



Pêches et Océans Canada
Fisheries and Oceans Canada

Sciences

Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2013/067

Région du pacifique

Cadre d'évaluation de la productivité des pêches destiné au Programme de protection des pêches correspondant

M.J. Bradford¹, R.G. Randall², et K.S. Smokorowski³, B.E. Keatley⁴ et K.D. Clarke⁵

Pêches et Océans Canada :

¹School of Resource and Environmental Management
Université Simon Fraser
Burnaby (Colombie-Britannique) V5A 1S6

²867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

³1219, rue Queen est
Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5

⁴200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

⁵C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve) A1C 5X1

Avant-propos

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

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2014
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Bradford, M.J., R.G. Randall, K.S. Smokorowski, B.E. Keatley et K.D. Clarke. 2014. Cadre d'évaluation de la productivité des pêches destiné au Programme de protection des pêches correspondant. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/067. vi + 35 p.

Also available in English :

Bradford, M.J., R.G. Randall, K.S. Smokorowski, B.E. Keatley and K.D. Clarke. 2014. A framework for assessing fisheries productivity for the Fisheries Protection Program. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/067. v + 25 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCTION	1
ÉVALUATION DE LA PRODUCTIVITÉ.....	2
INDICATEURS, PARAMÈTRES ET MESURES	6
COMPOSANTES DE LA PRODUCTIVITÉ ET SÉQUENCES DES EFFETS	7
ÉVALUATIONS DE LA PRODUCTIVITÉ	10
PROJETS QUI RÉDUISENT LA QUANTITÉ D'HABITAT	10
PROJETS QUI NUISENT À LA QUALITÉ DE L'HABITAT	13
PROJETS QUI PROVOQUENT UNE TRANSFORMATION DE L'ÉCOSYSTÈME	14
DISCUSSION.....	15
RÉFÉRENCES	17
ANNEXE 1 : TABLEAUX.....	19
ANNEXE 2. MORTALITÉ DÉPENDANTE DE LA DENSITÉ ET INDÉPENDANTE DE LA DENSITÉ	29

RÉSUMÉ

Dans ses décisions concernant la réglementation de projets, de travaux ou d'activités qui peuvent influencer les poissons ou leur habitat, le ministre des Pêches et des Océans devrait prendre en compte les effets qu'elles exercent sur la productivité des poissons qui sont exploités par les pêches commerciales, récréatives ou autochtones. L'évaluation des changements de la productivité éclairera les quatre facteurs dont il faut tenir compte et qui sont énoncés à l'article 6 de la *Loi sur les pêches* (2012). On décrit un cadre pour l'évaluation des changements qui surviennent dans la productivité des pêches à la suite des projets. Ce cadre fait appel à des composantes de la productivité, en l'occurrence les indices vitaux et les processus vitaux dont le poisson a besoin pour compléter son cycle biologique. Les effets qu'exerce un projet sur l'habitat ou la mortalité du poisson sont déterminés au moyen de séquences des effets (SDE). Dans le cas des projets qui altèrent la quantité ou la qualité de l'habitat (ou qui provoquent la mort de poissons) dans leur voisinage, on analyse les composantes de la productivité des pêches selon l'approche du cycle biologique (reproduction, croissance, survie, migration). Des paramètres qualitatifs et quantitatifs sont compilés pour chaque composante de la productivité. Dans le cas des projets dont on considère qu'ils entraîneront des transformations de l'écosystème, on évalue la productivité à l'échelle de la population ou de l'écosystème. Il est possible d'intégrer des processus qui sont fonction de la densité aux évaluations de la productivité, mais on aura alors besoin de renseignements détaillés sur la biologie de l'espèce et d'un modèle de population. On donne des exemples pour montrer de quelle façon l'approche peut varier selon l'échelle du projet, les ressources halieutiques qui sont touchées et l'information qui est disponible aux fins de l'évaluation.

ABSTRACT

Regulatory decisions made by the Minister of Fisheries and Oceans about projects, works, or activities that have the potential to affect fish or fish habitat may need to consider the effects on the productivity of fish that are part of commercial, recreational or Aboriginal fisheries. Assessment of productivity changes will inform the four considerations listed in section 6 of the Fisheries Act (2012). A framework for assessing changes in fisheries productivity resulting from projects is described. This framework uses components of productivity, which are the vital rates and life processes needed for fish to complete their life cycle. The impacts of a project on fish habitat or the mortality of fish are identified using existing Pathways of Effects (POEs). For projects that affect the quantity or quality of habitat (or cause the death of fish) in the project vicinity, components of fisheries productivity are analyzed using a life cycle approach (reproduction, growth, survival, migration). Qualitative and quantitative metrics for each component of productivity are tabulated. For projects considered likely to result in ecosystem transformations, productivity assessments are conducted at the population or ecosystem scale. Density-dependent processes can be incorporated into productivity assessments, but detailed information on the biology of the species and a population model will be required. Examples are provided to illustrate how the approach can vary depending on the scale of the project, the fisheries resources that are affected and the information available for the assessment.

INTRODUCTION

Les activités humaines qui se déroulent dans les eaux poissonneuses ou à proximité risquent de nuire à la capacité de ces eaux de produire du poisson pour les pêches. De telles activités seront gérées en vertu des dispositions touchant la protection des pêches (DPP) des modifications de 2012 de la *Loi sur les pêches* du Canada. Le paragraphe 6.1 de la *Loi* énonce l'objet des dispositions touchant la protection des pêches, qui est

de guider la prise de décisions de manière à assurer la durabilité et la productivité continue des pêches commerciales, récréatives et autochtone (encadré 1; les principales définitions sont données dans l'encadré 2). La notion écologique de productivité continue des pêches a été décrite et interprétée dans le cadre de l'avis scientifique recommandant de soutenir l'élaboration de politiques pour les DPP (MPO 2013; Randall *et al.* 2013). En sus des définitions conceptuelles, on a énuméré diverses méthodes permettant d'évaluer la productivité, qui vont des approches reposant sur l'habitat à des paramètres plus directs fondés sur la productivité. On a proposé de choisir le paramètre en fonction du risque pesant sur la productivité des pêches, de la disponibilité des données, de l'échelle spatiale et de la nature du projet. Les nouvelles dispositions de la *Loi sur les pêches* signifient que l'évaluation portera principalement sur les effets qu'exercent les projets sur les populations de poissons et les pêches. Cette nouvelle politique axée sur les pêches est différente de la *Politique de gestion de l'habitat du poisson* (Politique sur l'habitat, MPO 1986) qui est fondée sur l'habitat; cependant, Randall *et al.* (2013) laissent entendre que dans bien des cas, il est possible d'adapter les approches et paramètres de la précédente Politique sur l'habitat pour les utiliser dans le cadre des DPP.

Des lignes directrices scientifiques guidant le choix d'indicateurs directs ou substituts de la productivité sont importantes pour l'élaboration de politiques (MPO 2013). Dans le contexte du présent document, les lignes directrices sont des critères garantissant une approche cohérente, indépendamment de l'emplacement ou de l'échelle spatiale. Les projets (parfois appelés ouvrages, entreprises, activités; o/e/a) qui influent sur l'habitat du poisson peuvent être classés selon trois types : 1) projets qui réduisent la quantité d'habitat et sa capacité de charge; 2) projets qui nuisent à la qualité de l'habitat et aux indices vitaux du poisson (c.-à-d., stress, mortalité); 3) projets qui exercent des effets à une échelle suffisamment grande pour entraîner une transformation de l'écosystème (MPO 2013). Les indicateurs ou paramètres de la productivité doivent être informatifs, indépendamment du type de projet. Il faut donc proposer l'approche à adopter pour évaluer la productivité et des paramètres éventuels pour chaque type de projet. L'approche que nous préconisons pour évaluer la productivité est générique, mais

Encadré 1 : Principaux articles de la *Loi sur les pêches* (2012).

Paragraphe 6.1 L'objet de l'article 6 et des dispositions qui y sont visées est d'assurer la durabilité et la productivité continue des pêches commerciales, récréatives et autochtones.

Article 6 :le ministre doit tenir compte des facteurs suivants :

- (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 pêche;
- (d) l'intérêt public.

suffisamment détaillée pour permettre d'appliquer diverses approches dans les différents écosystèmes et selon les types de projet.

Les directives concernant les paramètres de la productivité prennent appui sur des outils existants pour évaluer les impacts sur l'habitat du poisson et font en particulier appel aux diagrammes des séquences des effets (SDE). Une série de diagrammes des SDE a été élaborée pour les activités courantes afférentes à un vaste ensemble d'activités qui se déroulent dans l'eau et à terre. Les diagrammes des SDE décrivent le type des relations de cause à effet connues et les mécanismes selon lesquels les facteurs de stress anthropiques finissent par avoir des effets sur l'environnement aquatique.

Chaque séquence constitue un secteur dans lequel on peut mettre en place des mesures d'atténuation pour réduire ou éliminer un effet possible. Lorsqu'il n'est pas possible d'appliquer de mesures d'atténuation ou d'éliminer entièrement un facteur de stress, on désigne l'effet qui subsiste par le terme effet résiduel, qui peut éventuellement être considéré comme un dommage sérieux pour le poisson (voir l'encadré 2).

En faisant fond sur la définition générale de la productivité des pêches (MPO 2013), les auteurs de ce document ont pour objectif d'élaborer un cadre pour l'évaluation des changements de la productivité provoqués par les effets résiduels des projets de développement. Nous utilisons les SDE comme passerelle entre les impacts des projets et la productivité des pêches et nous déterminons des indicateurs et des paramètres permettant d'estimer, directement ou indirectement, la productivité des pêches.

Nous relevons que dans de nombreux projets, les paramètres joueront deux rôles. En premier lieu, à l'étape de l'évaluation, on utilisera les paramètres pour prévoir les changements de la productivité; ces prévisions serviront à évaluer les facteurs décrits à l'*art. 6* de la *Loi* (encadré 1), dont le ministre doit tenir compte quand il prend des décisions en matière de réglementation. Il se peut en particulier que les paramètres de productivité soient utilisés pour déterminer l'importance des poissons visés et la quantité de compensation nécessaire. En second lieu, une certaine forme de surveillance du suivi peut s'imposer pour déterminer si les prévisions de départ étaient exactes et pour évaluer si les activités d'atténuation ou de compensation sont efficaces. On utilisera à cette fin des mesures effectuées sur le terrain pour évaluer les changements afférents au projet. Il ne sera pas nécessaire d'employer la même information à chaque étape, mais il faudra relier les prévisions aux résultats de la surveillance.

Encadré 2 Principales définitions données dans la *Loi sur les pêches* (2012) :

Dommages sérieux - « la mort de tout poisson ou la modification permanente ou la destruction de son habitat. »

Habitat – « S'agissant du poisson, toute aire dont dépend, directement ou indirectement, sa survie, notamment les frayères, les aires d'alevinage, de croissance ou d'alimentation et les routes migratoires. »

ÉVALUATION DE LA PRODUCTIVITÉ

Dans cette section, nous décomposons la définition générale de la productivité des pêches.

Randall *et al.* (2013) définissent la productivité des pêches comme suit : « le rendement soutenu de toutes les composantes des populations et des espèces, ainsi que de leur habitat, qui soutiennent la pêche dans une zone définie et qui y contribuent ». Cependant, on n'effectuera probablement des évaluations à l'échelle d'une pêche uniquement pour les plus grands projets, ou pour ceux qui présentent des risques

considérables (Randall *et al.* 2013). On a besoin d'un processus défendable pour tenir compte des effets qui s'exercent sur la productivité des pêches à une échelle proche de celle du projet proprement dit. À ces échelles plus petites, les paramètres d'évaluation sont plus probablement des substituts des effets sur la productivité qui peuvent éventuellement devenir des effets sur le rendement des pêches.

Le cycle biologique d'une espèce de poissons typique peut servir de modèle pour prendre en compte l'évaluation des effets engendrés par un projet sur la productivité des pêches. La productivité des pêches résulte du fait que des poissons individuels accomplissent leur cycle biologique et que leurs indices vitaux (reproduction, croissance, survie, etc.) soient suffisants pour générer un rendement soutenu au niveau de la population. Notre approche est cohérente avec la définition de l'habitat du poisson donnée dans la *Loi sur les pêches* (encadré 2), qui comprend tout habitat qui est nécessaire au maintien des stades de vie et des processus vitaux des populations de poissons.

Nous élaborons un modèle général des caractéristiques biologiques des poissons à partir d'un poisson dulcicole typique. Dans ce modèle (adapté de Shuter 1990 et Hayes *et al.* 2009), nous désignons chaque stade principal, ainsi que les processus démographiques et les indices vitaux qui concourent à l'achèvement du cycle biologique. Nous posons comme hypothèse que le recrutement de la population adulte résulte de la combinaison de la survie et de la croissance aux stades larvaire et juvénile, ainsi que de l'accomplissement des déplacements ou migrations nécessaires. Ces indices vitaux, de même que l'exigence supplémentaire de reproduction, sont également nécessaires au stade adulte.

Le recrutement est souvent influencé par des processus dépendant de la densité (encadré 3), qui sont habituellement imputables à une certaine forme de limitation de l'habitat qui fait baisser la croissance ou la survie lorsque l'abondance augmente (Shuter 1990). Les processus dépendants de la densité comme la croissance ou la limitation d'espace peuvent également se produire au stade adulte. Ces processus pourraient exercer une influence sur le rendement et le potentiel de reproduction ou la réussite du frai. Nous expliquons plus à fond les processus dépendants de la densité à l'annexe 2, en même temps que les options de gestion de ces effets. Dans la plupart des cas, l'existence de processus de compensation

n'influera pas sur le choix des paramètres, bien qu'il puisse modifier l'échelle et la portée de l'évaluation de la productivité, car la compensation peut changer la gravité des répercussions qu'un projet a sur la productivité des pêches (Shuter 1990).

Encadré 3 : Dépendance à la densité

Si un indice vital change en même temps que l'abondance ou la densité d'une population, on parle d'un processus dépendant de la densité. Il arrive souvent qu'un élément limitatif de l'environnement (nourriture, espace) fasse baisser les indices vitaux quand l'abondance augmente. En halieutique, on qualifie ce phénomène de compensatoire, parce que la productivité de la population augmente quand l'abondance diminue, compensant ainsi la mortalité par pêche.

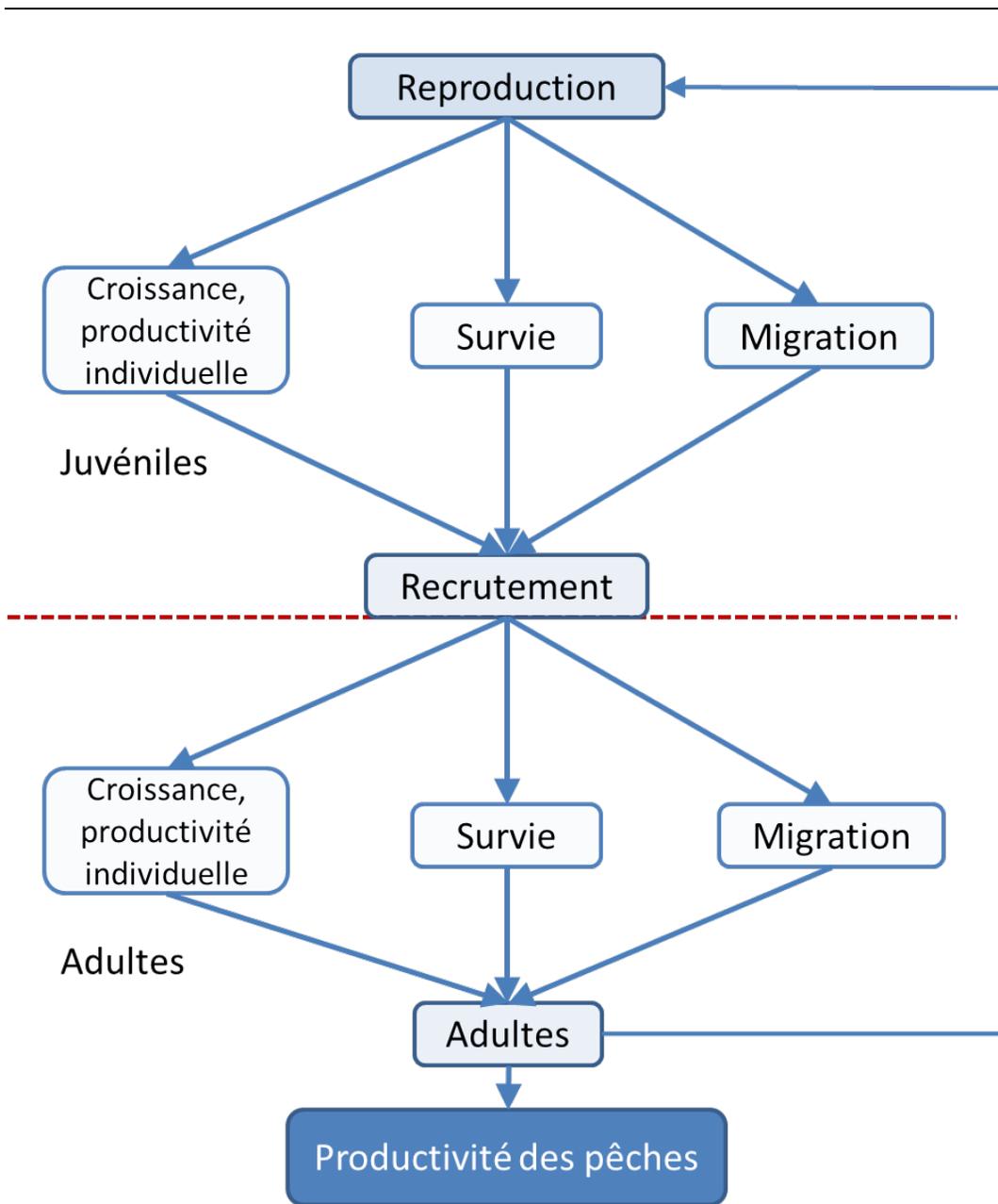


Figure 1. Modèle générique du cycle biologique d'un poisson dulcicole montrant les principales composantes de la productivité. Le cycle biologique est divisé en stades juvénile (avant le recrutement) et adulte; à chaque stade, on trouve des processus dépendants et indépendants de la densité. La performance individuelle s'entend de la croissance, de l'état du corps, du fardeau parasitaire, du stress et d'autres facteurs indépendants de la densité qui touchent la valeur adaptative individuelle. La productivité des pêches peut dépendre de plus d'une espèce ou population et exiger éventuellement le recours à plus d'un modèle pour l'évaluation.

Nous définissons une **composante de la productivité** comme un aspect de la productivité de la population de poissons (p. ex., croissance, survie, performance individuelle, migration, reproduction) qui peut être modifié par un changement des conditions causé par un projet proposé (il s'agit des « composantes clés de la production de la population » mentionnées dans Minns *et al.* [2011]). Les principaux indices vitaux peuvent être ventilés en sous-composantes de la productivité que l'on peut utiliser si l'on

dispose de renseignements suffisamment détaillés. On prévoit qu'un changement défavorable d'une composante de la productivité exercera quelque effet sur la productivité des pêches, bien que cet effet dépende des composantes concernées, de leur interaction ainsi que de l'ampleur et de l'échelle du changement.

Le tableau 1 donne la liste des principales composantes et sous-composantes de la productivité du modèle de la figure 1, ainsi que certains des mécanismes qui peuvent causer une diminution de la productivité. Il n'est pas exhaustif, mais il montre les façons les plus courantes dont la productivité peut être touchée. Plus loin dans ce document, nous décrivons les liens qui existent entre les composantes de la productivité et les indicateurs de résultat des SDE.

Tableau 1. Rapport entre les composantes et sous-composantes de la productivité des pêches et une liste des mécanismes qui provoquent des changements de la productivité.

Composante de la productivité	Sous-composantes	Mécanisme
Croissance	Sources de nourriture	Diminution de la qualité des aliments Diminution de la quantité des aliments
	Efficacité	Diminution de l'efficacité de la quête de nourriture Diminution de l'efficacité bioénergétique
Performance individuelle	Stress	Conditions environnementales moins qu'optimales
	Maladie	Augmentation de l'infection, gravité de la maladie
Taux de survie	Mortalité directe	Mortalité directe par projet Augmentation de la prédation Dépassement des tolérances environnementales
	Diminution de la qualité ou de la quantité de l'habitat	Limitation de l'habitat disponible
Migration	Isolement de l'habitat	Obstruction du passage
	Succès limité de la migration	Détérioration des conditions de migration
Reproduction	Maturation réussie des adultes	Conditions environnementales sous-optimales
	Qualité et quantité des frayères	Diminution de la qualité des frayères Diminution de la quantité de frayères, de la survie des œufs ou des larves

Les projets qui provoquent des changements de la *qualité de l'habitat* influent sur les composantes indépendantes de la densité que sont la reproduction, la croissance, la performance et la survie au moyen d'une variété de mécanismes énumérés dans le tableau 1. Y figurent aussi les mécanismes qui ne sont pas axés sur l'habitat et qui contribuent directement à la mortalité. Les projets qui provoquent une diminution de la *quantité de l'habitat* entraînent également une baisse de l'habitat disponible, ce qui peut se solder par une limitation dépendante de la densité causée par la baisse de la capacité de charge. Sont inclus sous l'en-tête Migration les mécanismes qui limitent l'accès aux habitats; ils contribuent également à la réduction de l'habitat disponible. Certains changements de la qualité de l'habitat peuvent également affecter la capacité de charge de l'habitat si le changement nuit à la capacité de l'habitat de subvenir aux besoins du poisson. Par exemple, une réduction de la structure de l'habitat (bassins et refuge) fera probablement baisser la capacité de charge de l'habitat sans toucher la quantité (défini comme zone humide).

INDICATEURS, PARAMÈTRES ET MESURES

Description et définition de différentes mesures pour évaluer la productivité

Il faut parfois prévoir le changement d'une composante de la productivité pour évaluer un projet. On peut utiliser différents types d'information pour prévoir et mesurer le changement. Pour éviter toute confusion, les définitions des principaux termes sont données dans l'encadré 4, et sont décrites intégralement ci-après.

Les **indicateurs qualitatifs ou heuristiques** sont utilisés pour prévoir qualitativement le changement d'une composante de la productivité des pêches. Ils seront alors descriptifs et peuvent ne pas comporter d'unité. Exemples : les termes généraux « croissance », « stress » ou « source de nourriture ». On peut recourir aux indicateurs heuristiques lorsque la capacité de faire des prévisions précises ou quantitatives est restreinte par le manque de données ou de compréhension ou lorsque l'impact est pluridimensionnel et que les changements ne peuvent pas être représentés par un paramètre unique. Les mesures qualitatives peuvent également convenir lorsque les risques qui accompagnent un facteur de stress particulier sont faibles. Les indicateurs qualitatifs sont habituellement éclairés par l'analyse des liens causaux qui détermine l'existence d'un lien entre une mesure de la productivité et le changement de l'habitat ou des populations de poissons causé par le projet (Koops *et al.* 2013a). En général, l'analyse reposera sur les résumés de la documentation existante en appliquant l'approche du poids de la preuve (Koops *et al.* 2013b). Les analyses qui font appel aux paramètres heuristiques ne fourniront probablement que de l'information sur l'orientation de la réponse attendue et une évaluation qualitative de la gravité du changement pour le segment exposé de la population.

Indicateurs quantitatifs : Il peut être possible de

prévoir ou d'estimer quantitativement les répercussions qu'aura un projet sur une composante de la productivité des pêches, parce que l'échelle et l'ampleur du changement provoqué par le projet peuvent être décrites exactement et que la relation entre le changement et la composante de la productivité est suffisamment bien définie. Les indicateurs quantitatifs comportent un ou plusieurs paramètres. Pour prévoir l'impact résiduel d'un projet, on peut utiliser des modèles généraux qui ne sont pas propres à un site, ou on peut fonder les paramètres sur des mesures effectuées sur le terrain avant le projet et des prévisions des changements provoqués par le projet. Ainsi, les estimations de l'abondance, de la taille ou d'autres caractéristiques établies à l'étape préalable au projet constitueront la base d'information pour prévoir le changement en tant que conséquence du projet.

Il est également possible de fonder les indicateurs quantitatifs sur des quantités qui peuvent être mesurées sur le terrain pendant les évaluations de base et dans le cadre des programmes de surveillance postérieurs au projet. Ces types d'indicateurs sont utilisés pour les programmes de surveillance du suivi ou de gestion adaptative.

Encadré 4 : Définitions

Les **mesures** sont prises sur le terrain et décrivent l'état actuel de l'écosystème ou de son biote. Exemples : abondance ou rejet de poissons.

Les **paramètres** servent à évaluer le changement. On peut dériver un paramètre des mesures effectuées sur le terrain avant-après (p. ex., changement de l'abondance du poisson) ou l'estimer à partir des mesures de base et d'un effet prévu ou modélisé.

Les **indicateurs** sont des quantités plus générales utilisées pour évaluer les changements de la productivité des pêches. Ils peuvent comporter un ou ? paramètres quantitatifs, et peuvent être plus qualitatifs (cf. « % de changement des GDL », « perte de structure »).

COMPOSANTES DE LA PRODUCTIVITÉ ET SÉQUENCES DES EFFETS

Dans cette section, nous relierons les indicateurs de résultat des séquences des effets aux composantes de la productivité.

Les séquences des effets sont un outil conceptuel important pour déterminer et organiser les effets possibles d'un projet sur le poisson et l'habitat du poisson (tableau 2). La plupart des indicateurs de résultat des SDE sont des changements de l'habitat ou des conditions environnementales (p. ex., figure 2). Pendant l'évaluation d'un projet, on trie les séquences en fonction de celles qui ne sont pas pertinentes ou dont les effets peuvent être atténués. Pour les séquences restantes (les « effets résiduels »), il faut parfois analyser le changement prévu de la productivité des pêches en vertu de l'article 6 de la *Loi sur les pêches*.

Tableau 2. Liste des séquences des effets actuelles affichées sur le site Web du MPO. Un exemple de diagramme des SDE est représenté sur la figure 2.

Activités aquatiques	Activités terrestres
Ajout ou enlèvement de végétation aquatique	Nettoyage ou entretien des ponts ou des autres structures
Modification du moment, de la durée ou de la fréquence du débit	Excavation
Dragage	Nivellement
Questions liées au passage du poisson	Reforestation des berges
Relevés sismiques en mer	Pâturages riverains
Gestion des débris organiques	Défrichage de la végétation
Mise en place de matériel ou de structures dans l'eau	Utilisation d'explosifs
Choix du site pour une aquaculture de poissons de mer	Utilisation d'équipement industriel
Enlèvement des structures	
Gestion des eaux usées	
Extraction de l'eau	
Aquaculture	
Énergie renouvelable	

[Site Web du MPO sur l'habitat](#)

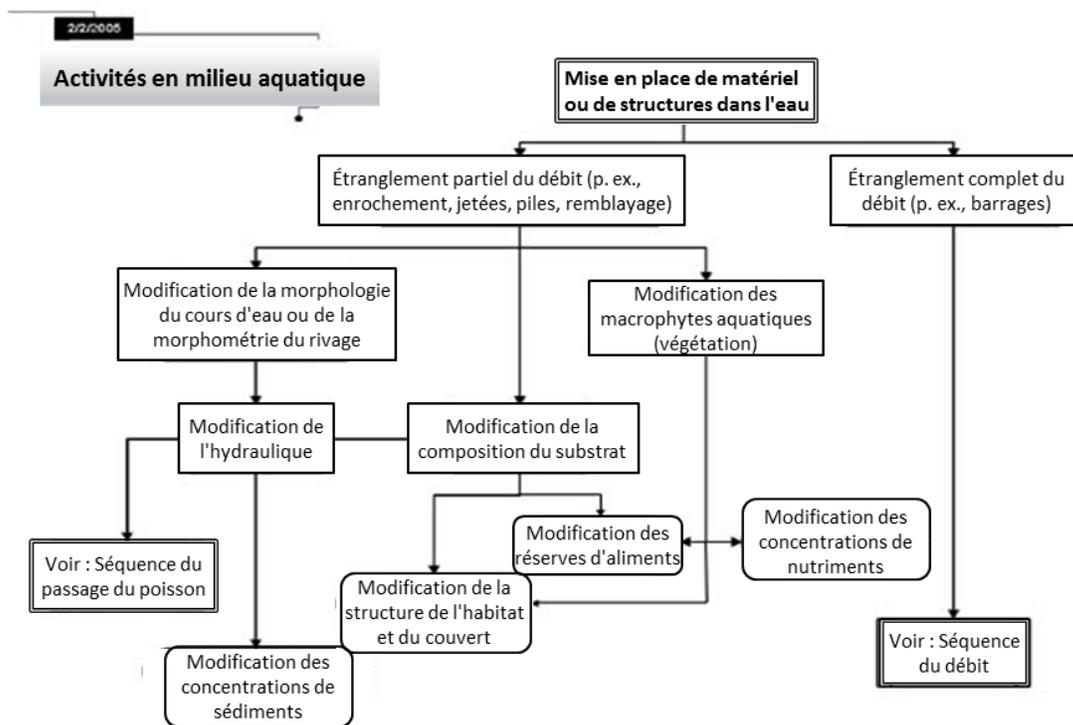


Figure 2. Exemple de diagramme des séquences des effets pour la mise en place de structures dans l'eau. Les ovales sont les indicateurs de résultat qui indiquent les façons dont l'activité peut toucher le poisson ou l'habitat du poisson.

Le cadre permettant de relier les SDE à la productivité des pêches est décrit dans Koops *et al.* (2013a) et MPO (2013), qui utilisent les fonctions productivité-état pour préciser les relations causales entre un changement d'une condition de l'habitat ou de l'environnement et un changement d'une composante de la productivité. Les indicateurs de résultat des SDE peuvent être utilisés comme intrants de l'axe des abscisses des rapports productivité-état (figure 3).

Koops *et al.* (2013a) ont trouvé l'on peut ramener la plupart des projets ayant des effets résiduels potentiels et que le MPO a examinés, à huit catégories de type d'impact. La liste de ces catégories est donnée dans le Tableau 1 de l'annexe, de même que les diagrammes et les indicateurs de résultat des SDE pertinents et les effets correspondants possibles sur le poisson ou l'habitat du poisson.

Les indicateurs de résultat des diagrammes des SDE sont indiqués dans le Tableau 2 de l'annexe par ordre décroissant de fréquence pour les SDE énumérées dans le tableau 2. Le Tableau 2 de l'annexe montre également les mécanismes potentiels de chaque indicateur de résultat qui peuvent contribuer à décrire avec plus de précision de quelle façon les effets résiduels d'un projet pourraient toucher le poisson ou l'habitat du poisson.

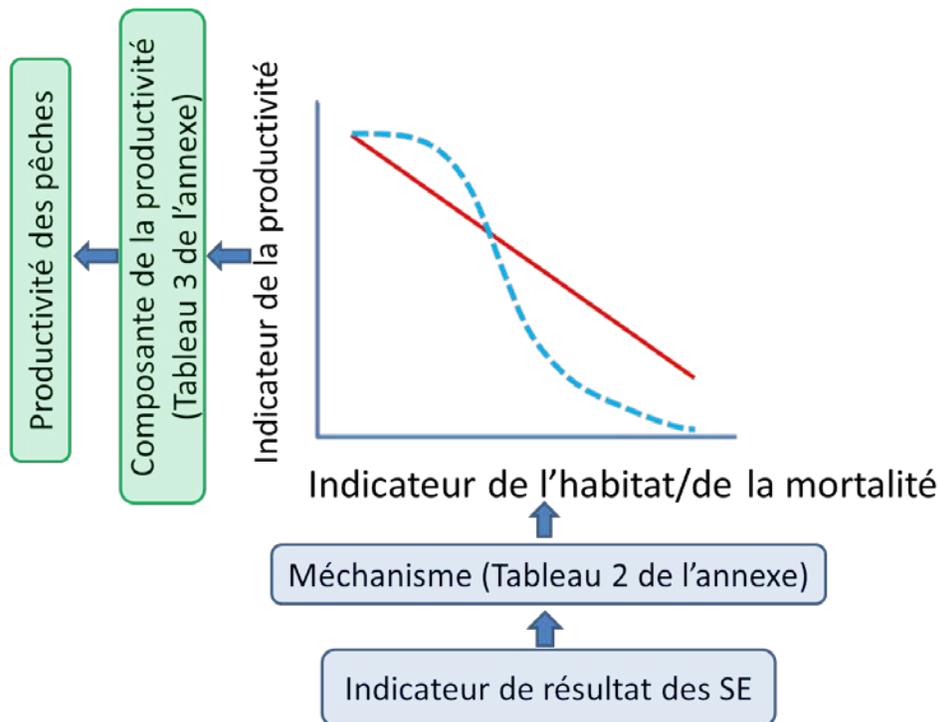


Figure 3. Courbe productivité-état hypothétique illustrant la relation entre les indicateurs de résultat des SDE et la productivité. Cette figure montre comment les rapports productivité-état de Koops *et al.* (2013b) s'inscrivent dans le cadre des SDE et des composantes de la productivité. Les courbes sont hypothétiques mais indiquent que des formes linéaires et non linéaires (comportant des seuils) sont possibles.

Le rapport productivité-état relie une composante de la productivité pour une espèce visée par les pêches commerciales, récréatives et autochtones à un effet résiduel déterminé par l'analyse des SDE (figure 3). Les indicateurs de résultat des SDE ou les mécanismes de chaque indicateur de résultat énuméré dans le Tableau 2 de l'annexe

peuvent être utilisés comme indicateurs qualitatifs ou descriptifs lorsque l'on manque de données. Lorsque des prévisions plus précises du changement sont disponibles, nous proposons également des indicateurs et des mesures quantitatifs pour les indicateurs de résultat des SDE dans la troisième colonne du Tableau 2 de l'annexe. Nous indiquons, pour chaque entrée, les composantes et sous-composantes correspondantes de la productivité qui pourraient être touchées par le changement désigné par les SDE (l'axe des ordonnées de la figure 3). Les paires d'indicateurs de résultat des SDE et de composantes de la productivité forment les axes des rapports productivité-état du projet.

ÉVALUATIONS DE LA PRODUCTIVITÉ

Dans cette section, nous décrivons les évaluations de la productivité pour les trois classes de projets.

Randall *et al.* (2013) ont classé les projets de développement en trois groupes et ont brièvement décrit les données requises et les indicateurs dont on pourrait avoir besoin pour l'évaluation et la surveillance. Dans cette section, nous examinons plus en détail de quelle façon le processus ci-dessus peut être utilisé pour chaque type de projet.

PROJETS QUI RÉDUISENT LA QUANTITÉ D'HABITAT

Bien des projets qui se soldent par la diminution des zones humides des habitats qui soutiennent une pêche CRA appartiennent à la catégorie « destruction » selon la définition des « dommages sérieux » (encadré 2). Les types de projets qui entraînent une perte de la zone d'habitat vont, sur l'échelle spatiale, des remblais localisés (quelques m²) à la perte ou à la conversion d'une grande partie de l'écosystème (p. ex., réservoir). La destruction de l'habitat peut nuire à la productivité des pêches lorsqu'elle provoque une perte de capacité de charge, qui devrait se traduire par une perte directe de rendement soutenu (MPO 2012, figure 4). La perte de capacité d'habitat est l'un des mécanismes qui peut faire baisser la productivité (composantes de la productivité, tableau 1). Une perte de quantité d'habitat peut également se produire si l'habitat se trouve isolé par des blocages ou des problèmes de passage.

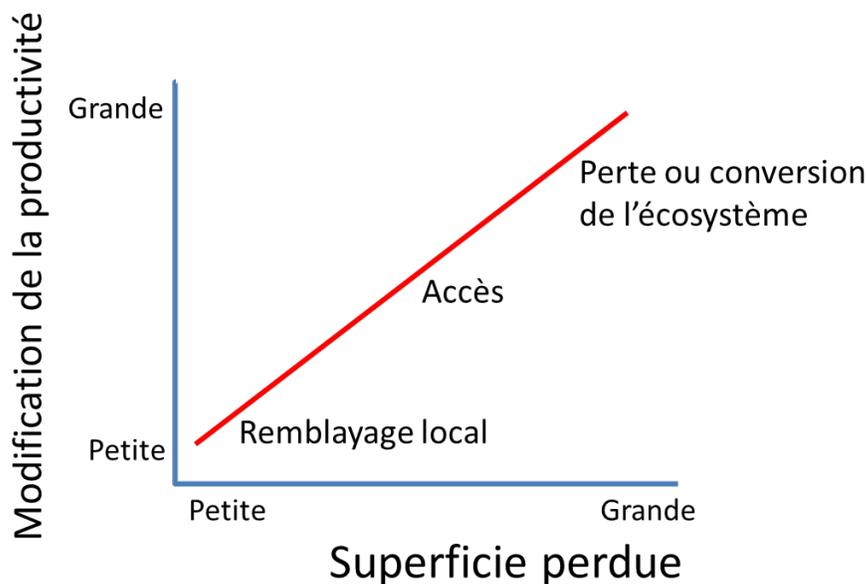


Figure 4. Rapport généralisé entre la perte d'habitat et la productivité des pêches. Perte relative d'une zone d'habitat, dans le cas par exemple d'un remblai localisé, à la destruction ou à la transformation de l'écosystème tout entier, en passant par un important changement de la superficie du fait de l'accès.

Évaluation de l'impact : Les SDE qui sont concernent le changement de la quantité d'habitat sont les suivantes : mise en place de matériel ou de structures dans l'eau, questions liées au passage du poisson, et technologie de production d'énergie océanique renouvelable. La diminution de la quantité d'habitat est indiquée dans la SDE d'énergie renouvelable, mais il s'agit d'un effet implicite dans de nombreuses autres SDE.

Pour ce qui est de la SED *mise en place de matériel ou de structures dans l'eau*, l'indicateur de résultat préoccupant qui correspond au plus près à la perte d'habitat (empreinte) est la modification de la structure de l'habitat et du couvert. La plupart des autres indicateurs de résultat préoccupants ont trait à la qualité de l'habitat au voisinage de l'empreinte : modification des concentrations de sédiments, modification des réserves d'aliments et modification des concentrations de nutriments. Pour la SDE *passage du poisson*, l'indicateur de résultat préoccupant est la modification de l'accès à l'habitat.

Paramètres et analyse : Dans le cas de projets localisés comportant du remblayage ou une perte d'habitat, trois niveaux d'analyse (nécessitant des paramètres différents) peuvent être utilisés, selon la nature du projet, les critères en matière de décision de gestion et les ressources halieutiques menacées.

Paramètres fondés sur la superficie. Dans ce cas, la superficie de l'habitat touché suffit aux besoins en matière de gestion. Le principal paramètre de l'habitat est constitué par les mètres carrés ou les hectares d'habitat perdu.

Paramètres relatifs au type ou à la qualité de l'habitat. Ce niveau d'analyse est nécessaire pour déterminer le type et les qualités des habitats touchés. Dans ce cas, la zone touchée est cartographiée et caractérisée selon le type (par exemple, frai, alevinage, croissance, couloir de migration ou source d'aliments), voire selon la qualité,

habituellement en fonction des données d'inventaire ou de mesures physiques relativement simples. On peut, à partir de ces données, calculer la qualité relative de l'habitat perdu au moyen des indices relatifs à la qualité de l'habitat et d'autres mesures de la qualité de l'habitat. Une telle analyse pourrait suffire pour décrire les impacts du projet et pour concevoir les mesures permettant de compenser les dommages sérieux causés au poisson.

Paramètres pour la productivité des pêches. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'avoir des estimations plus directes de la perte de productivité des pêches résultant d'un remblayage. Pour estimer la perte de productivité, on a besoin d'estimations ou mesures de la production, de l'abondance ou du rendement du poisson en fonction de la superficie (par m² ou ha), de même que de la superficie sur laquelle s'exerce l'impact. On peut utiliser deux approches pour estimer le changement de la productivité des pêches imputable à des projets comportant du remblai : a) relever l'échelle par rapport aux unités d'habitat localisées, b) réduire l'échelle par rapport aux modèles et analyses au niveau de l'écosystème. Des exemples de ces approches sont présentés dans l'encadré 5.

Encadré 5. Changements d'échelle vers le haut ou vers le bas : études de cas.

Relèvement de l'échelle par rapport aux normes régionales : Dans les Grands Lacs, on a évalué le remblayage d'habitats avant et après les projets en calculant la superficie des habitats propices, puis en quantifiant la superficie propice pondérée (SPP) comme produit de la qualité et de la superficie pour chaque type d'habitat (MacNeill *et al.* 2008). On peut ensuite déterminer les impacts sur la productivité en convertissant la SPP en unités de biomasse selon l'approche de la référence régionale (Randall *et al.* 2013). Cette analyse donne deux paramètres : la SPP et la biomasse prévue.

Réduction de l'échelle par rapport aux prévisions au niveau de l'écosystème : Dans le cas d'un projet comportant le remblayage d'une zone riveraine d'un lac à Terre-Neuve, on a pu déterminer l'unité de la biomasse de truite au moyen d'un modèle empirique de l'abondance au niveau du lac (Cote *et al.* 2011), dont on a réduit l'échelle pour déterminer la valeur (biomasse) de la zone remblayée. On a pu estimer l'ajustement pour la valeur plus élevée de l'habitat côtier par rapport à celle de l'habitat extracôtier à partir de la documentation et de l'expérience régionale.

Des exemples de modèles empiriques de la productivité d'espèces pêchées, bien connues, dont l'échelle peut être ramenée à des échelles spatiales moyennes ou petites, sont donnés dans le Tableau 4 de l'annexe. Dans ce cas, on peut calculer la valeur de la productivité de faibles quantités d'habitat au moyen des modèles écosystémiques, éventuellement modifiés au moyen de connaissances supplémentaires sur les qualités des habitats touchés.

PROJETS QUI NUISENT À LA QUALITÉ DE L'HABITAT

Certains projets ne réduisent pas la quantité d'habitat (défini comme zone humide), mais modifient les caractéristiques de l'habitat ou certains aspects des populations qui vivent à proximité du projet, et ont ainsi un effet négatif sur une ou plusieurs composantes de la productivité. D'autres types de projets peuvent causer une mortalité directe ou indirecte du poisson. Dans un cas comme dans l'autre, il peut se produire un changement de la productivité des pêches, parce que le projet touchera un ou plusieurs des principaux indices vitaux (p. ex., croissance, survie, migration, reproduction) des populations de poissons dans la zone du projet.

Paramètres et analyse : Comme dans le cas de la perte d'habitat, on peut utiliser différents niveaux d'analyse et de paramètres selon la nature et l'échelle du projet, les ressources halieutiques menacées et les décisions nécessaires.

Analyse directionnelle qualitative. Pour les petits projets, l'évaluation peut se limiter à définir les composantes de la productivité qui seront probablement touchées, au moyen d'une analyse des SDE, ainsi que le sens du changement. Par exemple, on pourrait s'attendre à ce qu'un rejet de sédiments de longue durée provoque une réduction de la composante de la productivité « croissance ». Cependant, un certain nombre de mécanismes peuvent entraîner une diminution de la croissance (production alimentaire, efficacité de la quête de nourriture, stress sub-létal) et dans de nombreux cas, il sera très difficile de combiner ou d'intégrer ces mécanismes pour générer une prévision quantitative d'un changement de masse pour une espèce donnée et un stade particulier du cycle biologique. Il faut alors recourir à un indicateur qualitatif « croissance », une pratique scientifiquement valable si elle est fondée sur une analyse causale (une analyse qui repose sur la documentation) qui confirme qu'il existe probablement une relation de cause à effet pour chaque mécanisme (Koops *et al.* 2013b). Les indicateurs qualitatifs proposés sont énumérés au Tableau 3 de l'annexe.

Analyse semi-quantitative. Lorsque l'impact (exprimé au moyen de l'indicateur de résultat des SDE) peut être raisonnablement quantifié (p. ex., une modification prévue de la température), une prévision semi-quantitative de l'impact peut convenir aux fins de prise de décisions. On pourrait pour cela recourir à un classement relatif du risque ou de l'impact sur une échelle ordinale (p. ex., faible-moyen-élevé), en fonction de l'ampleur de l'impact du projet sur l'habitat (ou des effets directs sur le poisson). Ce classement serait fondé sur les relations productivité-état élaborées pour le type d'impact (Koops *et al.* 2013b).

Sont inclus dans cette catégorie les cas dans lesquels il existe un seuil pour la variable de l'axe des abscisses (p. ex., un changement du débit ou une limite de température); on suppose que le franchissement d'un seuil se traduit par un impact sur une composante de la productivité. Il n'est pas obligatoire d'évaluer précisément le changement de la productivité car la prise de décisions repose sur le seuil pour le changement des conditions de l'habitat (ou de la mortalité).

Analyse quantitative. Dans d'autres situations, une estimation quantitative de l'impact du projet sur un aspect de la productivité peut convenir. De tels cas exigent une relation productivité-état quantitative, des prévisions raisonnablement exactes du changement imposé par le projet et l'état de référence de l'environnement. Par exemple, si un projet provoque une modification des niveaux de nutriments dans un lac, on peut utiliser une variété de modèles pour évaluer les répercussions sur la productivité des pêches. On peut habituellement employer des indicateurs quantitatifs de la productivité dans ces cas.

PROJETS QUI PROVOQUENT UNE TRANSFORMATION DE L'ÉCOSYSTÈME

Les projets qui provoquent une transformation de l'écosystème ou qui éliminent une partie importante de l'écosystème font la plupart du temps l'objet d'études propres à chaque cas dans le cadre d'une évaluation environnementale (EE) dirigée. Par définition, ces projets modifient la structure et la fonction de l'écosystème et tendent à toucher la quantité et la qualité de l'habitat, ce qui peut altérer à la fois la productivité et la biodiversité locale (Randall *et al.* 2013).

Évaluation de l'impact : Les projets de cette catégorie feront l'objet d'une évaluation d'impact détaillée. L'EE devrait inclure une description détaillée du site, qui tracerait les grandes lignes de l'environnement biophysique, la conception du projet proposé et une prévision des changements de l'environnement attendus à la suite de ce projet. Les pêches passent généralement pour être une composante valorisée de l'écosystème (CVE) dans la plupart des EE. Par conséquent, une description des espèces présentes dans la zone du projet, de leur utilisation de l'habitat fondée sur les principales composantes du cycle biologique (figure 1) et de leur importance relative pour les pêches existantes sera incluse. L'échantillonnage de référence devrait fournir des données qui pourront servir d'intrants pour l'évaluation du changement de la productivité des pêches résultant du projet.

Le cadre des SDE peut toujours éclairer l'évaluation effectuée en vertu de la *Loi sur les pêches*, mais les projets complexes peuvent avoir de nombreux types d'impacts. Ainsi, un barrage hydroélectrique peut avoir sur l'environnement cinq des huit types d'impacts énumérés dans le Tableau 1 de l'annexe qui, du fait des nombreux paramètres et SDE correspondants, risquent de toucher beaucoup d'espèces. Cette complexité peut également englober les interactions entre les impacts et, par conséquent, il s'impose habituellement d'effectuer une évaluation au niveau de l'écosystème qui dépasse la portée du processus décrit dans le présent document. Ces évaluations sont généralement précisées dans les lignes directrices de l'EE.

Paramètres : Il vaut probablement mieux évaluer les projets qui entraînent une transformation de l'écosystème en évaluant directement les changements de la productivité des pêches à l'échelle de la pêche, de l'écosystème ou de la population. La quantité et la qualité de l'habitat peuvent toutes deux changer, et on utilisera les approches quantitatives décrites dans les sections précédentes. Dans certains cas, des écosystèmes entiers seront perdus, et on peut exprimer l'effet sur la productivité des pêches en termes de production de poisson ou de statistiques fondées sur la pêche, notamment le rendement ou l'utilisation. Dans d'autres cas, les écosystèmes peuvent subir des transformations majeures et on peut estimer le changement survenu dans les pêches au moyen des mesures de la productivité ou de la production. Bérubé *et al.* (2005) et McCarthy *et al.* (2008) donnent des exemples de modèles de production fondés sur l'habitat pour l'évaluation de grands projets hydroélectriques. Des approches semblables font appel notamment à la biomasse afférente à l'habitat, à la structure de la population et aux ratios production/biomasse pour estimer la production (et par inférence le rendement possible) (Randall et Minns 2000).

Il faudra également prendre en compte les changements de la biodiversité lorsque l'écosystème change, car certaines répercussions sur la productivité des pêches ne sont pas faciles à saisir dans les évaluations et modélisations typiques de la production de poisson. Ceci est particulièrement important lorsque l'on prévoit que des changements de caractéristiques de l'habitat pourraient réduire la qualité de l'habitat pour un ensemble d'espèces, mais l'améliorer pour un autre (p. ex., création de réservoir). Cependant, il

s'agit ici d'un domaine dans lequel il y a peu de recherche dirigée, et il s'impose de consentir un effort ciblé pour comprendre la nature des compromis. Dans ce contexte, on envisage habituellement des compromis sur le plan de la biodiversité à l'égard des objectifs de gestion des pêches dans la zone du projet.

DISCUSSION

Dans le présent document, nous décrivons un processus valable pour relier les effets résiduels des projets à la productivité des pêches et nous proposons une manière d'évaluer la « contribution des poissons visés » comme l'exige l'article 6 de la *Loi sur les pêches*. En réduisant les indicateurs de résultat des SDE à leurs mécanismes particuliers, lorsque cela convient, et en tenant compte des composantes de la productivité des pêches, il devient possible de remplir les axes des relations productivité-état de Koops *et al.* (2013a, b).

On trouvera un sommaire du processus proposé dans l'encadré 6.

Encadré 6 : Sommaire du cadre proposé pour évaluer les effets des projets sur la productivité des pêches

1. Déterminer le type et l'échelle du projet (quantité/qualité/transformation)
2. Utiliser les SDE pour déterminer les effets résiduels (effets non atténués sur le poisson ou l'habitat) et désigner les indicateurs pour les indicateurs de résultat
3. Désigner les paramètres possibles de la productivité (qualitatifs, semi-quantitatifs, quantitatifs) en faisant fond sur les composantes/l'écosystème appropriés en question et les effets résiduels
4. Évaluer les impacts sur la productivité selon le type de projet (voir les exemples dans le texte)
5. Combiner l'évaluation des effets sur la productivité qu'exercent les différents agents de stress pour obtenir une évaluation globale qui sera reprise dans le cadre décisionnel (il faut de nouvelles directives pour cette étape).

Dans le présent rapport, nous ne décrivons que le cadre, et il reste bien des problèmes à régler (notamment l'étape 5 dans l'encadré 6) avant que l'approche puisse être mise en œuvre entièrement. Certains d'entre eux sont énumérés dans les sections suivantes.

Relier les indicateurs aux décisions. Les meilleurs indicateurs sont ceux qui fournissent assez d'information pour que l'on puisse prendre des décisions efficacement, sans plus (Failing *et al.* 2003). On n'a pas besoin d'indicateurs détaillés, précis et complexes si la décision fondamentale est prise à une échelle bien plus grossière. Au moment de la rédaction (juillet 2013), le système décisionnel exact qui sera éclairé par les facteurs indiqués à l'article 6 de la *Loi* n'a pas été déterminé. À mesure que la politique pour les DPP sera élaborée, la nature des évaluations de la productivité et les renseignements obligatoires devront être peaufinés davantage afin de correspondre aux décisions qui doivent être prises.

Quantifier le changement d'une composante de la productivité et le relier à la productivité des pêches. Pour certains projets, il faudra une évaluation au niveau de la population. Il y a au moins trois facteurs qui entrent en ligne de compte : (1) l'ampleur du changement de la composante de la productivité, (2) la sensibilité de la productivité globale (des pêches) à un changement de cette composante, (3) l'échelle à laquelle

l'évaluation sera effectuée. Le processus relatif au premier facteur à prendre en considération est décrit dans le présent document et dans Koops *et al.* (2013a, b), mais il faut élaborer des directives pour l'estimation ou le classement de l'importance relative d'un changement d'une composante de la productivité. L'importance de l'échelle a été examinée dans Randall *et al.* (2013), et il faut une orientation stratégique au sujet de l'échelle d'évaluation afin de bien évaluer les effets des projets et le risque qu'ils font planer sur les pêches CRA.

Projets qui ont plus d'un impact résiduel. Nous n'avons pas abordé la situation courante des projets qui ont de nombreux effets résiduels et touchent ainsi un certain nombre de composantes de la productivité. Il peut s'agir de répercussions sur la quantité et la qualité de l'habitat, qui n'atteignent cependant pas encore l'échelle de la transformation de l'écosystème. Dans certains cas, il peut être utile d'accumuler les effets; dans d'autres, l'effet le plus important peut effectivement dominer les plus petits, qui ne sont alors pas pris en compte. Les situations dans lesquelles de nombreuses espèces, éventuellement diverses, sont touchées constituent une autre facette de ce problème. Il peut être bon de remonter depuis la décision à prendre pour déterminer à quel point le « cumul » des différents effets doit être précis et détaillé.

Inclusion de l'état actuel de la pêche, des populations de poissons CRA et des habitats dans les évaluations. Du point de vue de la dynamique des populations, les répercussions des projets peuvent dépendre de l'état actuel de la population et des habitats qu'elle utilise. Ainsi, si le déclin d'une population est dû à des facteurs externes, la compensation jouera un rôle moins important pour ce qui est d'atténuer les répercussions. La connaissance de l'état des agents de stress ou de l'habitat disponible dans l'écosystème peut également influencer sur les décisions. Les problèmes des effets cumulatifs ont été décrits par Randall *et al.* (2013) et Koops *et al.* (2013a).

Évaluations incluant des changements de la biodiversité. Les preuves s'accumulent (examinées dans Randall *et al.* 2013) que la biodiversité aquatique peut contribuer à la productivité des pêches. Dans ce document, nous n'abordons pas la façon dont on devrait s'attaquer aux risques pour la biodiversité dans ce cadre, ni les types d'indicateurs ou de paramètres qu'il faudrait utiliser.

Malgré ces problèmes qui restent à régler, le présent document fait considérablement avancer un cadre scientifique qui peut être mis en œuvre à court terme pour évaluer les impacts liés à l'habitat qui s'exercent sur la productivité des pêches et éclairer l'article 6 de la *Loi sur les pêches* modifiée.

RÉFÉRENCES

- Bérubé, M., Verdon, R., Durocher, G., and Guay, J.C. 2005. A comprehensive framework for assessing changes in fish habitat productive capacity resulting from large hydroelectric projects. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2005/051.
- Bradford, M.J., Myers, R.A., and Irvine, J.R. 2000b. Reference points for coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) harvest rates and escapement goals based on freshwater production. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 677-686.
- Bradford, M.J., Pyper, B.J., and Shortreed, K.S. 2000a. Biological responses of sockeye salmon to the fertilization of Chilko Lake, a large lake in the interior of British Columbia. N. Am. J. Fish. Manage. 20: 661-671.
- Bradford, M.J., Taylor, G.C., and Allan, J.A. 1997. Empirical review of coho salmon smolt abundance and the prediction of smolt production at the regional level. Trans. Am. Fish. Soc. 126: 49-64.
- Chaput, G., Allard, J., Caron, F., Dempson, J.B., Mullins, C.C., and O'Connell, M.F. 1998. River-specific target spawning requirements for Atlantic salmon (*Salmo salar*) based on a generalized smolt production model. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 246-261.
- Cote, D., Adams, B.K., Clarke, K.D., and Langdon, M. 2011. Salmonid biomass and habitat relationships for small lakes. Environ. Biol. Fishes 92: 351-360.
- Failing, L., and Gregory, R. 2003. Ten common mistakes in designing biodiversity indicators for forest policy. J. Environ. Manage. 68: 121-132.
- Hayes, D., *et al.* 2009. Linking fish population dynamics to habitat conditions: insights from the application of a process-oriented approach to several Great Lakes species. Rev. Fish. Biol. Fish. 19: 295-312.
- Koops, M.A., Koen-Alonso, M., Smokorowski, K.E., and Rice, J.C. 2013a. A science-based interpretation and framework for considering the contribution of the relevant fish to the ongoing productivity of commercial, recreational or Aboriginal fisheries. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/141. iii + 28 p.
- Lester, N.P., Dextrase, A.J., Kushneriuk, R.S., Rawson, M.R., and Ryan, P.A. 2004. Light and temperature: key factors affecting walleye abundance and production. Trans. Am. Fish. Soc. 133: 588-605.
- MacNeill, J.E., Murphy, S., Ming, D., and Minns, C.K. 2008. Analysis of infilling projects affecting fish habitat in the Great Lakes (1997-2001). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2840.
- McCarthy, J., LeDrew, B.R., and LeDrew, L.J. 2008. A framework for aquatic habitat classification for large northern ecosystems: application to the proposed Churchill River Power Project, Churchill River, Labrador, Canada. Am. Fish. Soc. Symp. 49: 1041-1057.
- Minns, C.K., Randall, R.G., Smokorowski, K.E., Clarke, K.D., Vélez-Espino, A., Gregory, R.S., Courtenay, S., and LeBlanc, P. 2011. Direct and indirect estimates of the productive capacity of fish habitat under Canada's Policy for the Management of Fish Habitat: where have we been, where are we now, and where are we going? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68: 2204-2227.

-
- MPO. 2013. 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. 1986. Politique de gestion de l'habitat du poisson. Programme de gestion de l'habitat du poisson.
- Payne, N.R., Korver, R.M., MacLennan, D.S., Nepszy, S.J., Shuter, B.J., Stewart, T.J., and Thomas, E.R. 1990. The harvest potential and dynamics of lake trout populations in Ontario. Lake Trout Synthesis Population Dynamics Working Group Report, Ontario Ministry of Natural Resources, Toronto.
- Power, M. 1997. Assessing the effects of environmental stressors on fish populations. *Aquatic Toxicology* 39: 151-169.
- Randall, R.G., and Minns, C.K. 2000. Use of fish production per unit biomass ratios for measuring the productive capacity of fish habitats. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 1657-1667.
- Randall, R.G., Bradford, M.J., Clarke, K.D., and Rice, J.C. 2013. A science-based interpretation of ongoing productivity of commercial, recreational or Aboriginal fisheries. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/112.
- Shuter, B.J. 1990. Population-level indicators of stress. *Am. Fish. Soc. Symp.* 8: 145-166.
- Shuter, B.J., and Regier, H.A. 1989. The ecology of fish and populations: dealing with interactions between levels. *In* Proceedings of the national workshop on effects of habitat alteration on salmonid stocks. Edited by C.D. Levings, L.B. Holtby and M.A. Henderson. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 105. p. 33-49.
- Shuter, B.J., Jones, M.J., Korver, R.M., and Lester, N.P. 1998. A general, life history based model for regional management of fish stocks: the inland lake trout (*Salvelinus namaycush*) fisheries of Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2161-2177.

ANNEXE 1 : TABLEAUX

Tableau 1 de l'annexe. Liste des ouvrages, entreprises et activités classés selon le type d'impact et reliés aux séquences des effets et à la composante de l'écosystème préoccupante (indicateurs de résultat) des diagrammes des séquences. Tiré de Koops et al. 2013a (tableau 5).

Type d'impact	Ouvrages/entreprises/activités	Intitulés des séquences des effets	Effet sur la composante de l'écosystème (indicateurs de résultat des séquences des effets)
Remblai/empreinte	Toute structure construite dans un plan d'eau (p. ex., jetées, butées, barrages, ponts, ponceaux, éoliennes), développement urbain, de résidences secondaires et portuaire (p. ex., docks, remises à bateaux, ancrages, quais, digues, bermes, épis, rampes de mise à l'eau et cales de halage), travaux de stabilisation des rives (p. ex., murs de soutènement, protection des rochers, contrôle de l'érosion, pavage)	Mise en place de matériel ou de structures dans l'eau; problèmes liés au passage du poisson; enlèvement des structures; technologies de production d'énergie océanique renouvelable : Construction et exploitation; aquaculture : Mise en place/enlèvement des infrastructures des sites	Modification de la structure de l'habitat et du couvert, modification des sources d'aliments, modification des concentrations de nutriments, modification des concentrations de sédiments, modification de l'accès aux habitats, modification des concentrations de contaminants, modification de la température, modification des régimes de transport, d'érosion et de dépôt des sédiments, modification des caractéristiques et des régimes hydrodynamiques.
Dépôt de substances non polluantes dans l'eau	Matière organique provenant des opérations des installations d'aquaculture et des opérations forestières ou rejets de drague en eau libre.	Dragage; excavation; site aquacole et gestion des stocks	Modification de la structure de l'habitat et du couvert, modification des concentrations de sédiments, modification des sources d'aliments, modification des concentrations de contaminants, modification des concentrations de nutriments, mortalité des organismes, modification du contenu d'oxygène dissous, modification de la température de l'eau, modification du débit de base, modification de la productivité primaire.
Modifications du débit/du niveau de l'eau	Prélèvement d'eau, notamment extraction d'eau de sources souterraines/remontées (p. ex., embouteillage, utilisations par les municipalités, l'industrie, l'agriculture, les centrales électriques thermiques/nucléaires) et fonctionnement des structures de contrôle de l'eau (p. ex., centrales hydroélectriques).	Modification du moment, de la durée ou de la fréquence du débit; extraction de l'eau; problèmes liés au passage du poisson; gestion des eaux usées	Déplacement ou échouement des poissons, modification de la migration ou de l'accès aux habitats, modification des concentrations de sédiments, modification de la structure de l'habitat et du couvert, modification des sources d'aliments, modification de la température de l'eau, modification des concentrations de contaminants, modification

Type d'impact	Ouvrages/entreprises/activités	Intitulés des séquences des effets	Effet sur la composante de l'écosystème (indicateurs de résultat des séquences des effets)
	Dépôt d'eau		des concentrations de nutriments, modification de la pression totale du mélange gazeux, modification de la salinité, modification du contenu d'oxygène dissous, pathogènes, vecteurs de maladie, espèces exotiques.
Dragage et excavation	Tout dragage ou excavation sous la laisse de crue (p. ex., à des fins récréatives, pour la navigation, des projets d'extraction minière et de sables bitumineux, l'extraction des granulats, l'entretien des installations de drainage, les câbles et pipelines sous-marins).	Dragage; excavation; défrichage de la végétation; ajout ou enlèvement de végétation aquatique; gestion des débris organiques.	Modification des sources d'aliments, modification de la température de l'eau, modification des concentrations de sédiments, modification du débit de base, modification de la structure de l'habitat et du couvert, modification des concentrations de contaminants, modification des concentrations de nutriments, modification du contenu d'oxygène dissous.
Modification permanente des cours d'eau	Réalignement/déménagement, entrave au passage du poisson, modification de cours d'eau, canalisation, création de réservoirs (p. ex., près de ponceaux et de barrages), structures de contrôle de l'eau.	Problèmes liés au passage du poisson.	Modification de l'accès aux habitats, modification des repères ou des barrages thermiques, modification de la pression totale du mélange gazeux, modification de la salinité, transfert d'espèces entre bassins.
Mortalité des poissons	Destruction de poissons par l'utilisation d'explosifs (dans l'eau ou à proximité), fonctionnement des turbines (énergie marémotrice, hydrocinétique, barrages hydroélectriques et déversoirs), assèchement et déviations temporaires de l'écoulement, impaction de poissons sur les grillages et les clôtures ou entraînement.	Extraction de l'eau; problèmes liés au passage du poisson; utilisation d'explosifs; utilisation d'équipement industriel; relevés sismiques en mer; pâturages riverains; technologies de production d'énergie océanique renouvelable : évaluation du site, construction, entretien, déclassement, exploitation.	Effets mortels ou sub-létaux sur le poisson/les œufs; mortalité directe ou indirecte du poisson.

Type d'impact	Ouvrages/entreprises/activités	Intitulés des séquences des effets	Effet sur la composante de l'écosystème (indicateurs de résultat des séquences des effets)
Perturbation du poisson	Tout O/E/A dans l'eau qui produit du bruit, des vibrations, du rayonnement électromagnétique ou de la lumière.	Utilisation d'équipement industriel; utilisation d'explosifs; relevés sismiques en mer; technologies de production d'énergie océanique renouvelable : évaluation du site, construction, entretien, déclassement, exploitation.	Effets physiologiques sur les poissons (notamment hormonaux, développement des œufs/des larves), modification des concentrations de sédiments, modification des concentrations de contaminants, modification des concentrations de nutriments, modification de la structure de l'habitat et du couvert, modification de l'accès aux habitats, modification de la migration et des habitudes migratoires, modification du comportement, communication, déplacement, orientation ou détection des prédateurs/des proies.
Altération des rives	Effet nuisible sur la végétation riveraine, la pente de la rive ou déversements directs dans l'eau à partir d'activités terrestres.	Défrichage de la végétation; reforestation des berges; nettoyage ou entretien des ponts ou d'autres structures; nivellement; utilisation d'équipement industriel; pâturages riverains.	Modification de la structure de l'habitat et du couvert; modification des concentrations de sédiments; modification de la température de l'eau; modification des sources d'aliments; modification des concentrations de nutriments; modification des concentrations de contaminants; modification des niveaux de pathogènes et de bactéries; obstacle chimique au passage du poisson.

Tableau 2 de l'annexe. Liste hiérarchique des indicateurs de résultat des séquences des effets (SDE), mécanismes qui sont la cause de changement pour le poisson ou l'habitat du poisson, et indicateurs ou mesures quantitatifs pour mesurer le changement des indicateurs de résultat (axe des abscisses du cadre d'évaluation, Koops et al. 2013a). Sont également indiquées les composantes de la productivité probables qui pourraient être touchées par le changement. Les chiffres entre parenthèses indiquent la fréquence de chaque indicateur de résultat parmi les diagrammes des SDE énumérés dans le tableau 2.

Indicateur de résultat des SDE	Mécanisme	Paramètres de l'indicateur de résultat (axe des abscisses du cadre).	Composantes ou sous-composantes de la productivité
Modification des concentrations de sédiments (19)	Augmentation des sédiments en suspension dans la colonne d'eau Augmentation des matériaux fins dans le lit	% de grains fins dans le substrat, turbidité, concentration des sédiments en suspension.	Diminution de ce qui suit : survie (œufs/larves de salmonidés), efficacité de la quête de nourriture, sources d'aliments, qualité de l'habitat Augmentation du stress sub-létal
Modification de la structure de l'habitat et du couvert (17)	Perte d'habitat (enlèvement), modification de la superficie de l'habitat, perte d'hétérogénéité	Zone d'habitat perdu, réduction de la complexité de l'habitat, modification du couvert/de l'ombre, morceaux de GDL	Diminution de la qualité ou de la quantité de l'habitat
Modification des concentrations de nutriments (14)	Augmentation ou diminution des nutriments nécessaires à la production primaire	Modification de la concentration de nutriments (N, P), chlorophylle a, respiration du cours d'eau, indices d'invertébrés, indices d'algues, O.D.	Eutrophisation : diminution de la nourriture disponible; capacité de l'habitat, croissance, reproduction, mortalité. Augmentation du stress sub-létal (O.D.) Diminution des nutriments : diminutions des sources d'aliments et de la croissance.
Modification des concentrations de contaminants (14)	Augmentation de la concentration de substances chimiques nocives dans l'eau	Modification de la concentration de contaminants dans l'eau, chimie des sédiments.	Augmentation du stress sub-létal. Diminutions de la croissance, de la survie, de la reproduction
Modification des sources d'aliments (13)	Diminution des habitats propices pour la production d'organismes proies (habituellement des invertébrés). Nombreux mécanismes	Nutriments (N,P), chlorophylle a, densité de la végétation, indices d'invertébrés.	Diminution de la croissance, de la survie, de la reproduction, du recrutement.
Mortalité directe des poissons (11)	Poissons échoués, déplacés, entraînés, coincés, commotionnés	Changements rapides du débit, quantités d'eau qui traversent les	Diminution de la survie, du recrutement

Indicateur de résultat des SDE	Mécanisme	Paramètres de l'indicateur de résultat (axe des abscisses du cadre).	Composantes ou sous-composantes de la productivité
	ou tués d'une autre façon	turbines, pompes. Estimations directes des poissons tués.	
Modification de la température (9)	Augmentation ou diminution par rapport à la température ambiante	Changement de température par rapport aux conditions ambiantes	Des diminutions de la croissance, de la survie, de la reproduction peuvent survenir si les températures sont moins qu'optimales. Augmentation du stress, des maladies
Changement du bruit, des vibrations, de la lumière, du champ électromagnétique (CEM) (8)	Le projet provoque des changements de l'environnement physique ou sensoriel qui modifient les comportements, la migration, la communication, les déplacements ou l'orientation. La lumière peut modifier le taux de photosynthèse, le risque de prédation.	Changement du bruit, des vibrations, du CEM et du moment de l'éclairage artificiel par rapport aux conditions ambiantes.	Diminution de la survie, baisse du taux de succès des migrations. Augmentation du stress sub-létal
Modification de l'accès à l'habitat (7)	Les travaux créent une barrière physique. Diminution de l'accessibilité des habitats à cause de changements des conditions hydrauliques ou d'autres facteurs.	Taux de passage réussi Quantité d'habitat perdu à cause de la limitation de l'accès.	Diminution de la quantité d'habitat, du recrutement, de la survie par suite de retards de la migration, de la perte de l'accès aux frayères, de la diminution de la qualité de l'habitat, de l'augmentation de la fragmentation de la population.
Effets physiologiques sub-létaux (6)	Augmentation du stress, de la dépense d'énergie à cause de conditions moins qu'optimales	Hématologie (lactate, pH, glucose, cortisol). Lipides et autres constituants du corps, état	Stress sub-létal se soldant par la diminution d'autres indices vitaux
Modification de la concentration d'oxygène dissous (3)	Les niveaux d'oxygène baissent sous les valeurs optimales	[O ₂], mesures indirectes (espèce indicatrice).	Stress sub-létal se soldant par la diminution d'autres indices vitaux Mortalité
Pathogènes, vecteurs de	Augmentation de l'exposition à des pathogènes ou à des espèces	Prévalence de pathogènes dans l'environnement.	Infection, maladie, stress sub-létal se soldant par la diminution d'autres indices

Indicateur de résultat des SDE	Mécanisme	Paramètres de l'indicateur de résultat (axe des abscisses du cadre).	Composantes ou sous-composantes de la productivité
maladies, espèces exotiques (2)	exotiques ou envahissantes.	Prévalence chez les hôtes.	vitaux Mortalité
Modification de la salinité (1)	Changement par rapport aux conditions ambiantes	Mesures de la salinité	Stress sub-létal se soldant par la diminution d'autres indices vitaux
Changement des régimes hydrodynamiques (1)	Les changements par rapport aux régimes de débit naturels touchent de nombreux processus écologiques et physiques.	Hydrogrammes annuels (rivière), dynamique du débit autour et au-delà des structures, caractéristiques du substrat et de la profondeur.	Diminution des sources d'aliments, de la croissance, de la survie, de la reproduction. Augmentation du stress.
Modification de la pression du mélange gazeux (1)	Augmentation de la PTMG au-dessus des niveaux tolérables	Pression totale du mélange gazeux (PTMG)	Stress sub-létal se soldant par l'augmentation des taux de mortalité (prédation), diminution de la croissance
Transfert d'espèces entre bassins (1)	Interactions défavorables avec la faune non indigène	Présence d'espèces nouvelles/non indigènes dans un système. Volume d'eau transféré	Réduction de la croissance (compétition). Réduction de la survie (prédation). Augmentation de l'incidence des maladies.
Modification du débit de base (1)	L'augmentation ou la baisse du débit de base peut provoquer de nombreux changements physiques et écologiques.	Changement par rapport au débit optimal ou naturel	Diminution des sources d'aliments, de la qualité et de la quantité de l'habitat, de la qualité et de la quantité des frayères.

Tableau 3 de l'annexe : Indicateurs qualitatifs et quantitatifs et exemples de mesures des composantes de la productivité des pêches pour les projets qui influent sur la qualité de l'habitat du poisson ou qui ont des impacts sur les poissons (p. ex., stress, mortalité). Les indicateurs qualitatifs sont descriptifs mais reposent sur des éléments probants qui étayent les liens entre un projet et une composante de la productivité des pêches. Les indicateurs quantitatifs émanent des modèles, analyses ou études de terrain qui donnent des prévisions explicites de la façon dont une composante de la productivité sera touchée par les effets résiduels du projet. Les mesures résultent des études de terrain et peuvent servir à établir des prévisions ou à effectuer une surveillance de suivi (avant-après).

Composante de la productivité	Sous-composantes	Mécanisme	Indicateur qualitatif	Indicateur quantitatif	Mesures
Croissance			Changement directionnel du taux d'augmentation de la taille corporelle au fil du temps	Changement modélisé de la croissance reposant sur des facteurs environnementaux et biotiques	Changements de la taille (longueur, poids) au fil du temps, selon l'âge par analyse des parties dures, étiquetage.
	Sources de nourriture	Quantité	Sens du changement de l'abondance, de la biomasse des invertébrés ou des poissons-fourrages	Prévision de la biomasse; composition	Abondance, biomasse ou productivité des espèces de proies (échantillons par filet/dérivant).
		Qualité	Description du changement de la structure des communautés	Composition prévue des espèces par rapport à la proie de prédilection	Composition par espèce/taille des espèces de proies. Contenu énergétique.
	Efficacité	Quête de nourriture	Changement directionnel de l'efficacité de la quête de nourriture en fonction des changements de l'environnement	Prévisions de l'apport d'énergie à partir des modèles de quête de nourriture	Analyse du contenu stomacal, isotopes stables.
Bioénergie		Description du changement de l'efficacité de la conversion énergétique par suite des changements des conditions environnementales	Prévisions de l'énergie excédentaire à partir des modèles bioénergétiques	Changement de la masse/de l'état. Analyse des lipides ou des constituants corporels	
Taux de survie			Présence de mortalité et évaluation de l'échelle.	Prévisions du nombre de poissons tués	Estimation des taux de survie à partir de l'étiquetage/de la télémétrie ou des estimations séquentielles de l'abondance. Mortalité déduite de la composition selon l'âge
	Mortalité indépendante de la densité	Mortalité directe	Conditions qui entraînent la mort de poissons	La meilleure façon d'évaluer les incidences de la mortalité consiste à utiliser une approche de modélisation	

Composante de la productivité	Sous-composantes	Mécanisme	Indicateur qualitatif	Indicateur quantitatif	Mesures
		Dépassement des tolérances environnementales	Superficie de l'habitat ou proportion de la population exposée à des conditions potentiellement létales	reposant sur la population qui tient compte de la mortalité compensatoire et indépendante de la densité tout au long du cycle biologique	Échantillonnage pour trouver des preuves directes de la mort
	Mortalité dépendante de la densité	Limitation de l'habitat disponible	Évaluation du changement de la capacité de l'habitat	Prévision quantitative de la capacité de l'habitat fondée sur un modèle de production habitat-poisson.	Changements des estimations de la densité pour les habitats « entièrementensemencés ». Changements des taux de production (œufs-alevins, œufs-saumoneaux).
Performance individuelle	Stress	Conditions environnementales moins qu'optimales	Déduite de la modification de la température, O ₂ , PTMG, contaminants, bruit, changements du débit, autres variables de la qualité de l'eau par rapport aux valeurs optimales	Prévision quantitative fondée sur des modèles ou des preuves de la réaction au stress	Paramètres hématologiques. Peuvent provoquer des changements de la croissance, de l'état, de la reproduction.
	Maladie	Infection	Déduite de la modification de la température; exposition	Prévalence fondée sur des prédicteurs empiriques Prévisions des conséquences pour des individus ou des populations	Histopathologie, analyse sérologique ou moléculaire pour déterminer la présence de pathogènes et de maladies
Migration		Perturbation du comportement normal	Succès déduit de la migration	Probabilité de réussite fondée sur des modèles, des données empiriques.	Relevés hydroacoustiques, études par étiquetage pour estimer le taux de réussite de la migration, seuils de mesures ou observation directe
Reproduction	Maturation et reproduction des adultes	Conditions environnementales moins qu'optimales	Diminution déduite du succès de la reproduction	Prévisions fondées sur des preuves empiriques	Échantillonnage pour le développement reproducteur (indice de l'identification génétique des stocks (IGS), etc.), hormones.
	Succès de la reproduction indépendant de la densité	Qualité des frayères	Changements évalués de l'état de l'habitat par rapport aux valeurs historiques ou optimales	Prévisions fondées sur des modèles empiriques concernant le taux de survie ou de reproduction par rapport aux conditions environnementales (débit, température, substrat, etc.) comparativement aux	Estimations sur le terrain du succès de la fécondation, de la survie et de l'état des œufs, des larves et des juvéniles.

Composante de la productivité	Sous-composantes	Mécanisme	Indicateur qualitatif	Indicateur quantitatif	Mesures
	Succès de la reproduction dépendant de la densité	Quantité de frayères	Changement directionnel de l'habitat disponible	Prévision au niveau de la population fondée sur les prévisions de la capacité de l'habitat.	Estimations de la densité de géniteurs par rapport à la qualité et à la disponibilité de l'habitat. Mesures de l'environnement d'incubation et des taux de survie.

valeurs optimales.

Tableau 4 de l'annexe. Exemples de modèles permettant de prévoir la productivité des espèce pêchées dans les lacs et les rivières en utilisant la superficie de l'habitat de surface comme prédicteur.

Espèce	Paramètre de productivité	Équation	Référence
Ombles de fontaine (T.-N.-L.)	Log biomasse (kg/ha)	$2,71 - 0,54(\log \text{ superficie})$	Cote <i>et al.</i> 2010
Touladi (Ont.)	Log ₁₀ (rendement, kg/ha)	$0,50 + 0,83 (\log_{10} \text{ superficie})$	Payne <i>et al.</i> 1990
	Biomasse (kg/ha)	$84,33 \text{ superficie} - 0,76 + 0,038 (\log \text{ superficie})$	Shuter <i>et al.</i> 1998
Doré jaune (Ont.)	Log _e (kg/an)	$0,914(\log_e \text{ superficie}) + 0,407$	Lester <i>et al.</i> 2004
Saumon atlantique (N.-B., N.-É., T.-N.-L.)	Œufs	$2,4 (\text{ superficie})$	Chaput <i>et al.</i> 1998
Saumon coho (C.-B.)	Log _e (abondance de saumoneaux)	$6,9 + 0,97(\log_e \text{ longueur cours d'eau})$	Bradford <i>et al.</i> 1997

ANNEXE 2. MORTALITÉ DÉPENDANTE DE LA DENSITÉ ET INDÉPENDANTE DE LA DENSITÉ

On catégorise souvent les processus démographiques comme indépendants de la densité (lorsque les indices vitaux ne sont pas liés à la densité démographique) et comme dépendants de la densité (c.-à-d., qui varient avec la densité). La présence de processus dépendants de la densité (souvent appelés familièrement « facteurs limitatifs » ou « goulots d'étranglement ») peut compliquer l'évaluation des effets des projets sur la productivité des pêches.

Les processus indépendants de la densité sont souvent associés à des facteurs physiques ou environnementaux qui font varier la croissance ou la mortalité en réaction à une mauvaise qualité de l'eau, à des débits extrêmes ou à des changements de la croissance liés à la variation de la température de l'eau.

Les processus dépendants de la densité varient avec la densité démographique, le plus souvent parce qu'un aspect de l'environnement est limitatif. Ainsi, la survie dépendante de la densité au stade juvénile est courante chez les poissons, parce que l'habitat des juvéniles ou la disponibilité de ressources alimentaires sont limités. Pour de nombreux poissons qui habitent les cours d'eau, la quantité d'habitat de croissance convenable impose un plafond à la production de juvéniles dans cet habitat (figure A1). Lorsque l'abondance est forte, la compétition accrue pour la nourriture peut réduire la survie, car les individus doivent passer plus de temps à la recherche de nourriture (une activité à risque) pour satisfaire leurs besoins. La survie dépendante de la densité aux stades juvéniles engendre des relations stock-recrutement qui forment souvent la base des modèles utilisés pour gérer la récolte.

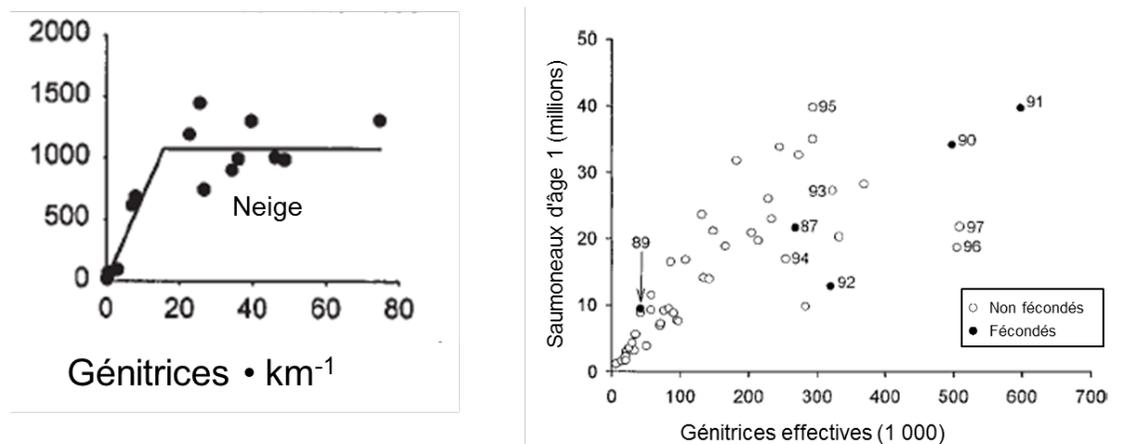


Figure A1. Deux exemples de rapports de compensation entre l'abondance de géniteurs et la production de juvéniles (saumoneaux) qui en résulte deux ans plus tard pour (à gauche) le saumon coho dans un petit cours d'eau et (à droite) le saumon rouge du lac Chilko (C.-B.). Le cours d'eau du coho est un exemple de forte dépendance à la densité, car dès que le cours d'eau est entièrement ensemencé, les autres géniteurs n'exercent plus aucun effet sur la production de saumoneaux. Dans le cas du saumon rouge, le rapport est plus linéaire car la survie dépendante de la densité est probablement liée à la limitation des sources d'aliments (Bradford et al. 2000a, b).

Les processus dépendants de la densité peuvent se produire aux stades adultes. Par exemple, on constate fréquemment une croissance dépendante de la densité dans de petits lacs, la croissance diminuant lorsque l'abondance augmente du fait de la compétition pour des ressources alimentaires limitées. Les baisses de la croissance peuvent nuire à la survie et au potentiel de reproduction et réduire la taille moyenne des poissons disponibles pour les pêches.

Les limitations dépendantes de la densité peuvent également survenir pendant la reproduction si l'habitat utilisé comme frayère est rare.

Les indices vitaux qui diminuent avec la densité sont considérés comme *compensatoires* parce qu'ils tendront à stabiliser l'abondance des populations. Lorsque les populations croissent, la survie ou la croissance diminuera, ce qui provoquera une baisse de la productivité et de l'abondance. Inversement, lorsque les populations sont réduites en raison de la pêche ou d'un autre agent de mortalité, les indices vitaux augmenteront. La productivité de la population augmentera alors, ce qui compensera l'effet de l'augmentation de la mortalité. Les processus de compensation sont le fondement du rendement soutenu, car ils se traduisent par une augmentation de la productivité de la population, lorsque les populations sont moins abondantes par suite de la pêche.

Dans certaines situations, le processus *dépensatoire* est important. Les indices vitaux augmentent alors avec l'abondance, habituellement lorsque les populations sont très petites. La dépensation peut être causée par la prédation qui fait augmenter le taux de mortalité par individu à mesure que la taille des populations diminue, par le conditionnement du milieu lorsqu'une abondance minimale est nécessaire pour influencer sur la qualité des environnements de frai ou d'alevinage, ou si des mécanismes de groupe ou sociaux procurent des avantages sur le plan de la valeur adaptative. Les processus dépensatoires ne peuvent pas atténuer les effets des impacts résiduels des projets. Ils constituent plutôt des facteurs de risque pour les projets ou des impacts cumulatifs qui entraînent une réduction très importante des populations.

Bien que les mécanismes dépendants de la densité soient modélisés explicitement (p. ex., analyse stock-recrue) ou pris en compte implicitement dans les décisions de gestion des pêches, ils n'entrent que rarement en ligne de compte dans l'évaluation de l'impact environnemental (Shuter 1989). Shuter (1990) a mis en évidence que les processus de compensation peuvent atténuer les impacts environnementaux, mais la mesure dans laquelle ils le font dépend de l'ordre chronologique des événements et de la force de la réaction de compensation. En général, si un impact sur une population se produit à un stade du cycle biologique antérieur à celui qui est dépendant de la densité, l'effet de l'impact peut être réduit par la compensation d'un ou de plusieurs indices vitaux.

Pour la plupart des populations, on ne comprend généralement pas bien la nature et l'étendue des processus de compensation et on a utilisé un éventail d'approches pour régler ce problème dans le contexte de l'étude d'impact sur l'environnement (adapté de Shuter 1989). On les classe selon le degré de confiance que l'on accorde à la puissance des effets dépendants de la densité du cycle biologique.

1. Ignorer la compensation et présumer que les effets sur n'importe quel stade du cycle biologique se traduiront proportionnellement en abondance des adultes. Ainsi, un projet qui

provoque un taux de mortalité de 10 % des œufs est présumé entraîner une diminution de 10 % de l'abondance d'adultes. Il s'agit d'une approche prudente que l'on pourrait utiliser lorsque l'on ne dispose pas d'information sur le processus de compensation pour les populations touchées. Il est plus difficile de traduire les autres indices vitaux en effets au niveau de la population, mais l'on présume qu'il y aura des effets défavorables. Si des populations de poissons sont sur le déclin à cause de la surpêche ou d'autres facteurs, on peut sans crainte ne pas tenir compte des processus de compensation. Dans ces cas, les abondances risquent d'être trop faibles pour que des processus dépendants de la densité atténuent les effets du projet. Par exemple, à la figure A1, si la population génitrice est réduite à moins de

-
- 20 poissons-au km⁻¹, un agent de stress qui a réduit l'abondance des adultes devrait provoquer une réduction correspondante de la production de juvéniles.
2. Supposons qu'une certaine compensation se produise et que l'on analyse les effets d'un projet au moyen d'un modèle de population qui tient compte des processus dépendants de la densité (Power 1997). Pour la plupart des populations visées par les pêches CRA (et dont les abondances sont par conséquent inférieures à l'équilibre non pêché), la compensation atténuera partiellement un impact environnemental, mais il est peu probable qu'elle puisse le compenser complètement. Par exemple, un agent de stress qui cause une diminution du nombre de géniteurs adultes dans l'exemple du saumon rouge fera baisser le nombre de saumoneaux, bien que la non-linéarité de la relation signifie qu'il n'y a peut-être pas de diminution proportionnelle directe des saumoneaux (c.-à-d. qu'une diminution de 10 % des géniteurs ne provoquera qu'une baisse de 5 % du rendement de saumoneaux). Comme l'a relevé Shuter (1990), l'ordre des événements est important pour évaluer les effets : si l'agent de stress se manifeste après le stade dépendant de la densité, on prévoit qu'il n'y aura aucune compensation. Par exemple, un agent de stress qui provoque la mortalité de saumoneaux (après les processus précoces en eau douce indiqués à la figure A1) devrait être indépendant de la densité et provoquer une diminution proportionnelle de l'abondance et de la productivité des adultes. Les processus dépendants peuvent également être inclus dans l'analyse, lorsque cela convient.
 3. Supposons que la compensation est forte et que les impacts sur la croissance et la survie aux stades du cycle biologique antérieurs au stade de compensation seront complètement absorbés et atténués. Cette approche peut se justifier lorsque la preuve de l'existence d'une forte compensation est irréfutable. On peut donner comme exemple les salmonidés lotiques comme le saumon coho (figure 1A) dont l'abondance est limitée par l'espace physique et qui produit bien plus de juvéniles qu'il y a de place pour eux dans le cours d'eau.

Pour de nombreux examens de projets, on retiendra l'option 1 comme la solution implicite en l'absence d'information détaillée. Les options 2 et 3 exigeront une modélisation ou une analyse détaillée pour calculer les incidences de la compensation sur les répercussions qui s'exercent sur la population ainsi que pour déterminer si ces conclusions résistent aux incertitudes inhérentes à de telles analyses.