

Faire progresser nos connaissances:
comprendre les impacts de la production
d'hydroélectricité sur le poisson
et ses habitats en eau douce

**Plan de recherche conjoint à l'intention des
organismes publics et privés du Canada**

Décembre 2007



CHIP *Centre d'expertise sur l'hydroélectricité et ses
impacts sur le poisson et l'habitat du poisson*



Fisheries and Oceans
Canada

Pêches et Océans
Canada

Canada

Préface

Le ministère des Pêches et des Océans (MPO) est déterminé à mener des programmes qui répondent aux priorités des Canadiens, assurent le développement durable des ressources aquatiques et créent des habitats aquatiques sains et productifs. Pour réaliser cette vision et atteindre ce nouvel objectif stratégique, le MPO reconnaît avoir besoin d'un solide appui de la communauté scientifique. Stimulé par cette vision et ce défi, le secteur des Sciences du MPO a effectué une révision importante de ses activités. Cette initiative nationale, appelée Renouveau des Sciences, a été lancée en 2006 et a pour objectif clair d'offrir des programmes scientifiques pertinents, intégrés et axés sur les résultats. L'initiative est soutenue par le Comité de gestion du Ministère et entraînera une transformation importante de la façon dont le secteur des Sciences accomplit son mandat à l'appui des priorités de l'ensemble du gouvernement.

Tout comme le MPO reconnaît le besoin de programmes scientifiques solides au sein du Ministère, le secteur des Sciences doit aussi tirer profit de l'expertise et de l'expérience du milieu scientifique au Canada. Le nouveau cadre pour la collaboration au sein du secteur des Sciences et le guide du secteur des Sciences pour la collaboration qui l'accompagne favoriseront la collaboration et la réalisation de programmes conjoints avec d'autres organisations et amélioreront notre capacité collective à rencontrer les objectifs de gestion. Pour que ces programmes scientifiques renouvelés soient de grande qualité, mais également efficaces, il est essentiel de se fixer des priorités et d'harmoniser nos activités en fonction de ces priorités. Le secteur des Sciences doit se concentrer sur les enjeux prioritaires selon le risque et à la lumière de consultations avec les secteurs clients, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du gouvernement. Connaissant les besoins et les attentes des secteurs clients, le secteur des Sciences s'est engagé à soutenir et à exécuter des programmes scientifiques pertinents de même qu'à partager les programmes et les responsabilités avec ses clients et ses partenaires.

Pour relever ces défis, le secteur des Sciences du MPO a créé plusieurs centres d'expertise, y compris un centre sur l'hydroélectricité et ses impacts sur le poisson et son habitat (CHIP). Cela souligne à la fois l'importance de l'industrie hydroélectrique pour le développement durable au Canada et le besoin de trouver des solutions adéquates aux enjeux environnementaux que soulèvent les activités liées à la production hydroélectrique. Les entreprises canadiennes produisant de l'hydroélectricité partagent l'engagement du MPO à assurer le développement durable de nos ressources aquatiques tout en reconnaissant la nécessité de préserver des habitats aquatiques sains et productifs au profit des générations à venir. Ce terrain d'entente nous offre la possibilité d'établir des collaborations fructueuses entre les entités administratives, les entreprises produisant de l'hydroélectricité et le milieu de la recherche, y compris les scientifiques fédéraux et provinciaux, les scientifiques du secteur privé et les spécialistes du milieu universitaire. Le MPO aura recours au CHIP pour gérer, promouvoir et coordonner sa participation aux activités de recherche liées aux impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et ses habitats.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Ce plan de recherche a été élaboré dans un contexte de volonté de collaboration entre les parties intéressées. Le protocole d'entente établi entre l'Association canadienne de l'électricité (ACE) et le MPO, signé en juillet 2002, nous a offert la possibilité d'examiner les champs d'intérêt commun. Cela a donné lieu à des discussions sur les besoins en matière de sciences et à la tenue d'un atelier d'orientation à St. John's (Terre-Neuve) en 2004 auquel un grand nombre de scientifiques tant des secteurs publics que privés ont participé. Suite à cet atelier, un rapport a été produit qui décrit l'état des connaissances et les champs de recherche jugés prioritaires (Stoneman, 2005). Dès sa création en 2006, le CHIP a organisé un deuxième atelier pour élaborer un plan de recherche pluriannuel fondé sur ces priorités. L'atelier était intitulé « Aller de l'avant avec le programme de recherche » et a eu lieu le 19 septembre à Kentville, en Nouvelle-Écosse. Ce plan reflète donc l'opinion d'un vaste éventail de spécialistes, et nous espérons que les organismes publics et privés s'en serviront en tant qu'outil évolutif pour mieux comprendre et atténuer les impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et ses habitats.

Table des matières

Préface.....	2
Table des matières.....	4
Liste des tableaux.....	5
Sommaire.....	7
Renseignements de base.....	7
Processus d'établissement des priorités.....	7
Priorités et plan de recherche.....	8
Définition du rôle prévu du CHIP.....	8
Industrie de la production d'énergie.....	9
Demande en électricité au Canada.....	9
Secteur hydroélectrique.....	10
Rôle du MPO dans le développement hydroélectrique – processus d'évaluation environnementale.....	11
Le poisson et ses habitats.....	11
Espèces en péril.....	12
Rôle du MPO dans l'aménagement d'ouvrages hydroélectrique – programmes de recherche antérieurs et actuels du secteur des Sciences.....	12
Science des réservoirs.....	13
Passage du poisson.....	15
Modification des débits.....	15
Besoins en matière de recherche.....	17
Création et opération de réservoirs.....	18
Modification des habitats et productions primaire et secondaire.....	18
Productivité biologique.....	19
Changements dans la communauté de poissons.....	20
Mercure dans le poisson.....	22
Mesures d'atténuation.....	22
Activité de recherche prioritaires.....	23
Passage du poisson.....	24
Chronologie de la migration des poissons et hydrologie.....	24
Attraction des poissons se déplaçant vers l'amont et signaux hydrauliques.....	25
Orientation des poissons se déplaçant vers l'aval et signaux hydrauliques.....	25
Comportement des poissons et hydraulique des passes migratoires.....	26
Performance natatoire et hydrodynamique.....	26
Hydraulique et passes migratoires de montaison.....	27
Hydraulique et passes migratoires de dévalaison.....	28
Activités de recherche prioritaires.....	29
Modification des débits.....	31
État des connaissances.....	31
Nouvelles méthodes et nouveaux outils.....	35
Activités de recherche prioritaires.....	36
Espèces prioritaires.....	38

Cadre de collaboration et réalisation du programme scientifique	39
Première réunion en groupes restreints – Cadre de collaboration	39
Deuxième réunion en groupes restreints – Comment réaliser le programme scientifique?	41
Groupe 1 – Mécanismes de financement et de sélection des projets	41
Groupe 2 – Partage des données et des résultats	42
Groupe 3 – Mesures du rendement et rétroaction avec les bailleurs de fonds	42
Principaux résultats des réunions en groupes restreints et des séances plénières	43
Remerciements	46
Références	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Thèmes de recherche prioritaires concernant la science des réservoirs et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance, mais les activités de recherche sous chaque thème le sont : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.	47
Tableau 2. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour la science des réservoirs (Tableau 1) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette.	49
Tableau 3. Thèmes de recherche prioritaires concernant le passage des poissons et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.	51
Tableau 4. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour le passage des poissons (Tableau 3) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette.	54
Tableau 5. Thèmes de recherche prioritaires concernant la modification du débit et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance, mais les activités de recherche sous chaque thème le sont : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.	57

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 6. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour la modification du débit (Tableau 5) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette. 63

Sommaire

Le présent rapport propose un plan de recherche conjoint à l'intention des organismes publics et privés et favorisant la compréhension des impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et ses habitats en eau douce.

Renseignements de base

Le ministère des Pêches et des Océans (MPO) est déterminé à appuyer les programmes qui répondent aux priorités des Canadiens, assurent le développement durable des ressources aquatiques du pays et créent des habitats aquatiques sains et productifs. L'utilisation de nos ressources aquatiques à des fins de production hydroélectrique est un secteur de développement qui mérite plus d'attention.

Les entreprises canadiennes produisant de l'hydroélectricité partagent l'engagement du MPO à assurer le développement durable de nos ressources aquatiques. Étant donné la diversité des enjeux et les défis scientifiques que ces enjeux soulèvent, le MPO et l'industrie estiment qu'il faut concentrer les recherches autour des questions les plus préoccupantes dans une perspective de collaboration et de gestion fondée sur le risque.

Le MPO reconnaît la nécessité de programmes scientifiques solides au sein du Ministère. L'étude des effets de la production d'énergie sur les écosystèmes est un des thèmes prioritaires du Programme de recherche quinquennal (2007-2012) du secteur des Sciences. Le secteur des Sciences reconnaît également qu'il faut tirer profit de l'expertise et de l'expérience du milieu scientifique du Canada.

Processus d'établissement des priorités

En juin 2004 à St. John's (Terre-Neuve), on a tenu un atelier conjoint MPO-industrie dont l'objectif était de dresser une liste des lacunes dans les connaissances relatives aux enjeux environnementaux que soulève la production d'hydroélectricité dans les écosystèmes aquatiques. Le compte-rendu de cet atelier a été publié dans la série des « Rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques » (Stoneman, 2005).

En 2005, le secteur des Sciences a proposé de lancer et soutenir un programme de recherche conjoint par l'entremise d'un nouveau centre d'expertise sur l'hydroélectricité et ses impacts sur le poisson et son habitat (CHIP). Le MPO compte recourir au CHIP pour coordonner et gérer sa participation aux activités de recherche liées aux impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et son habitat dans les environnements d'eau douce et marins.

En 2006, le CHIP a organisé un deuxième atelier pour lequel deux objectifs ont été établis : élaborer un plan de recherche pluriannuel fondé sur le rapport de 2005

(Stoneman, 2005) et déterminer si les collaborateurs potentiels estimaient que le CHIP était une initiative utile. Ce deuxième atelier intitulé « Aller de l'avant avec le programme de recherche » a eu lieu le 19 septembre à Kentville, en Nouvelle-Écosse. Le présent rapport est le fruit des discussions tenues à Kentville et des réunions de suivi effectuées par voie téléphonique ou électronique.

Priorités et plan de recherche

Le plan de recherche proposé dans le présent document donne un aperçu des activités de recherche à effectuer en eau douce pour chacun des trois thèmes de recherche suivants: la science des réservoirs, le passage du poisson et la modification des débits. La section intitulée « Besoins en matière de recherche » comprend les résumés complets décrivant l'état des connaissances et les champs où l'on a relevé des lacunes et traite des thèmes de recherche prioritaires et des principales activités de recherche qui devront être accomplies à l'égard de ces priorités.

Les activités de recherche proposées sont énumérées dans les Tableaux 1 (science des réservoirs), 3 (passage du poisson) et 5 (modification des débits). La justification (enjeux pris en considération et résultats potentiels) se trouve dans les Tableaux 2, 4 et 6 correspondants.

Définition du rôle prévu du CHIP

L'établissement du CHIP relance les efforts en recherche et annonce la volonté du secteur des Sciences de créer nouvelles possibilités de recherche écosystémique en lien avec la production d'hydroélectricité. On s'attend à ce que le CHIP accomplisse plusieurs tâches, dont les suivantes :

- Établir des partenariats financés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) ou par tout autre organisme subventionnaire avec le soutien du MPO et des compagnies d'électricité sur la base d'une participation étendue des scientifiques de divers organismes.
- Coordonner le processus d'examen des projets, y compris les appels de propositions, l'examen des propositions, l'allocation des ressources, la production de rapports, et le transfert de renseignements pratiques aux utilisateurs.
- Coordonner les activités de recherche, non seulement au sein du MPO, mais également au sein du gouvernement fédéral, avec Environnement Canada, Ressources naturelles Canada et d'autres entités.
- Établir un rapprochement entre les régions dans le cadre de projets nationaux de plus grande envergure axés sur des résultats pratiques et applicables, tout en prenant en considération les enjeux et les particularités régionales.
- Établir un réseau de recherche et faciliter le partage des données et des renseignements à l'échelle nationale. On souligne aussi qu'il serait opportun de créer un site web dynamique.

Ce document reflète l'opinion d'un vaste éventail de spécialistes du milieu universitaire, des secteurs des Sciences ainsi que des Océans et de l'Habitat du MPO, d'autres ministères et d'autres gouvernements. Nous souhaitons que les organismes publics et privés s'en servent en tant qu'outil évolutif pour mieux comprendre et atténuer les impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et ses habitats.

Industrie de la production d'énergie

Au Canada, la demande énergétique ne cesse d'augmenter en raison de l'accroissement de la population et de la production industrielle. Les pressions des citoyens pour la mise en œuvre de mesures de développement durable vont aussi en augmentant. Cela favorise l'industrie hydroélectrique en tant que source potentielle d'énergie plus propre et renouvelable. La déréglementation et la stratégie de marché libre appliquée en Amérique du Nord ont permis à l'industrie d'avoir libre accès à de nouveaux marchés, ce qui a également entraîné une hausse de la demande interne en énergie. Cette situation favorisera la rénovation des infrastructures actuelles et l'établissement de nouveaux aménagements afin d'augmenter la production.

Demande en électricité au Canada

Le Canada est un chef de file dans la production d'électricité, toutes sources confondues, avec 3,6 % de la production annuelle mondiale d'électricité. Il est également l'un des plus grands consommateurs d'électricité au monde *per capita*. En 2003, sa production totale se chiffrait à 587 TWh, avec une capacité de production installée de 115 GW. Dans les autres pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), on prévoit une augmentation de la demande en électricité en raison de l'accroissement de la population, du développement économique et d'une consommation accrue par les particuliers et par les entreprises. Au Canada, la consommation devrait passer à 660 TWh d'ici 2015 et à 776 TWh d'ici 2030. Plusieurs incertitudes pourront influencer ces projections, y compris l'essor économique et la gravité des effets du climat sur les niveaux des réservoirs.

Le Canada est un exportateur net d'électricité aux États-Unis. Entre 1994 et 2003, les exportations ont varié entre 35 et 45 GWh, mais ont diminué ces dernières années en raison d'une hausse de la demande intérieure et de niveaux des précipitations inférieurs à la moyenne. À l'exception du Québec et du Manitoba, l'avenir des exportations est incertain, et certaines provinces devront peut-être importer de l'électricité pour répondre à leur demande intérieure. Cependant, plusieurs projets d'interconnexions avec les États-Unis sont considérés en Colombie-Britannique, en Alberta, au Nouveau-Brunswick et au Québec. Il est peu probable que les hausses prévues de la capacité de production d'énergie hydroélectrique et d'autres formes d'énergie renouvelables arriveront à répondre aux besoins à venir. Les projets acceptables sur le plan écologique et environnemental qui dépendent des sources d'énergie renouvelables contribueront aux besoins de production à venir, mais le Canada devra également recourir à la production

thermique classique pour éviter une pénurie d'électricité – on prévoit une augmentation de la production d'électricité à partir du gaz naturel de 4,5 % par an.

Secteur hydroélectrique

Le Canada est le chef de file mondial de la production d'hydroélectricité avec une capacité installée de 67,2 GW en 2003. En 2005, plus de 60 % de la production d'électricité du pays provenait de l'hydroélectricité, le nucléaire (15 %) et les combustibles fossiles (25 %) représentant le reste. D'autres sources d'énergie telles que l'éolien, le solaire et la biomasse représentent moins de 1 %. Contrairement à d'autres pays de l'OCDE, de nouveaux aménagements hydroélectriques importants seront réalisés au Canada dans les 25 prochaines années.

La majorité de la production canadienne d'hydroélectricité est concentrée au Québec, en Colombie-Britannique, à Terre-Neuve, en Ontario et au Manitoba. Dans ces provinces, les sociétés publiques productrices d'électricité ont aménagé de grands sites hydroélectriques tels que le complexe La Grande (16 000 MW) au Québec, l'installation de Churchill Falls (5 400 MW) au Labrador, l'aménagement hydroélectrique du fleuve Nelson (3 900 MW) au Manitoba et l'installation de Gordon Shrum (2 730 MW) en Colombie-Britannique. Le ministère des Ressources naturelles du Canada estime qu'il existe un potentiel de production pour un autre 182 GW au Canada, dont 34,4 GW de capacité pratique sur les plans environnemental, technique et économique.

Au Québec, des travaux sont en cours sur quatre sites totalisant plus de 1 000 MW, y compris le projet Eastmain-1 (480 MW). Ces travaux seront achevés en 2007 et en 2008. Deux autres projets majeurs sont toujours aux stades de la planification, soit celui d'Eastmain-1A (768 MW), qui comprend la dérivation de la rivière Rupert (2010-2012), et celui de la rivière Romaine (1 550 MW), qui s'échelonnera de 2015 à 2020.

D'autres projets importants sont également en cours au Canada. Le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador a annoncé son intention d'aller de l'avant avec celui du cours inférieur du fleuve Churchill, d'une capacité de 2 800 MW. Ce dernier comprend la construction de deux nouvelles installations de production qui devraient commencer à fournir de l'électricité en 2015. En Ontario, l'aménagement du cours supérieur de la rivière Mattagami (450 MW) est au stade de la définition, tandis que d'autres comme celui du tunnel de Niagara sont déjà en construction. Le Manitoba a un vaste potentiel hydroélectrique inexploité et a identifié 16 sites pour de futurs aménagements. La production d'électricité du barrage Wuskwatim (200 MW) devrait débiter en 2010-2011. En Colombie-Britannique, B.C. Hydro a attribué des contrats totalisant 1 500 MW à des fournisseurs d'électricité indépendants en juillet 2006. Ces contrats incluent 29 projets hydroélectriques (juillet 2006).

Dans toutes les provinces, on compte réaliser de petits aménagements et d'effectuer des mises à niveau sur les installations de production actuelles afin de produire plus d'électricité. La nouvelle industrie de l'énergie éolienne présente également de nouvelles possibilités de couplage à l'industrie de l'hydroélectricité. Cela est particulièrement vrai

dans les régions ayant un fort potentiel éolien comme les Prairies, le Québec et les Maritimes.

Rôle du MPO dans le développement hydroélectrique – processus d'évaluation environnementale

Les Canadiens se préoccupent de plus en plus de la mise en place de pratiques de gestion écologiques fondées sur le principe de précaution. Ceci se traduira par un processus d'évaluation environnementale de plus en plus exigeant dans le cas des nouveaux projets et par une remise en question du *modus operandi* de l'industrie sur les sites en opération. Le MPO est l'autorité légale chargée de passer en revue les nouveaux aménagements hydroélectriques et d'examiner les activités aux installations en opération pour protéger l'habitat du poisson. Le principe directeur de la Politique de gestion de l'habitat du poisson du MPO veut que les activités humaines n'entraînent pas de réduction de la capacité de production de l'habitat aquatique. Le secteur des Océans et de l'Habitat assume cette responsabilité conformément à la *Loi sur les pêches*. Cette loi (articles 20, 22, 32, 35 et 36) s'applique à l'opération et à l'entretien des installations, même si elles ont été construites avant la promulgation de ces articles. De plus, le MPO joue un rôle de premier plan en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et doit protéger les habitats côtiers et marins en vertu de la *Loi sur les océans*.

Étant donné que les aménagements hydroélectriques peuvent affecter l'habitat du poisson et les ressources halieutiques, un certain nombre de projets sont susceptibles d'être présentés au MPO, conformément à la *Loi sur les pêches*. Si le projet nécessite une autorisation en vertu de la Loi sur les pêches, le processus d'évaluation environnementale sera alors déclenché, conformément à la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*. La Direction des sciences environnementales (DSE) sera invitée à fournir des avis scientifiques et des commentaires techniques aux directeurs de programmes, en particulier à la Direction de la gestion de l'habitat du poisson (DGHP), qui coordonne le processus d'évaluation environnementale de ces projets au nom du Ministère.

Le poisson et ses habitats

Peu importe son envergure, un aménagement hydroélectrique cause des changements souvent importants dans l'habitat du poisson. Ces changements sont le résultat de la création de réservoirs, de l'empiétement des structures, de la modification des débits et de la présence d'obstacles qui empêchent le libre passage des poissons. En vertu de la *Loi sur les pêches*, le promoteur de tels aménagements doit obtenir l'autorisation du MPO pour la perturbation, la détérioration, ou la destruction de l'habitat du poisson, sous les conditions fixées par le Ministre.

Dans le passé, le MPO a dans une large mesure laissé aux provinces la responsabilité de protéger les habitat dulcicoles, puisque le gouvernement fédéral leur avait délégué celle

de gérer le poisson en eau douce. À ce moment-là, le MPO jouait un rôle plus limité en tant que conseiller sur les aspects relatifs aux environnements marins et estuariens. Cependant, des décisions des tribunaux dans les années 1990 ont réaffirmé la responsabilité fédérale de protéger l'habitat du poisson en eau douce, étant donné qu'elle n'avait jamais été déléguée officiellement. Cette responsabilité a été renforcée par la mise en œuvre de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* en 1995.

La responsabilité d'analyser les aspects environnementaux des projets présentés au MPO incombe à la DGHP. En général, un projet fait l'objet d'un ou de plusieurs processus d'évaluation environnementale, et une étude d'impact est effectuée par le promoteur afin de déterminer les impacts, les mesures d'atténuation prévues et les impacts résiduels attendus. En ce qui concerne l'habitat du poisson, le promoteur est invité à considérer des solutions de rechange qui limiteraient les impacts sur le poisson ou ses habitats, à inventorier les gains et les pertes à l'égard de la capacité de production des habitats et, lorsque les pertes sont supérieures aux gains, à proposer des mesures de compensation visant à assurer le respect du principe d'aucune perte nette de la Politique de gestion de l'habitat du poisson. La DGHP évalue l'adéquation des mesures proposées par le promoteur et valide l'analyse des gains et des pertes. Sous des conditions qui respectent le principe d'aucune perte nette de la capacité de production de l'habitat du poisson, le Ministère peut accorder une autorisation pour la perturbation, la détérioration ou la destruction de l'habitat du poisson lorsque la DGHP s'estime être satisfaite des termes de la proposition du promoteur et que les pertes d'habitats sont jugées acceptables.

Espèces en péril

La *Loi sur les espèces en péril* (LEP) est entrée en vigueur en 2003. En vertu de cette loi, il incombe au MPO de protéger légalement les espèces aquatiques et leurs habitats essentiels relevant de la compétence fédérale. Cela s'applique aux espèces aquatiques telles que définies en vertu de la *Loi sur les pêches* et évaluées comme étant en péril par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). En ce qui concerne les bassins versants où l'on exploite ou aménage des installations hydroélectriques, le MPO est invité à déterminer comment la construction de barrages et les activités d'opération de ceux-ci peuvent avoir un impact sur les populations d'espèces aquatiques inscrites sur la liste de la LEP.

Rôle du MPO dans l'aménagement d'ouvrages hydroélectrique – programmes de recherche antérieurs et actuels du secteur des Sciences

La production d'hydroélectricité nécessite la construction de barrages sur les rivières et souvent, la dérivation des eaux d'une section d'une rivière entre le barrage et la centrale ou la dérivation de la rivière dans un autre bassin versant. On modifie les régimes d'écoulement naturel pour répondre à la demande d'énergie saisonnière et annuelle à une

échelle locale, régionale ou continentale. La construction de barrages sur les rivières ou la dérivation de ces dernières pour la production d'électricité ont non seulement des effets locaux sur le passage des poissons, mais également des effets complexes et cumulatifs sur le bassin hydrographique tant en amont qu'en aval de la dérivation ou du réservoir de retenue. Ces effets sont difficiles à quantifier et varient selon la zone climatique et la formation géologique. Le grand nombre d'espèces et la diversité des communautés de poissons de même que le vaste éventail d'habitats et de conditions écologiques au Canada ajoutent à cette complexité.

La DGHP invite le secteur des Sciences à diriger son expertise vers les enjeux majeurs que soulèvent les aménagements hydroélectriques anciens ou nouveaux. Il s'agit d'un défi de taille. On a consacré de vastes efforts de recherche à l'échelle nationale et internationale pour évaluer et atténuer les impacts négatifs des aménagements hydroélectriques, mais cette recherche a été concentrée sur des aspects particuliers et ne peut pas toujours s'appliquer aux espèces ou aux conditions locales. Par exemple, des décennies de recherche sur le passage vers l'aval des saumons à des barrages ont amélioré notre capacité d'évaluer de tels impacts et de suggérer des solutions pratiques par rapport aux petits et aux grands aménagements, mais notre niveau de connaissance pour d'autres espèces telles que l'anguille et les esturgeons est faible, sans parler de notre niveau de connaissance sur d'autres enjeux, comme les effets de la modification des débits sur la production de poissons dans les bassins hydrographiques touchés. L'industrie a produit une mine de données scientifiques dans le cadre de ses activités de monitoring de l'environnement avant et après la réalisation d'un projet et après la mise en œuvre de mesures d'atténuation. On ne connaît pas tous les impacts, et les mesures d'atténuation ont besoin d'être améliorées. Le manque de données et une connaissance superficielle de certains impacts et de l'efficacité des mesures d'atténuation entrent en conflit avec le mandat du MPO et le processus décisionnel auquel sont soumis l'industrie et les divers intervenants.

Le secteur des Sciences a contribué de façon importante à documenter certains aspects des impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et ses habitats.

Science des réservoirs

La création d'un réservoir a des effets importants sur l'habitat du poisson. Certains peuvent être considérés comme positifs (augmentation de la superficie de l'habitat), d'autres négatifs (fluctuation des niveaux d'eau, contamination accrue au mercure). D'autres impacts sont plus complexes. La transformation d'un environnement lotique (rivière) en environnement lentique en raison de la mise en eau d'un réservoir peut profiter à certains stades de développement et à certaines espèces ou communautés de poissons, tandis qu'elle peut nuire à d'autres. Il peut être difficile de quantifier les changements qui surviennent sur le plan de la capacité de production qu'en termes de superficie de l'habitat. C'est pourquoi, on doit adapter cette méthode d'évaluation des pertes à l'échelle du territoire visé. Le secteur des Sciences a entrepris certaines recherches sur les impacts de la création et de l'opération de réservoirs sur le poisson et ses habitats.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

L'une des premières études importantes sur les effets de la retenue d'eau sur les écosystèmes aquatiques a été réalisée au Manitoba au réservoir du lac Indien Sud dont on a accru la profondeur pour faciliter la dérivation de la rivière Churchill (édition spéciale du JCSHA, v. 41, 1984). En outre, on a effectué certains des travaux expérimentaux les plus exhaustifs dans la région des lacs expérimentaux (RLE) de la région du Centre et de l'Arctique. On a lancé le Projet sur les réservoirs dans la région des lacs expérimentaux (PRRLE; acronyme anglais ELARP) en 1991 puis l'Expérience sur la dynamique des hautes terres inondées (EDHTI; acronyme anglais FLUDEX) en 1999 pour étudier les impacts de l'inondation sur les concentrations de mercure et la production de gaz à effet de serre. Le PRRLE est en cours et l'EDHTI a pris fin en 2003, mais ces deux initiatives ont démontré que l'inondation produit de grandes quantités de méthylmercure et de gaz à effet de serre, bien que la durée des effets soit réduite lorsque l'inondation n'a lieu que sur les hautes terres sèches. Dans le contexte de la lutte aux changements climatiques, ces études sont importantes si l'on veut comparer le secteur hydroélectrique à d'autres secteurs de production d'électricité. Dans la RLE, on a également réalisé une expérience pour étudier les effets de l'abaissement du niveau d'eau en hiver sur l'écosystème du réservoir afin de faciliter la préparation d'un avis pour le Programme de gestion de l'habitat (Jansen, 2000). Bien que l'on n'ait détecté aucun effet sur la chimie de l'eau, le phytoplancton ou le zooplancton, on a constaté des effets négatifs importants sur l'habitat, le périphyton de la zone littorale, les macrophytes, les invertébrés et la fraie du corégone près des rives (Jansen 2000). On peut trouver de l'information détaillée sur la recherche de la RLE, y compris une liste de publications, à l'adresse <http://umanitoba.ca/institutes/fisheries/resact.html>.

La bioaccumulation de mercure dans les organismes vivant au fond des réservoirs est un sujet d'intérêt dans la région de Terre-Neuve-et-Labrador, où l'on a examiné le profil et l'échelle temporelle des hausses de concentrations et du retour à des concentrations naturelles (Scruton *et al.*, 1997a; Anderson et Scruton, 1997). La Région de Terre-Neuve-et-Labrador a entrepris un certain nombre d'études de télémétrie pour examiner l'utilisation de l'habitat, les habitudes migratoires et l'hivernage de la ouananiche et de l'omble de fontaine dans les réservoirs hydroélectriques (Scruton *et al.*, 1996, 1997b; Pennel *et al.*, 2005) et a participé, de façon marginale, à une étude sur l'utilisation de l'habitat de l'esturgeon dans les réservoirs du nord de l'Ontario (McKinley *et al.*, 1994). Tout récemment, on a employé des étiquettes à transpondeur passif intégré pour déterminer l'origine des géniteurs d'un habitat de fraie créé pour compenser la perte d'habitat due à l'aménagement d'un réservoir. Dans la région du Pacifique, le secteur des Sciences a travaillé avec B.C. Hydro à la réalisation de relevés de réservoirs pour évaluer la limnologie et la productivité pélagique de deux réservoirs et d'un lac naturel près de Lillooet (Colombie-Britannique). Pour terminer, bien que cela n'ait aucun lien précis avec la création ou l'opération de réservoirs, les chercheurs du secteur des Sciences en Ontario ont participé à une étude sur la valeur et la disponibilité des habitats du lac Ontario en fonction de niveaux d'eau variables, étude qui pourrait nous aider à comprendre les effets de l'opération des réservoirs. Dans le même ordre d'idées, le secteur des Sciences a proposé un certain nombre de méthodes pour mesurer la capacité de production (p. ex. Randall *et al.*, 1995; Randall et Minns, 2000, 2002); ces méthodes

peuvent par exemple être appliquées dans le contexte d'un réservoir pour mesurer l'impact d'un changement du mode d'opération.

Passage du poisson

La connectivité des habitats ainsi que le passage vers l'aval et vers l'amont des poissons sont des défis environnementaux importants pour les projets touchant les ressources aquatiques et plus particulièrement pour les installations hydroélectriques. La présence de barrages et de digues fait obstacle au libre mouvement des poissons qui tentent de remonter ou de descendre les rivières. Bien que cet effet soit évident, il n'est pas toujours chiffré. Les passes à poissons pour la montaison sont généralement efficaces pour des espèces migratrices telles que le saumon, l'alose d'été et le gaspareau mais elles ne sont pas nécessairement efficaces pour toutes les espèces présentes dans le cours d'eau. L'entraînement des poissons dans les turbines par les galeries d'amenée est une cause de mortalité directe et indirecte. Des grilles peuvent être installées pour empêcher l'entraînement mais leur conception peut nécessiter des améliorations. Les poissons en dévalaison peuvent aussi nécessiter d'être guidés vers des installations de capture ou vers des structures de contournement. Obtenir des bonnes conditions hydrauliques pour guider les poissons vers les passes migratoires et vers les ouvrages de contournement et assurer le passage d'un assemblage d'espèces à un obstacle constituent des défis, autant sur le plan de la biologie que de la construction. La protection d'espèces protégées ou ayant un statut particulier vient ajouter un niveau de complexité à l'exercice. L'attraction, l'évitement et le guidage ont été identifiés comme étant des domaines de recherche prioritaires pour plusieurs espèces importantes de poissons. Ceci inclut le comportement des poissons, les conséquences sur le bilan énergétique et la capacité natatoire en relation avec les conditions hydrologiques et hydrauliques.

Malgré l'existence de plusieurs lacunes, les secteurs de l'Habitat et des Sciences au MPO ont réalisé des travaux de recherche sur plusieurs aspects du passage des poissons aux barrages, sur la capacité de nage, sur l'attraction et le guidage des poissons, sur la conception des passes migratoires, des systèmes d'exclusion ou de contournement. Il y a présentement plusieurs études pertinentes en cours : a) hydraulique des grilles adaptées pour l'exclusion des poissons de grande taille des turbines (collaboration entre le MPO, l'Université du Manitoba et Manitoba Hydro); b) hydraulique des barrières physiques (collaboration entre le MPO et l'Université de l'Alberta); c) hydraulique de passes migratoires semi-naturelles (collaboration entre le MPO et l'Université de la Saskatchewan); d) hydraulique des ponceaux pour le passage des poissons (collaboration entre le MPO et l'Université de la Saskatchewan); e) base de donnée sur la performance natatoire des poisson et analyse (MPO).

Modification des débits

La quantité d'eau qui coule annuellement en aval d'une centrale hydroélectrique est semblable à celle qui coulait avant la construction, à moins que l'on ait détourné d'autres rivières ou que le réservoir ait une capacité de stockage immense. Pour les centrales qui sont associées à des réservoirs (autres qu'au fil de l'eau), le débit journalier et saisonnier

est toutefois modifié par rapport à l'hydrogramme naturel. Cependant, la modulation du débit en aval d'une centrale hydroélectrique repose plus sur des considérations économiques que biologiques. Dans certains cas, on peut même modifier considérablement le débit plusieurs fois par jour. Les modifications très importantes du débit en aval des ouvrages posent des problèmes substantiels tant pour le poisson que pour son habitat. Les poissons et les œufs de poissons peuvent être exposés au dessèchement, à des températures extrêmes et à des prédateurs. Les habitats peuvent devenir moins productifs en raison d'une réduction de la croissance et de la survie des algues, des plantes et des animaux benthiques. L'adoption d'une approche de gestion produisant un régime d'écoulement ressemblant le plus à celui observé dans la nature pour rétablir les fonctions écologiques normales peut signifier un changement complet des méthodes d'opération des centrales. D'autres mesures d'atténuation peuvent être considérées, par exemple la fixation d'un régime de débits minimaux admissibles, adapté au cycle de vie du poisson, qui permettra de maintenir la capacité de production de l'habitat du poisson à un niveau satisfaisant. Le secteur des Sciences s'est intéressé aux questions liées aux débits (débits naturels, débits minimaux, débits réservés), car ces questions sont liées au fonctionnement des écosystèmes aquatiques et à l'habitat essentiel du poisson. Des études ont été réalisées dans d'autres régions du monde, mais les résultats de ces études peuvent ne pas être transposables aux conditions qui prévalent dans les régions du Canada. Plusieurs régions ont mené des recherches sur les enjeux de la modification des débits naturels en lien avec l'hydroélectricité.

La région de Terre-Neuve-et-Labrador a mené des recherches en vue d'améliorer les méthodes d'évaluation et de modélisation des débits écologiques. Dans une étude portant sur les méthodes d'évaluation du débit et de l'habitat des poissons (Plan Vert – Plan d'action sur les habitats et l'accord Canada-Terre-neuve «Respecting Water Resource Management»), on a évalué l'utilisation de trois méthodes populaires dans trois rivières représentatives des conditions hydrologiques de Terre-Neuve. En collaboration avec Newfoundland and Labrador Hydro dans la rivière West Salmon, on a évalué l'efficacité d'un débit régularisé en comparant la population de juvéniles dans la rivière régularisée à celle d'un site témoin. Grâce à un financement du programme PERD de Ressources naturelles Canada, on a amélioré les méthodes d'évaluation des débits réservés, notamment les modèles biologiques de même que les aspects spatiaux (types d'habitats) et temporels (cycles circadien et saisonnier). En collaboration avec Newfoundland and Labrador Hydro, et des collaborateurs norvégiens (SINTEF et la Norwegian University of Science and Technology) signalons aussi ces études: l'effet des pics de crue artificiels sur le poisson et son habitat; l'utilisation des habitats en hiver et dynamique des glaces sous un régime de débit régularisé au Canada et en Norvège ; coûts énergétiques de l'attraction vers les canaux de fuite chez la ouananiche et l'omble de fontaine, dans un contexte d'habitat de compensation et d'infrastructure, par télémétrie physiologique.

La région du Golfe a fait beaucoup de recherches sur les méthodes hydrologiques d'évaluation des débits réservés et leur validité pour les rivières de la région atlantique. Le modèle de simulation de l'habitat physique PHABSIM a été évalué dans une petite rivière à saumon, Catamaran Brook, du Nouveau Brunswick. Ce projet consistait à valider PHABSIM pour divers habitats et sous diverses densités de population, en

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

recourant à des méthodes statistiques sophistiquées. Un logiciel a été développé pour l'évaluation des débits par la méthode des courbes de durée. On a comparé la méthode du périmètre mouillé, avec le logiciel HEC-RAS, et les caractéristiques standard de géométrie hydraulique des rivières. Des outils ont été développés visant à identifier quelles variables autres que le débit sont affectées lorsque les débits sont modifiés. Par exemple, des modèles décrivant les changements dans les régimes thermiques ont été développés.

La région du Centre et de l'Arctique (Great Lakes Laboratory for Fisheries and Aquatic Sciences) a été très active en recherche sur les débits réservés. Outre les travaux en cours dans la RLE (voir EDHTI dans la section Science des réservoirs), deux expériences de gestion adaptative sont en cours, une sur la rivière Magpie en Ontario (demande de pointe) et une sur la rivière Bridge en Colombie-Britannique (débits réservés). Ces études sont réalisées sur une longue période (12-16 ans). Le projet de la rivière Magpie (une collaboration avec le Ministère des ressources naturelles de l'Ontario et la compagnie Brookfield Power Corporation Limited) doit déterminer si une prescription du taux de changement du débit dans les turbines peut résulter en une amélioration de la qualité des habitats du poisson en aval, tout en permettant une production maximale d'électricité. La région du Centre et de l'Arctique (Winnipeg), grâce à l'appui de Sask Power et du MPO-Gestion de l'habitat, et à la faveur d'une collaboration avec la «Watershed Authority», veut identifier un régime de débit plus approprié pour le poisson en aval du barrage EB Campbell, où des mortalités associées à la demande de pointe ont été observées. L'étude produira un modèle des débits pour le calcul des aires utilisées pondérées et ce pour chaque segment et période sensible d'un point de vue biologique de la rivière pour des années de faible, moyenne et forte hydraulité. Les données de terrain et les prévisions du modèle seront confrontés. Le laboratoire de Winnipeg a aussi été impliqué dans le développement du modèle hydraulique d'habitat River2D, en collaboration avec l'Université de l'Alberta, le United States Geological Survey (Instream Flow Group), et le Ministère de l'Environnement de l'Alberta. Il a développé des courbes de préférence pour l'habitat et comparé les courbes de préférence obtenues de rivières différentes.

Dans la région du Pacifique, on a collaboré avec le Gouvernement de la Colombie-Britannique (Ministère de l'Environnement) afin de développer des guides sur le débit réservé à l'intention des opérateurs de petits barrages. La région a de plus un long historique de collaboration avec la compagnie BC Hydro notamment dans un projet sur la rivière Bridge où une expérience sur la gestion adaptative du débit en est à sa 9^{ème} année d'existence. On y teste un nouveau régime de débit pour le saumon; des données ont été récoltées pendant 4 ans à un régime de référence puis, suite à l'augmentation du débit en provenance d'un barrage en aval, pendant cinq autres années.

Besoins en matière de recherche

Puisque les questions sont complexes et les ressources limitées, le MPO et l'industrie ont estimé qu'il fallait cibler les domaines de recherche les plus préoccupants. C'est pourquoi, en juin 2004, on a tenu un atelier à St. John's (Terre-Neuve) qui avait pour

objectif de fixer des priorités. On a formé des groupes de travail pour réfléchir sur l'état des connaissances en matière de science des réservoirs, passage du poisson et modification des débits naturels. Des documents ont été préparés dressant une liste des lacunes dans nos connaissances et des besoins en recherche pour chacun de ces trois domaines. Ces documents ainsi qu'un compte-rendu des discussions en atelier ont été publiés dans la série des Rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques (Stoneman, 2005). La création du CHIP met en place des conditions favorables à la relance des activités de recherche en lien avec la production d'hydroélectricité. Dans ce nouveau contexte et considérant la volonté de collaboration entre l'industrie, le milieu universitaire et les organismes gouvernementaux, il est plus que jamais essentiel de décrire plus précisément les recherches qu'il faut mener prioritairement pour combler les lacunes dans nos connaissances sous chacun de ces trois thèmes de recherche en lien avec l'hydroélectricité et ses impacts sur le poisson et ses habitats.

Cette section comprend, pour chacun des trois thèmes (science des réservoirs, passage du poisson et modification des débits), 1- un long résumé tiré des documents publiés dans les comptes rendus de l'atelier de St. John's et décrivant l'état des connaissances et les principales lacunes dans nos connaissances, ainsi que 2- un tableau énumérant, pour chacun des thèmes de recherche prioritaires, les activités de recherche requises pour donner suite à ces priorités. Les activités de recherche mentionnées sous chaque thème sont hiérarchisées de sorte que l'activité 2 doit être effectuée simultanément à l'activité 1 ou après celle-ci, et ainsi de suite. Cependant, les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance.

Création et opération de réservoirs¹

Les réservoirs hydroélectriques sont créés afin de retenir l'eau qui s'écoule dans un bassin versant et de contrôler le débit vers l'aval en fonction des objectifs de production d'électricité. L'ampleur, la durée, le moment et la fréquence des variations du niveau de l'eau dans les réservoirs diffèrent généralement de celles des lacs naturels : prévention des crues printanières, retard ou réduction du remplissage printanier, maintien de niveaux stables pendant l'été et abaissement important du niveau en hiver en raison de la demande en électricité élevée. Les réservoirs créés à partir d'une rivière se trouvent souvent immédiatement en amont de l'installation de production et peuvent être exploités avec des fluctuations du niveau de l'eau plus fréquentes que ceux créés à même un lac. Lorsque le réservoir se situe plus en amont dans le bassin versant, les fluctuations du niveau de l'eau sont en général plus marquées que celles observées dans les réservoirs situés immédiatement en amont de l'installation de production.

Modification des habitats et productions primaire et secondaire

¹ Résumé de Smokorowski, K. E., R. Verdon, R. A. Bodaly et M. Mailman. 2005. A review of the state of the science, knowledge gaps, and research priorities for Fisheries and Oceans Canada and the Canadian Electricity Association – reservoir creation and operation. P. 69-101. Dans Stoneman, M. G. (éd.) 2005, CEA / DFO Science workshop proceedings: setting research priorities on hydroelectricity and fish or fish habitat, St. John's, Terre-Neuve, juin 2004. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2614: p.v + 138.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Les réservoirs sont différents des lacs et des cours d'eau à même lesquels ils ont été créés. Ils se situent entre les cours d'eau et les lacs naturels : 1) quant aux caractéristiques morphologiques et hydrologiques; 2) quant à l'importance relative des apports externes et de la remise en circulation des sels nutritifs; 3) quant à l'importance relative des sources endogènes et exogènes de matières organiques pour le réseau trophique (Kimmel *et al.*, 1990). Lors de la création du réservoir, les arbres et les branches submergés remplacent les macrophytes comme substrats de croissance pour le périphyton et servent d'abris ou de support pour les organismes benthiques (Roy *et al.*, 1986). La décomposition des matières organiques contenues dans les sols et la végétation submergés cause une poussée trophique associée à la libération de sels nutritifs notamment le phosphore. Cette hausse est temporaire et les changements sont pour ainsi dire terminés après un certain nombre d'années (Grimard et Jones, 1982; Schetagne, 1994).

Si le taux de renouvellement de l'eau augmente suite à la création du réservoir en raison du volume accru, ce changement varie selon les parties du réservoir considérées (Hecky et Mc Cullough, 1984). L'accroissement du volume d'eau semble créer un environnement qui profite aux espèces pélagiques (Power, 1992). Le régime thermique est différent, mais il est probable que l'impact principal de ce changement sera ressenti en aval des barrages (Spence et Hynes, 1971) où il pourra persister sur plusieurs kilomètres, mais diminuera plus loin (Webb et Walling, 1993). La température de l'eau en aval des barrages et des centrales peut être plus froide, selon la profondeur de la prise d'eau, ce qui peut occasionner des changements chez les communautés de poissons (Therrien *et al.*, 2002) et attirer des poissons d'eau froide en aval (Barnes et Bodaly, 1994).

Les changements dans l'ampleur et la chronologie des fluctuations du niveau de l'eau associés à l'opération de réservoirs peuvent nuire à la qualité de l'eau et modifier les habitats littoraux et riverains de même que leurs substrats. L'opération des réservoirs peut entraîner une augmentation de la variation inter-annuelle et intra-annuelle du niveau de l'eau et des changements de niveau de plusieurs mètres dans un sens ou dans l'autre, ce qui crée un écotone important constituant tantôt une zone riveraine et tantôt une zone littorale, ce qui empêche l'établissement d'espèces exigeantes (Hill *et al.*, 1998). On a montré que la modification de la durée et des limites des fluctuations régularisées des niveaux d'eau d'un lac augmentait l'érosion des rives en raison du transfert de l'énergie des vagues vers les rives (Lorang *et al.*, 1993). On croit que les arbres et arbustes submergés dans les réservoirs servent d'abris contre les prédateurs ainsi que de substrats de frai, et accroissent les superficies disponibles pour les productions primaire et secondaire. Cependant, bien que l'on ait démontré l'importance des matières ligneuses sur le plan de la diversification de l'habitat des systèmes lotiques, on ne connaît pas la contribution de cette matière organique submergée à la production globale dans les lacs.

Productivité biologique

On a étudié la productivité biologique au niveau inférieur du réseau trophique dans plusieurs réservoirs boréaux (Wetzel, 1990). On observe généralement une poussée de la production primaire pendant l'inondation, puis après quelques années un retour à la situation pré-retenue (Bodaly *et al.*, 1984a; Ostrofsky et Duthie, 1978; Schetagne, 1994;

Therrien *et al.*, 2002), mais cette réaction est très variable et est fonction des conditions régnant dans les écosystèmes modifiés. La réaction du zooplancton est également différente d'un réservoir à l'autre et entre les différents secteurs des réservoirs. Après l'inondation, les réactions varient d'aucun changement des densités ou d'aucun déclin (Bodaly *et al.*, 1984a; Schetagne, 1994) à une augmentation du zooplancton d'un ou de deux ordres de grandeur (Pinel-Alloul et Methot, 1984; Ostrofsky, 1978).

Des temps de rétention courts dans les réservoirs (~ quatre semaines) limitent la production autotrophe, tandis que des temps de rétention de plus d'une année amènent une forte stratification (Søballe et Kimmel, 1987). On a établi une corrélation importante entre la biomasse du zooplancton et le temps de rétention de l'eau dans un réservoir de Terre-Neuve (Campbell *et al.*, 1998). La diminution rapide des niveaux d'eau peut être plus nuisible aux invertébrés aquatiques qu'aux poissons, étant donné qu'ils sont moins capables de s'adapter (Sharp et Keddy, 1993). On a montré que la biomasse des invertébrés était de deux à trois fois supérieure dans un lac naturel par rapport à un système régularisé (Tikkanen *et al.*, 1988). La morphométrie du réservoir influera sur l'étendue de la zone exposée, la zone d'impact étant relativement plus petite dans les systèmes à parois abruptes.

On a étudié les communautés benthiques et le processus de colonisation dans plusieurs réservoirs et, en général, on les comprend bien. Cependant, on devrait consacrer plus d'attention au rôle que jouent les arbres submergés et à l'impact de l'abaissement du niveau d'eau sur le benthos. Les macrophytes sont généralement absents des réservoirs, particulièrement lorsque l'abaissement du niveau est important. Les arbres et les branches submergés sont normalement une composante importante du réservoir, mais on ne comprend pas bien leur rôle dans l'habitat du poisson. Ils peuvent servir de support aux organismes benthiques et d'abri aux poissons, mais leur utilisation par les poissons et leur incidence sur la production de poissons n'a pas été étudiée.

Changements dans la communauté de poissons

En général, la composition des communautés de poissons ne change pas beaucoup après la création d'un réservoir et serait en grande partie déterminée par la réussite de la fraie (Bodaly *et al.*, 1984a; Roy *et al.*, 1986; Therrien *et al.*, 2002; Therrien et Dussault, 2004) qui est, à son tour, fonction de la disponibilité d'un habitat de fraie approprié (Machniac, 1975). Toutefois, on peut aussi observer dans les réservoirs la disparition de certaines espèces plus lotiques ou désavantagées par la présence de prédateurs ou autres compétiteurs (p.ex. : disparition de l'omble de fontaine en présence du grand brochet). D'ordinaire, on constate une hausse du coefficient de condition des poissons, suivie d'un retour au niveau précédent (Power, 1992; Strange *et al.*, 1991; Therrien *et al.*, 2002).

La production de poissons est un sujet qui reçoit peu d'attention dans les réservoirs canadiens. Lorsqu'il y a des espèces pré-adaptées aux conditions lacustres dans les bassins versants où sont créés les réservoirs, ces espèces colonisent et occupent toute la zone disponible. Lorsqu'il y a des poissons lacustres pélagiques et littoraux, les rendements des poissons dans les réservoirs correspondent à ceux des anciens lacs où ils sont

indigènes (Fernando et Holcik, 1989). Dans certains réservoirs des États-Unis, on a établi un lien par régression multiple entre les captures commerciales et la profondeur moyenne, le marnage vertical, le rapport de stockage (soit le rapport entre le volume du réservoir et le débit annuel moyen) et la saison de croissance; il s'agit en fait de l'une des équations les plus utiles qu'on ait élaboré (Jenkins, 1967). Toutefois, un tel outil ne semble pas exister pour les réservoirs canadiens.

Le développement de pêches fructueuses dans les réservoirs est soumis à des contraintes qui n'existent pas dans les lacs naturels. Les réservoirs sont des systèmes artificiels dans lesquels la circulation et les fluctuations du niveau de l'eau sont dictées par des objectifs opérationnels, bien que les poissons et l'habitat aquatique soient une priorité sans cesse grandissante dans la prise de décisions. Dans leur examen des pêches en réservoirs pratiquées à l'échelle mondiale, Fernando et Holcik (1991) démontrent que seules les espèces les plus généralistes sur le plan des exigences alimentaires et reproductives peuvent se trouver dans ce nouvel environnement lacustre. Bien que les espèces généralistes occupent rapidement la zone littorale, la zone pélagique demeure inoccupée, en particulier dans les réservoirs grands et profonds, à moins qu'il y ait une espèce pré-adaptée aux environnements lacustres dans le bassin hydrographique. Si peu d'habitats littoraux de qualité sont disponibles, les poissons peuvent se déplacer sur de plus longues distances entre les habitats de frai, d'hivernage et d'alimentation. Les poissons augmentent ainsi le coût énergétique de leurs mouvements et, par conséquent, disposent de moins d'énergie pour croître et se reproduire.

On s'est largement servi de la modélisation pour faciliter la gestion des réservoirs et analyser les risques en fonction de différents scénarios (Meeker et Harris, 2003). Pour planifier l'utilisation de l'eau en Colombie-Britannique, une approche semblable a été adoptée dans laquelle les intérêts de tous les intervenants ont été pris en considération et des estimations du rendement ont été produites pour divers scénarios de gestion (Macfarlane, MPO, communication personnelle). Bien que certains aspects de ces modèles soient transférables à d'autres bassins hydrographiques, on a dû en élaborer d'autres propres à chaque site. On a publié une variété de modèles pour prévoir la réaction des poissons (Bennett *et al.*, 1985; Frisk *et al.*, 1988) et des écosystèmes à divers scénarios de gestion (p. ex. Ismaiyllov *et al.*, 1993; Salençon et Thébault, 1996; Menshutkin et Klekowski, 2001; Saito *et al.*, 2001).

Il y a beaucoup d'incertitude liée à l'estimation de la productivité et du rendement des poissons dans les réservoirs (Power, 1992). Cette question est essentielle dans le contexte de la Politique de gestion de l'habitat du poisson du gouvernement du Canada (1986), selon laquelle les promoteurs de projets hydroélectriques doivent quantifier les gains et les pertes relatives à la capacité de production résultant de la modification des habitats et de la création de réservoirs. On constate toutefois des lacunes quant aux méthodes servant à évaluer le rendement qui sont fondées sur les caractéristiques physico-chimiques des poissons des réservoirs canadiens, comme l'indice morphoédaphique des lacs tempérés du Nord ou les modèles empiriques élaborés pour les réservoirs des États-Unis (Jenkins, 1967). L'élaboration de tels outils doit être prise en considération.

Mercure dans le poisson

Les concentrations de mercure dans le poisson des réservoirs nouvellement inondés s'élèvent au-dessus des concentrations naturelles (Bodaly et Fudge, 1999; Schetagne et Verdon, 1999). Elles peuvent atteindre des niveaux assez élevés, particulièrement dans les réservoirs boréaux. La quantité de méthylmercure (MeHg) introduite dans la chaîne alimentaire est probablement assez faible. On n'a pas observé de concentrations élevées de MeHg dans l'eau et le zooplancton plus de huit à dix ans après une inondation (Bodaly *et al.*, 1997). Cette hausse de courte durée des concentrations de MeHg dans les réservoirs peut cependant se prolonger dans le temps lorsque transmise dans la chaîne alimentaire vers les espèces de poissons longévives.

L'effet en aval des réservoirs peut être ressenti jusqu'à 275 kilomètres (Schetagne et Verdon, 1999). Cela peut s'expliquer du fait que les poissons meurent ou sont étourdis lorsqu'ils sont entraînés dans les turbines et peuvent devenir des proies pour les poissons prédateurs qui vivent en aval des turbines (Brouard *et al.*, 1994). Les réservoirs exportent également du méthylmercure dans l'eau, sur les particules ainsi que dans le zooplancton et les invertébrés qui dérivent (Johnston *et al.*, 1991; Schetagne *et al.*, 2000).

Il faut prévoir la portée spatiale et temporelle de l'élévation des concentrations de Hg dans le poisson des nouveaux réservoirs pour être capable d'évaluer les impacts de nouveaux aménagements et de les limiter. La prévision fondée sur des modèles dynamiques est maintenant possible, et cela ne constitue probablement pas une lacune majeure dans les connaissances à l'heure actuelle.

Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation visent à améliorer l'habitat du poisson (déboisement, création d'aires de frai, de digues et d'abris pour poissons), à permettre le passage du poisson (en aval et en amont) et à gérer les ressources halieutiques (ensemencement, réduction des populations de prédateurs, etc.). Les nombreux liens démontrés entre les biotes et les niveaux d'eau soulignent le fait que l'atténuation des effets passe par un contrôle du régime hydrologique dans le système pour le rendre plus naturel ou, si ce n'est pas possible sur le plan opérationnel, pour maintenir des niveaux d'eau qui soient plus optimaux d'un point de vue écologique. Jusqu'ici on ne dénote aucune publication scientifique qui présente les résultats de recherches expérimentales, de mesures de gestion adaptative, ou de surveillance de l'efficacité des mesures d'atténuation, et qui nous indiquerait si ces mesures donnent les résultats souhaités.

À l'heure actuelle, la technique d'atténuation la plus souvent citée est l'utilisation de la principale variable modifiée dans le cadre de l'opération des réservoirs – c.-à-d. l'ampleur, le moment et la durée des fluctuations du niveau de l'eau. On a adopté l'approche de régionalisation, qui permet de prévoir les courbes de débit des rivières non jaugées et les niveaux des lacs (p. ex. Omernik *et al.*, 1991; Cassie et El-Jabi, 1995; Harding et Winterbourn, 1997; Quinlan *et al.*, 2003), pour déterminer les conditions de référence et prendre des décisions de gestion fondées sur des données scientifiques en ce qui concerne les ressources hydriques. Le fait qu'un réservoir ait été formé à même un

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

chenal de rivière ou un lac peut déterminer sa réaction aux mesures d'atténuation, les anciens systèmes lacustres présentant de plus grandes chances de réussite.

L'atténuation de l'érosion des rives est possible en modifiant le moment et la durée de l'abaissement du niveau d'eau dans le but de réduire la quantité d'énergie annuelle des vagues qui atteint le milieu intertidal (Lorang *et al.*, 1993; Miranda, 2001) ou encore en augmentant la complexité structurale des habitats situés près des rives des réservoirs (Hunt et Annett, 2002). On peut également employer des digues d'élimination des vagues qui régularisent les niveaux d'eau pour permettre l'accès aux habitats de fraie et d'alevinage situés le long des rives (Avakian et Poddubnyi, 1995). La création de bancs de fraie sous la limite d'abaissement du niveau des réservoirs (ACE, 2001) et l'enlèvement des obstacles à l'embouchure des tributaires de fraie et de croissance peuvent également être bénéfiques (Poddubny et Galat, 1995).

On a proposé bien des avenues pour atténuer les concentrations élevées de mercure dans les chaînes alimentaires des réservoirs du Nord. Cependant, les solutions économiques et pratiques sont jusqu'ici difficiles à trouver. On n'a guère réfléchi ou accordé d'attention à l'atténuation des effets de l'opération des réservoirs sur les concentrations élevées de mercure dans le poisson et les chaînes alimentaires en aval. Toute mesure qui tendrait à réduire les concentrations de mercure dans les chaînes alimentaires des réservoirs du Nord tendrait également à réduire les concentrations dans les eaux réceptrices en aval des réservoirs. On pourrait aussi réduire les concentrations élevées de mercure chez les prédateurs qui se trouvent immédiatement en aval des installations de production et qui mangent des poissons étourdis ou tués par les turbines en diminuant l'entraînement des poissons dans les turbines.

La lacune principale du côté des mesures d'atténuation dans les réservoirs a trait à la mesure de leur efficacité. Hill (1984) a recommandé une mise à jour du rapport sur les mesures biologiques (p. ex. tous les cinq à dix ans). La rédaction d'un manuel de référence à l'intention des sociétés publiques productrices d'électricité qui contiendrait les plus récentes directives sur les mesures d'atténuation et leur efficacité serait bénéfique. On peut déjà avoir accès à beaucoup de données des programmes de surveillance de l'efficacité à l'échelle du Canada. Bon nombre de ces résultats ne seront disponibles que dans des rapports de consultants ou des fichiers de données de ministères ou d'entreprises hydroélectriques. Individuellement, les programmes ne peuvent pas être aussi rigoureux sur le plan scientifique qu'on le souhaiterait, mais cumulativement, les résultats pourraient être intéressants. Étant donné les coûts élevés de la recherche et de la surveillance, on devrait réaliser un exercice d'exploration et de communication des données en cherchant de l'information dans des sources non publiées à l'échelle du Canada et en optimisant la valeur des efforts de surveillance.

Activité de recherche prioritaires

Six domaines de recherche prioritaires ont été identifiés sous le thème de la science des réservoirs (Tableau 1 et Tableau 2): caractérisation des habitats des réservoirs et capacité de production, végétation des réservoirs et aménagement forestier, interaction du poisson

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

avec l'habitat, création d'habitats dans les réservoirs, efficacité des changements dans l'opération des réservoirs.

Ces domaines de recherche sont axés sur deux aspects de la science des réservoirs.

- 1) Habitat – Améliorer notre compréhension de la structure et du type d'habitats créés et/ou perdus, du rôle des matières ligneuses submergées, de l'interaction du poisson avec ses habitats, ainsi que du recours à la création et à l'amélioration des habitats pour accroître la productivité des réservoirs.
- 2) Atténuation – Améliorer la production de poisson et la productivité des habitats par le retrait de la végétation terrestre, en luttant contre l'érosion des rives ainsi qu'en modifiant le moment et l'ampleur du marnage.

Passage du poisson²

La connectivité entre les habitats et le passage des poissons vers l'amont et vers l'aval sont parmi les principaux enjeux environnementaux des aménagements hydroélectriques, tant pour les installations existantes que pour les nouvelles installations. Procurer des conditions hydrauliques adéquates pour orienter les poissons vers les passes migratoires ou les structures de contournement est une tâche difficile sur le plan biologique et technique, et la nécessité de protéger des espèces menacées rend cet objectif encore plus complexe.

Chronologie de la migration des poissons et hydrologie

Les migrations de poissons résultent de la nécessité qu'ont certaines espèces de se déplacer entre leurs refuges, les habitats de fraie et les aires d'alimentation. Selon l'espèce et le stade de développement, des distances courtes ou longues peuvent séparer ces trois types d'habitats (Lucas et Baras, 2001), et en rivière ces déplacements peuvent être effectués vers l'amont ou vers l'aval.

Les migrations se produisent à des moments précis de l'année mais ces moments diffèrent entre les espèces et les régions. Leur chronologie et leur déroulement semblent être régis par une combinaison de facteurs thermiques, sédimentaires et hydrologiques. La température contrôle de nombreux processus physiologiques chez les poissons et, seule ou combinée au débit des rivières, à la photopériode et d'autres stimuli environnementaux, semble jouer un rôle majeur dans le déroulement des migrations reproductrices, trophiques ou de survie chez de nombreuses espèces (Northcote, 1998).

Mettre en évidence des relations solides entre les variables biologiques et hydrologiques

² Résumé de Katopodis, C., D. Scruton et K. Meade. 2005. Science gaps for fish passage at hydroelectric projects. P. 7-28. Dans Stoneman, M. G. (éd.) 2005, CEA / DFO Science workshop proceedings: setting research priorities on hydroelectricity and fish or fish habitat, St. John's, Terre-Neuve, juin 2004. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2614: p. v + 138.

est essentiel pour concevoir des passes migratoires performantes et les opérer de façon efficace. Citons par exemple : a) le lien entre la chronologie de la migration des différentes espèces et les précipitations, les hydrogrammes ou les thermogrammes pour le cours d'eau concerné; b) entre le retard tolérable et le débit de la rivière; c) entre la qualité et la quantité d'habitats propices et le débit de la rivière. Dans ces domaines, on a besoin à la fois de travaux de recherche généraux et d'études de cas précis tant pour les migrations de montaison que de dévalaison.

Attraction des poissons se déplaçant vers l'amont et signaux hydrauliques

Selon un relevé effectué en 2000 par des spécialistes internationaux et australiens des passes migratoires, bien concevoir les entrées est un élément essentiel pour assurer l'efficacité des passes migratoires et constitue une priorité de recherche (White *et al.*, 2001). Il faut combiner des études biologiques et hydrauliques pour mieux comprendre les réactions comportementales des poissons et pour fournir des données empiriques sur les voies d'accès, les points de rassemblement et les profils d'écoulement qui ont une incidence sur le déplacement des poissons (Katopodis, 2002b).

L'emplacement de l'entrée d'une passe est un des principaux facteurs déterminant la réussite du passage vers l'amont et les passes migratoires situées près des sorties d'eau des centrales (c.-à-d. les déversoirs, les canaux de fuite, les évacuateurs de cues) sont souvent plus faciles à trouver et à utiliser pour les poissons (Marmulla, 2001). La connaissance des voies migratoires empruntées par les poissons alors qu'ils s'approchent d'un barrage peut nous aider à choisir l'emplacement de la passe migratoire, à la concevoir et à mieux l'exploiter.

Parvenir à attirer les poissons est un défi majeur, en particulier dans les grandes rivières, lorsqu'il faut accommoder plusieurs espèces de poissons ou des poissons dont la taille diffère, des poissons qui migrent à différents moments et dans des conditions environnementales variables, ou encore des poissons qui ont des exigences biologiques et hydrauliques différentes voire concurrentes (Katopodis, 1990, 1999; Lucas et Baras, 2001). Il s'agit d'une lacune importante qui doit faire l'objet de recherches prioritaires. Il serait très utile d'effectuer des recherches sur les profils des débits (circulation, volumes, vitesses, mouvement, etc.) qui entraînent le poisson vers les entrées des passes migratoires et l'attirent pour qu'il y entre, particulièrement en présence de plusieurs débits concurrents, comme c'est souvent le cas en aval d'un ouvrage. La modélisation hydraulique physique et numérique de barrages hydroélectriques et des études sur le terrain réalisées à des installations de production nous aideraient à répondre aux besoins en matière de recherche.

Orientation des poissons se déplaçant vers l'aval et signaux hydrauliques

La majeure partie de ce que nous savons du comportement des poissons découle d'études réalisées sur les poissons en dévalaison. La recherche fondamentale et la recherche

appliquée ont, souvent chacune de leur côté, produit des connaissances sur les vitesses de nage des poissons, les liens entre le débit et les mouvements migratoires, les mécanismes sensoriels, les réactions aux obstacles et à divers stimuli artificiels ou naturels ainsi que le comportement et l'orientation lorsque les poissons se déplacent dans diverses conditions hydrodynamiques, telles que les écoulements turbulents et accélérés.

Le vaste éventail de ses capacités sensorielles fournit au poisson des signaux sur l'orientation de son corps, sa vitesse de nage ainsi que son déplacement passif ou maîtrisé, aussi longtemps qu'il est en santé et qu'il n'est pas stressé indûment. Ces signaux sont particulièrement importants dans des milieux hydrodynamiques plus hostiles comme les : a) écoulements accélérés et décélérés (p. ex. dans des rapides naturels et à proximité des barrages (crête déversante ou canal de fuite); b) écoulements turbulents avec tourbillons de diverses tailles (p. ex. sous des rapides, près des affleurements rocheux, aux entrées des passes migratoires, dans les passes migratoires et aux grilles à poissons); c) écoulements aérés (p. ex. dans les fosses, les rapides, les passes migratoires) (Katopodis, 2002b).

Les structures sont le moyen le plus efficace pour orienter les poissons, mais elles sont aussi le moyen le plus cher, tandis que les stratégies qui tablent uniquement sur le comportement sont plus économiques, mais moins efficaces du moins habituellement (Coutant, 2001; Katopodis, 2002b; Lucas et Baras, 2001; Marmulla, 2001; Congrès des États-Unis, 1995). L'emplacement des ouvrages de dérivation pour poissons en dévalaison sera fonction du comportement migratoire de l'espèce, mais devra être adapté aux caractéristiques de chaque site. On a besoin d'études interdisciplinaires bien coordonnées et exhaustives effectuées à plusieurs centrales et qui mettent l'accent sur une variété d'espèces et de conditions hydrauliques pour améliorer notre compréhension des réactions des poissons et pour relever les défis que pose le passage des poissons.

Comportement des poissons et hydraulique des passes migratoires

Comprendre les réactions comportementales des poissons face à des facteurs biologiques, physiques et chimiques est essentiel pour assurer le passage du poisson vers l'amont et vers l'aval et pour quantifier les impacts d'un changement de débit sur le poisson et ses habitats (Katopodis, 2002b). Lorsque l'on conçoit et que l'on opère des passes migratoires pour la montaison ou la dévalaison et que l'on choisit leur emplacement, il est important d'avoir une bonne compréhension des déplacements quotidiens des poissons et du moment où ils surviennent. Les facteurs qui entrent en jeu sont les caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques de la rivière, la photopériode et la nature de l'habitat, la présence de compétiteurs ou de prédateurs, la présence de congénères et la formation de bancs de poissons, ainsi que les stimuli optiques, acoustiques, tactiles et rhéotactiques. Les caractéristiques hydrauliques et physiques à l'intérieur d'une passe migratoire peuvent également influencer la montée et la descente de diverses espèces.

Performance natatoire et hydrodynamique

L'agilité et la mobilité des poissons varient selon l'espèce. Les espèces diffèrent dans leur morphologie, leur mode de propulsion et leur longueur au moment des migrations ce qui a une incidence sur leur endurance et leurs vitesses de nage et d'accélération respectives. Ces paramètres sont en outre fonction de la température de l'eau et d'autres variables (Katopodis, 1999; Webb, 1998). En laboratoire, on évalue la performance natatoire de deux façons. Dans le cas des vitesses critiques, on soumet les poissons à un courant en accroissant graduellement et à des intervalles fixes la vitesse de l'eau et ce, jusqu'à ce le poisson soit fatigué et cesse de nager. Pour ce qui est des essais d'endurance, on chronomètre les poissons pendant qu'ils font face à un courant de vitesse constante. Les études réalisées en laboratoire à l'aide de divers tunnels de nage permettent de mesurer les réactions non volontaires des poissons. Les données découlant de ces études sont utilisées dans la conception des passes migratoires et des grilles à poissons (p. ex. Peak *et al.*, 1997).

Les études sur le terrain fournissent des données sur les réactions volontaires des poissons, mais pour un éventail limité de conditions et avec de nombreuses variables qui interagissent simultanément, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats. Nous devons mieux connaître la capacité de nage des poissons lorsque l'écoulement est turbulent et les mouvements sont volontaires (p. ex. Enders *et al.*, 2003). La capacité de sauter des poissons migrateurs, y compris les aspects comportementaux, est également mal connue. Ces connaissances sont requises pour élaborer et intégrer les critères biologiques pertinents dans la conception des passes migratoires. Les expériences en milieu contrôlé mais réalisées sous des conditions plus réalistes (p. ex., Colavecchia *et al.*, 1998) offrent une solution de rechange à l'analyse classique de la performance des poissons et facilitent une meilleure conception des grilles à poissons et des passes migratoires de montaison et de dévalaison.

Hydraulique et passes migratoires de montaison

Notre capacité de modélisation hydraulique a grandement progressé au cours des deux dernières décennies. Les débits et les profils de vitesse en fonction de la profondeur ont été décrits pour plusieurs passes migratoires (Katopodis, 1990, 1992b). Des données sont disponibles pour les passes migratoires à forte pente (Rajaratnam et Katopodis 1991), Denil (Katopodis *et al.*, 1997), à fentes verticales (Rajaratnam *et al.*, 1992), à seuils déversants (Ead *et al.*, 2004) et de type ponceau (Katopodis, 1993; Ead *et al.*, 2002). Jusqu'à ce jour, peu d'études ont porté sur la nature complexe de l'écoulement à l'intérieur des passes migratoires, la turbulence, la taille et la force des remous ou la répartition des vitesses, qui sont tous des facteurs présumés importants pour un passage efficace des poissons (Katopodis, 2002b).

Plus récemment, les passes migratoires semi-naturelles ont connu un regain d'intérêt (Katopodis, 2002a; Katopodis *et al.*, 2001; Komura, 1996; Shamloo *et al.*, 2001; Wang et Katopodis, 1999). Les passes semi-naturelles sous forme de rampes rocheuses, de seuils et de fosses et d'autres variantes sont employées et évaluées dans nombre de pays pour une multitude d'espèces (p. ex. Harris *et al.*, 1998; Katopodis, 2002a; Katopodis *et al.*, 2001). Si une variété considérable d'espèces et de tailles de poissons utilisent plusieurs

types de passes (Clay, 1995; Katopodis *et al.*, 1991; Katopodis *et al.*, 2001; Travade *et al.*, 1998; Stuart et Mallen-Cooper, 1999; Pavlov, 1989), on comprend mal les réactions des poissons aux caractéristiques hydrauliques dans ce type de passes.

Dans les situations où l'écoulement est lent et non-turbulent, les poissons en migration nagent de façon à atteindre des vitesses leur permettant de maximiser leur efficacité énergétique, mais ils délaissent ces comportements lorsqu'ils sont exposés à un écoulement rapide et turbulent (Hinch *et al.*, 2002). Lorsqu'ils sont exposés à un écoulement turbulent, les poissons semblent errer à la recherche d'un écoulement soutenu et directionnel (Kynard, 1993). Nous devons donc comprendre ces types de comportements pour mieux choisir l'emplacement des passes migratoires et fournir les conditions qui favorisent l'approche et l'entrée des poissons. Nous devons aussi étudier davantage les réactions des différentes espèces de poissons aux diverses caractéristiques d'écoulement. Dans le même ordre d'idées, les études sur l'hydraulique et l'évaluation sur le terrain des passes migratoires semi-naturelles doivent se poursuivre (Katopodis, 2002a; Katopodis *et al.*, 2001; Wang et Katopodis 1999).

Hydraulique et passes migratoires de dévalaison

Les poissons peuvent perdre des écailles, se blesser, être victimes de prédation ou mourir en franchissant les déversoirs, les turbines, les tours de refroidissement, les stations de pompage ainsi que les prises d'eau municipales et industrielles. Pour éviter l'entraînement des poissons vers ces structures, il existe différentes stratégies : l'exclusion physique, la capture des poissons et leur déplacement vers l'amont ou vers l'aval, la mise en place de systèmes d'orientation et de contournement des obstacles (Anderson *et al.*, 1998; ASCE, 1995, 1982; Katopodis, 2002b; Lucas et Baras, 2001; Marmulla, 2001; Ruggles et Hutt, 1984; Congrès des États-Unis, 1995).

Récemment on a accordé beaucoup d'attention au passage des poissons vers l'aval et une grande partie de la recherche et du développement a porté sur les installations hydroélectriques existantes, dans un contexte de rattrapage (p. ex. Congrès des États-Unis, 1995). Il faut souvent beaucoup d'ingéniosité et d'innovation pour solutionner les problèmes aux centrales déjà en opération puisqu'on est limité par la centrale elle-même et le régime d'opération. C'est au moment de la conception et de la construction d'une centrale que l'on peut le mieux s'assurer de fournir les conditions propices à assurer le passage des poissons vers l'aval. Pour cette raison, les passes ajoutées à des centrales existantes sont, dans bien des cas, uniques à l'installation et souvent expérimentales, peuvent être de conception hybride (c.-à-d. qui comprennent des composantes physiques et comportementales) et sont fréquemment sous optimales en termes d'efficacité.

Les dispositifs telles les barrières comportementales (Coutant, 2001; Katopodis, 2002b; Lucas et Baras, 2001; Marmulla, 2001; Congrès des États-Unis, 1995), qui exploitent les réactions des poissons aux signaux acoustiques, électriques, optiques et olfactifs, même s'ils sont adaptés aux espèces visées, ont souvent une efficacité limitée du fait que les poissons s'y habituent. Généralement, ils n'offrent pas un degré acceptable de protection

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

des poissons à eux seuls, mais ils peuvent améliorer l'efficacité des mesures dans leur ensemble s'ils sont combinés à des barrières physiques, des grilles à poissons ou des systèmes de contournement. Les grilles de prises d'eau et les exutoires de surface, qui sont des solutions à moindre coût, offrent normalement un degré de protection inférieur à celui des grilles adaptées aux poissons. Lorsque les poissons sont bloqués en amont du barrage, leur passage peut être facilité de diverses façons, réduction du turbinage lors des pics de migration, pompage des poissons ou piégeage et transport par camion ou par chaland. La plupart des techniques de protection des poissons ont été mises à l'essai avec de jeunes saumons. Nous devons donc effectuer des essais afin de répondre aux besoins des autres espèces.

On a employé et généralement accepté pendant des décennies plusieurs types de grilles à poissons aux prises d'eau, aux entrées des canaux d'irrigation et aux barrages hydroélectriques. Il est à noter que la conception de ces dispositifs est avant tout fondée sur des applications empiriques. Plus récemment, on a développé des grilles à poissons adaptées aux grandes vitesses d'écoulement – présentement soumises à des essais – à titre de solutions de rechange plus économiques aux grilles pour faibles vitesses d'écoulement (ASCE, 1995; ASCE, 1982; Cook *et al.*, 1993; Katopodis, 2002b; Lucas et Baras, 2001; Marmulla, 2001; Ruggles et Hutt, 1984; Therrien et Bourgeois, 2000; Congrès des États-Unis, 1995). Les premières études biologiques et hydrauliques en laboratoire sur les grilles inclinées pour grandes vitesses d'écoulement sont prometteuses et l'essai de prototypes est justifié (Katopodis *et al.*, 2005). Il faut consacrer des efforts de recherche importants et d'envergure à l'hydraulique des grilles à poissons, à la modélisation de l'écoulement à proximité des grilles ainsi qu'à l'analyse des réactions des poissons et de l'efficacité de ces dispositifs.

Activités de recherche prioritaires

Quatre domaines de recherche prioritaires ont été identifiés sous le thème du passage des poissons : inventaire des passes migratoires, attraction et le guidage des poissons, conception des passes migratoires, lien entre la performance natatoire et l'hydrodynamique.

Inventaire des passes migratoires

Créer une base de données informatisée complète sur les passes migratoires mises en place au Canada a été reconnu comme une activité prioritaire. Les données actuelles sur les passes migratoires sont très éparses et mal documentées, ce qui a pour effet d'en limiter la diffusion. La conception de nouvelles passes migratoires bénéficierait d'un accès plus facile à des données utiles et pertinentes. Dans le même ordre d'idée, il serait utile de dresser une bibliographie de la littérature sur les passes migratoires mises en place aux centrales hydroélectriques à l'échelle mondiale.

Guidage, attraction et évitement

Chronologie de la migration et hydrologie. Il est important de connaître le moment précis où les poissons se déplacent dans un réseau hydrographique et à un site hydroélectrique

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

lorsque l'on conçoit et que l'on opère une passe migratoire, mais cette connaissance fait défaut pour une multitude d'espèces. Des recherches sont nécessaires pour établir des liens solides entre les variables biologiques et hydrologiques, particulièrement en ce qui concerne les espèces peu documentées.

Attraction des poissons se déplaçant vers l'amont. Les entrées des passes migratoires jouent un rôle important dans l'efficacité de ces ouvrages; il faut optimiser leur pouvoir d'attraction par une meilleure connaissance des réactions comportementales des poissons en mouvement. Ceci requiert la compilation des données empiriques sur les voies de migration, les points de rassemblement et les profils d'écoulement qui ont une incidence sur les mouvements, et l'utilisation des nouveaux outils de modélisation hydraulique physique et numérique.

Guidage et évitement pour les poissons se déplaçant vers l'aval. La question du passage du poisson vers l'aval n'a jamais reçu la même attention que celle du passage vers l'amont. Des recherches interdisciplinaires bien coordonnées et exhaustives, effectuées sur plusieurs sites hydroélectriques, et portant sur les mouvements et le comportement des poissons et sur l'efficacité des passes migratoires pour la dévalaison sont requises pour une variété d'espèces de poissons, y compris l'anguille et l'esturgeon.

Conception des passes migratoires

Hydraulique et montaison. Le comportement des poissons à l'intérieur d'une passe migratoire est dicté par les caractéristiques hydrauliques et physiques de l'ouvrage. Des recherches sont requises en laboratoire et sur le terrain pour examiner la nature complexe de l'écoulement à l'intérieur des passes migratoires, la répartition des vitesses, des zones de turbulence, la taille et la force des remous. Puisqu'on a de plus en plus recours aux passes semi-naturelles, il faut en évaluer et en améliorer l'efficacité ce qui requiert de nouveaux travaux en hydraulique. La nécessité de faciliter le passage d'un plus grand nombre d'espèces et de divers stades de développement sous diverses conditions d'hydraulicité requiert de concevoir des passes migratoires mieux adaptées aux capacités natatoires et aux exigences particulières de ces espèces.

Hydraulique et dévalaison. Il faut entreprendre des travaux de recherche additionnels sur la conception des grilles à poissons en se fondant sur l'utilisation continue et l'acceptation généralisée de plusieurs concepts empiriques de passes migratoires. Les nouveaux travaux de recherche doivent être axés sur les secteurs suivants : hydraulique des grilles à poissons, modélisation des écoulements et analyse des réactions des poissons à proximité des grilles et efficacité des grilles adaptées pour le passage des poissons.

Performance natatoire et hydrodynamique

Malgré la quantité importante de données dans la littérature à l'égard de la performance natatoire des poissons, il y a toujours des lacunes majeures dans les connaissances pour plusieurs espèces, incluant le saumon non anadrome : capacité natatoire dans des conditions volontaires non forcées, stratégie et performance natatoires dans des conditions d'écoulement turbulent, capacité de sauter et études sur les effets d'après

passage sur la physiologie des poissons.

Modification des débits³

Les demandes pour utiliser l'eau des rivières sont de plus en plus nombreuses que ce soit pour l'irrigation des terres agricoles, les utilisations industrielles la production hydroélectrique, ou l'approvisionnement en eau des réseaux municipaux. Ces demandes s'additionnent et peuvent représenter une portion significative de l'eau disponible des rivières, ce qui a pour effet de réduire, de régulariser et, dans certains cas, d'augmenter (dérivation, production d'électricité de pointe) les débits. Ces modifications peuvent avoir des impacts considérables et graves sur le biote dans les cours d'eau. Ce constat a pavé la voie à la formulation de nouvelles exigences en matière de débits réservés et écologiques ce qui a créé une demande pour le développement de méthodes pour l'évaluation des débits réservés.

Il est maintenant généralement admis que la notion de débit minimal ou optimal est un mythe et qu'il faut un profil dynamique du débit pour générer les effets hydrologiques qui maintiendront la dynamique du chenal et combleront les exigences saisonnières sur le plan biologique. Par le passé, les méthodes d'évaluation des débits réservés étaient principalement axées sur les besoins des espèces aquatiques, principalement les poissons, mais ces méthodes ont évolué récemment et tiennent maintenant compte d'autres valeurs, incluant les loisirs et d'autres besoins de la société, ainsi que d'autres composantes de l'écosystème.

État des connaissances

Les prescriptions en matière de débit peuvent aller d'une simple exigence de maintenir un certain débit sur une base annuelle à l'exigence de se conformer à des régimes d'écoulement modifiés plus complexes pour lesquels le débit réservé à des fins environnementales comporte des cibles quotidiennes, mensuelles et/ou épisodiques (p. ex. : débits de lessivage). Les méthodes pour l'évaluation des débits peuvent être groupées en quatre catégories relativement distinctes : i) méthodes hydrologiques; ii) méthodes hydrauliques; iii) méthodes de simulation des habitats; iv) approches holistiques (p. ex. : Jowett, 1997; Dunbar *et al.*, 1998; Tharme, 2003).

Méthodes hydrologiques

Les méthodes d'évaluation hydrologiques font généralement appel aux données hydrologiques disponibles (historiques) ou extrapolées, lesquelles contiennent

³ Résumé de Scruton, D. A. et C. Katopodis. 2005. Flow modification assessment methods related to fish, fish habitat, and hydroelectric development: a review of the state of the science, knowledge gaps, and research priorities for Fisheries and Oceans Canada (DFO) and the Canadian Electricity Association. P. 29-67. Dans Stoneman, M. G. (éd.) 2005, CEA / DFO Science workshop proceedings: setting research priorities on hydroelectricity and fish or fish habitat, St. John's, Terre-Neuve, juin 2004. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2614: v + 138 p.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

habituellement les profils de débit naturel décrits sous forme de volumes de débit annuels, mensuels ou quotidiens. Ces méthodes prescrivent une proportion fixe du débit disponible, sur une base annuelle, saisonnière ou mensuelle, de façon à maintenir certaines caractéristiques susceptibles d'avoir une incidence sur la santé du cours d'eau. Un débit minimal est prescrit, bien que l'on ait considéré d'autres seuils dits souhaitables ou optimaux.

La méthode hydrologique la plus connue et largement appliquée est celle du Montana, ou méthode de Tennant (Tennant, 1976), qui a été élaborée d'après l'expérience acquise à partir de 58 cours d'eau du Montana, du Nevada et du Wyoming. Tennant a observé que la vitesse, la largeur et la profondeur, des paramètres considérés comme importants pour le bien-être de la vie aquatique, étaient reliés à des degrés variables de qualité selon le pourcentage du débit annuel moyen auquel elles correspondent.

Les méthodes actuellement développées s'éloignent des approches à pourcentage fixe pour plutôt intégrer une composante dynamique au profil de débit des systèmes régularisés incluant certains épisodes de débit particuliers et tenant en compte la durée, le moment, l'ampleur et la fréquence.

Méthodes hydrauliques

Les méthodes d'évaluation hydraulique font appel aux changements qui surviennent dans les caractéristiques hydrauliques simples, comme le périmètre mouillé (largeur) ou la profondeur maximale/minimale, d'ordinaire déterminés le long d'un ou de plusieurs transects ou le long de transects considérés comme limitatifs ou essentiels, en tant que substitués aux attributs des habitats connus ou présumés importants pour le biote (p. ex. : Loar, 1986). Ces méthodes sont fondées sur une estimation quantifiable de certaines ressources des cours d'eau, par exemple l'habitat du poisson, et du débit du cours d'eau. Les méthodes hydrauliques ont tendance à être plutôt axées sur les débits requis pour s'assurer que l'on permet à un biote donné de se maintenir, i.e. que l'on rencontre toutes les exigences du cycle vital, allant de l'éclosion jusqu'à la fraie (Stalnaker et Arnette, 1976).

Une variété de méthodes d'évaluation hydraulique ont été élaborées (Stalnaker et Arnette, 1976; Tharme, 2003), la plus courante étant la méthode du périmètre mouillé. Cette méthode prévoit la détermination d'un débit minimal qui assurera les besoins en habitat en fonction d'une relation entre le débit et le périmètre mouillé. L'une des caractéristiques commune de ces méthodes est la prise en considération implicite de la géométrie hydraulique (largeur x vitesse x profondeur) de la rivière. Lorsqu'une variable ne change pas considérablement par rapport au débit (p. ex. : la largeur), les autres peuvent varier de façon considérable (vitesse et profondeur) (Caissie et El-Jabi, 2003). On reconnaît maintenant de façon générale que la vitesse et la profondeur sont des composantes importantes des microhabitats et que des changements dans la vitesse et la profondeur peuvent aussi affecter la qualité des habitats. Le développement de modèles doit tenir compte du fait que ces deux variables sont fortement corrélées ce qui exclut le recours à de simples régressions linéaires.

Méthodes de simulation de l'habitat

Les outils d'évaluation hydraulique sont considérés comme étant les précurseurs des méthodes de simulation de l'habitat (Dunbar *et al.*, 1998; Tharme, 2003). Ces méthodes comportent une analyse détaillée du changement dans la valeur ou la surface des habitats que provoque une modification du débit. Les attributs à petite échelle spatiale (critères des microhabitats) incluent la vitesse, la profondeur, la composition des substrats et les caractéristiques du couvert; ils sont évalués pour les espèces, les stades de développement ou les assemblages qui sont ciblés et en considérant certaines de leurs exigences par exemple pour la fraie, l'alevinage, l'hivernage. Les attributs de l'habitat physique qui ne sont pas liés au débit ne sont habituellement pas pris en considération.

Les méthodes de simulation de l'habitat peuvent être appliquées en tant qu'évaluations distinctes ou encore être incorporées à des cadres d'évaluation plus généraux qui intègrent d'autres considérations écologiques, permettent la participation du public et des intervenants, fournissent un contexte pour des négociations et la résolution d'enjeux légaux, et permettent généralement l'adoption d'une approche commune. Le cadre d'évaluation le plus connu est la méthode des microhabitats (acronyme IFIM). La méthode la plus élaborée et la plus largement utilisée en Amérique du Nord (Reiser *et al.*, 1981) et ailleurs est la simulation de l'habitat physique (PHABSIM), qui fait partie de la méthode IFIM (Bovee, 1982).

L'élaboration de critères biologiques et leur utilisation dans des modèles hydrauliques de l'habitat reposent sur un certain nombre de prémisses qui souvent sont fausses. Souvent, d'autres critères biotiques et abiotiques jugés importants pour évaluer les habitats privilégiés par les poissons ne sont pas considérés. Ces lacunes en modélisation biologique font l'objet de beaucoup d'attention présentement. On a eu recours à une grande variété d'approches pour élaborer des critères biologiques en matière d'habitat (courbes de préférence, courbes d'utilisation de l'habitat, etc.). Les préférences sont définies à l'échelle des microhabitats (p. ex. Bovee, 1986), des mésohabitats (p. ex. Parasieciwz, 2002) et des macrohabitats (p. ex. Scruton et Gibson, 1993). Les variables employées incluent la vitesse (moyenne, sur le fond, en surface ou à d'autres profondeurs), la profondeur, le substrat (la taille, la rugosité, la contrainte de cisaillement), la végétation et le couvert (dans le cours d'eau, sur les rives et au-dessus du cours d'eau).

Les modèles d'habitats comportent habituellement des fonctions ou courbes de valeur des habitats ou de préférence face à ces habitats, et de nombreuses méthodes sont utilisées pour recueillir les données et pour calculer les fonctions de préférence en matière d'habitat. On emploie d'abord les données biologiques pour établir des critères (courbes) basés sur des variables prises une à une, le plus couramment au moyen de courbes ajustées à histogrammes de fréquence. Ces courbes peuvent illustrer l'utilisation des habitats (courbes d'utilisation), mais peuvent également être utilisées pour illustrer une préférence si elles sont ajustées en fonction de la disponibilité des habitats. On a récemment prêté beaucoup d'attention à la modélisation à variables multiples de la sélection des habitats et consacré beaucoup d'efforts pour prendre en considération l'interdépendance des variables. Ces approches à variables multiples seraient celles qui

offrent les meilleures perspectives pour la validation des modèles et pourraient avoir un plus grand potentiel de transférabilité à d'autres rivières (Leclerc *et al.*, 2003).

Dans le cas des rivières où les communautés sont très diversifiées et incluent plusieurs espèces de poissons jugées importantes, on a souvent utilisé une approche liée aux communautés de poissons (p. ex. Bain, 1995). Encore une fois, on a recours à une analyse multivariée pour établir des liens entre les variables de l'habitat physique et les assemblages d'espèces (espèces ayant des exigences communes en matière d'habitat, des caractéristiques communes en matière de cycle biologique, etc.). Cependant, en règle générale, la plupart des outils de modélisation sont axés sur une seule espèce et ne considèrent pas la structure et les processus complexes des communautés se trouvant dans les rivières riches en espèces. D'ailleurs, on manque fortement de modèles quantitatifs fondés sur les communautés (Harby *et al.*, 2004).

Approches holistiques

Récemment, des approches multidisciplinaires pour l'évaluation de la modification des débits ont été mises au point et ont été décrites comme étant des méthodes holistiques (p. ex., Tharme, 2003; King et Louw, 1998). Ces méthodes font appel à une approche écosystémique pour évaluer les modifications du débit. Des critères sont choisis qui décrivent les aspects critiques du débit, qu'ils concernent des éléments épisodiques ou la variabilité des débits, et ce pour toutes les composantes importantes du réseau fluvial (bassin hydrographique). Par une approche dite descendante ou ascendante, on combine ensuite les informations pour ces diverses composantes pour recommander un régime prescrit modifié qui inclut des cibles précises pour chaque mois de l'année et pour chaque élément considéré, en vue de rencontrer des objectifs explicites (Tharme, 2003; Arthington *et al.*, 1998). Ces approches font appel à nombre des outils décrits ci-haut.

Le processus d'évaluation DRIFT, qui considère les répercussions d'une modification des débits sur la partie du bassin versant située en aval, est un exemple d'approche holistique qui considère tous les aspects physiques et biologiques d'une rivière. L'analyse, qui est effectuée par une équipe multidisciplinaire dans le cadre d'un atelier, se veut itérative et fondée sur l'examen d'un certain nombre de régimes possibles (scénarios) (Brown et King, 2000). Le processus DRIFT part de la situation actuelle (régime de débit actuel, parfois le débit naturel) et explore de façon quantitative les conséquences prévisibles d'une modification du débit pour la rivière, et ce dans un contexte socio-économique. Ce processus produit une recommandation quant au régime modifié, une description des impacts pour la rivière et des impacts socio-économiques connexes, y compris les mesures d'atténuation et de compensation et une quantification du rendement du système (eau nécessaire à la satisfaction des exigences en matière de débit écologique et eau disponible pour une utilisation à l'extérieur du cours d'eau).

Autres méthodes

Certains éléments concordent dans la littérature scientifique qui suggèrent la validité d'un concept de régime de débit naturel et à l'effet duquel un régime naturel de débit, y compris ses éléments de variabilité (taux, durée, amplitude, fréquence et chronologie des

variations), est considéré essentiel au maintien de l'intégrité de l'écosystème (p. ex. Poff *et al.*, 1997; Richter *et al.*, 1998; Rosenberg *et al.*, 2000). Les progrès réalisés récemment sur le plan des capacités de modélisation hydraulique de l'habitat portent sur l'inclusion de profils temporels dynamiques de débit dans les régimes régularisés. En raison de l'accent mis sur les régimes variables dans le temps, il est maintenant tout aussi important de considérer et d'incorporer les aspects saisonniers des exigences en matière d'habitat des organismes, particulièrement en hiver.

Nouvelles méthodes et nouveaux outils

Modélisation hydraulique

La capacité de résolution spatiale des modèles hydrauliques a fait des progrès considérables au cours de la dernière décennie, passant d'une approche unidimensionnelle (fondée sur les transects) à l'élaboration de modèles bidimensionnels et, récemment, à la modélisation tridimensionnelle. Indépendamment des capacités du modèle hydrodynamique, les calculs de la valeur et de la disponibilité des habitats sont surtout sensibles aux modèles et critères d'habitat retenus pour traduire les variables hydrauliques en surfaces d'habitats (Waddle *et al.*, 2000).

Modèles pour les invertébrés

Le rapport entre les forces hydrauliques et le substrat est important dans la détermination des attributs de l'habitat, et cela a amené plusieurs chercheurs à étudier l'utilisation de la contrainte de cisaillement au fond comme un indice de la qualité de l'habitat, pour les espèces benthiques, particulièrement les invertébrés. Certains outils (p. ex. CASIMIR – simulation des exigences en matière de débits réservés dans les cours d'eau régularisés assistée par ordinateur) contiennent une suite de modèles, y compris un modèle de simulation hydraulique fondé sur la contrainte de cisaillement à très haute résolution spatiale (Jorde, 1996).

Modèles pour les populations de poissons

Les modèles qui s'intéressent aux populations de poissons sont considérés être fondés sur les processus sous-jacents; ils intègrent l'effet d'une multitude de processus biologiques à chacun des stades du cycle de vie et les habitats nécessaires à ces stades de développement, sans qu'il soit nécessaire de mesurer ou de comprendre les processus fondamentaux. Pour certains de ces modèles, on a adopté l'approche qui consiste à prédire les habitats qui seront disponibles (en qualité et en quantité) pour prévoir la taille ou la structure des populations de poissons suite à un changement des conditions dans les rivières. Récemment, de nouvelles stratégies de modélisation ont été élaborées et l'une d'elles a suscité un intérêt considérable (Hughes et Dill, 1990; Addley, 1993); elle consiste à prévoir l'effet d'un changement des conditions dans les rivières à l'aide d'un modèle bioénergétique. Ce modèle fonctionnel présume que le poisson s'efforcera en tout temps de maximiser son gain d'énergie (gains provenant de l'alimentation par rapport aux coûts énergétiques du broutage et du maintien de la position).

Modèles pour les mésohabitats

De nombreux chercheurs ont recommandé la modélisation à l'échelle du mésohabitat; Parasiewicz (2002) a élaboré une approche pour appliquer la modélisation de l'habitat physique à une échelle globale de la rivière ou du bassin hydrographique (MesoHABSIM). Les données qui en découlent permettent de quantifier une superficie probable d'habitat correspondant à un débit, ou de quantifier l'habitat accessible dans un tronçon particulier, ou peuvent être soumises à différentes analyses pertinentes à une échelle plus grande (p. ex. paramètres du paysage). Essentiellement, on remplace la caractérisation détaillée de quelques sites telle qu'utilisée dans la modélisation du microhabitat par la cartographie de la rivière en entier à l'échelle du mésohabitat, et on ajuste la précision de l'échantillonnage hydraulique pour l'étude d'unités plus grandes à l'échelle du système. Il convient de noter également que le CEMAGREF a élaboré d'autres modèles pour les mésohabitats (Le Coarer et Dumont, 1995).

Activités de recherche prioritaires

Six domaines de recherche prioritaires ont été identifiés sous le thème de la modification des débits (Tableau 5, Tableau 6): cadre global, paradigme des débits naturels, habitat et populations de poissons, demande de pointe, efficacité des régimes de débit prescrits, développement de modèles et d'outils.

Cadre global

On reconnaît la nécessité d'un cadre global d'évaluation et de prescription en matière de débit. Les méthodes d'évaluation doivent être applicables à diverses échelles, des mini-centrales aux méga-projets hydroélectriques; à divers types de modifications et d'opération du régime hydrologique, p. ex : au fil de l'eau, demande de pointe, dérivations de l'écoulement, réponse à la demande, régularisation pluriannuelle; aux divers types de rivières rencontrés au Canada, p. ex. : des rivières des provinces des Prairies à faible déclivité aux petites rivières côtières à forte déclivité.

Paradigme des débits naturels

Dans un contexte où l'on considère reproduire les débits naturels ou les régimes hydrologiques naturels, on doit effectuer plus de recherches pour déterminer quels aspects des régimes naturels d'écoulement de l'eau, incluant les volumes, seraient nécessaires au maintien du caractère écologique essentiel d'une rivière, tout en permettant un certain degré de modification et/ou de régularisation. La littérature sur les indicateurs du débit est abondante (e.g. Olden and Poff, 2003), mais il faut avoir recours à des analyses plus sophistiquées pour déterminer quelles caractéristiques de l'hydrogramme doivent perdurer lorsque le débit est régularisé.

Habitat et populations de poissons

La modification des régimes naturels d'écoulement de l'eau peut se répercuter de diverses façons sur les populations de poissons. Des recherches sont requises pour pallier

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

à certaines lacunes : la réponse des individus et des populations en situation de régime naturel et de régime modifié, le développement de nouveaux modèles qui tiennent compte de la productivité et des préférences en matière d'habitats, de même que d'autres paramètres tels que la fraie, la survie et la croissance en fonction des régimes d'écoulement.

Débits de pointe

Les effets de la demande de pointe sur les ressources aquatiques doivent être documentés: i) effets de la vitesse de variation du débit sur les poissons et leurs habitats, la dérive des invertébrés et les communautés benthiques; ii) effets des changements abrupts de débit selon les saisons, incluant en période hivernale; iii) effets sur la physiologie et le comportement du poisson et répercussions sur les populations; iv) effets écosystémiques (tous les niveaux trophiques) qui se répercutent sur les populations de poissons (Steel et Smokorowski, 2000).

Efficacité des régimes de débit prescrits

L'une des avenues les plus prometteuses de la recherche sur les effets des projets hydroélectriques et de la gestion du débit est la réalisation d'études rigoureuses de suivi des effets pour valider l'efficacité des prescriptions en matière de débit réservé, pour apporter des ajustements lorsque nécessaire dans un contexte de gestion adaptative, et pour contribuer au bagage de connaissances sur lesquelles s'appuiera le processus de décision en matière de débits réservés.

Développement de modèles et d'outils

Malgré qu'il existe une grande diversité de méthodes d'évaluation du débit, il faut continuer à créer, évaluer et améliorer des outils de modélisation hydraulique de l'habitat, en mettant particulièrement l'accent sur les modèles biologiques et les méthodes qui intègrent les effets à l'échelle des populations et des communautés de poissons (Wesche et Rechar, 1980; Harby *et al.*, 2004). De nouvelles méthodes et de nouveaux paramètres sont requis pour décrire la valeur et la disponibilité des habitats, et que l'on pourrait substituer aux mesures dites de capacité de production de l'habitat (mandat du MPO). Il est essentiel d'incorporer un élément temporel aux outils de modélisation du débit réservé, car les poissons utilisent différemment les habitats sur des échelles temporelles à court (journée) et à plus long terme (saison).

Les poissons choisissent l'habitat à une petite échelle, mais les technologies actuelles n'ont peut-être pas la résolution et la précision de modélisation requises pour saisir ces liens. On doit donc réaliser d'autres progrès pour combler ces lacunes : modélisation des zones riveraines, applicabilité des modèles aux rivières dont le lit présente une rugosité élevée en période d'étiage, interaction du débit des rivières avec les eaux souterraines et, en particulier, considération des régimes glaciels (Katopodis, 2002, 2003). Il faut aussi réaliser des progrès importants sur le plan des modèles de simulation hydraulique si l'on veut qu'ils soient applicables aux conditions sous la glace. Toute augmentation de la résolution des simulations hydrauliques ne sera profitable que si l'on réalise

simultanément des progrès sur le plan de modèles biologiques « valables » pour exploiter ces données.

De nombreux organismes ont recommandé que des recherches soient menées sur les prémisses et les principes sous-jacents des méthodes d'établissement des préférences en matière d'habitat et que des travaux soient entrepris pour valider les modèles, et ce, tant d'une perspective physique que biologique (p. ex., Reiser *et al.*, 1989). Le secteur dans lequel il faut faire le plus de progrès sur le plan de la science de la modélisation hydraulique de l'habitat est celui des modèles biologiques et de leurs composantes (Harby *et al.*, 2004). Parmi les interactions interspécifiques et intraspécifiques importantes qui ne sont pas prises en considération par les modèles existants, mentionnons les liens spatiaux entre les parcelles d'habitats, la distinction entre un habitat occupé et un habitat préféré, le métabolisme des poissons, les effets des perturbations et de la variabilité à long terme, les interactions avec les écosystèmes terrestres ainsi que l'effet direct ou indirect des interventions humaines (p. ex. ensemencement, pêche à la ligne). La justesse des prédictions des modèles biologiques doit aussi être évaluée.

La modélisation a surtout été axée au départ sur les salmonidés. Des modèles biologiques appropriés doivent être développés pour évaluer les débits réservés pour une variété d'espèces qui sont considérées importantes sur le plan économique ou écologique. Dans la perspective où l'on a besoin d'indicateurs de santé des écosystèmes et puisqu'il n'y a pas que des poissons dans les rivières, il faut accorder plus d'attention à des critères écologiques plus larges et inclure d'autres organismes, comme le macrobenthos et les plantes aquatiques, dans les analyses.

Espèces prioritaires

Les recherches sur le poisson en lien avec les réservoirs, les barrages et la modification des débits naturels en Amérique du Nord a porté sur un nombre limité d'espèces. Si la Science a progressé dans bien des cas, il reste tout de même beaucoup à accomplir sur un bon nombre d'espèces qui jouent un rôle écologique important, qui ont une valeur économique importante, ou dont le statut est préoccupant. De nouvelles connaissances seraient bienvenues en matière de passage et d'hydraulique pour des espèces telles l'omble de fontaine, le grand corégone, l'omble chevalier et l'ombre arctique qui sont exploitées par la pêche sportive et de subsistance. Le passage vers l'amont de l'alose savoureuse, le passage vers l'aval de l'anguille d'Amérique, et le passage vers l'amont ou vers l'aval des esturgeons requièrent aussi des recherches additionnelles. Le statut plus ou moins prioritaire d'une espèce sera fonction de plusieurs facteurs et au cours de l'atelier et dans le cadre de discussions subséquentes, il n'a pas été possible d'établir une telle liste. Les différentes régions n'abritent pas les mêmes espèces. Les problématiques diffèrent selon que l'on s'intéresse aux réservoirs ou aux rivières, aux petits ou grands réservoirs, aux bassins à faible ou à forte déclivité. Elles diffèrent également selon le stade de vie ou la taille des poissons. Ainsi le statut prioritaire d'une espèce variera selon la région, l'ouvrage ou la situation considérés.

Cadre de collaboration et réalisation du programme scientifique

L'établissement des priorités de recherche était un enjeu important de l'atelier « Aller de l'avant avec le programme de recherche » de Kentville, mais plusieurs questions d'ordre pratique ont aussi été abordées. Plusieurs sessions de discussion en groupes restreints ont donné l'occasion à chaque participant, qu'il provienne du secteur privé, du milieu universitaire, du secteur des Sciences, de celui des Océans et de l'Habitat du MPO, d'autres ministères ou d'autres gouvernements, de décider si le CHIP se révélait une initiative pertinente et de déterminer comment nos différents organismes pourraient atteindre des buts communs d'une manière optimale.

Les objectifs de l'initiative de Renouveau des sciences au MPO ont été présentés aux participants de l'atelier. On leur a expliqué que le secteur des Sciences a clairement établi que la recherche sur les effets de la production d'énergie sur les écosystèmes était d'une importance primordiale pour l'atteinte des objectifs stratégiques du ministère, ce qui se reflète d'ailleurs dans le Programme de recherche quinquennal (2007-2012) du secteur des Sciences. Les enjeux environnementaux que soulève l'hydroélectricité sont majeurs, et on estime qu'il est plus avantageux de prendre des mesures à cet égard en collaborant avec d'autres organismes.

Les différents organismes peuvent avoir des points de vue distincts sur les mesures à prendre et sur la façon dont elles doivent être prises. Le protocole d'entente établi entre le secteur des Océans et de l'Habitat du MPO et les sociétés publiques productrices d'électricité faisant partie de l'ACE a contribué à établir de bonnes relations de travail entre les diverses organisations. Le secteur des Sciences souhaite mettre à profit cette initiative et soutenir un plan de recherche sur les impacts de l'hydroélectricité sur le poisson et son habitat par l'entremise d'un centre d'expertise national (CHIP). Le CHIP visera l'établissement de collaborations et de partenariats. Il est donc important qu'il ait un mandat reconnu et offre des produits appropriés à ses clients.

Les deux prochaines sections présentent la documentation distribuée lors de la réunion. Ces questions ont été débattues en groupes restreints, et les points importants soulevés par chaque groupe ont été débattus en séance plénière à la fin de l'atelier.

Première réunion en groupes restreints – Cadre de collaboration

Trois groupes ont discuté du cadre de collaboration pour mettre de l'ordre dans les perspectives et les attentes du milieu universitaire, de l'industrie et du gouvernement. La réunion avait pour but de déterminer comment nous pouvons établir un lien entre les points de vue de nos différentes organisations. Une fois parvenus à une entente sur les activités de recherche prioritaires, comment pourrions nous mieux atteindre nos buts communs? Les participants ont reçu la documentation suivante pour orienter leurs discussions.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Prenons l'image selon laquelle le MPO a deux bras, l'un étant responsable de la gestion et de la réglementation (Océans et Habitat) et l'autre de la recherche scientifique et de la production d'avis (Sciences). L'un des défis que doit relever l'organisme est de s'assurer que la recherche est effectuée en temps opportun et dans les domaines où la gestion a besoin de données scientifiques. Chaque scientifique produit de nouvelles connaissances grâce à ses activités de recherche, mais il est également souvent invité à offrir des conseils éclairés aux responsables de l'évaluation des impacts qu'ont les projets dans le secteur des Océans et de l'Habitat.

- *Comment pouvons-nous nous positionner face au double rôle du MPO et à la contribution du secteur des Sciences au processus d'évaluation du secteur des Océans et de l'Habitat?*
- *L'industrie voit-elle cette situation comme un obstacle à des partenariats avec le secteur des Sciences?*

Le secteur des Sciences a clairement établi que la recherche sur l'hydroélectricité était d'une importance primordiale pour l'obtention de deux de ses résultats stratégiques, soit «Écosystèmes aquatiques sains et productifs» et «Pêches et aquaculture durable». Le CHIP a été identifié en tant que structure par laquelle le secteur des Sciences réalisera son programme scientifique lié à l'hydroélectricité.

- *Quelles sont les attentes de chaque organisme à l'égard du CHIP et du secteur des Sciences?*
- *Comment les clients du secteur des Sciences peuvent-ils influencer sur le plan de recherche du MPO? Par le biais de discussions avec le directeur du CHIP? Par le biais du comité directeur du CHIP, par l'entremise du secteur des Océans et de l'Habitat? Par le biais d'activités prévues dans le protocole d'entente?*

D'une part, la structure de gouvernance du CHIP réunit le secteur des Sciences et celui des Océans et de l'Habitat, sans la participation d'autres organismes. D'autre part, le mandat du CHIP prévoit la collaboration des scientifiques du MPO avec d'autres organismes (milieu universitaire, industrie, autres ministères et autres paliers du gouvernement).

- *Comment le CHIP peut-il établir des liens entre les organismes partenaires et appuyer les activités de recherche liées à l'hydroélectricité tant à l'échelle nationale que régionale?*
 - *Par le biais d'ententes de partenariat entre le secteur des Sciences et l'industrie? Par le biais des différentes sociétés publiques productrices d'électricité ou de leurs associations? ACE, ACH ou d'autres associations?*
 - *Par le biais d'un consortium de plusieurs organismes, y compris les universités, œuvrant à des programmes ou à des projets précis?*
 - *Par le biais d'activités de coordination intergouvernementales et interministérielles?*

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Le MPO reconnaît que les enjeux liés aux impacts de la production d'hydroélectricité sur le poisson et son habitat peuvent être mieux traités si l'on réunit tous ceux qui y participent (gouvernements, industrie et milieu universitaire). Ainsi, le CHIP peut aider la communauté des chercheurs en joignant ses efforts à ceux des autres secteurs.

- *Existe-t-il des structures qui jouent un rôle similaire à celui du CHIP, tant à l'échelle nationale que régionale?*
- *A-t-on besoin d'un site Internet ou de l'extranet : Est-ce que cela doit être un forum, un outil de partage de données et de renseignements, un endroit pour signaler les possibilités de travaux conjoints?*
- *Le CHIP doit-il appuyer les universités dans les revendications concernant l'élaboration d'un fonds spécial avec le CRSNG?*
- *Le CHIP doit-il participer aux efforts visant l'élaboration d'un réseau (Programme des réseaux de centres d'excellence)?*

Deuxième réunion en groupes restreints – Comment réaliser le programme scientifique?

La deuxième session avait pour objectif de discuter de la réalisation du programme, à savoir comment nous devrions planifier, exécuter et financer nos activités. On a attribué une tâche à chacun des trois groupes. Les participants ont reçu la documentation suivante pour orienter leurs discussions.

Groupe 1 – Mécanismes de financement et de sélection des projets

Les responsabilités partagées représentent des défis et des risques tels qu'une charge de travail accrue, de possibles conflits d'intérêts, l'interdépendance entre les organisations, et ainsi de suite. Sommes-nous prêts à aller de l'avant, à relever ces défis, à assumer ces risques?

- *Préférons-nous le statu quo? Des fonds sont alors rendus disponibles occasionnellement, sont attribués au cas par cas, chaque chercheur tentant de collaborer ou non avec les clients et les partenaires.*
- *Considérons-nous qu'il est utile et suffisant de déterminer le champ d'intérêt et le programme de chacune des organisations par rapport à notre plan de recherche commun afin de maximiser les résultats de nos activités distinctes et d'éviter les chevauchements? Avons-nous besoin de déterminer les domaines de recherche qui doivent être traités par le MPO (à lui seul), par l'industrie (à elle seule) et dans le cadre de collaborations établies entre le MPO, l'industrie et le milieu universitaire?*
- *Souhaitons-nous créer des projets conjoints avec des financements partagés?*

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Comment doit-on s'y prendre : ententes de collaboration, fonds stratégiques selon les priorités partagées, appels conjoints de propositions, équipes de recherche conjointes?

- *Examen par les pairs – Qui doit être représenté au sein des comités responsables de l'examen des propositions et des rapports de projets de recherche? Quels critères doit-on employer pour sélectionner les projets? Le CHIP a-t-il un rôle à jouer?*

Groupe 2 – Partage des données et des résultats

Il existe une contradiction apparente entre la perception selon laquelle on dispose de peu de données scientifiques sur lesquelles appuyer nos décisions de gestion, et l'existence d'un grand nombre de données, de rapports et de publications sur une variété de sujets pertinents. Peu importe le domaine considéré il y a deux enjeux avec les données scientifiques : il faut connaître l'existence de ces données et s'entendre sur l'interprétation de celles-ci lorsqu'elles sont disponibles et partagées. Peut-on affirmer que le partage des données facilite les discussions entre les organisations.

- *Comment partagerons-nous les données de projets conjoints? Partagerons-nous la propriété intellectuelle? Donnerons-nous l'accès aux données/résultats à un plus grand nombre de personnes? Quel est le point de vue des différents scientifiques? Quel est le point de vue des organismes privés et publics? Quels sont les besoins du secteur des Océans et de la Gestion de l'habitat?*
- *A-t-on également besoin de partager les bases de données de projets antérieurs (pour des activités d'exploration de données)? – Comment les rendrons-nous accessibles? Quelles sont les contraintes (moyens, propriété intellectuelle...)?*

Groupe 3 – Mesures du rendement et rétroaction avec les bailleurs de fonds

Du point de vue des organismes privés et publics qui versent des fonds pour certains projets, faire un suivi des progrès réalisés en vue d'obtenir des résultats concrets est une exigence fondamentale, et ce peu importe que les projets soient de courte ou de longue durée. Cette exigence est habituellement déphasée par rapport au processus de recherche, car la courte durée des projets et les ressources limitées disponibles font souvent en sorte que la collecte des données et les activités expérimentales durent jusqu'à la fin du projet et que l'analyse détaillée et la publication des résultats, notamment les publications primaires, sont reportées à une date ultérieure au-delà de la durée de vie d'un projet.

- *Comment ferons-nous face à cette réalité? Quelle information devons-nous communiquer pendant le projet?*
- *Devrions-nous considérer la plupart des projets comme un processus en*

deux étapes, la première étant celle où l'on mesure les progrès d'après les activités sur le terrain ou en laboratoire, la deuxième étant une période d'un an incluse dans tout projet pendant laquelle aucune activité sur le terrain n'a lieu et pendant laquelle les activités d'archivage des bases de données et de rapport verbal et écrit deviennent les paramètres par lesquels on juge les progrès réalisés?

- *Comment partagerons-nous les résultats des projets conjoints (résultats, recommandations potentielles)? – Par une présentation formelle des résultats aux organismes subventionnaires (ministère, industrie)? Sous la forme d'un rapport aux clients? Par la publication d'un rapport sur l'extranet? Par la tenue d'un atelier à la fin du programme (correspondant à certains appels de propositions)...*?

Principaux résultats des réunions en groupes restreints et des séances plénières

Les initiatives qu'a prises le secteur des Sciences de proposer le CHIP et de mieux cibler ses activités en fonction des enjeux actuels dans l'industrie a fait l'objet d'un accueil favorable. De nombreux participants avaient entendu parler du CHIP avant la réunion, mais plusieurs questions devaient être discutées étant donné qu'il a suscité de nouvelles attentes et que les détails de sa structure et de son *modus operandi* n'avaient pas été publiés. La présente section résume les principaux points formulés lors de l'atelier et que le secteur des Sciences doit prendre en considération pour faire du CHIP un centre reconnu et utile en matière de recherche sur les enjeux liés à l'hydroélectricité.

En établissant un nouveau centre d'expertise, le secteur des Sciences a suscité des attentes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du Ministère, y compris au sein d'autres ministères et gouvernements ainsi que de l'industrie à l'échelle du Canada. On s'attend donc à ce que le CHIP fasse mieux connaître la recherche et qu'il crée et appuie de nouvelles possibilités de recherche sur l'hydroélectricité, et non qu'il gère quelques activités avec moins de ressources.

Parmi les points soulevés, la question des régions et la nécessité de prendre en considération les différences régionales est revenue souvent et avec force. Les participants de l'industrie et des gouvernements ont fait clairement comprendre ce message. Contrairement à l'industrie pétrolière et gazière par exemple, l'industrie de l'hydroélectricité est organisée à l'échelle régionale. Chaque région dispose d'un certain nombre de sociétés et d'entreprises privées ou publiques. Ces dernières sont indépendantes, bien que les questions d'intérêt commun soient régies par l'entremise de leurs associations. Le MPO est bien entendu un organisme national, mais la recherche est effectuée dans les laboratoires régionaux.

Cette situation explique plusieurs observations et recommandations formulées à la réunion.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

- Les différentes entreprises peuvent ne pas appuyer les projets à l'échelle nationale. Elles financent la recherche à l'échelle régionale et ciblent des espèces d'intérêt à leurs installations. Il en est ainsi du fait qu'elles doivent appuyer les projets ayant un résultat pratique à appliquer à leurs installations (voir ci-après). Qui plus est, elles favorisent habituellement les collaborations à l'échelle régionale.

Les participants ont toutefois reconnu que des initiatives nationales peuvent conduire à un renforcement de la science dont les régions peuvent bénéficier.

- Bien que les projets régionaux donnent des résultats pratiques sur les espèces d'intérêt dans la région et pour un ensemble donné de conditions dans la région, nous devons être en mesure de produire des déclarations plus générales afin d'éviter de répéter maintes fois les mêmes pour chaque site et chaque espèce. Seules une planification soignée et l'exécution de projets plus globaux avec des composantes régionales permettront d'y arriver. Il s'agit d'un secteur où le CHIP peut rapprocher les intérêts régionaux.

On a soulevé plusieurs autres points sur la nature des projets et des activités que le CHIP devrait coordonner.

- La recherche doit donner des résultats pratiques et applicables. C'est dans cette perspective et parce que cette préoccupation avait été signalée au début du processus de priorisation des activités de recherche que les participants ont indiqué, pour chaque activité planifiée, la nature de l'enjeu, les liens avec la Politique de gestion de l'habitat et les résultats tangibles attendus de cette activité de recherche (Tableau 2, Tableau 4, Tableau 6).
- On doit considérer les résultats pratiques attendus d'une activité lorsqu'on évalue les projets. Les exigences en matière de rapports doivent être simples et indépendantes du processus de publication primaire; par exemple un court rapport annuel et un rapport final un an après la fin de la période de collecte des données. Les scientifiques doivent accepter de participer aux ateliers dans lesquels les résultats pratiques de la recherche sont démontrés et expliqués aux utilisateurs de la recherche.

Les participants ont reconnu la nécessité de partager les données entre les organisations.

- Beaucoup de données sont disponibles, et de nombreux projets ont lieu à l'échelle du Canada. L'un des défis qui se posent est de partager les données disponibles et d'informer les autres des projets en cours dans chaque région. Le partage des données existantes, accumulées par exemple dans le cadre des programmes de surveillance de l'industrie, peuvent se révéler utiles pour réaliser certaines des activités prioritaires du plan de recherche, faire ressortir les points communs entre les régions, valoriser certains projets en les rendant plus visibles, stimuler les initiatives de collaboration nationales, réduire les chevauchements.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

- La création et l'opération d'un site Web ont été considérés comme des moyens productifs d'établir un réseau de recherche et de mettre en œuvre le partage des données à l'échelle nationale. Il n'existe actuellement aucun lien comparable, dans le domaine de l'hydroélectricité et de l'habitat du poisson, au Canada. Le site Web pourrait être employé comme dépôt de données, pour favoriser les contacts entre individus et organisations, pour véhiculer de l'information sur les événements, pour publier des appels de propositions, pour assurer un suivi des activités de recherche, pour présenter des fiches d'information sur des enjeux importants, etc. Le CHIP pourrait être responsable de la création et de la gestion du site Web.
- Au sein du gouvernement fédéral, Environnement Canada et Ressources naturelles Canada ont un intérêt important dans certains aspects et enjeux que suscitent l'hydroélectricité, en particulier la gestion et l'évaluation des débits des rivières. Il en est de même pour les administrations municipales et provinciales. On a besoin d'un effort coordonné pour ces enjeux, et le CHIP pourrait jouer un rôle dans ce processus.

Les sources de financement sont une cause de préoccupation, mais l'attribution des fonds devrait suivre les règles habituelles.

- Un certain nombre de programmes de partenariats sont offerts par le CRSNG. Ils sont offerts aux universitaires et nécessitent souvent des fonds de démarrage et des fonds d'égalisation qui proviennent des collaborateurs (gouvernements et industrie). Le CHIP pourrait aider à obtenir des fonds du CRSNG pour que les universitaires puissent entreprendre des initiatives de recherche conjointe avec le MPO et les sociétés publiques productrices d'électricité.
- Certains représentants des universités ont souligné que des initiatives de recherche pourraient être financées par le Programme de subventions de recherche et développement coopératifs, pendant que le CHIP explore les sources de financement à plus long terme avec le CRSNG.
- Bien que les programmes du CRSNG soient offerts aux universitaires, on s'inquiète du fait que les chercheurs scientifiques du MPO ou des sociétés publiques productrices d'électricité n'aient pas accès à cette source de fonds, ce qui peut les empêcher d'entretenir la collaboration. Le CHIP pourrait jouer un rôle dans l'établissement de collaborations financées par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) ou par tout autre organisme subventionnaire avec le soutien du MPO et des sociétés productrices d'électricité sur la base d'un maillage entre les scientifiques des diverses organisations.
- La meilleure façon d'obtenir un financement majeur est d'effectuer une planification de haut niveau des activités de recherche. Les ressources et le personnel concerné du MPO doivent être accessibles à l'échelle nationale si l'on souhaite sérieusement établir des partenariats avec le milieu universitaire et l'industrie à l'échelle du Canada. Le CHIP devrait coordonner la recherche sur des priorités nationales, supporter les initiatives nationales et régionales, et demeurer au fait des enjeux régionaux. Le financement par l'entremise du CHIP

- devrait reposer sur des priorités établies avec les partenaires.
- Les fonds doivent être attribués en fonction du mérite scientifique ainsi que des lignes directrices et des priorités établies. Les appels de propositions, l'examen des propositions et le suivi des progrès réalisés peuvent être traités par un conseil de représentants des organismes subventionnaires coordonné par le CHIP. On s'attend à recevoir des propositions sollicitées ou non; il nous faut des règles claires pour traiter les propositions non sollicitées. Les mécanismes exacts par lesquels se fera l'attribution des fonds restent à déterminer.

Remerciements

Karen Smokorowski, Richard Gervais et Dave Scruton ont chacun dirigé l'une des trois équipes, respectivement sur la science des réservoirs, le passage du poisson et la modification des débits. Jean-Maurice Coutu, Chris Katopodis, Richard Vermette ont contribué à la rédaction de certaines sections sur l'industrie de la production hydroélectrique, les passes migratoires et le processus d'évaluation environnementale. Plusieurs collaborateurs du MPO, de l'industrie et des universités ont commenté et corrigé une version antérieure.

Références

Stoneman, M. G. (2005). Canadian Electricity Association / Fisheries and Oceans Canada Science Workshop Proceedings: Setting research priorities on hydroelectricity and fish or fish habitat, St. John's, Terre-Neuve, juin 2004. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, p. v + 138.

Les citations dans le texte sont tirées du rapport mentionné ci-haut. Veuillez le consulter pour obtenir les références complètes.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 1. Thèmes de recherche prioritaires concernant la science des réservoirs et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance, mais les activités de recherche sous chaque thème le sont : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.

Thème de recherche	Activité de recherche	Type d'activité			Énoncé de priorité		
		RT L/ M	RL/ E D	S C A			
1	Caractérisation des habitats des réservoirs et capacité de production	1	Exploration de données existantes : <ul style="list-style-type: none"> ○ Examiner les données existantes sur la caractérisation des habitats des réservoirs (bois submergé, macrophytes, évolution des rives, etc.), la capacité de production des habitats, l'utilisation des habitats par les poissons, l'efficacité des mesures d'atténuation et de mise en valeur des habitats résumer la couverture spatio-temporelle des données disponibles. Analyser les données pour voir s'il y a des tendances liées à l'âge ou au type de réservoirs (dimensions, régime d'opération, zone géographique /écozone). ○ Examiner de la même manière les systèmes naturels et relever une série de paramètres servant à les caractériser. Évaluer si certaines des caractéristiques des réservoirs diffèrent régulièrement de celles des lacs. ○ Identifier les réservoirs pour lesquels la collecte de plus de données serait avantageuse (p. ex. avec les données existantes pour valider la classification des habitats). 		•		Préalable à toute étude sur le terrain.
1	Caractérisation des habitats des réservoirs et capacité de production	2	Atelier national visant à comparer les méthodes utilisées pour quantifier la capacité de production de l'habitat du poisson. Dresser au préalable une liste et évaluer les méthodes reconnues de mesure (soit par l'activité 1.1 ou indépendamment). Évaluer leur validité et leur applicabilité générales.			•	Il est important de compiler dans un rapport les prémisses, la validité, l'usage, et l'applicabilité des méthodes actuelles avant même la tenue de l'atelier.
2	Végétation des réservoirs et aménagement forestier	1	Échantillonner les réservoirs de types et d'âges variés pour évaluer la biodiversité et la productivité des espèces – la sélection des sites doit tenir compte des analyses statistiques envisagées pour maximiser nos chances de bien évaluer l'impact des mesures de gestion de la végétation.	•			Utiliser les outils élaborés à l'activité 1.2. La sélection des sites peut être facilitée par l'activité 1.1.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
2	Végétation des réservoirs et aménagement forestier	2	Planifier une étude détaillée sur les réservoirs dont la création est anticipée et faire des prédictions sur le poisson et l'habitat (réaction des communautés à différents efforts de capture) en se basant sur une théorie reconnue. Vérifier ces prédictions suite à la mise en eau des réservoirs.	•			
3	Interaction du poisson avec l'habitat	1	Évaluer l'utilisation de l'habitat des espèces importantes dans les réservoirs à l'aide d'une variété de méthodes (p. ex. télémétrie, évaluations visuelles, captures au filet maillant sur de courtes périodes) pour établir des indices de l'utilisation de l'habitat. Comparer/contraster ces indices d'utilisation de l'habitat à ceux des lacs naturels.	•			La priorité est fonction des résultats de l'exercice d'exploration de données (1.1). On se concentre sur les réservoirs où les méthodes classiques d'échantillonnage sont jugées adéquates.
3	Interaction du poisson avec l'habitat	2	Évaluer l'utilisation de l'habitat dans les grands réservoirs qui subissent des marnages importants, en particulier la zone littorale vs la zone pélagique et profonde. Comparer ces réservoirs aux grands lacs naturels.		•	•	Le manque de données et d'outils limite la capacité des Sciences à formuler des avis pour les très grands réservoirs; haute priorité pour la région du Québec.
4	Création d'habitats dans les réservoirs	1	Concevoir une étude où l'habitat est amélioré dans certains réservoirs, mais non dans d'autres considérés comme témoins (expérience de type BACI : avant-après, témoin-impact). Suivre la réaction de la communauté de poissons sur plusieurs années pour déterminer si les améliorations ont un effet mesurable. Il faut un plan d'échantillonnage rigoureux pour éviter les ambiguïtés.	•			Projet sur le terrain coûteux; le coût serait moindre si l'étude était effectuée sur des petits sites où l'exploitant serait tenu d'améliorer l'habitat en vertu d'une exigence réglementaire. Si la Gestion de l'habitat demande des avis scientifiques sur le plan d'échantillonnage, des projets de recherche opportunistes pourraient être réalisés.
5	Efficacité des changements dans l'opération des réservoirs : variations de niveau	1	Échantillonner les réservoirs pendant divers niveaux d'abaissement – échantillonnage des organismes benthiques dans la zone littorale combiné à l'évaluation de la végétation en rive.	•			Envisager la nécessité de cette activité lorsque l'activité 1.1 aura été complétée.
5	Efficacité des changements dans l'opération des réservoirs : variations de niveau	2	Évaluer en quoi les variations de niveau diffèrent entre les réservoirs et les lacs naturels. Incorporer les caractéristiques des lacs naturels aux activités d'opération des réservoirs et suivre les changements.	•	•		Se référer au Tableau 5, paradigme des débits naturels. Le suivi de l'efficacité requiert l'implication du secteur des Sciences.
6	Efficacité des modifications dans la gestion des réservoirs : chronologie du marnage	1	Choisir des réservoirs ayant des espèces frayant au printemps et à l'automne, de préférence des réservoirs dans lesquels on suit les populations depuis des années. Ajuster les régimes d'opération de certains réservoirs (d'autres servent de témoin) pour voir si les populations profitent des changements d'opération.	•			À réaliser au moyen de suivis scientifiques de l'efficacité si une modification de l'opération est nécessaire via des mesures de gestion.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 2. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour la science des réservoirs (Tableau 1) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette.

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
1.1.1	Les fichiers que possèdent le MPO et l'industrie contiennent une foule de données valables pour vérifier certaines hypothèses sans avoir à retourner sur le terrain; les métadonnées ont déjà été compilées (SENES). De ces données et de la littérature on peut générer une liste des paramètres généralement utilisés et validés ce qui contribuerait à normaliser les activités de suivi tout en facilitant les inter-comparaisons. L'identification des réservoirs pour lesquels on possède le plus de données peut générer des connaissances au prix de peu d'efforts sur le terrain.	•	•		Les résultats combinés des diverses études peuvent combler les lacunes dans les connaissances à moindre coût que de nouvelles études sur le terrain. Des outils pour évaluer les impacts et l'efficacité de mesures de gestion seront disponibles, de même qu'un ensemble validé de paramètres servant à classer l'habitat et la capacité de production de l'habitat. Autres résultats : lignes directrices servant à gérer l'habitat, comparabilité améliorée entre les prochaines études. Le rapport technique ou l'analyse des métadonnées peut donner lieu à une publication primaire.
1.1.2	Différentes méthodes peuvent donner des résultats contradictoires; nous devons vérifier les limites relatives des diverses méthodes utilisées. Il y a dans certains cas des désaccords entre la gestion et les sociétés publiques productrices d'électricité.	•	•	•	Outils servant à évaluer les impacts et le suivi de l'efficacité. Entente entre la gestion et les sociétés publiques productrices d'électricité sur les méthodes appropriées d'évaluation et de suivi. Rapport technique ou document de recherche du SCCS comprenant des lignes directrices normatives.
1.2.1 et 1.2.2	Les réservoirs actuels peuvent ne pas convenir pour les études considérées. Des recherches sur le terrain portant sur de nouveaux projets sont peut-être la meilleure chance d'améliorer les pratiques de gestion de la végétation.	•			Meilleure compréhension de la façon de gérer les terres avant et après l'inondation. Publications primaires.
1.3.1	La compréhension de l'utilisation de l'habitat du poisson dans les réservoirs peut faciliter la gestion efficace des habitats dans les réservoirs.	•	•		Outils de gestion de l'habitat. Publication primaire.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
1.3.2	Des études de terrain sont requises pour les très grands réservoirs. De nouvelles approches, de nouveaux outils sont requis. Il y a dans certains cas des désaccords entre la gestion et les sociétés publiques productrices d'électricité.		•	•	Outils de gestion de l'habitat. Des informations sont disponibles pour appuyer le processus de décision dans le cas des grands projets. Publication primaire.
1.4.1	Toute nouvelle étude doit être planifiée soigneusement et bien conçue pour accroître les chances de donner des résultats probants. Occasion d'utiliser des projets de compensation avec un plan scientifique rigoureux de suivi pour produire des connaissances.	•		•	Une étude solide et bien encadrée des résultats des projets de mise en valeur de l'habitat peut contribuer à dissiper une certaine ambiguïté causée par les résultats disparates obtenus antérieurement. Publication primaire.
1.5.1	S'il y a encore des lacunes dans les connaissances après avoir l'examen des données existantes (1.1), de nouvelles études sur le terrain devraient être conçues.	•		•	Constat documenté sur les effets de l'abaissement du niveau sur la production de la zone littorale. Publications primaires.
1.5.2	S'il y a encore des lacunes dans les connaissances après avoir l'examen des données existantes (1.1), de nouvelles études sur le terrain devraient être conçues.	•			Efficacité du paradigme des régimes de niveaux naturels en tant que mesure d'atténuation. Jumelage avec des études sur le paradigme des régimes naturels lorsque la gestion le prescrit. Publications primaires.
1.6.1	Les plus importants impacts de l'abaissement du niveau touchent les espèces frayant en rives ou en tributaires. L'ajustement du moment de l'abaissement du niveau peut éliminer ces effets négatifs.	•			Clarifier quels ajustements de l'opération sont les plus efficaces pour protéger la production de poissons tout en limitant les contraintes sur les exploitants. Publications primaires.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 3. Thèmes de recherche prioritaires concernant le passage des poissons et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
1	Inventaire des passes migratoires : montaison et dévalaison	1	Dresser un inventaire informatisé complet des passes migratoires installées sur des sites hydroélectriques canadiens. L'inventaire doit inclure des références et fournir un sommaire des informations relatives au suivi et à l'évaluation de ces ouvrages. Il devrait s'accompagner d'une revue de la littérature pertinente sur les passes migratoires de projets hydroélectriques situés à l'extérieur du Canada.		•	•	Priorité élevée. On pourrait utiliser cette information conjointement avec d'autres thèmes de recherche sur les passes migratoires (p. ex. pour trouver des sites potentiels d'étude sur le terrain).
2	Guidage, attraction et évitement : montaison et dévalaison	1	Chronologie de la migration des poissons et hydrologie. Travaux de recherche sur le terrain pour établir des liens quantitatifs valables sur le plan biologique entre les variables biologiques et hydrologiques, particulièrement en ce qui concerne les espèces pour lesquelles l'information est limitée.	•	•		Parmi les exemples de liens, citons : a) le déroulement de la migration des divers stades ou des diverses espèces en lien avec les hydrogrammes, les thermogrammes ou les précipitations dans le cours d'eau; b) le délai tolérable et le débit de la rivière; c) la valeur de l'habitat et le débit de la rivière.
2	Guidage, attraction et évitement : montaison et dévalaison	2	Comportement des poissons et hydraulique des passes migratoires. Études comportementales sur les mouvements des poissons aux passes migratoires, pour mieux comprendre les facteurs ayant une incidence sur les déplacements quotidiens : photopériode, réaction à des caractéristiques liées à l'habitat (morphologiques et hydrodynamiques), compétiteurs ou prédateurs, rassemblement en bancs ainsi que stimuli optiques, acoustiques, tactiles et rhéotactiques.	•	•		Envisager de réaliser ces études conjointement avec l'activité de recherche 2.1.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
2	Guidage, attraction et évitement : montaison	3	Attraction des poissons et indices hydrauliques. Effectuer des études de modélisation hydraulique physique et numérique en aval de nouveaux barrages ou d'installations existantes pour mieux comprendre les réactions comportementales des poissons et pour fournir des données empiriques sur les voies migratoires, les points de rassemblement et les profils d'écoulement qui ont une incidence sur le déplacement des poissons.	•	•		La configuration et l'emplacement des entrées sont des éléments essentiels à considérer pour assurer l'efficacité des passes migratoires et ont été reconnues comme une priorité de recherche. Les grands barrages posent un plus grand problème : on a besoin de solutions adaptées aux projets majeurs.
2	Guidage, attraction et évitement : dévalaison	4	Guidage des poissons et indices hydrauliques. Des études exhaustives bien coordonnées sont requises à plusieurs installations qui considèrent plusieurs espèces et une large gamme de conditions hydrauliques pour améliorer notre compréhension des réactions des poissons en dévalaison et développer des solutions pour éviter les problèmes de mortalité dans les turbines.	•	•		Le passage sécuritaire des poissons vers l'aval est un objectif hautement prioritaire. Des études physiques et comportementales sur l'orientation des poissons et axées sur le coût et l'efficacité sont requises, notamment pour les très grandes rivières.
3	Concepts de passes migratoires (pour des espèces multiples, des stades de développement différents et des changements importants des niveaux d'eau) : montaison	1	Effectuer des études en laboratoire et sur le terrain pour examiner le comportement des poissons et la nature complexe de l'écoulement à l'intérieur des passes migratoires, les répartitions de la vitesse, la taille et la force des remous ou la turbulence.	•	•		Au nombre des études potentielles figurent la façon dont les poissons réagissent aux profils de turbulence et de circulation des bassins déversants, y compris la voie et la diffusion du jet d'eau par les fentes des passes à fentes verticales, les réactions des différentes espèces de poissons à diverses caractéristiques d'écoulement dans les passes à seuils déversants ainsi que les études sur l'hydraulique et l'évaluation sur le terrain des passes migratoires semi-naturelles.
3	Concepts de passes migratoires (pour des espèces multiples, des stades de développement différents et des changements importants des niveaux d'eau) : dévalaison	2	Consacrer des efforts de recherche importants et exhaustifs liés à l'hydraulique des grilles à poissons, modélisation des écoulements autour des grilles, analyse des réactions des poissons et évaluation de l'efficacité. Mettre à l'essai des prototypes de grilles obliques pour grandes vitesses d'écoulement.	•	•		On a relevé une variété de sujets potentiels de recherche sous ce thème; une priorité plus élevée peut leur être accordée.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
4	Performance natatoire et hydrodynamique : montaison	1	Réaliser des expériences sous conditions contrôlées pour analyser la performance natatoire d'une variété d'espèces de poissons. La nage des poissons devrait être volontaire (non forcée) et les protocoles devraient s'inspirer d'études récentes sur les écoulements turbulents.	•	•		Les espèces d'intérêt varieront au Canada selon les priorités régionales. Il est préférable de réaliser ces études dans des prototypes de pleine dimension ou dans des installations existantes.
4	Performance natatoire et hydrodynamique : montaison	2	Réaliser des études physiologiques sur le stress et l'épuisement post-exercice pour évaluer les effets différés du franchissement des passes migratoires.	•	•		L'évaluation de la performance d'une passe migratoire doit tenir compte des effets à plus long terme.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 4. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour le passage des poissons (Tableau 3) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette.

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
1.1	Les données sur les passes migratoires des installations hydroélectriques canadiennes sont très éparpillées et ne sont pas bien documentées, ce qui limite l'accès à des données potentiellement utiles et pertinentes sur la conception et le fonctionnement des passes migratoires. La littérature scientifique contient une mine de renseignements sur les passes migratoires des sites hydroélectriques dans le monde; une bibliographie condensée de ces renseignements serait un outil précieux.	•	•		Source de renseignements documentant les passes migratoires des installations hydroélectriques canadiennes. Les nouvelles installations tiennent compte de l'expérience acquise ailleurs.
2.1	Il est essentiel de prendre en considération le moment des déplacements des poissons dans la conception et le fonctionnement des passes migratoires. Bien qu'on connaisse généralement les déplacements saisonniers de nombreuses espèces, il est plus utile de connaître le moment précis de ces déplacements dans le réseau hydrographique et à un site hydroélectrique; on manque souvent de données à ce sujet pour une variété d'espèces.	•	•		Comprendre le lien entre le moment où le poisson se déplace vers un barrage et l'hydrologie est essentiel à la conception et au fonctionnement de passes migratoires performantes.
2.2	Les caractéristiques hydrauliques et physiques à l'intérieur d'une passe migratoire peuvent agir différemment sur la montée et la descente de diverses espèces. Les études sur le comportement des poissons nous fourniront des données détaillées sur la façon dont ils emploient la passe et nous permettront de relever les limites sur le plan de la conception et du fonctionnement.	•	•		Adapter et améliorer davantage l'hydraulique de diverses passes migratoires afin qu'elles soient efficaces pour différentes espèces de poissons, en particulier celles pour lesquelles l'information est limitée.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
2.3	Les entrées sont essentielles à l'efficacité des passes. La connaissance des voies migratoires empruntées par les poissons à mesure qu'ils s'approchent d'une passe peut aider à en choisir l'emplacement, à la concevoir et à la faire fonctionner. La recherche sur les profils des débits (circulation, volumes, vitesses, mouvement, etc.) qui entraînent le poisson vers les entrées des passes migratoires et l'attirent pour qu'il y entre, particulièrement en présence de plusieurs débits concurrents, serait très utile.	•	•		Une meilleure compréhension de l'attraction du poisson donnera des passes migratoires plus efficaces. Les délais dus à la présence des barrages seront moindres.
2.4	Connaissance et compréhension limitée des mouvements et du comportement des poissons en dévalaison et de l'efficacité des passes migratoires de dévalaison pour une variété d'espèces de poissons tels que l'anguille et l'esturgeon. La mortalité d'anguille dans les turbines peut atteindre 100% dans certaines situations.	•	•		Passes migratoires de dévalaison plus efficaces. Mortalités réduites.
3.1	On a étudié l'hydraulique fondamentale de plusieurs types de passes migratoires ces deux dernières décennies; cependant, il y a encore des questions qu'on soupçonne avoir une incidence sur l'efficacité des passes et qui nécessitent des recherches, comme l'étude de l'écoulement dans les passes migratoires.	•	•		Amélioration du rendement des passes migratoires.
3.2	On a employé et généralement accepté pendant des décennies plusieurs types de grilles à poissons aux prises d'eau, à l'entrée des canaux d'irrigation et dans les barrages hydroélectriques, et ces grilles ont surtout été conçues de façon empirique.	•	•		Modèles de grilles à poissons plus efficaces.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
4.1 et 4.2	La capacité de nage doit être évaluée sous diverses conditions : nage volontaire, nage dans des conditions d'écoulement turbulent, capacité de saut des poissons migrateurs, y compris les aspects comportementaux. Ces informations sont requises pour élaborer de façon plus exhaustive les critères biologiques qui aideront à concevoir des passes migratoires efficaces. Les études physiologiques post-exercice sont également importantes, car les poissons excessivement stressés ou épuisés après avoir réussi un passage peuvent ne pas frayer, ne pas avoir l'énergie nécessaire pour continuer de migrer, ou ne pas se rétablir des déséquilibres physiologiques découlant de la montaison.	•	•		Les lacunes dans les connaissances sur la nage des poissons sont comblées ce qui permet d'élaborer des concepts de passes migratoires qui reflètent plus étroitement les capacités natatoires et les limites des espèces de poissons migrateurs.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 5. Thèmes de recherche prioritaires concernant la modification du débit et activités de recherche requises pour progresser. Les thèmes de recherche ne sont pas nécessairement énumérés par ordre d'importance, mais les activités de recherche sous chaque thème le sont : RTL/M – Recherche sur le terrain/en laboratoire, modélisation, RL/ED – Revue de littérature, exploration de données, SCA – Symposium, conférence ou atelier.

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
1	Cadre global	1	Examiner les approches pour l'évaluation des débits à l'échelle du Canada – relever les éléments communs et différents.		•		Première étape fondamentale vers l'élaboration d'un cadre global (1.2 ci-après).
1	Cadre global	2	Relever les normes, les critères et les principes importants à inclure dans l'évaluation des régimes de débit (p. ex., paradigme des débits naturels, débits de base écologiques, compromis à faire entre les objectifs). Ils doivent être écologiques et incorporer les différences régionales en matière de climat, d'écologie, de géomorphologie et de paramètres socio-politiques.		•	•	Accomplir après l'activité 1.1 ci-devant. Il peut être préférable que cette activité fasse l'objet d'un ou de plusieurs ateliers. Il ne s'agit pas vraiment d'un élément de recherche, mais d'une priorité élevée pour le MPO et les sociétés publiques productrices d'électricité. Requier la tenue d'un atelier.
2	Paradigme des débits naturels	1	Déterminer l'approche appropriée pour générer et analyser des séries temporelles de débit pour les systèmes jaugés et non jaugés. Identifier un nombre limité d'indices écologiques pertinents. Certains indices hydrologiques ont été développés qui pourraient être appliqués.	•	•		Étape initiale importante pour le passage du paradigme des débits naturels du concept à la pratique (accent sur l'hydrologie).
2	Paradigme des débits naturels	2	Élaborer des modèles conceptuels à partir de la littérature qui relie la dynamique des régimes (ampleur, moment, durée) aux fonctions écologiques (p. ex. pour le poisson – indices de migration, débits de fraie et d'incubation, débits de maintien des habitats) de certaines espèces et régions écologiques du Canada.		•		Similaire à l'activité 2.1 ci-devant, étape initiale importante pour le passage du paradigme des débits naturels du concept à la pratique (accent sur les poissons).

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
2	Paradigme des débits naturels	3	Effectuer des études ciblées (sur le terrain et en laboratoire) pour combler les lacunes des modèles conceptuels – <i>p. ex.</i> conditions de température et d'écoulement pour une montaison réussie.	•			À réaliser après l'activité 2.2 ci-devant ou conjointement avec celle-ci pour combler les lacunes sur le plan des connaissances dans la mise en œuvre du paradigme des débits naturels.
2	Paradigme des débits naturels	4	Suite aux projets ci-devant, relever et élaborer les critères appropriés pour faciliter la production d'un régime régularisé fondé sur le paradigme des débits naturels.		•		Après les activités 2.1, 2.2 et 2.3 ci-devant. Également fondamental pour inclure le concept de paradigme des débits naturels dans le « Cadre global ».
2	Paradigme des débits naturels	5	Intégrer les modèles de production d'énergie (disponibilité de l'eau, infrastructure hydroélectrique, données économiques) aux modèles biologiques qui reflètent les exigences en matière de débit naturel pour mettre à l'essai et optimiser les scénarios envisagés.	•	•		Outil important de modélisation intégrée permettant d'évaluer la faisabilité du projet, coûts - avantages et besoins - avantages écologiques dans un cadre commun. C'est un but à plus long terme qui nécessitera un effort d'intégration considérable entre les sociétés publiques productrices d'électricité et la science liée aux débits.
2	Paradigme des débits naturels	6	Évaluer sur une base opportuniste l'efficacité des débits écologiques dans des régimes régularisés (p. ex. rivière Salmon Ouest, canal Granite, rivière Bridge; rivière Magpie).	•			Exploiter les programmes de suivi des effets environnementaux et de recherche en cours pour appuyer les activités 2.2 et 2.3 ci-devant.
2	Paradigme des débits naturels	7	Déterminer l'effet de la modification des régimes naturels sur les eaux réceptrices non fluviales en aval (p. ex. lacs, estuaires, océans).	•	•		Les enjeux liés au milieu marin font l'objet d'un processus de priorisation distinct.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
3	Habitat et populations de poissons	1	Effectuer des études visant à examiner la réaction des poissons (individu et population) aux modifications du débit dans les régimes naturels ou modifiés (p. ex. déplacement et/ou mortalité pendant les débits de pointe ou les interruptions de services planifiées ou inopinées d'une centrale, effets sur la croissance, la production et la survie liés aux conditions d'étiage).	•			Cette activité initiale est importante pour alimenter l'élaboration de modèles de population (3.2 et 3.3) et formuler des hypothèses prédictives (3.4). Possibilité d'utiliser les résultats des études mentionnées dans les activités 2.3 et 2.6 ci-devant.
3	Habitat et populations de poissons	2	Élaborer des modèles de productivité ou de préférence en matière d'habitats qui incluent les effets de la réussite de la fraie, de la survie inter-annuelle, de la croissance et de la densité, et leurs liens avec les exigences en matière de débit.	•	•		À partir des études mentionnées dans les activités 2.3, 2.6 et 3.1, ci-devant, et de la littérature.
3	Habitat et populations de poissons	3	Explorer l'utilité d'autres approches de modélisation (p. ex. logique floue et bien d'autres approches statistiques) pour décrire et prévoir la réaction des populations de poissons à la modification du débit. Explorer les outils statistiques pour séparer la variabilité naturelle des modifications causées par la gestion des barrages.	•	•		À partir des études mentionnées dans l'activité 3.1 ci-devant et de la littérature.
3	Habitat et populations de poissons	4	Élaborer des hypothèses prédictives sur l'effet qu'a la modification du débit sur les populations de poissons.	•	•		À partir des études mentionnées dans l'activité 3.1 ci-devant et de la littérature.
4	Débits de pointe	1	Étudier l'impact des débits de pointe/modulation du débit turbiné sur le poisson et son habitat, y compris les aspects diurnes et saisonniers, en mettant l'accent sur l'hiver.	•			Ces connaissances sont requises pour appuyer l'activité 4.5.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
4	Débits de pointe	2	Étudier l'impact de la vitesse de variation de débit sur les espèces de poissons, l'habitat, les communautés benthiques et la dérive. Déterminer quels aspects sont les plus significatifs de la durée, de l'ampleur, du moment, de la fréquence, et du taux de changement du débit.	•			Ces connaissances sont requises pour appuyer l'activité 4.5.
4	Débits de pointe	3	Effectuer des études axées sur les impacts à tous les niveaux trophiques, qui se répercutent sur les populations de poissons (p. ex. méthode des isotopes stables).	•			Inclure une considération des effets écosystémiques dans l'intégration des résultats des activités 4.1 et 4.2.
4	Débits de pointe	4	Effectuer des études visant à évaluer les effets comportementaux et physiologiques (p. ex. électromyographie par télémétrie et autres outils) sur le poisson.	•			Connaissances sur les effets sublétaux pour appuyer l'activité 4.5.
4	Débits de pointe	5	Sur la base des résultats obtenus et de la littérature, identifier les meilleurs indicateurs du risque que les débits de pointe représentent pour l'habitat et le poisson.		•		Requiert la réalisation des activités 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4.
5	Efficacité des régimes gérés	1	Monitoring pour s'assurer que i) les modèles prédictifs sont justes, et ii) les régimes gérés atteignent leurs objectifs.	•	•		Priorité de recherche importante; relier aux programmes de suivi des effets environnementaux : mesurer l'efficacité des prescriptions et des outils utilisés pour évaluer les débits réservés.
5	Efficacité des régimes gérés	2	Effectuer des études à long terme sur la santé des populations et des communautés de poissons. Pourrait inclure une approche de gestion adaptative qui vise à ajuster les régimes en fonction des résultats d'une évaluation continue des réponses biologiques.	•	•		Recherche à plus long terme incorporant et mettant à profit les résultats des activités 5.1, 6.3 et 6.4.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche	Activité de recherche	Type d'activité			Énoncé de priorité		
		RT L/ M	RL/ E D	S C A			
6	Élaboration de modèles/d'outils	1	Élaborer des méthodes servant à évaluer les effets du débit modifié sur la productivité de l'habitat dans de grands réseaux hydrographiques (p. ex. indice de productivité de l'habitat d'Hydro-Québec, SCCS).	●	●		Recherche importante nécessaire pour les grands aménagements hydroélectriques.
6	Élaboration de modèles/d'outils	2	Élaborer des outils de modélisation des populations qui s'appliquent à de grands réseaux hydrographiques.	●	●		Volet de l'activité 6.1 ci-devant.
6	Élaboration de modèles/d'outils	3	Effectuer des études qui relient la présence ou l'absence de poissons à la valeur de l'habitat en tant qu'outil de validation.	●			Conjointement avec l'activité 5.1, évaluer les outils de validation.
6	Élaboration de modèles/d'outils	4	Effectuer des études qui relient une variable prédictive d'un modèle (p. ex. aire pondérée utilisable) à un indicateur biologique (p. ex. abondance du poisson).	●			Conjointement avec l'activité 5.1, évaluer les outils de validation.
6	Élaboration de modèles/d'outils	5	Élaborer, mettre à l'essai des outils de modélisation hydraulique de l'habitat et les améliorer en mettant l'accent sur les modèles biologiques et les méthodes qui intègrent les effets à l'échelle d'une population ou d'une communauté de poissons.	●	●		Priorité de recherche visant l'amélioration continue des outils de gestion du débit.
6	Élaboration de modèles/d'outils	6	Effectuer des recherches sur les prémisses et les principes sous-jacents des méthodes d'établissement des préférences en matière d'habitat et les appuyer au moyen de travaux sur la validation des modèles.	●			À l'appui de l'activité 6.2 ci-devant, valider les prémisses liées aux modèles.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Thème de recherche		Activité de recherche		Type d'activité			Énoncé de priorité
				RT L/ M	RL/ E D	S C A	
6	Élaboration de modèles/d'outils	7	Développer des approches pour modéliser l'interdépendance des variables abiotiques (p. ex. approches de régression logistique).	•	•		À l'appui de l'activité 6.2 ci-devant, améliorer les outils de modélisation.
6	Élaboration de modèles/d'outils	8	Incorporer les variables biotiques (p. ex. compétition interspécifique et intraspécifique, prédation) dans les modèles.	•	•		À l'appui de l'activité 6.2 ci-devant, améliorer les outils de modélisation.
6	Élaboration de modèles/d'outils	9	Mettre au point des engins et des techniques d'échantillonnage standard à utiliser dans l'étude des aménagements hydroélectriques de grandes rivières et les améliorer.	•	•	•	Très important par rapport à l'activité 6.1 ci-devant.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Tableau 6. Enjeux visés par chaque activité de recherche prévue pour la modification du débit (Tableau 5) et résultats potentiels attendus de ces activités. LD/DG – Lignes directrices/Décisions en matière de gestion; ÉI/ÉR – Évaluation des impacts/Évaluation des risques dans le contexte du processus réglementaire; DDPD – Quantification du degré de destruction, de détérioration et de perturbation dommageable de la capacité de production de l'habitat du poisson et détermination du degré de compensation pour respecter le principe d'aucune perte nette.

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
5.1.1	Examiner et évaluer les approches servant à évaluer le débit.	•	•	•	Compréhension des pratiques actuelles d'évaluation du débit au Canada et possibilités (et défis) d'élaborer un cadre commun d'évaluation du débit pertinent à l'échelle nationale.
5.1.2	Élaborer une approche commune à l'établissement de régimes gérés qui soit flexible, soutienne la prise de décision liée à la gestion intégrée des ressources, puisse être appliquée à de nombreuses échelles, tienne compte des mécanismes à l'échelle du Canada et puisse aisément s'adapter à de nouveaux progrès dans le domaine de la science des débits réservés.	•	•	•	Réalisation d'un cadre commun de haut niveau pour évaluer et gérer le débit qui est acceptable pour les organismes de réglementation, les sociétés publiques productrices d'électricité et le public. Élaboration possible d'un « Guide à l'intention des praticiens » (Politique de gestion de l'habitat)?
5.2.1 à 5.2.3	Identifier les composantes (géomorphologiques, écologiques, pêches) du régime naturel à considérer pour atteindre un niveau approprié de protection écologique.	•			Détermination des éléments appropriés du régime naturel (moment, ampleur, durée, fréquence, vitesse de modification) à inclure dans des régimes gérés; réoptimisation des régimes gérés actuels. Compréhension des liens entre la variabilité des débits et les aspects principaux de l'écologie de la rivière, en mettant l'accent sur les poissons.
5.2.4	Élaborer des critères environnementaux pour l'exploitation des rivières à débit régularisé dans le cas de : i) nouveaux aménagements; ii) aménagements dont le permis peut être renouvelé ou qui ont une « enveloppe » de restitution qui pourrait être modifiée.	•	•	•	Production de critères pour aider les gestionnaires et les promoteurs à évaluer et à concevoir un régime. Approche et cadre communs servant à évaluer et à équilibrer les aspects environnementaux, économiques et sociaux d'un régime géré fondé sur le paradigme des débits naturels.
5.2.5	Concevoir un régime régularisé pour tenir compte des besoins en matière de paradigme des débits naturels et des intérêts en matière de régularisation des débits; évaluer les compromis.	•	•	•	
5.2.6	Efficacité des régimes régularisés du point de vue du paradigme des débits naturels.	•		•	Acquisition de connaissances et rétroaction (gestion adaptative) pour améliorer la science et la gestion des régimes fondés sur le paradigme des débits naturels.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
5.3.1	Accroître les connaissances et la compréhension au sujet de la réaction du poisson à la modification du débit.	●			Amélioration des connaissances sur la réaction du poisson (individu, population) à la modification du débit ou les perturbations à court terme.
5.3.2 à 5.3.3	Modèles de populations de poissons fondés sur la qualité et la disponibilité des habitats qui seront modifiés par le débit.	●	●	●	Amélioration de l'approche servant à évaluer les impacts des modifications du débit; passage des approches fondées sur l'individu à celles fondées sur la population, la communauté et l'écosystème.
5.3.4	Hypothèses prédictives qui associent les modifications du débit sur le plan de la qualité et de la disponibilité des habitats aux populations de poissons.	●			Amélioration de l'approche ou approche de rechange servant à évaluer les impacts des modifications du débit.
5.4.1 to 5.4.3	Identification des modes appropriés d'exécution des débits de pointe et des modulations du débit turbiné.	●			Amélioration des connaissances sur les impacts de la production d'hydroélectricité (lâcher d'eau lié à la demande de pointe) et sur les moyens servant à les atténuer.
5.4.4	Coûts énergétiques du débit de pointe pour le poisson (nage et déplacement, épuisement des ressources alimentaires).	●			Amélioration des connaissances sur les impacts sublétaux de la production d'hydroélectricité (débit de pointe).
5.4.5	Variables de l'habitat (p. ex. composition du substrat) utiles à l'évaluation des risques que présentent les débits de pointe (érosion, échouement, assèchement, entraînement, déplacement des sédiments).	●	●	●	Meilleure connaissance des impacts de la production d'hydroélectricité (débits de pointe) pour améliorer l'évaluation des risques, suggérer des mesures d'atténuation, etc.
5.5.1 à 5.5.2	Jumeler les suivis environnementaux des effets de la modification du débit et des mesures de compensation de l'habitat, financés par les sociétés publiques productrices d'électricité, à des recherches axées sur les hypothèses servant à évaluer : i) les capacités prédictives des modèles et des outils; ii) les sources d'incertitude et l'évaluation de l'incertitude que suscitent les composants biologiques et hydrauliques des modèles; iii) l'efficacité écologique des régimes prescrits.	●	●		Amélioration de la compréhension des avantages que présentent les régimes gérés. Amélioration des outils servant à évaluer les impacts des débits.

Plan de recherche sur l'hydroélectricité, le poisson et ses habitats

Activité de recherche	Enjeux	Liens			Résultats
		LD/DG	ÉI/ÉR	DDPD	
5.6.1 à 5.6.9	Élaborer des approches ayant trait à l'évaluation et à la gestion du débit pour de grands aménagements hydroélectriques (grandes rivières) qui passent des méthodes fondées sur la quantification de l'habitat (DDP) à celles fondées sur la population et la production. Améliorer continuellement la modélisation et les autres outils ayant trait à l'évaluation, à la prévision et à la fixation des débits gérés.	•	•	•	Amélioration des outils servant à évaluer les impacts des débits relatifs aux grands réseaux hydroélectriques. Nouvelle approche d'évaluation des impacts et détermination de la DDP. Amélioration de la fiabilité des méthodes de prévision et de fixation des régimes gérés.