



OUTILS DE CARTOGRAPHIE GÉOSPATIALE, INDICATEURS ET MESURES POUR L'ÉTAT DU POISSON ET DE SON HABITAT DANS LA RÉGION DU PACIFIQUE

Contexte

Le 28 août 2019, une nouvelle *Loi sur les pêches* modernisée est entrée en vigueur, rétablissant notamment des protections pour aider à protéger le poisson et son habitat. Pour mettre en œuvre la Loi modernisée, le Programme de protection du poisson et de son habitat (PPPH) a une capacité accrue pour travailler avec les collectivités, les partenaires et les intervenants dans les milieux dulcicoles, côtiers et marins afin d'entreprendre des activités qui amélioreront les résultats pour le poisson et son habitat grâce à la conservation, à la protection et au rétablissement. Le PPPH prévoit d'améliorer la façon dont il rend compte aux Canadiens de ses propres activités liées à la protection du poisson et de son habitat et des importants travaux connexes des partenaires et des intervenants. Des outils et des méthodes modernes de suivi et d'évaluation de la santé ou de l'état du poisson et de son habitat sont nécessaires pour appuyer les activités de réglementation, de planification, de partenariat et de surveillance souples et intégrées du PPPH, et pour démontrer des résultats améliorés en matière de durabilité du poisson et de son habitat.

Le Programme de protection du poisson et de son habitat du ministère des Pêches et des Océans (MPO) a demandé à la Direction générale des sciences d'examiner les outils géospatiaux pour déterminer les indicateurs et les mesures en eau douce (c.-à-d. les mesures représentatives) afin d'évaluer et de rendre compte de l'état de l'habitat du poisson et de la situation des menaces qui pèsent sur celui-ci, y compris, mais sans s'y limiter, celles qui sont énumérées dans l'Énoncé de politique sur la protection du poisson et de son habitat (MPO 2019) et dans le Guide provisoire de gestion des risques pour la protection du poisson et de son habitat (MPO 2019b). Les menaces énumérées dans la politique sont la dégradation de l'habitat, la modification de l'habitat, les espèces aquatiques envahissantes, la pollution et les changements climatiques. Celles qui sont mentionnées dans le guide sont la sédimentation, les substances nocives ainsi que la modification ou la perte de la zone riveraine, de l'habitat et de la végétation aquatiques, du passage du poisson, de l'oxygène dissous et des nutriments. La surexploitation du poisson et des espèces gérées par les provinces ainsi que les changements dans l'approvisionnement alimentaire, le bruit, la lumière et le champ électromagnétique dépassent la portée de cette demande.

Les outils géospatiaux accessibles au public qui fournissent des indicateurs pour évaluer les activités humaines et les menaces pour l'habitat du poisson et les bassins versants dans la région du Pacifique ont été examinés en même temps que les principales menaces pour l'habitat des espèces d'eau douce et anadromes gérées par le MPO, telles que celles désignées plus haut par le PPPH et les menaces déterminées par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). Par exemple, les outils existants pour la Colombie-Britannique et le Yukon comprennent le [Pacific Salmon Explorer](#), les [Rapports sur les bassins versants du Fonds mondial pour la nature \(WWF\)](#) et le [British Columbia \(BC\)'s Stewardship Baseline Objectives Tool](#). Au total, 13 outils géospatiaux ont été évalués et comparés à l'aide de diagrammes des séquences des effets. [Global Threats to Human Water Security and River](#)

[Biodiversity](#) (en anglais seulement) et le [Fonds mondial pour la nature-Canada](#) sont les outils qui ont été les mieux classés en ce qui concerne le nombre de menaces abordées et déterminées comme importantes pour le poisson et son habitat par le PPPH et le COSEPAC.

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences du 27 juillet 2022 sur les outils de cartographie géospatiale, les indicateurs et mesures pour l'état du poisson et de son habitat dans la région du Pacifique. L'évaluation et les avis serviront à orienter les activités du PPPH dans la région du Pacifique liées à la mise en œuvre de la *Loi sur les pêches* modernisée, y compris la capacité d'expliquer comment le PPPH travaille à l'élaboration d'indicateurs de l'état ou de la santé de l'habitat dans la région du Pacifique. Ces avis éclaireront également les initiatives de planification pour les rapports futurs, notamment en cernant les lacunes et les incertitudes liées à la détermination efficace de l'état de l'habitat.

Renseignements de base

Les outils de cartographie géospatiale utilisés pour estimer et cartographier les activités humaines et les menaces associées dans les paysages terrestres et marins sont de plus en plus répandus pour aider à déterminer où les communautés biotiques sont les plus touchées et pour guider la mise en priorité des efforts de gestion et de conservation. Les mesures directes des effets anthropiques (p. ex., la charge de polluants) ne sont souvent pas disponibles dans toutes les régions, tandis que les données géospatiales sur l'activité humaine et l'utilisation des terres sont beaucoup plus accessibles et peuvent être utilisées pour élaborer des indicateurs des répercussions potentielles sur de grandes étendues spatiales. De nombreux outils géospatiaux traitent de multiples activités ou menaces et les combinent pour créer des cotes d'effets cumulatifs, car il est bien connu que la dégradation des écosystèmes et le déclin des populations d'espèces dépendent de multiples facteurs. L'émergence d'ensembles de données géospatiales accessibles au public et l'utilisation accrue de logiciels et de plateformes Web de systèmes d'information géographique (SIG) ont donné lieu à de nombreux efforts de cartographie des activités humaines et des menaces qui se chevauchent dans l'espace. L'application de ces outils vise souvent un objectif précis, ou « valeur centrale », et beaucoup ont des approches, des résolutions et des méthodes différentes pour la mise au point d'indicateurs et l'évaluation des effets cumulatifs. La présente réponse des Sciences compile et compare les outils géospatiaux existants dans la région du Pacifique qui peuvent être utilisés pour évaluer les menaces pour l'habitat du poisson.

La comparaison des outils géospatiaux et des évaluations des effets cumulatifs nécessite une terminologie et des cadres conceptuels normalisés. Les indicateurs créés par les outils géospatiaux varient selon qu'ils représentent directement les activités humaines ou qu'ils sont une combinaison d'activités et de paramètres environnementaux utilisés pour estimer un agent stressant ou un effet. Étant donné les différences de terminologie entre les outils, il peut être difficile de distinguer ce que chaque outil représente et comment il se compare aux autres. La détermination du cadre conceptuel d'un outil permet de comprendre dans quelle mesure les indicateurs sont liés aux menaces et la façon dont ils sont combinés lors de l'établissement des cotes finales d'effets cumulatifs. Les cadres des séquences des effets sont des modèles conceptuels qui aident à déterminer les activités humaines pertinentes, les liens avec les agents stressants et les effets associés, ainsi que la valeur centrale ou la composante écologique (Murray *et al.* 2020) [figure 1]. Par exemple, dans un cadre des séquences des effets, la présence de barrages (activité humaine) entraîne une fragmentation de l'habitat (effet) qui peut être préjudiciable à l'habitat des poissons (valeur centrale/composante écologique). Nous suivons les définitions utilisées dans Murray *et al.* (2020), où un « agent stressant » est un facteur anthropique qui provoque une modification indésirable à une valeur centrale, et un

« effet » est une déviation de la plage attendue de la valeur centrale. En ce qui concerne l'habitat du poisson en tant que composante écologique centrale, un changement d'origine anthropique aux nutriments est un agent stressant pour l'habitat du poisson, tandis que la diminution subséquente des concentrations d'oxygène dissous constitue un effet sur celui-ci. En outre, on peut utiliser comme synonyme d'activités humaines le terme « pression » (p. ex. dans le Pacific Salmon Explorer), qui est défini comme étant un agent exercé par les activités humaines pour susciter un effet (Oosterwind *et al.* 2016; Murray *et al.* 2020). Cependant, le terme « pression » est utilisé dans les diagrammes des séquences des effets du PPPH pour représenter l'agent stressant ou l'effet d'une activité humaine. L'utilisation incohérente de ces termes est un problème dans les domaines dulcicoles et maritimes (Oosterwind *et al.* 2016). Par conséquent, nous avons combiné les agents stressants et les effets sous le terme générique de « menaces » pour employer la terminologie utilisée par le COSEPAC et l'Énoncé de politique du PPPH (MPO 2019), et nous avons évité d'utiliser le terme « pression ». Le PPPH comporte quatre cadres des séquences des effets regroupés pour représenter les activités humaines qui se déroulent sur la terre, sur l'eau, qui produisent du bruit et de l'énergie ou qui nuisent au débit (MPO 2021). Ces cadres des séquences des effets visent à se concentrer sur une seule activité pour l'examen réglementaire et à déterminer une série complète de menaces (appelées « pressions » dans la séquence des effets) pour la productivité des pêches. De nombreuses activités examinées par le PPPH et mentionnées dans les quatre cadres des séquences des effets ne se prêtent pas actuellement à une analyse au moyen d'un SIG (p. ex. les explosifs, le dragage). De plus, les diagrammes des séquences des effets du PPPH ne comprennent que les activités gérées par le MPO (c.-à-d. dans la zone riveraine ou dans l'eau), alors que les outils examinés ici englobent généralement de nombreuses activités humaines dans le paysage qui engendrent des menaces pour l'habitat du poisson et les bassins versants, souvent dans le but d'évaluer les effets cumulatifs. Nous avons donc appliqué aux outils compilés un cadre modifié des séquences des effets, fondé sur les cadres axés sur les effets cumulatifs (Murray *et al.* 2020), afin de déterminer le degré d'analyse des indicateurs et de permettre une comparaison normalisée entre les outils.

Plusieurs critères ont servi à déterminer la pertinence des outils géospatiaux existants pour rendre compte de la situation des menaces et de l'état de l'habitat du poisson. À cette fin, on a déterminé qu'un outil optimal doit :

1. comprendre un nombre relativement complet d'indicateurs environnementaux et de l'activité humaine, et les utiliser pour estimer les indicateurs de menace en tant qu'indicateurs plus directement liés aux effets sur le poisson et son habitat;
2. estimer les indicateurs qui sont pertinents pour un grand nombre (idéalement l'ensemble) des menaces déterminées comme importantes par le PPPH et le COSEPAC, y compris les changements climatiques;
3. concerner directement l'habitat du poisson;
4. couvrir l'ensemble de la région du Pacifique (Colombie-Britannique et Yukon);
5. avoir une résolution de tronçon de cours d'eau ou de bassin versant fondamental qui peut être agrégée, ou une échelle intermédiaire comme l'échelle de 1/20 000 utilisée pour les bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, qui permet de produire des rapports plus facilement, mais qui n'est pas grossière au point de perdre la signification écologique des données;
6. intégrer le débit d'eau et les effets en aval pour les indicateurs pertinents afin d'estimer plus précisément les menaces;

7. comprendre une cote finale d'effets cumulatifs ou de risque permettant de déterminer les zones hautement prioritaires pour les mesures de gestion, créée à l'aide de méthodes de classement ou d'addition basées sur des réponses biologiques quantifiées ou des avis d'experts, dans la mesure du possible, et préservant la structure originale des données;
8. réévaluer les indicateurs pour déterminer l'évolution de la situation dans le temps.

Analyse et réponse

Outils géospatiaux disponibles pour évaluer et résumer l'état de l'habitat du poisson

Nous avons effectué une recherche en ligne pour trouver des outils géospatiaux interactifs accessibles au public de la Colombie-Britannique et du Yukon (ou des outils mondiaux qui comprennent la Colombie-Britannique et le Yukon), ainsi que des rapports provinciaux publics provenant du ministère britanno-colombien des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural (MFTERNDR), qui peuvent être utilisés pour évaluer et résumer l'état de l'habitat des espèces anadromes et d'eau douce (saumon, espèces en péril) et des bassins versants gérés par le MPO. Nous avons trouvé les 13 outils pertinents (tableau 1) que voici :

- Bassins versants de la Colombie-Britannique (8) :
 - [BC Oil and Gas Commission Area-Based Assessment](#) (« Oil and Gas ») (2018)
 - [Pacific Salmon Explorer](#) (« PSE ») (2021)
 - [Stewardship Baseline Objectives Tool for Forested Watershed Condition](#) (« SBOT ») (2022)
 - [Skeena Sustainability Assessment Forum's State of the Value Report for Fish and Fish Habitat](#) (« Skeena ») (2021)
 - [Elk Valley Aquatic Ecosystems Cumulative Effects Assessment Report](#) (« Elk Valley ») (2018)
 - [Howe Sound Cumulative Effects Framework](#) (« Howe Sound ») (2018)
 - [Southern Interior Watershed Assessment Protocol](#) (« SIWAP ») (2016)
 - [Outil d'inventaire des polluants affectant les baleines et leurs proies](#) (« OIPABP ») (2022)
- Bassins versants du Yukon (1)
 - [Yukon River Inter-Tribal Watershed Council IGAP Map](#) (« IGAP ») (année inconnue)
- Canada (1)
 - [Fonds mondial pour la nature – Rapports sur les bassins versants du Canada](#) (ci-après, « WWF-Canada ») (2015)
- Monde entier (3)
 - [Global Forest Watch Interactive World Forest Map and Tree Cover Change](#) (« Global Forest ») (2022, en cours)
 - [Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity](#) (« Global Water ») (2010)
 - [HydroATLAS](#) (2019)

Les composantes écologiques centrales des outils comprenaient la santé ou la qualité des bassins versants, les écosystèmes aquatiques, le poisson et son habitat, le saumon, la

biodiversité et le couvert forestier. Cette dernière composante, tirée de Global Forest, a été intégrée à la portée, car de nombreuses activités humaines en faisant partie et des regroupements d'indicateurs intermédiaires (p. ex., « hydrologie ») étaient pertinents pour l'habitat du poisson et étaient évalués dans les bassins fluviaux (tableau 1).

Tableau 1. Outils géospatiaux pertinents pour évaluer et rendre compte de la situation des menaces pesant sur l'état de l'habitat du poisson dans la région du Pacifique. L'abréviation « MFTERNDR » désigne le ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique (C.-B.).

| Nom de l'outil, organisation | Étendue spatiale | Résolution/ échelle | Approche de cotation cumulative | Composante écologique |
|---|---|---|--|---|
| Peace River Area-Based Assessment, BC Oil and Gas Commission | Peace River (C.-B.) | Bassins de gestion des eaux; unités de perturbation naturelle du MFTERNDR | Aucune | Habitat riverain, forêt ancienne, habitat faunique |
| IGAP Map, Yukon River Inter-Tribal Watershed Council | Bassin hydrographique du fleuve Yukon (Yukon) | Bassin hydrographique du fleuve Yukon | Aucune | Qualité de l'eau, poisson |
| Pacific Salmon Explorer, Fondation du saumon du Pacifique | Bassins versants du saumon de la C.-B. (Haida Gwaii, Nass, Skeena, côte centrale, Fraser, île de Vancouver et bras de mer continentaux) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000 | Cote cumulative | Saumon du Pacifique |
| Rapports sur les bassins versants, Fonds mondial pour la nature-Canada | Canada | Sous-aire de drainage de Relevés hydrologiques du Canada | Cote cumulative | Santé des bassins versants |
| Howe Sound Cumulative Effects Framework, MFTERNDR | Baie Howe (C.-B.) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000 | Aucune | Écosystèmes aquatiques |
| Elk Valley Aquatic Ecosystems Cumulative Effects Assessment Report, MFTERNDR | Vallée de l'Elk, région de Kootenay Est (C.-B.) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000 | Cote cumulative | Écosystèmes aquatiques (habitat riverain, truite fardée versant de l'ouest) |
| State of the Value Report for Fish and Fish Habitat, Skeena Sustainability Assessment Forum | Skeena, Nass et Nechako (C.-B.) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000 | Aucune | Poisson, habitat du poisson |

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie
pour l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

| Nom de l'outil, organisation | Étendue spatiale | Résolution/ échelle | Approche de cotation cumulative | Composante écologique |
|--|---|--|--|--|
| Stewardship Baseline Objectives Tools for Forested Watershed Condition, MFTERNDR | Région de la côte sud (C.-B.) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000, et unités fondamentales | Cote cumulative | État du bassin versant |
| Southern Interior Watershed Assessment Protocol, MFTERNDR | Thompson-Okanagan (C.-B.) | Bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas, échelle de 1/20 000 | Cote cumulative | Qualité de l'eau, santé du poisson et des écosystèmes aquatiques |
| Outil d'inventaire des polluants affectant les baleines et leurs proies, Environnement et Changement climatique Canada | Bassin du Fraser, île de Vancouver et zones côtières dans l'habitat de l'épaulard (C.-B.) | Émissions atmosphériques : grille de 2,5 km; ruissellement de surface : sous-bassins (dans le bassin du Fraser uniquement); émissions ponctuelles : emplacements des sources | Somme des polluants | Saumon chinook, épaulards résidents du sud et du nord |
| HydroATLAS, Fonds mondial pour la nature-États-Unis | Mondiale | Grille en 15 secondes d'arc (~ 500 m à l'équateur) | Aucune | Caractéristiques du cours d'eau |
| Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity, Environmental CrossRoads Initiative | Mondiale | Carte quadrillée de 0,5° (~ 55 km) | Somme pondérée | Sécurité de l'eau pour les humains, biodiversité |
| Global Forest Watch Interactive World Forest Map, Global Forest Watch | Mondiale | Selon les données, beaucoup de cartes avec grille de 30 m ou des emplacements de sources. | Aucune cote cumulative | Couverture forestière |

Indicateurs et mesures pertinents pour l'habitat du poisson

À partir des 13 outils susmentionnés, nous avons déterminé les indicateurs disponibles pertinents pour l'habitat du saumon du Pacifique et des espèces en péril. Nous avons élaboré et appliqué un modèle normalisé fondé sur les cadres des séquences des effets cumulatifs pour comparer les différents outils (figure 1). Le modèle a permis de relever cinq divisions : les indicateurs d'activité humaine, les indicateurs environnementaux, les indicateurs de menace, les cotes cumulatives et la composante écologique centrale. Certains outils combinent des indicateurs d'activité humaine ou des indicateurs environnementaux pour créer des indicateurs de menace; dans une séquence des effets standard, cette combinaison est représentée par

une flèche. Nous n'avons pas montré toutes les mesures et données qui ont servi à l'estimation d'un indicateur, car ce n'était pas l'objectif principal de l'application des séquences des effets (voir toutefois des précisions sur l'élaboration de chaque indicateur dans Iacarella et Potapova 2022), mais avons plutôt utilisé une flèche pointillée pour montrer quels indicateurs ont été combinés en catégories ou en cotes cumulatives, et une flèche pleine pour relier les cotes ou les regroupements finaux à la composante écologique. Nous avons indiqué des regroupements intermédiaires lorsqu'ils ont été utilisés pour combiner quantitativement les indicateurs environnementaux ou d'activité humaine avant de créer des indicateurs de menace, ou lorsqu'ils ont servi à relier qualitativement les catégories d'indicateurs.

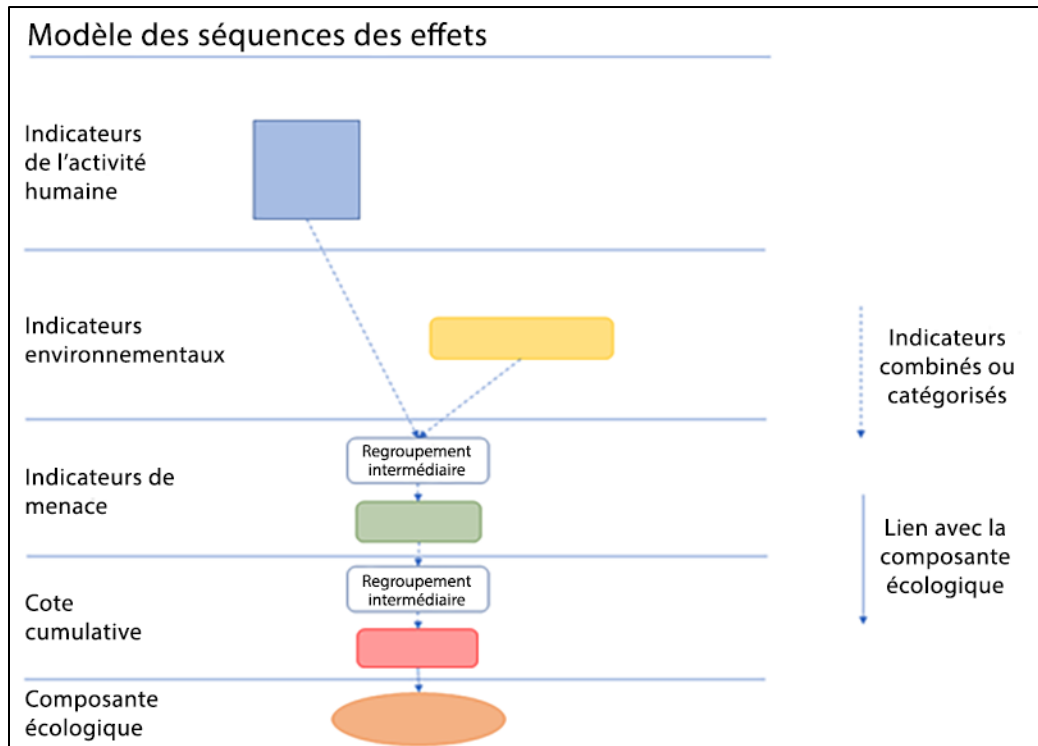


Figure 1. Modèle modifié des séquences des effets permettant d'évaluer et de comparer les outils de cartographie géospatiale. Les indicateurs d'activité humaine (carré bleu) représentent le développement et les perturbations du paysage (p. ex., « aire équivalente de coupe »), tandis que les indicateurs environnementaux (rectangle jaune) montrent les caractéristiques qui entraînent une plus grande vulnérabilité aux effets (p. ex., proportion de lacs et de milieux humides) ou les caractéristiques liées au climat (p. ex., variations de débit). Les deux types d'indicateurs peuvent servir à créer des indicateurs de menace (rectangle vert) qui représentent les agents stressants ou les effets (p. ex., risque de débit élevé) sur la composante écologique (p. ex., habitat du poisson ou bassins versants; ovale orange). Dans certains cas, différents regroupements intermédiaires (rectangle blanc) ont été utilisés pour combiner quantitativement les indicateurs environnementaux ou d'activité humaine avant de créer l'indicateur de menace (p. ex. « classement de l'atténuation du débit de surface »), ou ont servi à déterminer conceptuellement les catégories d'indicateurs (p. ex. « pressions sur les bassins versants ») [flèche pointillée]. Les indicateurs multiples peuvent ensuite être regroupés quantitativement en une cote finale d'effets cumulatifs ou de risque (« cote cumulative ») [encadré rouge, flèche pointillée], qui est associée dans l'espace à la composante écologique (flèche pleine). Si les indicateurs ont été regroupés sur le plan conceptuel, mais qu'aucune cote finale n'a été attribuée, ce regroupement a été jugé intermédiaire.

Bien que certains indicateurs soient semblables d'un outil à l'autre, beaucoup ont été calculés à l'aide de paramètres différents. En particulier, les menaces de pollution, de sédimentation et de

perturbation riveraine ont été représentées par deux outils, mais chacune d'entre elles a été calculée avec différents sous-indicateurs, mesures ou valeurs de référence pour la cotation (annexe 1, tableau A1; Iacarella et Potapova 2022). Par exemple, l'indicateur de menace de sédimentation a été calculé par l'outil SBOT à partir de trois mesures basées sur la longueur des routes, les traversées de cours d'eau et les perturbations dans la zone riveraine, et par l'outil SIWAP au moyen de deux mesures connexes mais différentes de la longueur des routes, de l'exploitation forestière sur les pentes et de trois mesures de caractéristiques environnementales. Notamment, ces outils ont utilisé des critères différents pour les distances par rapport aux cours d'eau et les seuils de pente raide pour calculer les paramètres routiers. L'OIPABP et l'outil Global Water ont également estimé le total des solides en suspension (une mesure de la charge sédimentaire), bien qu'il s'agisse d'un type de polluant selon ces outils. L'OIPABP a estimé les classes de polluants, y compris le total des solides en suspension, provenant des rejets d'effluents de source ponctuelle et du ruissellement de surface pour différents types de couverture terrestre (c.-à-d. agricole, urbaine et non urbaine), tandis que l'outil Global Water a utilisé une combinaison de la densité de la population humaine, de la vulnérabilité à l'érosion hydrique et des taux d'érosion publiés pour estimer les taux annuels d'érosion hydrique à titre d'indicateur (annexe 1, tableau A1; Iacarella et Potapova 2022). Chacun de ces outils a relevé différentes activités humaines et caractéristiques environnementales qui favorisent la sédimentation, et c'est probablement une combinaison de ces outils qui permettrait d'obtenir l'estimation la plus détaillée.

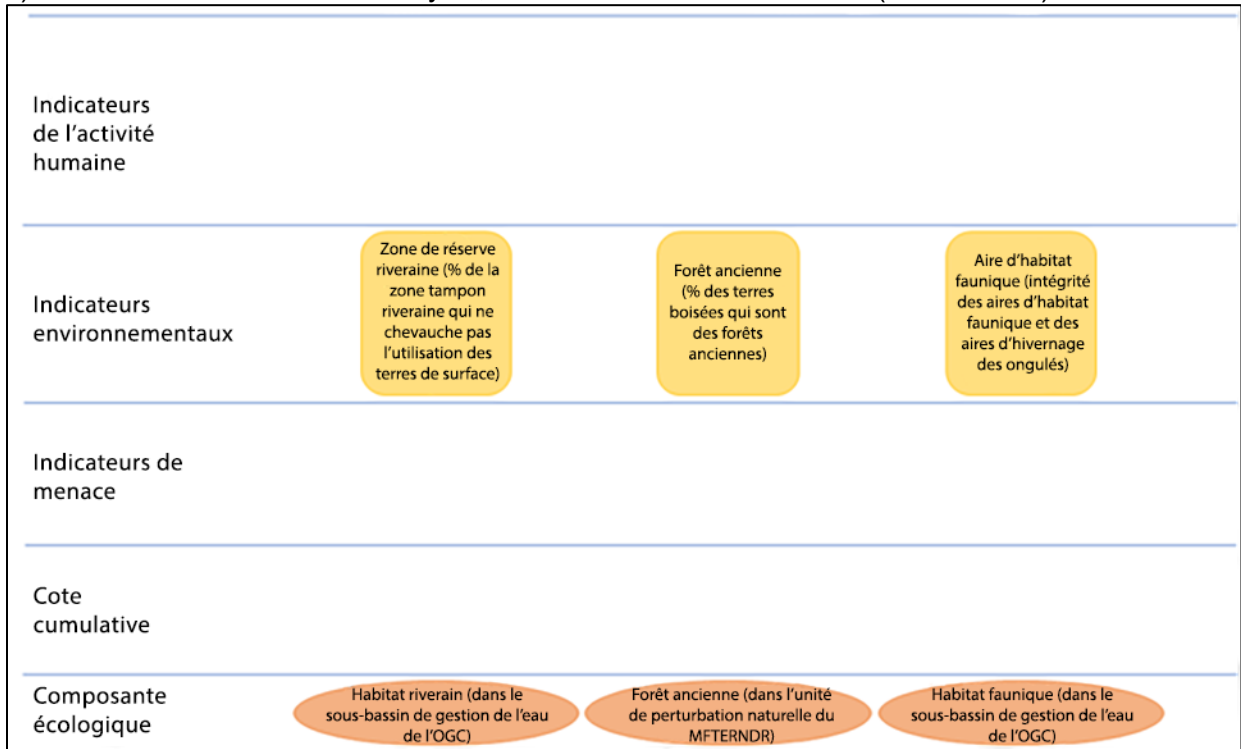
Les outils se sont également appuyés sur diverses sources de données, bien que la majorité d'entre eux (à l'exception des outils mondiaux) aient utilisé des données provenant du [BC Data Catalogue](#) ou de sources nationales préparées par le gouvernement fédéral. La qualité des données peut varier. Par exemple, certaines sources de données utilisées par les outils étaient désuètes, et beaucoup visaient des périodes différentes (Fondation du saumon du Pacifique 2021). Ainsi, la précision des indicateurs dans l'estimation d'une menace dépend de la pertinence de la mesure, de l'exhaustivité des mesures et de la qualité des sources de données, ce qui s'applique également aux cotes d'effets cumulatifs qui peuvent être fortement modifiées par des données à grande incertitude (Halpern et Fujita 2013). Il est clair qu'il n'y a pas de consensus sur les paramètres (et, dans une certaine mesure, sur les sources de données) qui conviennent le mieux à l'élaboration d'indicateurs de menace. Tenter de déterminer ces paramètres dépassait le cadre de l'étude, mais on a relevé qu'une évaluation plus poussée était nécessaire. Toutefois, une analyse de la documentation et des consultations avec des experts ont été réalisées afin de compiler les causes humaines les plus probables de différentes menaces pour estimer les indicateurs (p. ex., Stalberg *et al.* 2009; Boyd *et al.* 2022). La validation *in situ* est une prochaine étape qui nous permettrait de mieux comprendre la pertinence des mesures et des données pour les indicateurs de menace, bien qu'elle fasse actuellement défaut pour tous les outils existants, à l'exception de l'OIPABP, qui comprend une analyse de la charge en contaminants. L'analyse de l'OIPABP a révélé que les indicateurs utilisés sous-estimaient la pollution *in situ* malgré un examen exhaustif de la pollution ponctuelle et des apports par ruissellement de surface, et a mis en évidence la nécessité de disposer de données de meilleure qualité (OIPABP 2022).

En raison de la complexité et de la variété des mesures et des indicateurs employés dans les 13 outils, le reste de l'examen a porté sur les indicateurs. La présentation des outils ci-dessous est basée sur l'étendue spatiale (c.-à-d., régionale, mondiale) et l'organisation de l'auteur (c.-à-d., sans but lucratif, gouvernement), car les outils utilisés dans ces catégories étaient les plus semblables sur le plan de la méthodologie.

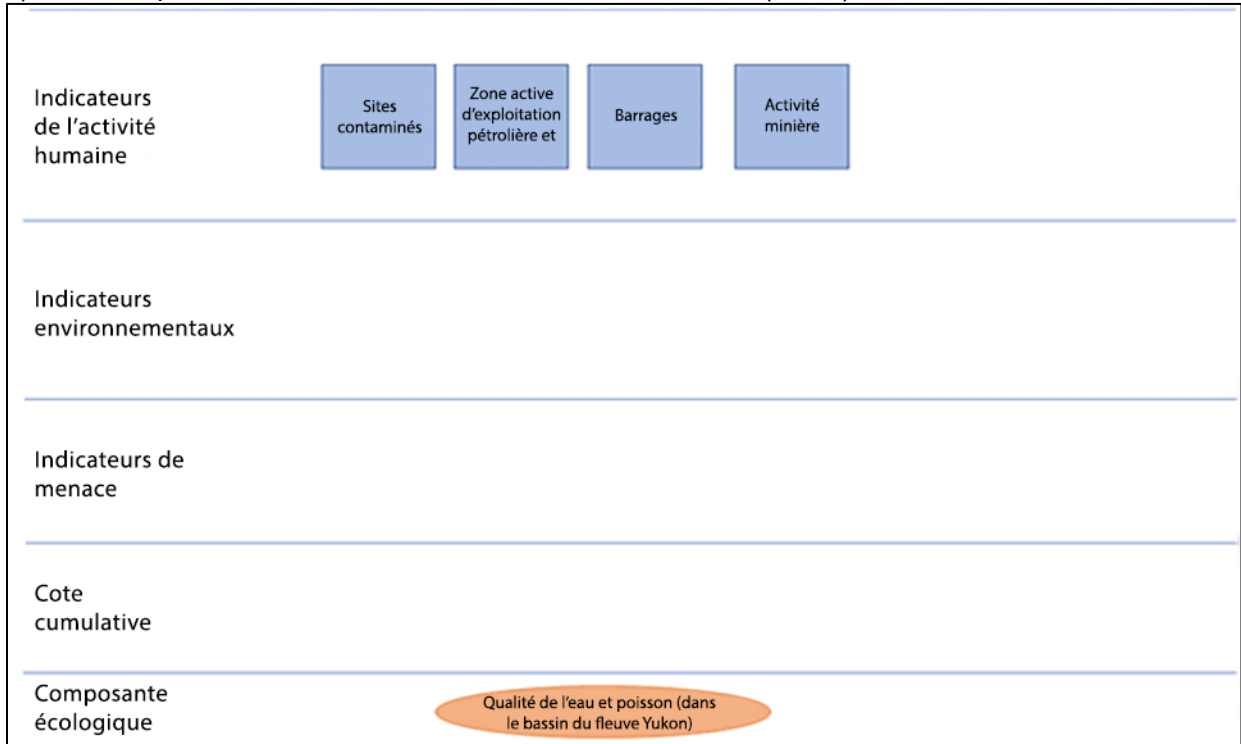
Outils régionaux des organisations non gouvernementales et de l'industrie

L'application du modèle normalisé de séquences des effets a révélé le degré d'analyse des indicateurs utilisé par chaque outil. Tous les outils, à l'exception de l'outil Peace River Oil and Gas, ont relevé des indicateurs d'activité humaine. L'outil Oil and Gas ne comprenait que des indicateurs environnementaux ($n = 3$), tandis que l'outil IGAP du Yukon ne comprenait que des indicateurs d'activité humaine ($n = 4$) [figure 2a-b]. L'outil PSE s'est largement concentré sur plusieurs indicateurs d'activité humaine cartographiés ($n = 11$) plutôt que sur des indicateurs de menace ($n = 2$) pour les bassins versants à saumon de la Colombie-Britannique (figure 2c). Les indicateurs d'activité ont été combinés en catégories générales relatives à l'habitat du saumon (p. ex. « indice de développement humain », « quantité d'eau »), puis regroupés en une cote d'effets cumulatifs. L'outil WWF-Canada était davantage axé sur les indicateurs de menace, les indicateurs d'activité humaine ($n = 10$) et les indicateurs environnementaux ($n = 4$) utilisés pour estimer cinq menaces ayant été regroupés en une cote de menace pertinente pour la santé du bassin versant (figure 2d). Certains des indicateurs d'activité humaine utilisés par WWF-Canada sont propres à son outil, les incidents de transport ayant par exemple été utilisés pour estimer la pollution.

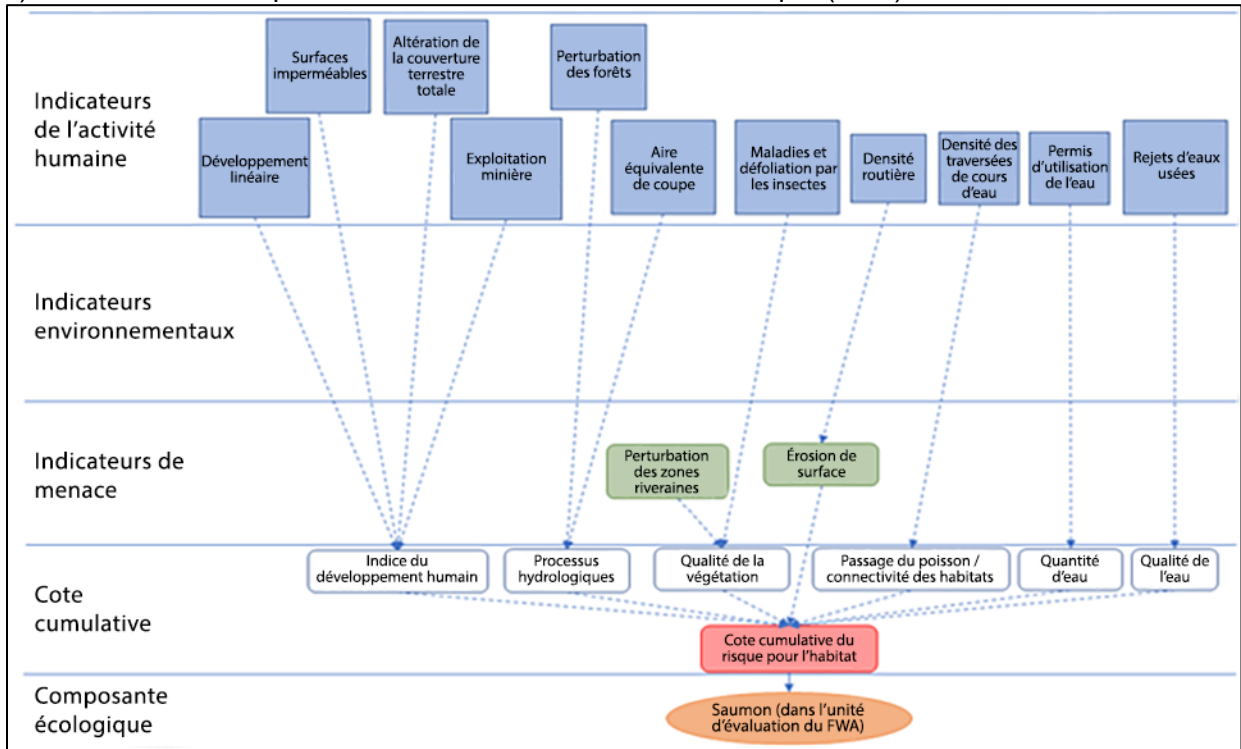
a) Peace River Area-Based Analysis, BC Oil and Gas Commission (Oil and Gas)



b) IGAP Map, Yukon River Inter Tribal Watershed Council (IGAP)



c) Pacific Salmon Explorer, Fondation du saumon du Pacifique (PSE)



d) Rapports sur les bassins versants, Fonds mondial pour la nature-Canada (WWF-Canada)

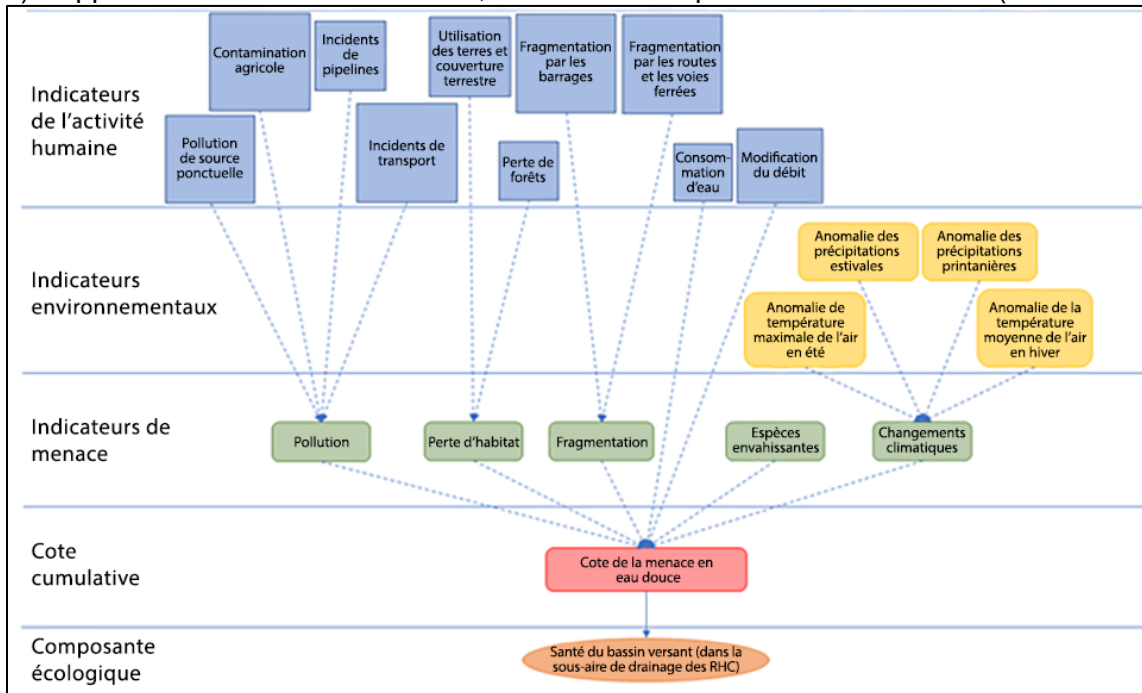


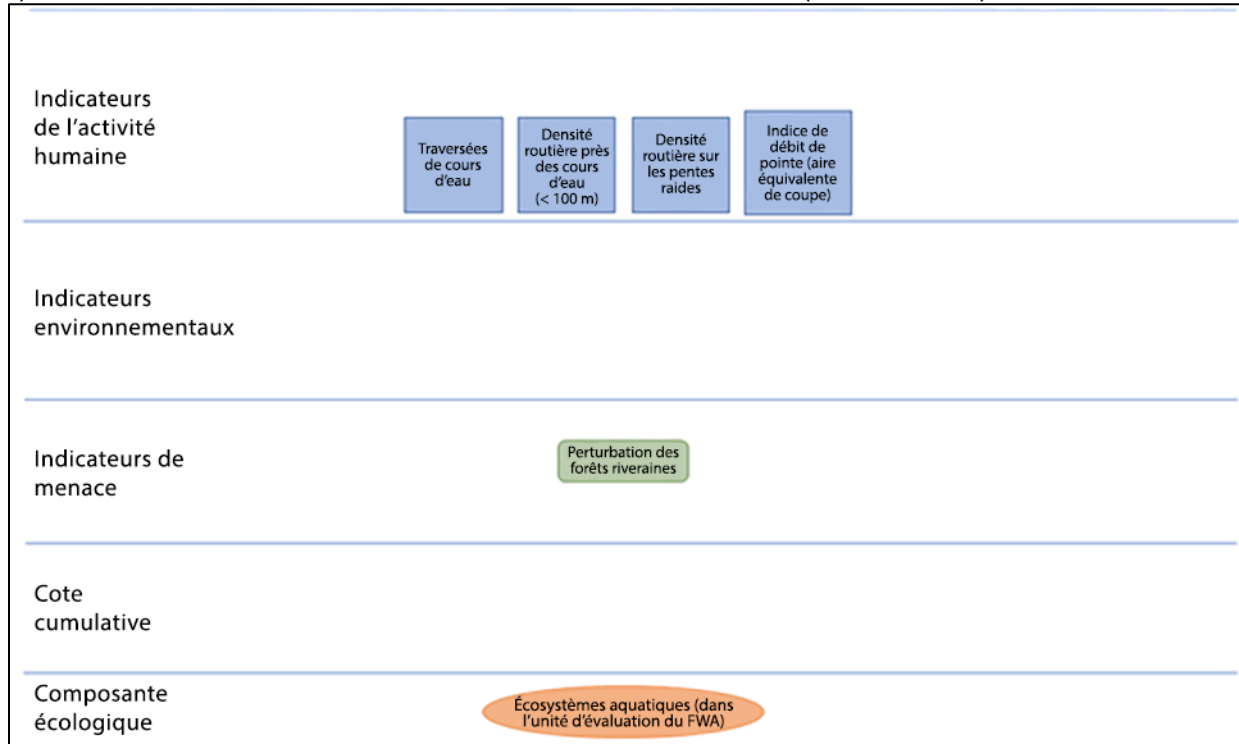
Figure 2. Outils géospatiaux régionaux provenant d'organisations non gouvernementales et de l'industrie. Les noms abrégés sont entre parenthèses. Les acronymes sont Oil and Gas Commission (OGC), ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural (MFTERNDR), Freshwater Atlas (FWA), Relevés hydrologiques du Canada (RHC).

Outils régionaux des organisations gouvernementales

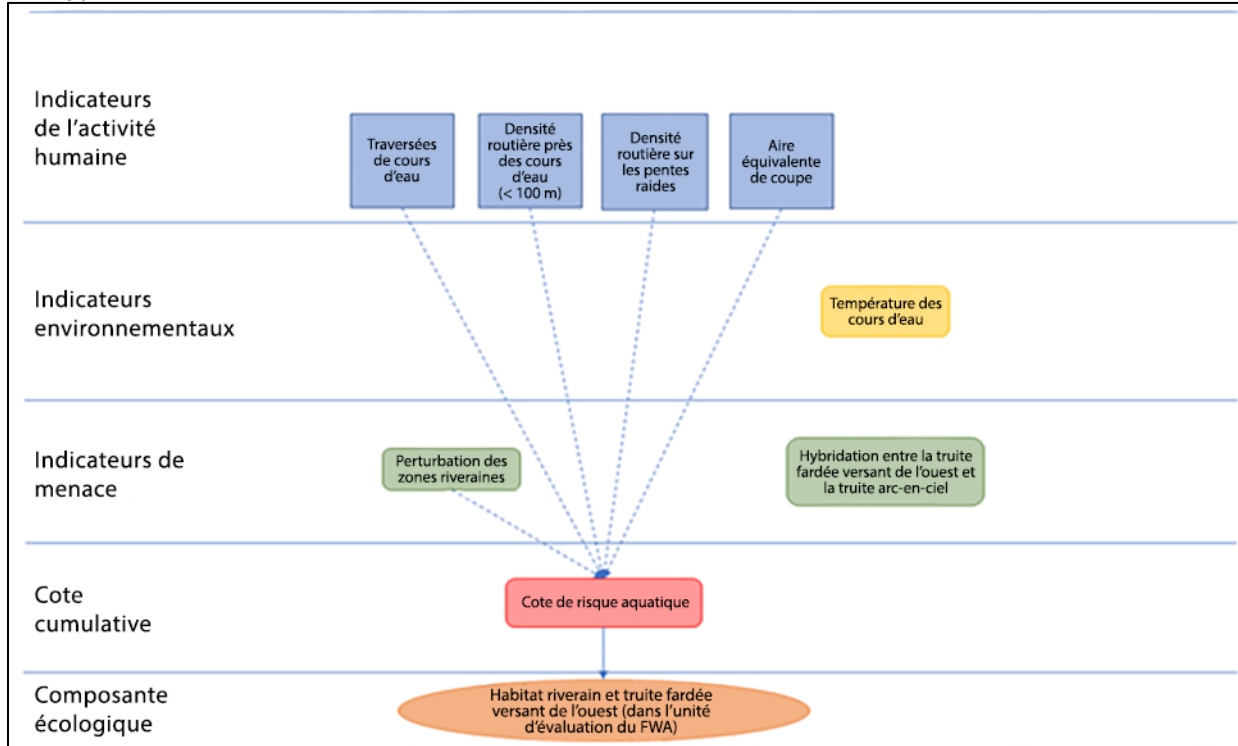
Les cinq outils provinciaux de la Colombie-Britannique comprenaient bon nombre des mêmes indicateurs d'activité humaine que l'outil PSE (les sources de données étant en grande partie préparées par la province). Les outils Howe Sound et Elk Valley étaient les plus simples, comprenant chacun quatre indicateurs d'activité humaine, tandis que l'outil Skeena contenait le plus grand nombre d'indicateurs d'activité humaine (n = 12), qui étaient largement classés comme des « pressions sur les bassins versants » (figure 3a-c). L'outil SBOT pour la côte sud de la Colombie-Britannique était l'outil en ligne le plus interactif de la province, et regroupait les indicateurs d'activité humaine (n = 5) et les indicateurs environnementaux (n = 4) en trois cotes de risque (risque de débit élevé, de sédimentation et pour les zones riveraines) pertinentes pour l'état du bassin versant, en fonction d'une série de classements et de données d'entrée (mesures intermédiaires) [figure 3d]. L'outil SIWAP pour la région de Thompson-Okanagan a utilisé les mêmes groupes de risques que l'outil SBOT, avec quelques variations dans les indicateurs entrés et les mesures intermédiaires (figure 3e).

L'OIPABP, d'Environnement et Changement climatique Canada, s'est concentré sur les polluants qui nuisent au saumon chinook dans le bassin du Fraser, sur l'île de Vancouver et dans les bassins versants côtiers (figure 3f). Une liste complète d'indicateurs d'activité humaine choisis pour leur potentiel de pollution (n = 11, y compris une catégorie groupée « autres activités commerciales ») a permis d'estimer différents types de menaces de pollution (c.-à-d. source ponctuelle et trois catégories de ruissellement de surface [bassin du Fraser seulement]). Une menace d'émissions atmosphériques a été établie directement à partir des données sur les émissions.

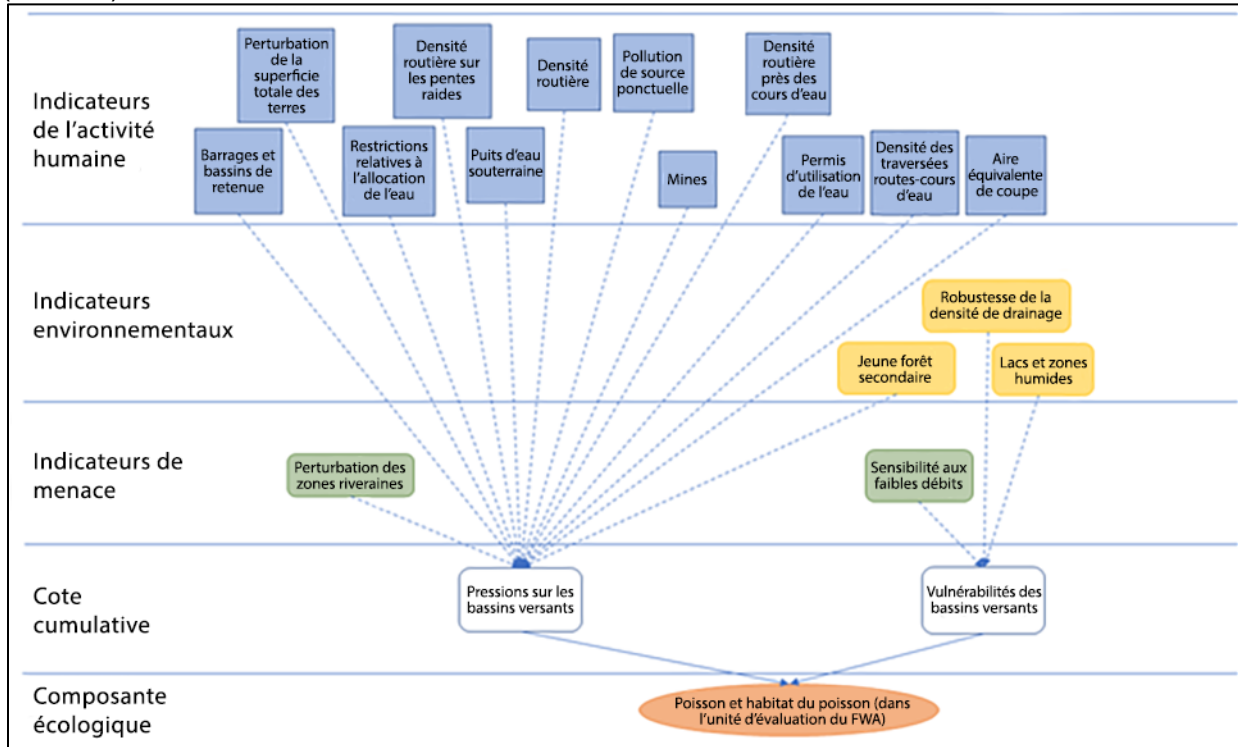
a) Howe Sound Cumulative Effects Framework, MFTERNDR (Howe Sound)



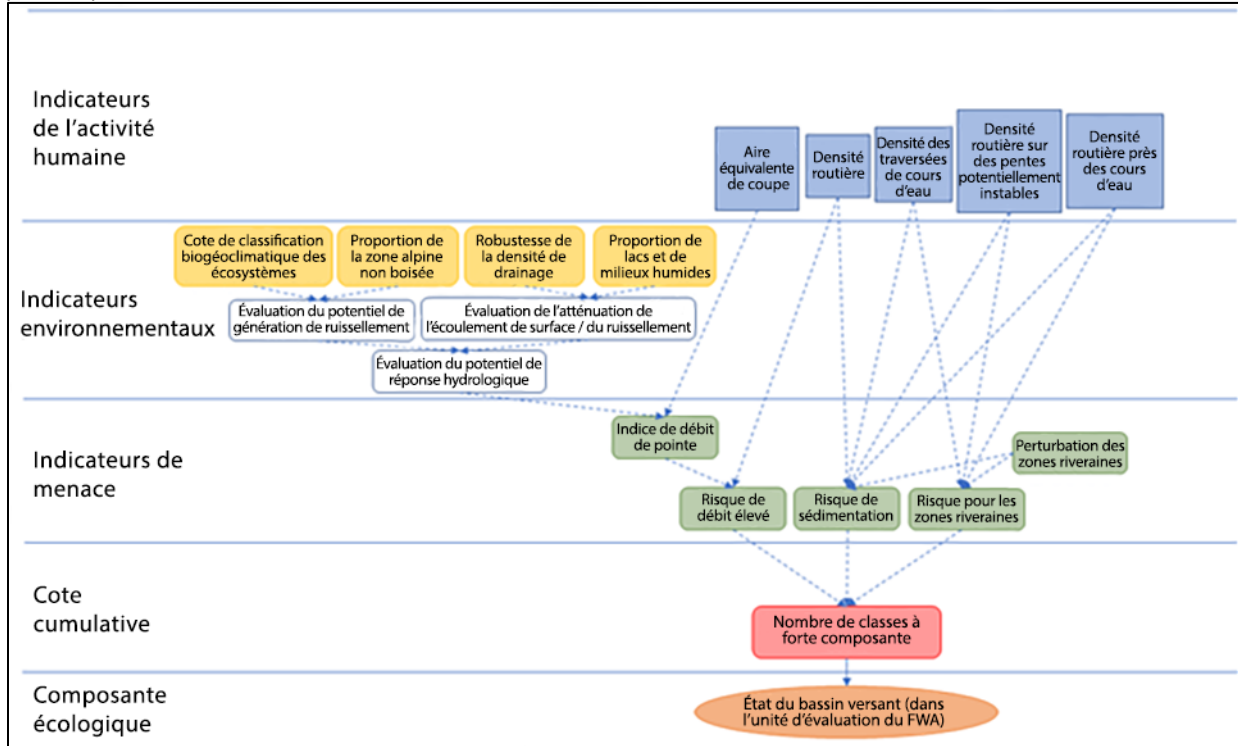
b) Elk Valley Aquatic Ecosystems Cumulative Effects Assessment Report, MFTERNDR (Elk Valley)



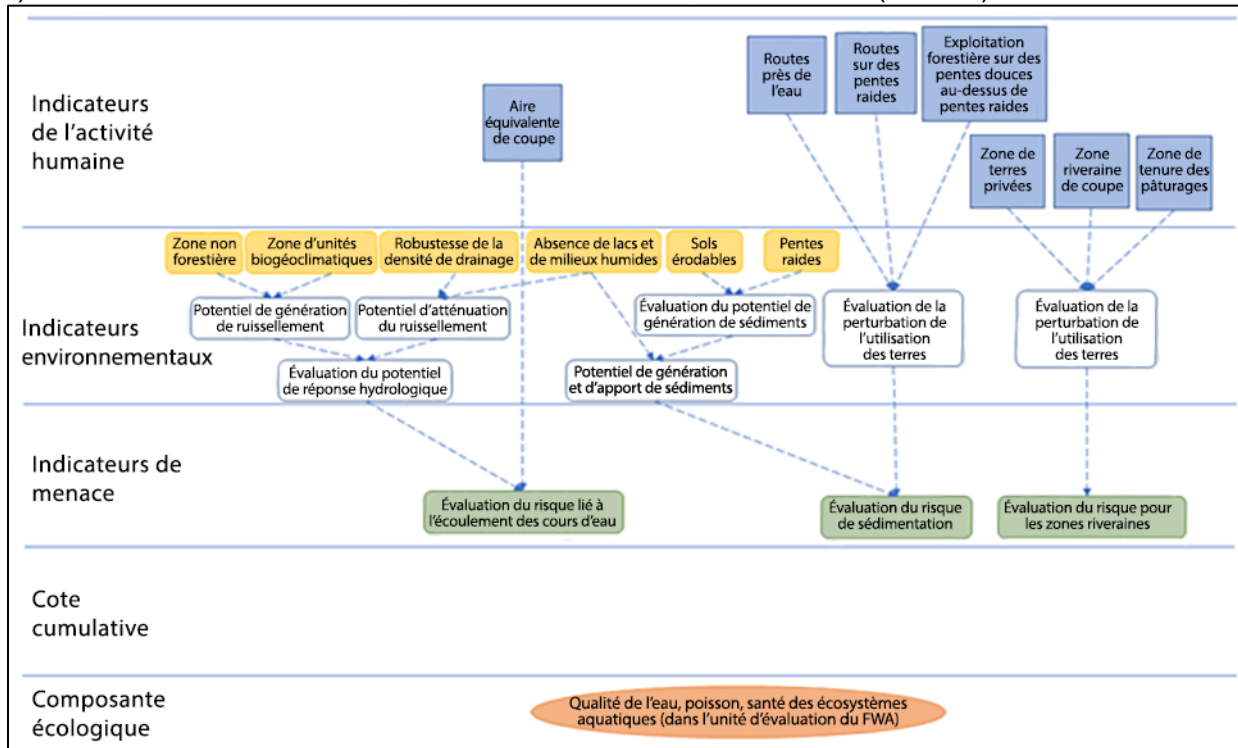
c) State of the Value Report for Fish and Fish Habitat, Skeena Sustainability Assessment Forum (Skeena)



d) Stewardship Baseline Objectives Tools for Forested Watershed Condition, MFTERNDR (SBOT)



e) Southern Interior Watershed Assessment Protocol, MFTERNDR (SIWAP)



f) Outil d'inventaire des polluants affectant les baleines et leurs proies, Environnement et Changement climatique Canada (OIPABP)

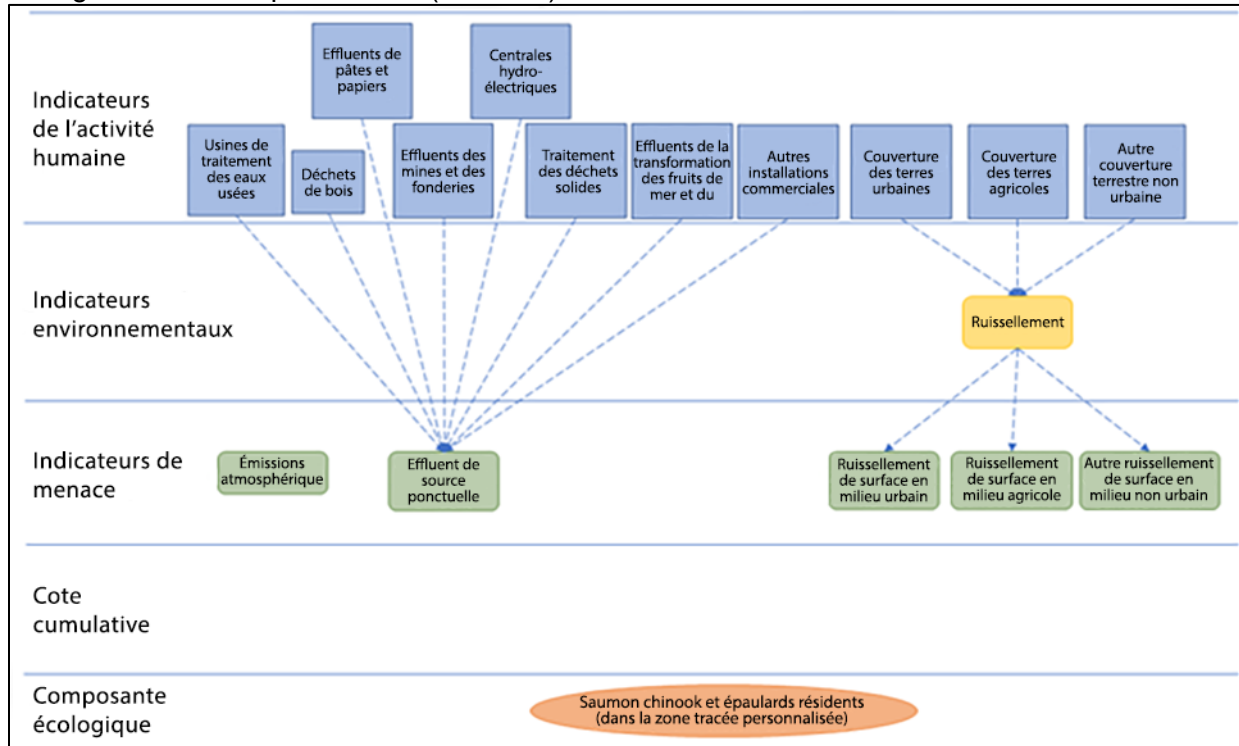
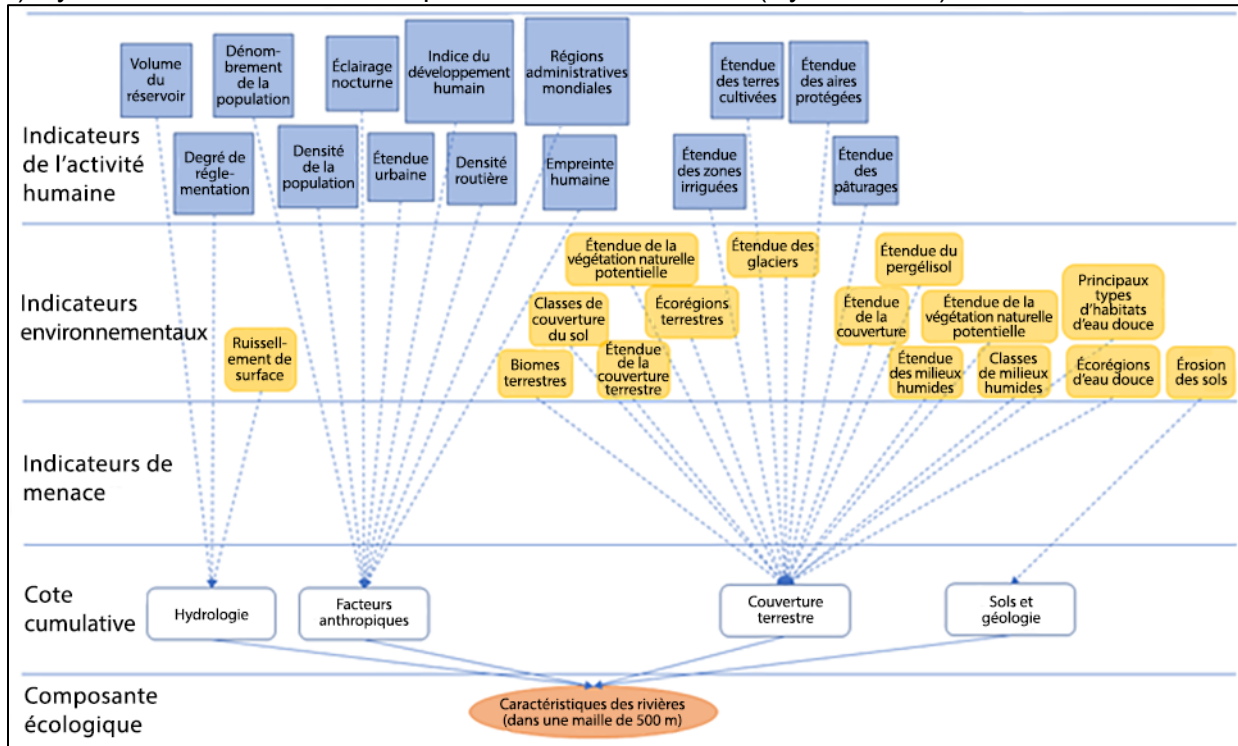


Figure 3. Outils géospatiaux régionaux des organisations gouvernementales. Les noms abrégés sont entre parenthèses. L'acronyme FWA signifie Freshwater Atlas.

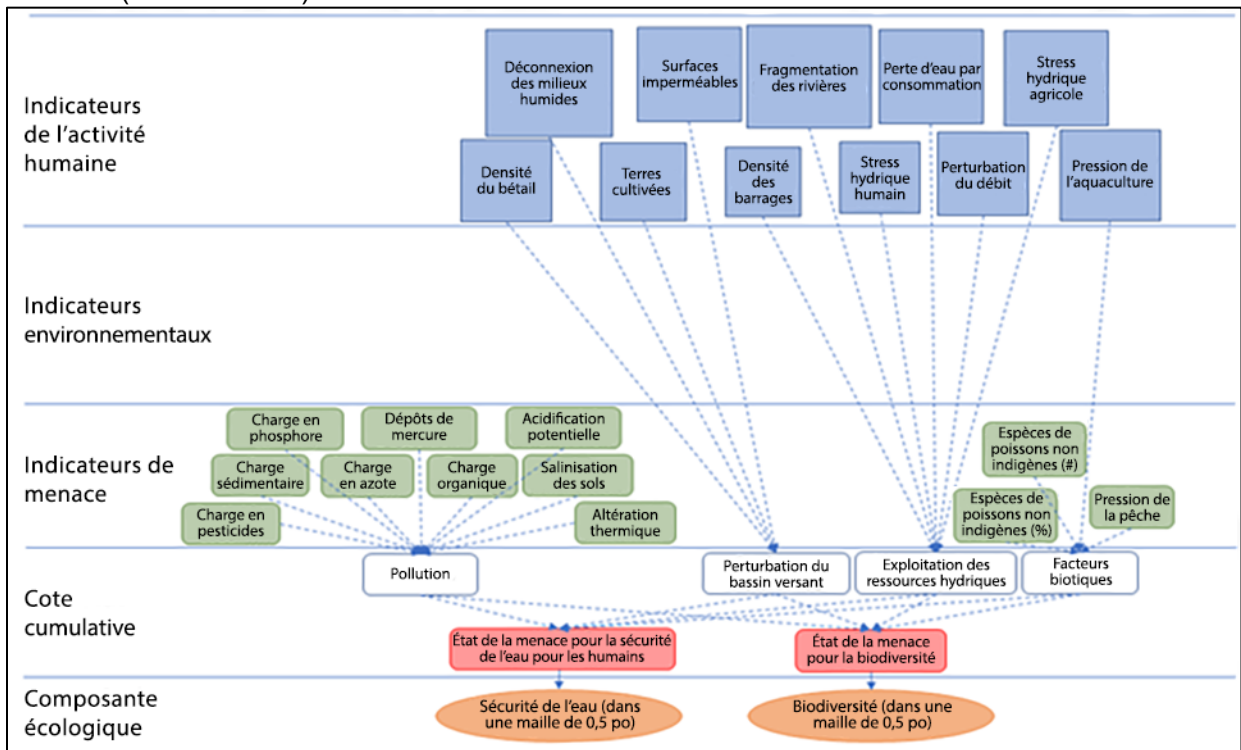
Outils mondiaux

L'outil HydroATLAS intégrait les plus vastes indicateurs environnementaux disponibles (n = 13), ainsi qu'un certain nombre d'activités humaines (n = 12) [figure 4a]. Ces couches ont été associées spatialement aux rivières et aux fleuves, mais les menaces découlant de ces activités n'ont pas été précisées et leur pertinence pour l'habitat du poisson varie. L'outil Global Water présente un grand nombre d'indicateurs d'activité humaine (n = 11) et de menace (n = 12, dont 9 ont été regroupés dans un indicateur de menace de pollution) [figure 4b]. Ces indicateurs ont été regroupés en mesures intermédiaires, puis en cotes de la situation des menaces pour la sécurité de l'eau pour les humains et la biodiversité. L'outil Global Forest a fourni une série d'indicateurs d'activité humaine (n = 8) grandement associés à une catégorie d'utilisation des terres, et beaucoup de vastes indicateurs environnementaux (n = 16) liés à la couverture des terres, à la modification des forêts et au climat (figure 4c).

a) HydroATLAS, Fonds mondial pour la nature-États-Unis (HydroATLAS)



b) Global Threats to Human Water Security and Biodiversity, Environmental CrossRoads Initiative (Global Water)



c) Global Forest Watch Interactive World Forest Map, Global Forest Watch (Global Forest)

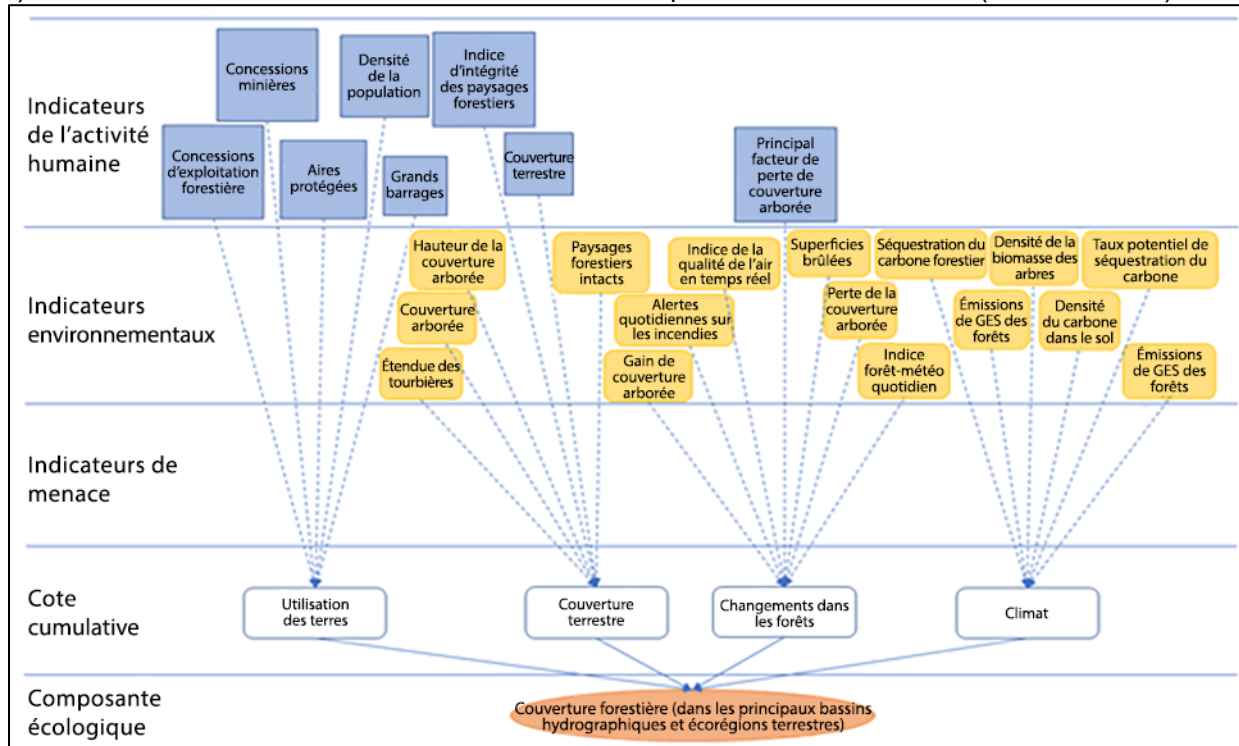


Figure 4. Outils géospatiaux mondiaux. Les noms abrégés sont entre parenthèses. L'outil HydroATLAS comportait des indicateurs supplémentaires pour le sol et la géologie, l'hydrologie, la physiographie et le climat, énumérés dans Iacarella et Potapova (2022).

Méthodes utilisées pour mettre au point les indicateurs

Nous avons examiné les méthodes utilisées par les outils géospatiaux pour créer les indicateurs, y compris les approches d'analyse spatiale, les résolutions, les étendues spatiales, les méthodes de cotation des effets cumulatifs (règles relatives aux seuils, au classement et à l'addition), le cas échéant, et toute composante temporelle d'évaluation des indicateurs.

Approches d'analyse spatiale

Il existe une variété d'approches qui peuvent être adoptées pour estimer les menaces des activités humaines sur les habitats d'eau douce. L'approche la plus simple fait jouer des superpositions directes de données géospatiales et tient compte de la quantité d'activités dans une zone d'intérêt donnée. Il s'agit d'une approche largement utilisée pour les analyses des agents stressants géospatiaux des paysages terrestres et marins, et elle a été employée par neuf des outils. Cependant, il importe de prendre en compte la direction du débit dans les évaluations des habitats d'eau douce, particulièrement pour les analyses à l'échelle du réseau hydrographique. Selon l'ampleur de la dilution, les répercussions sur les habitats en aval peuvent être sous-estimées si le débit n'est pas pris en compte pour les activités humaines ayant des effets en aval (p. ex., la pollution des mines). Les deux principales méthodes qui comptabilisaient les effets en aval comprenaient l'utilisation des points d'écoulement (points à la surface auxquels l'eau s'écoule hors d'une zone) des bassins ou sous-bassins pour rendre compte des répercussions accrues en aval (HydroATLAS, 19 indicateurs; WWF-Canada, 1 indicateur) et une approche d'accumulation des débits qui tenait compte des apports de l'activité humaine le long d'un réseau hydrographique ayant une direction d'écoulement définie

et du volume des rejets pour rendre compte de la dilution (Global Water, 14 indicateurs). Les outils SBOT et SIWAP se sont également basés sur l'élévation des unités de bassin versant pour estimer les indicateurs de risque de débit élevé (les deux outils) et de sédimentation (l'outil SIWAP seulement) dans un bassin versant. L'outil PSE a déterminé des « zones d'influence », soit des terres qui se drainent dans l'habitat important pour le saumon, au moyen d'une superposition directe d'activités qui sont ensuite délimitées par des unités de bassin versant. Cette méthode tient compte de l'incidence des activités humaines qui n'ont pas lieu directement à proximité d'un cours d'eau, comme le font d'autres outils qui utilisent les bassins versants comme résolution spatiale (voir la section « Résolutions » ci-dessous), mais n'estime pas l'accumulation en aval (ou la dilution) pour les habitats dans un bassin versant.

La contribution du ruissellement à certaines menaces (p. ex. la pollution, la sédimentation) est une autre considération importante pour les habitats d'eau douce. Cette contribution n'a été prise en compte que par l'OIPABP, qui s'est servi du ruissellement modélisé des eaux de surface et des catégories de couverture terrestre (agricole, urbaine et non urbaine) pour estimer les contributions de polluants provenant de ces types de couverture terrestre.

Résolutions et étendues spatiales

La résolution nécessaire pour déterminer et gérer les menaces pesant sur l'habitat du poisson est probablement différente de celle nécessaire pour rendre compte de l'intensité globale des répercussions estimées sur l'habitat du poisson dans une grande région. La majorité des outils examinés appliquaient les données d'entrée à une résolution à l'échelle du bassin versant, ce qui permet de cartographier et de mettre en évidence les zones d'un paysage que l'on estime être plus à risque. Six des outils (l'outil PSE et les cinq outils provinciaux de la Colombie-Britannique) ont utilisé les [bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas \(FWA\)](#) à une échelle de 1/20 000, dont la superficie moyenne est de 0,3 km² (ce qui correspond à une grille de 0,55 km). Ces unités ont été élaborées par la province afin de délimiter le plus grand nombre possible de bassins versants qui contiennent entièrement la zone de terre drainée par un cours d'eau intérieur jusqu'à un point situé à la limite du bassin versant, où aucune zone en amont ne se jette.

De plus, l'outil Oil and Gas s'est fondé sur les bassins de gestion des eaux, tandis que l'outil WWF-Canada a utilisé les sous-aires de drainage des Relevés hydrologiques du Canada.

Les outils HydroATLAS et Global Water ont maillé leurs données d'entrée et les ont appliquées aux systèmes d'eau douce mondiaux. Plus précisément, l'outil HydroATLAS a utilisé une grille en 15 secondes d'arc (~ 0,5 km à l'équateur) et l'a appliquée aux sous-bassins (« BasinATLAS ») et aux tronçons de rivière (« RiverATLAS »), tandis que l'outil Global Water a utilisé une grille de 0,5° (~ 55 km) appliquée aux réseaux hydrographiques.

Les trois autres outils n'ont pas permis de combiner des indicateurs ni de les appliquer à une unité d'eau douce. Ils ont plutôt cartographié des données ponctuelles (IGAP), différentes résolutions de données maillées (Global Forest), ou représenté les indicateurs sous forme de carte thermique (OIPABP). Les deux derniers outils, Global Forest et l'OIPABP, constituaient des visualisations efficaces de l'activité humaine et des gradients de menace à une résolution plus fine que les unités de bassin versant, mais n'ont pas directement fourni de statistiques sommaires qui pourraient être utiles à la production de rapports.

Comme indiqué précédemment, l'outil WWF-Canada s'étendait à l'ensemble du Canada, les outils PSE et SBOT couvraient plusieurs bassins importants pour le saumon en Colombie-Britannique, six outils étaient propres aux principaux bassins ou sous-bassins de la Colombie-

Britannique, et trois outils avaient une échelle mondiale. L'outil IGAP était le seul propre au Yukon.

Cotation des effets cumulatifs

Sept outils combinaient les indicateurs en une cote d'effets cumulatifs :

- L'outil PSE a utilisé deux types de méthodes pour chacun de ses indicateurs pour d'abord classer les valeurs dans les catégories faible, modérée et élevée. Huit indicateurs ont été regroupés en fonction de délimitations statistiques (p. ex., centiles, valeurs aberrantes), et quatre ont été regroupés en fonction de la documentation existante ou d'avis d'experts. Les indicateurs ont ensuite été regroupés en différentes catégories d'effet (p. ex., « qualité de la végétation », « qualité de l'eau ») et classés dans des catégories de risque faible, modéré ou élevé, en fonction du nombre d'indicateurs classés comme faibles, modérés ou élevés (p. ex., si deux des quatre indicateurs sont élevés, le risque est élevé). La cote cumulative finale était ensuite basée sur une autre série semblable de règles de cumul.
- L'outil WWF-Canada a utilisé quatre méthodes statistiques pour répartir les valeurs des indicateurs en trois six 6 niveaux de menace (allant d'aucune menace à une menace très élevée) : les centiles, les seuils naturels de Jenks, les écarts types ou des catégories tirées de la documentation existante. Des valeurs ont ensuite été attribuées à ces menaces (p. ex. une menace très faible = 1) et un pourcentage a été calculé d'après le nombre total de niveaux. On a ensuite pris le maximum ou la moyenne des cotes de menace en pourcentage dans une catégorie d'indicateurs (p. ex., « pollution », « perte d'habitat »), et la médiane de toutes les catégories d'indicateurs a été utilisée comme cote cumulative finale.
- L'outil Elk Valley a normalisé chaque indicateur continu de 0 à 1 (à l'exception des indicateurs d'hybridation et de température du cours d'eau). La cote moyenne de cinq des sept indicateurs appliqués a ensuite été classée en trois catégories : risque faible, modéré ou élevé. Des cotes faibles, modérées et élevées ont également été élaborées pour chaque indicateur à partir de la documentation existante et d'avis d'experts, mais elles n'ont pas été utilisées pour calculer la cote d'effets cumulatifs.
- L'outil SBOT a utilisé des approches statistiques et fondées sur des avis d'experts pour classer chaque indicateur dans les catégories faible, modéré et élevé en fonction des seuils du BC Cumulative Effects Framework (Provincial Aquatic Ecosystems Technical Working Group 2020). Pour l'indicateur de menace « indice de débit de pointe », l'outil SBOT a utilisé des matrices de cotation pour chaque groupe d'indicateurs intermédiaires du BC Cumulative Effects Framework, adaptées de l'outil SIWAP. Les matrices de cotation associent les indicateurs de sorte que la valeur d'un indicateur influe sur la catégorie de risque de l'indicateur auquel il est associé. Par exemple, l'indice de débit de pointe d'un bassin versant ayant une aire équivalente de coupe de 40 % pourrait être évalué comme faible ou élevé selon que le « potentiel de réponse hydrologique » est faible ou élevé. Chaque catégorie de risque (c.-à-d. « débit élevé », « sédimentation » et « zone riveraine ») s'est ensuite vue attribuer une cote de risque faible, modéré ou élevé en fonction de la cote la plus élevée parmi les indicateurs pertinents. La cote la plus élevée de toutes les catégories de risque a ensuite été retenue comme cote cumulative globale.
- L'outil SIWAP a créé l'approche originale utilisée par l'outil SBOT et les matrices de cotation dans le cadre du BC Cumulative Effects Framework (Provincial Aquatic Ecosystems Technical Working Group 2020). L'outil SIWAP a attribué des valeurs finales à chaque catégorie de risque, comme ci-dessus, mais n'a pas combiné les risques pour obtenir une cote cumulative globale.

- Les indicateurs de pollution de l'OIPABP ont tous été calculés en unités de kg/an et directement additionnés pour obtenir la mesure de l'effet cumulatif des polluants.
- L'outil Global Water a normalisé la valeur de chaque indicateur sur une échelle continue de 0 à 1. Les indicateurs ont ensuite été regroupés en mesures intermédiaires, pondérées selon leur importance en fonction d'avis d'experts, puis additionnés. Ces mesures ont ensuite été regroupées de manière semblable, pondérées par importance et additionnées pour obtenir des cotes d'effets cumulatifs pour la « menace pour la sécurité de l'eau pour les humains » et la « menace pour la biodiversité ». Les pondérations d'un indicateur ou d'une mesure intermédiaire entrant dans plus d'un groupe étaient différentes en fonction de l'importance pour ce groupe. Par exemple, la fragmentation des rivières a contribué davantage à la « menace pour la biodiversité » (poids = 0,3) qu'à la « menace pour la sécurité de l'eau pour les humains » (0,03).

Comme le montre la variété des approches utilisées dans les outils ci-dessus, il y a actuellement peu de cohérence ou d'harmonisation dans la fixation de seuils pour les valeurs de classement, ou dans les méthodes de cumul ou d'addition permettant de calculer la cote finale d'effets cumulatifs. Idéalement, le regroupement devrait être fondé sur des valeurs importantes sur le plan écologique, comme celles mesurées par les courbes de réponse aux agents stressants dans le cadre d'expériences en laboratoire (p. ex., les seuils de température; Environmental Protection Agency des États-Unis 2003) ou d'observations sur le terrain (MPO 2019b; Iacarella 2022). Ensuite, les seuils de classement devraient être fondés sur des avis d'experts et l'examen de la documentation existante. Stalberg *et al.* (2009; abordé plus en détail dans la section « Autres approches et outils ») fournissent des valeurs de référence provisoires pour un certain nombre d'indicateurs fondés sur des avis d'experts et notent qu'ils peuvent être personnalisés pour différentes unités de conservation du saumon du Pacifique ou pour un bassin versant. L'Environmental Protection Agency a également réalisé des analyses documentaires approfondies sur les réponses en laboratoire et sur le terrain des salmonidés à la température sur la côte nord-ouest du Pacifique afin de créer des normes pour les seuils de température (Environmental Protection Agency des États-Unis 2003). À l'inverse, le classement basé sur la structure des données (p. ex., centiles, valeurs aberrantes, écarts) ne tient pas compte des réponses non linéaires et seuils, qui sont courantes sur le plan écologique, et crée des cotes d'indicateurs qui ne sont pertinentes que pour la zone évaluée.

De nombreuses itérations et une variété de méthodes de classement et de règles de cumul pour un seul outil peuvent faire en sorte que la cote finale d'effets cumulatifs est très éloignée des données originales. En particulier, le regroupement des valeurs des indicateurs au début d'une série de règles de cumul pour l'attribution de niveaux de risque faible, modéré et élevé peut réduire prématurément les informations fournies par les données continues. Une approche plus courante dans la documentation sur les effets cumulatifs consiste à normaliser les cotes et à les additionner avant de classer les cotes finales en niveaux de risque (Halpern et Fujita 2013), ce qui permet de conserver la résolution des données jusqu'au moment d'appliquer la méthode de cotation finale. En outre, il est recommandé de conserver les asymétries dans les cotes des indicateurs, car elles représentent des différences réelles à l'échelle du paysage, et de normaliser les cotes en fonction de la valeur la plus élevée observée dans la région, additionnée de 10 % pour saisir les augmentations à court terme des menaces (Halpern et Fujita 2013). Les cotes sont ensuite souvent pondérées en fonction d'avis d'experts, ce qui permet de mettre l'accent sur les menaces les plus importantes. Cependant, cette approche d'effets cumulatifs suppose des réponses linéaires et additives, ce qui est probablement inexact mais actuellement largement accepté en raison d'informations insuffisantes (Halpern et Fujita 2013). Une autre approche utilisée par les outils SBOT et SIWAP, détaillée dans le BC

Cumulative Effects Framework (Provincial Aquatic Ecosystems Technical Working Group 2020), est la plus prudente, car elle attribue un risque élevé chaque fois qu'il y a une valeur d'indicateur élevée. Il s'agit d'une approche plus critique du risque que les approches statistiques (p. ex., calcul de la moyenne, addition) ou de dénombrement (p. ex., nombre d'indicateurs ayant une certaine valeur).

Composante temporelle

L'idéal pour évaluer l'état de l'habitat du poisson est de mettre à jour les évaluations pour déterminer comment les menaces évoluent dans le temps en fonction de la progression des activités humaines et des perturbations dans le paysage, et des mesures de restauration et de conservation. Parmi les outils examinés, seul l'outil Global Forest avait une composante temporelle, les années comparées dépendant de l'indicateur (et de l'ensemble de données utilisé). Par exemple, la « perte de couverture forestière » a été cartographiée comme une période allant de 2001 à 2021, tandis que les « paysages forestiers intacts » avaient comme année de référence l'an 2000 et montraient des parcelles de perte ultérieure en 2000-2013 et 2013-2016. Comme pour les autres outils, les activités humaines telles que l'exploitation minière n'ont été intégrées que sous la forme d'un seul aperçu dans le temps.

La présente réponse ne visait pas à déterminer si et à quelle fréquence les sources de données sur l'activité humaine pour la région du Pacifique sont mises à jour pour permettre une composante temporelle (pour obtenir une liste des sources de données pour chaque indicateur des outils, voir Iacarella et Potapova 2022). Toutefois, l'outil PSE a relevé que de nombreuses couches provinciales de la Colombie-Britannique ne sont pas actuellement mises à jour et que certaines des couches utilisées par les outils régionaux sont plutôt désuètes. Par exemple, l'« Aggregate Mining Inventory » utilisé par l'outil PSE a été publié en 2004 (voir l'annexe 7 de Fondation du saumon du Pacifique 2021). En général, les sources de données sur l'activité humaine ayant la meilleure composante temporelle sont les couches forestières qui, dans certains cas, ont des informations annuelles, comme le montrent les couches mondiales utilisées par l'outil Global Forest. Les couches de couverture terrestre sont également mises à jour par Ressources naturelles Canada tous les cinq ans. Les données climatiques utilisées pour élaborer les indicateurs de température et de débit des cours d'eau peuvent également fournir une résolution temporelle quotidienne (p. ex., le Pacific Climate Impacts Consortium Explorer décrit dans « Autres approches et outils examinés de manière informelle »). Toutefois, compte tenu des mises à jour limitées des données et de l'étendue temporelle différente de chaque ensemble de données, les outils examinés ne fournissent actuellement des estimations des menaces que sous la forme d'un seul aperçu dans le temps.

Indicateurs liés aux menaces dans l'Énoncé de politique du PPPH, le Guide provisoire de gestion des risques et les rapports du COSEPAC

Nous avons déterminé quels indicateurs des outils géospatiaux sont liés aux menaces énumérées dans l'Énoncé de politique sur la protection du poisson et de son habitat (MPO 2019) et aux pressions indiquées dans le Guide provisoire de gestion des risques pour la protection du poisson et de son habitat (MPO 2019b) afin d'établir si ces outils abordent certains aspects des menaces jugées importantes par le PPPH. Nous avons également déterminé quels outils comprennent des indicateurs liés aux menaces répertoriées par le COSEPAC. Pour ce faire, nous avons compilé les principales menaces signalées dans les documents du COSEPAC comme ayant une incidence sur les populations de saumon du Pacifique et d'espèces d'eau douce en péril dans la région du Pacifique. Nous avons examiné 28 rapports du COSEPAC pour 26 unités désignables (UD) du saumon chinook, une UD du

saumon coho, 24 UD du saumon sockeye et 25 espèces en péril. Nous avons extrait et regroupé les menaces pour les espèces d'eau douce en 14 catégories : avalanches et glissements de terrain, débit élevé, faible débit, température élevée, dégradation de l'habitat, fragmentation de l'habitat, amélioration des éclosiers, interactions avec des espèces envahissantes, interactions avec des espèces indigènes problématiques, variation de la transmission d'agents pathogènes en raison de températures élevées, pollution, loisirs (p. ex., le canotage est considéré comme une menace pour l'épinoche), perte d'habitat riverain et sédimentation. Enfin, nous avons déterminé si les menaces signalées par le COSEPAC étaient englobées dans l'Énoncé de politique (MPO 2019) et le Guide provisoire de gestion des risques (MPO 2019b) afin d'évaluer s'il existe des menaces clés qui pourraient nécessiter un examen plus approfondi de la part du PPPH.

Nous notons que certaines menaces répertoriées par le PPPH et le COSEPAC ont de nombreux aspects différents, par exemple la dégradation et la modification de l'habitat, et que les outils géospatiaux peuvent ne traiter que certains d'entre eux. Par exemple, le dragage est une activité humaine qui entraîne la dégradation et la modification de l'habitat, mais il n'a pas été inclus dans les outils. Les activités humaines et les menaces représentées dans les outils ont tendance à être celles pour lesquelles des données spatiales sont facilement accessibles. Chaque outil fournissait différents indicateurs pertinents aux menaces relevées par le PPPH et le COSEPAC et, comme mentionné précédemment, ces indicateurs étaient composés d'une variété de mesures. La qualité des indicateurs peut être mieux évaluée en comparant les mesures utilisées, comme dans le tableau A1 de l'annexe 1 et dans Iacarella et Potapova (2022). Par exemple, les estimations de la pollution de sources ponctuelles par l'OIPABP et l'outil Global Water étaient beaucoup plus détaillées que le dénombrement des sources de polluants inclus dans l'outil Skeena. Dans les tableaux 2 à 4, nous donnons un aperçu des liens entre les indicateurs de chaque outil et les menaces relevées par le PPPH et le COSEPAC (comme indiquées par les outils). Ces tableaux mettent en évidence la diversité des indicateurs qui peuvent être utilisés pour évaluer une menace, et permettent de faire des comparaisons relatives générales de l'exhaustivité des évaluations par les outils et des menaces prioritaires. Nous notons que le fait de « traiter » une menace ne signifie pas que tous les aspects de la menace ont été estimés.

Les menaces de dégradation et de modification de l'habitat indiquées dans l'Énoncé de politique du PPPH (MPO 2019) étaient couramment abordées par les outils géospatiaux ($n = 11$ outils pour les deux), alors que les espèces aquatiques envahissantes ($n = 2$), la pollution ($n = 5$) et les changements climatiques ($n = 2$) étaient plus souvent absents (tableau 2). L'outil WWF-Canada était le seul qui abordait certains aspects de toutes ces menaces, tandis que l'outil Global Water avait des liens avec toutes les menaces sauf les changements climatiques. Les outils PSE, Howe Sound, SBOT, SIWAP, HydroATLAS et Global Forest ont tous évalué les menaces de dégradation et de modification de l'habitat, mais aucune des autres menaces. Les outils WWF-Canada et Elk Valley sont les seuls outils à avoir intégré certains aspects des changements climatiques.

La menace relative à la modification ou à la perte du passage du poisson énoncée dans le Guide provisoire de gestion des risques (MPO 2019b) a été abordée le plus souvent par les outils géospatiaux ($n = 10$), tandis que la modification de la végétation aquatique, les changements dans l'approvisionnement alimentaire et l'oxygène dissous n'ont été évalués par aucun des outils (tableau 3). De nombreux outils ($n = 8$) comportaient des indicateurs relatifs à au moins trois des huit menaces, l'outil Global Water étant lié au plus grand nombre de menaces, soit quatre.

Comme pour les menaces énoncées par le PPPH, la dégradation et la fragmentation de l'habitat étaient les menaces relevées par le COSEPAC les plus souvent évaluées par les outils géospatiaux (n = 11 et n = 10, respectivement) [tableau 4]. L'amélioration des écloséries, la transmission d'agents pathogènes et les loisirs n'ont pas été abordés par les outils, tandis que les avalanches et les glissements de terrain (SBOT, SIWAP) et les interactions avec les espèces indigènes problématiques (Elk Valley) étaient rarement abordés. L'outil Global Water a évalué le plus grand nombre de menaces indiquées par le COSEPAC (n = 8), suivi des outils WWF-Canada, Elk Valley et Skeena (n = 7 pour les trois).

Les menaces signalées par le COSEPAC qui ne sont actuellement pas prises en compte dans l'Énoncé de politique du PPPH (MPO 2019) ou le Guide provisoire de gestion des risques (MPO 2019b) sont les avalanches et les glissements de terrain, l'amélioration des écloséries, les interactions avec les espèces indigènes problématiques, la variation dans la transmission d'agents pathogènes en raison de températures élevées et les loisirs (tableau 5). La menace de pollution signalée par le COSEPAC correspond à la plupart des menaces énumérées par le PPPH (pollution, substances nocives, oxygène dissous, nutriments). En particulier, l'eutrophisation (l'apport excessif de nutriments) et l'anoxie (le manque d'oxygène dissous) sont considérées par le COSEPAC comme des menaces de pollution.

Tableau 2. Indicateurs évalués par des outils géospatiaux qui sont pertinents pour évaluer les menaces énumérées dans l'Énoncé de politique sur la protection du poisson et de son habitat (MPO, 2019). Les indicateurs n'ont été inscrits sous les menaces énumérées que lorsque l'outil indiquait le lien avec la menace. Par exemple, si un outil comprenait la densité routière comme indicateur, mais ne précisait pas qu'il s'agissait d'un indicateur de sédimentation, nous n'avons pas fait le lien nous-mêmes.

| Outil | Menaces énumérées dans l'Énoncé de politique du PPPH | | | | |
|-------------|---|---|----------------------------------|--|--|
| | Dégradation de l'habitat | Modification de l'habitat | Espèces aquatiques envahissantes | Pollution | Changements climatiques |
| Oil and Gas | - | - | - | - | - |
| IGAP | Mines, pétrole et gaz | Barrages | - | Sites contaminés | - |
| PSE | Aire équivalente de coupe, surfaces imperméables, développement linéaire, mines, modification de la couverture terrestre totale | Aire équivalente de coupe, traversées de cours d'eau, permis d'utilisation de l'eau | - | - | - |
| WWF-Canada | Barrages, perte de forêts, utilisation des terres/couverture des terres, traversées routières et ferroviaires | Modification des débits, barrages, traversées routières et ferroviaires, utilisation de l'eau | Espèces envahissantes | Contamination agricole, incidents de pipelines, pollution de source ponctuelle, incidents de transport | Anomalie des précipitations printanières, anomalie de la température maximale de l'air en été, anomalie des précipitations estivales, anomalie de la température moyenne de l'air en hiver |
| Howe Sound | Aire équivalente de coupe, indicateurs de densité routière, traversées de cours d'eau | Aire équivalente de coupe, traversées de cours d'eau | - | - | - |
| Elk Valley | Aire équivalente de coupe, indicateurs de densité routière, traversées de cours d'eau | Aire équivalente de coupe, traversées de cours d'eau | - | - | Température des cours d'eau |

| Menaces énumérées dans l'Énoncé de politique du PPPH | | | | | |
|--|---|--|-----------------------------------|--|-------------------------|
| Outil | Dégradation de l'habitat | Modification de l'habitat | Espèces aquatiques envahissantes | Pollution | Changements climatiques |
| Skeena | Barrages, aire équivalente de coupe, mines, indicateurs de densité routière, traversées de cours d'eau, perturbation de la superficie totale des terres | Barrages, aire équivalente de coupe, puits d'eau souterraine, restrictions relatives à l'allocation de l'eau, permis d'utilisation de l'eau, traversées de cours d'eau | - | Pollution de source ponctuelle | - |
| SBOT | Aire équivalente de coupe, indicateurs de densité routière | Aire équivalente de coupe, traversées de cours d'eau | - | - | - |
| SIWAP | Aire équivalente de coupe, indicateurs de densité routière | Aire équivalente de coupe | - | - | - |
| OIPABP | - | - | - | Émissions atmosphériques, effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole | - |
| HydroATLAS | Terres cultivées, empreinte humaine, pâturages, routes, étendue urbaine | Degré de réglementation, étendue des zones irriguées, volume du réservoir | - | - | - |
| Global Water | Terres cultivées, barrages, surfaces imperméables, fragmentation des rivières, déconnexion des zones humides | Perte d'eau par consommation, barrages, perturbation du débit, fragmentation des cours d'eau, stress hydrique | Espèces de poissons non indigènes | Dépôts de mercure, azote, charge organique, charge en pesticides, phosphore, sédiments, acidification potentielle, salinisation des sols, altération thermique | - |

| Outil | Menaces énumérées dans l'Énoncé de politique du PPPH | | | | |
|---------------|--|---------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------------|
| | Dégradation de l'habitat | Modification de l'habitat | Espèces aquatiques envahissantes | Pollution | Changements climatiques |
| Global Forest | Barrages, facteur dominant de la perte de couverture arborée, indice d'intégrité des paysages forestiers, couverture terrestre, exploitation forestière, mines | Barrages | - | - | - |

Tableau 3. Indicateurs évalués par des outils géospatiaux qui sont pertinents pour évaluer les menaces énumérées dans le Guide provisoire de gestion des risques pour la protection du poisson et de son habitat (MPO, 2019b). Les indicateurs n'ont été inscrits sous les menaces énumérées que lorsque l'outil indiquait le lien avec la menace. Par exemple, si un outil comprenait la densité routière comme indicateur, mais ne précisait pas qu'il s'agissait d'un indicateur de sédimentation, nous n'avons pas fait le lien nous-mêmes. La modification de la végétation aquatique, les changements dans l'approvisionnement alimentaire et l'oxygène dissous n'ont été abordés par aucun des outils et n'ont donc pas été inclus dans le tableau.

| Menaces énumérées dans le Guide provisoire de gestion des risques du PPPH | | | | | |
|---|------------------------------------|--|--|--|--|
| Outil | Modification des zones riveraines | Modification ou perte du passage du poisson | Sédimentation | Substances nocives | Nutriments |
| Oil and Gas | Zone de réserve riveraine | - | - | - | - |
| IGAP | - | Barrages | - | Sites contaminés | - |
| PSE | Perturbation des zones riveraines | Traversées de cours d'eau | Érosion de surface | - | - |
| WWF-Canada | - | Barrages, traversées routières et ferroviaires | - | Incidents de pipelines, pollution de source ponctuelle, incidents de transport | Contamination agricole |
| Howe Sound | Perturbation des forêts riveraines | Traversées de cours d'eau | Indicateurs de densité routière | - | - |
| Elk Valley | Perturbation des zones riveraines | Traversées de cours d'eau | Indicateurs de densité routière | - | - |
| Skeena | Perturbation des zones riveraines | Traversées de cours d'eau | Indicateurs de densité routière | Pollution de source ponctuelle | - |
| SBOT | Perturbation des zones riveraines | Traversées de cours d'eau | Indicateurs de densité routière | - | - |
| SIWAP | Risque pour les zones riveraines | - | Indicateurs de densité routière | - | - |
| OIPABP | - | - | Effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole | Émissions atmosphériques, effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole | Effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole |
| HydroATLAS | - | Degré de réglementation, volume du réservoir | Érosion des sols | - | - |

| Menaces énumérées dans le Guide provisoire de gestion des risques du PPPH | | | | | |
|--|--|--|----------------------|---|---|
| Outil | Modification des zones riveraines | Modification ou perte du passage du poisson | Sédimentation | Substances nocives | Nutriments |
| Global Water | - | Barrages, fragmentation des rivières | Charge sédimentaire | Dépôts de mercure, charge en pesticides, acidification potentielle, salinisation des sols | Densité du bétail, charge en azote, charge organique, charge en phosphore |
| Global Forest | - | Barrages | - | - | - |

Tableau 4. Indicateurs évalués par des outils géospatiaux qui sont pertinents pour évaluer les menaces signalées par le COSEPAC pour les unités désignables du saumon et des espèces en péril dans la région du Pacifique. Les indicateurs n'ont été inscrits sous les menaces énumérées que lorsque l'outil indiquait le lien avec la menace. Par exemple, si un outil comprenait la densité routière comme indicateur, mais ne précisait pas qu'il s'agissait d'un indicateur de sédimentation, nous n'avons pas fait le lien nous-mêmes. L'amélioration des écloseries et la variation dans la transmission d'agents pathogènes en raison de températures élevées n'ont été abordées par aucun des outils et n'ont donc pas été incluses dans le tableau.

| Menaces signalées par le COSEPAC | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|--|-----------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|--------------------|
| Outil | Avalanches et glissements de terrain | Débit élevé | Faible débit | Température élevée | Dégradation de l'habitat | Fragmentation de l'habitat | Espèces envahissantes | Espèces indigènes problématiques | Pollution | Perte de l'habitat riverain | Sédimentation |
| Oil and Gas | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Zone de réserve riveraine | - |
| IGAP | - | - | - | - | Mines, pétrole et gaz | Barrages | - | - | Sites contaminés | - | - |
| PSE | - | Aire équivalente de coupe | Permis d'utilisation de l'eau | - | Surfaces imperméables, développement linéaire, mines, modification de la couverture terrestre totale | Traversées de cours d'eau | - | - | - | Perturbation des zones riveraines | Érosion de surface |
| WWF-Canada | - | Modification des débits, perte de forêts | Modification des débits, utilisation de l'eau | Anomalie de la température maximale de l'air en été, anomalie de température moyenne de l'air en hiver | Perte de forêts, utilisation des terres/couverture des terres | Barrages, traversées routières et ferroviaires | Espèces envahissantes | - | Contamination agricole, incidents de pipelines, pollution de source ponctuelle, incidents de transport | - | - |

| Menaces signalées par le COSEPAC | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Outil | Avalanches et glissements de terrain | Débit élevé | Faible débit | Température élevée | Dégradation de l'habitat | Fragmentation de l'habitat | Espèces envahissantes | Espèces indigènes problématiques | Pollution | Perte de l'habitat riverain | Sédimentation |
| Howe Sound | - | Aire équivalente de coupe | - | - | Indicateurs de densité routière | Traversées de cours d'eau | - | - | - | Perturbation des forêts riveraines | Indicateurs de densité routière |
| Elk Valley | - | Aire équivalente de coupe | - | Température du cours d'eau | Indicateurs de densité routière | Traversées de cours d'eau | - | Hybridation entre la truite fardée versant de l'ouest et la truite arc-en-ciel | - | Perturbation des zones riveraines | Indicateurs de densité routière |
| Skeena | - | Aire équivalente de coupe | Puits d'eau souterraine, sensibilité aux faibles débits, allocations d'eau, permis d'utilisation de l'eau | - | Indicateurs de densité routière, perturbation de la superficie totale des terres | Barrages, traversées de cours d'eau | - | - | Pollution de source ponctuelle | Perturbation des zones riveraines | Indicateurs de densité routière |
| SBOT | Routes sur des pentes instables | Aire équivalente de coupe | - | - | Indicateurs de densité routière | Traversées de cours d'eau | - | - | - | Perturbation des zones riveraines | Indicateurs de densité routière |

| Menaces signalées par le COSEPAC | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|---------------------------|--------------------------|--------------------|---|--|-----------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|
| Outil | Avalanches et glissements de terrain | Débit élevé | Faible débit | Température élevée | Dégradation de l'habitat | Fragmentation de l'habitat | Espèces envahissantes | Espèces indigènes problématiques | Pollution | Perte de l'habitat riverain | Sédimentation |
| SIWAP | Exploitation forestière au-dessus de pentes raides | Aire équivalente de coupe | - | - | Indicateurs de zone d'occupation, de densité routière | - | - | - | - | Risque pour les zones riveraines | Indicateurs de densité routière |
| OIPABP | - | - | - | - | - | - | - | - | Émissions atmosphériques, effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole | - | Effluents de source ponctuelle, ruissellement urbain, non urbain et agricole |
| HydroATLAS | - | Ruissellement de surface | Ruissellement de surface | - | Terres cultivées, empreinte humaine, pâturages, densité routière, étendue urbaine | Degré de réglementation, volume du réservoir | - | - | - | - | Érosion des sols |

| Menaces signalées par le COSEPAC | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|----------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| Outil | Avalanches et glissements de terrain | Débit élevé | Faible débit | Température élevée | Dégradation de l'habitat | Fragmentation de l'habitat | Espèces envahissantes | Espèces indigènes problématiques | Pollution | Perte de l'habitat riverain | Sédimentation |
| Global Water | - | Surfaces imperméables | Perte d'eau par consommation, perturbation des débits, stress hydrique | Altération thermique | Terres cultivées, surfaces imperméables, déconnexion des milieux humides | Barrages, fragmentation des rivières | Espèces de poissons non indigènes | - | Acidification, pesticides, phosphore, mercure, azote, charge organique, salinisation des sols, altération thermique | - | Charge sédimentaire |
| Global Forest | - | - | - | - | Barrages, facteur de la perte de couverture arborée, indice des paysages forestiers, couverture terrestre, exploitation forestière, mines | Barrages | - | - | - | - | - |

Tableau 5. Comparaison entre les menaces signalées par le COSEPAC pour les unités désignables du saumon et des espèces en péril dans la région du Pacifique et les menaces énumérées dans l'Énoncé de politique sur la protection du poisson et de son habitat (MPO, 2019) et le Guide provisoire de gestion des risques pour la protection du poisson et de son habitat (MPO, 2019b).

| Menaces énumérées dans le PPPH et le Guide provisoire de gestion des risques | Menaces signalées par le COSEPAC | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|------------------------------|---------------|
| | Avalanches/glissemements de terrain | Débit élevé | Faible débit | Température élevée | Dégradation de l' habitat | Fragmentation de l' habitat | Amélioration des écloséries | Espèces envahissantes | Espèces indigènes problématiques | Transmission d' agents pathogènes | Pollution | Loisirs | Perte de l' habitat riverain | Sédimentation |
| Dégradation de l'habitat | - | - | - | - | ✓ | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Modification de l'habitat | - | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Espèces aquatiques envahissantes | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - | - | - |
| Pollution | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - |
| Changements climatiques | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Modification des zones riveraines | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - |
| Modification de la végétation aquatique | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Modification ou perte du passage du poisson | - | ✓ | ✓ | - | - | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sédimentation | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ |
| Substances nocives | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - |
| Changements dans l'approvisionnement alimentaire | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Oxygène dissous | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - |
| Nutriments | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - |

Autres approches et outils examinés de manière informelle

Nous avons recensé dix autres approches et outils géospatiaux qui sont utiles pour évaluer l'état de l'habitat du poisson et rendre compte de celui-ci. Ces approches et outils n'ont pas fait l'objet d'un examen complet, car ils n'étaient pas destinés au public et n'étaient pas accessibles en ligne, ou parce qu'ils concernaient des zones situées hors de la région du Pacifique. La présente section ne contient pas une liste exhaustive des autres approches et outils, mais bien de ceux qui ont été rassemblés au cours de notre recherche d'outils et lors de discussions avec le MPO et le MFERNDR. De plus, il existe de nombreuses études sur les relations entre les indicateurs d'activité humaine et de menace et les réponses des poissons, ainsi que sur les effets cumulatifs sur les poissons d'eau douce, qui peuvent être utiles pour la gestion à grande échelle et la production de rapports. Ces études n'ont pas été examinées de façon exhaustive dans les présentes, car elles ne sont pas actuellement encadrées ou élaborées en tant qu'outils géospatiaux accessibles, ou portaient sur des outils examinés ici (p. ex., Chen et Olden 2020 ont utilisé l'outil HydroATLAS; Iacarella 2022 a utilisé l'outil PSE). Cependant, elles contenaient certaines méthodes notables qui ne figuraient pas dans les outils géospatiaux existants, notamment : 1) l'évaluation des variations des menaces associées au climat et à l'activité humaine au fil du temps (Chu *et al.* 2015; Chen et Olden 2020), 2) l'utilisation de courbes de réponse aux agents stressants pour créer des cotes d'effets cumulatifs non linéaires basées sur l'abondance des poissons (MPO 2019c), et 3) l'application de modèles sur les réponses non linéaires de la diversité des poissons pour créer des cotes d'effets cumulatifs (Iacarella 2022).

Le MPO a conçu deux indicateurs axés sur le poisson et son habitat, qui n'ont pas encore mis au point sous forme d'outils en ligne. Stalberg *et al.* (2009) ont élaboré une approche pour suivre et gérer l'habitat du saumon en eau douce et dans les estuaires, laquelle a permis de déterminer les principaux indicateurs de pression (les menaces) et d'état (p. ex., la qualité de l'eau) dans le cadre de discussions entre les groupes de travail et les experts. Pour les cours d'eau, les auteurs se sont concentrés sur cinq indicateurs de pression (altération de la couverture terrestre totale, développement routier, extraction d'eau, perturbation des zones riveraines, rejets autorisés), six indicateurs d'état (sédiments, qualité de l'eau, température d'élevage du saumon, température de migration de fraie, débit du cours d'eau, invertébrés benthiques) et deux indicateurs de quantité d'habitats (longueur de cours d'eau accessible, longueur de frayère). Ils ont recommandé des paramètres de mesure, des méthodes de mesure et des seuils de risque pour le saumon, en fonction de la documentation existante et d'avis d'experts. Bon nombre des outils examinés plus haut contiennent des indicateurs semblables aux indicateurs de pression relevés par Stalberg *et al.* (2009), bien que les outils Elk Valley et WWF-Canada soient les seuls à avoir intégré certains des indicateurs pertinents à la température et au débit des cours d'eau. L'autre approche du MPO axée sur l'évaluation des menaces en eau douce pour l'habitat du saumon et des espèces en péril est détaillée dans Boyd *et al.* (2022). Cet outil géospatial s'est concentré sur sept menaces signalées par le COSEPAC pour les espèces de la région de la vallée du Fraser pour la validation de principe initiale. L'analyse spatiale et la cartographie ont été réalisées à une résolution de tronçon de cours d'eau (cours d'eau de premier ordre sur une grille de 25 m), et l'accumulation en aval des activités humaines pertinentes a été prise en compte dans le cadre d'une analyse d'accumulation des débits. Une cote finale d'effets cumulatifs a été calculée en normalisant chaque indicateur et en additionnant les valeurs pour obtenir une cote continue appliquée aux tronçons de cours d'eau et aux parcelles d'habitat. Des indicateurs d'état, notamment la température et le débit des cours d'eau selon différents scénarios climatiques, doivent être intégrés à la prochaine version (Boyd *et al.* 2022).

Les États de la côte nord-ouest du Pacifique présentent des besoins semblables en matière d'évaluation géospatiale et de production de rapports sur l'habitat du saumon, disposent d'une variété d'outils en ligne, dont certains comportent des indicateurs qui ne sont pas encore inclus dans les outils de la région du Pacifique, intègrent les connaissances autochtones. Un autre outil utilisé par le MFTERNDR lors de la mise au point de l'outil SBOT provient du Minnesota. Les outils sont résumés brièvement ici :

1. [State of Salmon in Watersheds 2020](#) : Washington State Recreation and Conservation Office – Governor's Salmon Recovery Office
 - a. Évaluation essentiellement qualitative de l'état du saumon et de son habitat dans l'État de Washington, au moyen de six indicateurs clés : saumon, financement des projets de restauration, habitat, qualité et quantité de l'eau, récolte et écloseseries.
 - b. Affichage de données quantitatives sur l'abondance et la récolte des populations de saumons, ainsi que de certaines données générales pour les indicateurs d'habitat agrégés pour l'État de Washington.
 - c. La composante géospatiale comprend uniquement la cartographie des sites de surveillance de la qualité de l'eau et des écloseseries.
 - d. À l'échelle régionale, les indicateurs sont analysés au moyen d'« études de cas » qui mettent en évidence les efforts de restauration de l'habitat et de rétablissement du saumon, et d'évaluations de la gestion des écloseseries et de l'hydroélectricité dans chaque région.
2. [State of Our Watersheds 2020](#) : Northwest Indian Fisheries Commission
 - a. Carte Web délimitant les zones d'intérêt pour 20 sections tribales dans l'ouest dans l'État de Washington et contenant des liens vers des rapports régionaux sur les indicateurs d'habitat pertinents pour la zone d'intérêt de chaque tribu.
 - b. Les indicateurs comprennent le pavage du littoral, les surfaces imperméables, la couverture forestière, la couverture forestière riveraine, les ponceaux, la qualité de l'eau, les puits, les espèces envahissantes, la qualité de l'eau pour les mollusques et crustacés, la densité et les traversées routières, le débit des cours d'eau, les conditions océaniques et d'autres indicateurs jugés pertinents à l'échelle locale par certaines sections tribales.
 - c. Les indicateurs pertinents sont cartographiés (de façon non interactive) dans chaque zone d'intérêt, et certains ont été quantifiés à l'échelle du sous-bassin versant local et se sont vus attribuer des catégories de risque basées sur des valeurs de référence.
 - d. Des rapports sont publiés tous les quatre ans depuis 2012 (2012, 2016, 2020) et contiennent une évaluation de l'amélioration ou de la détérioration de chaque indicateur depuis le dernier rapport.
3. [Puget Sound Watershed Characterization Project](#) : Washington Department Fish and Wildlife, Habitat Program, Olympia, Washington
 - a. Outil géospatial interactif pour le bassin de Puget Sound qui cartographie la valeur de conservation relative des unités locales de sous-bassin versant en fonction d'indices cumulatifs, en mettant l'accent sur l'habitat des salmonidés et l'aménagement du territoire.

- b. Les groupes d'indicateurs composés de sous-indicateurs comprennent le débit d'eau, la qualité de l'eau ainsi que les habitats du poisson et de la faune. Certains indicateurs tiennent compte des effets en aval (p. ex., l'habitat des salmonidés en aval).
 - c. Les indicateurs de débit et de qualité de l'eau sont ensuite décomposés en évaluations de la contribution de chaque sous-bassin versant aux débits naturels et aux processus d'apport de sédiments/nutriments, ainsi que de leurs degrés de dégradation anthropique, de protection et de restauration.
4. [Mackenzie River Basin Board State of the Aquatic Ecosystem Report](#) : Mackenzie River Basin Board
- a. Évaluation en ligne des écosystèmes aquatiques des bassins versants de Mackenzie-Great Bear, de la rivière Peel, de la rivière Liard, du Grand lac des Esclaves, de la rivière de la Paix et de la rivière Athabasca, qui combine de multiples systèmes de connaissances (connaissances autochtones et données scientifiques basées sur la surveillance environnementale).
 - b. L'intégrité des écosystèmes a été évaluée au moyen de « signes et signaux » organisés en quatre groupes d'indicateurs comprenant des sous-indicateurs : quantité d'eau, qualité de l'eau, habitat et espèces, et santé et bien-être.
 - c. L'évaluation s'est appuyée sur une analyse documentaire exhaustive des connaissances scientifiques et autochtones ainsi que sur une analyse des données à l'échelle du bassin.
 - d. Des cotes qualitatives de l'indice de santé (changement négligeable ou nul, changement modéré et changement important) ont été attribuées pour chaque indicateur dans les deux systèmes de connaissances, et les résultats ont été présentés et analysés collectivement dans les systèmes de connaissances.
 - e. Bien que des rapports aient été publiés en 2003 et en 2012, le rapport de 2021 est le premier qui intègre les connaissances autochtones.
5. [Minnesota Department of Natural Resources Watershed Health Assessment Framework](#) : Department of Natural Resources du Minnesota.
- a. Outil géospatial interactif de l'État du Minnesota utilisé pour évaluer la santé des bassins versants à différentes échelles au moyen d'une « cote de santé écologique » cumulative.
 - b. La cote de santé écologique est calculée en faisant la moyenne de cinq groupes d'indicateurs composés de sous-indicateurs : hydrologie, géomorphologie, biologie, connectivité et qualité de l'eau.
 - c. Les cotes des indicateurs ont été mises à l'échelle de 0 à 100, certains indicateurs (p. ex. les surfaces imperméables) étant classés dans des catégories d'effet.
 - d. L'outil permet de produire des « fiches de rendement » en format PDF contenant des données résumées pour chaque grand bassin versant.

Enfin, les approches et les outils qui se concentrent précisément sur des indicateurs d'état concernant l'habitat du poisson et qui comportent des couches géospatiales et des méthodes de classification des indicateurs utiles sont le [Pacific Climate Impacts Consortium Explorer](#), le California Environmental Flows Framework (California Environmental Flows Working Group, 2021) et l'Environmental Protection Agency Region 10 Guidance for Pacific Northwest State and Tribal Temperature Water Quality Standards (Environmental Protection Agency des États-Unis, 2003). Le Pacific Climate Impacts Consortium Explorer est un outil permettant de cartographier des données climatiques maillées (30 km²) et des données hydrologiques

modélisées selon des scénarios de changements climatiques historiques et futurs. L'étendue actuelle des sorties de données hydrologiques maillées concerne les bassins de la rivière de la Paix, du fleuve Fraser et du fleuve Columbia. Le Pacific Climate Impacts Consortium collabore avec le MPO pour étendre ces modèles aux bassins versants côtiers et pour produire des modèles hydrologiques de la température des cours d'eau à la même résolution. Le California Environmental Flows Framework fournit une approche pour normaliser la surveillance des débits environnementaux et suggère plusieurs mesures importantes du débit, notamment le débit pulsé d'automne, le débit de base et le débit de pointe de la saison humide, le débit de décrue de printemps et le débit de base de la saison sèche. Les normes sur la qualité de l'eau de l'EPA contiennent des lignes directrices sur les seuils de température qui conviennent à l'habitat des salmonidés en fonction de leur stade de vie, lesquels sont fondés sur un examen exhaustif des documents portant sur les réponses des salmonidés à la température en laboratoire et sur le terrain. Ces ressources peuvent permettre de combler les lacunes de nombreux outils de la région du Pacifique utilisés pour évaluer les indicateurs de température et de débit des cours d'eau.

Conclusions

Pertinence des outils pour décrire les menaces pesant sur le poisson et son habitat

Nous avons évalué les outils géospatiaux à l'étude en fonction de huit critères clés qui feraient en sorte qu'un outil soit le mieux adapté à l'évaluation et au signalement des menaces pour le poisson et son habitat. Nous avons cerné les outils les plus performants d'après la moyenne des classements globaux des outils pour chacun de ces critères. Les trois meilleurs outils, dans l'ordre, étaient WWF-Canada, Global Water et Skeena (tableau 6).

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie pour
l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

Tableau 6. Les critères d'un outil géospatial optimal ont été appliqués à chaque outil examiné au moyen de quelques mesures afin d'obtenir des classements globaux [classement (paramètre)]. Les critères n^{os} 1 et 2 ont été classés en fonction du nombre d'indicateurs et de menaces, tandis que les critères n^o 3 à 8 ont été évalués sur une échelle selon laquelle l'outil « ne répond pas » (-), « répond modérément » (+) ou « répond bien » (++) aux critères. Le nombre d'indicateurs (n^o 1) dénombrés à partir des diagrammes des séquences des effets (figures 2 à 4) comprenait des indicateurs environnementaux et d'activité humaine (a), et des indicateurs de menace comptés séparément (b), mais ne comprenait pas de regroupements intermédiaires. Le nombre de menaces abordées (n^o 2) a été compté séparément dans les tableaux 2 à 4, bien qu'il y ait un certain chevauchement entre les menaces relevées dans l'Énoncé de politique du PPPH, dans le Guide provisoire de gestion des risques du PPPH et par le COSEPAC. Remarque : les classements pour les critères n^o 1 et 2 ne tiennent pas compte de la qualité ou de l'exhaustivité des indicateurs et des mesures utilisés. Le classement final est une moyenne des classements pour tous les critères, et les trois meilleurs classements ont été mis en gras pour chaque critère.

| Critères de l'outil | Oil and Gas | IGAP | PSE | WWF-Canada | Howe Sound | Elk Valley | Skeena | SBOT | SIWAP | OIPABP | HydroATLAS | Global Water | Global Forest |
|---|-------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (1) Nombreux indicateurs environnementaux ou d'activité humaine (a) utilisés pour estimer les indicateurs de menace (b) | 11 (3) | 10 (4) | 7 (11) | 4 (14) | 10 (4) | 9 (5) | 3 (15) | 8 (9) | 5 (13) | 6 (12) | 1 (29) | 7 (11) | 2 (24) |
| (2) Répond aux menaces déterminées par le PPPH et le COSEPAC | 11 (2) | 8 (7) | 5 (11) | 2 (15) | 6 (10) | 4 (13) | 3 (14) | 5 (11) | 7 (9) | 9 (6) | 7 (9) | 1 (16) | 10 (5) |
| (3) Pertinent pour l'habitat du poisson | 2 (+) | 2 (+) | 1 (++) | 1 (++) | 2 (+) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 2 (+) | 2 (+) | 2 (+) |
| (4) Couvre l'étendue de la région du Pacifique | 3 (-) | 3 (-) | 2 (+) | 1 (++) | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) |
| (5) Résolution fine ou intermédiaire, pertinente du point de vue hydrologique | 3 (-) | 3 (-) | 1 (++) | 3 (-) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 1 (++) | 2 (+) | 1 (++) | 3 (-) | 2 (+) |
| (6) Tient compte de la direction du débit et des effets en aval | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 1 (++) | 3 (-) | 3 (-) | 3 (-) | 2 (+) | 2 (+) | 2 (+) | 1 (++) | 1 (++) | 3 (-) |
| (7) Estime la cote cumulative au moyen de méthodes efficaces sur le plan biologique qui préservent la structure des données | 3 (-) | 3 (-) | 2 (+) | 2 (+) | 3 (-) | 2 (+) | 3 (-) | 2 (+) | 2 (+) | 1 (++) | 3 (-) | 1 (++) | 3 (-) |

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie pour
l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

| Critères de l'outil | Oil and Gas | IGAP | PSE | WWF-Canada | Howe Sound | Elk Valley | Skeena | SBOT | SIWAP | OIPABP | HydroATLAS | Global Water | Global Forest |
|--|-------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| (8) Comprend une composante temporelle ou une réévaluation des indicateurs dans le temps | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 2 (-) | 1 (+) |
| Classement final | 12 | 11 | 6 | 1 | 10 | 8 | 3 | 5 | 5 | 7 | 4 | 2 | 9 |

L'outil doit surtout comprendre une série d'indicateurs d'activité humaine pertinents, et des indicateurs environnementaux au besoin, pour estimer les indicateurs de menace et, ce faisant, établir un lien avec de nombreuses menaces jugées importantes par le PPPH et le COSEPAC, ou avec l'ensemble d'entre elles. À cet égard, l'outil Global Water est le mieux classé en ce qui concerne le nombre de menaces déterminées par le PPPH et le COSEPAC pour lesquelles il dispose d'indicateurs pertinents. L'outil le mieux conçu qui suit est celui de WWF-Canada, qui a utilisé plusieurs indicateurs environnementaux et de l'activité humaine pour évaluer cinq menaces importantes pour l'habitat du poisson et la santé des bassins versants. C'était également l'un des rares outils qui commençaient à aborder la menace des changements climatiques. L'outil Skeena présentait également de nombreux indicateurs pertinents pour les menaces relevées par le PPPH et le COSEPAC. Les outils qui présentaient une analyse complète de certains indicateurs et qu'il pourrait être utile de combiner à d'autres outils sont les outils SBOT, SIWAP et l'OIPABP, qui couvrent collectivement les menaces de débit élevé, de sédimentation, de modification/perte de zones riveraines et de pollution.

La pertinence pour l'habitat du poisson et l'étendue de la région du Pacifique sont des critères qui n'ont été optimisés par aucun outil. Les outils mondiaux étaient les seuls à couvrir l'ensemble de la région du Pacifique, mais ils n'étaient pas précisément axés sur l'habitat du poisson. En particulier, la composante écologique centrale de l'outil Global Water (sécurité de l'eau et biodiversité) n'était pas la même que celle qui serait utilisée par le MPO pour rendre compte de l'état de l'habitat du poisson, même si bon nombre des indicateurs et des méthodes élaborés étaient très pertinents. À l'inverse, l'outil PSE présentait la plus forte association avec l'habitat du poisson, car il a été mis au point précisément pour les évaluations et les rapports sur le saumon du Pacifique et son habitat. Cet outil couvre actuellement les bassins versants où vit le saumon du Pacifique en Colombie-Britannique, mais n'a pas obtenu un classement élevé dans la présente étude, notamment parce qu'il combine des indicateurs d'activité humaine dans des regroupements intermédiaires qui sont des catégories générales (p. ex., « indice de développement humain ») au lieu d'estimer des indicateurs de menace précis. L'outil s'est donc éloigné du lien avec les menaces pour l'habitat du poisson, ce qui s'est reflété dans le nombre plus faible de menaces relevées par le PPPH qu'il a abordées. Toutefois, les indicateurs d'activité humaine créés par l'outil PSE ont été utiles pour déterminer les facteurs de renouvellement de la composition des espèces de poissons dans les bassins versants d'évaluation du bassin du Fraser (Iacarella 2022).

La résolution fine ou intermédiaire et l'intégration de la direction du débit et des effets en aval pour les indicateurs pertinents étaient des critères supplémentaires. L'outil Global Water a utilisé l'approche d'analyse géospatiale la plus sophistiquée en tenant compte des effets en aval au moyen d'indicateurs directement associés aux réseaux hydrographiques et à la

directionnalité du débit, bien que sa résolution (grille de 55 km) soit plus grossière que celle de la plupart des outils régionaux. Boyd *et al.* (2022) ont utilisé une approche semblable à celle de l'outil Global Water pour comptabiliser les effets en aval, en appliquant une résolution fine à l'habitat connu du saumon du Pacifique et des espèces en péril, et ont élaboré des indicateurs pour les menaces signalées par le COSEPAC pour les espèces de poissons centrales. Six des outils (l'outil PSE et cinq outils associés au MFERNDR) ont utilisé une résolution intermédiaire correspondant à l'échelle de 1/20 000 des bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas pour estimer les indicateurs. Les bassins versants d'évaluation ont été spécialement conçus pour les évaluations en eau douce et conservent une résolution assez élevée pour les rapports. L'outil SBOT a permis de visualiser les informations résumées aux échelles du bassin versant d'évaluation et de l'unité fondamentale, laquelle représente la zone qui se déverse directement dans un tronçon de cours d'eau. À l'inverse, la résolution de l'outil WWF-Canada (c.-à-d. les bassins et les grands bassins versants) peut être trop grossière pour la production de rapports dans la région du Pacifique. Le degré de détail fourni par les cartes de l'OIPABP et de l'outil Global Forest peut être utilisé efficacement pour visualiser et mettre en évidence les gradients de menaces et les effets cumulatifs. Cependant, les applications de rapport ont tendance à être axées sur des résultats plus grossiers qui fournissent des catégories simplifiées (« sain/saine » ou « malsain/malsaine ») pour qualifier l'état de l'habitat du poisson et la situation du bassin versant, ce qui peut être plus simple pour une diffusion publique. Le Department of Natural Resources du Minnesota établit un équilibre entre les deux en fournissant des cartes interactives en ligne à deux résolutions et des fiches de rendement au format PDF pour chaque grand bassin versant.

Le critère de base consistant à créer une cote d'effets cumulatifs ou de risque a été satisfait par sept outils. Cependant, les critères supplémentaires de classement ou d'addition des cotes des indicateurs en fonction des courbes de réponse, de l'analyse de la documentation ou d'avis d'experts, et de maintien de la structure des données dans la cotation, variaient d'un outil à l'autre et dans un même outil. Même à l'intérieur d'un grand nombre d'outils, la variété des méthodes utilisées pour classer les différents indicateurs en niveaux de menace faible, modérée et élevée faisait en sorte que la cote finale était difficile à comprendre et éloignée des données originales. À l'inverse, la méthode utilisée par l'outil Global Water pour normaliser les indicateurs sur une échelle continue et les additionner au moyen de pondérations basées sur des avis d'experts était simple, directement liée aux données et conforme aux méthodes d'effets cumulatifs citées dans la documentation existante (Halpern et Fujita 2013). L'OIPABP disposait également d'une méthode d'addition claire pour la cotation, en raison de l'accent mis par l'outil sur la pollution et les unités normalisées pour les différents types de polluants. La méthode utilisée par les outils SBOT et SIWAP a fourni une autre approche utile de cotation cumulative qui est plus critique du risque et axée sur les menaces les plus importantes, mais son application nécessite beaucoup de règles qui s'éloignent des données originales.

Le critère final consistant à ce que les outils réévaluent les indicateurs dans le temps n'a été rempli que pour certains indicateurs de l'outil Global Forest. De nombreuses sources de données étaient limitées pour les séries chronologiques, principalement parce qu'elles ne sont pas mises à jour régulièrement. Cependant, quelques sources de données sont mises à jour, comme la couverture forestière et terrestre. Sous réserve de la disponibilité des données, l'application de n'importe lequel de ces outils pourrait être étendue pour comprendre la répétition dans le temps.

Incertitudes et lacunes en matière de données

- La détermination des mesures et des sources de données qui conviennent le mieux à l'élaboration de différents indicateurs de menace doit faire l'objet d'une évaluation plus poussée, et on devra probablement continuer d'actualiser ces mesures et sources en fonction des avancées de la recherche. Des mesures *in situ* des menaces liées à la qualité de l'eau (p. ex., la pollution, la sédimentation) permettraient de vérifier l'exactitude des paramètres utilisés. De même, des mesures *in situ* des réponses de l'habitat et du poisson sont nécessaires pour valider l'exactitude des cotes relatives d'effets cumulatifs.
- La variété des méthodes de classement et des seuils utilisés par les outils examinés pour attribuer aux indicateurs des cotes faibles, modérées ou élevées a fait en sorte que ces cotes présentaient un degré d'incertitude élevé. Idéalement, ces cotes seraient basées sur des réponses propres aux espèces et aux stades de vie, plutôt que sur des méthodes statistiques, bien que ces réponses puissent être difficiles à déterminer. Un examen plus exhaustif est nécessaire pour déterminer les réponses et les seuils appropriés pour les différentes menaces.
- De même, les méthodes de cotation des effets cumulatifs différaient grandement d'un outil à l'autre, et nombre d'entre elles comportaient une série complexe de règles de classement et de cumul. Ces différentes approches, même si elles utilisent des données et des indicateurs identiques, entraîneront des résultats différents. La meilleure approche de cotation des effets cumulatifs, ainsi que l'incidence de choisir différentes méthodes, doivent faire l'objet d'une évaluation plus poussée.
- Il manquait trop de données pour que les outils puissent évaluer de manière itérative l'état de l'habitat du poisson dans le temps. Afin de combler cette lacune, des efforts et un soutien constants sont nécessaires pour tenir à jour et actualiser les ensembles de données relatives à l'activité humaine et pour horodater clairement le moment de l'activité humaine ou de la collecte de données.

Recommandations

- Nous recommandons que le MPO élabore une approche pour rendre compte de l'état de l'habitat du poisson qui intègre les forces de la variété d'outils examinés ici, dans le but de répondre aux huit critères que remplirait un outil géospatial optimal. D'abord, les outils Global Water et WWF-Canada constituent le meilleur point de départ, car ils ont créé le plus grand nombre d'indicateurs associés aux menaces prioritaires relevées par le PPPH et le COSEPAC. Les deux outils seraient améliorés par une nouvelle analyse des indicateurs à une résolution plus fine, à l'échelle des bassins versants d'évaluation du Freshwater Atlas (1/20 000). Les outils SBOT et SIWAP étaient les plus complets pour trois indicateurs de menace (débit élevé, sédimentation et perturbation des zones riveraines), tandis que l'OIPABP était la meilleure source pour estimer la pollution régionale (y compris les sources contribuant à la sédimentation). Puisque l'outil PSE est axé sur le saumon du Pacifique et son habitat, on peut le développer davantage en y intégrant les points forts de ces autres outils ainsi que des indicateurs afin d'aborder les menaces relevées par le PPPH et le COSEPAC qui sont actuellement peu ou pas évaluées.
- Il est nécessaire de mieux tenir compte de l'évolution des menaces pesant sur l'habitat du poisson au fil du temps. Une première étape consisterait à déterminer quels ensembles de données comportent des horodatages et des composantes temporelles, et au minimum, l'intervalle de temps couvert par l'ensemble de données. Les données nécessaires à

l'estimation des diverses menaces peuvent ensuite être mises en correspondance en fonction de cet intervalle et délimitées en plages annuelles selon la résolution temporelle et l'étendue des ensembles de données. L'évaluation des changements dans le temps peut être plus facile à réaliser en évaluant séparément les séries chronologiques de menaces, car toutes les menaces ne sont pas forcément comparables dans le temps et les données requises sont différentes.

- Il serait bon de s'inspirer d'autres approches et outils. Par exemple, Stalberg *et al.* (2009) et les Water Quality Standards de l'EPA (2003) fournissent ensemble des valeurs de classement et des seuils suggérés pour une variété d'indicateurs. Des outils comme le Minnesota Department of Natural Resources Watershed Health Assessment Framework offrent d'autres moyens utiles de visualiser l'état de l'habitat du poisson et d'en rendre compte, dans ce cas au moyen de résolutions multiples fournies sous forme de cartes interactives et de fiches de rendement. En outre, le rapport *State of Our Watersheds 2020* et le *Mackenzie River Basin Board State of the Aquatic Ecosystem Report* sont des exemples d'outils qui intègrent les connaissances et les valeurs écologiques autochtones. Il est recommandé d'effectuer régulièrement un examen des outils pertinents pour l'eau douce ainsi que des évaluations de menaces précises pour continuer à améliorer les outils utilisés pour l'évaluation et les rapports dans la région du Pacifique.

Collaborateurs

| Collaborateur | Organisme d'appartenance |
|------------------------|--|
| Josephine C. Iacarella | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, auteure principale |
| Anna Potapova | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, coauteure |
| Mike Bradford | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, Comité directeur |
| Doug Braun | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, Comité directeur |
| Jeffrey Lemieux | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, Comité directeur |
| Kristin Gravelle | Direction de la gestion des écosystèmes, MPO, Région du Pacifique, cliente |
| Alston Bonamis | Direction de la gestion des écosystèmes, MPO, Région du Pacifique, client |
| Lynda Ritchie | Direction de la gestion des écosystèmes, MPO, Région du Pacifique, cliente |
| Erika Anderson | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, Centre des avis scientifiques du Pacifique |
| Cathryn Murray | Direction des sciences, MPO, Région du Pacifique, réviseure |
| Jonathan Moore | Université Simon Fraser, réviseur |

Approuvé par

Andrew Thomson
Directeur régional
Direction des sciences, Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada

9 septembre 2022

Sources de renseignements

- Boyd, L., Grant, P., Lemieux, J. and Iacarella, J.C. 2022. [Cumulative Effects of Threats on At-Risk Species Habitat in the Fraser Valley, British Columbia](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3243: viii + 65 p.
- California Environmental Flows Working Group (CEFWG). 2021. [California Environmental Flows Framework Version 1.0. California Water Quality Monitoring Council Technical Report](#) 65 p.
- Chen, K. and Olden, J.D. 2020. [Threshold responses of riverine fish communities to land use conversion across regions of the world](#). Glob. Change Biol. 26: 4952–4965.
- Chu, C., Minns, C.K., Lester, N.P., and Mandrak, N.E. 2015. [An updated assessment of human activities, the environment, and freshwater fish biodiversity in Canada](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 72: 135–148.
- Halpern, B. S. and Fujita, R. 2013. [Assumptions, challenges, and future directions in cumulative impact analysis](#). Ecosphere 4: art131.
- Iacarella, J.C. 2022. [Fish zeta diversity responses to human pressures and cumulative effects across a freshwater basin](#). Divers. Distrib. 28: 830–843.
- Iacarella, J.C. and Potapova, A. 2022. [Metadata for geospatial mapping tools, indicators and metrics for fish habitat in the Pacific Region](#) [Data set].
- MPO. 2019. [Énoncé de politique sur la protection du poisson et de son habitat](#). Fisheries and Oceans Canada, Ottawa, Ontario. 36 p.
- MPO. 2019b. (Interim) risk management guide for the protection of fish and fish habitat. Fisheries and Oceans Canada – Fish and Fish Habitat Protection Program. *Internal document*.
- MPO. 2019c. [Examen du modèle de Joe d'évaluation des effets cumulatifs du ministère de l'environnement et des Parcs de L'Alberta](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2019/045.
- MPO. 2021. [Avis scientifique sur la révision des diagrammes de séquence des effets à l'appui de l'évaluation des risques liés au PPPH](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/053.
- Murray, C., Hannah, L., and Locke, A. 2020. [A review of cumulative effects research and assessment in Fisheries and Oceans Canada](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3357: vii +51 p.
- Oesterwind, D., Rau, A., and Zaiko, A. 2016. [Drivers and pressures – Untangling the terms commonly used in marine science and policy](#). J. Environ. Manag. 181: 8–15.

- Pacific Salmon Foundation. 2021. [Methods for Assessing Status and Trends in Pacific Salmon Conservation Units and their Freshwater Habitats](#). The Pacific Salmon Foundation, Vancouver, BC, Canada. Version 10.0.
- Outil d'inventaire des polluants affectant les baleines et leurs proies (OIPABP) – Environnement et Changement climatique Canada. 2022. Development of an inventory of contaminants of concern for Resident Killer Whales and Chinook Salmon. vii +68 p.
- Provincial Aquatic Ecosystems Technical Working Group – Ministry of Environment and Climate Change Strategy and Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations and Rural Development. 2020. Interim assessment protocol for aquatic ecosystems in British Columbia – Standards for assessing the condition of aquatic ecosystems under British Columbia's cumulative effects framework. Version 1.3. 51p.
- Stalberg, H.C., Lauzier, R.B., MacIsaac, E.A., Porter, M., and Murray, C. 2009. [Canada's policy for conservation of wild pacific salmon: Stream, lake, and estuarine habitat indicators](#). Can. Manuscr. Fish. Aquat. Sci. 2859: xiii + 135p.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2003. [EPA Region 10 Guidance for Pacific Northwest State and Tribal Temperature Water Quality Standards](#). EPA 910-B-03-002. Region 10 Office of Water, Seattle, WA. v + 49p.

Annexe 1

Tableau A1. Indicateurs, mesures et valeurs de référence pour trois indicateurs de menaces primaires (ou regroupements d'indicateurs intermédiaires) communs à tous les outils : pollution, sédimentation et perturbation des zones riveraines. Les outils ont utilisé une variété de 1) sous-indicateurs pour estimer la menace (désignés comme indicateurs de menace ou d'activité humaine selon la structure de l'outil, voir les diagrammes des séquences des effets pour chaque outil), 2) mesures pour estimer les indicateurs et 3) valeurs de référence pour classer les mesures en vue de la cotation finale des effets cumulatifs ou du risque. La menace commune (la pollution, la sédimentation ou la perturbation des zones riveraines) devait être désignée par l'outil pour être indiquée ici. Par exemple, si un outil comprenait la densité routière comme indicateur, mais ne la liait pas directement à l'une des menaces communes, nous n'avons pas fait le lien nous-mêmes. Il faut également noter que certains indicateurs désignés par les outils comme des menaces de pollution concernaient fortement la sédimentation (p. ex., le total des solides en suspension mesuré par l'OIPABP dans les émissions de source ponctuelle et le ruissellement de surface, et la charge sédimentaire mesurée par l'outil Global Water).

| Indicateur de menace commun | Outil | Sous-indicateurs | Mesure | Valeur de référence |
|-----------------------------|------------|---|--|--------------------------|
| Pollution | WWF-Canada | Risque de contamination agricole : azote | Risque de contamination lié à la « classification des paysages de sol » (sans unité) | Centiles |
| | | Risque de contamination agricole : pesticides | Risque de contamination lié à la « classification des paysages de sol » (sans unité) | Centiles |
| | | Risque de contamination agricole : phosphore | Risque de contamination lié à la « classification des paysages de sol » (sans unité) | Centiles |
| | | Incidents de pipelines | Volume du déversement (litres) | Centiles |
| | | Émissions de source ponctuelle | Rejets dans le sol et dans l'eau (tonnes métriques) | Centiles |
| | | Incidents de transport | Nombre d'incidents avec déversements ou fuites de marchandises dangereuses (nombre) | Seuils naturels de Jenks |
| | Skeena | Pollution de source ponctuelle | Nombre de sources ponctuelles de polluants (nombre) | Aucune |
| | OIPABP | Émissions atmosphériques (divisées en classes de polluants) | Émissions atmosphériques (kg/an) | Aucune |
| | | Émissions de source ponctuelle (divisées en classes de polluants) | Rejets d'effluents, lixiviats, rejets de BPC (kg/an) | Aucune |
| | | Ruissellement de surface (divisé en classes de polluants) | Ruissellement agricole, urbain, non urbain (kg/an) | Aucune |

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie pour
l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

| Indicateur de menace commun | Outil | Sous-indicateurs | Mesure | Valeur de référence |
|-----------------------------|--------------|---|---|---|
| | Global Water | Dépôts de mercure | Dépôts actuels par rapport à l'ère préindustrielle (g/km ² /an) | Aucune |
| | | Charge en azote | Charge actuelle par rapport à l'ère préindustrielle (azote/km ² /an) | Aucune |
| | | Charge organique | Carbone labile provenant des charges en azote (demande biologique en oxygène/km ² /an) | Aucune |
| | | Charge en pesticides | Application de pesticides sur les terres cultivées (kg/km ² /an) | Aucune |
| | | Charge en phosphore | Sources ponctuelles, sources non ponctuelles et dépôts atmosphériques (phosphore/km ² /an) | Aucune |
| Pollution | Global Water | Acidification potentielle | Dépôts de SO _x et de NO _x (équivalents en H ⁺ /km ² /an) | Aucune |
| | | Charge sédimentaire | Taux d'érosion annuels estimés (tonnes métriques/km ² /an) | Aucune |
| | | Salinisation du sol | Conductivité électrique des sols (dS/m) | Aucune |
| | | Altération thermique | Débit de retour des centrales thermiques (millions de m ³ /an) | Aucune |
| Sédimentation | SBOT | Densité routière | Longueur des routes sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité routière à proximité des cours d'eau | Longueur des routes à moins de 100 m d'un cours d'eau sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité routière sur des pentes potentiellement instables | Longueur des routes sur des pentes raides (> 60 %) sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité de traversées de cours d'eau | Nombre de traversées routes-cours d'eau sur la superficie du bassin versant (nombre/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Perturbation des zones riveraines | Longueur des cours d'eau à moins de 30 m d'une | Avis d'experts fondés sur les |

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie pour
l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

| Indicateur de menace commun | Outil | Sous-indicateurs | Mesure | Valeur de référence |
|--|--------------|--|--|---|
| | SIWAP | | perturbation sur la longueur des cours d'eau sur la superficie du bassin versant (km/km) | données scientifiques disponibles |
| | | Densité routière à proximité des cours d'eau (« routes proches de l'eau ») | Longueur des routes à moins de 50 m d'un cours d'eau sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts |
| | | Densité routière sur des pentes potentiellement instables (« routes sur des pentes raides ») | Longueur des routes sur des pentes raides (> 50 %) à moins de 50 m d'un cours d'eau (« pentes raides ») (km/km ²) | Avis d'experts |
| | | Exploitation forestière sur des pentes douces au-dessus de pentes raides | Pourcentage de la superficie du bassin versant avec exploitation forestière sur des pentes douces (< 50 %) au-dessus de pentes raides (> 50 %) (%) | Avis d'experts |
| | | Absence de lacs et de milieux humides | Proportion pondérée par la superficie du bassin versant couvert par des lacs et des milieux humides (sans unité) | Avis d'experts |
| | | Sols érodables | Pourcentage de la superficie du bassin versant couverte par des sols érodables (%) | Avis d'experts |
| Sédimentation | SIWAP | Pentes raides | Pourcentage de la superficie du bassin versant présentant des pentes raides (> 50 %) où la base de la pente est à moins de 50 m d'un cours d'eau (%) | Avis d'experts |
| Perturbation des zones riveraines | PSE | Aucun | Pourcentage de la superficie du bassin versant modifiée par l'activité humaine à moins de 30 m d'un plan d'eau douce (%) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | Howe Sound | Aucun | Pourcentage de cours d'eau perturbés dans le bassin versant (%) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | Elk Valley | Aucun | Pourcentage de superficie perturbée par zone riveraine délimitée au | Tirée du BC Cumulative |

**Réponse des Sciences : Outils de cartographie pour
l'habitat du poisson**

Région du Pacifique

| Indicateur de menace commun | Outil | Sous-indicateurs | Mesure | Valeur de référence |
|-----------------------------|--------|---|---|---|
| | | | moyen de modèles altimétriques numériques (%) | Effects Framework |
| | Skeena | Aucun | Pourcentage de superficie située à moins de 30 m d'un cours d'eau présentant une perturbation humaine ou naturelle récente (%) | Tirée de l'outil PSE |
| | SBOT | Perturbation des zones riveraines | Longueur des cours d'eau où une perturbation a eu lieu à moins de 30 m sur la longueur des cours d'eau dans le bassin versant (km/km) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité routière à proximité des cours d'eau | Longueur des routes à moins de 100 m d'un cours d'eau sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité routière sur des pentes potentiellement instables | Longueur des routes sur des pentes raides (> 60 %) sur la superficie du bassin versant (km/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | | Densité des traversées de cours d'eau | Nombre de traversées routes-cours d'eau sur la superficie du bassin versant (nombre/km ²) | Avis d'experts fondés sur les données scientifiques disponibles |
| | SIWAP | Zone de terres privées | Pourcentage de la longueur du cours d'eau chevauchant des terres privées (%) | Avis d'experts |
| | | Zone de tenure des pâturages | Pourcentage de longueur de cours d'eau chevauchant des pâturages (%) | Avis d'experts |
| | | Zone riveraine de coupe | Pourcentage de longueur de cours d'eau où une coupe a eu lieu à moins de 30 m (%) | Avis d'experts |

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Courriel : DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca

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

ISSN 1919-3815

ISBN 978-0-660-46071-0 N° cat. Fs70-7/2022-047F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2022



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2022. Outils de cartographie géospatiale, indicateurs et mesures pour l'état du poisson et de son habitat dans la région du Pacifique. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2022/047.

Also available in English:

DFO. 2022. Geospatial mapping tools, indicators, and metrics for fish habitat in the Pacific Region. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2022/047.