

Aménagement et suivi de l'efficacité d'une passe migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik

Patrick Charbonneau, Étienne Cormier, Richard Brunet and Gail Amyot

Volume 138, Number 1, Winter 2014

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1021043ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1021043ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (print)

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Charbonneau, P., Cormier, É., Brunet, R. & Amyot, G. (2014). Aménagement et suivi de l'efficacité d'une passe migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik. *Le Naturaliste canadien*, 138(1), 56–68. <https://doi.org/10.7202/1021043ar>

Article abstract

Development of the Nunavik Nickel mining project required the construction of a dam-bridge at the outlet of Lac du Bombardier (Nunavik, Québec, Canada). A fishway was incorporated into the dam-bridge complex to allow fish (primarily Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*) to move between the Puvirnituk River and the lake. Following completion of the fishway in 2012, it was inspected and its effectiveness assessed using the computerized IchtyoSTM system. Inspection work confirmed that the fishway complied with the design criteria; however, some minor corrective work was conducted in spring 2013, to improve the attractiveness to fish of water flowing through the fishway. Between July and September 2012, the IchtyoSTM system recorded 166 fish passage events, which corresponded to 114 lake trout, 45 Arctic char and 7 unidentified fishes. A peak in upstream migration occurred during the third week of August, which was correlated with an increase in the lake water level that started in mid-August. The upstream migration was dominated by lake trout in July and August, and by Arctic char in September. The information recorded by the IchtyoSTM system confirmed the effectiveness of the fishway with regard to the free passage of upstream migrating Arctic char and lake trout.

Aménagement et suivi de l'efficacité d'une passe migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik

Patrick Charbonneau, Étienne Cormier, Richard Brunet et Gail Amyot

Résumé

Le projet minier Nunavik Nickel a nécessité la construction d'un pont-seuil à l'exutoire du lac du Bombardier au Nunavik, Québec, Canada. Ce pont-seuil devait permettre aux poissons de transiter entre la rivière de Puvirnituq et le lac. Ainsi, une passe migratoire favorisant le passage de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) et du touladi (*Salvelinus namaycush*) a été aménagée à même le pont-seuil. À la suite de l'aménagement réalisé en 2012, une inspection de la passe migratoire et un suivi de son efficacité ont été réalisés à l'aide du système automatisé IchtyoS™. L'inspection a révélé que les critères de conception étaient respectés bien que de légers travaux correctifs aient dû être réalisés au printemps 2013 pour améliorer l'appel de la passe migratoire. De juillet à septembre 2012, IchtyoS™ a enregistré 166 événements correspondant à des passages de poissons, soit 114 touladis, 45 ombles chevaliers et 7 spécimens non identifiés. Un pic de montaison est survenu à la troisième semaine d'août. Ce pic est corrélé avec une augmentation des niveaux d'eau dans le lac à partir de la mi-août. Les montaisons ont été dominées par le touladi en juillet et août, pour passer à une dominance d'omble chevalier en septembre. Les informations récoltées confirment l'efficacité de la passe migratoire du pont-seuil à l'égard du libre passage de l'omble chevalier et du touladi en montaison.

MOTS CLÉS: IchtyoS™, migration, omble chevalier, passe migratoire, touladi

Abstract

Development of the Nunavik Nickel mining project required the construction of a dam-bridge at the outlet of Lac du Bombardier (Nunavik, Québec, Canada). A fishway was incorporated into the dam-bridge complex to allow fish (primarily Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*)) to move between the Puvirnituq River and the lake. Following completion of the fishway in 2012, it was inspected and its effectiveness assessed using the computerized IchtyoS™ system. Inspection work confirmed that the fishway complied with the design criteria; however, some minor corrective work was conducted in spring 2013, to improve the attractiveness to fish of water flowing through the fishway. Between July and September 2012, the IchtyoS™ system recorded 166 fish passage events, which corresponded to 114 lake trout, 45 Arctic char and 7 unidentified fishes. A peak in upstream migration occurred during the third week of August, which was correlated with an increase in the lake water level that started in mid-August. The upstream migration was dominated by lake trout in July and August, and by Arctic char in September. The information recorded by the IchtyoS™ system confirmed the effectiveness of the fishway with regard to the free passage of upstream migrating Arctic char and lake trout.

KEYWORDS: Arctic char, fishway, IchtyoS™, lake trout, migration

Introduction

Mise en contexte

Depuis 2001, Canadian Royalties Inc. (CRI) a découvert et délimité plusieurs gisements de nickel-cuivre-cobalt-platine-palladium-or au Nunavik. À la suite de ces découvertes, CRI a lancé le projet Nunavik Nickel (PNNi) pour la construction d'une mine de nickel et de cuivre. Celle-ci sera entièrement autonome pour son approvisionnement énergétique, en eau pour le concentrateur de minerai et en eau potable pour les camps de travailleurs.

Le PNNi se trouve à l'extrême nord de la province de Québec (figure 1), dans la région de Cape Smith, au Nunavik. Plus précisément, il est situé à 82 km à l'ouest du village de Kangiqsujuaq, à 140 km au sud-est du village de Salluit et à environ 20 km au sud de la mine Raglan, à Katinniq. Le site se trouve également à une vingtaine de kilomètres au nord du parc national des Pingualuit.

Le PNNi comprend, pour l'instant, 4 mines d'extraction de minerai à ciel ouvert (gisements Mesamax, Expo, Mequillon et Ivaqqaq) et 1 mine souterraine (gisement Allamaq). Les concentrés de nickel, de cuivre et de métaux rares produits par le complexe industriel Expo sont acheminés par camion vers la baie Déception et, de là, par voie maritime vers des fonderies situées en Europe.

Patrick Charbonneau est biologiste (M. Sc.) et chargé de projet chez GENIVAR inc. à Québec où Étienne Cormier travaille comme ingénieur hydraulicien.

*patrick.charbonneau@genivar.com
etienne.cormier@genivar.com*

Richard Brunet est biologiste (Ph. D.) et directeur du bureau de Sherbrooke de GENIVAR inc. alors que Gail Amyot est vice-présidente Santé, Sécurité et Environnement chez Canadian Royalties Inc. de Montréal.

*richard.brunet@genivar.com
gail.amyot@canadianroyalties.com*

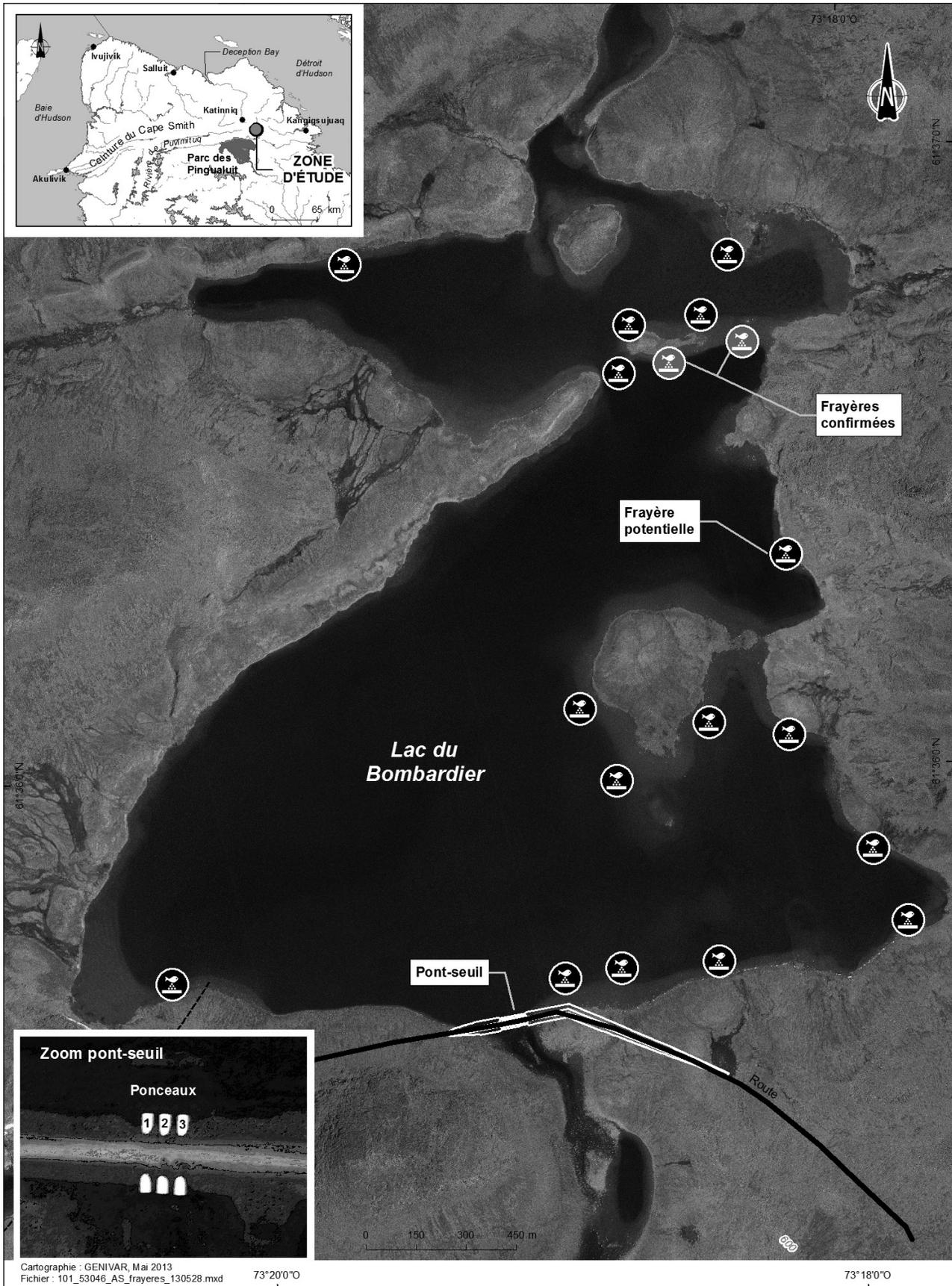


Figure 1. Emplacements du projet Nunavik Nickel et du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, nord du Québec.

Ce projet minier d'envergure fait partie des projets visés à l'annexe A du Chapitre II de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE; LRQ, c. Q-2). Il était donc assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social prévue dans la LQE, de même qu'au Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social dans le territoire de la Baie James et du Nord québécois (RRQ, c. Q-2, r.11). La Société minière a reçu son certificat d'autorisation environnemental du gouvernement provincial en 2008 et a reçu les baux miniers pour les sites Expo, Mesamax, Méquillon et Ivaqqaq la même année et en 2009 pour la mine souterraine. Le PNNi était également assujéti à la procédure fédérale par l'intermédiaire d'une autorisation en vertu de la Loi sur les pêches (LRC, 1985, F-14), autorisation qu'il a obtenue en mai 2009.

Mise à part l'exploitation des 5 gisements, qui a débuté par le gisement Expo pendant l'été 2012, les principales composantes du projet sont :

- la construction d'un complexe industriel à proximité du gisement Expo, comprenant le concentrateur, une centrale électrique au diesel, les bureaux administratifs, les logements pour les travailleurs et les bâtiments de services;
- la construction et la maintenance d'un barrage de type pont-seuil à l'exutoire du lac du Bombardier, qui se jette dans la rivière de Puvirnituk, au nord-ouest du complexe industriel Expo, afin de créer une retenue d'eau devant répondre aux besoins du complexe industriel;
- la construction d'infrastructures portuaires dans la baie Déception;
- la construction d'un réseau de routes et de ponts reliant les diverses infrastructures du projet, soit le complexe industriel et les 5 gisements prévus.

Grâce à une entente conclue avec la compagnie minière voisine, Xstrata Nickel, le PNNi partage l'aéroport Donaldson ainsi que la route menant aux infrastructures portuaires de la baie Déception.

Pour relier les gisements Mesamax et Allamaq au complexe minier Expo, la route d'accès traverse la rivière de Puvirnituk (figure 1). Le pont-seuil, construit en 2010-2012, enjambe la rivière tout juste en aval du lac du Bombardier. Des pêches scientifiques réalisées dans ce secteur ont confirmé la migration de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) et du touladi (*Salvelinus namaycush*) pendant les mois d'août et septembre, de la rivière de Puvirnituk vers le lac du Bombardier où des frayères sont présentes. Aussi, en 1991, des pêches avaient confirmé la présence du touladi dans le lac Raglan (GENIVAR, 2007), situé à la tête du bassin versant de la Puvirnituk. Or, le rehaussement du lac du Bombardier par l'intermédiaire d'un pont-seuil, pour en faire un réservoir d'eau pour les besoins du complexe minier Expo, ne devait pas entraver le libre passage des poissons et, dans son autorisation de 2009, le ministère des Pêches et des Océans du Canada exigeait qu'une passe migratoire soit aménagée à même les infrastructures du pont-seuil. Cette passe migratoire a été construite à l'automne 2011 et terminée au premier semestre de 2012 avant la débacle de juin.

Biologie des espèces ciblées

Omble chevalier

De toutes les espèces de poissons d'eau douce, l'omble chevalier affiche la répartition la plus nordique. Il existe 2 formes de cette espèce, soit les formes anadrome et dulcicole. En raison de la plus grande abondance relative de nourriture en mer qu'en eau douce à cette latitude, les ombles chevaliers anadromes affichent une croissance rapide durant la saison estivale (Power et collab., 2008). À l'automne, les poissons adultes remontent les rivières pour frayer et hiverner en lac (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013).

À la tête du bassin versant de la rivière de Puvirnituk, seule la forme dulcicole de l'omble chevalier est présente. L'embouchure de la rivière se trouve à environ 260 km du lac du Bombardier, dans la baie d'Hudson, à la hauteur du village inuit de Puvirnituk. Puisque les lacs et les rivières sont moins productifs que la zone côtière de l'océan Arctique, la croissance de ces ombles est moins rapide que celle des spécimens anadromes et ils atteignent, par le fait même, de moins grandes tailles (Simard, 2004).

Ce salmonidé affectionne les lacs oligotrophes aux eaux claires, profondes et bien oxygénées (Bernatchez et Giroux, 2012) et on lui reconnaît une grande exigence pour des eaux thermiquement stratifiées en été (Johnson, 1980; Lafrenière et Benoît, 1998). Dans la toundra, les lacs sont généralement peu profonds et non stratifiés; il utilise néanmoins tous les habitats aquatiques disponibles puisque les eaux demeurent fraîches même en été. La rareté des espèces compétitrices et prédatrices dans les régions nordiques favorise l'omble chevalier.

L'habitat préférentiel de l'omble chevalier se concentre dans les couches d'eau froide, dont le pourcentage de saturation en oxygène dissous est supérieur à 30 % (Lafrenière et Benoît, 1998). Ce seuil critique peut ne pas être atteint à la fin de l'hiver, surtout dans les lacs situés à la tête des bassins versants. L'espèce est aussi sensible à l'acidité des eaux, les populations d'omble chevalier devenant très vulnérables à un pH de 5,0 ou moins (Clément, 1988; Hesthagen et Sandlund, 1995).

Au nord de son aire de répartition, la fraie a généralement lieu en septembre et octobre (Bernatchez et Giroux, 2012). L'omble ne fraie que tous les 2 ou 3 ans en raison des dépenses énergétiques élevées associées à la reproduction et du court été arctique (Power et collab., 1989). Ce dernier se reproduit généralement sur des hauts-fonds de gravier ou de roches en lac, mais aussi en rivière (Clément, 1988; Bernatchez et Giroux, 2012).

Touladi

La limite septentrionale de l'aire de répartition du touladi se trouve à la hauteur du PNNi (Scott et Crossman, 1974; Bernatchez et Giroux, 2012). Celle-ci serait étroitement associée aux phénomènes reliés à la glaciation du Pléistocène, ce qui expliquerait pourquoi il est absent de certains bassins versants, dont les caractéristiques sont pourtant propices à ce salmonidé. Par exemple, il est présent à la tête du bassin versant de la rivière de Puvirnituk (GENIVAR, 2007).

Très peu tolérant à la salinité, le touladi se rencontre principalement dans les cours d'eau et les lacs du plateau continental, mais il peut faire des incursions occasionnelles en eaux saumâtres en milieux nordiques (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013).

Le touladi est reconnu pour ses exigences élevées envers la qualité de l'eau. En effet, il requiert une eau froide, claire, bien oxygénée et un pH supérieur à 5,4 (Fondation de la faune du Québec [FFQ], 1996). Par exemple, des températures trop chaudes et des concentrations en oxygène dissous inférieures à 5 mg/L limitent davantage la répartition et l'abondance du touladi, particulièrement durant la deuxième moitié de l'été et à la fin de l'hiver (Kerr et Lasenby, 2001). Dans l'Arctique, ces facteurs ne sont pas contraignants, ce qui permet au touladi de prospérer même dans les plans d'eau peu profonds (Desroches et Picard, 2013).

Le touladi se reproduit à l'automne, généralement en septembre, au nord de son aire de répartition. Il fraie la grande majorité du temps en lac et utilise un substrat composé d'un assemblage de galets, de blocs et de cailloux. Le substrat doit être propre (absence de particules fines) et les interstices doivent être nombreux et profonds (FFQ, 1996). Les frayères se trouvent généralement à de faibles profondeurs, soit entre 0,5 et 12 m (Bernatchez et Giroux, 2012). Le touladi se caractérise par une maturité sexuelle tardive, la participation à une première fraie n'étant pas observée avant une douzaine d'années (Bernatchez et Giroux, 2012).

Méthodologie

Zone d'étude et description du pont-seuil

Avant son rehaussement, le lac du Bombardier couvrait une superficie de 449 ha. Son niveau d'eau a été rehaussé de 1 m avec l'aménagement d'un pont-seuil à son exutoire (figure 1) permettant d'emmagasiner un volume d'eau d'environ 3 000 000 m³ et l'ennoiement du milieu terrestre adjacent, créant ainsi 53 000 m² (5,3 ha) additionnels de milieu aquatique. En 2006, 2011 et 2012, l'inventaire du lac du Bombardier a mis en lumière la présence de populations d'ombles chevaliers et de touladis, ainsi que de frayères confirmées et potentielles pour ces 2 espèces.

Le pont-seuil est une structure composée de remblais visant à contrôler le niveau de l'eau du lac à une cote d'exploitation de 547,50 m (élévation géodésique). Trois ponceaux en arches d'acier galvanisé, disposés perpendiculairement à la route, dans le sens de l'écoulement de la rivière de Puvirnituk, y ont été aménagés pour contrôler le niveau du lac (figure 1). Chacune de ces arches offre un dégagement vertical de 2 m et un dégagement horizontal de 6 m. Les ponceaux sont ancrés par des blocs de béton placés sur le lit de la rivière. Un déversoir d'urgence, construit à même la route, sert à évacuer l'eau du lac lors des crues printanières ou lors d'événements exceptionnels de précipitations.

Afin de protéger le pont-seuil et de briser les glaces lors de la débâcle, un remblai en forme de croissant a été aménagé en amont des ponceaux, directement dans le lac.

Passe migratoire

Critères de conception

Les critères de conception pour la passe migratoire comprennent la hauteur d'échancrure, les vitesses et les distances de nage des poissons, la profondeur d'eau minimale et des aires de repos.

Comme l'omble chevalier et le touladi ne sont pas des espèces réputées « sauteuses » comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) (Scott et Crossman, 1974; Scott et Scott, 1988), les hauteurs de chute au niveau des échancrures doivent rester basses. C'est-à-dire qu'idéalement, il ne doit pas y avoir de décollement de la lame d'eau entre la crête de l'échancrure et la surface du niveau d'eau aval.

Si cela n'est pas possible, il faut alors respecter la hauteur de saut maximale suivante :

$$H = (9 \times L)^2 / 2g \text{ (Reiser et Peacock, 1985)}$$

où H = hauteur maximum de saut (m), L = longueur du poisson (m) et g = gravité (9,8 m/s²).

Pour avoir une estimation des hauteurs de saut maximales à respecter, des longueurs de poissons entre 20 et 35 cm ont été considérées. Les hauteurs de saut maximales obtenues varient ainsi entre 0,17 et 0,50 m.

S'il y a un saut, ou chute d'eau, il faut également prévoir une profondeur d'eau pour l'appel du poisson équivalente à 1,5 fois la hauteur à franchir. Ainsi, pour un saut de 30 cm, il faut 45 cm d'eau au pied de l'échancrure pour permettre au poisson de prendre son élan.

Les distances qu'un poisson peut franchir dépendent de plusieurs facteurs, dont la vitesse du courant, la température de l'eau, le type d'écoulement, le temps de fatigue qui, lui-même, dépend de l'allure de nage, etc. (Michel Belles-Isles, ichtyologiste, GENIVAR, communication personnelle). Chaque allure de nage fait appel à un métabolisme particulier (aérobie, anaérobie). Afin de simplifier ce critère de conception, les résultats d'études sur la capacité de nage des salmonidés en laboratoire ont été retenus, en prenant comme modèle un poisson de 20 cm de longueur et un autre de 35 cm. Selon le concept proposé, la passe migratoire est composée de seuils avec échancrures espacés de 5,75 m. Les vitesses de courant maximales contre lesquelles les poissons doivent lutter pour franchir cette distance avant d'être fatigués sont les suivantes pour un poisson de 20 cm :

- 0,9 m/s (Larinier, 1992);
- 1,2 m/s (eau à 5 °C) à 1,7 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1993);
- 0,8 m/s (Katopodis et Gervais, 1991).

Pour un poisson de 35 cm, les vitesses de courant maximales sont les suivantes :

- 1,6 m/s (Ziemer, 1961; Evans et Jonhston, 1980);
- 1,9 m/s (eau à 5 °C) à 3,5 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1992);
- 1,9 m/s (eau à 5 °C) à 3,3 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1993);
- 1,1 m/s (Katopodis et Gervais, 1991);
- 3,5 m/s (Dane, 1978).

En résumé, la moyenne de ces vitesses est de 1,15 m/s pour des poissons de 20 cm de longueur et de 2,1 m/s pour ceux de 35 cm.

Il faut aussi s'assurer d'une profondeur d'eau minimale de 1,5 fois l'épaisseur du corps du poisson (FishXing, 2006), soit environ 15 cm pour les salmonidés de 35 cm de longueur.

Il faut finalement assurer la présence d'aires de repos (zones de contre-courant ou autre) à l'aval des seuils pour permettre au poisson de se reposer entre les différentes sections.

Description de l'aménagement

La passe migratoire est composée de 3 unités différentes, aménagées à même le fond des 3 ponceaux en arches du pont-seuil (figure 2). Deux des unités sont semblables, sauf pour leur élévation (ponceaux n^{os} 1 et 2), l'unité du ponceau n^o 1 étant 0,15 m plus haute que celle du ponceau n^o 2. Pour ces 2 aménagements, il y a 5 bassins avec 5 seuils comprenant chacun une échancrure pour laisser passer l'eau d'un bassin à l'autre. Les échancrures sont positionnées en quinconce (figure 2). La troisième unité (ponceau n^o 3) n'est pas considérée comme une passe migratoire comme telle, car il s'agit d'un fond de béton sans bassin ni échancrure (figure 3). Finalement, une fosse aménagée à l'aval des 3 ponceaux permet de maintenir un niveau d'eau adéquat pour contrôler les hauteurs de chute à l'appel des 3 unités de la passe migratoire (figures 2 et 3).

Suivi de l'efficacité de la passe migratoire

Afin de réaliser le suivi de l'efficacité de la passe migratoire, une clôture a été installée en amont des ponceaux afin de forcer les poissons en montaison à passer dans un système de comptage automatisé IchtyoSTM, placé au centre du « V » formé par la clôture (figure 4). Toutefois, elle permet aux poissons de moins de 1,5 cm de large de passer librement à travers. Par ailleurs, cette clôture flottante est conçue pour s'ajuster d'elle-même aux variations du niveau d'eau.

Le système IchtyoSTM utilise la technologie du laser. L'unité de surveillance est constituée de 3 bandes détectrices, reliées entre elles par des panneaux de PlexiglasTM (figure 4). Chacune des bandes est composée d'une série d'émetteurs lasers (en bas) et d'une série de récepteurs (en haut) placées en vis-à-vis. L'ensemble constitue ainsi un passage horizontal, coupé par 3 rideaux verticaux de faisceaux laser. C'est en traversant ces faisceaux que les poissons activent les différentes bandes détectrices. Ces données sont relayées, via le câble de connexion, vers l'unité de contrôle qui interprète les informations enregistrées par l'unité de surveillance (figure 4).

Le système IchtyoSTM classe les poissons qui le traversent en 3 classes de longueur, soit moins de 50 cm, entre 50 et 63 cm et plus de 63 cm. Lorsque les conditions le permettent, le système évalue également la longueur réelle des poissons. IchtyoSTM enregistre aussi la date, l'heure et le sens du passage, soit vers l'amont ou vers l'aval. Afin de permettre l'identification des espèces qui passent dans le compteur, celui-ci est couplé à un système d'enregistrement vidéo activé par le passage des poissons. Lorsqu'il est installé en région éloignée, comme dans le cas présent, le système IchtyoSTM est aussi couplé à un système de surveillance par caméras, qui permet à la fois de vérifier l'état du système et d'enregistrer le passage de poissons. Cette double

sécurité permet de contre-vérifier à distance les informations fournies par le système IchtyoSTM, qui opère seul pendant de longues périodes de temps.

Le système IchtyoSTM est alimenté par une série de panneaux solaires unie à des batteries qui peuvent lui donner 6 jours d'autonomie sans approvisionnement d'énergie solaire. Le compteur transmet les données en temps réel par la communication satellite (figure 4).

Finalement, afin de déterminer quel ponceau était fonctionnel en lien avec les conditions locales d'écoulement et leur évolution au cours de la période de suivi, 3 des caméras du système de surveillance ont été orientées vers l'intérieur de chacun des 3 ponceaux. Les images étaient transmises en temps réel à un observateur du centre de traitement des données situé à Sherbrooke (Québec). Les observations supplémentaires ainsi réalisées ont été notées en complément d'information. Ce suivi de l'efficacité de la passe migratoire a été réalisé du 20 juillet au 16 septembre 2012.

Résultats

Respect des critères de conception

Ponceaux n^{os} 1 et 2

Les ponceaux n^{os} 1 et 2 comprennent 5 seuils distancés de 5,75 m (figure 2). Les débits mesurés le 20 juillet 2012, à l'intérieur des ponceaux n^{os} 1 et 2, étaient respectivement de 0,19 et 0,79 m³/s, l'unité du ponceau n^o 2 présentant un débit supérieur étant donné sa plus faible élévation (tableau 1 et figure 2).

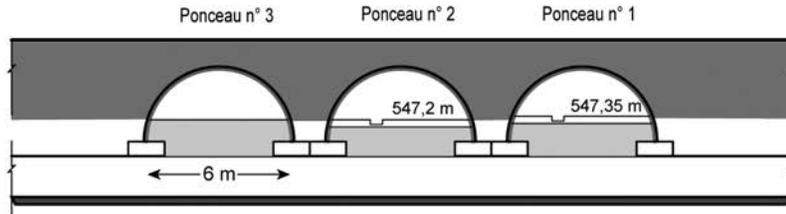
Les profondeurs d'eau dans chacun des 5 bassins du ponceau n^o 1 variaient entre 0,30 et 0,35 m, alors qu'elles variaient entre 0,46 et 0,50 m pour le n^o 2. La profondeur d'eau minimale observée dans les échancrures du ponceau n^o 1 était de 0,2 m, alors que celle du ponceau n^o 2 était d'environ 0,3 m.

Les vitesses de courant à l'intérieur des bassins des 2 ponceaux variaient en fonction de l'endroit des mesures. Des zones de vitesses nulles ont été mesurées aux extrémités gauche et droite des bassins, alors que les vitesses augmentaient en se rapprochant de la ligne de courant, entre les échancrures amont et aval. Pour chacun des 2 ponceaux, 2 mesures de vitesses ont été effectuées à l'entrée et à la sortie des échancrures (où les vitesses étaient les plus élevées); celles-ci variaient en moyenne entre 0,7 m/s à l'entrée des échancrures et 1,8 m/s à leur sortie pour le ponceau n^o 1 et, respectivement, entre 0,6 m/s et 1,5 m/s, pour celles du ponceau n^o 2.

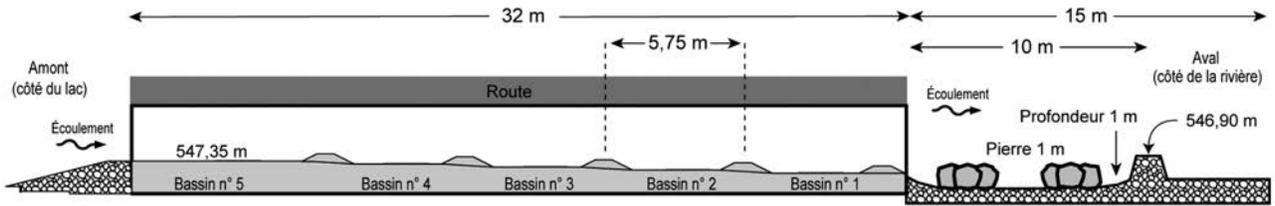
La hauteur de chute mesurée à l'aval des 2 ponceaux entre le niveau d'eau de la fosse aval et le radier aval du ponceau était de 0,28 m et 0,15 m pour les ponceaux n^{os} 1 et 2 respectivement (figure 3).

Les passes migratoires mises en place dans les ponceaux n^{os} 1 et 2 respectent donc les critères de vitesses et de profondeur d'eau établis au départ (tableau 1). Des zones de vitesses nulles ont été mesurées dans chaque bassin, créant des aires de repos pour les poissons ainsi que des profondeurs d'eau supérieures à 0,3 m. De plus, les hauteurs de chute mesurées étaient inférieures à 0,3 m.

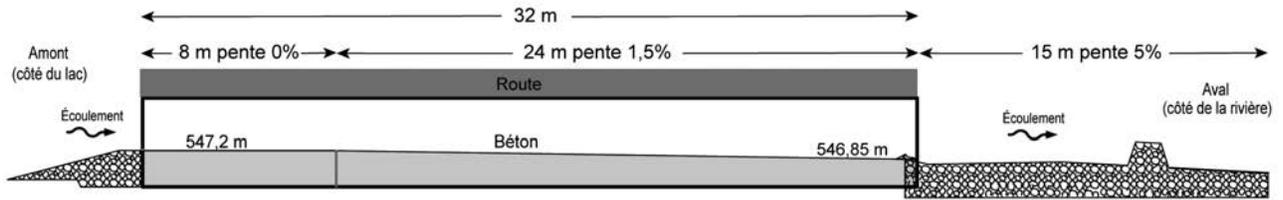
ÉLÉVATION DES TROIS PONCEAUX (AMONT VERS L'AVAL)



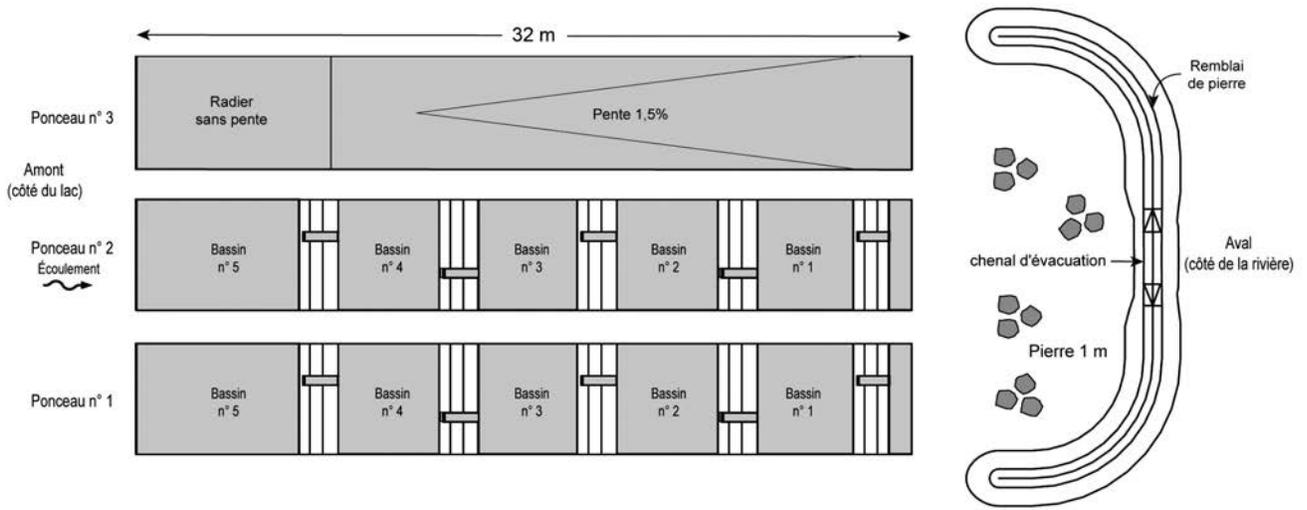
Cote d'exploitation = 547,5 m



COUPE LONGITUDINALE (Ponceaux n° 1 et 2)



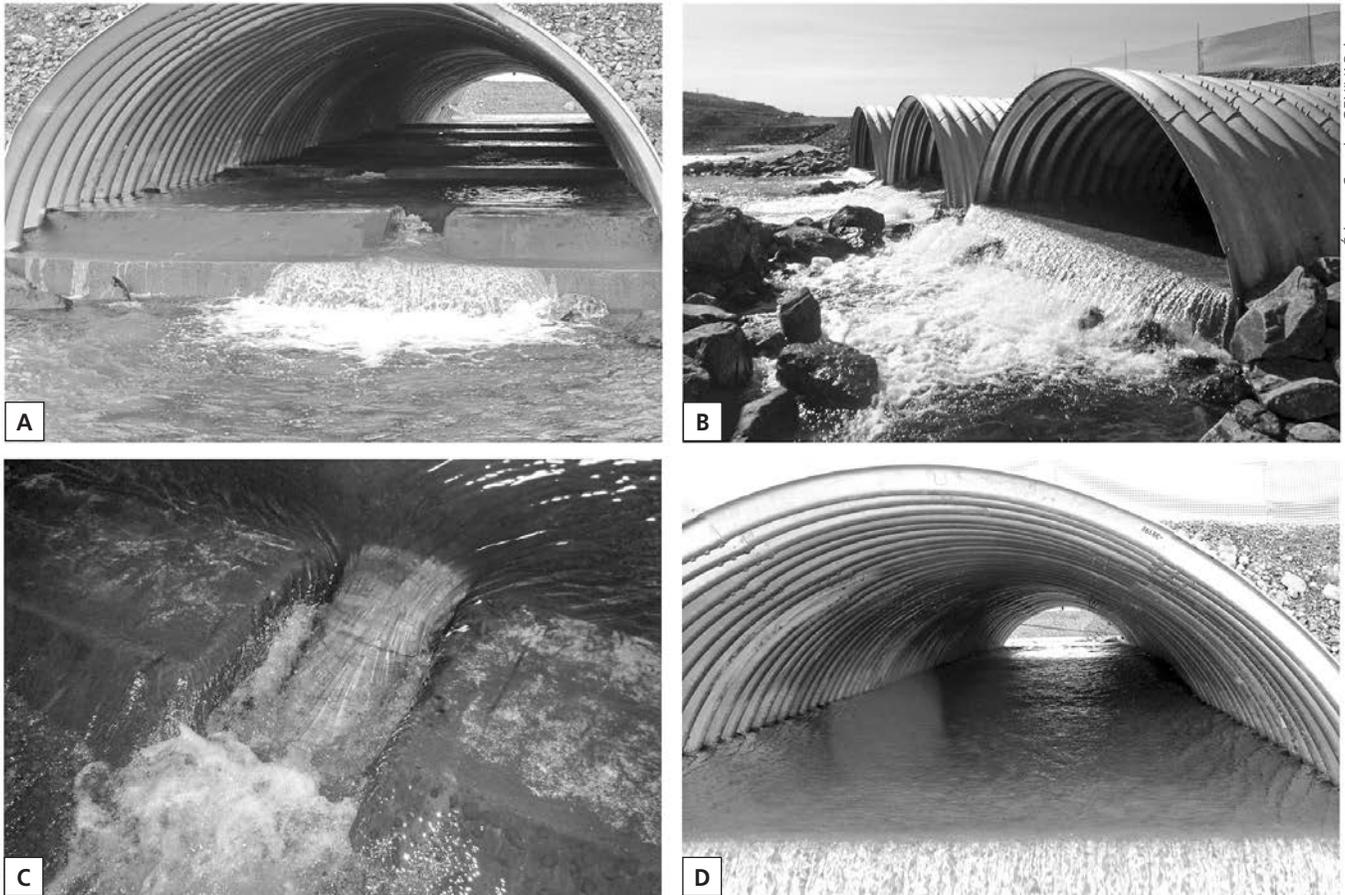
COUPE LONGITUDINALE (Ponceau n° 3)



COUPE EN PLAN DES PONCEAUX

GENIVAR, Mai 2013

Figure 2. Croquis des ponceaux et de la passe migratoire du lac du Bombardier, Nunavik.



Étienne Cormier, GENIVAR, inc.

Figure 3. Passe migratoire du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik. A. passe migratoire du ponceau n°2, B. aval des 3 ponceaux, C. échancrure du ponceau n°1, D. intérieur du ponceau n°3.

Ponceau n°3

Le ponceau n°3 ne comporte aucun seuil (figures 2 et 3). Le radier amont est à l'élévation 547,20 m et le radier aval est à l'élévation 546,84 m, alors que la pente à l'intérieur du ponceau est de 1,5 %. Le débit mesuré à l'intérieur du ponceau n°3 était de 0,62 m³/s. La profondeur d'eau mesurée le 20 juillet 2012 était de 0,16 m à l'amont du ponceau et de 0,09 m au milieu et à l'aval de ce dernier. La vitesse de courant était pour sa part d'environ 0,75 m/s à l'amont du ponceau et de 1,70 m/s au milieu et à l'aval. La hauteur de chute, mesurée à l'aval du ponceau, entre le niveau d'eau de la fosse aval et le radier aval du ponceau, était de 0,62 m (figure 3). Ces mesures ont permis de constater que le critère de conception concernant la hauteur de chute n'était pas respecté pour le ponceau n°3 (tableau 1).

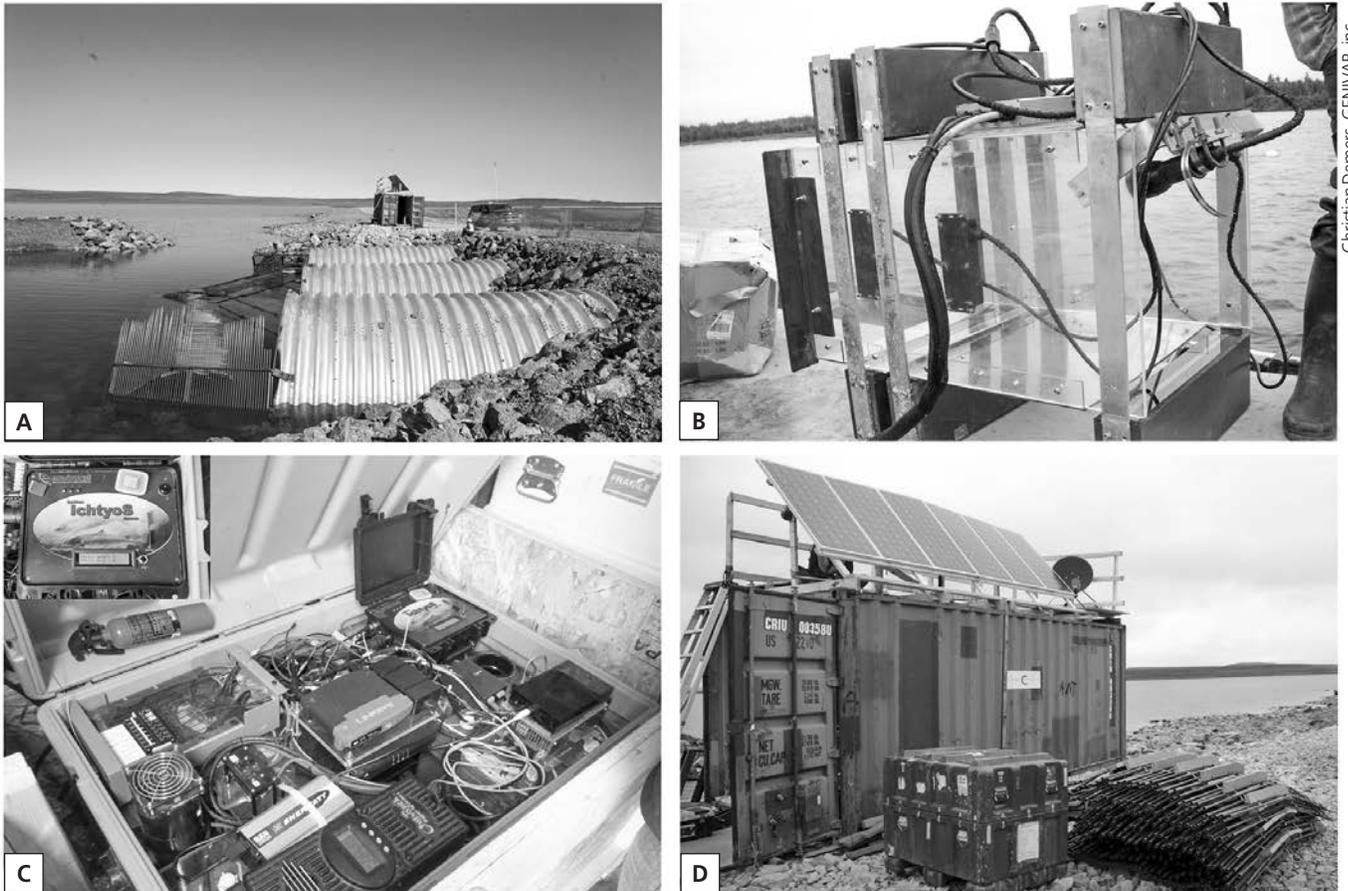
Fosse aval

Cette fosse est située à l'aval des 3 ponceaux et constitue une aire de repos pour les poissons avant de franchir les ponceaux. Elle permet aussi de maintenir un certain niveau d'eau en période d'étiage, pour conserver une hauteur de chute franchissable par les poissons (figures 2 et 3). Lors de l'inspection du 20 juillet 2012, la profondeur d'eau dans

la fosse était supérieure à 0,5 m et atteignait plus de 1 m à certains endroits.

À la suite de la crue printanière de 2012 (fin juin), une partie de l'enrochement formant l'enceinte de la fosse aval a été emportée. Le chenal d'étiage, à l'origine d'une largeur de 1 m, avait alors une largeur de plus de 5 m et son élévation avait diminué. L'enrochement en place permettait toujours de maintenir une profondeur d'eau suffisante dans la fosse, mais l'affaissement de la crête du chenal avait entraîné une baisse du niveau d'eau et créé une augmentation de la hauteur de chute au radier aval des ponceaux, notamment au ponceau n°3. Les mesures prises ont permis de constater que les critères de conception concernant la profondeur d'eau dans la fosse aval étaient toujours respectés, mais que cette dernière avait subi des dommages lors de la crue printanière.

Des travaux correctifs ont été effectués en avril 2013 (durant la période de gel), afin de rehausser la hauteur de crête de l'enceinte de la fosse et de diminuer la hauteur de chute du ponceau n°3. Contrairement à ce qui est présenté à la figure 2, 2 chenaux d'évacuation ont été aménagés (figure 5) pour que le débit printanier puisse être évacué efficacement et pour assurer la stabilité de l'enceinte. Des inspections ont été réalisées au cours de l'été 2013 et les résultats confirment que la structure a résisté à la crue printanière et qu'elle est stable.



Christian Demers, GENIVAR, inc.

Figure 4. Système IchtyoS™ mis en place pour le suivi du passage des poissons au lac du Bombardier, Nunavik. A. Clôture du système en amont des ponceaux, B. boîtier du compteur à poissons et système de caméra vidéo (unité de surveillance avec faisceaux lasers), C. systèmes électronique et informatique (unité de contrôle), D. système satellite et panneaux solaires.

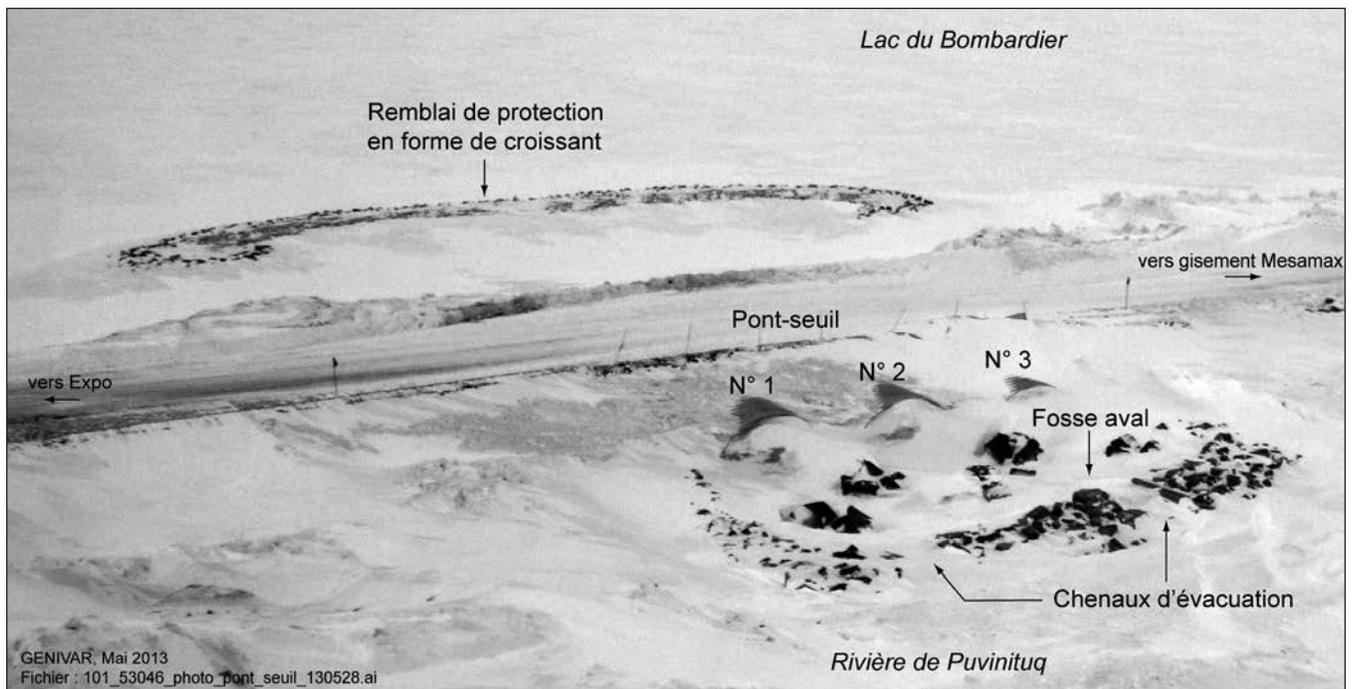


Figure 5. Aménagement de la fosse en aval du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, printemps 2013. Notez le remblai en forme de croissant présent à l'amont des ponceaux pour leur protection contre les glaces.

GENIVAR, Mai 2013
Fichier : 101_53046_photo_pont_seuil_130528.ai

Tableau 1. Évaluation du respect des critères de conception de la passe migratoire du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, 20 juillet 2012.

Variable	Critère de conception	Ponceau n° 1	Ponceau n° 2	Ponceau n° 3
Distance entre les seuils	5,75 m	5,75 m	5,75 m	Aucun seuil
Élévation de la crête du seuil en amont	–	547,35 m	547,20 m	547,20 m
Élévation du radier en aval	–	546,55 m	546,30 m	546,84 m
Débit mesuré	–	0,19 m ³ /s	0,79 m ³ /s	0,62 m ³ /s
Présence de chutes en aval des échancrures	–	Non	Non	Écoulement laminaire de l'amont vers l'aval
Profondeur d'eau minimale dans les échancrures	0,15	0,20 m	0,30 m	0,16 m à l'amont et 0,09 m à l'aval du ponceau
Profondeur d'eau dans les bassins	0,45 m si chute de 0,30 m	0,30 à 0,35 m	0,46 à 0,50 m	0,16 m à l'amont et 0,09 m à l'aval du ponceau
Épaisseur de la lame d'eau au-dessus des seuils	–	0 m	0,15 m	s.o.
Vitesse du courant	Entre 1,15 et 2,1 m/s	Entre 0,7 et 1,8 m/s	Entre 0,6 et 1,5 m/s	0,75 m/s à l'amont et 1,70 m/s à l'aval du ponceau
Vitesse de courant nulle mesurée?	–	Oui	Oui	Non
Hauteur de chute maximale à l'aval du ponceau	0,17 à 0,5 m	0,28 m	0,15 m	0,62 m

Efficacité de la passe migratoire

Pendant l'ensemble de la période de suivi, le système IchtyoSTM a enregistré 166 événements correspondant à des passages de poissons : 114 étaient des touladis, 45 des ombles chevaliers (figure 6) et 7 spécimens n'ont pu être identifiés à l'espèce.

Une première analyse des données du système IchtyoSTM, toutes espèces confondues, a permis de constater que les ponceaux ne semblaient pas constituer un obstacle aux poissons dans les conditions de débit et de niveau d'eau qui ont prévalu pendant la période de suivi. En effet, le système

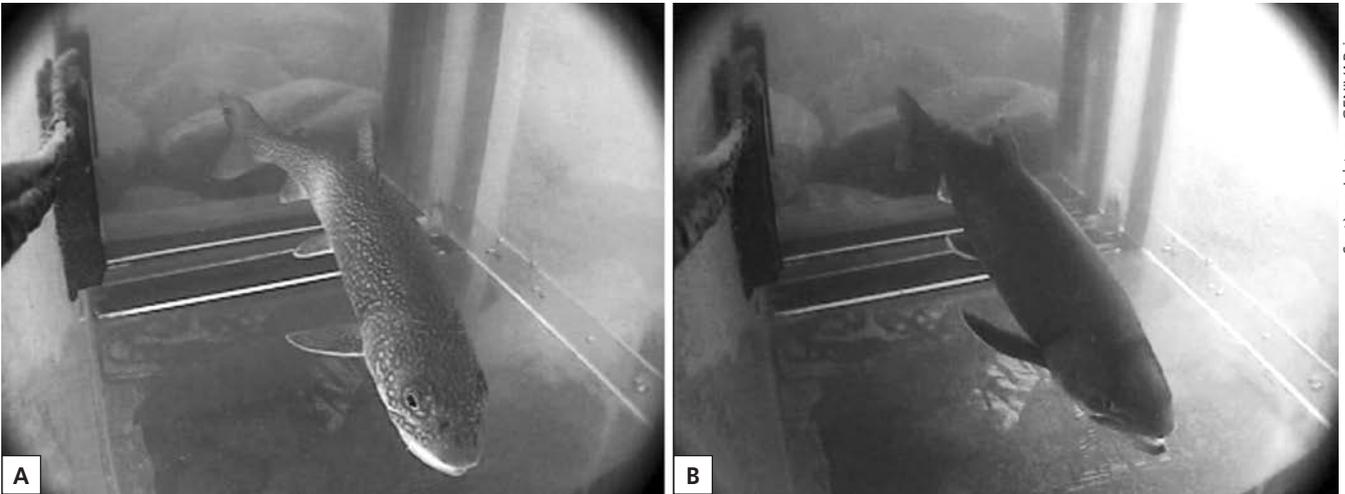
a enregistré des passages de poissons presque tous les jours au cours de la période de suivi (figure 7), ce qui suggère qu'au moins un ponceau offrait en tout temps des conditions favorables pour la montaison des espèces cibles. D'ailleurs, tous les déplacements enregistrés au cours de la période de suivi étaient dirigés vers l'amont. Nous constatons également la présence, sur la figure 7, d'un pic de montaison aux environs de la troisième semaine du mois d'août. Cependant, juste avant ce pic de montaison, plusieurs jours sans passage de poisson ont été enregistrés (11, 12, 14 et 16 août). Cette absence apparente d'enregistrement correspond à un moment où le système IchtyoSTM n'était pas en condition optimale de fonctionnement, du fait de l'encrassement progressif de ses bandes de détection. Un nettoyage a alors dû être réalisé pour restaurer le bon fonctionnement du système.

À la suite de la crue printanière survenue vers le 20 juin en 2012, le niveau d'eau a diminué constamment pour atteindre un minimum au début août (547,38 m ; figure 8), un niveau voisin de l'élévation de crête du premier seuil du ponceau n° 1 (547,35 m). À partir de la mi-août, les niveaux d'eau du lac s'élevèrent continuellement jusqu'en septembre, ce qui correspond à des événements pluvieux plus fréquents. Le pic de montaison s'est déroulé lorsque les niveaux d'eau ont commencé à augmenter, à partir de la mi-août (figures 7 et 8).

En considérant les données espèce par espèce (figure 9), nous remarquons que les montaisons ont été dominées par le touladi pendant les 3 premières périodes de 15 jours, en juillet et août, pour finalement passer à une dominance de l'omble chevalier dans la dernière quinzaine de la période de suivi, en septembre. Bien que la période d'étude semble avoir couvert la majeure partie de la saison de montaison du touladi en 2012, le nombre d'ombles chevaliers en montaison était encore en augmentation au cours de la dernière quinzaine de la période de suivi (figure 9).

La majorité des poissons recensés par le système IchtyoSTM étaient des poissons de 50 cm et plus (88 %) ; seuls 20 petits poissons (< 50 cm) ont transité par le compteur à poissons. Il est possible que certains petits poissons soient passés à travers la clôture délimitant l'entonnoir menant au système IchtyoSTM. Il est également plausible que la hauteur de chute en période d'étiage limite le passage des petits poissons de 20 cm et moins. Selon Scott et Crossman (1974), les jeunes ombles chevaliers sont les derniers à remonter les rivières. Il est donc probable qu'un pic de montaison se fasse après la mi-septembre pour les jeunes de cette espèce (poissons de petite taille).

Les observations réalisées à partir des caméras de surveillance montrent que, lorsque le niveau de l'eau était au plus bas, le ponceau n° 2 présentait les meilleures conditions pour le passage des poissons. Lorsque le niveau d'eau était plus haut, les 3 ponceaux ont été utilisés par les poissons pour atteindre le lac. Au cours de la période de suivi, la caméra du ponceau n° 3, sans passe migratoire, a filmé 22 poissons malgré la hauteur de chute qui était supérieure au critère de conception établi, comparativement à 47 filmés au ponceau n° 2 et 10 au ponceau n° 1.



Systeme Ichtyos, GENIVAR inc.

Figure 6. Poissons passant dans le système IchtyoS™ au lac du Bombardier, Nunavik. A. Touladi, B. Omble chevalier.

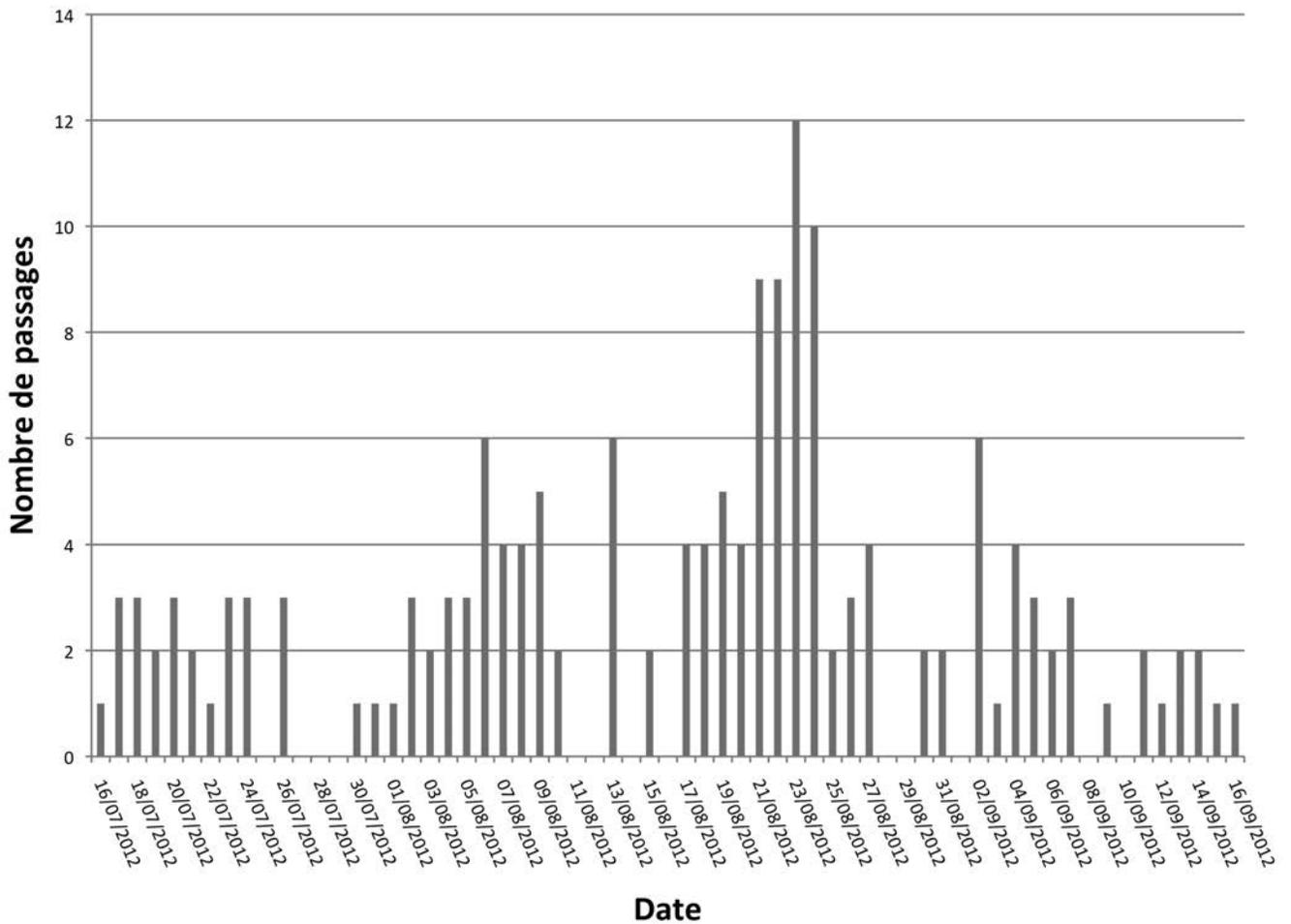


Figure 7. Nombre de passages de poissons par jour (toutes espèces confondues), du 16 juillet au 16 septembre 2012, passe migratoire du lac du Bombardier, Nunavik.

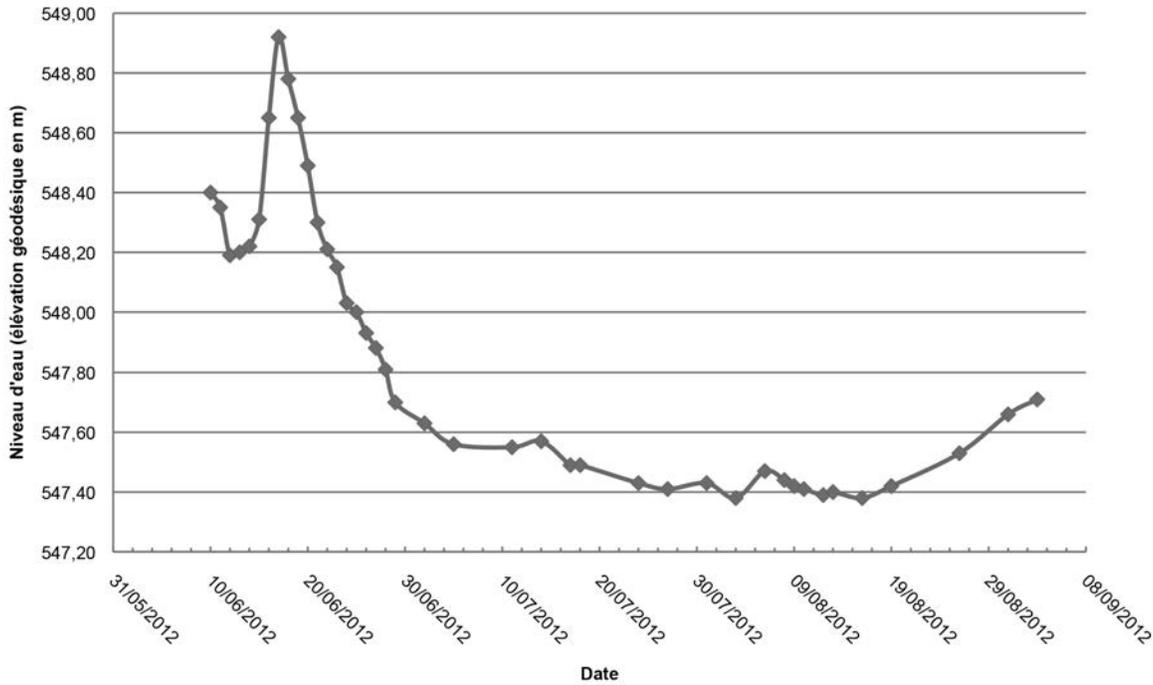


Figure 8. Évolution du niveau d'eau en amont des ponceaux dans le lac du Bombardier, Nunavik, du 10 juin au 3 septembre 2012.

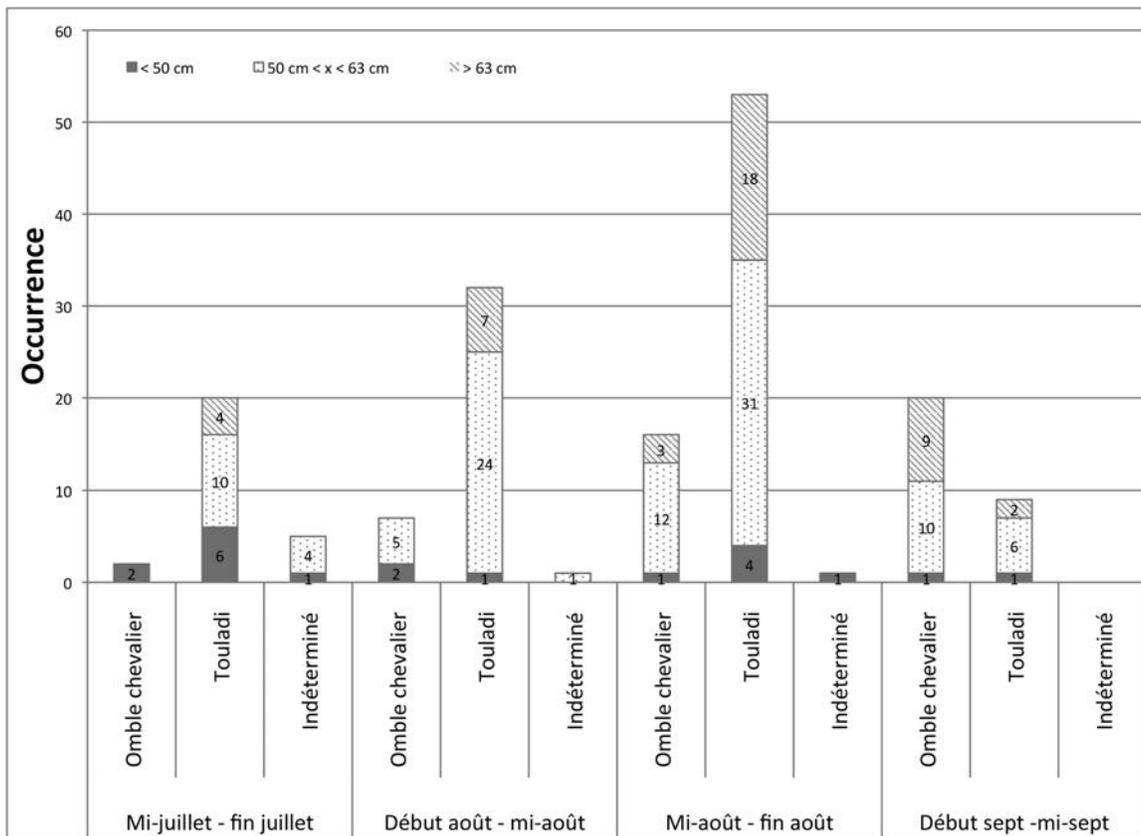


Figure 9. Nombre de passages de poissons, ventilés par espèce et par classes de taille, enregistrés, par tranche de 2 semaines, au pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, été 2012.

Le système de caméras de surveillance étant indépendant du système IchtyoS™, il n'était pas possible de déterminer la longueur des poissons. Par ailleurs, selon les jeux d'ombres et l'heure du jour, il est possible que les caméras de surveillance n'aient pas détecté tous les poissons, surtout la nuit. Par contre, le système IchtyoS™ continue à enregistrer et filmer les bandes vidéo étant alors en noir et blanc la nuit et en couleur le jour.

Conclusion

Le concept relativement simple de la passe migratoire élaboré pour le pont-seuil de la rivière de Puvirnituq s'est avéré efficace pour l'omble chevalier et le touladi. L'aménagement a été réalisé dans une zone à la topographie peu accidentée, avec une pente faible de 1,5 %, ce qui semble être favorable aux déplacements migratoires de ces 2 espèces. Ce même concept pourrait donc être facilement appliqué sur de nombreux autres cours d'eau du Nunavik aux caractéristiques similaires.

Étant donné l'éloignement, les passes migratoires aménagées dans le Grand Nord sont souvent artisanales et rudimentaires. À titre d'exemple, des travaux visant à ouvrir des couloirs de migration pour l'omble chevalier, dans la région de Kangiqsujuuaq, se font à la main, avec un budget très limité et un minimum d'équipement lourd, vu l'inaccessibilité des sites à aménager, sauf par petit bateau ou en hélicoptère. La pérennité de tels aménagements n'est toutefois pas assurée et nécessite un entretien annuel, qui en fait est peu coûteux, mais récurrent.

Bien que le pont-seuil aménagé dans le cadre de ce projet ait nécessité le recours à la machinerie lourde et à une main-d'œuvre spécialisée, il a été conçu dans un esprit de durabilité, tel qu'exigé par le ministère des Pêches et des Océans du Canada. Cet aménagement a également impliqué des efforts logistiques considérables, afin de ne pas nuire à la dévalaison ni à la montaison des poissons, ce qui aurait été le cas si l'ouvrage avait été construit durant la courte saison estivale (juillet et août). Il a donc été choisi de réaliser les travaux en hiver, alors que le débit de la rivière est bas et facile à contrôler en raison des faibles débits et de la faible mobilité des poissons hivernant dans les fosses profondes des lacs et des cours d'eau. La construction en période hivernale apporte néanmoins son lot de défis, puisque les ponceaux ont dû être chauffés pour permettre aux travailleurs d'avoir un environnement sécuritaire de travail et pour assurer une température adéquate à la prise du béton.

Le suivi de l'efficacité de la passe migratoire a aussi demandé certaines adaptations, propres aux suivis sur une longue période en région éloignée. Les techniques standards avec trappes et barrières de comptage s'avèrent relativement coûteuses et nécessitent beaucoup de ressources humaines. Le système IchtyoS™ est donc rapidement devenu la meilleure option, malgré les défis techniques reliés à l'alimentation électrique et au transfert des données en temps réel. Ce système polyvalent, qui peut être installé dans une passe migratoire ou directement sur le lit d'une rivière, au niveau d'une barrière de comptage, avait préalablement été déployé avec succès aux

passes migratoires de Cap-Santé et du barrage McDougall sur la rivière Jacques-Cartier, ainsi que dans les rivières du Gouffre, Ouelle et La Romaine, dans le cadre du décompte de la dévalaison des salmonidés.

Le système IchtyoS™ offre 2 avantages majeurs pour le décompte de poissons en rivière soit, d'une part, sa légèreté et la mobilité de sa structure d'installation en cas d'inondation et, d'autre part, la libre circulation du poisson qui n'est jamais confiné dans une cage, passant à travers le système. Le rythme naturel de migration des poissons est donc respecté, tout en réduisant le stress causé par les manipulations inhérentes aux systèmes de décompte standards, de même que les risques de braconnage lorsque les poissons sont immobilisés dans les trappes et que les opérateurs sont absents. De plus, le système étant automatisé, les risques d'erreurs humaines pouvant survenir aux barrières de décompte de poissons sont grandement diminués.

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier Canadian Royalties Inc. pour l'autorisation de publier les résultats. Nous remercions également les personnes suivantes qui ont travaillé de près ou de loin à la réussite de l'aménagement au pont-seuil : Myriam Bédard, Patrice Bégin, Michel Belles-Isles, Christian Demers, Mathieu Deshaies, Rémi Duhamel, Marc Gagné, Patrick Garneau, Nicolas Kuzyk, Mélanie Lévesque, Pierre Pelletier, Yanick Plourde, Olivier Tremblay, Stéphane Twigg et Sébastien Vadeboncoeur. Nous tenons à mentionner l'apport critique de Michel Leclerc, Jérôme Doucet et Jean-Guy Jacques de Pêches et Océans Canada lors de la conception des plans de la passe migratoire. Nous sommes reconnaissants envers Gilles Wiseman pour la production des figures. Merci à Michel Crête, Marc Gauthier, Jérôme Léger et Jean Painchaud pour leurs commentaires judicieux. ◀

Références

- BERNATCHEZ, L. et M. GIROUX, 2012. Les poissons d'eau douce du Québec et leur répartition dans l'Est du Canada. Édition Broquet, Saint-Constant, 348 p.
- CLÉMENT, A.-M., 1988. La situation des populations d'omble chevalier d'eau douce (*Salvelinus alpinus*) au sud de leur aire de distribution, en Amérique du Nord. Revue de littérature. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction générale des ressources fauniques, Québec, 48 p. et annexes.
- DANE, D.G., 1978. Culvert guidelines: Recommendations for the design and installation of culverts in British Columbia to avoid conflict with anadromous fish. 4^e édition. Fisheries and Marine Service, Technical Report n°811, Vancouver, 57 p.
- DESROCHES, J.-F. et I. PICARD, 2013. Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 471 p.
- EVANS, W.A. et F.B. JOHNSTON, 1980. Fish migration and fish passage: A practical guide to solving fish passage problems. United States Department of Agriculture, Forest Service, Region 5, Vallejo, 43 p.
- FISHXING, 2006. User manual and reference. Software FishXing, version 3.0, San Dimas, 230 p.
- FONDATION DE LA FAUNE DU QUÉBEC (FFQ), 1996. Habitat du poisson : le touladi. Guide d'aménagement d'habitats. Fondation de la faune du Québec, Québec, 20 p.

- GENIVAR, 2007. Projet Nickélfère Raglan Sud – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport préparé pour Canadian Royalties Inc., Amos, 649 p. et annexes.
- HESTHAGEN, T. et O.T. SANDLUND, 1995. Current status and distribution of arctic char (*Salvelinus alpinus*) in Norway: The effects of acidification and introductions. *Nordic Journal of Freshwater Resources*, 71 : 275-295.
- JOHNSON, L., 1980. The arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Dans: BALON, E.K. (édit.). Charrs, salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. Volume 1. Dr. Junk BV Publishers, The Hague, p. 15-98.
- KATOPODIS, C. et R. GERVAIS, 1991. Ichthyomechanics. Working document. Freshwater Institute, Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, 48 p.
- KERR, S.J. et T.A. LASENBY, 2001. Lake trout stocking in inland lakes: An annotated bibliography and literature review. Ontario Ministry of Natural Resources, Fish and Wildlife Branch, Peterborough, 178 p. et annexes.
- LAFRENIÈRE, L. et J. BENOÎT, 1998. Situation comparative de trois populations d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) du territoire libre de la Mauricie. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction régionale Mauricie-Bois-Francs, Service de l'Aménagement et de l'exploitation de la faune, Trois-Rivières, 51 p. et annexes.
- LARINIER, M., 1992. Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 65 (326-327): 20-29.
- LARINIER, M., 1993. Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacle à la migration. Dans: LARINIER, M., F. TRAVADE, J.P. PORCHER et C. GOSSET (édit.). Passes à poissons: expertise et conception des ouvrages de franchissement. Collection « Mise au point », Conseil supérieur de la pêche, Paris, p. 48-63.
- POWER, G., D. BARTON et K. BRAY, 1989. La gestion de l'omble chevalier. Société Makivik, Kuujuaq, 92 p.
- POWER, M., J.D. REIST et J.B. DEMPSON, 2008. Fish in high-latitude Arctic lakes. Dans: VINCENT, W.F. et J. LAYBOURN-PARRY (édit.). Polar lakes and rivers: Limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems. Oxford University Press, New York, p. 249-268.
- REISER, D.W. et R.T. PEACOCK, 1985. A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments. Dans: OLSON, F.W., R.G. WHITE et R.H. HAMRE (édit.). Symposium on small hydropower and fisheries. American Fisheries Society, Western Division, Bethesda, p. 423-432.
- SCOTT, W.B. et E.J. CROSSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Bulletin n° 184, Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, Ministère de l'Environnement, Services des pêches et des sciences de la mer, Ottawa, 1 026 p.
- SCOTT, W.B. et M.G. SCOTT, 1988. Atlantic fishes of Canada. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences* 219, 731 p.
- SIMARD, M., 2004. Literature review of arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Deception Bay and surrounding tributaries. Société de la faune et des parcs du Québec et Makivik Corporation, Nunavik Research Centre, Kuujuaq, 29 p. et annexes.
- ZIEMER, G.L., 1961. Fish transport in waterways. Alaska Department of Fish and Game, Fairbanks, 10 p.



Indigo,
la pépinière de plantes
et de semences indigènes

*alpina, americana, borealis, canadensis, grandiflorum,
laurentiana, maritima, odoratus, palustris,
terrestris, versicolor et plus encore...*

horticulture-indigo.com

Virtuoso indigenae, parlez-nous latin!



Canards Illimités Canada
La conservation des milieux humides

710 rue Bouvier, bureau 260, Québec (Québec) G2J 1C2
Tél. : 418 623-1650 • Téléc. : 418 623-0420
www.canards.ca