, Grace	Pêches et Océans Canada

Murray, Cathryn	Pêches et Océans Canada
Nelson, Jocelyn	Pêches et Océans Canada
Niemi, Andrea	Pêches et Océans Canada
Pretty, Christina	Pêches et Océans Canada
Robb, Carrie	Pêches et Océans Canada
Rubidge, Emily	Pêches et Océans Canada
Sonier, Remi	Pêches et Océans Canada
Tuen, Alex	Pêches et Océans Canada
White, Hilary	Pêches et Océans Canada
Worcester, Tana	Pêches et Océans Canada

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques nationale du 29 au 30 novembre et 2 décembre 2021 sur la cartographie des effets cumulatifs et vulnérabilité des écosystèmes marins à multiples facteurs de stress anthropiques. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

- Agbayani, S., Picco, C.M., and Alidina, H.M. 2015. [Cumulative impact of bottom fisheries on benthic habitats: A quantitative spatial assessment in British Columbia, Canada](#). *Ocean & Coastal Management* **116**: 423-434.
- Ban, N.C., Alidina, H.M., and Ardron, J.A. 2010. [Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study](#). *Marine Policy* **34**(5): 876-886.
- Clarke Murray, C., Agbayani, S., and Ban, N.C. 2015a. [Cumulative effects of planned industrial development and climate change on marine ecosystems](#). *Global Ecology and Conservation* **4**: 110-116.
- Clarke Murray, C., Agbayani, S., Alidina, H.M., and Ban, N.C. 2015b. [Advancing marine cumulative effects mapping: An update in Canada's Pacific waters](#). *Marine Policy* **58**: 71-77.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., and Watson, R. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* **319**(5865): 948-952. doi:10.1126/science.1149345.
- Halpern, B.S., and Fujita, R. 2013. [Assumptions, challenges, and future directions in cumulative impact analysis](#). *Ecosphere* **4**(10): art131.
- Kappel, C.V., Halpern, B.S., and Napoli, N. 2012a. Mapping cumulative impacts of human activities on marine ecosystems. No. 03.NCEAS.12. SeaPlan, Boston, MA.
- Kappel, C.V., Halpern, B.S., Selkoe, K.A., and Cooke, R.M. 2012b. Eliciting Expert Knowledge of Ecosystem Vulnerability to Human Stressors to Support Comprehensive Ocean Management. *In* Expert Knowledge and Its Application in Landscape Ecology. *Edited by* A.H. Perera and C.A. Drew and C.J. Johnson. Springer New York, New York, NY. pp. 253-277.

- Murray, C.C., Kelly, N.E., Nelson, J.C., Murphy, G.E.P., et Agbayani, S. 2024. [Cartographie des effets cumulatifs et vulnérabilité des écosystèmes marins canadiens aux activités et facteurs de stress anthropiques](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/024. vi + 51 p.
- Perry, R.I. 2019. Section 4.3 Ecosystem responses to anthropogenic and natural pressures in the Strait of Georgia, Canada, based on an expert elicitation approach. *In* Report of Working Group 28 on Development of Ecosystem Indicators to Characterize Ecosystem Responses to Multiple Stressors. *Edited by* M. Takahashi and R.I. Perry. p. 245.
- Singh, G.G., Eddy, I.M.S., Halpern, B.S., Neslo, R., Satterfield, T., and Chan, K.M.A. 2020. Mapping cumulative impacts to coastal ecosystem services in British Columbia. *PLOS ONE* **15**(5): e0220092. doi:10.1371/journal.pone.0220092.
- Stock, A., and Micheli, F. 2016. Effects of model assumptions and data quality on spatial cumulative human impact assessments. *Global Ecology and Biogeography* **25**(11): 1321-1332. doi:10.1111/geb.12493.
- Teck, S.J., Halpern, B.S., Kappel, C.V., Micheli, F., Selkoe, K.A., Crain, C.M., Martone, R., Shearer, C., Arvai, J., Fischhoff, B., Murray, G., Neslo, R., and Cooke, R. 2010. Using expert judgment to estimate marine ecosystem vulnerability in the California Current. *Ecological Applications* **20**(5): 1402-1416. doi:10.1890/09-1173.1.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

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

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

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-72183-5 N° cat. Fs70-6/2024-040F-PDF

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



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2024. Cartographie des effets cumulatifs et vulnérabilité des écosystèmes marins canadiens aux activités et facteurs de stress anthropiques. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2024/040.

Also available in English:

DFO. 2024. *Cumulative Impact Mapping and Vulnerability of Canadian Marine Ecosystems to Anthropogenic Activities and Stressors. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2024/040.*