



## CADRE SCIENTIFIQUE POUR ÉVALUER LA RÉPONSE DE LA PRODUCTIVITÉ DES PÊCHES À L'ÉTAT DES ESPÈCES OU DES HABITATS



Figure 1 : Les six régions administratives de Pêches et Océans Canada (MPO).

### Contexte

En juin 2012, le gouvernement du Canada a présenté des modifications à la Loi sur les pêches. Lorsqu'elles seront en vigueur, les dispositions relatives à la protection des pêches entraînent des modifications significatives à la protection des poissons et de leur habitat au Canada. Les avis et le soutien scientifiques sont nécessaires pour éclairer la mise en œuvre de ces dispositions. En particulier, les dispositions sur la protection des pêches ont pour but explicite de faire en sorte que la prise de décisions se traduise par la durabilité et la productivité continue des pêches commerciale, récréative et autochtone (CRA) (article 6.1) et ont pour exigence de considérer l'importance de la productivité de ces pêches lorsque vient le temps de prendre des décisions à propos de dommages sérieux au poisson et d'altérations permanentes à son habitat (article 6 de la Loi sur les pêches).

Un avis scientifique présenté en 2012 (MPO 2012) comprend les interprétations biologiques des termes productivité et importance et établit un cadre pour l'évaluation de l'importance des espèces visées pour la productivité continue des pêches CRA. Le cadre de contribution considère de quelle manière la productivité des espèces visées par les pêches CRA sera affectée par des modifications de l'état des espèces ou de leurs habitats susceptibles d'être touchés par les activités anthropiques. Le cadre permet de prendre en considération tant les impacts directs d'un projet sur la productivité des pêches CRA que les impacts cumulatifs potentiels de l'augmentation des agents de stress, actuels ou nouveaux (p. ex. des modifications du débit, l'ajout d'éléments nutritifs ou la sédimentation). Ces nouveaux agents de stress ou leur augmentation peuvent, à l'origine, ne pas avoir d'impact mesurable sur la productivité; toutefois, ils peuvent modifier l'état d'une espèce ou d'un habitat d'une manière qui interagit avec d'autres agents de stress pour diminuer la productivité.

Pour mettre en œuvre ce cadre, nous devons nous figurer de quelle manière la productivité variera suite aux modifications de l'état de certains aspects particuliers de l'habitat du poisson. Nous pouvons utiliser les diagrammes de séquence des effets (SdE) pour relier les activités anthropiques à des modifications

*d'état des composantes de l'habitat. Ensuite, les courbes de réponse productivité-état (P-E) forment le lien entre les modifications de l'état des composantes de l'habitat et les changements de la productivité. Dans le présent avis scientifique, certains diagrammes de SdE sont évalués, et un avis opérationnel et des orientations sont fournis concernant ces diverses relations productivité-état.*

*Le présent avis scientifique découle de la réunion d'examen national par les pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique sur les lignes directrices scientifiques supplémentaires concernant l'élaboration d'une politique de protection des pêches : outils opérationnels scientifiques pour la mise en œuvre qui s'est tenue du 12 au 14 mars 2013. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).*

## SOMMAIRE

- Le présent avis scientifique fournit des exemples de la relation productivité-état (P-E) qui décrivent les répercussions probables de différents types de modifications communes de l'habitat sur la productivité des pêches. On utilise les diagrammes de séquence des effets (SdE) pour relier des catégories d'activités de développement (agents de stress) aux types de modifications de l'habitat que ces activités causent vraisemblablement.
- Les exemples opérationnels fournis dans le présent avis scientifique démontrent que les répercussions des modifications d'état sur la productivité peuvent être décrites et quantifiées. Pour certaines composantes de l'habitat touchées par des agents de stress, il est possible d'établir des seuils en se fondant sur la littérature scientifique (p. ex. changements de température, effets du bruit et des vibrations, relation entre le débit et la réaction des communautés de poissons). Pour d'autres composantes (p. ex. effets des champs électromagnétiques), l'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas d'établir de tels seuils.
- Les courbes de réponse productivité-état n'affichent pas toutes la même forme. Pour les diagrammes de SdE examinés dans le présent document, les courbes démontrent la plupart du temps la présence d'une réaction curvilinéaire ou linéaire de déclin de la productivité, bien que d'autres formes soient aussi possibles.
- La plupart du temps, cette relation P-E est décrite par des mesures ou des indicateurs substituts de la productivité.
- Les annexes du présent rapport fournissent des orientations opérationnelles aux agents du Ministère, aux intervenants et aux promoteurs sur la forme probable de la relation entre la productivité des pêches et les modifications de l'état des espèces ou des habitats.

## INTRODUCTION

Les modifications apportées à la *Loi sur les pêches* en 2012 transforment de façon importante la manière dont on protège les poissons et leur habitat au Canada. Parmi ces modifications, les nouvelles dispositions sur la protection des pêches comprennent l'article 6.1 qui précise l'objet de la prise de décisions : « assurer la durabilité et la productivité continue des pêches commerciale, récréative et autochtone » Ces dispositions remplacent les anciennes dispositions de la *Loi sur les pêches* relatives à la protection de l'habitat du poisson, et l'article 35 modifié concerne l'interdiction « d'exploiter un ouvrage ou une entreprise ou d'exercer une activité entraînant des dommages sérieux à tout poisson visé par une pêche commerciale, récréative ou autochtone, ou à tout poisson dont dépend une telle pêche. » La *Loi sur les pêches* modifiée définit les dommages sérieux comme étant « la mort de tout poisson ou la modification

permanente ou la destruction de son habitat », et accorde au ministre des Pêches et des Océans le pouvoir d'autoriser un ouvrage, une entreprise ou une activité qui cause des dommages sérieux aux poissons, si cela est jugé acceptable après que l'on a pris en considération les facteurs précisés. L'article 6 de la *Loi sur les pêches* modifiée énumère les facteurs dont le ministre doit tenir compte aux fins de la prise de décisions :

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

Considérés ensemble, l'objet (article 6.1), l'interdiction (article 35) et les facteurs que le ministre doit prendre en considération (article 6) introduisent la nécessité d'établir des mesures de productivité et des méthodes pour évaluer l'incidence d'un projet sur la productivité. Le présent avis scientifique a été demandé pour compléter l'avis scientifique portant sur la protection des pêches (MPO 2012) qui a introduit un cadre conceptuel (courbes de réponse productivité-état) pour évaluer les impacts potentiels de projets sur la productivité en se fondant sur les modifications dans l'habitat ou les populations de poissons. Les courbes de réponse productivité-état illustrent les liens entre la séquence des effets et la productivité.

Lorsque les étapes d'évaluation esquissées dans le document de 2013 du MPO (2013a) (ci-après désigné « avis scientifique sur la productivité ») indiquent qu'un projet affectera vraisemblablement la productivité d'une espèce visée (où les « espèces visées » sont tous les poissons qui sont visés par les pêches CRA ou dont dépendent de telles pêches), par mortalité directe ou par l'entremise d'impacts sur l'habitat, des analyses plus poussées sont nécessaires pour que l'on puisse estimer l'ampleur des impacts sur la productivité.

Cette étape de l'analyse est principalement axée sur les courbes de réponse productivité-état tracées pour la plupart des paramètres ultimes découlant des modèles de séquence des effets (SdE) et s'appliquant aux types les plus communs d'habitats d'eau douce au Canada (bien que certains articles scientifiques portant sur des processus marins aient été également incorporés). Les orientations découlant de l'« avis scientifique sur la productivité » présument qu'il existe un diagramme de SdE pour toutes les grandes catégories d'agents de stress (projets) d'intérêt et que ces diagrammes font les liens avec les paramètres ultimes associés aux aspects du cycle biologique de la productivité du poisson. Dans cet avis scientifique, les orientations inscrivent les impacts potentiels d'un projet particulier, y compris la mortalité directe, dans un contexte écologique qui est approprié pour l'activité en question : l'espèce visée, les composantes du type d'habitat d'eau douce touchées et l'historique des autres impacts anthropiques sur l'habitat ou les pêches. À partir de ces renseignements, le personnel du MPO chargé de la mise en œuvre des dispositions relatives à la protection des pêches pourra appuyer ou prendre bon nombre de décisions qui s'imposent et qui sont esquissées dans la section « contexte » du présent avis scientifique.

L'ampleur du projet, ses impacts, de même que les espèces et les habitats touchés auront une incidence sur la façon dont les impacts potentiels sur la productivité devront être décrits et, dans certains cas, quantifiés. De façon générale (mais il existe des exceptions), les projets susceptibles d'avoir des impacts plus importants ou, encore, des impacts sur des espèces ou des types d'habitats rares ou protégés devront voir leurs impacts davantage quantifiés que les projets susceptibles d'avoir de faibles impacts ou des impacts sur des espèces abondantes ou des habitats étendus. Les orientations et les renseignements fournis dans le présent avis

scientifique et dans l'« avis scientifique sur la productivité » (MPO 2013a) constitueront l'approche fondamentale adoptée pour ces quantifications. Cependant, une quantification pleine et entière des impacts sur la productivité nécessitera souvent des avis supplémentaires sur l'utilisation de certaines mesures et de certains indicateurs de la productivité, et des décisions plus complexes reposeront en partie sur des compromis et la compensation d'impacts résiduels. Les orientations concernant ces aspects quantitatifs de l'évaluation des répercussions potentielles de projets sur la productivité seront formulées dans des avis scientifiques ultérieurs, de même qu'un examen plus détaillé des impacts et des courbes de réponse P-E appropriées pour des projets prévus dans des environnements estuariens, côtiers et marins.

## ÉVALUATION

### Courbes de réponse productivité-état

Le cadre de contribution (figure 1) considère de quelle manière la productivité des espèces visées par les pêches CRA sera affectée par des modifications de l'état des espèces ou de leurs habitats susceptibles d'être touchés par les activités anthropiques. La courbe de réponse productivité-état (P-E) peut prendre différentes formes (MPO 2012, Koops et al. manuscrit non publié<sup>1</sup>) en fonction l'espèce, du stade biologique, de l'écosystème, de la saison ou de l'état du stock. Aucune directive n'a été fournie dans l'avis scientifique 2012/063 du Secrétariat canadien de consultation scientifique sur la manière de choisir entre des courbes de réponse P-E possibles dans des cas particuliers, hormis la nécessité d'effectuer des examens plus poussés de la littérature scientifique. Cependant, la réalisation d'une revue de la littérature pour étayer chaque décision prise dans le cadre d'un programme de gestion n'est ni réalisable ni susceptible de se traduire par une pratique cohérente. Le présent avis scientifique contient des conseils sur le choix de courbes de réponse P-E dans bon nombre de situations susceptibles de se produire en pratique.

La disponibilité des données déterminera la précision avec laquelle les courbes de réponse P-E pourront être décrites. Il existe trois options.

- 1) Lorsque peu ou pas de données sont disponibles concernant la forme de la relation entre la productivité des pêches et les modifications d'état, on peut utiliser une courbe de réponse par défaut pour appuyer la prise de décisions.
- 2) Lorsque des données sont disponibles dans les ouvrages scientifiques pour établir la forme de la courbe de réponse P-E, des courbes génériques peuvent être décrites d'après ces données. Ces courbes peuvent être axées sur d'autres espèces ou écosystèmes que ceux considérés, tant que l'on justifie dans une certaine mesure la généralisation parmi les espèces ou les écosystèmes. Les courbes génériques devraient fournir une estimation plus précise de la forme de la courbe que l'option par défaut.
- 3) Lorsqu'un grand nombre de données propres au site sont disponibles, il peut être possible de décrire des courbes de réponse P-E propres à une espèce ou à un site. Il existe de très bonnes raisons scientifiques de favoriser cette approche sur le plan conceptuel, mais elle pourrait constituer une exception, car peu d'espèces ou d'écosystèmes ont fait l'objet d'études suffisamment approfondies pour permettre l'élaboration de courbes propres aux sites. Cependant, lorsque des données suffisantes

---

<sup>1</sup> Koops, M. A., Randall, R. G., Clarke, K. D., Enders, E. C., Smokorowski, K. E., Doka, S. E., Watkinson, D. A., et Bradford, M. J. 2013. *A Review of Scientific Evidence Supporting Generic Productivity-State Response Curves*. Manuscrit non publié.

sur l'espèce ou l'écosystème sont disponibles, il est préférable d'utiliser ces données pour appuyer la prise de décisions.

Dans le présent avis scientifique, on décrit d'abord une courbe de réponse P-E par défaut. Ensuite, pour certains paramètres ultimes associés aux diagrammes de SdE, on propose un type de courbe générique de réponse P-E avec la justification qui a guidé ce choix (d'après un examen de la littérature scientifique).

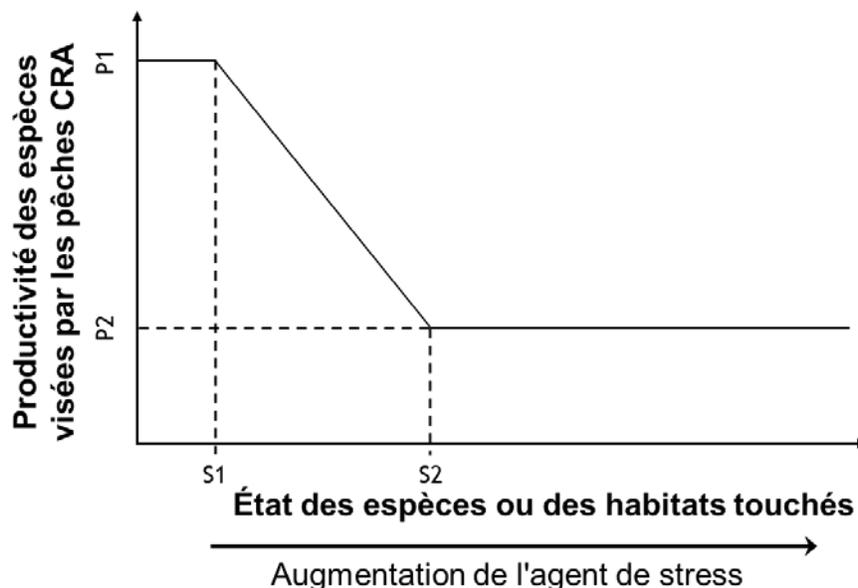


Figure 2 : Schéma du cadre de contribution L'axe des ordonnées indique la productivité mesurée selon un continuum allant de faible (bas) à élevée (haut). L'axe des abscisses indique l'état selon un continuum allant de bon (à gauche) à piètre (à droite); le déplacement le long de l'axe des abscisses représente une modification de l'état des espèces ou des habitats à mesure de l'augmentation des agents de stress. Quatre points de référence sont établis : P1 est la productivité de référence des espèces visées par les pêches CRA; P2 est la productivité réduite des espèces visées par les pêches CRA dans des conditions de modification totale ou cumulative maximale des espèces ou habitats touchés; S1 représente un état seuil à la gauche duquel les agents de stress ont peu ou pas d'impact sur la productivité des pêches (c.-à-d. le plateau supérieur) et à la droite duquel la productivité décline à mesure que l'état se détériore; S2 est le seuil à partir duquel la modification totale ou cumulative maximale des espèces ou habitats touchés est suffisamment importante pour éliminer la contribution de ces espèces ou habitats à la productivité continue des espèces visées par les pêches CRA (c.-à-d. plateau inférieur).

### Méthodes d'élaboration des courbes de réponse P-E

Pour chaque paramètre ultime associé aux divers diagrammes de SdE, on a recensé la littérature scientifique pour déterminer : i) comment l'agent de stress, représenté par le paramètre ultime, pourrait influencer sur la productivité des pêches; ii) les mesures appropriées de la productivité; iii) les éléments probants sur lesquels pourrait reposer une courbe de réponse P-E générique; iv) toute condition susceptible de modifier la forme de la courbe de réponse P-E. Pour refléter l'interrelation entre bon nombre des effets considérés, les courbes de réponse P-E sont souvent établies d'après des correspondances plutôt que construites à partir de données répétées. Ces points de correspondance renvoient à d'autres courbes de réponse P-E qui pourraient être pertinentes pour la prise de décisions en raison des interrelations entre variables.

Les courbes de réponse P-E génériques reposent sur les meilleures données actuellement disponibles et devront être révisées lorsque de nouvelles connaissances suffisantes seront disponibles. Comme il s'agit de courbes généralisées pour un agent de stress donné, elles peuvent ne pas représenter une espèce ou un écosystème particuliers avec précision. En effet, elles sont conçues pour décrire comment l'on s'attend généralement à ce que la productivité réponde à une augmentation de la pression causée par un agent de stress selon un éventail raisonnable de niveaux de pression. Les graphiques présentés ne comportent pas d'échelles quantitatives, car il n'est pas approprié, du point de vue biologique, d'établir des points de référence absolus universels pour des modifications de productivité ou de composantes de l'habitat. Les cycles biologiques et les productivités intrinsèques des espèces, de même que leur sensibilité à l'état et aux tendances affichées par différents types de composantes de l'habitat, varient de façon trop importante pour un seul nombre figurant sur l'un ou l'autre des axes pour représenter la même chose, sur le plan écologique, pour toutes les espèces et tous les écosystèmes. Malgré cette spécificité, l'origine de chaque graphique peut être établie comme étant (0,0), ce qui signifie que le point le plus bas sur l'axe de la productivité est considéré comme représentant la situation où la productivité des pêches dans la zone d'intérêt ne peut être maintenue pour l'espèce en question. La position la plus à gauche sur l'axe de l'état est considérée comme représentant le cas où l'habitat affiche ses conditions de référence.

L'établissement de la « condition de référence » à partir de laquelle les impacts potentiels sont évalués relève d'une décision stratégique. Les politiques environnementales (y compris les objectifs des pêches) peuvent fournir des orientations sur les niveaux acceptables d'impacts historiques et préciser la ligne de référence opérationnelle comme étant un état particulier de l'habitat ou d'une population ou, encore, leur état à un moment particulier. En l'absence d'orientation stratégique, l'état « originel » de l'écosystème devrait être supposé.

La définition d'une condition de référence pour l'axe des abscisses et pour des écosystèmes particuliers devra faire l'objet d'un travail plus poussé, d'un point de vue tant stratégique que scientifique.

Cependant, quelle que soit l'origine de l'axe des abscisses, bon nombre d'espèces et d'habitats ne se trouveront pas à l'intersection avec l'axe des ordonnées de ces courbes au moment où le projet sera évalué. Il sera nécessaire de déterminer l'état actuel de l'espèce ou de l'habitat touché. Parmi les points à considérer de façon plus approfondie figurent la manière dont les impacts antérieurs sur la zone touchée par le projet doivent être pris en considération et la manière dont les effets cumulatifs d'activités multiples différentes dans cette zone ou de la répétition multiple de projets similaires dans des zones adjacentes doivent être traités dans chaque évaluation de projet. Dans la même veine, la position la plus élevée (l'intersection avec l'axe des ordonnées) sur l'axe de la productivité peut être interprétée, sur le plan écologique, comme la productivité durable maximale, la productivité d'une population saine ou la productivité associée aux objectifs de gestion des pêches. Enfin, la position la plus à droite sur l'axe des abscisses est intrinsèquement ouverte. Elle ne peut pas toujours être prise en considération, car les modifications sont tellement importantes que la composante de l'habitat n'existe plus. Tandis que certaines composantes (comme la présence de macrophytes) peuvent être complètement éliminées, pour d'autres, comme la température, il ne peut y avoir de situation où il n'y a « aucune température », bien qu'il puisse y avoir des situations où la température a changé au point où elle se trouve au-delà de la tolérance thermique de l'espèce en question. Dans d'autres cas, même l'élimination d'une composante peut ne pas entraîner l'atteinte d'une productivité nulle, car certaines espèces peuvent maintenir une productivité non nulle même lorsqu'une composante comme la présence de macrophytes est totalement éliminée. Dans ces courbes de réponse P-E, nous avons tenté de représenter l'échelle de l'axe des états comme l'éventail des impacts en incluant le « pire des scénarios » plausibles, soit le

cas où une composante de l'habitat peut être altérée par un seul projet. Pour certaines courbes, cela signifie que la réponse présente une intersection avec l'axe d'état (c.-à-d. l'ampleur de la modification de l'habitat est suffisamment importante pour éliminer la productivité) et, pour d'autres courbes, selon les meilleurs éléments probants disponibles, il n'y a pas d'intersection (c.-à-d. il existe une certaine productivité, bien que réduite, même en cas de modification de l'habitat la plus extrême plausible).

Plusieurs courbes sont présentées pour les cas où la forme de la courbe peut dépendre des déterminants décrits. Dans certains cas, il peut exister une réponse augmentation-diminution (subsidy-stress response) où l'ajout initial d'un certain agent de stress pourrait se traduire par une augmentation de la productivité. Bien que cette relation soit réelle et documentée dans la littérature scientifique, elle n'est pas pertinente dans le cas de l'évaluation de la perte de productivité potentielle. Il peut être pertinent de tenir compte des subsides dans la prise en considération des facteurs de compensation.

### Courbe de réponse P-E par défaut

Lorsqu'aucune donnée permettant de déterminer la forme de la courbe de réponse P-E n'est disponible, une approche prudente consiste à choisir la réponse linéaire (figure 3). Ce choix permet d'éviter de poser des hypothèses sur l'existence d'un plateau initial ou d'une hausse de la productivité à de faibles niveaux de pression ou de modification des espèces ou de leur habitat. Essentiellement, si l'on veut protéger les pêches et veiller à leur durabilité et à leur productivité continue, l'hypothèse par défaut doit être la suivante, à savoir que tout agent de stress dégradant l'état d'une espèce ou d'un habitat touché conduira à un déclin directement proportionnel de la productivité des pêches. La pente de la proportionnalité va de la productivité plausible maximale associée à l'état de référence de l'habitat ou de la population à la productivité zéro d'un habitat ou d'une population dont l'état est considéré comme incapable de soutenir une quelconque productivité. Le choix d'une autre courbe de réponse P-E comme courbe par défaut risquerait l'autorisation d'activités susceptibles de réduire la productivité des pêches en vertu de l'hypothèse erronée selon laquelle la productivité des pêches ne serait pas négativement affectée.

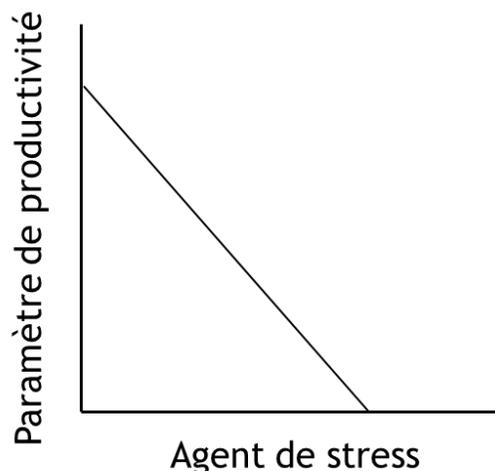


Figure 3 : Courbe de réponse productivité-état par défaut proposée lorsque peu ou pas de données sont disponibles, concernant la forme des répercussions des modifications de l'état sur la productivité des pêches

## Courbes de réponse P-E génériques

Bien qu'il existe une certaine variabilité parmi les courbes de réponse productivité-état (P-E) décrites (figure 4), la plupart d'entre elles affichent une forme curvilinéaire et, possiblement, un plateau supérieur et un seuil initial (S1). La plupart des courbes de réponse P-E montrent également que ces agents de stress réduisent vraisemblablement la productivité des pêches à zéro si leur expression est suffisamment forte. Dans certains cas, une courbe de relation linéaire est une possibilité, ce qui renforce l'argument selon lequel il convient d'utiliser une courbe de réponse P-E par défaut linéaire lorsque les données sont limitées.

On trouvera dans les annexes 1 à 13 ci-après des justifications de l'établissement de courbes de réponse productivité-état génériques pour douze paramètres ultimes associés aux diagrammes de SdE.

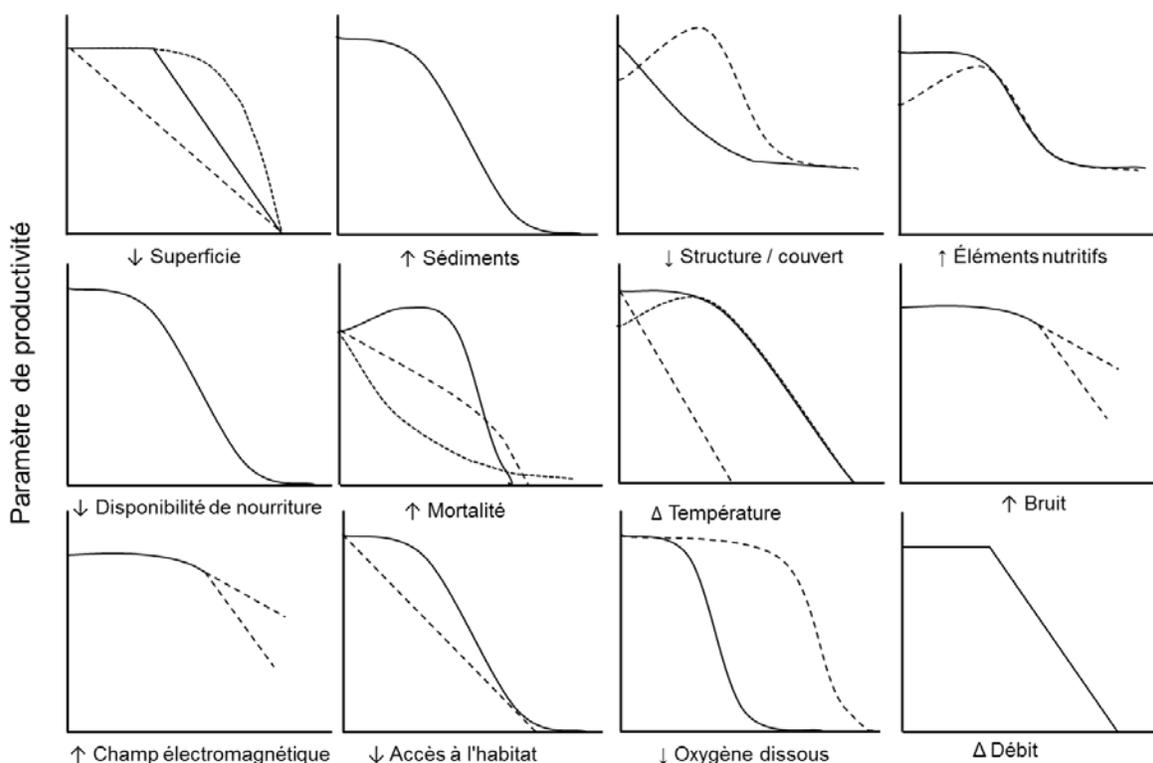


Figure 4 : Courbes de réponse productivité-état (P-E) génériques décrites pour 12 paramètres ultimes associés aux diagrammes de séquence des effets (SdE). Aucune courbe n'est proposée pour les modifications de la lumière (voir les explications ci-après). Les lignes pointillées/tiretées indiquent les répercussions potentielles de la présence de certains agents de stress sur différentes mesures de productivité. Veuillez vous reporter aux sections pertinentes dans le présent document (et au document de recherche l'accompagnant) pour des explications supplémentaires.

## Sources d'incertitude

Des sources d'incertitude potentielles s'appliquent à chaque agent de stress dont il est question. Pour une discussion détaillée sur les sources d'incertitude, veuillez consulter les annexes 1 à 13 ci-après.

## CONCLUSION

Le présent avis scientifique résume les résultats d'un document de recherche (Koops et al. manuscrit non publié<sup>1</sup>) connexe et fournit des exemples de courbes de réponse productivité-état (P-E). Conformément avec les dispositions sur la protection des pêches, ces courbes sont décrites en fonction des mesures ou des substituts de la productivité (voir l'« avis scientifique sur la productivité ») et de composantes fondamentales d'habitats ou de populations qui, selon les conclusions des analyses de la séquence des effets, sont susceptibles d'être altérées par différentes catégories de projets. Les exemples fournis dans le présent avis scientifique démontrent que les répercussions des modifications de l'état sur la productivité peuvent être décrites et quantifiées et que, pour certains agents de stress, il est possible de déterminer des seuils au moyen de la littérature scientifique. Les courbes de réponse productivité-état n'affichent pas toutes la même forme. Parmi les formes identifiables, la plupart affichent une réponse curvilinéaire ou linéaire de diminution de la productivité, mais d'autres formes sont documentées ou présumées.

## AUTRES CONSIDÉRATIONS

Les effets cumulatifs et les agents de stress multiples constituent des questions particulières qui nécessitent un examen plus approfondi. Lorsqu'il s'agit de prendre des décisions, il faut considérer tant l'accumulation de multiples impacts que les impacts de plus d'un agent de stress dans le cadre d'un projet unique. Une partie de la littérature scientifique donne à penser qu'il serait préférable de considérer les effets cumulatifs sur le plan stratégique ou à l'échelle régionale plutôt qu'à l'échelle du projet lui-même. Les courbes de réponse P-E présentées s'intègrent bien dans le cadre d'une évaluation des effets cumulatifs, mais, compte tenu de leur conception actuelle, ne permettent pas de tenir compte intégralement des effets cumulatifs. Les décisions prises à l'échelle d'un projet devront prendre en considération les impacts de plusieurs agents de stress associés à un projet donné. Chaque courbe de réponse P-E est présentée comme étant la répercussion sur la productivité de la présence d'un agent de stress unique (p. ex. modifications de la température ou du couvert). La plupart des projets comportent plusieurs agents de stress, et certains de ces derniers peuvent interagir (p. ex. l'enlèvement du couvert peut affecter la température).

Dans le présent document, aucun avis n'est fourni sur la combinaison des effets de plusieurs agents de stress associés à un projet unique. Il faudra solliciter d'autres avis scientifiques sur le traitement de plusieurs agents de stress et des effets cumulatifs pour appuyer les décisions prises en vertu des dispositions sur la protection des pêches, car ces facteurs ont d'importantes implications pour la quantification des impacts sur la productivité des pêches et la mise en œuvre de ces dispositions.

Les projets qui n'entraînent pas de modifications mesurables des habitats ou des populations ne peuvent satisfaire au critère de « dommage sévère » établi dans la *Loi*. Dans ces cas, le présent cadre ne s'applique pas. Nonobstant les pressions sous l'effet desquelles les courbes de réponse P-E prévoient des pertes substantielles de productivité dans un certain éventail de composantes d'un habitat ou d'une population représentées sur l'axe des abscisses, il pourrait être souhaitable de mettre au point d'autres outils pour gérer les nombreux projets qui sont menés à l'échelle d'un bassin hydrographique.

Des études scientifiques plus poussées devront être menées si l'on veut fournir des orientations concernant la définition de l'« état de référence » associée à des écosystèmes particuliers sur l'axe des abscisses.

Enfin, nous devons réexaminer périodiquement l'avis figurant dans le présent rapport, notamment pour mettre à jour les annexes au fur et à mesure que de nouvelles données seront disponibles, pour inclure de nouveaux agents de stress non traités dans le présent rapport et pour fournir un examen plus détaillé des impacts et des courbes de réponse P-E appropriés pour des projets menés dans des environnements estuariens, côtiers ou marins.

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion d'examen national par les pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique sur les lignes directrices scientifiques supplémentaires concernant l'élaboration d'une politique de protection des pêches : outils opérationnels scientifiques pour la mise en œuvre qui s'est tenue du 12 au 14 mars 2013. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution.](#)

MPO. 2012. [Avis scientifique pour guider l'élaboration d'une politique sur la protection des pêches au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/063

MPO. 2013a. Cadre scientifique pour l'analyse des variations de la productivité dans le contexte des modifications apportées à la *Loi sur les pêches*. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/071

MPO. 2013b. 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

## ANNEXE 1 – PERTE DE SURFACE MOUILLÉE

La perte de surface mouillée s'entend d'une perte permanente (assèchement) d'une surface d'un habitat d'un cours d'eau, d'un lac, d'un estuaire ou d'un littoral. La perte de surface mouillée a un impact sur la productivité des pêches, car elle entraîne la diminution de l'habitat disponible fréquenté et, par conséquent, la réduction de la taille maximale durable de la population (capacité biotique). Cela se produit lorsque la capacité biotique de la population (et le rendement des pêches) est proportionnelle à la superficie de l'habitat.

### Causes habituelles

- Tout projet mené dans l'eau qui entraîne une perte de surface mouillée, notamment :
  - le remplissage, c.-à-d. le dépôt de matières au fond d'une étendue d'eau;
  - l'installation dans l'eau de structures encombrantes (p. ex. piles d'un pont);
  - la destruction d'un lac entier (comme l'élimination dans un lac de résidus miniers);
  - la mise en place d'obstacles artificiels qui empêchent l'accès des poissons à l'habitat (décrite sous la rubrique « Modifications de l'accès à l'habitat »).

### Relation

- La relation entre la zone de l'habitat (axe des abscisses) et la productivité (axe des ordonnées) est curvilinéaire, la productivité affichant un déclin marqué au-delà d'un certain seuil de perte de surface (voir la figure).
- La largeur du plateau supérieur, avant le seuil, dépend du type et de la disponibilité de l'habitat et s'échelonne de zéro (absence de seuil si l'habitat est unique et n'affiche pas d'abondance ailleurs) à large (si le type d'habitat est abondant ailleurs et que le cycle biologique de l'espèce permet certains processus compensatoires dans d'autres zones).
- La relation linéaire (absence de seuil et réduction proportionnelle de la productivité) représente la courbe par défaut selon une approche prudente.

Même si la relation est curvilinéaire, on peut réaliser des approximations grâce à des régressions linéaires ou linéaires segmentées, les premières étant privilégiées (lorsqu'il n'y a pas de raison de s'attendre à la présence d'un vaste plateau avant le seuil) et les secondes représentant une autre possibilité (lorsqu'il y a des raisons de s'attendre à la présence d'un plateau).

### Mécanismes

- La perte de surface mouillée a un impact sur la productivité des pêches, car elle entraîne la diminution de l'habitat disponible fréquenté et, par conséquent, la réduction de la taille maximale durable de la population (capacité biotique).
- Bon nombre d'indices vitaux, comme le recrutement, la croissance, la survie et les déplacements, sont liés à la zone fréquentée. Ainsi, la capacité biotique de la population (et le rendement des pêches) est proportionnelle à la superficie de l'habitat.

### Éléments probants

- Les relations entre la surface de l'habitat et la productivité sont documentées dans la littérature scientifique.
  - Modèles quantitatifs habitat-population

- Limites de conservation reposant sur la superficie de l'habitat établies dans les plans de gestion des pêches (p. ex. 2,4 œufs/m<sup>2</sup> pour le saumon de l'Atlantique).
- Modèles empiriques stock-recrutement qui démontrent une certaine compensation ou, au moins, une dépendance à la densité de la réponse de la productivité (R), de la taille de la population de géniteurs et, par inférence, de l'habitat disponible pour soutenir cette population.
- Modèles empiriques de prévision, à l'échelle de l'écosystème, de la biomasse, de la production ou du rendement des poissons.

### Mesures

- L'indicateur sur l'axe des états (agent de stress) de la relation est la quantité de chaque type d'habitat affichant une perte.
- Les indicateurs sur l'axe de la productivité dépendent de la portée spatiale du projet. Pour les projets dont la portée va de faible à modérée, qui peuvent être mesurés en mètres carrés, les indicateurs sont la croissance, la survie, la reproduction, les déplacements ou d'autres composantes du cycle biologique. Pour inférer les répercussions des projets dont la taille va de faible à modérée sur la productivité de la totalité d'une pêche, il faut mettre à l'échelle la perte locale de productivité (axe des ordonnées) en fonction de la proportion de l'habitat total disponible pour la population que représente la surface de l'habitat touché (éventail complet de l'axe des abscisses).
- Ou, encore, on peut évaluer un habitat affichant une superficie allant de faible à modérée en appliquant une mise à l'échelle inférieure proportionnelle similaire, grâce à nos connaissances de la productivité régionale, par rapport à la superficie relative de la zone touchée.
- Pour les projets de grande portée, mesurés en hectares (ha), les indicateurs sont la production, la biomasse, l'abondance ou le rendement.

### Déterminants

- La relation surface-productivité généralisée et la perte inférée de capacité biotique pourraient s'appliquer à la plupart des régions du Canada.
- Cependant, les facteurs qui ont une incidence sur le plateau et la pente propres à la relation comprennent les suivants :
  - Écosystème : le seuil et la pente sont liés à la productivité de l'écosystème (plateau plus étroit et pente plus accentuée pour les écosystèmes hautement productifs comme les milieux humides côtiers et les estuaires que pour les écosystèmes moins productifs comme les zones marines côtières exposées ou les rivages exposés des grands lacs).
  - Type d'habitat : plateau réduit ou absent et pente marquée si l'habitat est unique (rare), s'il s'agit d'un habitat essentiel du poisson (conséquences importantes sur la valeur adaptative) ou d'une zone d'importance écologique pour d'autres raisons (habitat qui soutient une productivité et une biodiversité relativement élevées).
  - Disponibilité de l'habitat : plateau réduit ou absent si la présence d'habitat similaire à proximité du projet est limitée.
  - Taille corporelle : tant pour les espèces que pour les stades biologiques au sein d'une même espèce, les poissons à forte taille corporelle ont besoin de plus d'habitats que ceux qui affichent une faible taille corporelle. Ainsi, le seuil et la

la pente de la relation surface-productivité dépendent tant de l'espèce que du stade biologique.

### Mises en garde

- Outre la perte de surface mouillée, la qualité de l'habitat à proximité du projet peut être touchée, si des effets résiduels sont enregistrés malgré l'application de mesures d'atténuation.
- Si l'habitat local est touché, d'autres paramètres ultimes associés à la séquence des effets sont préoccupants; il s'agit notamment de modifications de la structure de l'habitat, du couvert et des concentrations de sédiments et de leurs courbes de réponse P-E pertinentes. Ces paramètres ultimes peuvent affecter la productivité en raison de leurs impacts sur les indices vitaux.
- Les impacts de projets dont la portée va de faible à modérée pourraient être difficiles à mesurer à l'échelle d'une population visée par des pêches CRA, mais pourraient se révéler significatifs lorsque cumulés.
- Si l'accès à l'habitat était modifié, une relation curvilinéaire s'appliquerait (décrite sous la rubrique « Modifications de l'accès à l'habitat »).

### Autres courbes pertinentes

- Voir la section portant sur le débit de base et les changements hydrodynamiques. La perte de surface mouillée peut avoir des répercussions sur bon nombre d'autres paramètres physiques et ne devrait pas être prise en considération de façon isolée. Les courbes de réponse P-E pour la température de l'eau, l'oxygène, les concentrations d'éléments nutritifs, l'accès à l'habitat et la sédimentation sont pertinentes lorsque l'on considère la perte de surface mouillée.

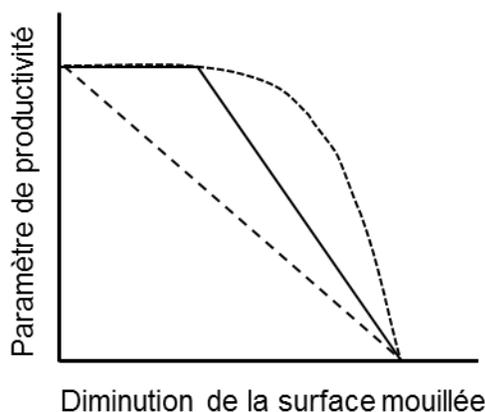


Figure 5 : Répercussions de la diminution de la surface mouillée sur la productivité des pêches

### Résumé

- La relation généralisée entre la perte de surface mouillée et la productivité affiche des fonctions qui sont linéaire (par défaut, ligne tiretée), segmentée (ligne continue) ou curvilinéaire.
- Les données tirées de la littérature scientifique appuient fortement l'existence d'une relation curvilinéaire.
- La largeur du plateau supérieur, avant un déclin de la productivité, dépend de la disponibilité de l'habitat et du type d'habitat perdu au site du projet ou altéré à proximité de celui-ci. Il ne devrait pas y avoir de seuil lorsque l'habitat perdu est unique ou essentiel (pertinence élevée), et l'on devrait observer un seuil plus large lorsque l'habitat est abondant ou lorsqu'un habitat de type similaire est disponible à proximité du projet.

## ANNEXE 2 – MODIFICATIONS DES CONCENTRATIONS DE SÉDIMENTS

### Causes habituelles

- Les modifications des concentrations de sédiments peuvent résulter de la hausse des sédiments en suspension dans la colonne d'eau ou des matières à grains fins dans le lit des cours d'eau. Ce paramètre ultime est présent dans la plupart des modèles de SdE associés aux activités menées sur terre ou dans l'eau. Le fait que la réaction des poissons à la présence de sédiments en suspension soit fonction de la concentration des sédiments et de la durée de l'exposition est bien documenté.

### Relation

- La relation est non linéaire. Nous disposons de certains éléments probants indiquant la présence d'un plateau initial, où de faibles hausses des concentrations de sédiments n'ont pas d'impact significatif sur la productivité. La présence de sédiments en suspension en très grande quantité peut tuer les poissons. De plus faibles concentrations peuvent se traduire par des effets sublétaux, des troubles du comportement et des effets sur la croissance, y compris la réduction du taux de survie des œufs. La largeur du plateau supérieur et le taux de déclin dépendront de l'espèce et des conditions de l'environnement local.
- Les hausses des concentrations de sédiments peuvent affecter la productivité des poissons par les mécanismes suivants :
  - dans l'habitat du poisson, l'accumulation de sédiments remplit les espaces interstitiels, ce qui les rend moins propices à la survie des œufs et à l'émergence des larves;
  - présence d'effets physiologiques directs, notamment ceux qui sont sublétaux;
  - diminution des comportements de recherche de nourriture et de la croissance du fait de la turbidité, du déclin de la production primaire, de la croissance des macrophytes et de la réduction du nombre d'invertébrés benthiques;
  - présence de comportements d'évitement de la turbidité (lorsque cela est possible); on sait que la turbidité dégrade les comportements associés aux hiérarchies de dominance, à la territorialité, au rassemblement en bancs, etc.;

Du fait de ces processus, on assiste à une réduction de l'abondance du poisson et à des modifications de la structure des communautés qui sont liées à l'accumulation de sédiments dans les cours d'eau.

### Mécanismes

- Les modifications des concentrations de sédiments peuvent se traduire par des hausses des sédiments en suspension dans la colonne d'eau ou de matières à grains fins dans le lit des cours d'eau. Les sédiments en suspension peuvent interférer avec diverses fonctions biologiques ou physiologiques des poissons, lesquels ne sont pas acclimatés à de telles concentrations de sédiments.

### Éléments probants

- La majorité des études ont été menées sur des salmonidés; lorsque des études ont été menées sur d'autres espèces, les résultats sont généralement cohérents avec ceux des études menées sur le saumon. Les poissons qui utilisent des sédiments meubles

constituent des exceptions; ces poissons peuvent afficher une abondance accrue avec l'augmentation de la turbidité.

**Mesures**

- Les mesures de productivité sont notamment la production des poissons, leur abondance, la structure de leurs communautés, leur survie et leur croissance.

**Déterminants**

- Les déterminants potentiels de l'impact des concentrations de sédiments sur la productivité des pêches comprennent la durée d'exposition (des expositions plus brèves ont de plus faibles impacts), le débit des cours d'eau (des débits plus élevés dispersent plus efficacement les sédiments), la taille corporelle des poissons (de plus faibles tailles corporelles sont associées à une moindre tolérance aux sédiments) et la température (la tolérance est moindre à des températures plus basses). Ces déterminants peuvent changer la largeur du plateau supérieur ou la variation de la partie déclinante de la courbe de réponse P-E, mais on ne s'attend pas à ce qu'ils modifient la forme curvilinéaire de cette courbe.

**Autres courbes pertinentes**

- Parmi les autres courbes de réponse P-E pouvant avoir une incidence sur la réaction aux modifications des concentrations de sédiments figurent celles de la température, du débit de base et des changements hydrodynamiques. Les modifications des concentrations de sédiments peuvent aussi interagir avec des changements de la structure et du couvert, des concentrations d'éléments nutritifs, de la disponibilité de la nourriture, de l'accès à l'habitat, de la lumière et de l'oxygène dissous.

**Mises en garde**

- Certaines espèces de poissons (p. ex. l'omble à tête plate) et stades biologiques (p. ex. stades précoces) affichent une sensibilité particulière à des hausses des concentrations de sédiments. À ces espèces et stades sensibles peuvent s'associer des plateaux initiaux petits ou absents, qui illustrent les déclins de la productivité accompagnant toute hausse des concentrations de sédiments.

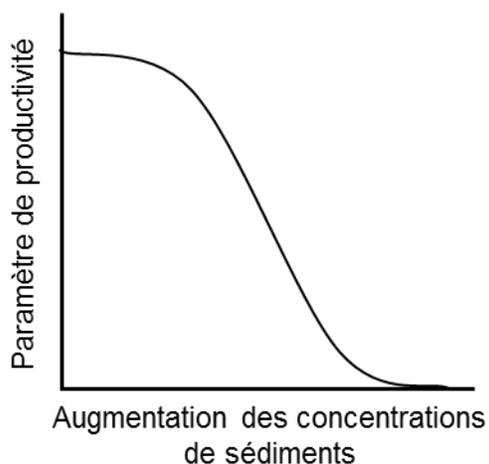


Figure 6 : Répercussions de la hausse des concentrations de sédiments sur la productivité des pêches

#### Résumé

- La productivité des pêches peut diminuer en réaction à des hausses des concentrations de sédiments, que ceux-ci soient en suspension ou forment des dépôts.
- On dispose de nombreux éléments probants selon lesquels les sédiments peuvent tuer les poissons, entraîner des effets sublétaux, des troubles comportementaux et des effets sur la croissance, et réduire la survie des œufs.
- Les effets causés par les sédiments peuvent être aggravés par une durée d'exposition plus longue, de plus faibles débits et des températures plus basses. Ces conditions peuvent rendre plus étroit le plateau initial ou accentuer le taux de déclin de la courbe de réponse P-E.
- Certaines espèces ou certains stades biologiques peuvent afficher une plus forte sensibilité à la présence de sédiments que d'autres espèces ou stades biologiques.

## ANNEXE 3 – MODIFICATIONS DE LA STRUCTURE ET DU COUVERT

### Causes habituelles

- Des modifications de l'hétérogénéité structurale découlant de projets qui s'accompagnent d'une diminution de la complexité de l'habitat (p. ex. du fait du dragage, du réaligement des chenaux, de la stabilisation des berges ou du nettoyage des rives) ou, moins fréquemment, de projets qui entraînent une hausse de la complexité structurale de l'habitat (p. ex. restauration de ce dernier grâce à l'ajout de blocs rocheux, de débris ligneux, etc.).

### Relation

- Des données expérimentales appuient l'idée d'une relation directe et proportionnelle (linéaire) entre la plupart des aspects de la structure de l'habitat et du couvert et la productivité des pêches, mais la réduction maximale pourrait ne pas se traduire par une productivité zéro, car l'habitat n'est pas éliminé (courbe a). La littérature offre certains éléments probants qui appuient l'idée d'une courbe de réponse augmentation-diminution en ce qui a trait aux modifications du couvert végétal (p. ex. macrophytes et herbes marines), la productivité maximale étant atteinte à des densités intermédiaires (courbe b).

### Mécanismes

- La structure et le couvert sont des éléments essentiels de l'habitat du poisson à divers stades biologiques. La disposition spatiale des types d'habitats et la complexité des écosystèmes aquatiques sont d'importants facteurs environnementaux de la répartition et de la diversité du poisson. Pour les individus d'une espèce, la structure et le couvert offrent une protection contre les prédateurs, peuvent réduire la compétition grâce à des obstacles visuels, et représentent un bouclier contre des éléments de l'environnement comme les forces hydrauliques dans un cours d'eau;

### Éléments probants

- La réalisation d'une méta-analyse a permis de recueillir les éléments probants les plus solides reliant la productivité du poisson à la structure de l'habitat et au couvert. Au total, 75 % des expériences menées ont démontré une réponse directe significative à la manipulation de l'habitat. Une revue non systématique de la littérature s'est traduite par des résultats moins définitifs, une simplification expérimentale de l'habitat affichant des réductions des mesures de productivité plus cohérentes que les hausses de la productivité associées aux activités de restauration de l'habitat.

### Mesures

- Les indicateurs qui, selon les études, répondent aux modifications sont notamment la diversité, la biomasse et l'abondance des poissons.

### Déterminants

- Deux déterminants potentiels des courbes de réponse P-E comprennent la proximité d'un habitat de recharge convenable disponible et la densité des populations locales. Ces deux déterminants potentiels pourraient réduire la pente de la courbe et augmenter le niveau du seuil inférieur, soit en déplaçant le lieu de productivité de la population vers l'habitat de recharge, soit en libérant les spécimens restants des facteurs dépendants

de la densité (p. ex. une réduction de la compétition peut se traduire par une augmentation de la croissance et de la survie).

#### **Autres courbes pertinentes**

- Parmi les autres courbes de réponse P-E pertinentes, figurent celles qui sont associées aux modifications des concentrations de sédiments, de la disponibilité de la nourriture, de la température, des profils hydrodynamiques et de l'accès à l'habitat.

#### **Mises en garde**

- Deux mises en garde doivent être considérées lorsque l'on établit les courbes de réponse P-E.
  - 1) La reconnaissance que, même si la productivité des pêches, dans l'absolu, ne peut être complètement anéantie à l'extrémité de la simplification de l'habitat (p. ex. chenal en béton), il est hautement probable que la forme de cette productivité ne sera pas liée à des espèces de forte valeur (p. ex. la carpe, qui peut persister à des niveaux de couvert si faibles que la productivité est perdue pour la plupart des autres espèces de poisson plus valorisées dans le cadre des pêches CRA). Lorsqu'ils ont été établis, les objectifs des plans de gestion des pêches pertinents doivent être pris en considération.
  - 2) La hausse potentielle de la productivité associée à l'enlèvement de la végétation initial ne s'applique que dans les situations où la densité et l'étendue de la végétation sont importantes, et un enlèvement partiel de cette végétation pourrait augmenter l'hétérogénéité de l'habitat.

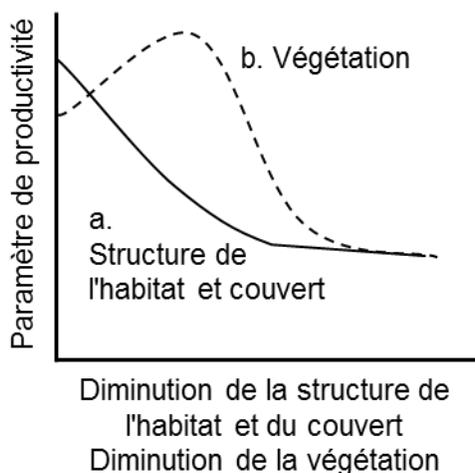


Figure 7 : Répercussions de la diminution de la structure et du couvert sur la productivité des pêches; diminution de la végétation

### Résumé

- La simplification de l'habitat (perte de structure ou de couvert) entraîne généralement une baisse de la productivité des pêches. La relation est linéaire, ce qui signifie que, dans la plupart des cas, tout degré de simplification se traduira par une réduction de la productivité des pêches (courbe a).
- Bon nombre des poissons qui sont visés dans les pêches CRA sont sensibles, au moins à certains de leurs stades biologiques, à la simplification de l'habitat. Les poissons sensibles quitteront le secteur à la recherche d'habitats plus complexes, si ceux-ci sont disponibles et accessibles. Dans bon nombre d'écosystèmes, les espèces qui quittent leur habitat d'origine peuvent être remplacées par des espèces moins sensibles (comme la carpe), de sorte que la productivité globale des pêches pourrait ne pas être complètement éliminée, même aux extrêmes de la simplification de l'habitat (p. ex. chenal en béton). La productivité des poissons de remplacement se traduit par un plateau inférieur de la courbe de réponse P-E demeurant au-dessus du zéro.
- Cependant, à de tels extrêmes, les espèces de poissons qui sont capables de se développer pourraient ne pas être valorisées pour les pêches CRA ou visées par un plan de gestion des pêches. En conséquence, la productivité des poissons restants pourrait ne pas être du type qui est considéré comme nécessaire si l'on veut satisfaire aux objectifs de gestion des pêches. Dans ce cas, le plateau inférieur de la productivité des pêches pertinentes en vertu des dispositions sur protection des pêches pourrait atteindre zéro.
- Les modifications du couvert végétal aquatique constituent un cas spécial, car elles peuvent entraîner une hausse de la productivité des pêches à des densités de végétation intermédiaires (courbe b). Cependant, l'enlèvement de la végétation n'est susceptible d'entraîner une hausse de la productivité des pêches que si la densité et l'étendue du couvert végétal initial sont élevées.

## ANNEXE 4 – MODIFICATIONS DES CONCENTRATIONS D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS

### Causes habituelles

- Activités menant à une augmentation des concentrations d'éléments nutritifs résultant de la pollution de source ponctuelle et diffuse, y compris l'enlèvement de la végétation riveraine ou aquatique, la culture en rangs, la gestion des débris organiques, le pâturage du bétail ainsi que la gestion des eaux usées industrielles, agricoles et municipales, et modifications de l'habitat causées, par exemple, par le dragage.

### Relation

- La relation est non linéaire. Chez certaines espèces, la production totale, la biomasse totale et la croissance somatique des poissons sont positivement liées à des augmentations allant de faibles à modérées des concentrations d'éléments nutritifs, lorsque les concentrations initiales sont faibles à modérées, tandis que la productivité affiche une courbe façonnée par la relation augmentation-diminution. Au départ, les hausses des concentrations d'éléments nutritifs peuvent s'accompagner d'une augmentation de la productivité des pêches, mais, ensuite, cette productivité décline en raison de la diminution de l'abondance des espèces qui ne tolèrent pas l'enrichissement en éléments nutritifs (nommées ici « espèces intolérantes ») et d'autres impacts liés à l'eutrophisation. Dans la plupart des écosystèmes eutrophes, les hausses initiales des concentrations d'éléments nutritifs devraient n'avoir que peu ou pas d'impact sur la productivité des pêches, mais ces dernières peuvent diminuer lorsque les impacts de l'eutrophisation sont plus importants. Sauf dans les cas où la productivité des pêches dépend d'espèces intolérantes (qui ne peuvent s'adapter convenablement à des conditions eutrophes) ou, encore, dans des conditions eutrophes extrêmes, la productivité des pêches ne devrait pas être complètement perdue en raison d'une hausse des concentrations d'éléments nutritifs.
- La présence et l'abondance d'espèces intolérantes présentent une corrélation négative et linéaire avec les concentrations d'éléments nutritifs.

### Mécanismes

- Les systèmes eutrophes sont plus susceptibles de produire des efflorescences algales et ont des impacts indirects sur le poisson, par l'entremise d'une réduction de l'oxygène dissous et d'autres impacts sur l'habitat (p. ex. la perte de macrophytes aquatiques et de faune benthique).

### Éléments probants

- En fin de compte, la productivité des pêches est fortement déterminée par la production à la base du réseau trophique. La production primaire est régulée par les éléments nutritifs. Tant le phosphore (P) que l'azote (N) peuvent être des éléments nutritifs limitatifs dans les écosystèmes aquatiques. Les éléments probants dont nous disposons donnent à penser que les écosystèmes d'eau douce répondent plus fortement à la présence de phosphore.
- Dans l'ensemble, en eau douce, la production et la biomasse totale du poisson sont positivement corrélées avec le phosphore total (PT). Chez certaines espèces, l'augmentation des éléments nutritifs s'accompagne d'une meilleure croissance.

- Les espèces diffèrent quant à leur réaction aux effets sur l'écosystème de la hausse des concentrations d'éléments nutritifs, et la structure des communautés de poissons varie avec l'état trophique de l'écosystème. Dans les écosystèmes eutrophes, les espèces intolérantes voient leur abondance réduite ou disparaissent.

### Mesures

- Parmi les mesures de productivité figurent la production de poissons, la production d'invertébrés (production secondaire), la croissance des poissons et la composition de leurs communautés.

### Déterminants

- Les niveaux tant naturels qu'actuels de l'enrichissement en éléments nutritifs sont des déterminants potentiels de la forme de la courbe de réponse P-E. On peut s'attendre à ce que les écosystèmes naturellement oligotrophes et eutrophes réagissent différemment aux modifications des concentrations d'éléments nutritifs. Les modifications de ces concentrations devraient interagir avec d'autres agents de stress comme le changement climatique, les modifications de l'hydromorphologie et la présence d'espèces aquatiques envahissantes.

### Autres courbes pertinentes

- La hausse des concentrations d'éléments nutritifs menant à l'eutrophisation peut avoir des impacts similaires à ceux qui sont associés à la hausse des concentrations de sédiments en suspension, peut modifier la disponibilité de la nourriture et de la lumière et réduire l'oxygène dissous. Les modifications des concentrations d'éléments nutritifs affectent la productivité des pêches par l'entremise du réseau trophique et, ainsi, seront étroitement associées aux impacts découlant de changements dans la disponibilité de la nourriture.

### Mises en garde

- D'autres changements écosystémiques qui découlent d'une hausse des concentrations d'éléments nutritifs peuvent avoir des effets indirects sur la productivité. Les systèmes oligotrophes (faibles teneurs en éléments nutritifs, faible production primaire) sont plus efficaces sur le plan de la conversion du phytoplancton (production primaire) en production de poissons.

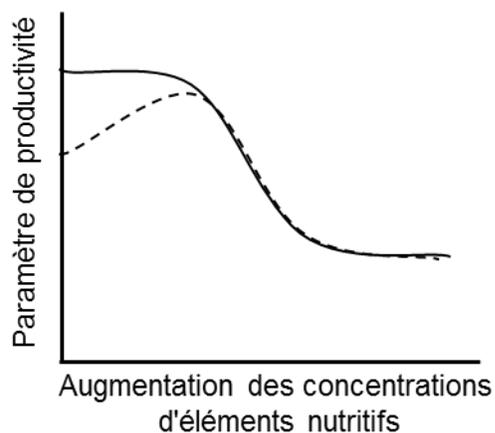


Figure 8 : Répercussions de la hausse des concentrations d'éléments nutritifs sur la productivité des pêches

#### Résumé

- L'ajout d'éléments nutritifs peut s'accompagner d'une hausse de la production totale de poissons, notamment dans les eaux pauvres en éléments nutritifs.
- Les espèces intolérantes verront leur abondance diminuer, et la composition des communautés de poissons changera avec la hausse des concentrations d'éléments nutritifs.
- La hausse des concentrations d'éléments nutritifs contribuera à l'eutrophisation, qui a bon nombre d'effets indésirables directs et indirects sur le poisson.
- Sauf dans les cas où la productivité des pêches dépend d'espèces intolérantes ou, encore, dans des conditions eutrophes extrêmes, la productivité des pêches ne devrait pas être complètement perdue en raison d'une hausse des concentrations d'éléments nutritifs.

## ANNEXE 5 – MODIFICATIONS DE LA DISPONIBILITÉ DE LA NOURRITURE

### Causes habituelles

- Les activités entraînant des modifications de la disponibilité de la nourriture comprennent l'enlèvement de la végétation riveraine et aquatique, les altérations du débit, le dragage ou, encore, l'installation de structures dans l'eau (p. ex. installations aquacoles).

### Relation

- La relation est non linéaire. La réduction proximale initiale de la disponibilité de la nourriture ne devrait pas s'accompagner d'une diminution de la productivité. Toutefois, à certaines densités réduites de proies, la consommation et, par conséquent, la croissance déclineront de façon linéaire ou curvilinéaire. La diminution de la disponibilité de la nourriture peut être suffisante pour éliminer complètement la productivité des pêches.

### Mécanismes

- Les répercussions de la hausse des concentrations d'éléments nutritifs sur la production de poissons, la biomasse et la croissance constituent une réaction à des modifications de la disponibilité de la nourriture.
- L'enrichissement en éléments nutritifs peut stimuler la productivité à la base du réseau trophique, ce qui se traduit par une augmentation de la disponibilité de la nourriture et de la productivité du poisson.

### Éléments probants

- Des recherches à grande échelle, la théorie et la littérature sur la bioénergétique, démontrent comment la croissance des poissons change en réaction à une consommation réduite de nourriture. De nombreux ouvrages sur les relations fonctionnelles décrivent de quelle manière la consommation change en réponse à une réduction de la densité des proies.

### Mesures

- Parmi les mesures de productivité figurent la production de poissons, leur croissance, leur émigration, leur recrutement, leur survie ou, encore, l'abondance d'une espèce de proie importante lorsque celle-ci peut être identifiée et facilement surveillée.

### Déterminants

- La courbe de réponse P-E peut être modifiée par des facteurs comme la température ambiante, qui peuvent avoir des répercussions sur le métabolisme et, ainsi, sur la croissance obtenue grâce à un certain degré de consommation d'aliments. Les modifications comportementales qui accompagnent les changements de la disponibilité de la nourriture peuvent également affecter la productivité. Lorsque la disponibilité de la nourriture décline, l'augmentation du temps passé à la recherche de proies se traduit par une augmentation du coût métabolique, une diminution de l'énergie disponible pour la croissance et une élévation de l'exposition des poissons à d'autres prédateurs. Pour sa part, la turbidité, qu'elle découle de l'augmentation des concentrations de sédiments en suspension ou de l'eutrophisation, peut réduire l'efficacité de la recherche de proies,

augmenter les coûts métaboliques de la recherche de nourriture et modifier tant la relation fonctionnelle (paliers plus étroits ou consommation maximale moindre) que les coûts métaboliques qui réduisent l'énergie disponible pour la croissance.

### Autres courbes pertinentes

- Les modifications de la disponibilité de la nourriture peuvent être associées à la perte de surface mouillée et à des modifications des concentrations de sédiments, du couvert et de la structure de l'habitat, des concentrations d'éléments nutritifs, de la température, de la lumière, de l'accès à l'habitat, de l'oxygène dissous ainsi que du débit de base et des changements hydrodynamiques.

### Mises en garde

- Les répercussions des modifications de la disponibilité de la nourriture sur la productivité ne sont pas nécessairement simples ou directes; elles subissent souvent l'incidence d'autres conditions comme les éléments nutritifs ou la température. Les effets sur la productivité peuvent également être retardés et indirects, et les poissons peuvent adopter des stratégies de rechange pour la répartition de l'énergie.
- On sait que, à certains stades biologiques (comme le stade larvaire), les poissons sont particulièrement sensibles à la disponibilité temporelle et spatiale de la nourriture, de sorte que de petits changements dans la disponibilité de la nourriture peuvent s'accompagner d'une diminution de la survie et du recrutement.
- Les modifications de la qualité de la nourriture peuvent avoir des effets similaires aux réductions de quantité.

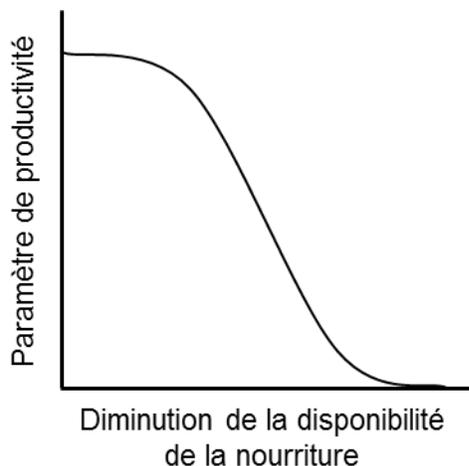


Figure 9 : Répercussions de la diminution de la disponibilité de la nourriture sur la productivité des pêches

### Résumé

- Tous les organismes dépendent de la nourriture pour survivre, croître et se reproduire.
- Lorsque la nourriture est abondante, les déclin initiaux de sa disponibilité n'affectent pas la productivité. À certaines densités de proies, les déclin plus marqués de la disponibilité de la nourriture entraîneront une diminution de la productivité des pêches, voire une élimination de celle-ci.
- La qualité des aliments peut réduire la productivité de façon similaire à leur quantité.
- Les répercussions des modifications de la disponibilité de la nourriture sur la productivité peuvent subir l'incidence de conditions environnementales qui affectent le prélèvement et la consommation d'aliments (p. ex. la température, la turbidité, la disponibilité du couvert ou l'oxygène dissous).

## ANNEXE 6 – MORTALITÉ DIRECTE

### Causes habituelles

- La mortalité directe renvoie à la mort de poissons, quel que soit leur stade biologique, par tout mécanisme induit par l'humain autre que la pêche. Habituellement, ces mortalités sont enregistrées lors d'augmentations rapides de la pression, des écrasements, des entraînements, des collisions, des échouements ou des modifications mortelles de l'oxygène, de la température, des sédiments ou de l'enrichissement en éléments nutritifs.

### Relation

- On présume que la relation par défaut entre la mortalité directe et la productivité des pêches est proportionnelle jusqu'à un point où des taux élevés de mortalité augmenteront le taux de déclin, jusqu'à ramener la productivité des pêches à zéro (courbe a).

### Mécanismes

- La relation entre la productivité du stock et la mortalité directe causée par les pêches a été explorée en profondeur dans le contexte de l'application d'un cadre de gestion des pêches axé sur l'approche de précaution.
- Bien que les axes des relations fonctionnelles soient habituellement représentés différemment dans la Politique cadre de l'approche de précaution, les concepts généraux, y compris l'établissement de zones saines, de prudence et critique pour des combinaisons différentes de taux de mortalité et d'état des stocks, peuvent être appliqués à la mortalité directe dans ces contextes. Le document publié par le MPO en 2012 explore ces points plus en profondeur.

### Éléments probants

- La mortalité est l'un des principaux indices étudiés par les sciences halieutiques. La forme des courbes présentées repose sur des éléments probants théoriques et empiriques solides.

### Mesures

- Parmi les mesures de productivité appropriées pour ces paramètres ultimes figurent la production et l'abondance du poisson, ainsi que des estimations de sa survie/mortalité.

### Déterminants

- Le principal déterminant de la forme de la courbe est la possibilité d'effets dépendants de la densité (voir MPO 2013a).
- Si le mécanisme de la mortalité directe se déclenche avant la mise en branle de sources importantes de mortalité dépendante de la densité, des effets compensatoires peuvent se traduire par une hausse initiale de la productivité, suivie par un déclin marqué (courbe b).
- S'il n'y a pas de possibilité de réactions compensatoires dépendantes de la densité après que la mortalité directe soit survenue, cette dernière peut entraîner une réduction de la productivité en deçà de la ligne proportionnelle par défaut (courbe c).
- Bien que cela ne modifie pas la forme de la courbe, la manière dont survient la mortalité peut masquer la relation dans les conditions sur le terrain. De faibles taux de mortalité

épisode ne devraient pas réduire la productivité des pêches de façon mesurable, tandis que la mort de poissons de grande taille pourrait se traduire par un déplacement rapide de la relation vers l'extrémité inférieure droite du graphique, à partir de laquelle la durée du rétablissement devrait augmenter de façon importante.

### Mesures d'atténuation

- La « mort de poissons » (c.-à-d. la mortalité directe dans le présent contexte) appartenant à des espèces visées par la pêche CRA est interdite et, à ce titre, doit être, dans la mesure du possible, évitée ou faire l'objet de mesures d'atténuation.
- Les mesures d'atténuation actuellement utilisées dépendent du mécanisme responsable de la mortalité directe. Par exemple, on peut utiliser des barrières physiologiques et des structures de détournement du poisson pour réduire la mortalité causée par les processus d'entraînement, tandis que l'établissement d'une période pour l'installation d'ouvrages dans les cours d'eau pourrait aider à prévenir la mortalité par écrasement.
- Lorsque nous disposons de connaissances détaillées sur le plan biologique, l'approche de précaution appliquée à la gestion des pêches (MPO 2009) offre une façon raisonnable de gérer toutes les sources de mortalité.

### Autres courbes pertinentes

- Parmi les autres paramètres ultimes associés à la séquence des effets examinés dans le cadre du présent rapport qui peuvent entraîner des modifications de la mortalité directe, figurent les modifications de l'oxygène dissous, de la température, des concentrations de sédiments et d'éléments nutritifs ainsi que les modifications de la disponibilité de la nourriture.

### Mises en garde

- On ne doit pas présumer l'existence d'effets dépendant de la densité chez les populations dont l'abondance a déjà été réduite par un quelconque agent de stress.
- D'autres cadres stratégiques (p. ex. la Loi sur les espèces en péril) peuvent préciser un taux de mortalité plus restrictif pour orienter la prise de décisions en matière de gestion.

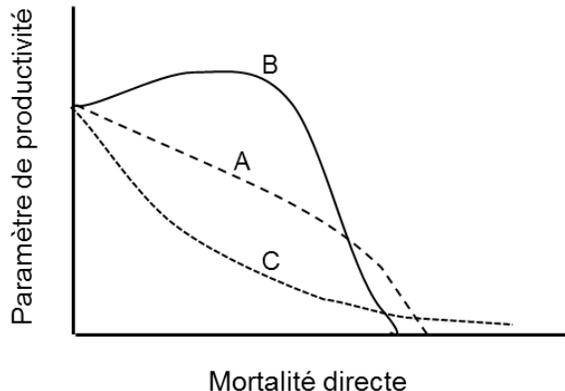


Figure 10 : Répercussions de la mortalité directe sur la productivité des pêches

### Résumé

- La portée de l'interdiction énoncée à l'article 35 couvre l'enjeu de la mortalité directe, qui peut réduire la productivité des pêches.
- Il existe de nombreuses méthodes pour réduire l'effet de la mortalité directe sur la productivité des pêches; ces méthodes doivent être utilisées lorsque cela est possible.

## ANNEXE 7 – MODIFICATIONS DE LA TEMPÉRATURE

### Causes habituelles

- Les activités industrielles ou de mise en valeur peuvent avoir une incidence directe sur la température de l'eau par l'entremise d'effluents thermiques réchauffés, de modifications des échanges avec les eaux souterraines ou, encore, de la présence de barrages qui déchargent des eaux hypolimniques. Les projets qui modifient la pénétration de la lumière ou la clarté de l'eau ont une incidence sur la température de l'eau (p. ex. la plantation ou l'enlèvement de végétaux riverains, l'enlèvement ou l'ajout de végétaux aquatiques, les structures destinées à faire de l'ombre, les sédiments en suspension, les efflorescences algales ou les concentrations de contaminants). Les projets qui modifient la profondeur de l'eau ou les changements hydrodynamiques ont également une incidence sur la température de l'eau (p. ex. le remplissage/immersion, le dragage, l'abaissement du niveau d'eau, la présence de retenues ou la libération d'eau, les modifications des berges ainsi que l'aménagement de chenaux, de barrages ou de digues).

### Relation

- La forme que revêt le déclin et son taux dépendent de l'orientation et de l'ampleur des modifications de la température ambiante par rapport à l'optimum thermique. Un plateau peut précéder la diminution de la production lorsque les modifications de la température demeurent près de l'optimum (ligne continue). Si, au départ, les modifications de la température s'approchent de l'optimum (ligne pointillée), il peut y avoir une relation augmentation-diminution, mais, par la suite, la productivité devrait décliner avec des modifications plus importantes de la température par rapport à la température ambiante. Le déclin de la productivité peut être linéaire et afficher une pente plus accentuée si les températures ambiantes sont déjà près des valeurs physiologiques minimales ou maximales ou, encore, des limites mortelles et si, du fait des modifications, elles s'approchent plus près de ces limites (ligne tiretée).

### Mécanismes

- Les poissons sont des organismes ectothermes et, de ce fait, sont adaptés et répondent directement aux conditions thermiques qui les entourent.
- La durée de génération et le cycle biologique se sont adaptés aux cycles naturels de la température et à leur variabilité selon les écorégions.
- Presque toutes les mesures du succès des individus ou des populations, de leur diversité et de leur biogéographie peuvent être corrélées, d'une certaine manière, avec les températures du milieu et les conditions climatiques.

### Éléments probants

- Un très grand nombre de données expérimentales montrent que les organismes aquatiques réagissent aux modifications de la température. Ces réactions vont des changements comportementaux aux effets bioénergétiques, physiologiques, sublétaux ou mortels.

### Mesures

- Frais, nurserie, disponibilité de niches thermiques pour les adultes, taux de survie à tous les stades biologiques, taux de croissance et de reproduction, abondance, diversité,

biomasse, moment du frai, profils de répartition, âge à maturité, spectre des tailles, taille maximale, moment de la migration, richesse des espèces, structure des communautés, rendement et production.

### Déterminants

- En se rapprochant de l'optimum, la température ambiante peut entraîner la présence d'un plateau ou d'une courbe augmentation-diminution (ligne continue ou pointillée), selon l'écart qui existait, avant la mise en œuvre du projet, entre les températures ambiante et optimale pour les poissons qui sont visés par les pêches CRA. Lorsque la température ambiante s'écarte des températures optimales (augmentation ou diminution), la présence d'une réponse linéaire est plus probable. Plus la température s'approche des limites mortelles, plus la pente est marquée, et plus rapide est le déclin de la productivité (ligne tiretée).
- L'impact des modifications de la température sur la productivité dépend de la superficie de la zone touchée, de l'ampleur, du moment et de la durée des modifications ainsi que des habitats touchés par celles-ci. Tous ces facteurs ont une incidence sur la disponibilité annuelle de niches thermiques.
- Selon leur sensibilité, tant les préférences thermiques de la guildes que les stades biologiques ont une incidence sur la forme des courbes non linéaires ou la pente des relations linéaires. Bon nombre de poissons à leurs stades biologiques précoces et certains organismes benthiques (d'eau douce ou marine) sont plus sensibles aux modifications de la température, car ils sont sessiles ou incapables de se déplacer rapidement. Les spécimens de plus grande taille peuvent se déplacer en dehors des milieux affichant des conditions défavorables, mais la diminution de la disponibilité de niches thermiques pourrait avoir, outre les impacts directs, des impacts indirects dépendant de la densité.
- Les échelles spatiale et temporelle des modifications de la température déterminent les changements de la disponibilité annuelle de niches thermiques pour différentes guildes, selon leur écologie et les déplacements des niches au fil de l'année. Nous avons souvent besoin de données propres aux espèces et de connaissances en écologie, que nous devons étalonner pour différentes écorégions et espèces d'intérêt.

### Mesures d'atténuation

- Évitement des frayères connues durant le frai, car les œufs en incubation et les adultes géniteurs sont plus sensibles aux variations de température.
- Évitement des changements rapides de température ou de variations accrues par rapport à la normale (dépendance à la saison).
- En particulier, évitement de toute élévation de la température de l'eau lorsque la température ambiante est près des limites mortelles supérieures (dépendance à l'habitat ou à l'espèce).
- Évitement de la diminution de la profondeur de l'eau dans les zones peu profondes durant la saison de couverture glacielle.

### Autres courbes pertinentes

- Voir les rubriques portant sur les modifications du débit et du niveau d'eau, du couvert (notamment la végétation), des sédiments en suspension, de l'oxygène dissous, des surfaces mouillées, de l'accès à l'habitat et de la mortalité directe pour des références croisées avec la température.

**Mises en garde**

- Les courbes de survie reposent sur des modifications graduelles de la température et de leurs répercussions dans des conditions de laboratoire contrôlées.
- Les espèces les plus sensibles doivent être examinées en priorité, mais le nombre de préférences thermiques des guildes présentes et les chevauchements de l'habitat occupé par celles-ci nous incitent à faire preuve de prudence si nous autorisons des modifications de la température.
- Selon les espèces et les stades biologiques, on peut observer des températures optimales différentes, de sorte que l'écart par rapport à la température ambiante devra tenir compte des compensations potentielles, tant pour une même espèce (différents stades biologiques affichant différentes températures optimales) qu'entre espèces (différentes espèces affichant différentes températures optimales).

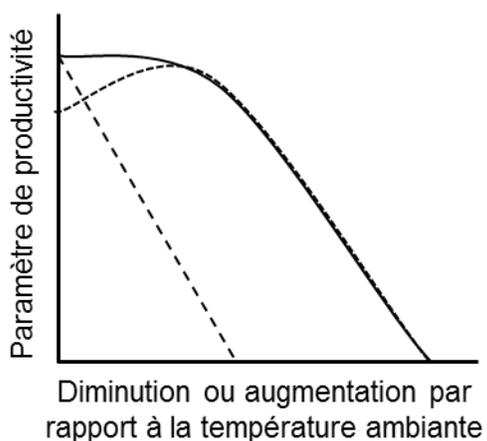


Figure 11 : Répercussions des modifications de la température ambiante sur la productivité des pêches

**Résumé**

- Les poissons sont adaptés à la structure thermique locale.
- Leur mortalité et leur croissance sont des déterminants importants de la productivité. Ces deux variables sont directement liées à la température.
- Les comportements d'évitement de milieux affichant des températures défavorables entraînent des modifications de la disponibilité d'habitat propices et des fonctions dépendantes de la densité.
- Selon les modifications de la température ambiante par rapport à la température optimale pour l'espèce ou le stade biologique en question, il peut y avoir un plateau ou, encore, une augmentation ou une diminution linéaire de la productivité.

## ANNEXE 8 – MODIFICATIONS DU BRUIT ET DES VIBRATIONS

### Causes habituelles

- Les relevés sismiques, le battage de pieux, l'augmentation du trafic maritime, l'équipement sonar à fréquence faible et moyenne, les activités de dragage et de forage sous-marin, les bruits causés par les activités de construction, les activités terrestres comme l'excavation et le forage.

### Relation

- Des données expérimentales ou recueillies sur le terrain appuient l'existence d'une relation curvilinéaire entre les modifications du bruit et des vibrations et la productivité des pêches. La littérature scientifique comporte des éléments probants à l'appui d'un plateau initial large précédant un faible déclin qui, vraisemblablement, ne devrait pas entraîner une réduction complète de la productivité des pêches.

### Mécanismes

- Le bruit et les vibrations d'origine anthropique peuvent entraîner des changements des profils migratoires des poissons (comportements d'évitement) et des communications des mammifères marins et causer un stress accru susceptible d'affecter la productivité des pêches par un certain nombre de mécanismes différents.
- On s'attend à ce que la plupart de ces effets se fassent sentir à court terme, leur durée étant inférieure ou égale à la durée de l'exposition au son et variant selon les espèces et les individus.
- La portée écologique de tels effets devrait être faible, sauf lorsqu'ils ont une incidence sur l'activité reproductrice.

### Éléments probants

- On a démontré que la production de sons d'intensité élevée d'origine anthropique dans l'eau avait un impact sur la physiologie et le comportement des animaux aquatiques et, dans des cas extrêmes, pouvait causer des dommages aux individus (mortalité).
- La plus grande partie des éléments probants à cet effet provient d'expériences menées en laboratoire. Nous ne disposons d'aucun cas documenté d'impacts, à l'échelle d'une population, du son sur la productivité des pêches CRA.

### Mesures

- Production, abondance, succès de la reproduction et du recrutement, survie et croissance.

### Déterminants

- Les espèces affichant une sensibilité auriculaire (p. ex. les mammifères marins) sont plus susceptibles d'être touchées. Pour ces espèces, le plateau de la courbe devrait être plus étroit et la pente, plus accentuée.

### Mesures d'atténuation

- Évitement des périodes et des zones qui revêtent une importance sur le plan biologique, comme les frayères, les couloirs migratoires ainsi que les aires de rassemblement en bancs et les nurseries.

- Évitement des forces du champ électromagnétique qui correspondent à la fourchette de sensibilité des organismes aquatiques en rajustant la fréquence et l'amplitude du son par rapport à la sensibilité de ces organismes pour ne pas causer de dommages physiques ou de troubles du comportement.

### Autres courbes pertinentes

- Accès à l'habitat.

### Mises en garde

- Aucun examen complet n'a été mené pour évaluer les effets à long terme du bruit et des vibrations à l'échelle d'une population.
- Les animaux peuvent s'acclimater au bruit après plusieurs expositions.
- Les niveaux de pression sonore sont atténués au fur et à mesure que la distance par rapport à la source augmente. Les niveaux de pression sonore qui peuvent causer des dommages physiques ne peuvent être observés qu'à quelques mètres de la source, mais le niveau de gêne qui entraîne des effets sublétaux, des troubles du comportement et des effets sur la croissance peut se manifester à des distances beaucoup plus importantes. En règle générale, les dommages physiques sont hautement dépendants des caractéristiques de l'impulsion sonore.

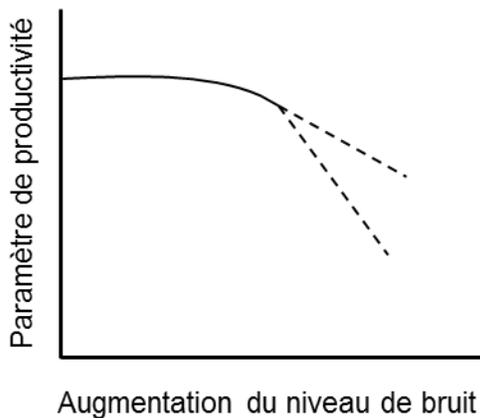


Figure 12 : Répercussions de la hausse du niveau de bruit sur la productivité des pêches

### Résumé

- Des niveaux sonores très élevés peuvent avoir des conséquences mortelles. À de plus faibles niveaux, on peut observer des effets sublétaux et des modifications des profils migratoires. La perturbation des profils migratoires en raison du bruit et des vibrations peut entraîner une diminution de la productivité des pêches lorsque les changements de la durée et du moment de la migration se traduisent par un déclin des taux de survie et d'adaptation des espèces et, à la limite, par une diminution de la consommation d'aliments et du succès reproducteur.
- La réponse, toutefois, ne devrait pas être linéaire. Nous disposons de certains éléments probants indiquant la présence d'un plateau initial, où de faibles hausses du niveau sonore n'ont pas d'impact significatif sur la productivité. La largeur du plateau supérieur et le taux de déclin dépendent de l'espèce et des conditions de l'environnement local.

## ANNEXE 9 – LUMIÈRE

**Nota** : les présents examen et avis scientifique sont principalement axés sur l'environnement d'eau douce. En soi, la lumière directement produite par des activités de mise en valeur ne figure pas parmi les agents de stress principaux associés à un déclin de la productivité des pêches en eau douce ou, du moins, n'agit pas à la même échelle que d'autres paramètres ultimes associés à la séquence des effets. Toute influence extérieure qui modifie le régime lumineux est également susceptible d'affecter d'autres agents de stress principaux. L'incidence de la « lumière » sera examinée dans des analyses plus poussées de l'environnement marin. On incite le lecteur à se reporter à la discussion concernant la « lumière » qui se trouve dans le compte rendu accompagnant le présent avis scientifique. Aucun avis officiel n'est fourni pour le moment.

## ANNEXE 10 – MODIFICATIONS DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE

### Causes habituelles

- Câbles électriques et générateurs sous-marins associés aux sources d'énergie renouvelable comme l'énergie éolienne au large, l'énergie marémotrice et les turbines hydrocinétiques installées dans les cours d'eau.

### Relation

- Des données expérimentales et recueillies sur le terrain appuient l'existence d'une relation curvilinéaire entre l'augmentation de la force du champ électromagnétique ou l'augmentation de l'échelle des émissions électromagnétiques et la productivité des pêches. La littérature scientifique présente des éléments probants qui appuient l'existence d'un plateau initial large précédant un faible déclin. L'augmentation de la force et de l'étendue du champ électromagnétique ne devrait pas entraîner une élimination de la productivité des pêches.

### Mécanismes

- Bon nombre d'espèces d'invertébrés, de poissons, de mammifères marins et de tortues marines peuvent déceler et utiliser les champs électriques ou magnétiques pour s'orienter, se déplacer, trouver des proies ou des compagnons ou, encore, pour stimuler le passage à des stades biologiques particuliers.

### Éléments probants

- Notre compréhension actuelle des effets des champs électromagnétiques sur les organismes marins est encore parcellaire et repose principalement sur des études menées en laboratoire.
- Plusieurs études d'observation menées sur un certain nombre de poissons marins ont démontré les effets des câbles sous-marins sur le comportement des poissons. Des réponses comportementales significatives à la présence de câbles sous-marins ont été observées chez certaines espèces, y compris une perturbation de la migration ainsi que des comportements d'évitement et d'attraction. Cependant, aucune de ces études n'a tenté d'établir avec précision la relation exacte entre les champs électriques ou magnétiques et les troubles du comportement observés. La portée de cet agent de stress à l'échelle des populations est inconnue, et il n'y a pas encore d'élément probant indiquant que des câbles sous-marins ont causé des perturbations significatives de la survie et du succès reproducteur d'une quelconque espèce. Cependant, les champs électromagnétiques peuvent causer des perturbations temporaires et significatives des déplacements (désorientation) chez les espèces migratrices.

### Mesures

- Production, abondance, structure des communautés, succès reproducteur, survie et croissance.

### Déterminants

- Les espèces sensibles aux champs électromagnétiques (p. ex. les élasmobranches, les anguilles et certains gadidés), de même que des espèces à haut profil migratoire sont plus susceptibles d'être affectées. Pour ces espèces, le plateau de la courbe devrait être plus étroit et la pente, plus accentuée.

**Mesures d'atténuation**

- Évitement des couloirs migratoires ainsi que des frayères et des aires de croissance.
- Évitement des forces du champ électromagnétique qui se trouvent dans la fourchette de sensibilité des organismes aquatiques.

**Autres courbes pertinentes**

- Accès à l'habitat.

**Mises en garde**

- Le champ électromagnétique induit s'affaiblit relativement rapidement avec la distance, mais, à 20 mètres d'un câble sous-marin (à l'horizontale ou à la verticale), il peut être encore à l'intérieur de la zone de détection.

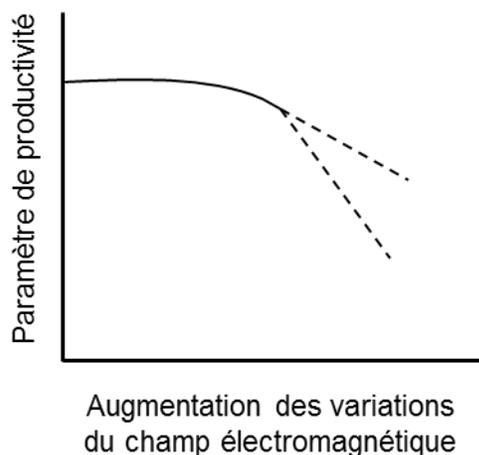


Figure 13 : Répercussions de l'augmentation du champ électromagnétique sur la productivité des pêches

**Résumé**

- Nous ne disposons pas de données empiriques suffisantes pour déterminer si les champs électromagnétiques associés à la présence de câbles sous-marins ou de matériel de production énergétique au large présentent une menace pour les populations de poissons et pour les pêches qu'elles soutiennent.
- Cependant, il est probable que de faibles modifications du champ électromagnétique n'aient pas d'impact significatif sur la productivité des pêches. De plus grandes modifications du champ électromagnétique pourraient avoir des répercussions sur la productivité des pêches, vraisemblablement par l'entremise de troubles du comportement (interférence avec la migration, évitement ou attraction).
- Les recherches menées jusqu'à présent évaluent les impacts de câbles uniques. Les réactions au champ électromagnétique produit par plusieurs câbles et générateurs (p. ex. maillage ou réseau à grande échelle) pourraient être plus significatives, mais l'on manque de données sur les effets cumulatifs de tels réseaux.

## ANNEXE 11 – MODIFICATIONS DE L'ACCÈS À L'HABITAT

### Causes habituelles

- Obstacle physique ou diminution de l'accessibilité des habitats en raison de changements des conditions hydrauliques ou d'autres facteurs. Les modifications de l'accès à l'habitat sont dues au remplissage/encombrement, aux changements des débits/niveaux d'eau et à l'altération permanente des cours d'eau.

### Relation

- La relation peut prendre plusieurs formes selon le cycle biologique de l'espèce et la nature de l'obstacle.
- La relation est curvilinéaire lorsque la fragmentation a une incidence sur une espèce riveraine qui voit son habitat particulier limité ou rendu inaccessible par la fragmentation. On s'attend à un plateau initial correspondant à une largeur des tronçons des cours d'eau suffisante pour permettre la persistance de populations saines. Il existe un seuil à partir duquel la taille de la population décroît avec la diminution de la longueur du tronçon du cours d'eau, jusqu'à la disparition de l'espèce du pays.
- Une relation linéaire pourrait exister entre la taille d'un tronçon à écoulement libre et la taille et la viabilité de la population qui l'occupe. Cependant, il y a des exceptions qui donnent à penser que d'autres facteurs pourraient limiter certaines populations.
- La présence d'un obstacle permanent rend impossible la recolonisation à la suite d'une catastrophe, modifie la qualité de l'habitat et réduit sa quantité pour les espèces de poissons dont le cycle biologique dépend de la migration (p. ex. les poissons diadromes). On présume l'existence d'une relation linéaire entre la quantité d'habitats et la productivité, à moins que l'on puisse établir la présence de processus compensatoires ou dépensatoires.

### Mécanismes

- Certaines espèces de poissons sont des spécialistes des cours d'eau, et certaines caractéristiques de leur cycle biologique exigent la présence d'eaux vives.
- Pour se développer à travers tous les stades de leur cycle biologique, certains poissons doivent entreprendre des migrations entre différents habitats. La présence d'obstacles et la gestion des débits peuvent modifier l'accès à l'habitat selon quatre dimensions différentes : longitudinale (couloir fluvial, tant vers l'amont que vers l'aval), verticale (interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines), latérales (connexions avec les plaines d'inondation) et temporelle (qui interagit avec les trois dimensions physiques). Des modifications à l'une ou l'autre de ces dimensions peuvent avoir une incidence sur la quantité et la qualité de l'habitat, retarder la migration, augmenter la prédation ou causer des retards de développement. Ces impacts peuvent entraîner une réduction de la productivité ainsi que des changements dans la structure des communautés et la richesse des espèces.

### Éléments probants

- La modélisation des taux de prélèvement d'eau et des changements constatés dans la biodiversité des communautés de poissons ont montré l'existence d'une relation pouvant être linéaire ou curvilinéaire. La taille des cours d'eau et le type de communauté défini par la température de l'eau déterminent la forme de la relation et la sensibilité aux prélèvements d'eau.

- Des études visant à établir des corrélations et portant sur les déclinés de la répartition et de l'abondance des espèces spécialistes des berges ont conclu que ces déclinés étaient une conséquence directe de la fragmentation de l'habitat.
- Généralement, la relation entre la fragmentation et les changements de débit se traduit par des conséquences négatives pour les communautés de poissons. Cependant, on a observé des réactions positives lorsque les réductions de débit améliorent l'habitat durant des stades biologiques particuliers qui en bénéficient (p. ex. jeunes de l'année et juvéniles).

**Mesures**

- Production de poissons, abondance, biomasse, richesse de l'espèce, diversité et composition des communautés de poissons.

**Déterminants**

- La forme et la pente des courbes de réponse P-E peuvent varier avec l'ampleur des modifications (des modifications importantes ont davantage d'impact), leur moment (impact sur des stades biologiques particuliers), leur durée (les modifications à long terme sont susceptibles d'avoir une incidence sur les communautés de poisson et leur productivité), la fréquence et le taux de changement du débit (des changements affichant une fréquence et un taux plus importants ont davantage d'impact), les besoins des espèces en matière d'habitat (les espèces riveraines sont plus sensibles que les généralistes), le stade biologique (différents cycles biologiques s'accompagnent de besoins différents en matière d'habitat, par conséquent, les impacts diffèrent), la taille du réseau hydrographique (les poissons fréquentant les cours d'eau les plus petits sont généralement plus sensibles) et le type de communauté de poissons (des eaux chaudes ou froides, les premiers étant généralement plus sensibles).

**Autres courbes pertinentes**

- Voir les sections portant sur la perte de surface mouillée, les modifications des concentrations de sédiments, le champ électromagnétique, le bruit et les vibrations, les modifications du couvert et de la structure de l'habitat, les modifications des concentrations d'éléments nutritifs, les modifications de la disponibilité de la nourriture, la mortalité directe, les modifications de la température, le débit de base et les changements hydrodynamiques et les modifications de l'oxygène dissous.

**Mises en garde**

- L'enjeu clé consiste à établir un seuil critique à partir duquel les populations de différentes espèces réagissent à la fragmentation. Bon nombre d'espèces affichent un seuil critique de réaction à la fragmentation à l'échelle de la population. Ce seuil est relié à une perte ou une réduction d'une composante de l'habitat qui agit comme facteur limitatif. De façon générale, on comprend mal les facteurs limitatifs qui, parfois, ne sont déterminés qu'après que les impacts de la fragmentation sont survenus.
- Les impacts des modifications de débit peuvent différer selon l'hydrographie naturelle sous-jacente du réseau.
- Des répercussions positives ou négatives des modifications de débit sur la productivité pour une espèce ou un stade biologique particulier au sein de la même espèce peuvent être contraires aux répercussions enregistrées pour une autre espèce ou un autre stade. Ces modifications doivent être prises en considération en combinaison avec des objectifs de gestion des pêches (p. ex. espèces lotiques, lentiques ou généralistes).

- Les modifications de débit qui touchent l'accès à l'habitat sont cumulatives.
- Les obstacles au passage des poissons peuvent encore produire des délais ou limiter le déplacement d'une certaine proportion de la population. Dans ces cas, on s'attend à enregistrer de plus faibles taux de survie au cours de migrations vers l'amont et vers l'aval.

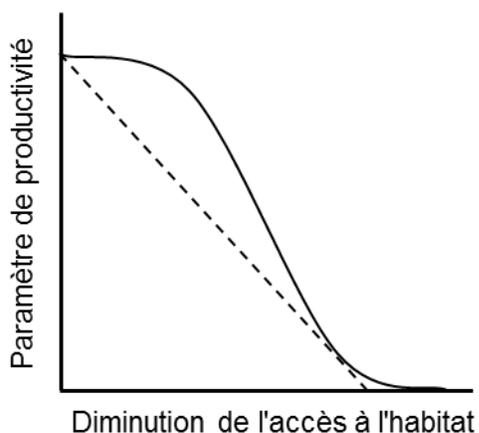


Figure 14 : Répercussions de la diminution de l'accès à l'habitat sur la productivité des pêches

#### Résumé

- Les poissons véritablement d'eau douce et qui dépendent des habitats riverains peuvent tolérer un certain degré de fragmentation si la taille du tronçon d'écoulement est suffisamment importante pour satisfaire à tous les besoins de leur cycle biologique. La taille minimale du tronçon est propre à l'espèce et à la communauté de poissons. La relation est curvilinéaire, une fois atteinte la limite de taille du tronçon qui soutient un aspect essentiel du cycle biologique à partir duquel la population affiche une faible abondance ou disparaît de ce tronçon.
- Les poissons qui migrent entre les eaux salées et douces pour les besoins d'un aspect essentiel de leur cycle biologique sont moins tolérants à la perte d'accès à leur habitat, car l'habitat qui se situe au-delà d'un obstacle est complètement indisponible pour la productivité des pêches. On présume l'existence d'une réponse linéaire.
- Dans les réseaux riverains, les prélèvements d'eau ont une incidence sur la composition des espèces et leur abondance, bien que la sensibilité du réseau aux prélèvements soit dépendante de sa taille et des communautés de poissons qui le fréquentent.

## ANNEXE 12 – MODIFICATIONS DE L'OXYGÈNE DISSOUS

### Causes habituelles

- Les activités industrielles et de mise en valeur peuvent toucher directement les gaz dissous (p. ex. bulles d'air, sursaturation tourbillonnaire). Les effets indirects sur la teneur de l'eau en oxygène dissous comprennent des modifications de la température de l'eau qui, à leur tour, affectent les taux de saturation en oxygène ou les échanges atmosphériques (p. ex. effluents thermiques, rabattement, modifications de la stratification, dynamique des glaces, changements hydrodynamiques, modifications de la salinité ou sédimentation). Certaines activités contribuent à augmenter la demande biologique ou chimique en oxygène dans l'eau (p. ex. excès d'éléments nutritifs, contamination, efflorescences algales, modifications de la végétation aquatique, solides en suspension), ce qui peut réduire l'oxygène disponible pour les poissons.

### Relation

- La largeur du plateau initial varie selon les espèces et leur stade biologique, en fonction de leur tolérance à des conditions de pauvreté en oxygène. La forme des courbes de réponse P-E est similaire, mais le taux de déclin à partir des productivités plus élevées dépend également de la rapidité et de l'ampleur de la perte d'oxygène ainsi que de la capacité des poissons de se déplacer pour trouver des refuges. La longueur du plateau de la productivité dépend également de la sensibilité de l'espèce ou du stade biologique à la diminution des concentrations d'oxygène dissous (espèces sensibles : ligne continue; espèces tolérantes : ligne pointillée).

### Mécanismes

- La plupart des poissons ont besoin de concentrations suffisantes d'oxygène dissous pour respirer à travers leurs branchies. Le succès à l'échelle des individus ou de la population, de même que la diversité, sont liés à des concentrations appropriées en oxygène et à la disponibilité d'habitat bien oxygéné.
- Il existe une saisonnalité naturelle de la dynamique de l'oxygène dans les lacs et les cours d'eau, car les zones hypolimniques et certaines zones humides affichent des fluctuations naturelles saisonnières ou quotidiennes des concentrations en oxygène.
- Les écarts par rapport aux conditions ambiantes que présente l'oxygène dissous, tant dans l'espace que dans le temps, se traduisent par des modifications des comportements et de l'interaction entre les espèces et avec l'habitat et, en fin de compte, la production de pêches CRA indigènes, notamment lorsque l'oxygène se trouve dans la plage des 6 à 3 mg/L.

### Éléments probants

- Il est bien établi que l'oxygène dissous est essentiel à la survie de tous les organismes aquatiques, dont les poissons. En outre, l'oxygène influence un grand nombre d'autres indicateurs de la qualité de l'eau et constitue peut-être l'indicateur de la qualité de l'eau le mieux établi.

### Mesures

- Frai, nurserie, disponibilité d'habitat pour les adultes, taux de survie à tous les stades biologiques, taux de croissance et de reproduction, abondance, diversité, biomasse, moment du frai, profils de répartition, moment de la migration, richesse des espèces, structure des communautés, rendement et production.

- Les courbes optimales ou relatives aux concentrations de prédilection pour différents groupes (p. ex. espèces sensibles ou intolérantes) et pour différents stades biologiques (p. ex. œufs, alevins, juvéniles) reposant sur leurs tolérances environnementales ou leurs courbes de croissance peuvent être utilisées en tant que substituts de la productivité, car elles sont directement liées au comportement, à la survie ou à la croissance.

### Déterminants

- L'impact des modifications de la concentration d'oxygène sur la production d'une espèce de poisson particulière, d'une espèce visée par les pêches ou d'une communauté dépend de la superficie de la zone touchée, de l'ampleur, du moment et de la durée du changement et des habitats concernés. Tous ces facteurs affectent la disponibilité annuelle d'habitat oxygéné. Différents stades biologiques affichent différents degrés de tolérance qui se reflètent sur les courbes de réponse P-E.
- La saison et le type d'habitat influent sur la dynamique de l'oxygène, qui façonne les conditions ambiantes. Les besoins en oxygène pour la vie aquatique augmentent avec la hausse des températures. La végétation aquatique et les algues ont une incidence sur la dynamique diurne de l'oxygène par l'entremise de la respiration et des cycles de la photosynthèse. Une croissance excessive des plantes peut entraîner une sursaturation durant le jour et un appauvrissement durant la nuit, ce qui peut constituer un agent de stress pour les poissons et d'autres organismes aquatiques.
- L'espèce et le stade biologique peuvent influencer sur la forme et le taux de déclin des courbes de réponse P-E non linéaires. Selon leur sensibilité, des espèces à des stades biologiques précoces ou certains organismes benthiques sont plus vulnérables en cas d'appauvrissement en oxygène, car ils sont sessiles ou incapables de se déplacer rapidement. Les spécimens de plus grande taille peuvent se déplacer en dehors des milieux affichant des conditions défavorables, mais la diminution de la disponibilité d'habitats oxygénés pourrait avoir, outre les impacts directs, des impacts indirects dépendant de la densité.
- Les écarts rapides par rapport aux concentrations d'oxygène ambiant (p. ex. déversement de contaminants) ou variabilité élevée de l'oxygénation (p. ex. libération intermittente d'eau hypoxique) ont des effets plus aigus sur la survie ou la croissance, comme le suggèrent les courbes de réponse P-E (voir la section portant sur les mises en garde). Les courbes sont plus représentatives de modifications chroniques des concentrations d'oxygène dissous.

### Mesures d'atténuation

- Évitement des frayères connues et des nurseries durant les stades de frai et de croissance, car les œufs en incubation, les adultes géniteurs et les jeunes sont plus sensibles aux modifications de l'oxygène dissous.
- Évitement des changements rapides de température ou des concentrations d'oxygène dissous ou, encore, des variations accrues par rapport à la normale (dépendance à la saison).
- Tout particulièrement, évitement de toute diminution des concentrations d'oxygène dissous lorsque les niveaux ambiants sont susceptibles d'entraîner des troubles du comportement, car les limites mortelles peuvent être très proches (dépendance à l'habitat ou à l'espèce).
- Évitement de l'appauvrissement en oxygène sous le couvert glaciaire ou dans les eaux hypolimniques, lorsque les échanges atmosphériques sont limités.

**Autres courbes pertinentes**

- Voir les sections portant sur la température, les éléments nutritifs, les modifications des débits et des niveaux d'eau, le couvert (notamment la végétation), les sédiments en suspension, l'accès à l'habitat et la mortalité directe pour un recouplement avec l'oxygène dissous.

**Mises en garde**

- Les courbes de survie reposent sur des modifications graduelles de l'oxygène et sur leurs répercussions dans des conditions de laboratoire contrôlées.
- Il faut donner la priorité aux espèces les plus sensibles et établir des objectifs de gestion des pêches, mais le nombre de guildes tolérantes présentes et le chevauchement des habitats de différents groupes aux stades précoces de leur cycle biologique plaident pour l'adoption d'une approche de précaution si l'on autorise un appauvrissement en oxygène.

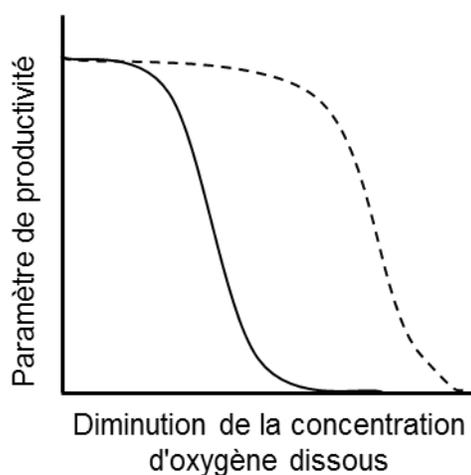


Figure 15 : Répercussions de la diminution de l'oxygène dissous sur la productivité des pêches

**Résumé**

- Les poissons affichent des tolérances variables à l'oxygène.
- Leur mortalité et leur croissance sont de solides déterminants de la productivité. Ces deux variables sont directement liées aux concentrations d'oxygène dissous.
- Les comportements d'évitement entraînent des modifications de la disponibilité de l'habitat propice et des fonctions dépendantes de la densité.
- Selon les modifications des niveaux d'oxygène ambiants par rapport aux tolérances de l'espèce ou du stade biologique, il peut y avoir un déclin non linéaire accentué graduel de la productivité.

## ANNEXE 13 – LE DÉBIT DE BASE ET LES CHANGEMENTS HYDRODYNAMIQUES

### Causes habituelles

- On peut observer des modifications du débit de base dans plusieurs contextes, cependant, en tant que paramètre ultime, il s'agit de situations où il y a des altérations au niveau des eaux souterraines. Les modifications que l'on enregistre par ce mécanisme peuvent réduire la productivité des pêches en altérant la température de l'eau ainsi que les concentrations d'oxygène et d'éléments nutritifs qui peuvent entraîner une diminution de la qualité des habitats. Les réductions du débit de base peuvent également se traduire par une perte de surface mouillée.
- Les changements hydrodynamiques causés par l'installation de vastes structures dans les cours d'eau peuvent entraîner des modifications de l'érosion et du transport des sédiments, ce qui réduira tant la quantité (concentration des sédiments) que la qualité (modifications de la composition du substrat) de l'habitat.

### Relation

- La courbe de réponse P-E, pour ces deux paramètres ultimes, s'inscrit dans le contexte plus vaste des changements hydrographiques. Cela a fait l'objet d'une réunion précédente tenue par le SCCS et d'un avis scientifique connexe (MPO 2013b).

### Éléments probants

- On dispose d'une littérature scientifique importante sur les effets des modifications du débit sur les écosystèmes riverains, laquelle littérature a été précédemment examinée dans le cadre d'une réunion distincte tenue par le SCCS et d'un avis scientifique connexe (MPO 2012).

### Mesures

- Parmi les mesures de productivité appropriées pour ces paramètres ultimes figurent la production et l'abondance du poisson, ainsi que la structure des communautés, le recrutement, la survie et la croissance.

### Déterminants

- Il existe une variété de régimes hydrographiques au Canada, c'est pourquoi on a choisi, par mesure de précaution, d'établir pour seuil un écart de 10 %, à partir duquel il sera nécessaire de mener une évaluation plus détaillée des modifications du débit à l'échelle des sites.
- Tandis que, de façon générale, le seuil de 10 % est considéré comme prudent, les populations qui affichent une sensibilité aux modifications connexes de la température pourraient présenter une productivité réduite dans des conditions de plus faibles modifications du débit (moins de 10 %).

### Mesures d'atténuation

- Il existe bon nombre de méthodes pour établir les débits nécessaires à la protection des écosystèmes, des méthodes dont les avantages et les inconvénients sont esquissés dans un document publié par le MPO (2013b).

### Autres courbes pertinentes

- Les modifications du débit peuvent toucher bon nombre d'autres paramètres physiques des cours d'eau, et ne doivent pas être prises en considération isolément. Les courbes de réponse P-E pour la température de l'eau, l'oxygène, les concentrations d'éléments

nutritifs, l'accès à l'habitat, la sédimentation et les surfaces mouillées sont pertinentes lorsque l'on considère les modifications du débit.

### Mises en garde

- Un second seuil de 30 % de la décharge annuelle moyenne nécessaire à la protection des écosystèmes en cas de faible débit doit être utilisé, outre la courbe de réponse P-E, pour la gestion des débits.
- Dans ce cas, les changements hydrodynamiques ne renvoient qu'aux modifications susceptibles de découler de l'installation de structures dans les cours d'eau (c.-à-d. riveraines). Nous n'avons pas pris en considération les modifications potentielles des changements hydrodynamiques dans les lacs ou les zones côtières qui pourraient découler de l'installation de structures dans ces environnements.

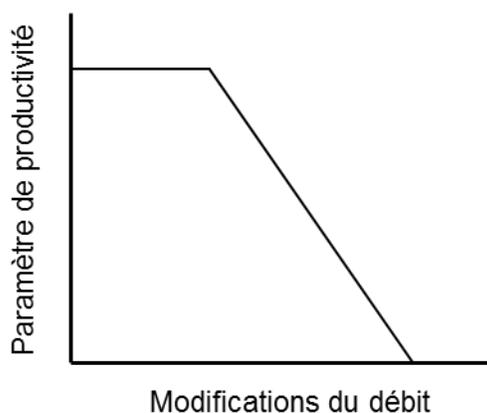


Figure 16 : Répercussions des modifications du débit sur la productivité des pêches

### Résumé

- En général, les projets durant lesquels on n'atteint pas le seuil de 10 % ne devraient pas s'accompagner de diminutions de la productivité des pêches.
- Parmi les exceptions à cette règle figurent les modifications du débit durant les périodes de faible débit (c.-à-d. 30 % de la décharge annuelle moyenne) ou lorsque l'on sait que les populations visées par des pêches CRA sont sensibles à la température.
- Lorsque les seuils de 10 ou de 30 % sont dépassés, la probabilité d'un effet sur la productivité augmente, et il faut entreprendre une évaluation plus détaillée du projet.

## ANNEXE 14 – TERMINOLOGIE

**Paramètre ultime associé aux diagrammes de séquence des effets** : il s'agit de la composante d'un écosystème qui doit être valorisée. Des orientations concernant la gestion, la protection et la conservation des différents paramètres ultimes qui ont été évalués figurent dans les treize (13) annexes du présent avis scientifique.

**Projet** : activité menée dans l'eau ou sur terre qui est susceptible d'avoir une incidence sur les poissons; terme utilisé à des fins de simplicité. Terme synonyme d'« ouvrage, entreprise ou activité », tel qu'énoncé dans la *Loi sur les pêches*.

**Courbe de réponse productivité-état** : terme qui décrit comment différentes mesures de productivité répondent à des niveaux variables d'un agent de stress particulier.

**Seuil** : point à partir duquel une modification relativement faible d'une condition extérieure cause un changement rapide dans un écosystème. Lorsqu'un seuil écologique est dépassé, il est possible que l'écosystème ne puisse plus revenir à son état initial. Le dépassement d'un seuil écologique entraîne souvent un changement rapide de la santé de l'écosystème.

**LE PRÉSENT AVIS EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :**

Secrétariat canadien de consultation scientifique  
Région de la capitale nationale  
Pêches et Océans Canada  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6  
Téléphone : 613-990-0293  
Courriel : [csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)  
Adresse internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2014



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2014. Cadre scientifique pour évaluer la réponse de la productivité des pêches à l'état des espèces ou des habitats. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/067.

*Also available in English*

*DFO. 2014. A Science-Based Framework for Assessing the Response of Fisheries Productivity to State of Species or Habitats. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2013/067.*