



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2021/079

Région de la capitale nationale

Examen des diagrammes de séquence des effets (SE) à l'appui de l'évaluation des risques du PPPH

Jacob W. Brownscombe¹, Karen E. Smokorowski²

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

² Pêches et Océans Canada, Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques, 1219, rue Queen Est, Sault Ste. Marie (Ontario), P6A 2E5, Canada

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021
ISSN 2292-4272
ISBN 978-0-660-41278-8 N° cat. Fs70-5/2021-079F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Brownscombe, J.W., Smokorowski, K.E. 2021. Examen des diagrammes de séquence des effets (SE) à l'appui de l'évaluation des risques du PPPH. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/079. iv + 61 p.

Also available in English:

Brownscombe, J.W., Smokorowski, K.E. 2021. Review of Pathways of Effects (PoE) diagrams in support of FFHPP risk assessment. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/079. iv + 55 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	IV
CONTEXTE	1
APPROCHE.....	2
EXAMEN DES DIAGRAMMES DE SÉQUENCE DES EFFETS	3
CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	3
DIAGRAMME – OEAS EN MILIEU TERRESTRE	4
1. Apport de matière organique dans l'eau (p. ex. branches, arbres, débris ligneux tombés)	5
2. Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface.....	7
3. Modification de la végétation.....	8
4. Dégradation des pentes et des berges	10
5. Modification des réseaux de drainage des terres	11
6. Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, d'herbicides et d'autres substances nocives	13
DIAGRAMME – BRUIT ET ÉNERGIE.....	15
1. Détonation dans ou près de l'eau	15
2. Introduction de bruit sous-marin.....	18
3. Libération d'air comprimé.....	20
DIAGRAMME – OEA EN MILIEU AQUATIQUE	23
1. Utilisation de machinerie dans l'eau.....	23
2. Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures.....	25
3. Mise en place de matériaux/structures dans l'eau	28
4. Enlèvement de végétation aquatique.....	29
5. Étouffement du lit/plancher océanique.....	30
DIAGRAMME – DÉBITS	33
1. Détournement de l'eau.....	33
2. Dénoyage/pompage.....	34
3. Modification du niveau d'eau/débit de l'eau (changement de l'hydraulique), incluant les réservoirs	35
4. Introduction d'eaux usées	38
CONCLUSIONS.....	42
RÉFÉRENCES CITÉES	42
ANNEXE	61

RÉSUMÉ

Pêches et Océans Canada (MPO), par l'entremise de son Programme de protection du poisson et de l'habitat du poisson (PPPH), a mis en place un régime réglementaire pour éviter, atténuer et compenser les effets négatifs des projets sur les poissons et leur habitat. Pour assurer une compréhension de ces effets négatifs, on utilise des diagrammes de séquence des effets (SE) pour décrire les liens entre les ouvrages, les entreprises et les activités (OEA), les « pressions » par lesquelles les OEA influencent l'écosystème, et les « paramètres ultimes » qui en découlent et qui ont un impact sur les poissons et leur habitat. Vingt diagrammes de SE originaux ont récemment été combinés en quatre diagrammes proposés qui portent sur 1) les OEAs en milieu terrestre, 2) les OEAs produisant du bruit et de l'énergie, 3) les OEAs en milieu aquatique, et 4) les OEAs qui modifient le débit de l'eau. Nous présentons ici un examen sélectif de ces quatre diagrammes de SE afin d'évaluer si les pressions, les séquences et les paramètres ultimes sont valables, exhaustifs et complets. Divers niveaux d'appui ont été relevés pour les séquences de pression : nous avons consigné les liens adéquatement soutenus, les liens ayant une base théorique, mais qui nécessitent une recherche approfondie, les liens pouvant être modifiés pour améliorer leur exactitude et leur exhaustivité, et les liens qui manquent d'appui. De nombreuses recommandations ont été incluses pour modifier la terminologie et pour ajouter ou enlever des liens et des nœuds. Des ressources connexes sont incluses dans une base de données pouvant soutenir l'utilisation et le perfectionnement d'autres diagrammes de SE. Il est ardu de couvrir l'immense variété d'impacts complexes que les activités humaines peuvent avoir sur les poissons et leur habitat, et nous reconnaissons qu'il faut faire un compromis entre l'exhaustivité et la malléabilité de ces diagrammes sur le plan de la communication et de la prise de décisions. La prise en compte de ce compromis dans le processus d'intégration de ces recommandations est importante pour que le PPPH puisse obtenir une validité et une applicabilité maximales. Pour pouvoir recourir à une gestion écosystémique qui tient compte des effets cumulatifs des activités sur l'état des écosystèmes, il faut explorer davantage l'interconnectivité entre les diagrammes de SE, ainsi que la façon dont les diverses séquences de pression interagissent pour produire des effets cumulatifs.

CONTEXTE

Pêches et Océans Canada (le MPO), par l'entremise de son Programme de protection du poisson et de l'habitat du poisson (PPPH), a mis en place un régime réglementaire pour éviter, atténuer et compenser les effets négatifs des projets sur les poissons et leur habitat. Pour comprendre ces effets négatifs, il faut établir des liens entre les ouvrages, les entreprises et les activités (OEA; voir les définitions du MPO [DFO, 2021]), les « pressions » par lesquelles les OEAs influent sur l'écosystème, et les « paramètres ultimes » qui en découlent et qui ont un impact sur les poissons et leur habitat (**figure 1**).

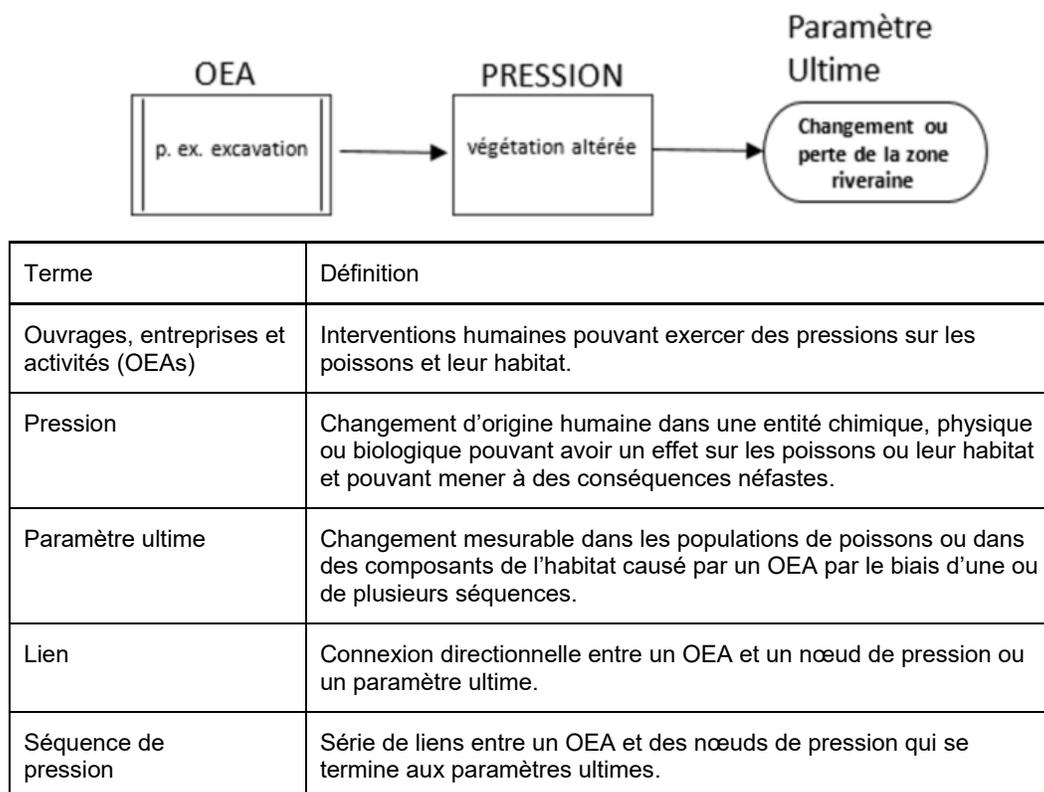


Figure 1 : Exemple d'un lien individuel dans un diagramme de séquence des effets comprenant les éléments suivants : l'ouvrage, entreprise et activité (OEA), la pression et le paramètre ultime ayant un impact sur les poissons et leur habitat. La définition des principaux termes est incluse.

Le PPPH dépend des diagrammes de séquence des effets (SE) existants pour aider les praticiens régionaux à déterminer et à communiquer les effets des OEA proposés sur les poissons et leur habitat. Grâce à des modifications apportées en 2019 à la *Loi sur les pêches* modernisée, le PPPH dispose maintenant d'une norme réglementaire plus stricte permettant d'examiner les OEA proposés. Cependant, on craint que les diagrammes de SE actuels ne puissent pas être utilisés de façon uniforme dans le cadre des examens réglementaires des projets et lors de l'évaluation des risques connexes pour les poissons et leur habitat. Pour gérer efficacement les poissons et leur habitat, il faudra disposer de diagrammes de SE scientifiquement validés s'appliquant à des catégories courantes d'OEA qu'on pourra utiliser de façon uniforme dans le cadre de l'évaluation des effets à l'échelle nationale.

Afin de faciliter l'évaluation uniforme de projets en vertu de la *Loi sur les pêches*, le PPPH a retravaillé les diagrammes de SE actuels et les a regroupés pour obtenir un plus petit nombre

de diagrammes cadrant avec ses catégories d'OEA. Les 20 diagrammes d'origine (voir l'**ANNEXE** – tableau 1A) ont été simplifiés et regroupés en quatre catégories : 1) OEAs en milieu terrestre, 2) OEAs produisant du bruit et de l'énergie, 3) OEAs en milieu aquatique, et 4) OEAs qui modifient le débit de l'eau. Il est donc important de s'assurer que les séquences et les liens menant aux paramètres ultimes ayant un impact sur les poissons et leur habitat sont précis, valables, exhaustifs et complets. Les diagrammes de SE restructurés et validés, ainsi que la normalisation de leur utilisation, aideront à déterminer où se situe un projet dans le cadre de gestion des risques du PPPH et, en fin de compte, si le projet nécessite un instrument non réglementaire (p. ex. une lettre d'avis) ou réglementaire (p. ex. une autorisation).

Par conséquent, le PPPH du MPO a demandé au Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) de réaliser un examen par les pairs des diagrammes de SE révisés, notamment d'examiner leur restructuration, de valider les liens existants et d'évaluer leur exhaustivité. Les diagrammes de SE révisés et validés pourraient permettre au PPPH d'examiner les effets des types de projets de façon uniforme et de comprendre les effets d'un projet à l'échelle d'un site et d'un écosystème. Il sera ainsi possible de s'assurer que les poissons et leur habitat sont conservés et protégés de manière uniforme partout au pays. **L'objectif du présent document est d'examiner les diagrammes de SE récemment proposés afin d'évaluer si les pressions, les séquences et les paramètres ultimes sont valides, exhaustifs et complets.**

APPROCHE

Nous avons réalisé un examen de l'exactitude et de l'exhaustivité des quatre ébauches de diagrammes de SE au moyen d'une recherche documentaire dans Google, Google Scholar, et le portail du Gouvernement ouvert. Nous avons utilisé une approche de recherche hiérarchique centrée sur des combinaisons de mots-clés liés aux activités, pressions et paramètres ultimes; cela allait de combinaisons générales de mots-clés à des combinaisons précises qui englobaient les séquences de pressions. Par exemple, pour explorer la documentation portant sur la séquence de pression allant de l'apport de matière organique -> à la diminution de l'accès aux habitats -> au changement ou à la perte du passage de poisson, des mots-clés généraux ont été recherchés tels qu'« habitat du poisson avec débris ligneux grossiers* », ainsi que des combinaisons plus précises comme « passage de poissons avec débris ligneux grossiers* ». Ce faisant, nous cherchions à établir le niveau d'appui (ou le manque d'appui) de certaines séquences, ainsi que les liens, pressions, activités ou paramètres ultimes qui n'étaient pas actuellement inclus. Un examen systématique d'un sujet aussi vaste et complexe était impossible en raison de contraintes en matière de ressources; notre travail a donc pris la forme d'un examen sélectif de style narratif. Dans le cadre de cet examen, nous avons déterminé des séquences présentant divers niveaux d'appui ou nécessitant des ajouts ou des modifications, et nous avons attribué une catégorie numérique précise à chaque séquence (tableau 1). Les documents de référence cités ici sont inclus dans un tableur connexe.

Tableau 1 : Catégories de séquences désignées en fonction des niveaux d'appui

Catégorie	Description
<i>1</i>	<i>Appuis directs et solides dans la documentation scientifique reliant la séquence de pression au paramètre ultime, parmi lesquels de nombreuses études et/ou synthèses ou méta-analyses rigoureuses.</i>

Catégorie	Description
<i>II</i>	<i>Appui direct dans la documentation scientifique reliant la séquence de pression au paramètre ultime qui se base sur au moins une étude rigoureuse.</i>
<i>III</i>	<i>Appui théorique reliant la séquence de pression au paramètre ultime, mais aucune preuve scientifique directe.</i>
<i>*</i>	<i>En combinaison avec les catégories I, II et III, attestant que des modifications ou des ajouts amélioreraient l'exactitude ou l'exhaustivité, lesquels sont précisés dans le présent document.</i>
<i>IV</i>	<i>Aucun appui trouvé.</i>

EXAMEN DES DIAGRAMMES DE SÉQUENCE DES EFFETS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les façons dont les OEA et les pressions connexes influent sur les poissons et leur habitat ont fait l'objet, jusqu'à présent, de nombreux examens, recherches et synthèses. Les processus du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) en ont abordé divers aspects, dont quatre paramètres ultimes principaux – modification de la structure et du couvert de l'habitat, concentrations de sédiments, température de l'eau et concentrations d'oxygène (DFO 2006) et, par la suite, le MPO a produit quatre rapports techniques portant sur les modifications de la structure et du couvert (Smokorowski et Pratt 2007), la température et l'oxygène (Mason et Metikosh 2007), le débit d'eau (Clarke *et al.* 2008), et les sédiments en suspension (Robertson *et al.* 2006). Le MPO (DFO 2014) a ensuite caractérisé les courbes de productivité/réponse des effets des OEA sur l'habitat des poissons, ce qui comprenait 12 paramètres ultimes principaux différents – superficie mouillée, sédiments, structure/couvert, nutriments, approvisionnement en nourriture, mortalité, température, bruit, champs électromagnétiques, accès à l'habitat, oxygène dissous et débit de l'eau.

Il doit exister un juste équilibre entre les diagrammes exhaustifs qui intègrent toute la complexité avec laquelle les OEA peuvent influencer sur les poissons et/ou leur habitat, et les diagrammes qui remplissent expressément leur but premier, qui est de servir à la prise de décisions du PPPH et à la communication avec les promoteurs. Par exemple, il est difficile d'inclure le paramètre ultime « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » de façon exhaustive, car un très grand nombre de pressions peuvent l'influencer, ce qui rendrait les diagrammes de SE inextricablement complexes. Cette situation est bien illustrée dans la SE des OEAs en milieu terrestre, où l'approvisionnement en nourriture peut être touché par une perte de rives surplombantes, une réduction de la quantité d'eau, une diminution de la qualité de l'eau, une diminution de la structure organique, une augmentation de la température de l'eau, et une diminution du débit de base. De plus, il existe des interactions complexes entre les divers facteurs environnementaux, comme celles entre la température et l'oxygène dissous, qui ne sont pas toutes couvertes de façon exhaustive dans un souci de malléabilité des diagrammes. Nos suggestions de modifications portent sur les 12 paramètres ultimes susmentionnés, notamment les façons centrales dont les OEA et les pressions connexes influent sur les poissons et leur habitat, et lorsqu'il y avait des incohérences entre les différents diagrammes, nous nous sommes fiés à la terminologie et aux facteurs du MPO (DFO 2014). Dans certains

cas, nous avons supposé que des facteurs pertinents comme l'oxygène dissous, le dioxyde de carbone, le pH et la salinité étaient englobés dans un nœud de pression générique, soit « Diminution de la qualité de l'eau ». En adoptant une approche qui reconnaît l'équilibre de complexité nécessaire, nous savons que notre examen et nos modifications proposées aux ébauches de diagrammes de SE n'englobent pas la totalité des façons dont les OEA, les pressions et les paramètres ultimes sont potentiellement interreliés; nous mettons plutôt l'accent sur la connectivité fondamentale et la fonctionnalité des diagrammes. Il revient aux personnes qui perfectionnent et utilisent ces diagrammes d'interpréter les complexités implicites intrinsèques aux catégories descriptives générales.

Bien qu'une approche mettant l'accent sur des diagrammes de SE quelque peu simplistes et malléables soit logique aux fins de cet exercice, il est aussi important à de multiples autres fins de reconnaître les façons complexes dont les OEAs peuvent influencer sur les poissons, sur leur habitat et sur les écosystèmes de manière plus générale. Nous n'avons pas examiné de façon approfondie si tous les OEA d'importance pour le PPPH étaient compris dans les diagrammes de SE, car cela dépasse la portée de notre exercice. Cependant, il faut noter que la navigation commerciale et ses impacts ne sont pas actuellement inclus dans les diagrammes de SE, ces facteurs ayant fait l'objet d'un processus distinct du SCAS (DFO 2020a). Les diagrammes de SE ne comprennent pas non plus les activités récréatives comme la navigation de plaisance et la pêche, qui ne sont pas visées par les examens réglementaires de la *Loi sur les pêches*; cependant, celles-ci peuvent influencer sur les poissons et leur habitat et sont réglementées. Enfin, nous avons misé sur l'examen de la validité et de l'exhaustivité des diagrammes de SE reliant les pressions aux paramètres ultimes, mais qui ne présentent pas les preuves reliant les paramètres ultimes à la capacité de soutenir les poissons et leur productivité.

DIAGRAMME – OEAS EN MILIEU TERRESTRE

Le diagramme de SE pour les OEAs en milieu terrestre(**figure 2**) inclut des OEAs : nivellement (p. ex. aménagement de site, stabilisation des berges), excavation (p. ex. nouveaux drains, tranchées, étangs, fosses), préparation de site, gestion des stocks, défrichage, essouchement, accès au site, entretien de la végétation, enlèvement de la végétation, nettoyage et entretien de structures, plantation de végétation, et maintenance d'équipement industriel (lavage, ravitaillement, entretien, stockage).

Remarque générale sur la structure : les autres diagrammes de SE englobent des sous-activités, selon lesquelles les séquences de pression sont organisées, ce que ne fait pas ce diagramme et qui crée un manque de cohérence. Nous proposons que les OEAs énoncés s'appliquent aux pressions suivantes :

- 1. Apport de matière organique dans l'eau (p. ex. branches, arbres et débris ligneux tombés)**
- 2. Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface**
- 3. Modification de la végétation**
- 4. Dégradation des pentes et des berges**
- 5. Modification des réseaux de drainage des terres**
- 6. Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, d'herbicides ou d'autres substances nocives**

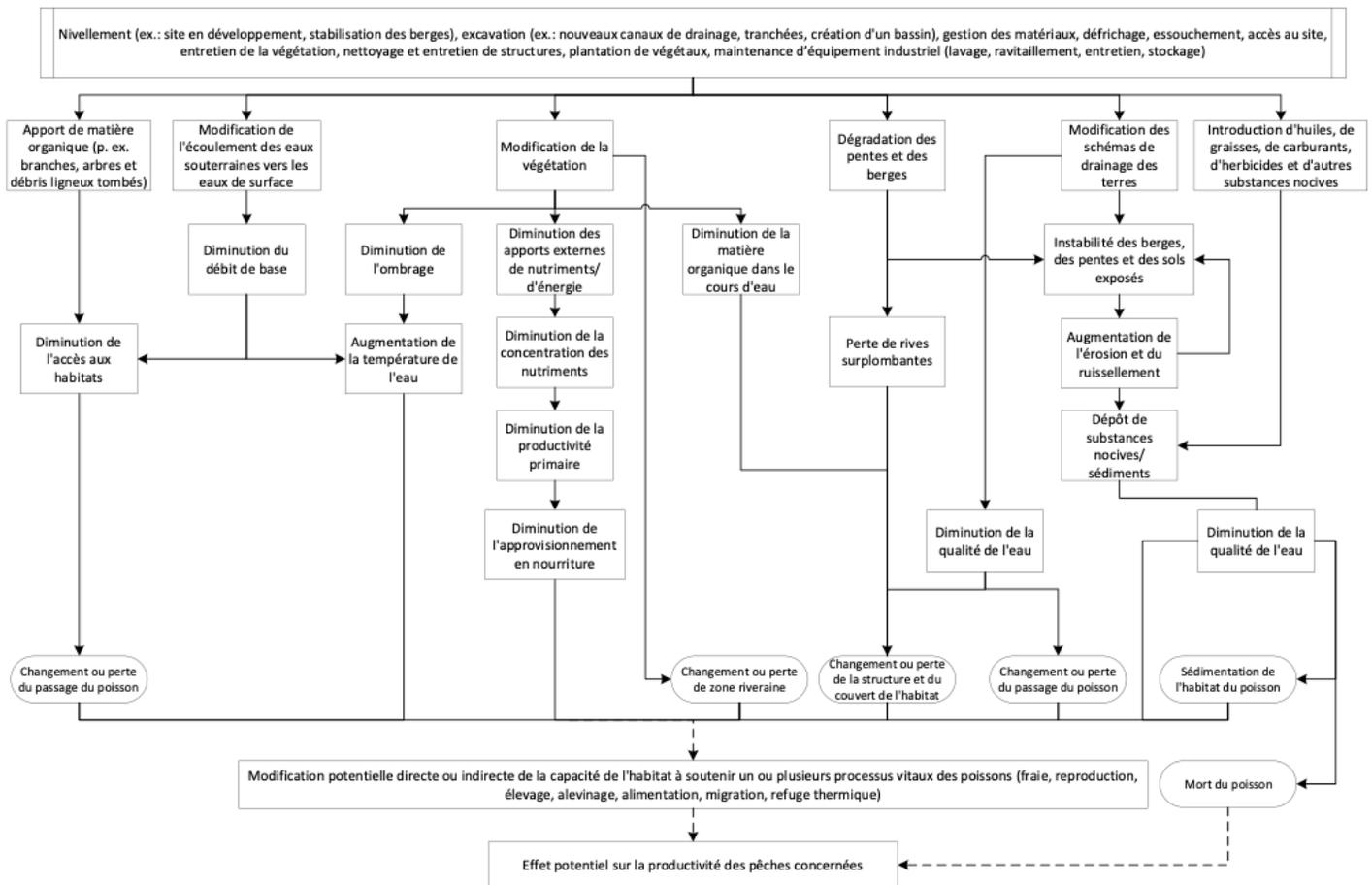


Figure 2 : Ébauche du diagramme de séquence des effets (septembre 2020) pour les OEA en milieu terrestre.

1. Apport de matière organique dans l'eau (p. ex. branches, arbres, débris ligneux tombés)

Apport de matière organique -> Diminution de l'accès aux habitats -> Changement ou perte du passage du poisson (III*)

Nous avons envisagé l'accès aux habitats comme étant la capacité des poissons à occuper un habitat, laquelle peut être diminuée par des facteurs physiques (p. ex. passage, bruit), chimiques (p. ex. substances nocives) ou biologiques (p. ex. peur). Bien que l'introduction de végétation (p. ex. matières ou débris ligneux grossiers) découlant d'activités anthropiques puisse logiquement obstruer des passages de poissons dans les écosystèmes des cours d'eau (Evans 1980), ce phénomène n'est pas bien établi dans la documentation. Cela peut être en partie attribuable au fait que, lors d'activités comme l'abattage, des modifications majeures sont subies simultanément par la végétation riveraine, les berges, les pentes et les réseaux de drainage des terres; la perte d'habitat du poisson est donc rarement attribuée directement à l'apport de matière organique dans l'eau comme des débris ligneux. Cependant, une recherche plus approfondie a été menée sur les impacts des digues de castors sur les passages des poissons, une situation comparable d'un point de vue conceptuel aux matières organiques créant une obstruction physique dans l'eau (Lokteff *et al.* 2013; Bouwes *et al.* 2016). Lokteff *et al.* (2013) ont constaté que les digues de castors obstruaient partiellement le déplacement de nombreuses espèces de truites, et que la réussite des passages dépendait d'une interaction

entre les espèces et des caractéristiques environnementales comme le débit de l'eau et le moment de la migration durant la saison. Néanmoins, les digues de castors ont aussi des effets bénéfiques reconnus sur l'habitat des poissons (Bouwes *et al.* 2016). De façon plus générale, la végétation, en particulier les gros débris ligneux, joue plusieurs rôles bénéfiques pour l'habitat des poissons : elle façonne la morphologie des cours d'eau, crée des refuges dans le courant, fournit un couvert structurel aux poissons pour se nourrir et qui leur sert de refuge contre les prédateurs, et offre un habitat structurel dans les lacs, réservoirs et estuaires ainsi que dans les écosystèmes marins côtiers (Angermeier et Karr 1984; Harmon *et al.* 1986; Murphy et Koski 1989; Everett et Ruiz 1993; Beechie et Sibley 1997; Thévenet et Statzner 1999; Smokorowski et Pratt 2007). Par conséquent, l'apport de matières organiques dans l'eau peut avoir des effets complexes sur les écosystèmes aquatiques et les habitats des poissons, selon la nature des matières et les caractéristiques du système. Le devenir de gros débris ligneux s'étant déposés dans l'eau dépend d'un débit d'eau complexe et des caractéristiques des matières, et cela influence le rythme où les matières forment des obstructions ainsi que la stabilité temporelle des obstructions (Abbe et Montgomery 1996) qui structurent les habitats aquatiques et qui influent peut-être sur leur rôle dans l'habitat du poisson, notamment dans le passage des poissons. Malgré les rôles bénéfiques qu'elle joue dans les systèmes aquatiques par l'entremise des processus de dépôts naturels, l'entrée de végétation dans les cours d'eau pourrait ne pas être bénéfique dans des circonstances moins naturelles (p. ex. abattage).

On peut s'appuyer sur une base théorique pour suggérer que l'apport de matière organique (végétation) dans l'eau en raison d'OEA peut influencer sur le passage des poissons dans des cours d'eau, mais il manque de données empiriques pour le prouver. Comme il est indiqué ci-dessus, l'apport de matière organique dans l'eau est un important processus naturel, mais cela pourrait avoir des effets négatifs sur le passage des poissons lorsque des OEA se traduisent par une accumulation accrue de matières ligneuses. Par conséquent, il serait plus exact et complet de remplacer « Apport de matière organique dans l'eau » par « Accumulation accrue de matières ligneuses » à des fins de clarté [1]. Dans ce cas-ci, « matières ligneuses » désigne des arbres, des branches et des débris ligneux. Comme il en a été question plus haut, la taille et la quantité exactes de débris ligneux pouvant perturber le passage des poissons n'ont pas été bien étudiées et sont inconnues. L'entrée dans l'eau de ces matières peut causer divers problèmes qui sont couverts dans le diagramme de SE pour les OEAs en milieu aquatique (p. ex. étouffement, diminution de la qualité de l'eau, modification ou perte du couvert); un lien pourrait donc être ajouté à « Accumulation accrue de matières ligneuses » vers « Voir séquence OEA milieu aquatique » [2]. Enfin, il n'y a pas de relation logique entre « Diminution de l'accès aux habitats » et « Changement ou perte du passage du poisson » ou « Augmentation de la température de l'eau ». La modification des structures en milieu aquatique pourrait avoir une série des effets comme le changement de la température de l'eau et la modification du passage des poissons; cependant, ces effets sont couverts dans le diagramme de SE pour les OEAs en milieu aquatique. Le lien entre « Accumulation accrue de matières ligneuses » et « Diminution de l'accès aux habitats » et « Changement ou perte du passage du poisson » pourrait donc être enlevé ici [3]; on pourrait plutôt se référer au diagramme de SE pour les OEAs en milieu aquatique [2] pour obtenir une couverture plus exhaustive de ces effets.

Apport de matière organique -> Diminution de l'accès aux habitats -> Augmentation de la température de l'eau (//*)

Les matières ligneuses grossières jouent un rôle complexe dans les écosystèmes aquatiques, en particulier dans les ruisseaux et les rivières; elles modèlent la géomorphologie, la répartition du débit et des substrats, la température de l'eau et divers aspects de la communauté biologique (Angermeier et Karr 1984; Harmon *et al.* 1986; Heifetz *et al.* 1986; Murphy et Koski

1989; Fausch et Northcote 1992; Crispin *et al.* 1993; Gurnell *et al.* 1995; Beechie et Sibley 1997; Crook et Robertson 1999; Thévenet et Statzner 1999). La structure influence les régimes de débit d'eau, ce qui influe sur la température de l'eau dans les habitats des cours d'eau (Hester *et al.* 2009; Majerova *et al.* 2015; Weber *et al.* 2017). Cependant, comme on l'a vu plus haut, ces effets sont couverts de façon exhaustive dans le diagramme de SE pour les OEAs en milieu aquatique; ces liens pourraient donc être retirés [3].

2. Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface

Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface -> Diminution du débit de base -> Diminution de l'accès aux habitats -> Changement ou perte du passage du poisson (I)

Les flux d'eau souterraine jouent habituellement un rôle crucial dans le maintien de la quantité et de la qualité des habitats du poisson dans les ruisseaux et les rivières en raison de leur contribution au débit de l'eau (Blackport *et al.* 1995; Power *et al.* 1999; Fleckenstein *et al.* 2004; Chu *et al.* 2008; Perkin *et al.* 2017). Par conséquent, la modification [réduction] des débits d'eau souterraine dans les réseaux fluviaux se traduit souvent par une diminution du débit de base des écosystèmes de rivière et de ruisseau, ce qui à son tour entraîne une baisse des niveaux d'eau et une diminution de l'accès aux habitats en raison d'une modification ou d'une perte du passage des poissons (Fleckenstein *et al.* 2004; Beatty *et al.* 2010).

Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface -> Diminution du débit de base -> Augmentation de la température de l'eau (I*)

Les températures des flux d'eau souterraine sont souvent plus modérées que celles des eaux de surface en raison de l'effet tampon de la masse terrestre, qui protège ces flux des changements de température rapides et extrêmes qui peuvent survenir au-dessus de la surface. Par conséquent, selon la saison, lorsque les températures de l'eau sont relativement élevées dans les écosystèmes fluviaux, les flux d'eau souterraine conservent une température plus froide (Keery *et al.* 2007). Cela est particulièrement important dans le cas de certains écosystèmes de ruisseaux peu profonds, qui restent relativement frais durant l'été et qui abritent des espèces d'eau froide comme les salmonidés (Curry *et al.* 1994; Blackport *et al.* 1995; Power *et al.* 1999; Mason et Metikosh 2007; Chu *et al.* 2008; Waco et Taylor 2010; Rolls *et al.* 2012; Perkin *et al.* 2017). À l'autre extrémité, en hiver, les flux d'eau souterraine sont plus tièdes que les eaux de surface du milieu ambiant; ils peuvent donc grandement contribuer au maintien de bassins d'hivernage (Cunjak 1996; Power *et al.* 1999; Mason et Metikosh 2007). Ainsi, cette séquence pourrait être modifiée afin qu'elle aborde le double rôle que joue l'eau souterraine dans le maintien de la température de l'eau et de l'habitat du poisson; plutôt que d'employer « Augmentation de la température de l'eau », nous pourrions dire « Changement de la température de l'eau » [4].

Autres considérations

La diminution du débit de base mène aussi à une perte de superficie mouillée, ce qui signifie une perte directe d'habitat du poisson (Blackport *et al.* 1995; Cunjak 1996; Chu *et al.* 2008; Beatty *et al.* 2010). Dans certains cas, cela pourrait se traduire par la disparition de poissons d'une zone ou d'un système donné à cause, par exemple, de la perte de bassins d'hivernage (Cunjak 1996). La productivité des populations de poissons tend à baisser proportionnellement à la réduction de la taille/quantité de l'habitat (Randall et Minns 2002; Minns *et al.* 2011), et il a aussi été démontré que la diversité des poissons déclinait en fonction de la réduction du débit d'eau (Xenopoulos et Lodge 2006). Par conséquent, nous pourrions ajouter « Modification ou perte de superficie mouillée » comme paramètre ultime pertinent [5]. La modification des régimes de débit d'eau souterraine entraîne généralement une diminution du débit de base

dans les systèmes lotiques; cependant, dans certains cas, cela pourrait mener à l'augmentation du débit de base des systèmes où l'eau est redirigée. Par contre, le problème le plus fréquent est causé par la diminution du débit. Un astérisque* pourrait donc être ajouté à « Diminution du débit de base », pour indiquer dans une note de bas de page qu'une augmentation du débit de base et ses effets connexes sont également possibles [6]. De plus, les modifications du débit de base peuvent avoir une multitude d'impacts sur l'habitat des poissons en plus de celui touchant les superficies mouillées; ceux-ci concernent les caractéristiques du substrat, la structure et la qualité de l'eau – l'établissement d'un lien de « Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface » vers « Modification de la quantité d'eau » puis directement vers « Potentielle dégradation directe ou indirecte de l'habitat des poissons » pourrait être justifié [7]. L'eau souterraine joue également un rôle prépondérant dans l'alimentation des poissons, et toute diminution du débit de base peut réduire les occasions qu'ont les poissons de se nourrir et de croître (Valiela *et al.* 1990; Weisberg et Burton 1993; Fujita *et al.* 2019). Par conséquent, un lien pourrait être ajouté entre « Diminution du débit de base » et « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » [8].

3. Modification de la végétation

Modification de la végétation -> Diminution de l'ombrage -> Augmentation de la température de l'eau (I)

La modification de la végétation [diminution de la végétation riveraine] entraîne habituellement une réduction de l'ombrage dans les écosystèmes fluviaux, et la pénétration accrue de lumière mène à l'augmentation des températures de l'eau (Barton *et al.* 1985; Theurer *et al.* 1985; Larson et Larson 1996; Garner *et al.* 2017), ce qui à son tour peut réduire la qualité de l'habitat des poissons (Broadmeadow *et al.* 2011). En tant qu'ectothermes, les poissons s'adaptent généralement au régime thermique naturel de leur habitat et sont sensibles aux modifications de la température de l'eau ambiante en raison de l'impact de celle-ci sur leurs besoins énergétiques et leur performance physiologique (Eliason *et al.* 2011). Ainsi, la modification de la végétation [diminution de la végétation riveraine] peut nuire aux poissons lorsqu'elle fait grimper la température de l'eau au-delà des plages optimales pour les espèces de poissons concernées (Theurer *et al.* 1985; Mason et Metikosh 2007; Broadmeadow *et al.* 2011).

Modification de la végétation -> Diminution des apports externes de nutriments/d'énergie -> Diminution de la concentration des nutriments -> Diminution de la productivité primaire -> Diminution de l'approvisionnement en nourriture (I*)

La végétation riveraine fournit des nutriments externes (allochtones) constituant une partie importante de la productivité primaire des réseaux trophiques qui soutiennent les poissons (Tabacchi *et al.* 1998; Pusey et Arthington 2003; Tank *et al.* 2010). De ce point de vue, cette séquence est étayée. Cependant, l'enlèvement de la végétation des zones riveraines influe sur les écosystèmes aquatiques de façon complexe selon l'utilisation des terres adjacentes et les caractéristiques géologiques de la région. Par exemple, dans les régions comportant une couche de sol profonde, l'érosion continue des berges causée par la perte de végétation riveraine mènera à une augmentation des sédiments en suspension et à un apport accru de nutriments dans les écosystèmes fluviaux (Laubel *et al.* 2003; Robertson *et al.* 2006; Taylor et Owens 2009; Chapman *et al.* 2014). Les effets sont aussi importants sur les habitats marins côtiers (Valiela et Cole 2002; Gedan *et al.* 2011; Quiros *et al.* 2017). La nature exacte du mécanisme de l'érosion des berges et de son action sur les conditions aquatiques dépend de l'interaction complexe entre les caractéristiques du débit d'eau et les conditions géologiques du bassin versant (Fox et Wilson 2010). De plus, le remplacement de la végétation riveraine par des terres destinées à l'agriculture augmente l'apport en nutriments, ce qui pose aussi problème pour les communautés de poissons (Wichert et Rapport 1998). Donc, selon le

contexte, la modification de la végétation peut réduire ou augmenter la quantité de nutriments et la productivité primaire, deux situations en général néfastes pour les communautés de poissons. L'énoncé « Diminution des apports externes de nutriments/d'énergie » pourrait donc devenir « Modification des apports externes de nutriments/d'énergie » [9]. Pour simplifier le diagramme, nous pourrions enlever « Diminution de la concentration des nutriments », qui est redondant par rapport au nœud au-dessus [10]. Dans le sens du changement suggéré à [9], « Diminution de la productivité primaire » pourrait être remplacée par « Modification de la productivité primaire » pour que l'énoncé soit exhaustif [11]. En outre, la végétation riveraine est source non seulement de nutriments qui soutiennent la base du réseau trophique, mais aussi une source directe de nourriture pour les poissons (p. ex. insectes terrestres; Davies et Nelson 1994; Pusey et Arthington 2003). L'énoncé « Modification de la végétation » pourrait donc être relié à « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » [12].

Modification de la végétation -> Diminution de la matière organique dans le cours d'eau -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I*)

La végétation riveraine joue le rôle crucial de fournir un habitat structurel et organique pour les poissons dans le cours d'eau (Heifetz *et al.* 1986; Murphy et Koski 1989; Fausch et Northcote 1992; Crook et Robertson 1999; Pusey et Arthington 2003; Smokorowski et Pratt 2007). Cela est particulièrement frappant dans le cas des petits cours d'eau où l'interface aquatique/terrestre joue un rôle de premier plan dans la structure et la fonction de l'écosystème. Cependant, la structure organique joue un rôle dans l'habitat des poissons de plusieurs types d'écosystèmes aquatiques (Smokorowski et Pratt 2007; Sass *et al.* 2019), et pas seulement « dans le cours d'eau ». Nous pourrions alors remplacer l'expression par « aquatique » [13].

Modification de la végétation -> Modification ou perte de zone riveraine (I*)

La végétation fait généralement partie intégrante des zones riveraines; ainsi, la modification [l'enlèvement] de la végétation dans ces zones pourrait être considérée comme une modification ou perte directe de zone riveraine. Cela a souvent des effets subséquents sur la zone riveraine, puisque la végétation joue un rôle dans la stabilisation des sédiments (Barton *et al.* 1985). Ceux-ci sont souvent perdus par érosion après l'enlèvement de la végétation riveraine, ce qui modifie la géomorphologie de l'écosystème aquatique ainsi que les conditions et l'emplacement de la zone riveraine (Tabacchi *et al.* 1998, 2000; Laubel *et al.* 2003). Le MPO (DFO 2021) fournit des définitions des zones riveraines dans des habitats d'eau douce et d'eau salée. La végétation riveraine joue également un rôle essentiel dans la géomorphologie des rivières, notamment la stabilité des berges et le maintien de rives surplombantes (Abernethy et Rutherford 1998; Tabacchi *et al.* 1998, 2000; Myers et Resh 2000; Laubel *et al.* 2003). Dans certains cas, la perte de végétation riveraine mène à l'enfoncement du chenal, ce qui a des effets négatifs sur les conditions de l'habitat et les communautés de poissons (Shields *et al.* 1994). En conséquence, pour couvrir de façon exhaustive les effets de la perte de végétation riveraine, nous pourrions ajouter un lien entre « Modification de la végétation » et « Instabilité des berges, des pentes et des sols exposés » [14]. Comme il a été mentionné plus haut, la végétation joue également un rôle majeur dans la structure et le couvert de l'habitat; un lien pourrait donc être établi entre « Modification de la végétation » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat » [15].

Dégradation des pentes et des berges -> Perte de rives surplombantes -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I*)

Les rives surplombantes représentent d'importants habitats pour les poissons; elles fournissent une structure et un couvert et soutiennent l'approvisionnement en nourriture (Myers et Resh 2000). Elles se forment à mesure que les racines des plantes riveraines retiennent le sol dans lequel elles se trouvent et que les courants érodent le sol en dessous pendant des années,

voire des décennies. La dégradation des pentes et des berges [du littoral de l'écosystème aquatique] suppose habituellement un enlèvement de la végétation riveraine, ce qui réduit la capacité à maintenir la structure des berges, dont les rives surplombantes (Heifetz *et al.* 1986; Tabacchi *et al.* 1998, 2000; Myers et Resh 2000; Laubel *et al.* 2003). Ainsi, lorsque des berges sont modifiées, il est difficile de réaménager rapidement des rives surplombantes, puisque des processus hydrologiques à long terme sont nécessaires à leur formation. L'importance des rives surplombantes étant reconnue, les effets des pentes et des berges sont généralement inclus dans le diagramme, et l'inclusion de ce type précis de rive représente un niveau de détail qui est absent pour d'autres composants des diagrammes. Par conséquent, l'énoncé « Perte de rives surplombantes » pourrait être retiré des nœuds [16], et nous établirions un lien direct entre « Dégradation des pentes et des berges » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat ».

4. Dégradation des pentes et des berges

Dégradation des pentes et des berges -> Instabilité des berges, des pentes et des sols exposés <-> Augmentation de l'érosion et du ruissellement -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Diminution de la qualité de l'eau -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I)

La dégradation des pentes et des berges [du littoral de l'écosystème aquatique] cause généralement une instabilité des berges (surtout en raison de l'enlèvement de la végétation riveraine) et l'exposition des sols, ce qui en retour fait augmenter l'érosion et le ruissellement dans les écosystèmes aquatiques (Tabacchi *et al.* 1998; Wynn *et al.* 2004; Robertson *et al.* 2006; Fox et Wilson 2010; Chapman *et al.* 2014; Krzeminska *et al.* 2019). La *Loi sur les pêches* définit une substance nocive comme « toute substance qui, si elle était ajoutée à l'eau, altérerait ou contribuerait à altérer la qualité de celle-ci au point de la rendre nocive, ou susceptible de le devenir, pour le poisson ou son habitat, ou encore de rendre nocive l'utilisation par l'homme du poisson qui y vit ». Les sédiments en suspension dégradent la qualité de l'eau et pourraient être considérés comme des substances nocives; d'ailleurs, ils contiennent souvent diverses substances nocives comme le mercure (Wang *et al.* 2004; Robertson *et al.* 2006) et des concentrations excessives de nutriments (Cloern 2001; Hauxwell *et al.* 2003; Deegan *et al.* 2012). Les taux de dépôt de contaminants peuvent être très élevés dans les secteurs où, traditionnellement, des activités comme l'exploitation minière ont mené à des dépôts élevés de contaminants (Stone 2000). Les sédiments en suspension peuvent finir par se déposer dans le benthos, ce qui causerait la sédimentation de l'habitat des poissons et réduirait l'hétérogénéité de l'habitat, y compris un colmatage d'espaces interstitiels fournissant une complexité structurelle essentielle (Robertson *et al.* 2006; Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014).

Dégradation des pentes et des berges -> Instabilité des berges, des pentes et des sols exposés <-> Augmentation de l'érosion et du ruissellement -> Dépôt de substances nocives -> Diminution de la qualité de l'eau -> Mort du poisson (I*)

La libération du sol de berges entraîne divers effets sur les conditions des écosystèmes aquatiques; ceux-ci peuvent mener à la mort des poissons à cause de la modification directe de la fonction physiologique des poissons par diminution de l'accès à l'oxygène ou par réduction de la visibilité, ce qui compromet la capacité des poissons à se déplacer, à capturer des proies et à éviter des prédateurs (Robertson *et al.* 2006; Chapman *et al.* 2014). Les sols contiennent souvent aussi des contaminants chimiques nuisibles qui s'y sont déposés, lesquels provoquent une série des effets négatifs directs sur les poissons y compris la mortalité (Taylor et Owens 2009). Cependant, l'altération de la productivité des populations de poissons peut également être causée par des effets sublétaux; par exemple, les coûts énergétiques des facteurs de stress environnementaux qui entraînent une diminution de la croissance et de l'efficacité de la

reproduction (Lévesque et Dubé 2007; Schreck 2009). Par conséquent, le paramètre ultime « Mort du poisson » pourrait être remplacé par « Effets sublétaux et/ou mort » [17]. Nous définissons les effets sublétaux comme les altérations physiques, physiologiques ou comportementales causées par des activités anthropiques et qui peuvent entraîner la diminution de la valeur adaptative biologique des individus, ce qui en retour réduit la productivité de la population (pêches).

5. Modification des réseaux de drainage des terres

Modification des réseaux de drainage des terres -> Instabilité des berges, des pentes et des sols exposés <-> Augmentation de l'érosion et du ruissellement -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Diminution de la qualité de l'eau -> Sédimentation de l'habitat du poisson (I*)

La modification des réseaux de drainage des terres provoque souvent des changements dans les profils d'érosion riverains, ce qui mène à un accroissement de l'érosion et du ruissellement (Likens et Bormann 1974; Blann *et al.* 2009; Vlotman *et al.* 2020). Cette séquence de pressions est néanmoins similaire à ce qui est indiqué plus haut en lien avec la dégradation des pentes et des berges, et elle est bien étayée. En particulier, la sédimentation de l'habitat des poissons peut directement causer la mort des poissons en privant les œufs ou les larves d'oxygène (Newcombe et Jensen 1996; Wright et Hopky 1998; Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014); donc, nous pourrions ajouter un lien entre « Sédimentation de l'habitat des poissons » et « Effets sublétaux et/ou mort » [18].

Modification des schémas de drainage des terres -> Diminution de la quantité d'eau (I*)

La modification des réseaux de drainage des terres dans les écosystèmes aquatiques entraîne souvent une diminution de la quantité d'eau dans les réseaux desquels l'eau est détournée, ce qui réduit les superficies mouillées, c'est-à-dire l'habitat des poissons (Likens et Bormann 1974; Blann *et al.* 2009; Minns *et al.* 2011; Vlotman *et al.* 2020). Cette situation est particulièrement problématique dans les petits écosystèmes aquatiques comme les ruisseaux et les petites rivières, dont l'approvisionnement en eau dépend du ruissellement de surface. En outre, les habitats vers lesquels l'eau est détournée peuvent aussi voir leur quantité et leur qualité changer. Par exemple, la dérivation d'eau vers le Gange a entraîné des modifications considérables des conditions des estuaires côtiers vers lesquels l'eau douce était détournée, dont l'altération des communautés biologiques et la réduction de la productivité des poissons (Monirul Qader Mirza 2006). La modification des réseaux de drainage qui se fait par modification de la perméabilité de la terre (durcissement, urbanisation) peut aussi mener à une augmentation de l'instabilité des débits, ou à de fréquentes augmentations temporaires de la quantité d'eau pouvant entraîner une diminution de la diversité biotique par le biais de la perte d'espèces intolérantes (Baker *et al.* 2004; Walsh *et al.* 2005). Par conséquent, la quantité d'eau peut diminuer ou augmenter, et les deux situations peuvent poser problème. Nous pourrions donc remplacer « Diminution de la quantité d'eau » par « Modification de la quantité d'eau » à des fins d'exhaustivité [19]. Cette modification de la quantité d'eau est directement reliée à la superficie mouillée (qui exerce ses propres effets; DFO, 2014); ainsi, nous pourrions ajouter un lien entre « Modification de la quantité d'eau » et « Modification ou perte de superficie mouillée » [20]. En outre, l'énoncé « Diminution de la quantité d'eau » est lié à divers problèmes figurant dans le diagramme de SE sur les débits; nous pourrions donc ajouter un lien entre « Modification de la quantité d'eau » et « Voir le diagramme des SE sur les débits » [21].

Autres considérations

Une combinaison de ces pressions terrestres (modification de la végétation, dégradation des pentes et des berges, modification des réseaux de drainage des terres) pourrait aussi

contribuer à des séquences de pression/paramètres ultimes supplémentaires, notamment la facilitation de l'arrivée d'espèces envahissantes (Hobbs 2000; Havel *et al.* 2015) [22]. Cette même combinaison de pressions peut aussi faciliter l'accès au plan d'eau, ce qui pourrait mener à une pression de pêche accrue. Cependant, la pêche récréative n'est pas gérée directement par le MPO. Nous pourrions donc ajouter un paramètre ultime qui relierait ces pressions à « Augmentation de l'accès par les humains », et qui serait relié à « Consulter le ou les organismes de gestion compétents » [23].

La modification de l'utilisation de terres qui comprennent des surfaces imperméables comme l'asphalte peut aussi créer une contrainte thermique dans les écosystèmes aquatiques (Herb *et al.* 2008), ce qui pourrait justifier l'établissement d'un lien entre « Modification des réseaux de drainage des terres » et « Changement de la température de l'eau » [24]. En particulier, plusieurs impacts négatifs des projets de construction à proximité de l'eau peuvent parfois être atténués grâce à des pratiques de gestion exemplaires (Houser et Pruess 2009).

6. Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, d'herbicides et d'autres substances nocives

Introduction de substances nocives -> Dépôt de substances nocives -> Diminution de la qualité de l'eau -> Sédimentation de l'habitat du poisson (I*)

Plusieurs activités humaines provoquent l'introduction de substances nocives dans les écosystèmes aquatiques; ces substances mettent en péril la santé des poissons (Niimi 1983; Adams *et al.* 1996; Collier *et al.* 2013; Solomon *et al.* 2013; Araújo *et al.* 2018), ce qui peut en retour réduire la productivité des populations ainsi que la structure et la stabilité des communautés biologiques (McKinley et Johnston 2010). Dans le contexte de l'utilisation de machinerie sur des terres à proximité de l'eau, la protection des ressources d'eau douce au Canada exige des promoteurs qu'ils s'assurent que l'équipement et la machinerie sont en bon état de fonctionnement, qu'ils ne présentent pas de fuites ni de quantité excessive d'huile ou de graisse, et que leur entretien/ravitaillement est fait à une certaine distance des plans ou cours d'eau (p. ex. à plus de 30 mètres; *Water Act* (1996) de la Colombie-Britannique). Les sources et les types de substances nocives sont très vastes; cela va des sources ponctuelles de produits chimiques comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques jusqu'aux déversements d'huile ou d'essence (Armon et Starosvetsky 2015; Nowak *et al.* 2019), aux utilisations d'herbicides à grande échelle en agriculture (Solomon *et al.* 2013) ou à la lixiviation de métaux lourds découlant de l'exploitation minière (Banks *et al.* 1997; Intamat *et al.* 2016). Les effets de la contamination sont extrêmement variés; par exemple, il a été établi que les herbicides formaient des barrières chimiques à la connectivité entre les populations de poissons (Araújo *et al.* 2018). Cette séquence est reliée à la « Sédimentation de l'habitat des poissons »; puisque les contaminants se déposent généralement dans des sédiments, ils pourraient être considérés comme faisant partie intégrante de la séquence. En outre, les sédiments eux-mêmes pourraient être considérés comme des substances nocives selon la définition de la *Loi sur les pêches*, et leur impact sur les poissons et leur habitat est examiné et étayé ci-dessus.

Introduction de substances nocives -> Dépôt de substances nocives -> Diminution de la qualité de l'eau -> Mort du poisson (I)

Nombreux sont les cas où l'introduction/le dépôt de substances nocives peut directement causer la mort des poissons, selon le degré de toxicité et la concentration de la substance (Niimi 1983; Adams *et al.* 1996; Collier *et al.* 2013; Solomon *et al.* 2013; Chapman *et al.* 2014; Araújo *et al.* 2018) ou son impact sur les autres caractéristiques de l'habitat comme la température de l'eau, la concentration d'oxygène ou la turbidité de l'eau (Robertson *et al.* 2006; Chapman *et al.* 2014). Ce sujet, très complexe, ne sera pas couvert de façon approfondie ici, mais le degré selon lequel une substance nocive causera la mort des poissons (et les effets sublétaux qui influencent la valeur adaptative biologique, qui à son tour influence la taille de la population) dépendra de la vulnérabilité et du stade de vie des espèces ainsi que de la toxicité et de la concentration de la substance. Dans l'ensemble, il s'agit d'une séquence bien étayée; or, cela engloberait davantage la gamme de produits chimiques de lutte biologique couramment appliquée si nous remplaçons, dans le nœud de pression supérieur, le terme « herbicide » par « pesticide », ce qui donnerait le titre suivant : « Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, de pesticides et d'autres substances nocives » [25]. En outre, l'introduction de telles substances influe directement sur la qualité de l'eau, indépendamment des dépôts; nous pourrions donc ajouter un lien direct entre « Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, de pesticides et d'autres substances nocives » et « Diminution de la qualité de l'eau » [26].

Modifications potentielles au diagramme de SE pour les OEAs en milieu terrestre

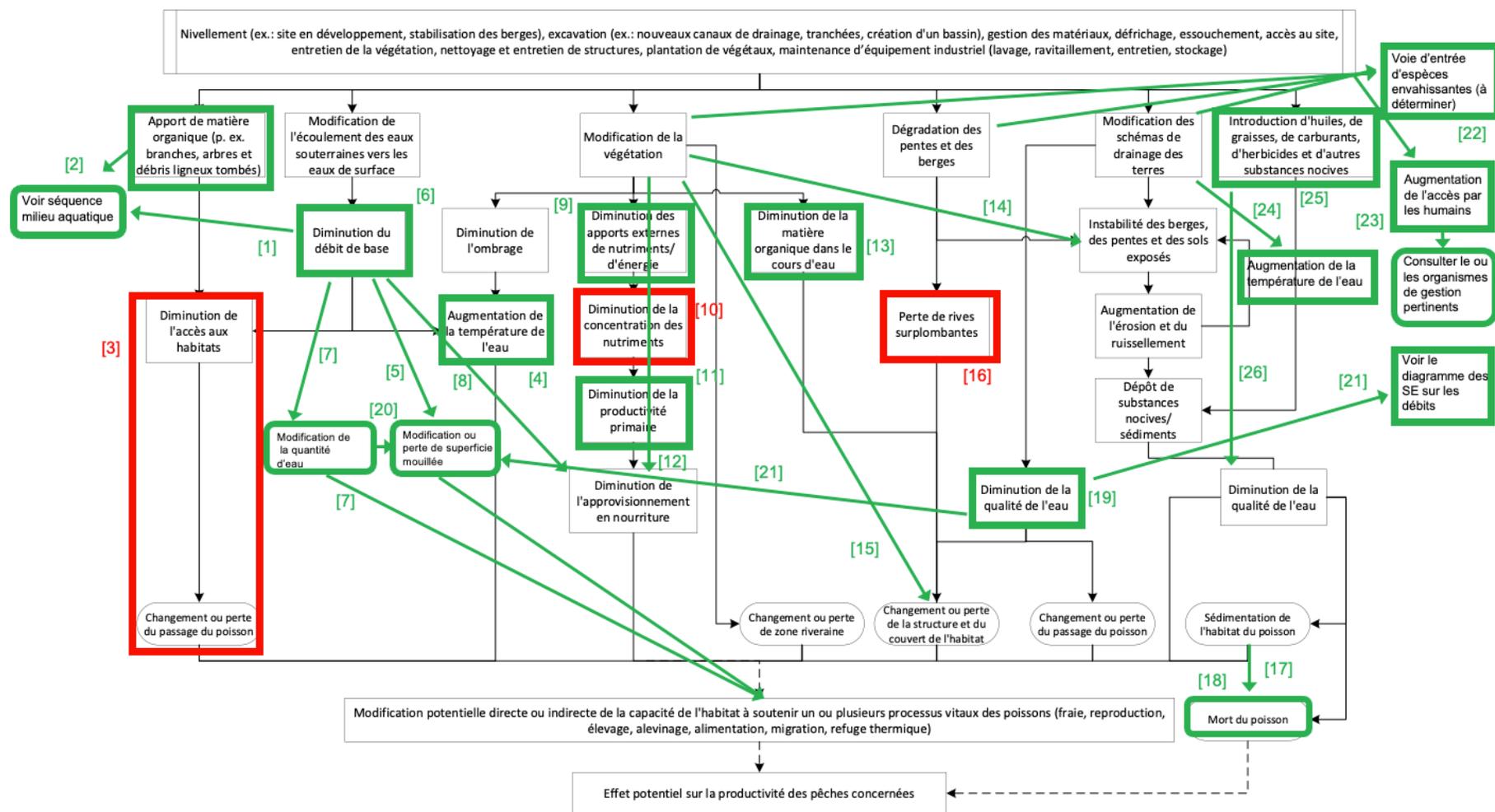


Figure 3 : Survol des modifications potentielles à l'ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets portant sur les OEAs en milieu terrestre. Les lignes additionnelles indiquent des liens qui peuvent être ajoutés (lignes vertes) ou enlevés (lignes rouges); les encadrés additionnels indiquent des modifications ou des ajouts à des pressions ou des paramètres ultimes.

Détonation dans ou près de l'eau -> Variation instantanée de la pression -> Blessure physique des poissons -> Effets sublétaux sur les poissons -> Mort du poisson (I*)

Dans le cas de la détonation d'un explosif dans l'eau ou à proximité, une onde de choc se crée par suite des réactions chimiques qui convertissent les composés instables en composés stables et qui libèrent de la chaleur et des gaz. Le dégagement explosif de gaz provoque une hausse de pression très rapide dans les environs de l'explosion, et cela crée une onde de pression qui s'éloigne du point d'explosion à très haute vitesse (plusieurs milliers de mètres par seconde). Cependant, cette onde est aussi limitée dans son expansion par le taux de réaction chimique qui s'est produit initialement. Il est bien établi que les changements rapides de pression associés aux activités de détonation dans l'eau ou à proximité causent des blessures physiques aux poissons et aux mammifères marins et même leur mort (Teleki et Chamberlain 1978; Dalen et Knutsen 1987; Wright et Hopky 1998; Gordon *et al.* 2003; Weilgart 2007; Dahl *et al.* 2020). Au Canada, l'orientation générale est d'éviter les surpressions de 100 kPa pour réduire au minimum la possibilité d'effets négatifs (Wright et Hopky 1998). La mesure dans laquelle les activités de détonation peuvent entraîner une surpression excessive dépend de divers facteurs liés à la distance entre la détonation et l'habitat des poissons ainsi que des caractéristiques physiques de l'habitat (Keevin 1998; Wright et Hopky 1998). Les poissons peuvent subir des blessures physiques à tous les stades de vie, mais les œufs y sont particulièrement vulnérables (Dalen et Knutsen 1987; Faulkner 2006; Faulkner *et al.* 2008; Govoni *et al.* 2008; Dahl *et al.* 2020). Des effets sublétaux et létaux sont possibles selon le degré d'exposition et la tolérance des espèces; dans la même veine que les suggestions faites pour d'autres diagrammes de SE, un paramètre ultime inclusif « Effets sublétaux et/ou mort » pourrait être ajouté [2]. En outre, en plus des blessures physiques, les poissons peuvent subir un stress physiologique en réponse aux effets d'une détonation, et le nœud « Blessure physique » pourrait être remplacé par « Blessure physique/stress subis par les poissons » [3]. Nous avons envisagé que l'énoncé « Blessure physique/stress subis par les poissons » inclue toute blessure externe ou interne et tout stress physiologique subis par divers organismes aquatiques, y compris d'autres vertébrés et invertébrés. En plus des blessures physiques, du stress et de la mortalité, dans certains cas les poissons et les mammifères marins peuvent devenir exposés à des changements de pression et à du bruit à une plus grande distance que la limite maximale de l'onde de choc, ce qui peut entraîner un comportement d'évitement de la région touchée (Nowacek *et al.* 2007; Popper et Hawkins 2019). Cela peut faire en sorte que ces animaux soient exclus de leurs habitats; un lien pourrait donc être ajouté à l'énoncé « Variation instantanée de la pression », vers le nouveau nœud de pression « Modification des régimes de migration/accès à l'habitat » [4].

Détonation dans ou près de l'eau -> Émission de particules à grande vitesse -> Blessure physique des poissons -> Effets sublétaux sur les poissons -> Mort des poissons (I*)

Dans un rayon autour d'une détonation, de grandes particules (des pierres, par exemple) projetées à haute vitesse pourraient causer des blessures aux poissons ou les tuer; cependant, il en existe peu de preuves directes. L'eau exerce une forte résistance sur les objets en mouvement comparativement à l'air, et la plage de déplacement des particules projetées à haute vitesse peut être réduite, surtout comparativement au rayon à l'intérieur duquel l'onde de choc et la variation de pression connexe blesseraient ou tueraient les poissons, comme il en a été question plus haut. En plus de changements de pression, les détonations provoquent également des mouvements de particules, l'autre composante principale du bruit (Nedelec *et al.* 2016; Hawkins et Popper 2017). Il peut en résulter d'intenses vibrations du substrat pouvant blesser ou tuer les poissons, tout particulièrement les œufs situés dans le substrat (Faulkner 2006; Faulkner *et al.* 2008). La vitesse de crête des particules du substrat sert à mesurer cela; au Canada, l'orientation générale suggère qu'une vitesse de crête des particules supérieure à

13 mm/s est plus susceptible de causer des blessures ou la mortalité (Wright et Hopky 1998). Dans les études, les blessures et la mortalité chez les poissons et les mammifères qui sont associées aux détonations ont tendance à être attribuées plus souvent aux ondes de pression qu'aux mouvements de particules, comme indiqué plus haut. Aucune référence à l'énoncé « Émission de particules à grande vitesse » n'a été trouvée; par conséquent, ce nœud pourrait être plus adéquatement nommé « Eau à grande vitesse et mouvement de particules solides » [5]. En général, moins d'études ont été menées sur les effets des mouvements de particules sur les poissons et leur habitat que sur les effets des changements rapides de pression et, de façon plus globale, de l'énergie acoustique. Le mouvement de l'onde de pression acoustique causée par le transfert d'énergie entre les molécules d'eau en mouvement peut causer des blessures physiques et auditives à l'oreille moyenne et interne, et le risque est lié à la distance entre le récepteur et la source. Les blessures auditives subies par les mammifères causent une perte d'audition temporaire ou permanente de certaines fréquences. Les deux mécanismes peuvent faire augmenter le taux de mortalité en raison d'une perte de la capacité à rechercher de la nourriture ou d'une hausse du risque de prédation et d'une perte des capacités d'orientation. Le mouvement de particules solides est directement associé à des modifications de la structure de l'habitat des poissons et, donc, un lien pourrait être ajouté entre « Eau à grande vitesse et mouvement de particules solides » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat » [6] (ajouté en tant que nouveau paramètre ultime dans ce diagramme de SE).

Détonation dans ou près de l'eau -> Résidus d'explosifs -> Dépôt de substances nocives -> Diminution de la qualité de l'eau (I*)

Les sous-produits d'activités de détonation peuvent comprendre des substances nocives qui sont dangereuses pour les poissons, comme l'ammoniac (Wright et Hopky 1998). En outre, les détonations perturbent fréquemment les sédiments, ce qui peut libérer des substances nocives contenues à l'intérieur, comme des métaux lourds (Bach *et al.* 2017). Ainsi, nous pourrions ajouter un lien entre « Remise en suspension de sédiments » et « Dépôt de substances nocives » [7]. Les substances nocives et les sédiments associés aux détonations ont tous deux été reliés à des effets sublétaux sur les poissons (Nielsen *et al.* 2015; Bach *et al.* 2017), bien que peu de preuves établissent un lien direct entre « Résidus d'explosifs » et « Mort du poissons », malgré une solide base théorique.

Détonation dans ou près de l'eau -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de sédiments -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I*)

Il est établi que les détonations dans l'eau ou à proximité causent une perturbation du substrat et une remise en suspension de sédiments et, de ce fait, la sédimentation de l'habitat des poissons (Wright et Hopky 1998; Klemperer et Cash 2007; Girma *et al.* 2012; Nielsen *et al.* 2015). Entre autres, la sédimentation de l'habitat des poissons peut directement causer la mort des poissons en privant les œufs ou les larves d'oxygène (Newcombe et Jensen 1996; Wright et Hopky 1998; Robertson *et al.* 2006; Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014), et elle peut aussi avoir des effets sublétaux sur les poissons (Chiasson 1993), ce qui pourrait justifier l'ajout d'un lien entre « Sédimentation de l'habitat des poissons » et « Effets sublétaux et/ou mort » [8]. La sédimentation touche aussi directement la structure de l'habitat; un lien pourrait donc être ajouté entre « Perturbation du substrat » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat » [9].

Autres considérations

La détonation d'explosifs est aussi une source de bruit sous-marin qui exerce sur les organismes aquatiques des effets similaires à ceux d'autres sources de bruit de forte intensité (p. ex. l'enfoncement de pieux par battage et l'exploration sismique), dont les blessures physiques, le stress physiologique, les comportements d'évitement et les perturbations du

comportement (Popper et Hawkins 2019; Dahl *et al.* 2020). Cela englobe les bruits d'impulsions (DFO 2021; Martin *et al.* 2020); par conséquent, il serait plus exact de remplacer « Impulsion d'énergie sonore » par « Bruit d'impulsion » [10] et d'ajouter un lien entre « Détonation dans ou près de l'eau » et « Bruit d'impulsion » [11].

2. Introduction de bruit sous-marin

Introduction de bruit sous-marin -> Changements comportementaux -> Modification des régimes de migration/accès à l'habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (II*)

De nombreux OEA entraînent l'introduction de bruit sous-marin comme les relevés sismiques, les parcs éoliens, le forage, les profileurs acoustiques ou les embarcations à moteur (Nowacek *et al.* 2007; Slabbekoorn *et al.* 2010; Maxwell *et al.* 2018; Popper et Hawkins 2019; Dahl *et al.* 2020; MacLean *et al.* 2020; Popper *et al.* 2020). Il existe un large éventail d'effets bien établis du bruit sous-marin sur le comportement des poissons et des mammifères marins (Nowacek *et al.* 2007; Popper et Hastings 2009; Mueller-Blenkle *et al.* 2010). Dans certaines situations, le bruit est produit spécifiquement pour modifier le comportement des cétacés ou des poissons, pour les détourner des engins de pêche ou des barrages, ou encore pour les empêcher d'emprunter un passage (Nowacek *et al.* 2007; Putland et Mensinger 2019). Par conséquent, le bruit peut certainement modifier les passages de poissons, bien qu'aucun document n'ait été trouvé portant sur le lien entre cette situation et les OEA. Le bruit peut avoir des effets considérables sur le comportement des mammifères comme la modification du cap directionnel et de la fréquence des remontées à la surface (McCauley *et al.* 2000), la modification des voies de migration et l'exclusion d'habitats importants (Nowacek *et al.* 2007; Weilgart 2007). Ainsi, nous pourrions enlever le nœud « Changement ou perte du passage du poisson » [12], ce qui établirait un lien direct entre « Modification des régimes de migration/accès à l'habitat » et « Modification potentielle directe ou indirecte ».

Le bruit peut prendre la forme de bruits d'impulsions (des sons de forte intensité, soudains et courts provenant de sources comme les détonations ou les canons à air) ou de bruits continus (des sons continus qui durent longtemps provenant de sources comme le transport maritime ou le forage; voir les définitions du MPO [DFO, 2021]). Par conséquent, l'énoncé « Introduction de bruit sous-marin » pourrait être remplacé par « Libération d'énergie sonore (bruit) dans l'eau » [13]. Cela est relié à « Bruit continu », énoncé qui se relie par la suite à « Changements comportementaux » [14]. À de courtes distances, ces bruits continus peuvent aussi causer des blessures physiques ou un stress aux poissons ou mammifères marins, ce qui justifie l'établissement d'un lien entre « Bruit continu » et « Blessures physiques et/ou stress subis par les poissons » [15]. L'énoncé modifié « Bruit d'impulsion » [12] pourrait aussi constituer un énoncé complémentaire du nœud « Libération d'énergie sonore (bruit) dans l'eau » [16], et pourrait par la suite suivre les mêmes séquences que celles de « Bruit continu » tel que le présentait l'ébauche du diagramme d'origine.

Les effets du bruit sur le comportement s'appliquent à une grande variété de contextes, dont la migration des poissons, peu importe si un passage de poissons entre en jeu, la navigation dans des contextes de déplacements ne correspondant pas à la définition traditionnelle d'une migration, ainsi que d'autres processus liés à la capacité physique, comme l'alimentation, l'évitement des prédateurs ou le développement des larves (Popper et Hastings 2009; Slabbekoorn *et al.* 2010; Stanley *et al.* 2012; Popper et Hawkins 2019; Di Franco *et al.* 2020; Popper *et al.* 2020). Cette séquence pourrait donc être modifiée afin d'inclure un lien direct entre « Changements comportementaux » et « Effets sublétaux et/ou mort » [17]. En outre, le bruit anthropique peut aussi infliger des blessures physiques et des réactions de stress physiologique chez les poissons et les mammifères marins (McCauley *et al.* 2003; Nowacek

et al. 2007; Popper et Hastings 2009; Slabbekoorn *et al.* 2010; De Soto *et al.* 2013; Sierra-Flores *et al.* 2015). Par exemple, même l'exposition au bruit produit par une embarcation à moteur peut avoir des effets physiologiques qui se traduiront par des effets sublétaux et par la mort des poissons (Simpson *et al.* 2016; Fakan et McCormick 2019).

Il existe certaines indications sur les normes internationales en matière de pollution sonore dans les océans (McCarthy 2007) ainsi que sur l'atténuation des effets des activités de levés sismiques au Canada, notamment une zone d'impact de 500 mètres autour de la source du bruit (DFO 2020b).

Introduction de bruit sous-marin -> Changements comportementaux -> Modification des communications entre les mammifères marins -> Modification des régimes de migration/accès à l'habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (III*)

Il existe une base solide de preuves montrant que le bruit sous-marin influe sur la communication des mammifères marins (Nowacek *et al.* 2007; Parks *et al.* 2016; Fournet *et al.* 2018), laquelle est importante pour la coordination des mouvements migratoires (Crane et Lashkari 1996; Nowacek *et al.* 2007). Il est aussi établi que le bruit modifie les habitudes de déplacement durant la migration (Nowacek *et al.* 2007; Weilgart 2007). Des éléments probants montrent également que le bruit peut entraver la réception des clics d'écholocation produits par les marsouins et d'autres odontocètes durant la recherche de nourriture (Gervaise *et al.* 2012; Clausen *et al.* 2018). Une solide base théorique appuie cette séquence, bien qu'il n'existe pas une multitude de données probantes venant étayer explicitement ce lien. Il y a une certaine incohérence terminologique à relier un nœud sur la communication des mammifères à des modifications de passages de poissons (et aux effets sublétaux sur les poissons et à la mort des poissons, ci-dessous). Surtout, le bruit sous-marin peut influencer sur les capacités de communication et de navigation d'une grande diversité d'animaux marins, dont les poissons et les invertébrés (Radford *et al.* 2014; de Soto 2016). Ainsi, nous pourrions modifier l'énoncé « Modification des communications entre les mammifères marins » pour qu'il présente une terminologie plus générique, comme « Perturbation de la communication et de la capacité de navigation » [18]. La perturbation de la communication se définit ici comme la réduction de la capacité des organismes aquatiques à échanger de l'information. Il est important de reconnaître un mécanisme clé de la modification/perturbation de la communication, qui se produit par l'intermédiaire d'un masquage sonore (voir DFO 2021), en particulier lorsqu'il s'agit de bruits continus ayant un impact prolongé (Clark *et al.* 2009). Par conséquent, nous pourrions ajouter « Masquage sonore » pour relier « Bruit continu » à « Modification des communications » [19]. Le même effet se produit aussi avec des bruits d'impulsions pendant la période relativement plus courte où le son est produit; ainsi, « Bruit d'impulsion » pourrait également être relié à « Masquage sonore » [20]. Globalement, il est essentiel de reconnaître que les bruits d'impulsions et continus peuvent présenter une série d'effets similaires, mais les bruits d'impulsions sont plus susceptibles de causer des lésions aiguës à de plus grandes distances de la source que les bruits continus, alors que les bruits continus sont plus susceptibles de perturber la communication et de causer un comportement d'exclusion d'habitats importants en raison de leur omniprésence dans les habitats aquatiques.

Introduction de bruit sous-marin -> Changements comportementaux -> Modification des communications entre les mammifères marins -> Effets sublétaux sur les poissons -> Mort du poisson (III*)

Tel qu'il est indiqué plus haut, cette séquence est bien étayée, mais les effets sublétaux sur les poissons vont au-delà des comportements et de la communication des mammifères, notamment le stress physiologique et les blessures, qui influent sur une diversité d'organismes. Les suggestions de changements à ce sujet sont indiquées plus haut.

Introduction de bruit sous-marin -> Modification ou perte de superficie mouillée (IV)

Comme dans le cas des changements de pression mentionnés plus haut, peu de preuves viennent étayer le fait que le bruit sous-marin cause une modification ou une perte de superficie mouillée. Cependant, pendant la période où se produit le bruit, l'accès à l'habitat peut être diminué pour les organismes aquatiques mobiles à cause de l'effet dissuasif ou de la perturbation de l'orientation (Montgomery *et al.* 2006). Par conséquent, nous pourrions retirer « Modification ou perte de superficie mouillée » [21].

3. Libération d'air comprimé

Les levés sismiques font habituellement appel à des canons à air, qui libèrent de l'air comprimé pour produire des ondes acoustiques (DFO 2020b). Ce composant courant du bruit sous-marin a fait l'objet de nombreuses études (Dalen et Knutsen 1987; Gordon *et al.* 2003; Løkkeborg *et al.* 2012; Carroll *et al.* 2017; DFO 2020b); le Canada a élaboré des lignes directrices à ce sujet (DFO 2020b), qui sont en cours d'examen à l'heure actuelle. Étant donné qu'il s'agit d'un composant majeur du bruit sous-marin, les effets du bruit produit par les canons à air et l'exhaustivité de ces séquences sont abordés plus haut en lien avec la séquence de pression « Introduction de bruit sous-marin ». Puisqu'il s'agit d'une des multiples sources de bruit anthropique, il n'est peut-être pas nécessaire d'ajouter cette pression en particulier à la pression générale « Introduction de bruit sous-marin » [22].

Autres considérations

Les câbles d'alimentation sous-marins sont habituellement installés sur le fond des écosystèmes aquatiques pour acheminer de l'électricité destinée aux humains, et le nombre de câbles est susceptible d'augmenter du fait de l'accroissement du nombre de projets extracôtiers d'énergie éolienne (Tricas et Gill 2011; Causon et Gill 2018; Taormina *et al.* 2018). L'installation et l'enlèvement de ces câbles peuvent entraîner des effets abordés dans la catégorie « Mise en place et enlèvement de matériaux », comme présenté dans le diagramme ci-dessous pour les OEAs en milieu aquatique. Les câbles peuvent être installés au-dessus du substrat ou sur ce dernier, ou encore y être enfouis (Causon et Gill 2018; Taormina *et al.* 2018), ce qui influencerait sur les effets physiques qu'ils exercent sur l'habitat des poissons. Parmi les autres effets potentiels des câbles d'alimentation, mentionnons l'émission de chaleur, de produits chimiques toxiques comme le chlore et le bromure (par électrolyse) et de champs électromagnétiques (Taormina *et al.* 2018). La chaleur et les produits chimiques toxiques ont généralement des effets sur une zone localisée autour des câbles, selon les types de câbles et les conditions d'installation, et peuvent être en grande partie atténués par des mesures précises, comme la conception et l'isolation des câbles (Tricas et Gill 2011; Taormina *et al.* 2018). Il faut prendre ces éléments en compte lors de la gestion des projets d'installation de câbles électriques, et les effets sont couverts dans les séquences existantes présentant des liens dans le diagramme pour les OEAs en milieu aquatique entre « Mise en place de matériaux » et « Diminution de la qualité de l'eau » ainsi que « Changement de la température de l'eau » (voir ci-après).

Les effets des champs électromagnétiques émis par les câbles d'alimentation sur les organismes aquatiques sont particulièrement préoccupants (DFO 2014). Ces câbles produisent habituellement des champs électromagnétiques à proximité, ce qui inclut des champs magnétiques et, dans l'eau salée, des champs électriques induits. Les zones touchées varient de 5 à 20 mètres autour des câbles, selon la tension dans les câbles, le type de courant (continu ou alternatif) et le style d'installation (p. ex. sur le fond marin ou sous terre, câbles isolés ou non). Dans une synthèse, Tricas et Gill (2011) ont fait état de ces plages; ils ont indiqué des champs magnétiques de crête de 160 μT et des champs électriques induits de crête de $7,65\text{E}^{-04}$. Tricas et Gill (2011) ont aussi présenté une synthèse des organismes aquatiques

pouvant être touchés par ces courants de par leur capacité à percevoir les champs magnétiques et/ou électriques à des fins de navigation et/ou de recherche de nourriture; cela inclut divers poissons, requins, tortues, mammifères marins et invertébrés. Nous trouvons très préoccupant le fait que les champs électromagnétiques peuvent causer la désorientation, l'attraction ou l'éloignement des espèces sensibles, ce qui influera sur le succès de l'alimentation ou de la migration (Westerberg et Lagenfelt 2008; Gill et Bartlett 2010; Tricas et Gill 2011; Hutchison *et al.* 2020) ou encore, si les organismes passent beaucoup de temps près des câbles, cela pourrait nuire directement à leur santé (Öhman *et al.* 2007). Malgré les exemples susmentionnés (et les références associées), il manque généralement de preuves solides provenant d'études exhaustives et rigoureuses pour appuyer la prévalence ou le degré de ces impacts dans les écosystèmes naturels. Les effets des champs électromagnétiques sont limités à des zones relativement petites (moins de 20 mètres) entourant les câbles d'alimentation, et il y a vraisemblablement des situations où ces impacts peuvent être plus fréquents, dans le cas des espèces benthiques par exemple, ou si les câbles sont installés dans une zone restreinte le long d'une voie migratoire servant à une espèce sensible aux champs électromagnétiques (p. ex. l'anguille; *Anguilla rostrata*). Beaucoup d'autres recherches doivent être réalisées pour comprendre la prévalence et le degré des effets et les facteurs écologiques qui les déterminent. Cependant, les éléments probants sont suffisants pour inclure les champs électromagnétiques dans ce diagramme, où les liens suivants seraient établis : OEA -> « Production de champs électromagnétiques » -> « Modification des régimes de migration/accès à l'habitat » -> « Effets sublétaux et/ou mort » [23]. Les champs électromagnétiques peuvent aussi avoir des effets directs sur la santé des poissons; l'énoncé « Production de champs électromagnétiques » pourrait donc être aussi directement relié à « Effets sublétaux et/ou mort ».

Survol des modifications potentielles au diagramme de SE pour les OEAs produisant du bruit et de l'énergie

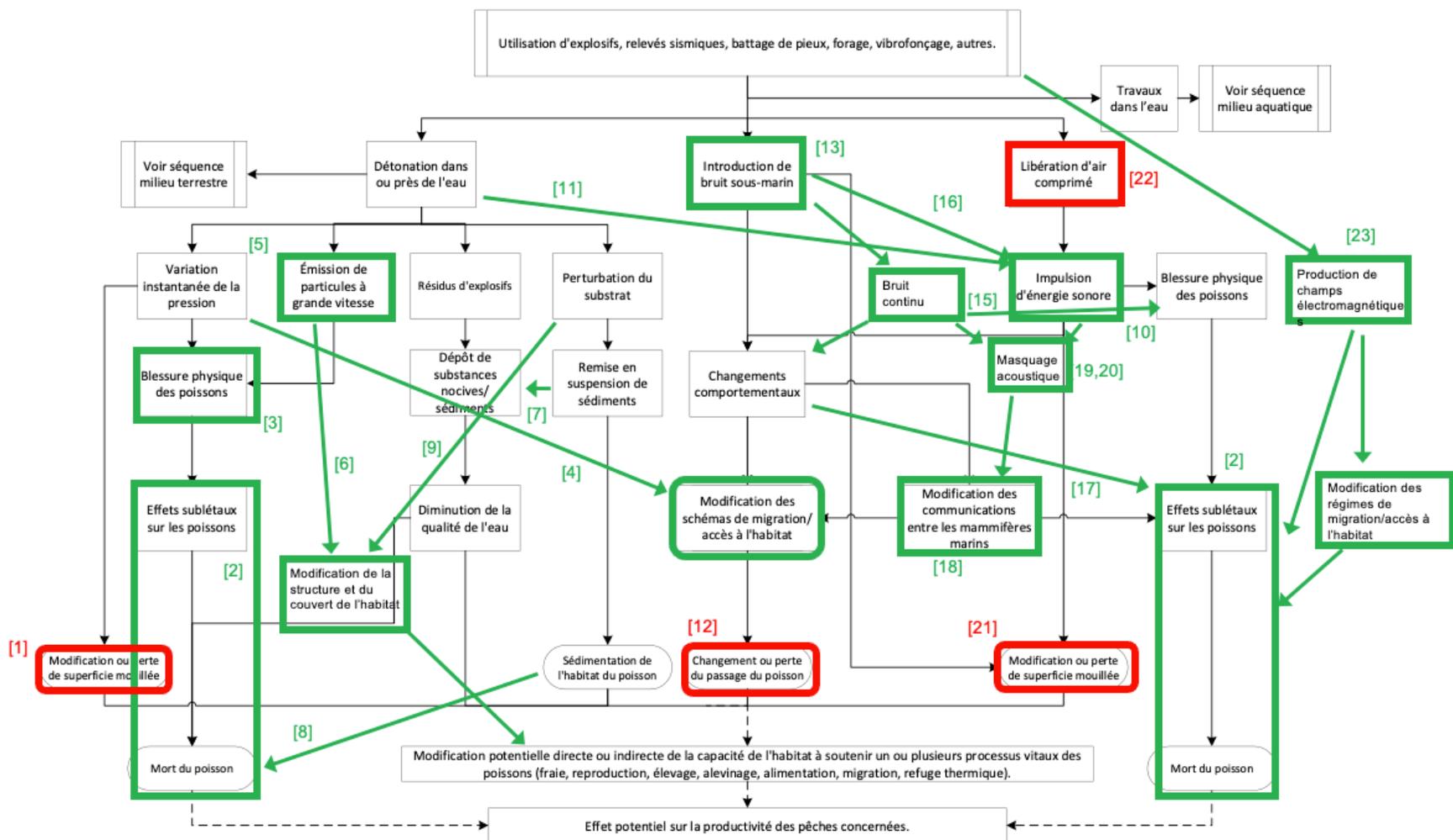


Figure 5 : Survol des modifications potentielles à l'ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets pour les OEAs produisant du bruit et de l'énergie. Les lignes additionnelles indiquent des liens qui peuvent être ajoutés (lignes vertes) ou enlevés (lignes rouges); les encadrés additionnels indiquent des modifications ou des ajouts à des pressions ou des paramètres ultimes.

DIAGRAMME – OEA EN MILIEU AQUATIQUE

Le diagramme de SE proposé pour les OEAs en milieu aquatique (**figure 6**) porte entre autres sur le dragage, la gestion des résidus de dragage, la mise en place de matériaux/structures dans l'eau, l'enlèvement de végétation aquatique, l'enlèvement de structures, l'excavation de chenaux, l'utilisation d'équipement manuel et industriel dans l'eau, l'enlèvement de débris organiques, la récupération de grumes, l'entretien des ponceaux, le franchissement de cours d'eau et la maintenance d'équipement industriel (lavage, ravitaillement, entretien, entreposage).

Nous proposons que ces OEA s'appliquent aux pressions ou sous-activités suivantes :

1. Utilisation de machinerie dans l'eau
2. Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures
3. Mise en place de matériaux/structures dans l'eau
4. Enlèvement de végétation aquatique
5. Étouffement du lit/plancher océanique

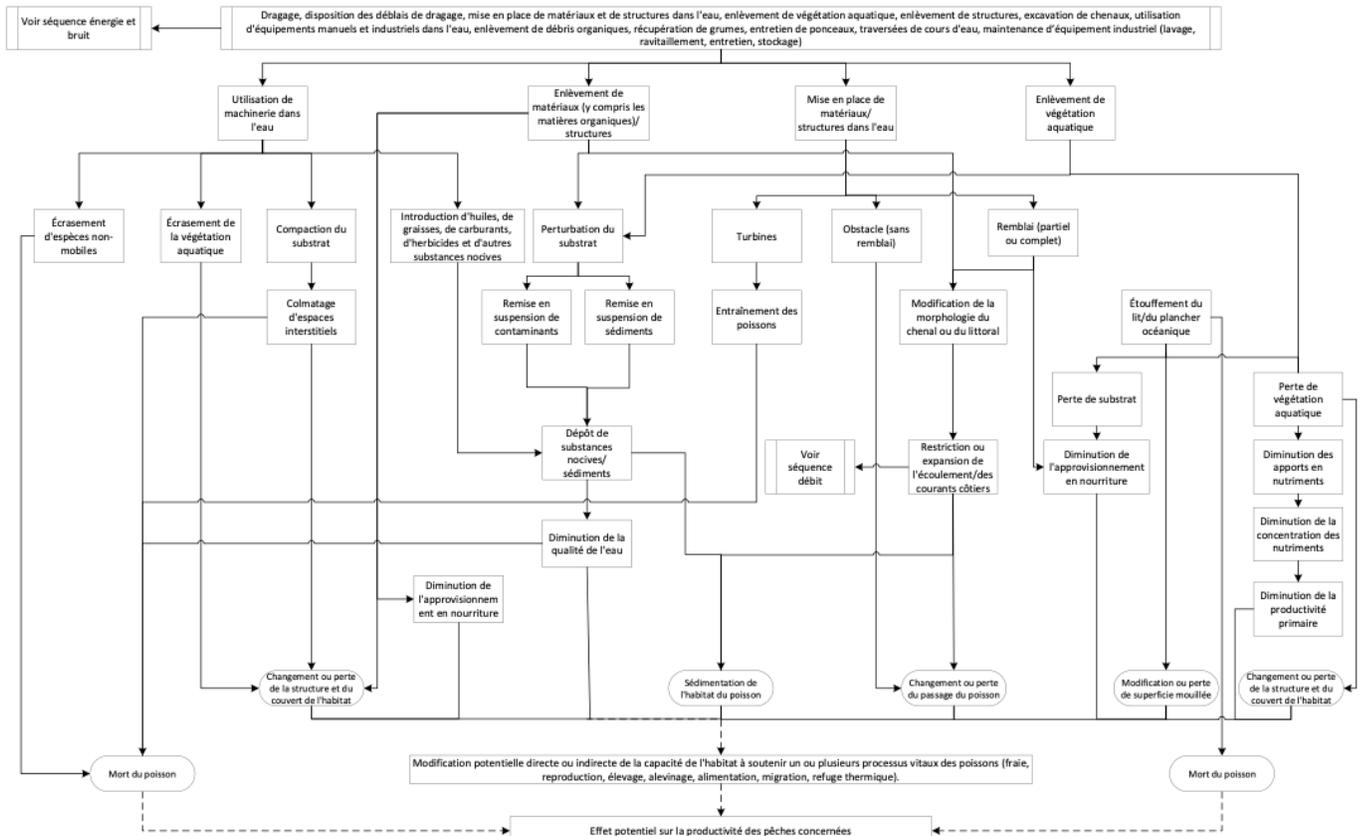


Figure 6 : Ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets pour les OEAs en milieu aquatique

1. Utilisation de machinerie dans l'eau

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Écrasement d'espèces non mobiles -> Mort du poisson (III*)

Il est établi que l'utilisation de machinerie lourde comme des dragues hydrauliques dans l'eau entraîne l'écrasement d'espèces non mobiles, ce qui cause leur mort (Mercaldo-Allen et Goldberg 2011). Malgré le lien logique, peu d'études empiriques ont été faites sur les effets de l'utilisation de machinerie dans l'eau (Courtice et Naser 2020). En général, les espèces peu mobiles sont plus vulnérables aux effets localisés sur l'habitat en raison de leur incapacité à fuir des conditions dangereuses comme des changements brusques de température (Szekeres *et al.* 2016). Pour éviter d'être écrasés par l'équipement, les poissons et autres organismes doivent avoir la capacité de détecter la menace et d'y échapper de façon efficace, et démontrer une réponse locomotive qui sous-entend des capacités sensorielles, cognitives et locomotrices (Nathan *et al.* 2008). Bien qu'il n'y ait aucune preuve directe de cela relativement à l'utilisation de machinerie dans l'eau, les espèces peu mobiles sont vraisemblablement plus vulnérables à cet effet de façon générale. Cela pourrait comprendre les espèces ne pouvant pas éviter d'être écrasées pour toutes sortes de raisons. Par exemple, les espèces comme celles faisant partie des familles *Gobiidae* (gobies) et *Cottidae* (chabots) ont une tendance comportementale à se cacher dans les espaces interstitiels, ce qui pourrait accentuer leur vulnérabilité à la mortalité par écrasement. Bien qu'il y ait un manque général d'éléments probants à ce sujet, il serait logique de remplacer « Espèces non mobiles » par « Espèces et stades de vie moins mobiles » [1]. Pour connaître la définition de « mobile », se référer au MPO (DFO, 2021).

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Écrasement de la végétation aquatique -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (II*)

L'utilisation de machinerie lourde dans l'eau comporte logiquement la possibilité que la végétation aquatique enracinée dans le substrat soit écrasée (Mercaldo-Allen et Goldberg 2011). La végétation aquatique joue un rôle essentiel dans la fourniture d'une structure et d'un couvert d'habitat pour une grande variété d'espèces de poissons de tous les stades de vie (Rozas et Odum 1988; Bettoli *et al.* 1993; Smokorowski et Pratt 2007). Globalement, l'utilisation de machinerie dans l'eau est fortement susceptible de perturber des sédiments (Barton 1977; Tiemann 2004; Mercaldo-Allen et Goldberg 2011), ce qui justifie l'établissement d'un lien entre « Utilisation de machinerie dans l'eau » et « Perturbation du substrat » [2]. De façon analogue à la séquence d'effets du bruit, l'utilisation de machinerie peut faire en sorte que les poissons modifient leur comportement pour éviter la zone (Mueller-Blenkle *et al.* 2010); par conséquent, un lien pourrait être ajouté ici entre « Utilisation de machinerie dans l'eau » et « voir diagramme de séquence des effets pour les OEAs produisant du bruit et de l'énergie » [3]. Voilà qui ajoute un lien plus direct vers cet effet, ce qui pourrait nous amener à retirer le lien au niveau supérieur [4].

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Compaction du substrat -> Colmatage d'espaces interstitiels -> Mort du poisson (III)

Il est établi que l'utilisation de machinerie lourde dans l'eau mène à la compaction du substrat, ce qui réduit les espaces interstitiels, et ces changements sont liés à des modifications de l'abondance et de la structure communautaire des poissons et des invertébrés (Barton 1977; Tiemann 2004; Mercaldo-Allen et Goldberg 2011). Cependant, le mécanisme exact n'est pas établi avec certitude, puisque l'utilisation de machinerie dans l'eau entraîne divers effets simultanés dont la perturbation du substrat, laquelle cause la sédimentation de l'habitat des poissons et qui influe aussi sur les espaces interstitiels. Logiquement, tous les organismes se trouvant dans les espaces interstitiels lors de la compaction du substrat sont susceptibles d'être tués. Encore une fois, peu d'études abordent directement le sujet (Courtice et Naser 2020).

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Compaction du substrat -> Colmatage d'espaces interstitiels -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I*)

Logiquement, l'utilisation de machinerie lourde dans l'eau a la capacité de compacter le substrat, ce qui réduit les espaces interstitiels (Mercaldo-Allen et Goldberg 2011). Ces espaces sont une composante importante de l'habitat des poissons, car ils leur offrent un abri contre les prédateurs et les courants d'eau ainsi qu'une source de nourriture (Kovalenko *et al.* 2012; Barriga *et al.* 2013; Gregor et Anderson 2016). Par conséquent, nous pourrions ajouter un lien entre « Colmatage d'espaces interstitiels » et « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » [5].

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, d'herbicides et d'autres substances nocives -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Diminution de la qualité de l'eau (I*)

Au Canada, la protection des ressources d'eau douce exige que les promoteurs exécutant des travaux dans l'eau s'assurent que l'équipement et la machinerie sont en bon état de fonctionnement, qu'ils ne présentent pas de fuites ni de quantité excessive d'huile ou de graisse, et que leur entretien/ravitaillement est fait à une certaine distance des plans ou cours d'eau (p. ex. à plus de 30 mètres; *Water Act* [1996] de la Colombie-Britannique). Malgré cette réglementation, de la graisse, de l'huile, du carburant ou d'autres substances nocives peuvent s'échapper de la machinerie (Nowak *et al.* 2019). En général, les substances nocives dégradent la qualité de l'eau, ce qui cause la réduction de la capacité de production, des effets sublétaux sur les poissons et la mort des poissons (Khan *et al.* 2007; Malk *et al.* 2014; Gorcharoenwat *et al.* 2015; Jurcak *et al.* 2015). Par contre, il est peu probable que l'utilisation de machinerie cause l'introduction d'herbicides dans l'eau; cela pourrait donc être enlevé de ce nœud de pression [6]. La qualité de l'eau est aussi directement reliée à l'approvisionnement en nourriture des poissons; un lien pourrait donc être ajouté entre « Diminution de la qualité de l'eau » et « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » [7]. La façon dont la qualité de l'eau est définie et la manière dont celle-ci influe sur les poissons peuvent varier selon l'écosystème et l'espèce de poisson (Meador et Goldstein 2003; Seilheimer *et al.* 2007; Budy *et al.* 2011).

Utilisation de machinerie dans l'eau -> Introduction d'huiles, de graisses, de carburants, d'herbicides et d'autres substances nocives -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I)

Plusieurs contaminants se déposent dans les sédiments et, ainsi, pourraient être considérés comme partie intégrante de la sédimentation de l'habitat des poissons (Wang *et al.* 2004; Robertson *et al.* 2006; Taylor et Owens 2009).

Autres considérations

Comme il en a été discuté dans les **CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES** plus haut, ces séquences de pression peuvent influencer la disponibilité alimentaire d'une multitude de façons. Par exemple, les deux énoncés « Enlèvement de végétation aquatique » et « Écrasement d'espèces peu mobiles » ont des liens fonctionnels avec l'approvisionnement alimentaire. Nous ne suggérons pas d'apporter ces changements pour maintenir la simplicité et la malléabilité du diagramme, mais ils pourraient être envisagés.

2. Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I)

Une séquence de pression logique et bien étayée relie l'enlèvement de matériaux ou de structures de l'eau ainsi que la modification ou la perte de la structure d'habitat (Smokorowski et Pratt 2007). Les changements structurels associés aux activités telles que le dragage ont été directement liés à des modifications du caractère propice de l'habitat des poissons (Harvey

1986; Harvey et Lisle 1998). En général, la complexité structurelle est une composante importante de la productivité des écosystèmes et de la complexité des communautés biologiques (Smokorowski et Pratt 2007; Kovalenko *et al.* 2012).

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de contaminants -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Diminution de la qualité de l'eau (I)

L'enlèvement de structures et d'autres matériaux des cours d'eau peut beaucoup perturber le substrat, ce qui peut causer la remise en suspension et le dépôt de sédiments et de tout contaminant qui s'y trouve (Robertson *et al.* 2006; Taylor et Owens 2009; Chapman *et al.* 2014). Par exemple, on procède souvent à l'enlèvement de barrages pour restaurer la connectivité écosystémique, ce qui offre de nombreux avantages à long terme (Catalano *et al.* 2007); or, lors du processus d'enlèvement, la sédimentation peut être importante (Magirl *et al.* 2015) et avoir des effets négatifs aigus sur la communauté aquatique en aval (Doeg et Koehn 1994; Anderson *et al.* 1998). La remise en suspension de contaminants peut être causée par l'enlèvement de matériaux durant diverses activités en milieu aquatique (Bednarek 2001; Suedel *et al.* 2008; Wenger *et al.* 2017). Par exemple, selon la nature de l'opération de dragage, les taux de remise en suspension de contaminants varient de 0,1 à 5 % (Bridges *et al.* 2008 et les références qui s'y trouvent), et ces sédiments influent sur la qualité de l'habitat des poissons (Wilber et Clarke 2001; Erftemeijer et Robin Lewis 2006; Cabaço *et al.* 2008).

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de contaminants -> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I)

Comme il en a été question plus haut, cette séquence des effets est bien étayée. Les contaminants s'étant déposés dans les sédiments sont perturbés et remis en suspension et finissent par se déposer sur le substrat à d'autres endroits, ce qui entraîne les effets négatifs de la sédimentation de l'habitat des poissons (Robertson *et al.* 2006; Taylor et Owens 2009; Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014).

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de sédiments-> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Diminution de la qualité de l'eau (I)

Il est bien établi que la qualité de l'eau baisse lorsqu'on retire des matériaux de l'eau (Reid *et al.* 2002, 2003, 2004).

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de sédiments-> Dépôt de substances nocives/sédiments -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I)

Comme il en a été question ci-dessus, cette séquence des effets est bien étayée (Robertson *et al.* 2006; Taylor et Owens 2009; Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014).

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Modification de la morphologie du chenal ou du littoral -> Restriction ou expansion de l'écoulement/des courants côtiers -> Changement ou perte du passage du poisson (II*)

Il a été démontré que l'enlèvement de matériaux des systèmes lotiques (ruisseaux et rivières) causait une réduction de la superficie mouillée globale, provoquait un rétrécissement de la morphologie des chenaux et entraînait une hausse des débits d'eau (Smokorowski et Pratt 2007 et les références qui s'y trouvent). Par conséquent, nous pourrions établir un lien direct entre « Restriction ou expansion de l'écoulement/des courants côtiers » et « Modification ou perte de superficie mouillée » [8]. Ces changements ont été abondamment reliés à des

modifications dans la production et la communauté des poissons, bien que non explicitement à une perte de passage de poissons, mais plutôt aux changements associés à la quantité et à la qualité de l'habitat (Smokorowski et Pratt 2007 et les références qui s'y trouvent). Et pourtant, on enlève souvent des obstacles artificiels expressément pour améliorer le passage des poissons, ce qui se produit en effet dans de nombreux cas (Kemp et O'Hanley 2010). Notamment, les modifications du débit s'appliquent à toute une variété d'écosystèmes aquatiques, y compris les courants de marée dans les régions côtières. En outre, les modifications des structures ou de la morphologie des écosystèmes peuvent aussi influencer sur les mécanismes d'affaiblissement et de réflexion des ondes, ce qui causerait d'autres dommages structurels, chimiques et biologiques au système.

Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures -> Modification de la morphologie du chenal ou du littoral -> Restriction ou expansion de l'écoulement/des courants côtiers -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I)

Il a été établi que les modifications de la morphologie des chenaux associées à l'enlèvement de structures de l'eau menaient à une érosion des sédiments et, donc, à une sédimentation dans l'habitat des poissons en aval (Reid et Anderson 1999; Randle *et al.* 2015). De plus, ces changements de l'habitat associés à la « Modification de la morphologie du chenal ou du littoral » sont également directement liés au « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat », ce qui pourrait justifier l'établissement d'un lien direct [9].

Autres considérations

L'enlèvement de structures comme les barrages et les déversoirs peut aussi entraîner l'échouement des poissons et des moules d'eau douce du côté amont de la structure enlevée (Sethi *et al.* 2004; Cooper 2011; Heise *et al.* 2013; Tiemann *et al.* 2018). Par conséquent, l'échouement pourrait être ajouté en tant que nœud de cette séquence de pression qui est lié à « Mort des poissons » [10]. En outre, il a été établi que les activités comme le dragage causaient l'entraînement des poissons (Griffith et Andrews 1981), ce qui justifie l'établissement d'un lien entre l'enlèvement de matériaux et l'entraînement [11]. L'enlèvement de structures peut aussi faciliter l'arrivée d'espèces envahissantes (Vitule *et al.* 2012; McLaughlin *et al.* 2013; Raabe et Hightower 2014). Par exemple, à la suite de l'enlèvement du barrage Oak Street au Wisconsin, l'alpiste roseau (*Phalaris arundinaceae*) a rapidement supplanté les végétaux indigènes dans les sédiments nouvellement exposés (Stanley et Doyle 2003). L'énoncé « Enlèvement de matériaux (y compris les matières organiques)/structures » pourrait être relié à « Voir séquence des espèces aquatiques envahissantes (à déterminer) » [12].

La perturbation, la remise en suspension et le dépôt de sédiments et d'autres contaminants ainsi que leurs effets sont couverts dans ce diagramme; cependant, certaines modifications pourraient améliorer la description de leurs relations mécanistes et déroulements logiques. Plus précisément, l'introduction ou la remise en suspension de contaminants entraîne généralement une diminution de la qualité de l'eau, puis un dépôt se produit par la suite dans les substrats. Par conséquent, nous pourrions remplacer cette séquence par : « Remise en suspension de contaminants » -> « Diminution de la qualité de l'eau » -> « Dépôt de substances nocives » -> « Contamination de l'habitat des poissons (nouveau nœud de pression) » -> « Modification potentielle directe ou indirecte... » [13]. De la même façon, les liens pourraient être remplacés par ce qui suit : « Remise en suspension de sédiments » -> « Diminution de la qualité de l'eau » -> « Dépôt de substances nocives » -> « Contamination de l'habitat des poissons (nouveau nœud de pression) » -> « Modification potentielle directe ou indirecte... » [14]. Nous pourrions alors ajouter un lien direct ici : « Remise en suspension de sédiments » -> « Sédimentation de l'habitat des poissons » [15]. Enfin, « Introduction d'huiles, de graisses, de carburants et d'autres substances nocives » -> « Diminution de la qualité de l'eau » -> « Dépôt de substances

nocives » -> « Contamination de l'habitat des poissons (nouveau nœud de pression) -> « Modification potentielle directe ou indirecte... » [16].

3. Mise en place de matériaux/structures dans l'eau

Mise en place de matériaux/structures dans l'eau -> Turbines -> Entraînement des poissons -> Mort du poisson (I*)

Un nombre important de documents appuient le fait que les turbines des installations hydroélectriques causent l'entraînement des poissons, ce qui se traduit souvent par un stress, des blessures ou la mort pour les poissons en raison de contacts avec les turbines ou les structures, ainsi que par des variations extrêmes et brusques de pression (examiné par Barnthouse 2013; Rytwinski *et al.* 2017; Algera *et al.* 2020). Les effets pouvant être sublétaux, nous pourrions remplacer ce paramètre ultime par « Effets sublétaux et/ou mort » afin de le rendre plus exhaustif [17]. Un grand nombre de recherches, de synthèses et d'examens ont été consacrés à la caractérisation des causes et des stratégies d'atténuation relatives à l'entraînement des poissons provoqué par les installations hydroélectriques, ce qui inclut la gestion du débit des barrages, les modifications de la conception des turbines, les dispositifs de dissuasion et de déviation, les structures de dérivation et les dispositifs d'attraction. Les taux de mortalité associés aux installations hydroélectriques dépendent de facteurs complexes liés aux caractéristiques de l'écosystème et de l'installation, aux caractéristiques des poissons et aux stratégies d'atténuation.

Mise en place de matériaux/structures dans l'eau -> Obstacle (sans remblai) -> Changement ou perte du passage du poisson (I)

Une grande variété de structures, couramment installées dans l'eau, font obstacle au passage des poissons, ce qui comprend les barrages, les ponceaux, les murets de rétention, les digues, les écluses et les déversoirs (Warren et Pardew 1998; O'Hanley et Tomberlin 2005; Kemp et O'Hanley 2010). La construction de ces structures en milieu aquatique comporte souvent l'utilisation de remblai (pierres, sable et/ou sol), mais pas de façon exclusive. Notamment, des structures peuvent former des barrières partielles ou complètes au passage des poissons en amont même si le cours d'eau n'est pas complètement obstrué; cela est souvent le cas des ponceaux (Kahler et Quinn 1998; Peake 2008; Briggs et Galarowicz 2013). Même les structures conçues spécialement pour permettre le passage des poissons autour de barrières construites par les humains peuvent ne pas être efficaces, et demeurent des obstructions à tout le moins partielles au passage des poissons (Bunt *et al.* 2012). La mesure dans laquelle une structure constitue un obstacle au passage des poissons dépend des interactions avec le débit d'eau, de la géomorphologie, des réactions comportementales des poissons et des caractéristiques physiologiques (Bunt *et al.* 2012; Jones et Hale 2020).

Mise en place de matériaux/structures dans l'eau -> Remblai (partiel ou complet) -> Modification de la morphologie du chenal ou du littoral -> Restriction ou expansion de l'écoulement/des courants côtiers -> Changement ou perte du passage du poisson (I)

Comme nous l'avons vu plus haut, cette séquence est bien étayée. En ce qui concerne précisément le remblayage, le degré selon lequel le cours d'eau est obstrué et selon lequel le régime hydrologique/de débit est modifié influence vraisemblablement la réussite du passage des poissons (Bunt *et al.* 2012).

Mise en place de matériaux/structures dans l'eau -> Remblai (partiel ou complet) -> Diminution de l'approvisionnement en nourriture (I)

Le remblayage associé à des activités comme la construction de routes ou le renforcement du littoral nécessite souvent d'installer des matériaux tels que de la pierre concassée dans l'eau et

de remplacer les substrats naturels, ce qui entraîne une diminution de la productivité et de la disponibilité de nourriture pour les poissons (Tsui et McCart 1981; Armitage et Gunn 1996; Munsch *et al.* 2017; Dugan *et al.* 2018; Macura *et al.* 2019; Chhor *et al.* 2020). Ces effets ont été abondamment caractérisés dans de nombreuses études et un examen systématique (Macura *et al.* 2019); ils comprennent les modifications physiques de l'habitat et les modifications de l'énergie hydrodynamique et du débit d'eau, ce qui entraîne des conséquences sur les conditions de l'habitat.

Mise en place de matériaux/structures dans l'eau -> Remblai (partiel ou complet) -> Modification de la morphologie du chenal ou du littoral -> Restriction ou expansion de l'écoulement/des courants côtiers -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I*)

Le remblayage provoque souvent des changements directs de la stabilité et de la morphologie des chenaux des cours d'eau (Reid et Anderson 1999), ce qui entraîne la sédimentation de l'habitat des poissons (Reid *et al.* 2002, 2003, 2004). En outre, ce processus pourrait aussi nuire directement à la qualité de l'eau selon le matériau utilisé (p. ex. du béton), énoncé vers lequel un lien pourrait être ajouté [18].

Autres considérations

L'installation d'une grande variété de matériaux peut entraîner la sédimentation de l'habitat des poissons par le biais de mécanismes qui vont au-delà des modifications aux régimes d'écoulement (Chessman *et al.* 1987; Anderson *et al.* 1998); l'établissement d'un lien de haut niveau entre « Mise en place de matériaux » et « Sédimentation de l'habitat des poissons » pourrait donc être justifié [19]. De façon analogue, l'échouement des poissons peut aussi survenir en raison de changements à la superficie mouillée ou à la morphologie et au débit du chenal, ou encore en aval des barrages qui procèdent à des lâchés d'eau liés à la demande de pointe (Clarke *et al.* 2008). Ce processus est couvert dans la séquence des débits; nous pourrions donc ajouter un lien entre « Mise en place de matériaux/structures dans l'eau » et « Voir séquence débits » [20].

4. Enlèvement de végétation aquatique

Enlèvement de végétation aquatique -> Perturbation du substrat (II)

L'extension des séquences au-delà de « Perturbation du substrat » a déjà été abordée plus haut relativement aux séquences de pressions « Enlèvement de matériaux » et « Mise en place de matériaux »; par conséquent, nous ne traiterons pas du sujet plus en profondeur ici. Les macrophytes aquatiques (végétation) principalement, mais non exclusivement, s'enracinent dans des substrats, en particulier des substrats fins comme la boue, l'argile et le sable, desquels on peut extraire des éléments nutritifs essentiels (Barko *et al.* 1986). La végétation joue un rôle essentiel dans la stabilisation des sédiments (Wang *et al.* 2015) et, donc, logiquement, l'enlèvement de la végétation dont ses systèmes racinaires perturberait les sédiments ou les exposerait à une remise en suspension ultérieure. Cependant, peu de documents scientifiques abordent spécifiquement ce sujet. En effet, bien que l'enlèvement de la végétation riveraine ait été abondamment examiné, l'enlèvement de végétation aquatique n'a pas été inclus dans des examens récents des causes et conséquences de la sédimentation sur les poissons et leur habitat (Robertson *et al.* 2006; Chapman *et al.* 2014). Pourtant, la réglementation reconnaît le potentiel de perturbation des sédiments – en général, les approches juridiques relatives à l'enlèvement de végétation aquatique visent à ne pas perturber les racines des plantes et les sédiments (Hicks et Sager 2009). Par exemple, en Ontario, les propriétaires fonciers peuvent retirer la végétation aquatique de certaines parties du littoral avec des moyens mécaniques ou chimiques qui visent en général la structure végétative des plantes qui se trouve

au-dessus du sol (Hicks et Sager 2009). Ainsi, l'enlèvement de la végétation peut mener à la perturbation du substrat, mais plusieurs approches permettent d'éviter de le perturber.

Enlèvement de végétation aquatique -> Perte de végétation aquatique -> Diminution de l'apport en nutriments -> Diminution de la concentration des nutriments -> Diminution de la productivité primaire (I*)

La végétation aquatique constitue une partie importante de la productivité primaire et forme un habitat structurel pour les poissons pouvant servir à une multitude de fins, dont la recherche de nourriture, le recours à un abri ou le frai (Rozas et Odum 1988; Smokorowski et Pratt 2007 et les références qui s'y trouvent). Il a ainsi été établi que l'enlèvement ou la perte de végétation aquatique avait des effets directs sur les communautés de poissons et la productivité (Bettoli *et al.* 1993; Midwood et Chow-Fraser 2012). La végétation aquatique façonne aussi d'autres aspects de l'habitat aquatique par le biais de la stabilisation des sédiments, de la modification des régimes d'écoulement de l'eau et de la chimie de l'eau (Wang *et al.* 2015). Le lecteur trouvera une discussion et un examen approfondis de ce sujet dans Smokorowski et Pratt (2007). Nous pourrions donc ajouter un lien entre « Enlèvement de végétation aquatique » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat » [21]. Cette séquence est exacte et complète. Par contre, certains détails inclus dans ces nœuds vont au-delà de ce qui est normalement compris dans d'autres composants de ces diagrammes, et plusieurs nœuds intermédiaires pourraient être enlevés pour que soient directement reliés « Enlèvement de végétation aquatique » et « Diminution de la productivité primaire » [22,22]. Comme on l'a vu ci-dessus, la végétation aquatique joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en nourriture de nombreux poissons; un lien pourrait donc être ajouté entre « Enlèvement de végétation aquatique » et « Diminution de l'approvisionnement en nourriture » [23]. L'enlèvement de végétation aquatique favorisant l'apparition d'espèces envahissantes (Valley *et al.* 2004; Hicks et Sager 2009), un lien pourrait être ajouté entre « Enlèvement de végétation aquatique » et « Voir séquence des espèces aquatiques envahissantes (à déterminer) » [24].

5. Étouffement du lit/plancher océanique

Considérations initiales

À l'heure actuelle, « Étouffement du lit/plancher océanique » est inclus au début d'une séquence de pression indépendante. Pourtant, il survient surtout en raison de la mise en place de matériaux/structures dans l'eau; nous pourrions donc l'inclure en tant que composant de cette séquence de pression, dans laquelle « Mise en place de matériaux/structures dans l'eau » est placée au-dessus d'« Étouffement du lit/plancher océanique » et en lien avec cet énoncé [25]. Cela permettrait d'établir un lien important entre « Sédimentation de l'habitat des poissons » et « Mort des poissons », un lien inexistant en ce moment.

Étouffement du lit/plancher océanique -> Mort des poissons (I)

L'étouffement du lit/plancher océanique peut causer la mort des poissons, ce qui est particulièrement bien étayé dans le cas de la sédimentation de l'habitat des poissons, qui peut étouffer les œufs ou les larves et entraîner leur mortalité (examiné par Kemp *et al.* 2011; Chapman *et al.* 2014). Cependant, l'étouffement est considéré comme inhérent au processus de sédimentation. Dans le présent document, nous avons envisagé de placer l'étouffement dans la définition de l'installation de matériaux physiques dans les habitats aquatiques couvrant le fond marin. L'installation d'autres matériaux comme les murets de ciment ou de pierre pour le renforcement du littoral ou la construction de barrages suppose l'installation de matériaux par-dessus des substrats naturels qui étoufferaient naturellement les organismes qui y sont contenus (Munsch *et al.* 2017). Cela pourrait inclure des invertébrés et des poissons peu mobiles, comme il en a été question dans « Utilisation de machinerie dans l'eau » plus haut.

Étouffement du lit/plancher océanique -> Modification ou perte de superficie mouillée (I)

Comme on l'a vu ci-dessus, l'étouffement du lit/plancher océanique est causé par l'installation de matériaux dans l'eau et est directement lié à « Modification ou perte de superficie mouillée ».

Étouffement du lit/plancher océanique -> Perte de substrat -> Modification ou perte de l'approvisionnement en nourriture (I)

Le remblayage associé aux activités telles que la construction de routes ou le renforcement du littoral suppose fréquemment l'installation de matériaux comme de la pierre concassée dans l'eau et le remplacement de substrats naturels, ce qui entraîne une diminution de la productivité et de la disponibilité de nourriture pour les poissons (Tsui et McCart 1981; Armitage et Gunn 1996; Macura *et al.* 2019; Chhor *et al.* 2020). Ces effets ont été caractérisés dans un examen systématique (Macura *et al.* 2019).

Survol des modifications potentielles au diagramme de SE pour les OEAs en milieu aquatique

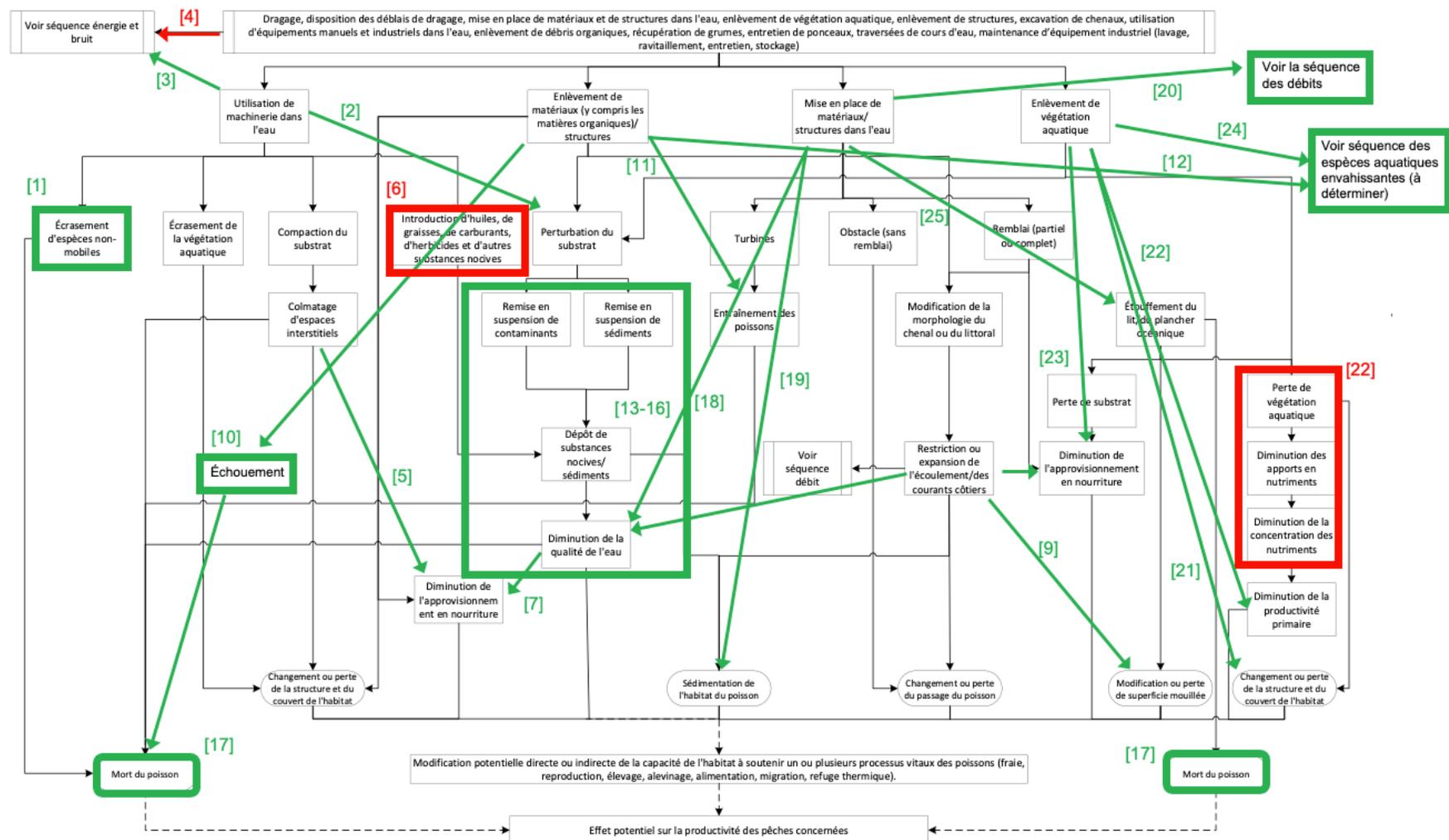


Figure 7 : Survol des modifications potentielles à l'ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets pour les OEAs en milieu aquatique. Les lignes additionnelles indiquent des liens qui peuvent être ajoutés (vertes) ou enlevés (rouges); les encadrés additionnels indiquent des modifications ou des ajouts à des pressions ou des paramètres ultimes.

DIAGRAMME – DÉBITS

Le diagramme de SE proposé pour les OEA qui modifient le débit de l'eau (**figure 8**) porte entre autres sur la gestion de l'eau, les barrages hydroélectriques, les batardeaux, le pompage, les canaux de dérivation, les canaux jaugeurs, les déversoirs, l'étranglement/élargissement de l'écoulement et des courants côtiers, l'extraction de l'eau et la gestion des eaux usées.

Nous proposons que ces OEA s'appliquent aux pressions ou sous-activités suivantes :

1. Détournement de l'eau
2. Dénoyage/pompage
3. Modification du niveau d'eau/débit de l'eau (changement de l'hydraulique), incluant les réservoirs
4. Introduction d'eaux usées

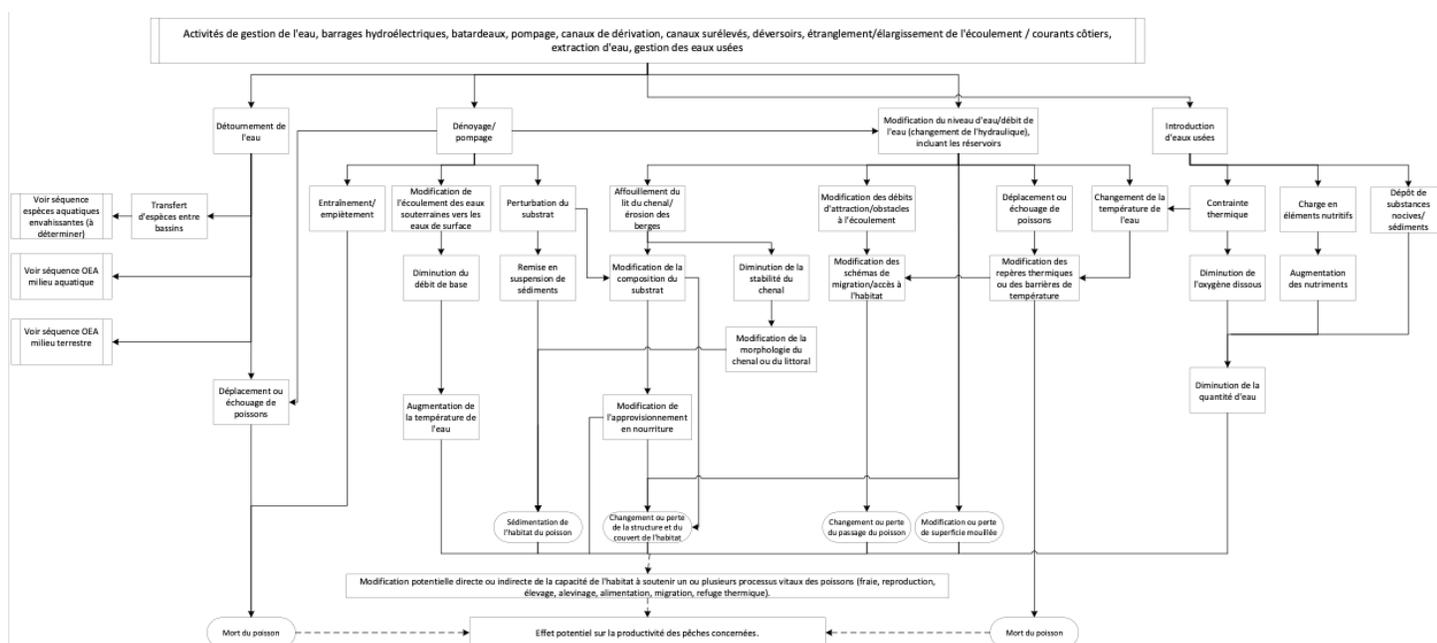


Figure 8 : Ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets pour les OEA qui modifient le débit de l'eau.

1. Détournement de l'eau

Détournement de l'eau -> Transfert d'espèces entre bassins (I*)

Le détournement de l'eau peut établir des liens entre des écosystèmes aquatiques auparavant disparates; il est établi que cela favorise l'envahissement par des espèces (Zhan *et al.* 2015; Qin *et al.* 2019). De plus, les dérivations entraînent souvent des modifications des conditions dans les systèmes touchés, ce qui permet à des espèces nouvelles ou envahissantes de s'établir dans de nouveaux écosystèmes (Stromberg *et al.* 2007). Cette séquence est solidement étayée, bien qu'elle englobe davantage que le simple transfert d'espèces, et nous pourrions la remplacer par « Augmentation du transfert d'espèces entre bassins/du risque d'invasions » [1] pour la rendre plus exhaustive. Dans le présent document, nous avons considéré le transfert d'espèces entre bassins comme le déplacement de poissons ou d'autres organismes (p. ex. des invertébrés, des plantes, des agents pathogènes...) entre des écosystèmes aquatiques qui ne sont pas naturellement reliés. Le concept pourrait aussi inclure

le déplacement d'espèces indigènes dans une région, mais non indigènes dans un écosystème donné.

Détournement de l'eau -> Déplacement ou échouage des poissons -> Mort du poisson (I*)

Il a été établi, dans de nombreux cas, que le détournement de l'eau entraînait le déplacement, l'échouage et la mort des poissons (Steele et Smokorowski 2000; Halleraker *et al.* 2003; Moyle et Israel 2005; Clarke *et al.* 2008; Nagrodski *et al.* 2012; Irvine *et al.* 2015). L'ampleur du déplacement ou de l'entraînement des poissons causé par le détournement de l'eau peut être atténuée à l'aide d'écrans de protection ou de dispositifs de dissuasion ou d'attraction, bien que leur efficacité varie (Moyle et Israel 2005; Lemasson *et al.* 2008; Nagrodski *et al.* 2012; Barnthouse 2013). Comme souvent dans les diagrammes de SE examinés ici, les poissons peuvent aussi subir des effets sublétaux en plus de la mortalité; ainsi, ce paramètre ultime pourrait être remplacé par « Effets sublétaux et/ou mort » [2].

Autres considérations

Il est établi que le processus d'extraction ou de déplacement de l'eau entre des cours d'eau ou des sections d'un même cours d'eau par détournement a des effets sur la température de l'eau, surtout dans le cas de petits ruisseaux d'eau froide (Meier *et al.* 2003). Par conséquent, nous pourrions établir un lien entre « Détournement de l'eau » et « Changement de la température de l'eau » [3]. De plus, comme il a été mentionné ci-dessus, le « Détournement de l'eau » a des effets directs sur les niveaux d'eau et les caractéristiques du débit; nous pourrions donc établir un lien direct entre « Détournement de l'eau » et « Modification du niveau d'eau/débit de l'eau (changement de l'hydraulique), incluant les réservoirs » [4]. Si nous établissons ce lien, le lien entre « Détournement de l'eau », « Déplacement ou échouage des poissons » et « Mort des poissons » devient inutile parce que redondant [5].

2. Dénoyage/pompage

Dénoyage/pompage -> Déplacement ou échouage des poissons (I)

Nous avons considéré le dénoyage/pompage comme toute activité qui extrait de l'eau de façon active d'un écosystème aquatique. Toute activité d'extraction de l'eau causant une baisse majeure du niveau de l'eau peut entraîner l'échouement ou le déplacement des poissons (examiné par Steele et Smokorowski 2000; Halleraker *et al.* 2003; Clarke *et al.* 2008; Nagrodski *et al.* 2012; Irvine *et al.* 2015). Le dénoyage/pompage a été relié directement au déplacement et à l'échouage des poissons (Fischer et Kummer 2000; Falke *et al.* 2011).

Dénoyage/pompage -> Entraînement/impaction -> Mort du poisson (I)

Le dénoyage attribuable aux lâchés d'eau liés à la demande de pointe des barrages hydroélectriques est une cause bien étayée d'entraînement/impaction et de mort des poissons (Barnthouse 2013; Rytwinski *et al.* 2017; Algera *et al.* 2020). Cet enjeu a aussi été étayé relativement au dénoyage/pompage de l'approvisionnement en eau industriel, agricole et municipal, ainsi que durant les travaux en milieu aquatique pour des constructions nécessitant le confinement/le dénoyage d'un site (Moyle et Israel 2005; Kemp 2015).

Dénoyage/pompage -> Modification de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface -> Diminution du débit de base -> Augmentation de la température de l'eau (I*)

Il est bien établi que l'extraction d'eau souterraine peut entraîner une réduction de l'écoulement des eaux souterraines vers les eaux de surface et une diminution des débits de base (Blackport *et al.* 1995; Power *et al.* 1999; Fleckenstein *et al.* 2004; Chu *et al.* 2008; Perkin *et al.* 2017). Comme il en a été question dans la SE des OEAs en milieu terrestre, cela peut se traduire par une augmentation de la température en été ou par une baisse de la température en hiver, deux

situations pouvant avoir des effets négatifs sur les poissons. Par conséquent, nous pourrions remplacer cette pression par « Changement de la température de l'eau » [6]. La diminution des débits de base entraîne également des modifications [réductions] de l'approvisionnement en nourriture (Weisberg et Burton 1993), un lien qui pourrait être ajouté [7]. Les changements de température de l'eau peuvent aussi entraîner directement la mort des poissons ou des effets sublétaux si ces changements excèdent les seuils de tolérance des espèces visées (Brett 1956), ce qui justifierait l'établissement d'un lien [8].

Dénoyage/pompage -> Perturbation du substrat -> Remise en suspension de sédiments -> Sédimentation de l'habitat des poissons (I*)

Les opérations de dénoyage prennent diverses formes qui perturberont vraisemblablement le substrat à des degrés divers. Les augmentations soudaines des débits (débits de haute intensité, rapides et variés), souvent associées aux lâchés d'eau liés à la demande de pointe ou à la gestion de l'eau des barrages, provoquent des taux élevés d'érosion et de transport de sédiments, ce qui entraîne la sédimentation de l'habitat des poissons (Robertson *et al.* 2006; Batalla et Vericat 2009; Chapman *et al.* 2014). Cette séquence est étayée, bien que la mesure dans laquelle les diverses activités de dénoyage telles que l'extraction d'eau entraînent la perturbation du substrat n'est pas bien établie. La sédimentation de l'habitat des poissons peut aussi mener directement à la mort des poissons, particulièrement au stade d'œuf (Robertson *et al.* 2006). Nous pourrions donc ajouter un lien entre « Sédimentation de l'habitat des poissons » et « Effets sublétaux et/ou mort » [9].

Dénoyage/pompage -> Perturbation du substrat -> Modification de la composition du substrat -> Modification de l'approvisionnement en nourriture -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I*)

Le lien entre « Dénoyage/pompage » et « Perturbation du substrat » est abordé ci-dessus. La sédimentation de l'habitat des poissons mène directement à la modification de la composition du substrat; elle remplit les espaces interstitiels offrant une structure d'habitat et une source de nourriture aux poissons (Robertson *et al.* 2006; Chapman *et al.* 2014). En outre, les travaux majeurs de dénoyage peuvent nuire aux profils nutritionnels du sol, ce qui influe sur la productivité primaire (James *et al.* 2004). Le lien entre « Modification de la composition du substrat » et « Modification de l'approvisionnement en nourriture » est bien établi, tout comme celui entre « Modification de la composition du substrat » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat ». Cependant, il n'y a aucune relation de cause à effet entre « Modification de l'approvisionnement en nourriture » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat »; nous pourrions enlever ce lien ou inverser le sens de la relation [10].

3. Modification du niveau d'eau/débit de l'eau (changement de l'hydraulique), incluant les réservoirs

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Affouillement du lit du chenal/érosion des berges -> Modification de la composition du substrat -> Modification de l'approvisionnement en nourriture -> Modification ou perte de la structure ou du couvert de l'habitat (I*)

Il existe une relation de cause à effet bien établie entre la modification des niveaux et des débits d'eau et l'affouillement du lit des chenaux et l'érosion des berges (Clarke *et al.* 2008; Batalla et Vericat 2009; Shen et Diplas 2010). En général, les sédiments fins ont tendance à être enlevés par érosion des secteurs à débit élevé et à être redistribués dans des endroits à faible débit, ce qui modifie la composition des substrats. Cette situation est directement reliée à des changements dans les communautés de poissons (Cushman 1985; Power *et al.* 1996). Comme il en a été question plus haut, la sédimentation de l'habitat des poissons cause souvent des

modifications de l’approvisionnement en nourriture et un changement ou une perte de la structure et du couvert de l’habitat (Robertson *et al.* 2006; Chapman *et al.* 2014), bien qu’il n’existe aucune relation de cause à effet, à moins d’inverser le sens de la relation [10]. De plus, afin d’englober davantage les termes utilisés couramment concernant divers écosystèmes aquatiques au Canada, « littoral » pourrait être ajouté au nœud de pression « Affouillement du lit du chenal/érosion des berges », ce qui nous donnerait « Affouillement du lit du chenal et érosion des berges/du littoral » [11].

Modification du niveau d’eau/débit de l’eau -> Affouillement du lit du chenal/érosion des berges -> Diminution de la stabilité du chenal -> Modification de la morphologie du chenal ou du littoral -> Sédimentation de l’habitat des poissons (I*)

Comme il en a été question plus haut, il existe un lien bien établi entre « Modification du niveau d’eau/débit de l’eau » et « Affouillement du lit du chenal et érosion des berges/du littoral », ce qui entraîne la sédimentation de l’habitat des poissons. Ce lien est direct et se produit indépendamment de la stabilité et de la morphologie des chenaux; nous pourrions donc établir un lien direct entre « Affouillement du lit du chenal et érosion des berges/du littoral » et « Sédimentation de l’habitat des poissons » [12]. À long terme, les effets de la modification du niveau d’eau/débit de l’eau sur la stabilité des chenaux ainsi que sur la morphologie des chenaux et du littoral peuvent aussi mener à une érosion continue et à la sédimentation de l’habitat des poissons (Clarke *et al.* 2008). Notamment, les modifications du débit de l’eau altèrent l’apport en sédiments de façon plus générale (p. ex. un débit faible diminuerait l’apport en sédiments). Par conséquent, le nœud « Modification de l’apport en sédiments » pourrait être ajouté, ce qui donnerait la séquence suivante : « Modification du niveau d’eau/débit de l’eau » -> « Modification de l’apport en sédiments » -> « Modification de la morphologie du chenal ou du littoral » [13]. Dans le présent document, nous avons considéré la morphométrie comme la forme et la structure physiques du littoral/chenal/lit du lac. De plus, ces changements sont directement reliés à la structure et au couvert de l’habitat; un lien pourrait donc être ajouté entre « Modification de la morphologie du chenal ou du littoral » et « Changement ou perte de la structure et du couvert de l’habitat » [14].

Modification du niveau d’eau/débit de l’eau -> Modification des débits d’attraction/obstacles à l’écoulement -> Modification des régimes de migration/accès à l’habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (I*)

Le débit de l’eau joue un rôle essentiel dans le passage des poissons, tant dans l’attraction des poissons vers les endroits où les passages sont possibles que dans la restriction des passages par le biais de barrières d’écoulement. Ce sujet est le plus étudié relativement aux barrages et aux structures de passage du poisson apparentées (examiné par Coutant et Whitney 2000; Bunt *et al.* 2012). En plus des modifications du passage des poissons, les modifications du débit d’eau peuvent aussi influencer sur d’autres processus comme le comportement reproducteur et la réussite de la reproduction (Auer 1996). Pour diverses raisons, les modifications des régimes d’écoulement peuvent avoir des effets importants sur la composition des communautés de poissons, vraisemblablement par le biais d’une série d’effets sublétaux (Cushman 1985; Bain *et al.* 1988). Le MPO a élaboré un cadre de gestion des modifications des débits pouvant servir de référence pour l’évaluation des impacts (DFO 2013), une trousse d’outils pour comprendre le passage des poissons, la gestion écologique des débits et l’habitat des poissons (Katopodis 2005), ainsi qu’une méta-analyse sur les effets de la gestion de l’eau sur les communautés aquatiques (Haxton et Findlay 2008). Globalement, les débits peuvent influencer sur l’accès aux habitats et la réussite de la migration de bien d’autres façons que le font les débits d’attraction. Par conséquent, pour que la séquence soit plus inclusive, nous pourrions enlever « Modification des débits d’attraction/obstacles à l’écoulement » et relier directement « Modification du niveau d’eau/débit de l’eau (changement de l’hydraulique), incluant les

réservoirs » à « Modification des régimes de migration/accès à l'habitat » [15,15]. De plus, bien qu'une diminution de la réussite de la migration ou de l'accès à l'habitat soit souvent reliée à une réduction du passage des poissons, cela peut aussi se produire indépendamment des difficultés de passage; un lien direct pourrait donc être établi entre « Modification des régimes de migration/accès à l'habitat » et « Effets sublétaux et/ou mort » [16].

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Modification ou perte de superficie mouillée (I)

Il existe un lien direct entre « Modification du niveau d'eau/débit de l'eau » et « Modification ou perte de superficie mouillée », étant donné que « niveaux d'eau » et « superficie mouillée » sont des synonymes fonctionnels.

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Changement ou perte de la structure et du couvert de l'habitat (I)

Dans certains cas, en plus d'influer sur la superficie mouillée, la modification du niveau d'eau/débit de l'eau peut aussi se répercuter sur la disponibilité de la structure de l'habitat. Ce sujet est le plus étayé dans le cas des habitats aquatiques peu profonds qui favorisent souvent le frai et les premiers stades de vie et qui offrent une structure pour le refuge général et la recherche de nourriture (Zorn *et al.* 1998; Freeman *et al.* 2001; Grabowski et Isely 2007; Gaeta *et al.* 2014).

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Déplacement ou* échouage des poissons -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Mort du poisson (I*)

L'astérisque (*) ci-dessus indique une faute d'orthographe dans le diagramme de SE actuel. Comme il en a été question plus haut, il existe une relation bien établie entre la modification du niveau d'eau/débit de l'eau et le déplacement et l'échouage des poissons (examiné par Steele et Smokorowski 2000; Halleraker *et al.* 2003; Clarke *et al.* 2008; Nagrodski *et al.* 2012; Irvine *et al.* 2015). Les modifications de l'intensité et de la périodicité du débit d'eau des régimes naturels peuvent transformer de façon importante les taux de déplacement des poissons (Harvey 1987; Liebig *et al.* 1999). Les études constatent invariablement que des variations saisonnières et journalières augmentent les probabilités d'échouage, qui pourrait parfois être relié à la température de l'eau. Par exemple, la température froide de l'eau peut limiter les capacités natatoires des poissons et, donc, leur capacité à se rendre efficacement en eaux sûres lors de déclin rapides des niveaux d'eau. Cependant, les synthèses susmentionnées ont fourni peu de preuves du rôle que jouent les repères thermiques et les barrières de température dans l'échouage des poissons. Diverses raisons peuvent expliquer pourquoi les poissons se déplacent ou s'échouent, le facteur principal étant des changements rapides du débit d'eau. Par conséquent, nous pourrions enlever « Modification des repères thermiques ou des barrières de température » et établir un lien direct entre « Déplacement ou échouage des poissons » et « Effets sublétaux et/ou mort des poissons » [17,17].

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Déplacement ou* échouage des poissons -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Modification des régimes de migration/accès à l'habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (I*)

Il est bien établi que les diminutions du débit d'eau provoquent souvent l'augmentation de la température de l'eau fluviale, laquelle est en cause dans les modifications de la productivité des poissons et de la structure communautaire (Bunn et Arthington 2002; Clarke *et al.* 2008; Bae *et al.* 2016). De plus, les poissons de rivière dépendent habituellement des repères de température et/ou de débit pour leurs migrations ou déplacements saisonniers, sujet ayant été

étayé relativement à la fraie (p. ex. Rusak et Mosindy 1997; Tornabene *et al.* 2020). Pourtant, cette séquence en particulier, qui suppose un déplacement ou un échouage des poissons suivi d'effets liés à la température sur l'accès à l'habitat et d'une perte éventuelle de passages de poissons, n'est pas bien étayée dans la documentation. Comme il en a été question plus haut, des modifications à cette séquence en amélioreraient l'exactitude et l'exhaustivité [17,17].

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Changement de la température de l'eau -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Mort du poisson (II)

Comme il en a été question plus haut, les modifications du débit d'eau et les changements connexes de la température de l'eau dans les habitats de rivière présentent des liens bien établis avec la modification de la productivité des poissons et de la structure communautaire (Bunn et Arthington 2002; Clarke *et al.* 2008; Bae *et al.* 2016), ainsi qu'avec la modification des repères thermiques ou des barrières de température (p. ex. Rusak et Mosindy 1997; Tornabene *et al.* 2020). Il existe certainement des preuves reliant directement la modification du niveau ou du débit de l'eau et le changement de la température de l'eau à la mort des poissons par échouage, comme on l'a vu plus haut. Il est bien établi que la diminution du débit d'eau et l'augmentation de la température de l'eau ont des effets létaux et sublétaux sur les salmonidés durant leur migration de fraie dans les rivières (Farrell *et al.* 2008). Nous pourrions considérer cela comme une forme de barrière de température restreignant l'accès à l'habitat de fraie. Le concept serait défini plus justement comme une exclusion plutôt qu'une barrière; bien que nous ne suggérions pas explicitement ce changement ici, il pourrait être pris en considération. Comme il en a été question plus haut, les effets sublétaux et la mort des poissons peuvent être causés par des changements de température indépendants des repères thermiques ou des barrières de température; par conséquent, nous pourrions ajouter un lien direct entre « Changement de la température de l'eau » et « Effets sublétaux et/ou mort » [18].

Modification du niveau d'eau/débit de l'eau -> Changement de la température de l'eau -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Modification des régimes de migration/accès à l'habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (I)

Comme il en a été question plus haut, cette séquence est bien étayée (Rusak et Mosindy 1997; Bunn et Arthington 2002; Clarke *et al.* 2008; Bae *et al.* 2016; Tornabene *et al.* 2020).

4. Introduction d'eaux usées

Introduction d'eaux usées -> Contrainte thermique -> Changement de la température de l'eau -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Mort du poisson (I)

« Eaux usées » est un terme général pouvant désigner toute eau ayant été contaminée par l'utilisation humaine, et provenant donc d'un vaste éventail de sources – elles peuvent présenter diverses caractéristiques potentiellement nocives, selon leur provenance. Les effluents d'eaux usées provenant de sources telles que des stations de traitement des eaux urbaines ou des centrales nucléaires sont souvent plus chauds que l'eau des écosystèmes aquatiques, en particulier dans des conditions ambiantes froides (Kinouchi *et al.* 2007; McCallum *et al.* 2019). Ces effluents chauds sont associés à d'importantes modifications des communautés de poissons dans les zones touchées (McCallum *et al.* 2019) et peuvent, dans certains cas, attirer les poissons, mais se répercuter négativement sur leur santé; ils deviennent alors des pièges écologiques (Mehdi *et al.* 2021). Il a été établi que les changements rapides de la vitesse d'écoulement des effluents provenant de centrales nucléaires et les changements de température associés causaient la mort des poissons et des effets sublétaux (Coutant 1977). Les effets des eaux usées sur les poissons peuvent énormément varier selon les

caractéristiques des espèces, notamment leurs réactions comportementales (attraction ou répulsion), et selon les tolérances physiologiques des conditions des effluents, lesquelles sont variées et souvent néfastes (Burns *et al.* 2019; McCallum *et al.* 2019; Mehdi *et al.* 2021).

Introduction d'eaux usées -> Contrainte thermique -> Changement de la température de l'eau -> Modification des repères thermiques ou des barrières de température -> Modification des régimes de migration/accès à l'habitat -> Changement ou perte du passage du poisson (III)

Les liens entre l'introduction d'eaux usées et les repères thermiques et barrières de température sont abordés plus haut et sont bien étayés. La température de l'eau a aussi souvent un effet important sur la réussite du passage des poissons (examiné par Coutant et Whitney 2000; Bunt *et al.* 2012). Cependant, cette séquence de pression des eaux usées vers le passage des poissons n'est pas bien étayée. Elle est plausible compte tenu des liens fonctionnels entre chaque élément, bien que la prévalence de cette pression soit inconnue. Néanmoins, pour être concis, nous pourrions enlever « Contrainte thermique » et conserver le lien clé entre « Introduction d'eaux usées » et « Changement de la température de l'eau » [19,19].

Introduction d'eaux usées -> Contrainte thermique -> Diminution de l'oxygène dissous -> Diminution de la qualité de l'eau (I*)

Il est bien établi que l'introduction d'eaux usées provoque l'augmentation de la température de l'eau et de la quantité d'oxygène dissous. Cependant, l'oxygène dissous n'est pas spécifiquement mentionné dans ces diagrammes; on le considère plutôt comme faisant partie intégrante de la qualité de l'eau (DFO 2021). Par conséquent, nous pourrions enlever « Diminution de l'oxygène dissous » et relier directement « Contrainte thermique » à « Diminution de la qualité de l'eau » [20,20].

Introduction d'eaux usées -> Charge en éléments nutritifs -> Augmentation des nutriments -> Diminution de la qualité de l'eau (I*)

Les eaux usées peuvent contenir de fortes concentrations d'éléments nutritifs comme le phosphore et l'azote, surtout celles provenant de certaines sources agricoles, industrielles et urbaines. Les effets sur la qualité de l'eau sont bien établis (Carey et Migliaccio 2009) et ont été reliés directement à des modifications des communautés de poissons (Tetreault *et al.* 2013). Cependant, pour être concis, nous pourrions enlever « Charge en éléments nutritifs » et conserver le lien clé entre « Introduction d'eaux usées » et « Augmentation des nutriments » [21,21].

Introduction d'eaux usées -> Dépôt de substances nocives -> Diminution de la qualité de l'eau (I*)

En plus des nutriments, les eaux usées contiennent aussi habituellement une grande variété de substances pouvant nuire à la santé des poissons (Schlacher *et al.* 2007; Vajda, Alan *et al.* 2008; Lozano *et al.* 2012). Ces substances chimiques peuvent exercer divers effets, dont une diminution du succès de reproduction (Vajda, Alan *et al.* 2008). Il existe une solide base d'appui pour relier « Diminution de la qualité de l'eau » à « Effets sublétaux et/ou mort » [22].

Autres considérations

L'introduction d'eaux usées influence non seulement la qualité de l'eau, mais aussi la quantité d'eau, étant donné que les eaux usées deviennent une source pour les systèmes d'effluents (Carey et Migliaccio 2009; Tetreault *et al.* 2013). Par conséquent, un lien pourrait être ajouté entre « Introduction d'eaux usées » et « Modification du niveau d'eau/débit de l'eau (changement de l'hydraulique), incluant les réservoirs » [23]. Plus particulièrement, la variabilité des débits sortants des eaux usées peut avoir un impact sur les réseaux, lesquels deviennent

fortement dépendants de ces débits pour que la superficie mouillée se maintienne. De plus, les effets décrits dans ce diagramme sont en grande partie reliés au débit et au niveau d'eau; par conséquent, nous pourrions remplacer le titre du diagramme, « OEA qui modifient le débit de l'eau », par « OEAs qui modifient les niveaux et les débits d'eau » [24]. Enfin, « pompage » est déjà inclus dans le nœud de pression « Dénoyage/pompage », mais le pompage est un OEA. Ainsi, « pompage » pourrait être déplacé dans la description plus générale des OEA, ce qui remplacerait le nœud de pression par « Dénoyage » [25].

Survol des modifications potentielles au diagramme de SE qui modifient le débit de l'eau

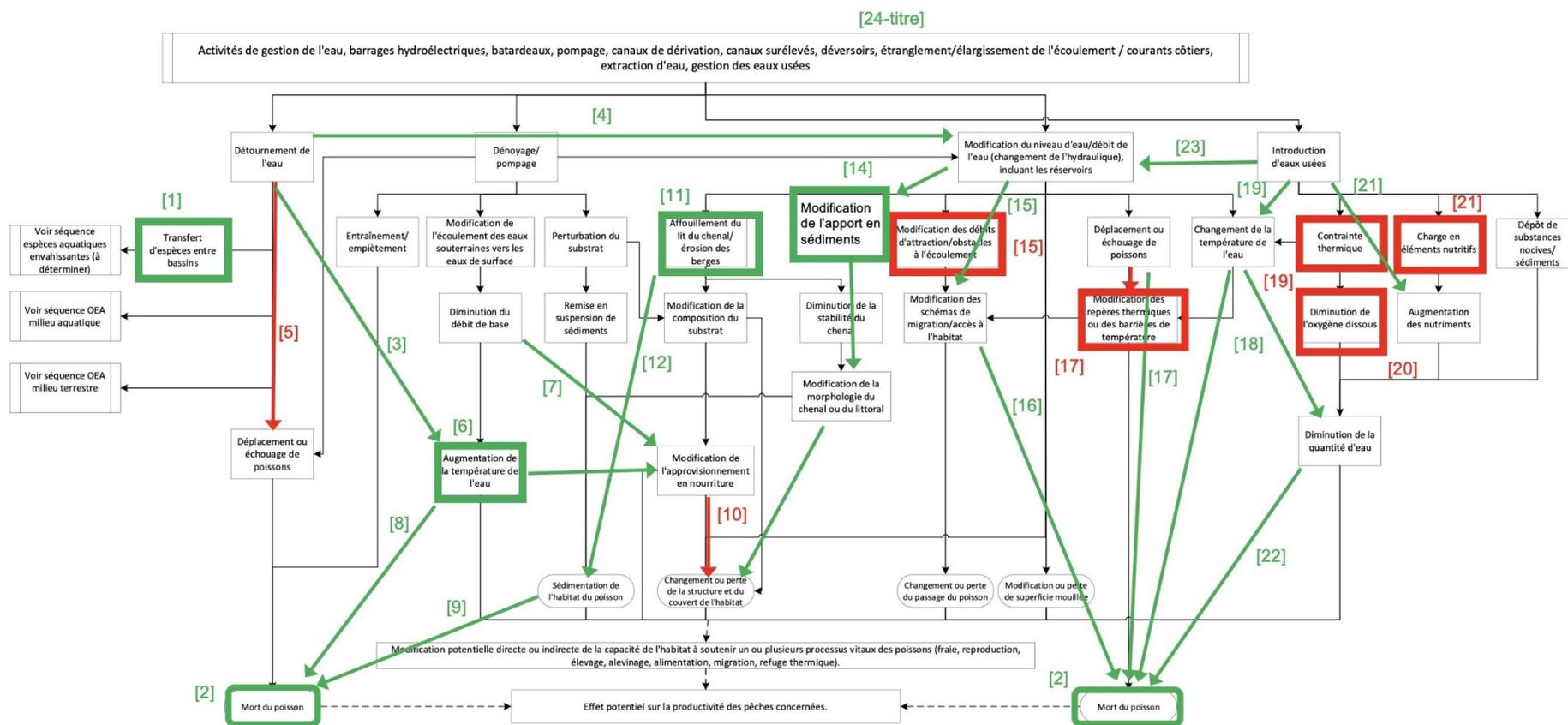


Figure 9 : Survol des modifications potentielles à l'ébauche (septembre 2020) de diagramme de séquence des effets qui modifient le débit de l'eau. Les lignes additionnelles indiquent des liens qui peuvent être ajoutés (lignes vertes) ou enlevés (lignes rouges); les encadrés additionnels indiquent des modifications ou des ajouts à des pressions ou des paramètres ultimes.

CONCLUSIONS

Les quatre diagrammes de SE récemment regroupés visent à donner une représentation exhaustive et précise de la majorité des OEA courants et de leurs effets potentiels sur les poissons et leur habitat pour les besoins de communication et de prise de décisions du PPPH. Nous proposons ici divers changements et ajouts potentiels à ces diagrammes pour contribuer à répondre à ces besoins. Il est important de reconnaître l'équilibre requis entre la représentation du niveau élevé de complexité des interrelations des OEA, pressions et paramètres ultimes, et le maintien de modèles malléables satisfaisant leur but premier, soit de répondre aux besoins de communication et de prise de décisions du PPPH. Nous reconnaissons cet équilibre, mais le présent document et les changements proposés aux ébauches de diagrammes de SE n'englobent pas la totalité des façons dont les OEA, pressions et paramètres ultimes sont potentiellement interreliés; ils sont plutôt axés sur les liens fondamentaux et la fonctionnalité des diagrammes. Il est important de tenir compte de ce compromis en intégrant les recommandations présentées ici, afin d'assurer une validité et une applicabilité maximales pour le PPPH, et toute évolution future nécessitera l'interprétation des complexités implicites contenues dans les diagrammes simplifiés. Il pourrait être utile d'évaluer la facilité avec laquelle les liens clés dans ces diagrammes peuvent être brisés, évaluation qui pourrait être étayée en partie par les ressources fournies dans le présent document et la base de données documentaires connexes. Pour employer une gestion écosystémique tenant compte des effets cumulatifs des activités sur l'état de l'écosystème, il faut étudier plus en profondeur les interrelations dans ces diagrammes de SE ainsi que les façons dont les diverses séquences de pression interagissent pour produire des effets cumulatifs.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Abbe, T.B., and Montgomery, D.R. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regul. Rivers Res. Manag.* doi:10.1002/(sici)1099-1646(199603)12:2/3<201::aid-rrr390>3.0.co;2-a.
- Abernethy, B., and Rutherford, I.D. 1998. Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks? *Geomorphology.* doi:10.1016/S0169-555X(97)00089-5.
- Adams, S.M., Ham, K.D., Greeley, M.S., LeHew, R.F., Hinton, D.E., and Saylor, C.F. 1996. Downstream gradients in bioindicator responses: Point source contaminant effects on fish health. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/f96-191.
- Algera, D.A., Rytwinski, T., Taylor, J.J., Bennett, J.R., Smokorowski, K.E., Harrison, P.M., Clarke, K.D., Enders, E.C., Power, M., Bevelhimer, M.S., and Cooke, S.J. 2020. What are the relative risks of mortality and injury for fish during downstream passage at hydroelectric dams in temperate regions? A systematic review. doi:10.1186/s13750-020-0184-0.
- Anderson, P.G., Fraikin, C.G.J., and Chandler, T.J. 1998. Impacts and recovery in a coldwater stream following a natural gas pipeline crossing installation. *In Proceedings of the International Pipeline Conference, IPC.* doi:10.1115/ipc1998-2120.
- Angermeier, P.L., and Karr, J.R. 1984. Relationships between Woody Debris and Fish Habitat in a Small Warmwater Stream. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1984)113<716:rbwdaf>2.0.co;2.
- Araújo, C.V.M., Silva, D.C.V.R., Gomes, L.E.T., Acayaba, R.D., Montagner, C.C., Moreira-Santos, M., Ribeiro, R., and Pompêo, M.L.M. 2018. Habitat fragmentation caused by contaminants: Atrazine as a chemical barrier isolating fish populations. *Chemosphere.* doi:10.1016/j.chemosphere.2017.11.014.

-
- Armitage, P.D., and Gunn, R.J.M. 1996. Differential response of benthos to natural and anthropogenic disturbance in 3 lowland streams. *Int. Rev. der Gesamten Hydrobiol.* **81**: 161–181.
- Armon, R.H., and Starosvetsky, J. 2015. Point source pollution indicators. *In* *Environmental Indicators*. doi:10.1007/978-94-017-9499-2_29.
- Auer, N.A. 1996. Response of Spawning Lake Sturgeons to Change in Hydroelectric Facility Operation. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1996)125<0066:roslst>2.3.co;2.
- Bach, L., Nielsen, M.H., and Bollwerk, S.M. 2017. Environmental Impact of Submarine Rock Blasting and Dredging Operations in an Arctic Harbor Area: Dispersal and Bioavailability of Sediment-Associated Heavy Metals. *Water, Air, Soil Pollut.* doi:10.1007/s11270-017-3363-z.
- Bae, M.J., Merciai, R., Benejam, L., Sabater, S., and García-Berthou, E. 2016. Small Weirs, Big Effects: Disruption of Water Temperature Regimes with Hydrological Alteration in a Mediterranean Stream. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.2871.
- Bain, M.B., Finn, J.T., and Booke, H.E. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology*. doi:10.2307/1940436.
- Baker, D.B., Richards, R.P., Loftus, T.T., and Kramer, J.W. 2004. A new flashiness index: Characteristics and applications to Midwestern rivers and streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* doi:10.1111/j.1752-1688.2004.tb01046.x.
- Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., and Banks, S.B. 1997. Mine-water chemistry: The good, the bad and the ugly. *Environ. Geol.* doi:10.1007/s002540050204.
- Barko, J.W., Adams, M.S., and Clesceri, N.L. 1986. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review.
- Barnthouse, L.W. 2013. Impacts of entrainment and impingement on fish populations: A review of the scientific evidence. doi:10.1016/j.envsci.2013.03.001.
- Barriga, J.P., Espinós, N.A., Chiarello-Sosa, J.M., and Battini, M.A. 2013. The importance of substrate size and interstitial space in the microhabitat selection by the stream-dwelling catfish *Hatcheria macraei* (Actinopterygii, Trichomycteridae). *Hydrobiologia*. doi:10.1007/s10750-012-1398-0.
- Barton, B.A. 1977. Short-term effects of highway construction on the limnology of a small stream in southern Ontario. *Freshw. Biol.* doi:10.1111/j.1365-2427.1977.tb01661.x.
- Barton, D.R., Taylor, W.D., and Biette, R.M. 1985. Dimensions of Riparian Buffer Strips Required to Maintain Trout Habitat in Southern Ontario Streams. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8659(1985)5<364:dorbsr>2.0.co;2.
- Batalla, R.J., and Vericat, D. 2009. Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: Implications for management in large Mediterranean rivers. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.1160.
- Beatty, S.J., Morgan, D.L., McAleer, F.J., and Ramsay, A.R. 2010. Groundwater contribution to baseflow maintains habitat connectivity for *Tandanus bostocki* (Teleostei: Plotosidae) in a south-western Australian river. *Ecol. Freshw. Fish.* doi:10.1111/j.1600-0633.2010.00440.x.
- Bednarek, A.T. 2001. Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. doi:10.1007/s002670010189.

-
- Beechie, T.J., and Sibley, T.H. 1997. Relationships between Channel Characteristics, Woody Debris, and Fish Habitat in Northwestern Washington Streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1997)126<0217:rbccwd>2.3.co;2.
- Bettoli, P.W., Maceina, M.J., Noble, R.L., and Betsill, R.K. 1993. Response of a Reservoir Fish Community to Aquatic Vegetation Removal. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8675(1993)013<0110:roarfc>2.3.co;2.
- Blackport, R., MacGregor, R., and Imhof, J. 1995. An approach to the management of groundwater resources to protect and enhance fish habitat.
- Blann, K.L., Anderson, J.L., Sands, G.R., and Vondracek, B. 2009. Effects of agricultural drainage on aquatic ecosystems: A review. doi:10.1080/10643380801977966.
- Bouwes, N., Weber, N., Jordan, C.E., Pollock, M.M., Carl, W., Tattam, I.A., Volk, C., and Wheaton, J.M. 2016. Ecosystem experiment reveals impacts of natural and simulated beaver dams to a threatened population of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). *Nat. Publ. Gr.*
- Brett, J.R. 1956. Some Principles in the Thermal Requirements of Fishes. *Q. Rev. Biol.* doi:10.1086/401257.
- Bridges, T.S., Ells, S., Hayes, D., Mount, D., Nadeau, S.C., Palermo, M.R., Patmont, C., and Schroeder, P. 2008. The Four Rs of Environmental Dredging: Resuspension, release, residual, and risk. Washington, DC.
- Briggs, A.S., and Galarowicz, T.L. 2013. Fish Passage through Culverts in Central Michigan Warmwater Streams. *North Am. J. Fish. Manag.* **33**(3): 652–664. doi:10.1080/02755947.2013.788589.
- Broadmeadow, S.B., Jones, J.G., Langford, T.E.L., Shaw, P.J., and Nisbet, T.R. 2011. The influence of riparian shade on lowland stream water temperatures in southern England and their viability for brown trout. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.1354.
- Budy, P., Baker, M., and Dahle, S.K. 2011. Predicting fish growth potential and identifying water quality constraints: A spatially-explicit bioenergetics approach. *Environ. Manage.* **48**(4): 691–709. Springer. doi:10.1007/s00267-011-9717-1.
- Bunn, S.E., and Arthington, A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. doi:10.1007/s00267-002-2737-0.
- Bunt, C.M., Castro-Santos, T., and Haro, A. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Res. Appl.* **28**: 457–478. doi:10.1002/rra.1565.
- Burns, E.S., Armstrong, J., Tang, D., Sakamoto, K., and Lowe, C.G. 2019. The residency, movement patterns and habitat association of several demersal fish species to the Orange County Sanitation District wastewater outfall. *Mar. Pollut. Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110638.
- Cabaço, S., Santos, R., and Duarte, C.M. 2008, September 10. The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: A review. Academic Press. doi:10.1016/j.ecss.2008.04.021.
- Carey, R.O., and Migliaccio, K.W. 2009. Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems. doi:10.1007/s00267-009-9309-5.
- Carroll, A.G., Przeslawski, R., Duncan, A., Gunning, M., and Bruce, B. 2017. A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.11.038.
-

-
- Catalano, M.J., Bozek, M.A., and Pellett, T.D. 2007. Effects of Dam Removal on Fish Assemblage Structure and Spatial Distributions in the Baraboo River, Wisconsin. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/m06-001.1.
- Causon, P.D., and Gill, A.B. 2018, November 1. Linking ecosystem services with epibenthic biodiversity change following installation of offshore wind farms. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.envsci.2018.08.013.
- Chapman, J.M., Proulx, C.L., Veilleux, M.A.N., Levert, C., Bliss, S., André, M.È., Lapointe, N.W.R., and Cooke, S.J. 2014. Clear as mud: A meta-analysis on the effects of sedimentation on freshwater fish and the effectiveness of sediment-control measures. doi:10.1016/j.watres.2014.02.047.
- Chessman, B.C., Robinson, D.P., and Hortle, K.G. 1987. Changes in the riffle macroinvertebrate fauna of the Tanjil river, Southeastern Australia, during construction of Blue Rock Dam. *Regul. Rivers Res. Manag.* doi:10.1002/rrr.3450010404.
- Chhor, A.D., Glassman, D.M., Smol, J.P., Vermaire, J.C., and Cooke, S.J. 2020. Ecological consequences of shoreline armoring on littoral fish and benthic macroinvertebrate communities in an Eastern Ontario lake. *Aquat. Sci.* doi:10.1007/s00027-020-00740-0.
- Chiasson, A. 1993. The effect of suspended sediments on ninespine stickleback, *Pungitius pungitius*, and golden shiner, *Notemigonus crysoleucas*, in a current of varying velocity. *Environ. Biol. Fishes* **37**(3): 283–295. doi:10.1007/BF00004635.
- Chu, C., Jones, N.E., Mandrak, N.E., Piggott, A.R., and Minns, C.K. 2008. The influence of air temperature, groundwater discharge, and climate change on the thermal diversity of stream fishes in southern Ontario watersheds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/F08-007.
- Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Parijs, S.M. Van, Frankel, A., and Ponirakis, D. 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **395**: 201–222. doi:10.3354/MEPS08402.
- Clarke, K.D., Pratt, T.C., Randall, R.G., Dave, A., and Smokorowski, K.E. 2008. Validation of the Flow Management Pathway: Effects of Altered Flow on Fish Habitat and Fishes Downstream from a Hydropower Dam. Canadian Technical Report Fisheries and Aquatic Sciences. 2784: vi + 111p.
- Clausen, K.T., Tougaard, J., Carstensen, J., Delefosse, M., and Teilmann, J. 2018. Noise affects porpoise click detections – the magnitude of the effect depends on logger type and detection filter settings. <https://doi.org/10.1080/09524622.2018.1477071> **28**(5): 443–458. Taylor & Francis. doi:10.1080/09524622.2018.1477071.
- Cloern, J.E. 2001, January 26. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Inter-Research.* doi:10.3354/meps210223.
- Collier, T.K., Anulacion, B.F., Arkoosh, M.R., Dietrich, J.P., Incardona, J.P., Johnson, L.L., Ylitalo, G.M., and Myers, M.S. 2013. Effects on Fish of Polycyclic Aromatic HydrocarbonS (PAHS) and Naphthenic Acid Exposures. *In Fish Physiology.* doi:10.1016/B978-0-12-398254-4.00004-2.
- Cooper, J.E. 2011. Unionid mussel mortality from habitat loss in the Salmon River, New York, following dam removal. *Adv. Environ. Res.* **14**: 351–364.
- Courtice, G., and Naser, G. 2020. In-stream construction-induced suspended sediment in riverine ecosystems. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.3559.
-

-
- Coutant, C.C. 1977. Cold shock to aquatic organisms: guidance for power-plant siting, design, and operation. Nucl. Saf.
- Coutant, C.C., and Whitney, R.R. 2000. Fish Behavior in Relation to Passage through Hydropower Turbines: A Review. Trans. Am. Fish. Soc. doi:10.1577/1548-8659(2000)129<0351:fbirtp>2.0.co;2.
- Crane, N.L., and Lashkari, K. 1996. Sound production of gray whales, *Eschrichtius robustus*, along their migration route: A new approach to signal analysis. J. Acoust. Soc. Am. doi:10.1121/1.416006.
- Crispin, V., House, R., and Roberts, D. 1993. Changes in Instream Habitat, Large Woody Debris, and Salmon Habitat after the Restructuring of a Coastal Oregon Stream. North Am. J. Fish. Manag. doi:10.1577/1548-8675(1993)013<0096:cihlw>2.3.co;2.
- Crook, D.A., and Robertson, A.I. 1999. Relationships between riverine fish and woody debris: Implications for lowland rivers. doi:10.1071/MF99072.
- Cunjak, R.A. 1996. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land-use activity. Can. J. Fish. Aquat. Sci. doi:10.1139/f95-275.
- Curry, R.A., Gehrels, J., Noakes, D.L.G., and Swainson, R. 1994. Effects of river flow fluctuations on groundwater discharge through brook trout, *Salvelinus fontinalis*, spawning and incubation habitats. Hydrobiologia. doi:10.1007/BF00016759.
- Cushman, R.M. 1985. Review of Ecological Effects of Rapidly Varying Flows Downstream from Hydroelectric Facilities. North Am. J. Fish. Manag. doi:10.1577/1548-8659(1985)5<330:roeeor>2.0.co;2.
- Dahl, P.H., Keith Jenkins, A., Casper, B., Kotecki, S.E., Bowman, V., Boerger, C., Dall'Osto, D.R., Babina, M.A., and Popper, A.N. 2020. Physical effects of sound exposure from underwater explosions on Pacific sardines (*Sardinops sagax*). J. Acoust. Soc. Am. doi:10.1121/10.0001064.
- Dalen, J., and Knutsen, G.M. 1987. Scaring Effects in Fish and Harmful Effects on Eggs, Larvae and Fry by Offshore Seismic Explorations. *In* Progress in Underwater Acoustics. doi:10.1007/978-1-4613-1871-2_12.
- Davies, P.E., and Nelson, M. 1994. Relationships between riparian buffer widths and the effects of logging on stream habitat, invertebrate community composition and fish abundance. Mar. Freshw. Res. doi:10.1071/MF9941289.
- Deegan, L.A., Johnson, D.S., Warren, R.S., Peterson, B.J., Fleeger, J.W., Fagherazzi, S., and Wollheim, W.M. 2012. Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss. Nature **490**(7420): 388–392. Nature Publishing Group. doi:10.1038/nature11533.
- DFO. 2006. [Proceedings of peer review meeting to validate four end points in the pathways of effects diagrams](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2005/031.
- DFO. 2014. A science-based framework for assessing the response of fisheries productivity to state of species or habitats. *In* DFO Canadian Scientific Advisory Secretariat Science Advisory Report.
- Doeg, T.J., and Koehn, J.D. 1994. Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. Regul. Rivers Res. Manag. doi:10.1002/rrr.3450090407.

-
- Dugan, J.E., Emery, K.A., Alber, M., Alexander, C.R., Byers, J.E., Gehman, A.M., McLenaghan, N., and Sojka, S.E. 2018. Generalizing Ecological Effects of Shoreline Armoring Across Soft Sediment Environments. *Estuaries and Coasts* **41**(1): 180–196. Springer New York LLC. doi:10.1007/s12237-017-0254-x.
- Eliason, E.J., Clark, T.D., Hague, M.J., Hanson, L.M., Gallagher, Z.S., Jeffries, K.M., Gale, M.K., Patterson, D.A., Hinch, S.G., and Farrell, A.P. 2011. Differences in thermal tolerance among sockeye salmon population. *Science* (80-). **332**: 109–112.
- Ertfemeijer, P.L.A., and Robin Lewis, R.R. 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Mar. Pollut. Bull.* **52**(12): 1553–1572. Pergamon. doi:10.1016/j.marpolbul.2006.09.006.
- Evans, W.A. 1980. Fish migration and fish passage: a practical guide to solving fish passage problems. Forest Service, USDA.
- Everett, R.A., and Ruiz, G.M. 1993. Coarse woody debris as a refuge from predation in aquatic communities - An experimental test. *Oecologia* **93**(4): 475–486. Springer-Verlag. doi:10.1007/BF00328954.
- Fakan, E.P., and McCormick, M.I. 2019. Boat noise affects the early life history of two damselfishes. *Mar. Pollut. Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2019.02.054.
- Falke, J.A., Fausch, K.D., Magelky, R., Aldred, A., Durnford, D.S., Riley, L.K., and Oad, R. 2011. The role of groundwater pumping and drought in shaping ecological futures for stream fishes in a dryland river basin of the western Great Plains, USA. *Ecohydrology*. doi:10.1002/eco.158.
- Farrell, A.P., Hinch, S.G., Cooke, S.J., Patterson, D.A., Crossin, G.T., Lapointe, M., and Mathes, M.T. 2008. Pacific salmon in hot water: Applying aerobic scope models and biotelemetry to predict the success of spawning migrations. doi:10.1086/592057.
- Faulkner, S.G. 2006. Blasting Effects on Incubating Salmonid Eggs.
- Faulkner, S.G., Welz, M., Tonn, W.M., and Schmitt, D.R. 2008. Effects of Simulated Blasting on Mortality of Rainbow Trout Eggs. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/t07-035.1.
- Fausch, K.D., and Northcote, T.G. 1992. Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/f92-077.
- Fischer, S., and Kummer, H. 2000. Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream. *In Hydrobiologia*. doi:10.1007/978-94-011-4164-2_25.
- Fleckenstein, J., Anderson, M., Fogg, G., and Mount, J. 2004. Managing Surface Water-Groundwater to Restore Fall Flows in the Cosumnes River. *J. Water Resour. Plan. Manag.* doi:10.1061/(asce)0733-9496(2004)130:4(301).
- Fournet, M.E.H., Matthews, L.P., Gabriele, C.M., Haver, S., Mellinger, D.K., and Klinck, H. 2018. Humpback whales *Megaptera novaeangliae* alter calling behavior in response to natural sounds and vessel noise. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* doi:10.3354/meps12784.
- Fox, G.A., and Wilson, G. V. 2010. The Role of Subsurface Flow in Hillslope and Stream Bank Erosion: A Review. *Soil Sci. Soc. Am. J.* doi:10.2136/sssaj2009.0319.

-
- Di Franco, E., Pierson, P., Di Iorio, L., Calò, A., Cottalorda, J.M., Derijard, B., Di Franco, A., Galvé, A., Guibbolini, M., Lebrun, J., Micheli, F., Priouzeau, F., Risso-de Faverney, C., Rossi, F., Sabourault, C., Spennato, G., Verrando, P., and Guidetti, P. 2020. Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111450.
- Freeman, M.C., Bowen, Z.H., Bovee, K.D., and Irwin, E.R. 2001. Flow and habitat effects on juvenile fish abundance in natural and altered flow regimes. *Ecol. Appl.* doi:10.1890/1051-0761(2001)011[0179:FAHEOJ]2.0.CO;2.
- Fujita, K., Shoji, J., Sugimoto, R., Nakajima, T., Honda, H., Takeuchi, M., Tominaga, O., and Taniguchi, M. 2019. Increase in fish production through bottom-up trophic linkage in coastal waters induced by nutrients supplied via submarine groundwater. *Front. Environ. Sci.* 7(JUN): 82. *Frontiers Media S.A.* doi:10.3389/fenvs.2019.00082.
- Gaeta, J.W., Sass, G.G., and Carpenter, S.R. 2014. Drought-driven lake level decline: Effects on coarse woody habitat and fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/cjfas-2013-0451.
- Garner, G., Malcolm, I.A., Sadler, J.P., and Hannah, D.M. 2017. The role of riparian vegetation density, channel orientation and water velocity in determining river temperature dynamics. *J. Hydrol.* doi:10.1016/j.jhydrol.2017.03.024.
- Gedan, K.B., Kirwan, M.L., Wolanski, E., Barbier, E.B., and Silliman, B.R. 2011, May 14. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: Answering recent challenges to the paradigm. *Springer.* doi:10.1007/s10584-010-0003-7.
- Gervaise, C., Simard, Y., Roy, N., Kinda, B., and Ménard, N. 2012. Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. *J. Acoust. Soc. Am.* **132**(1): 76. *Acoustical Society of America*ASA. doi:10.1121/1.4728190.
- Gill, A.B., and Bartlett, M. 2010. Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel.
- Girma, M.B., Kifle, D., and Jebessa, H. 2012. Deep underwater seismic explosion experiments and their possible ecological impact - The case of Lake Arenguade - Central Ethiopian highlands. *Limnologica.* doi:10.1016/j.limno.2011.12.002.
- Gorcharoenwat, P., Piyatiratitivorakul, S., and Pengprecha, S. 2015. Effects of temperature and water soluble fraction of palm biodiesel and diesel fuel on hatchability and survival of first stage larvae of *macrobrachium rosenbergii*. *EnvironmentAsia.*
- Gordon, J., Gillespie, D., Potter, J., Frantzis, A., Simmonds, M.P., Swift, R., and Thompson, D. 2003. A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. *Mar. Technol. Soc. J.* doi:10.4031/002533203787536998.
- Govoni, J.J., West, M.A., Settle, L.R., Lynch, R.T., and Greene, M.D. 2008. Effects of underwater explosions on larval fish: Implications for a coastal engineering project. *J. Coast. Res.* doi:10.2112/05-0518.1.
- Grabowski, T.B., and Isely, J.J. 2007. Effects of flow fluctuations on the spawning habitat of a riverine fish. *Southeast. Nat.* doi:10.1656/1528-7092(2007)6[471:EOFFOT]2.0.CO;2.
- Gregor, C.A., and Anderson, T.W. 2016. Relative importance of habitat attributes to predation risk in a temperate reef fish. *Environ. Biol. Fishes.* doi:10.1007/s10641-016-0496-7.

-
- Griffith, J.S., and Andrews, D.A. 1981. Effects of a Small Suction Dredge on Fishes and Aquatic Invertebrates in Idaho Streams. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8659(1981)1<21:eoassd>2.0.co;2.
- Gurnell, A.M., Gregory, K.J., and Petts, G.E. 1995. The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: Implications for management. doi:10.1002/aqc.3270050206.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J. V., Fjeldstad, H.P., and Kohler, B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.752.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K., and Cummins, K.W. 1986. Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* doi:10.1016/S0065-2504(08)60121-X.
- Harvey, B.C. 1986. Effects of Suction Gold Dredging on Fish and Invertebrates in Two California Streams. *North Am. J. Fish. Manag.* **6**(3): 401–409. doi:10.1577/1548-8659(1986)6<401:eosgdo>2.0.co;2.
- Harvey, B.C. 1987. Susceptibility of Young-of-the-Year Fishes to Downstream Displacement by Flooding. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1987)116<851:soyftd>2.0.co;2.
- Harvey, B.C., and Lisle, T.E. 1998. Effects of Suction Dredging on Streams: A Review and an Evaluation Strategy. *Fisheries* **23**(8): 8–17. doi:10.1577/1548-8446(1998)023<0008:eosdos>2.0.co;2.
- Hauxwell, J., Cebrián, J., and Valiela, I. 2003. Eelgrass *Zostera marina* loss in temperate estuaries: Relationship to land-derived nitrogen loads and effect of light limitation imposed by algae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **247**: 59–73. Inter-Research. doi:10.3354/meps247059.
- Havel, J.E., Kovalenko, K.E., Thomaz, S.M., Amalfitano, S., and Kats, L.B. 2015. Aquatic invasive species: challenges for the future. *Hydrobiologia* **750**(1): 147–170. doi:10.1007/s10750-014-2166-0.
- Hawkins, A.D., and Popper, A.N. 2017. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES J. Mar. Sci.* doi:10.1093/icesjms/fsw205.
- Haxton, T.J., and Findlay, C.S. 2008. Meta-analysis of the impacts of water management on aquatic communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/F07-175.
- Heifetz, J., Murphy, M.L., and Koski, K. V. 1986. Effects of Logging on Winter Habitat of Juvenile Salmonids in Alaskan Streams. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8659(1986)6<52:eolowh>2.0.co;2.
- Heise, R.J., Cope, W.G., Kwak, T.J., and Eads, C.B. 2013. Short-Term Effects of Small Dam Removal on a Freshwater Mussel Assemblage. *Freshw. Mollusk Biol. Conserv.* **16**(1): 41–52. doi:10.31931/fmbc.v16i1.2013.41-52.
- Herb, W.R., Janke, B., Mohseni, O., and Stefan, H.G. 2008. Thermal pollution of streams by runoff from paved surfaces. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/hyp.6986.
- Hester, E.T., Doyle, M.W., and Poole, G.C. 2009. The influence of in-stream structures on summer water temperatures via induced hyporheic exchange. *Limnol. Oceanogr.* doi:10.4319/lo.2009.54.1.0355.

-
- Hicks, A., and Sager, E. 2009. Aquatic Plants Guide: Aquatic plants in the Kawartha Lakes – their growth, importance and management. Available from http://www.lakefieldherald.com/KLSA/Plant_Guide_web.pdf.
- Hobbs, R.J. 2000. Land-use changes and invasions. *In* *Invasive species in a changing world*.
- Houser, D.L., and Pruess, H. 2009. The effects of construction on water quality: A case study of the culverting of Abram Creek. *Environ. Monit. Assess.* doi:10.1007/s10661-008-0445-9.
- Hutchison, Z.L., Gill, A.B., Sigray, P., He, H., and King, J.W. 2020. Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behaviour of bottom-dwelling marine species. *Sci. Rep.* **10**(1): 1–15. *Nature Research.* doi:10.1038/s41598-020-60793-x.
- Intamat, S., Phoonaploy, U., Sriuttha, M., Tengjaroenkul, B., and Neeratanaphan, L. 2016. Heavy metal accumulation in aquatic animals around the gold mine area of Loei province, Thailand. *Hum. Ecol. Risk Assess.* doi:10.1080/10807039.2016.1187062.
- Irvine, R.L., Thorley, J.L., Westcott, R., Schmidt, D., and Derosa, D. 2015. Why do fish strand? An analysis of ten years of flow reduction monitoring data from the Columbia and Kootenay rivers, Canada. *River Res. Appl.* doi:10.1002/rra.2823.
- James, W.F., Barko, J.W., and Eakin, H.L. 2004. Impacts of sediment dewatering and rehydration on sediment nitrogen concentration and macrophyte growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/f04-018.
- Jones, M.J., and Hale, R. 2020. Using knowledge of behaviour and optic physiology to improve fish passage through culverts. *Fish Fish.* **21**(3): 557–569. doi:10.1111/faf.12446.
- Jurcak, A.M., Gauthier, S.J., and Moore, P.A. 2015. The Effects of Biodiesel and Crude Oil on the Foraging Behavior of Rusty Crayfish, *Orconectes rusticus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* doi:10.1007/s00244-015-0181-4.
- Kahler, T.H., and Quinn, T.P. 1998. Juvenile and resident salmonid movement and passage through culverts. Washington State Transportation Center, Final Research Report, Research Project T9903, Task 96. Seattle, WA: University of Washington, 38 pp. (1998).
- Katopodis, C. 2005. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. doi:10.1080/00221680509500144.
- Keery, J., Binley, A., Crook, N., and Smith, J.W.N. 2007. Temporal and spatial variability of groundwater-surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series. *J. Hydrol.* doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.003.
- Keevin, T.M. 1998. A review of natural resource agency recommendations for mitigating the impacts of underwater blasting. doi:10.1080/10641269891314302.
- Kemp, P., Sear, D., Collins, A., Naden, P., and Jones, I. 2011. The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/hyp.7940.
- Kemp, P.S. 2015. Impoundments, barriers and abstractions. *In* *Freshwater Fisheries Ecology*. doi:10.1002/9781118394380.ch52.
- Kemp, P.S., and O’Hanley, J.R. 2010. Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: A synthesis. doi:10.1111/j.1365-2400.2010.00751.x.
- Khan, N., Warith, M.A., and Luk, G. 2007. A Comparison of acute toxicity of biodiesel, biodiesel blends, and diesel on aquatic organisms. *J. Air Waste Manag. Assoc.* doi:10.1080/10473289.2007.10465333.

-
- Kinouchi, T., Yagi, H., and Miyamoto, M. 2007. Increase in stream temperature related to anthropogenic heat input from urban wastewater. *J. Hydrol.* doi:10.1016/j.jhydrol.2006.11.002.
- Klemperer, S.L., and Cash, M.D. 2007. Temporal geochemical variation in Ethiopian Lakes Shala, Arenguade, Awasa, and Beseka: Possible environmental impacts from underwater and borehole detonations. *J. African Earth Sci.* doi:10.1016/j.jafrearsci.2006.10.006.
- Kovalenko, K.E., Thomaz, S.M., and Warfe, D.M. 2012. Habitat complexity: Approaches and future directions. *Hydrobiologia.* doi:10.1007/s10750-011-0974-z.
- Krzeminska, D., Kerkhof, T., Skaalsveen, K., and Stolte, J. 2019. Effect of riparian vegetation on stream bank stability in small agricultural catchments. *Catena.* doi:10.1016/j.catena.2018.08.014.
- Larson, L.L., and Larson, S.L. 1996. Riparian shade and stream temperature: A perspective.
- Laubel, A., Kronvang, B., Hald, A.B., and Jensen, C. 2003. Hydromorphological and biological factors influencing sediment and phosphorus loss via bank erosion in small lowland rural streams in Denmark. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/hyp.1302.
- Lemasson, B.H., Haefner, J.W., and Bowen, M.D. 2008. The effect of avoidance behavior on predicting fish passage rates through water diversion structures. *Ecol. Modell.* doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.08.013.
- Lévesque, L.M., and Dubé, M.G. 2007. Review of the effects of in-stream pipeline crossing construction on aquatic ecosystems and examination of Canadian methodologies for impact assessment. doi:10.1007/s10661-006-9542-9.
- Liebig, H., Céréghino, R., Puy, L., Belaud, A., and Sovan, L. 1999. Impact of hydropeaking on the abundance of juvenile brown trout in a Pyrenean stream. *Arch. fur Hydrobiol.* doi:10.1127/archiv-hydrobiol/144/1999/439.
- Likens, G.E., and Bormann, F.H. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *Bioscience.* doi:10.2307/1296852.
- Løkkeborg, S., Ona, E., Vold, A., and Salthaug, A. 2012. Sounds from seismic air guns: Gear- and species-specific effects on catch rates and fish distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/F2012-059.
- Lokteff, R.L., Roper, B.B., and Wheaton, J.M. 2013. Do beaver dams impede the movement of trout? *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1080/00028487.2013.797497.
- Lozano, N., Rice, C.P., Pagano, J., Zintek, L., Barber, L.B., Murphy, E.W., Nettesheim, T., Minarik, T., and Schoenfuss, H.L. 2012. Concentration of organic contaminants in fish and their biological effects in a wastewater-dominated urban stream. *Sci. Total Environ.* doi:10.1016/j.scitotenv.2011.12.059.
- MacLean, K., Prystay, T.S., Lawrence, M.J., Zolderdo, A.J., Gutowsky, L.F.G., Staaterman, E., Gallagher, A.J., and Cooke, S.J. 2020. Going the Distance: Influence of Distance Between Boat Noise and Nest Site on the Behavior of Paternal Smallmouth Bass. *Water. Air. Soil Pollut.* doi:10.1007/s11270-020-04470-9.
- Macura, B., Byström, P., Airoidi, L., Eriksson, B.K., Rudstam, L., and Støttrup, J.G. 2019. Impact of structural habitat modifications in coastal temperate systems on fish recruitment: A systematic review. doi:10.1186/s13750-019-0157-3.

-
- Magirl, C.S., Hilldale, R.C., Curran, C.A., Duda, J.J., Straub, T.D., Domanski, M., and Foreman, J.R. 2015. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: Fluvial sediment load. *Geomorphology*. doi:10.1016/j.geomorph.2014.12.032.
- Majerova, M., Neilson, B.T., Schmadel, N.M., Wheaton, J.M., and Snow, C.J. 2015. Impacts of beaver dams on hydrologic and temperature regimes in a mountain stream. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* doi:10.5194/hess-19-3541-2015.
- Malk, V., Barreto Tejera, E., Simpanen, S., Dahl, M., Mäkelä, R., Häkkinen, J., Kiiski, A., and Penttinen, O.P. 2014. NAPL migration and ecotoxicity of conventional and renewable fuels in accidental spill scenarios. *Environ. Sci. Pollut. Res.* doi:10.1007/s11356-014-2851-6.
- Martin, S.B., Lucke, K., and Barclay, D.R. 2020. Techniques for distinguishing between impulsive and non-impulsive sound in the context of regulating sound exposure for marine mammals. *J. Acoust. Soc. Am.* **147**(4): 2159–2176. Acoustical Society of America (ASA). doi:10.1121/10.0000971.
- Mason, K., and Metikosh, S. 2007. Pathways of Effects Literature Review: Temperature and Dissolved Oxygen Endpoints. *In* DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
- Maxwell, R.J., Zolderdo, A.J., de Bruijn, R., Brownscombe, J.W., Staaterman, E., Gallagher, A.J., and Cooke, S.J. 2018. Does motor noise from recreational boats alter parental care behaviour of a nesting freshwater fish? *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* doi:10.1002/aqc.2915.
- McCallum, E.S., Nikel, K.E., Mehdi, H., Du, S.N.N., Bowman, J.E., Midwood, J.D., Kidd, K.A., Scott, G.R., and Balshine, S. 2019. Municipal wastewater effluent affects fish communities: A multi-year study involving two wastewater treatment plants. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2019.06.075.
- McCarthy, E. 2007. International regulation of underwater sound: establishing rules and standards to address ocean noise pollution. Springer Science & Business Media.
- McCauley, R.D., Fewtrell, J., Duncan, A.J., Jenner, C., Jenner, M.-N., Penrose, J.D., Prince, R.I.T., Adhitya, A., Murdoch, J., and McCabe, K. 2000. MARINE SEISMIC SURVEYS—A STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS. *APPEA J.* doi:10.1071/aj99048.
- McCauley, R.D., Fewtrell, J., and Popper, A.N. 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. *J. Acoust. Soc. Am.* doi:10.1121/1.1527962.
- McKinley, A., and Johnston, E.L. 2010. Impacts of contaminant sources on marine fish abundance and species richness: A review and meta-analysis of evidence from the field. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* doi:10.3354/meps08856.
- Mclaughlin, R.L., Smyth, E.R.B., Castro-Santos, T., Jones, M.L., Koops, M.A., Pratt, T.C., and Vélez-Espino, L.A. 2013. Unintended consequences and trade-offs of fish passage. *Fish Fish.* **14**(4): 580–604. doi:10.1111/faf.12003.
- Meador, M.R., and Goldstein, R.M. 2003. Assessing water quality at large geographic scales: Relations among land use, water physicochemistry, riparian condition, and fish community structure. *Environ. Manage.* **31**(4): 504–517. Springer. doi:10.1007/s00267-002-2805-5.
- Mehdi, H., Lau, S.C., Synyshyn, C., Salena, M.G., McCallum, E.S., Muzzatti, M.N., Bowman, J.E., Mataya, K., Bragg, L.M., Servos, M.R., Kidd, K.A., Scott, G.R., and Balshine, S. 2021. Municipal wastewater as an ecological trap: Effects on fish communities across seasons. *Sci. Total Environ.* doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143430.

-
- Meier, W., Bonjour, C., Wüest, A., and Reichert, P. 2003. Modeling the Effect of Water Diversion on the Temperature of Mountain Streams. *J. Environ. Eng.* **129**(8): 755–764. American Society of Civil Engineers (ASCE). doi:10.1061/(asce)0733-9372(2003)129:8(755).
- Mercaldo-Allen, R., and Goldberg, R. 2011. Review of the Ecological Effects of Dredging in the Cultivation and Harvest of Molluscan Shellfish. NOAA Tech Memo NMFS-NE-220.
- Midwood, J.D., and Chow-Fraser, P. 2012. Changes in aquatic vegetation and fish communities following 5 years of sustained low water levels in coastal marshes of eastern Georgian Bay, Lake Huron. *Glob. Chang. Biol.* doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02558.x.
- Minns, C.K., Randall, R.G., Smokorowski, K.E., Clarke, K.D., Vélez-Espino, A., Gregory, R.S., Courtenay, S., and LeBlanc, P. 2011. Direct and indirect estimates of the productive capacity of fish habitat under Canada's Policy for the Management of Fish Habitat: Where have we been, where are we now, and where are we going? doi:10.1139/F2011-130.
- Monirul Qader Mirza, M. 2006. The Ganges Water Diversion: Environmental Effects and Implications - An Introduction. *In* The Ganges Water Diversion: Environmental Effects and Implications. doi:10.1007/1-4020-2480-0_1.
- Montgomery, J.C., Jeffs, A., Simpson, S.D., Meekan, M., and Tindle, C. 2006. Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans. doi:10.1016/S0065-2881(06)51003-X.
- Moyle, P.B., and Israel, J.A. 2005. Untested assumptions: Effectiveness of screening diversions for conservation of fish populations. *Fisheries*. doi:10.1577/1548-8446(2005)30[20:UA]2.0.CO;2.
- MPO. 2013. [Cadre d'évaluation des exigences relatives au débit écologique nécessaire pour soutenir les pêches au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis. sci. 2013/017.
- MPO. 2020a. [Avis scientifique sur les séquences des effets pour la navigation maritime au Canada : Effets biologiques et écologiques](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/030.
- MPO. 2020b. Examen de l'Énoncé des pratiques canadiennes d'atténuation des ondes sismiques en milieu marin. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/005.
- 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.
- Mueller-Blenkle, C., Mcgregor, P.K., Gill, A.B., Andersson, M.H., Metcalfe, J., Bendall, V., Sigray, P., Wood, D., and Thomsen, F. 2010. EFFECTS OF PILE-DRIVING NOISE ON THE BEHAVIOUR OF MARINE FISH. *In* Design.
- Munsch, S.H., Cordell, J.R., and Toft, J.D. 2017, October 1. Effects of shoreline armouring and overwater structures on coastal and estuarine fish: opportunities for habitat improvement. Blackwell Publishing Ltd. doi:10.1111/1365-2664.12906.
- Murphy, M.L., and Koski, K. V. 1989. Input and Depletion of Woody Debris in Alaska Streams and Implications for Streamside Management. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8675(1989)009<0427:iadowd>2.3.co;2.
- Myers, M.J., and Resh, V.H. 2000. Undercut Banks: A Habitat for More Than Just Trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(2000)129<0594:ubahfm>2.0.co;2.

-
- Nagrodski, A., Raby, G.D., Hasler, C.T., Taylor, M.K., and Cooke, S.J. 2012. Fish stranding in freshwater systems: Sources, consequences, and mitigation. *J. Environ. Manage.* doi:10.1016/j.jenvman.2012.03.007.
- Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., and Smouse, P.E. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **105**(49): 19052–19059. doi:10.1073/pnas.0800375105.
- Nedelec, S.L., Campbell, J., Radford, A.N., Simpson, S.D., and Merchant, N.D. 2016. Particle motion: the missing link in underwater acoustic ecology. *Methods Ecol. Evol.* doi:10.1111/2041-210X.12544.
- Newcombe, C.P., and Jensen, J.O.T. 1996. Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8675(1996)016<0693:cssafa>2.3.co;2.
- Nielsen, M.H., Bach, L., and Bollwerk, S.M. 2015. Spreading of sediment due to underwater blasting and dredging: Field observations from quay construction in Sisimiut, Greenland. *Ocean Coast. Manag.* doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.09.012.
- Niimi, A.J. 1983. Biological and toxicological effects of environmental contaminants in fish and their eggs. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* doi:10.1139/f83-045.
- Nowacek, D.P., Thorne, L.H., Johnston, D.W., and Tyack, P.L. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. doi:10.1111/j.1365-2907.2007.00104.x.
- Nowak, P., Kucharska, K., and Kamiński, M. 2019. Ecological and health effects of lubricant oils emitted into the environment. doi:10.3390/ijerph16163002.
- O’Hanley, J.R., and Tomberlin, D. 2005. Optimizing the removal of small fish passage barriers. *Environ. Model. Assess.* doi:10.1007/s10666-004-4268-y.
- Öhman, M.C., Sigray, P., and Westerberg, H. 2007. Offshore Windmills and the Effects of Electromagnetic Fields on Fish.
- Parks, S.E., Cusano, D.A., Bocconcelli, A., Friedlaender, A.S., and Wiley, D.N. 2016. Noise impacts on social sound production by foraging humpback whales. *In Proceedings of Meetings on Acoustics.* doi:10.1121/2.0000247.
- Peake, S.J. 2008. Swimming performance and behavior of fish species endemic to Newfoundland and Labrador: A literature review for the purpose of establishing design and water velocity criteria for fishways and culverts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **2843**(2843): v + 52p.
- Perkin, J.S., Gido, K.B., Falke, J.A., Fausch, K.D., Crockett, H., Johnson, E.R., Sanderson, J., and Turner, B.L. 2017. Groundwater declines are linked to changes in Great Plains stream fish assemblages. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* doi:10.1073/pnas.1618936114.
- Popper, A.N., and Hastings, M.C. 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. doi:10.1111/j.1095-8649.2009.02319.x.
- Popper, A.N., and Hawkins, A.D. 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. doi:10.1111/jfb.13948.
- Popper, A.N., Hawkins, A.D., and Thomsen, F. 2020. Taking the Animals’ Perspective Regarding Anthropogenic Underwater Sound. doi:10.1016/j.tree.2020.05.002.

-
- Power, G., Brown, R.S., and Imhof, J.G. 1999. Groundwater and fish - Insights from northern North America. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/(SICI)1099-1085(19990228)13:3<401::AID-HYP746>3.0.CO;2-A.
- Power, M.E., Dietrich, W.E., and Finlay, J.C. 1996. Dams and downstream aquatic biodiversity: Potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *In Environmental Management.* doi:10.1007/BF01205969.
- Pusey, B.J., and Arthington, A.H. 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: A review. doi:10.1071/MF02041.
- Putland, R.L., and Mensinger, A.F. 2019. Acoustic deterrents to manage fish populations. doi:10.1007/s11160-019-09583-x.
- Qin, J., Cheng, F., Zhang, L., Schmidt, B.V., Liu, J., and Xie, S. 2019. Invasions of two estuarine gobiid species interactively induced from water diversion and saltwater intrusion. *Manag. Biol. Invasions.* doi:10.3391/MBI.2019.10.1.09.
- Quiros, T.E.A.L., Croll, D., Tershy, B., Fortes, M.D., and Raimondi, P. 2017. Land use is a better predictor of tropical seagrass condition than marine protection. *Biol. Conserv.* **209**: 454–463. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.biocon.2017.03.011.
- Raabe, J.K., and Hightower, J.E. 2014. Assessing Distribution of Migratory Fishes and Connectivity following Complete and Partial Dam Removals in a North Carolina River. *North Am. J. Fish. Manag.* **34**(5): 955–969. doi:10.1080/02755947.2014.938140.
- Radford, A.N., Kerridge, E., and Simpson, S.D. 2014. Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise? doi:10.1093/beheco/aru029.
- Randall, R.G., and Minns, C.K. 2002. Comparison of a Habitat Productivity Index (HPI) and an Index of Biotic Integrity (IBI) for measuring the productive capacity of fish habitat in nearshore areas of the Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* doi:10.1016/S0380-1330(02)70580-7.
- Randle, T.J., Bountry, J.A., Ritchie, A., and Wille, K. 2015. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: Erosion of reservoir sediment. *Geomorphology.* doi:10.1016/j.geomorph.2014.12.045.
- Reid, S.M., Ade, F., and Metikosh, S. 2004. Sediment entrainment during pipeline water crossing construction: predictive models and crossing method comparison. *J. Environ. Eng. Sci.* **3**(2): 81–88. doi:10.1139/s03-064.
- Reid, S.M., and Anderson, P.G. 1999. Effects of sediment released during open-cut pipeline water crossings. *Can. Water Resour. J.* **24**(3): 235–251. doi:10.4296/cwrj2403235.
- Reid, S.M., Isaac, G., Metikosh, S., and Evans, J. 2003. Physiological response of rainbow trout to sediment released during open-cut pipeline water crossing construction. *Water Qual. Res. J. Canada* **38**(3): 473–481. doi:10.2166/wqrj.2003.030.
- Reid, S.M., Stoklosar, S., Metikosh, S., and Evans, J. 2002. Effectiveness of isolated pipeline crossing techniques to mitigate sediment impacts on brook trout streams. *Water Qual. Res. J. Canada* **37**(2): 473–488. doi:10.2166/wqrj.2002.031.
- Robertson, M., Scruton, D., Gregory, R., and Clarke, K. 2006. Effect of suspended sediment on freshwater fish and fish habitat.
- Rolls, R.J., Leigh, C., and Sheldon, F. 2012. Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems: Ecological principles and consequences of alteration. *Freshw. Sci.* doi:10.1899/12-002.1.
-

-
- Rozas, L.P., and Odum, W.E. 1988. Occupation of submerged aquatic vegetation by fishes. *Test. Roles Food Refug.*
- Rusak, J.A., and Mosindy, T. 1997. Seasonal movements of lake sturgeon in Lake of the Woods and the Rainy River, Ontario. *Can. J. Zool.* doi:10.1139/z97-048.
- Rytwinski, T., Algera, D.A., Taylor, J.J., Smokorowski, K.E., Bennett, J.R., Harrison, P.M., and Cooke, S.J. 2017. What are the consequences of fish entrainment and impingement associated with hydroelectric dams on fish productivity? A systematic review protocol. *Environ. Evid.* **6**(1): 1–9. BioMed Central. doi:10.1186/s13750-017-0087-x.
- Sass, G.G., Shaw, S.L., Rooney, T.P., Rypel, A.L., Raabe, J.K., Smith, Q.C., Hrabik, T.R., and Toshner, S.T. 2019. Coarse woody habitat and glacial lake fisheries in the Midwestern United States: knowns, unknowns, and an experiment to advance our knowledge. *Lake Reserv. Manag.* doi:10.1080/10402381.2019.1630530.
- Schlacher, T.A., Mondon, J.A., and Connolly, R.M. 2007. Estuarine fish health assessment: Evidence of wastewater impacts based on nitrogen isotopes and histopathology. *Mar. Pollut. Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2007.07.014.
- Schreck, C.B. 2009. Accumulation and long-term effects of stress in fish. *In* The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare. doi:10.1079/9780851993591.0147.
- Seilheimer, T.S., Wei, A., Chow-Fraser, P., and Eyles, N. 2007. Impact of urbanization on the water quality, fish habitat, and fish community of a Lake Ontario marsh, Frenchman's Bay. *Urban Ecosyst.* **10**(3): 299–319. Springer. doi:10.1007/s11252-007-0028-5.
- Sethi, S.A., Selle, A.R., Doyle, M.W., Stanley, E.H., and Kitchel, H.E. 2004. Response of Unionid Mussels to Dam Removal in Koshkonong Creek, Wisconsin (USA). *Hydrobiologia* **525**(1–3): 157–165. doi:10.1023/B:HYDR.0000038862.63229.56.
- Shen, Y., and Diplas, P. 2010. Modeling Unsteady Flow Characteristics of Hydropeaking Operations and Their Implications on Fish Habitat. *J. Hydraul. Eng.* doi:10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000112.
- Shields, F.D., Knight, S.S., and Cooper, C.M. 1994. Effects of channel incision on base flow stream habitats and fishes. *Environ. Manage.* doi:10.1007/BF02393749.
- Sierra-Flores, R., Atack, T., Migaud, H., and Davie, A. 2015. Stress response to anthropogenic noise in Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquac. Eng.* doi:10.1016/j.aquaeng.2015.06.003.
- Simpson, S.D., Radford, A.N., Nedelec, S.L., Ferrari, M.C.O., Chivers, D.P., McCormick, M.I., and Meekan, M.G. 2016. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nat. Commun.* doi:10.1038/ncomms10544.
- Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., and Popper, A.N. 2010. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. doi:10.1016/j.tree.2010.04.005.
- Smokorowski, K.E., and Pratt, T.C. 2007. Effect of a change in physical structure and cover on fish and fish habitat in freshwater ecosystems- A review and meta-analysis. *Environ. Rev.* **15**: 15–41. doi:10.1139/a06-007.
- Solomon, K.R., Dalhoff, K., Volz, D., and Van Der Kraak, G. 2013. Effects of Herbicides on Fish. *In* Fish Physiology. doi:10.1016/B978-0-12-398254-4.00007-8.
-

-
- de Soto, N.A. 2016. Peer-reviewed studies on the effects of anthropogenic noise on marine invertebrates: From scallop larvae to giant squid. *In* *Advances in Experimental Medicine and Biology*. doi:10.1007/978-1-4939-2981-8_3.
- De Soto, N.A., Delorme, N., Atkins, J., Howard, S., Williams, J., and Johnson, M. 2013. Anthropogenic noise causes body malformations and delays development in marine larvae. *Sci. Rep.* doi:10.1038/srep02831.
- Stanley, E.H., and Doyle, M.W. 2003. Trading off: The Ecological Effects of Dam Removal. *Front. Ecol. Environ.* **1**(1): 15. doi:10.2307/3867960.
- Stanley, J.A., Radford, C.A., and Jeffs, A.G. 2012. Effects of underwater noise on larval settlement. *Adv. Exp. Med. Biol.* doi:10.1007/978-1-4419-7311-5_84.
- Steele, R.J., and Smokorowski, K.E. 2000. Review of literature related to the downstream ecological effects of hydroelectric power generation. *In* *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- Stone, M. 2000. The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer. *International Association of Hydrological Sciences*.
- Stromberg, J.C., Lite, S.J., Marler, R., Paradzick, C., Shafroth, P.B., Shorrock, D., White, J.M., and White, M.S. 2007. Altered stream-flow regimes and invasive plant species: The Tamarix case. *Glob. Ecol. Biogeogr.* doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00297.x.
- Suedel, B.C., Kim, J., Clarke, D.G., and Linkov, I. 2008. A risk-informed decision framework for setting environmental windows for dredging projects. *Sci. Total Environ.* doi:10.1016/j.scitotenv.2008.04.055.
- Szekeres, P., Eliason, E., Lapointe, D., Donaldson, M., Brownscombe, J., and Cooke, S. 2016. On the neglected cold side of climate change and what it means to fish. *Clim. Res.* **69**(3): 239–245. doi:10.3354/cr01404.
- Tabacchi, E., Correll, D.L., Hauer, R., Pinay, G., Planty-Tabacchi, A.M., and Wissmar, R.C. 1998. Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshw. Biol.* doi:10.1046/j.1365-2427.1998.00381.x.
- Tabacchi, E., Lambs, L., Guilloy, H., Planty-Tabacchi, A.M., Muller, E., and Décamps, H. 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2959::AID-HYP129>3.0.CO;2-B.
- Tank, J.L., Rosi-Marshall, E.J., Griffiths, N.A., Entekin, S.A., and Stephen, M.L. 2010. A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. doi:10.1899/08-170.1.
- Taormina, B., Bald, J., Want, A., Thouzeau, G., Lejart, M., Desroy, N., and Carlier, A. 2018, November 1. A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.rser.2018.07.026.
- Taylor, K.G., and Owens, P.N. 2009. Sediments in urban river basins: A review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. doi:10.1007/s11368-009-0103-z.
- Teleki, G.C., and Chamberlain, A.J. 1978. Acute Effects of Underwater Construction Blasting on Fishes in Long Point Bay, Lake Erie. *J. Fish. Res. Board Canada*. doi:10.1139/f78-190.

-
- Tetreault, G.R., Brown, C.J.M., Bennett, C.J., Oakes, K.D., McMaster, M.E., and Servos, M.R. 2013. Fish community responses to multiple municipal wastewater inputs in a watershed. *Integr. Environ. Assess. Manag.* doi:10.1002/ieam.1364.
- Theurer, F.D., Lines, I., and Nelson, T. 1985. INTERACTION BETWEEN RIPARIAN VEGETATION, WATER TEMPERATURE, AND SALMONID HABITAT IN THE TUCANNON RIVER. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* doi:10.1111/j.1752-1688.1985.tb05351.x.
- Thévenet, A., and Statzner, B. 1999. Linking fluvial fish community to physical habitat in large woody debris: Sampling effort, accuracy and precision. *Arch. fur Hydrobiol.* doi:10.1127/archiv-hydrobiol/145/1999/57.
- Tiemann, J.S. 2004. Short-term effects of logging and bridge construction on habitat of two Kansas intermittent streams. *Trans. Kansas Acad. Sci.* doi:10.1660/0022-8443(2004)107[0136:seolab]2.0.co;2.
- Tiemann, J.S., Stodola, A.P., and Vinsel, R.M. 2018. Danville Dam 2018 Salvage Report: Results of the fish and freshwater mussel surveys following the removal of the Danville Dam on the Vermilion River. Springfield, IL.
- Tornabene, B.J., Smith, T.W., Tews, A.E., Beattie, R.P., Gardner, W.M., and Eby, L.A. 2020. Trends in River Discharge and Water Temperature Cue Spawning Movements of Blue Sucker, *Cypleptus elongatus*, in an Impounded Great Plains River. *Copeia*. doi:10.1643/C1-19-256.
- Tricas, T., and Gill., A. 2011. Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species.
- Tsui, P.T.P., and McCart, P.J. 1981. Effects of stream-crossing by a pipeline on the benthic macroinvertebrate communities of a small mountain stream. *Hydrobiologia* **79**(3): 271–276. doi:10.1007/BF00006324.
- Vajda, Alan, M., Barber, L.B., Gray, J.L., Lopez, E.M., Woodling, J.D., and Norris, D.O. 2008. Reproductive disruption in fish downstream from an estrogenic wastewater effluent. *Environ. Sci. Technol.* doi:10.1021/es0720661.
- Valiela, I., and Cole, M.L. 2002. Comparative evidence that salt marshes and mangroves may protect seagrass meadows from land-derived nitrogen loads. *Ecosystems* **5**(1): 92–102. Springer. doi:10.1007/s10021-001-0058-4.
- Valiela, I., Costa, J., Foreman, K., Teal, J.M., Howes, B., and Aubrey, D. 1990. Transport of groundwater-borne nutrients from watersheds and their effects on coastal waters. *Biogeochemistry* **10**(3): 177–197. Kluwer Academic Publishers. doi:10.1007/BF00003143.
- Valley, R., Cross, T., and Radomski, P.J. 2004. The Role of Submersed Aquatic Vegetation as Habitat for Fish in Minnesota Lakes, Including the Implications of Non-native Plant Invasions and their Management Lead in Sport Fishing Tackle Policy View project Water Level Regulations on MN-Ontario border waters View project. Available from <https://www.researchgate.net/publication/237653258> [accessed 4 May 2021].
- Vitule, J.R.S., Skóra, F., and Abilhoa, V. 2012. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Divers. Distrib.* **18**(2): 111–120. doi:10.1111/j.1472-4642.2011.00821.x.
- Vlotman, W.F., Smedema, L.K., and Rycroft., D.W. 2020. Modern land drainage: Planning, design and management of agricultural drainage systems. CRC Press.

-
- Waco, K.E., and Taylor, W.W. 2010. The influence of groundwater withdrawal and land use changes on brook charr (*Salvelinus fontinalis*) thermal habitat in two coldwater tributaries in Michigan, U.S.A. *Hydrobiologia*. doi:10.1007/s10750-010-0204-0.
- Walsh, C.J., Roy, A.H., Feminella, J.W., Cottingham, P.D., Groffman, P.M., and Morgan, R.P. 2005. The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *In* *Journal of the North American Benthological Society*. doi:10.1899/04-028.1.
- Wang, C., Zheng, S.S., Wang, P.F., and Hou, J. 2015. Interactions between vegetation, water flow and sediment transport: A review. doi:10.1016/S1001-6058(15)60453-X.
- Wang, Q., Kim, D., Dionysiou, D.D., Sorial, G.A., and Timberlake, D. 2004. Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems - A literature review. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2004.01.010.
- Warren, M.L., and Pardew, M.G. 1998. Road Crossings as Barriers to Small-Stream Fish Movement. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1998)127<0637:rcabts>2.0.co;2.
- Weber, N., Bouwes, N., Pollock, M.M., Volk, C., Wheaton, J.M., Wathen, G., Wirtz, J., and Jordan, C.E. 2017. Alteration of stream temperature by natural and artificial beaver dams. *PLoS One*. doi:10.1371/journal.pone.0176313.
- Weilgart, L.S. 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. doi:10.1139/Z07-101.
- Weisberg, S.B., and Burton, W.H. 1993. Enhancement of Fish Feeding and Growth after an Increase in Minimum Flow below the Conowingo Dam. *North Am. J. Fish. Manag.* doi:10.1577/1548-8675(1993)013<0103:eoffag>2.3.co;2.
- Wenger, A.S., Harvey, E., Wilson, S., Rawson, C., Newman, S.J., Clarke, D., Saunders, B.J., Browne, N., Travers, M.J., Mcilwain, J.L., Erftemeijer, P.L.A., Hobbs, J.P.A., Mclean, D., Depczynski, M., and Evans, R.D. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish Fish.* **18**(5): 967–985. doi:10.1111/faf.12218.
- Westerberg, H., and Lagenfelt, I. 2008. Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fish. Manag. Ecol.* **15**(5–6): 369–375. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1111/j.1365-2400.2008.00630.x.
- Wichert, G.A., and Rapport, D.J. 1998. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin. *Environ. Manage.* doi:10.1007/s002679900117.
- Wilber, D.H., and Clarke, D.G. 2001. Biological Effects of Suspended Sediments: A Review of Suspended Sediment Impacts on Fish and Shellfish with Relation to Dredging Activities in Estuaries. *North Am. J. Fish. Manag.* **21**(4): 855–875. doi:10.1577/1548-8675(2001)021<0855:beossa>2.0.co;2.
- Wright, D.G., and Hopky, G.E. 1998. Guidelines for the use of explosives in or near Canadian fisheries waters. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2107.
- Wynn, T.M., Mostaghimi, S., and Alphin, E.F. 2004. The effects of vegetation on stream bank erosion. *In* *ASAE Annual International Meeting 2004*. doi:10.13031/2013.16423.
- Xenopoulos, M.A., and Lodge, D.M. 2006. Going with the flow: Using species-discharge relationships to forecast losses in fish biodiversity. *Ecology*. doi:10.1890/0012-9658(2006)87[1907:GWTFUS]2.0.CO;2.

Zhan, A., Zhang, L., Xia, Z., Ni, P., Xiong, W., Chen, Y., Douglas Haffner, G., and MacIsaac, H.J. 2015. Water diversions facilitate spread of non-native species. doi:10.1007/s10530-015-0940-1.

Zorn, S.A., Margenau, T.L., Diana, J.S., and Edwards, C.J. 1998. The Influence of Spawning Habitat on Natural Reproduction of Muskellunge in Wisconsin. *Trans. Am. Fish. Soc.* doi:10.1577/1548-8659(1998)127<0995:tiosho>2.0.co;2.

ANNEXE

Tableau 1A : Liste des 20 diagrammes de séquence des effets ayant été regroupés en 4 diagrammes.

<i>Activités en milieu terrestre</i>	<i>Activités en milieu aquatique</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Nettoyage ou entretien des ponts et des autres structures</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Ajout ou enlèvement de plantes aquatiques</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Excavation</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Modification du moment, de la durée ou de la fréquence du débit</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Nivellement</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Dragage</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Reforestation des berges</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Questions liées aux passages de poissons</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Pâturages riverains</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Relevés sismiques (eau salée)</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Utilisation d'explosifs</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Gestion des débris organiques</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Utilisation d'équipement industriel</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Mise en place de matériel ou de structures dans l'eau</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Défrichage de la végétation</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Enlèvement des structures</i>
-	<ul style="list-style-type: none">• <i>Utilisation d'explosifs</i>
-	<ul style="list-style-type: none">• <i>Utilisation d'équipement industriel</i>
-	<ul style="list-style-type: none">• <i>Gestion des eaux usées</i>
-	<ul style="list-style-type: none">• <i>Extraction de l'eau</i>
