Document generated on 08/09/2025 9:26 a.m.

Le Naturaliste canadien

Les variations de niveau du lac Saint-Jean : effets sur la reproduction des poissons dans les habitats en milieux humides riverains

Patrick Plourde-Lavoie, Marc Archer, Karine Gagnon and Pascal Sirois

Volume 142, Number 1, Winter 2018

URI: https://id.erudit.org/iderudit/1042015ar
DOI: https://doi.org/10.7202/1042015ar

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

Plourde-Lavoie, P., Archer, M., Gagnon, K. & Sirois, P. (2018). Les variations de niveau du lac Saint-Jean : effets sur la reproduction des poissons dans les habitats en milieux humides riverains. *Le Naturaliste canadien*, *142*(1), 66–77. https://doi.org/10.7202/1042015ar

Article abstract

The hydrological regime of Lac Saint-Jean (Québec, Canada) was drastically altered following the installation of dams along its drainage channels in 1926. This article examines the impact of water level management on the spawning success of yellow perch (*Perca flavescens*) and northern pike (*Esox lucius*). An analysis of water levels over the past 100 years shows a decrease in the amplitude of spring flooding since 1926, which has likely contributed to a reduction in the effective size and quality of spawning sites. It also highlights a delay in the time taken to reach the maximum spring high water level. Historical temperatures of the lake and associated wetlands allowed the spawning period between 1991 and 2015 to be estimated, and underlined the impact of low spring water levels on wetland accessibility. Presently, spawning sites for the study species are only partially flooded during the breeding season. It is recommended that a water level management plan be adopted that allows higher water levels to be reached earlier in the spring; that keeps the spring level stable to promote hatching and to ensure the survival of fry during early life stages; and that increases the difference between spring and summer water levels.

Tous droits réservés © La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, 2018

This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

https://www.erudit.org/en/

Les variations de niveau du lac Saint-Jean : effets sur la reproduction des poissons dans les habitats en milieux humides riverains

Patrick Plourde-Lavoie, Marc Archer, Karine Gagnon et Pascal Sirois

Résumé

Le lac Saint-Jean a vu son régime hydrologique considérablement modifié depuis sa transformation en réservoir en 1926. Cet article examine les effets de la gestion du niveau du lac pour la fraie de la perchaude (*Perca flavescens*) et du grand brochet (*Esox lucius*). Une analyse des niveaux des eaux des 100 dernières années a permis de mettre en évidence une réduction des écarts entre les niveaux printaniers et estivaux, qui contribue vraisemblablement à diminuer la taille et la qualité des sites de reproduction, et un retardement de l'atteinte du niveau maximal au printemps par rapport au régime naturel. L'utilisation de données historiques de températures du lac et des milieux humides riverains a permis d'estimer les périodes de fraie de 1991 à 2015 et de mettre en évidence les conséquences des bas niveaux au printemps sur l'accessibilité des milieux humides. À présent, ces habitats ne sont généralement que partiellement inondés lors de la fraie des 2 espèces. Nous recommandons d'adopter une gestion du lac Saint-Jean qui vise à devancer l'atteinte des hauts niveaux printaniers et à maximiser les écarts entre les niveaux printaniers et estivaux, tout en maintenant un niveau stable au printemps pour permettre l'éclosion des œufs de poissons et assurer la survie des jeunes stades de vie.

Mots clés : fluctuation des niveaux d'eau, grand brochet, lac Saint-Jean, milieux humides, perchaude

Abstract

The hydrological regime of Lac Saint-Jean (Québec, Canada) was drastically altered following the installation of dams along its drainage channels in 1926. This article examines the impact of water level management on the spawning success of yellow perch (*Perca flavescens*) and northern pike (*Esox lucius*). An analysis of water levels over the past 100 years shows a decrease in the amplitude of spring flooding since 1926, which has likely contributed to a reduction in the effective size and quality of spawning sites. It also highlights a delay in the time taken to reach the maximum spring high water level. Historical temperatures of the lake and associated wetlands allowed the spawning period between 1991 and 2015 to be estimated, and underlined the impact of low spring water levels on wetland accessibility. Presently, spawning sites for the study species are only partially flooded during the breeding season. It is recommended that a water level management plan be adopted that allows higher water levels to be reached earlier in the spring; that keeps the spring level stable to promote hatching and to ensure the survival of fry during early life stages; and that increases the difference between spring and summer water levels.

Keywords: Lac Saint-Jean, northern pike, water level fluctuation, wetlands, yellow perch

Introduction

Les variations hydrologiques ont des effets majeurs sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Poff et collab., 1997; Leira et Cantonati, 2008; Evtimova et Donohue, 2016). Elles influent, entre autres, sur les processus d'érosion et de sédimentation des berges (Håkanson, 1977; Lorang et collab., 1993), les communautés benthiques (Aroviita et Hämäläinen, 2008; Baumgärtner et collab., 2008; Brauns et collab., 2008) et le développement des milieux humides riverains (Riis et Hawes, 2003; Wilcox et Nichols, 2008; Farrel et collab., 2010). Les poissons sont également affectés par ces variations : des niveaux d'eau appropriés aux bons moments peuvent être favorables aux populations (Bennett et collab., 1985) en influant sur le succès reproducteur (Martin et collab., 1981; Clark et collab., 2008), le recrutement (Johnson, 1957; Boxrucker et collab., 2005), la survie (Franklin et Smith, 1963), la croissance (Heisey et collab., 1980) et l'abondance (Kallemeyn, 1987; Dembkowski et collab., 2014). Par exemple, l'élévation de la crue printanière module la superficie et la qualité des habitats disponibles pour la fraie de nombreuses espèces de poissons. Plusieurs études ont mis en évidence une relation positive entre les hauts niveaux d'eau au printemps et la force des cohortes (p. ex., Johnson, 1957; Hassler, 1969; Kallemeyn, 1987). Une crue importante, suivie d'un niveau

Patrick Plourde-Lavoie est biologiste dans le cadre d'un partenariat de recherche entre la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP) et la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées (CREAE) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).

patrick.plourde-lavoie@uqac.ca

Marc Archer est biologiste et directeur général de la CLAP.

Karine Gagnon est biologiste au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Pascal Sirois est professeur au Département des sciences fondamentales de l'UQAC et titulaire de la CREAE.

pascal_sirois@uqac.ca

stable plusieurs semaines après le dépôt des œufs, assure souvent un meilleur succès reproducteur et un taux de survie plus élevé des jeunes stades de vie (Johnson, 1957; Casselman et Lewis, 1996; Hudon et collab., 2010). Inversement, une crue de trop courte durée peut causer l'assèchement des œufs et diminuer la survie des jeunes stades de vie (Franklin et Smith, 1963; Casselman et Lewis, 1996; Brodeur et collab., 2006).

Dans les réservoirs, la régularisation des niveaux aux fins d'optimisation de la production d'hydroélectricité et des activités récréatives (Astrade, 1998; Choquette et collab., 2010) modifie les variations naturelles du niveau du plan d'eau et peut engendrer des effets négatifs sur les espèces qui y sont adaptées (Wilcox et Meeker, 1992; McEwen et Butler, 2010). La régularisation à des fins hydroélectriques est souvent caractérisée par une augmentation de l'importance du marnage (variation du niveau de l'eau) hivernal, un retardement de la crue printanière et une stabilisation des niveaux estivaux (Kitchell et Koshinki, 1996; Astrade, 1998). La réduction des niveaux en hiver impose un stress à la zone littorale qui se trouve exposée à la dessiccation ainsi qu'au gel des sédiments et de la végétation (Sutela et collab., 2013). Les œufs déposés par les poissons qui fraient à l'automne, par exemple, ceux du grand corégone (*Coregonus clupeaformis*) et du touladi (*Salvelinus namaycush*), peuvent subir une forte mortalité (Havens et collab., 2014; Lycke, 2014). Le décalage de la crue peut réduire la disponibilité des habitats pour les espèces qui fraient au printemps telles que le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*), et diminuer leur succès reproducteur (Gaboury et Patalas, 1984; Kitchell et Koshinsky, 1996; Houde-Fortin et Gibeault, 2007). La stabilisation des niveaux d'eau en saison estivale réduit le développement de la végétation en zone littorale (Wilcox et Meeker, 1991; Gertzen et collab., 2012; Krolová et collab., 2013). Les plantes riveraines sont adaptées à une inondation périodique et ne peuvent soutenir une immersion prolongée (Casanova et Brock, 2000; Hudon et collab., 2005; Krolová et collab., 2013). Dans ces conditions défavorables à leur développement, la diversité des communautés végétales laisse souvent place à des espèces plus résistantes, telles que les typhas (quenouilles; *Typha sp.*) qui peuvent dominer et envahir la zone riveraine (Boers et Zedler, 2008; Shay et collab., 1999). La qualité des habitats s'en trouve alors réduite, ce qui défavorise les espèces qui emploient ces milieux pour la fraie ou comme aire de croissance (Walburg, 1977; Fourt, 1978; Grubaugh et Anderson, 1988). Ainsi, la gestion du régime hydrologique d'un réservoir peut avoir des impacts sur la qualité, l'accessibilité et la connectivité des habitats de fraie et d'alevinage des poissons.

En 1926, le lac Saint-Jean est devenu un réservoir hydroélectrique, ce qui a considérablement modifié son régime hydrologique. L'élévation moyenne a alors augmenté d'approximativement 3 m, ce qui a provoqué une modification importante du rivage et l'inondation de plusieurs centaines d'hectares de terres agricoles, un évènement connu sous l'appellation de « La tragédie du lac Saint-Jean » (Tremblay, 1979). L'érosion des rives après la remontée des eaux a entraîné la disparition d'une grande partie des milieux humides riverains historiquement présents en bordure du lac Saint-Jean (André Marsan et Associés, 1983). Pour contrer l'érosion, la compagnie Alcan (maintenant Rio Tinto), gestionnaire du niveau de l'eau, a lancé en 1986 le Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ). Un décret gouvernemental promulgué pour 10 ans et reconduit à 2 reprises est alors venu fixer les règles de gestion du niveau du réservoir et les modalités du PSBLSJ. Le programme a dû être resoumis au processus d'évaluation des impacts sur l'environnement en 2013 pour l'obtention d'un nouveau décret (Rio Tinto Alcan, 2014), ce qui a relancé le débat sur les enjeux de la gestion du niveau du lac Saint-Jean. Dans ce contexte, une revue de littérature portant sur les habitats de fraie préférentiels de plusieurs espèces de poissons au lac Saint-Jean a révélé que la gestion du niveau du lac est susceptible d'affecter principalement la perchaude et le grand brochet (Plourde-Lavoie et Sirois, 2016). Ces 2 espèces fraient principalement sur la végétation inondée lors de la crue printanière. La perchaude, peu exploitée au lac Saint-Jean, est considérée comme l'une des principales espèces fourragères de la zone littorale. Le grand brochet fait l'objet d'une pêche sportive marginale. D'autres espèces littorales susceptibles d'utiliser les milieux humides pour la reproduction pourraient également être favorisées par une meilleure gestion du réservoir (tableau 1).

L'objectif général de cet article est d'examiner les effets de la gestion du niveau du lac Saint-Jean sur les poissons qui fraient dans les milieux humides riverains en période printanière, plus spécifiquement la perchaude et le grand brochet, en s'appuyant sur l'analyse scientifique des données disponibles. Puisque les fluctuations du niveau de l'eau affectent l'ensemble des processus écologiques (p. ex., la distribution de la végétation, la nidification de la sauvagine) et physiques (p. ex., l'érosion des berges, la pénétration de la lumière) de l'écosystème (Bain et collab., 2008; Leira et Cantonati, 2008) de même que plusieurs aspects sociaux (Hanson et collab., 2002), nous présentons des éléments pertinents à considérer dans la gestion des niveaux du lac Saint-Jean en lien avec la production de poissons dans les réservoirs. Les objectifs spécifiques sont : a) de documenter et caractériser les changements survenus dans les habitats de fraie des poissons des milieux humides riverains et d'évaluer leur potentiel actuel, b) de comparer les fluctuations historiques du niveau du lac Saint-Jean pendant 3 différentes périodes de gestion et c) de mesurer les conséquences de la gestion du niveau de l'eau des 25 dernières années sur la disponibilité des habitats pour la perchaude et le grand brochet.

Méthodologie

Site à l'étude

Le lac Saint-Jean supporte une importante pêche récréative. L'effort de pêche annuel atteint environ 50 000 jours-pêcheurs (CLAP, 2015), ce qui a engendré des retombées économiques estimées entre 7,2 et 15,5 millions de dollars en 2015[1] (Verschelden, 2009). Vingt-sept espèces de poissons y ont été recensées (tableau 1; Lapointe, 2013). Le doré jaune (*Sander vitreus*), la ouananiche (*Salmo salar*),

1. Ces valeurs ont été calculées en 2009 et mises à jour selon le taux d'inflation pour 2015.

la lotte (*Lota lota*) et le grand brochet sont les plus recherchés par les pêcheurs sportifs.

Le lac s'étend sur une superficie de plus de 1 000 km^2 et compte plus de 200 km de rivage. Sa profondeur moyenne est de 11 m, tandis que le point le plus profond atteint 66 m. Un quart (25 %) de la superficie du lac a une profondeur de moins de 3 m et 40 % a une profondeur de moins de 6 m (Jones et collab., 1979). Ce lac est alimenté par un bassin hydrographique de 73 800 km^2 dont les principaux tributaires sont les rivières Ashuapmushuan, Mistassini et Péribonka. Le sous-bassin de la rivière Péribonka, dont les débits sont contrôlés depuis 1943 par plusieurs barrages, fournit à lui seul 25 % des apports d'eau. Aucun ouvrage de régularisation majeur ne retient les apports des autres rivières. Le volume d'eau du lac Saint-Jean est renouvelé en moyenne 4,5 fois par année (Jones et collab., 1979). Le lac se déverse dans 2 émissaires (les rivières Petite et Grande Décharge), dans lesquels des barrages sont érigés (WSP, 2015).

Avant 1986, les règles qui régissaient la gestion du niveau indiquaient que le lac ne devait dépasser en aucun temps un niveau de 101,84 m (17,5 pi) par rapport au niveau de la mer[2]. Depuis 1986, le même niveau maximal doit être respecté à l'automne, à l'hiver et au printemps, c'est-à-dire du 1er septembre au 24 juin. Pendant la période estivale, le niveau doit être maintenu entre 101,39 m (16,0 pi) et 100,78 m (14,0 pi) lorsque les apports naturels sont suffisants. Depuis 1991, le gestionnaire des niveaux (Rio Tinto) a abaissé volontairement la hauteur maximale de 0,3 m, soit à 101,54 m (16,5 pi).

Tableau 1. Liste des espèces de poissons recensées dans le lac Saint-Jean (tirée de Lapointe, 2013) selon le rôle des milieux humides pour la reproduction.

Rôle des milieux humides	Nom latin	Nom commun
Habitat de fraie préférentiel		
	Ameiurus nebulosus	barbotte brune[1]
	Esox lucius	grand brochet[2]
	Perca flavescens	perchaude[2]
Habitat de fraie secondaire		
	Catostomus catostomus	meunier rouge[2]
	Catostomus commersoni	meunier noir[2]
	Cottus bairdii	chabot tacheté[2]
	Cottus cognatus	chabot visqueux[2,3]
	Culaea inconstans	épinoche à cinq épines[2]
	Gasterosteus aculeatus	épinoche à trois épines[1]
	Notropis hudsonius	méné à tache noire[2]
Habitat de fraie de faible importance		
	Margariscus margarita	mulet perlé[2]
	Notropis atherinoides	méné émeraude[2]
	Percopsis omiscomaycus	omisco[2]
Habitat non utilisé pour la reproduction		
	Luxilus cornutus	méné à nageoires rouges[2]
	Couesius plumbeus	mulet de lac[2]
	Rhinichthys cataractae	naseux des rapides[2]
	Semotilus atromaculatus	mulet à cornes[2]
	Semotilus corporalis	ouitouche[2]
	Microgadus tomcod	poulamon atlantique[1]
	Lota lota	lotte[2]
	Osmerus mordax	éperlan arc-en-ciel[2]
	Percina caprodes	fouille-roche zébré[2]
	Sander vitreus	doré jaune[1]
	Coregonus artedi	cisco de lac[2]
	Coregonus clupeaformis	grand corégone[2]
	Salmo salar	ouananiche[1]
	Salvelinus fontinalis	omble de fontaine[1]

1. Utilisation de l'habitat selon Plourde-Lavoie et Sirois (2016).
2. Utilisation de l'habitat selon Scott et Crossman (1974).
3. Lapointe (2013) remet en doute la présence du chabot visqueux au lac Saint-Jean.

Les habitats de fraie potentiels des poissons dans les milieux humides riverains du lac Saint-Jean

Les changements survenus au cours des dernières années dans les habitats de fraie du grand brochet et de la perchaude ont été documentés et caractérisés. Les informations proviennent en partie des principaux rapports réalisés dans le cadre du PSBLSJ (André Marsan et Associés, 1983; Alcan, 1996; Alcan, 2007; WSP, 2015) et de visites de terrain effectuées au printemps 2016 par la CREAE (Plourde-Lavoie et Sirois, 2017). L'accessibilité, la profondeur, le substrat et la végétation des habitats ont permis d'émettre une classification de leur potentiel pour la reproduction. La profondeur de la végétation riveraine, évaluée par rapport au niveau de l'eau du lac Saint-Jean, a été employée pour évaluer la disponibilité des sites de fraie.

Fluctuations historiques du niveau de l'eau

Les fluctuations annuelles du niveau du lac Saint-Jean sont présentées pour 3 périodes différentes : avant (1913-1925) et après (1926-1990) la transformation du lac en réservoir, et après l'abaissement du niveau maximal de 0,3 m (1991-2015). Les écarts entre le niveau maximal printanier et le niveau moyen du mois de juillet, d'une part, et la chronologie de la crue printanière, d'autre part, ont été comparés entre les 3 périodes de gestion à partir d'analyses de variance. Les écarts entre les niveaux printaniers et estivaux sont utilisés comme indicateur de la qualité des habitats, la zone soumise à des inondations périodiques étant généralement celle qui offre les meilleurs habitats de fraie. La chronologie de la crue a été comparée en utilisant comme valeur de référence la date d'atteinte du niveau maximal au printemps, soit le moment où la disponibilité des habitats est à son maximum. Les données journalières de niveau proviennent de relevés faits par Rio Tinto.

2. Le niveau du lac Saint-Jean est communément présenté en mesures impériales représentant le niveau d'eau au-dessus de la valeur zéro de l'échelle d'étiage du quai de Roberval.

La disponibilité des habitats de fraie de la perchaude et du grand brochet

Pour évaluer les effets des variations de niveau de l'eau sur la disponibilité des habitats, les périodes de fraie de la perchaude et du grand brochet ont d'abord été définies à partir de la température de l'eau, celle-ci étant reconnue comme l'un des principaux facteurs déclencheurs de la reproduction (Massé et collab., 1991; Dabrowski et collab., 1996). Des données de températures journalières du lac Saint-Jean étaient disponibles pour la période étudiée[3]. Néanmoins, l'utilisation brute de ces données aurait biaisé l'estimation des périodes de fraie, puisque les milieux humides en bordure du lac se réchauffent plus rapidement que ce dernier. Pour pallier ce biais, des données de température des milieux humides riverains mesurées lors d'études antérieures (St-Gelais et collab., 1990; 1991; Francoeur et Bouchard, 1992; Tremblay, 1992; Bouchard et Larose, 1995; Larose et collab., 1997; Royer et collab., 1997; Larose et Bouchard, 1998), de même que les données mesurées lors de la visite des habitats en 2016, ont été utilisées pour mettre en relation les températures des milieux humides et celles du lac Saint-Jean. À partir de cette relation, il a été possible de reconstituer une série de données temporelles de la température des milieux humides. Les températures de fraie des 2 espèces (de 8 à 14 °C pour la perchaude et de 6 à 13 °C pour le grand brochet; Vallières et Fortin, 1988; Farrel, 2001; Mingelbier et collab., 2005; Farrel et collab., 2006; Plourde-Lavoie et Sirois, 2016) ont ensuite été utilisées pour estimer les périodes de fraie de 1991 à 2015.

La disponibilité des habitats pendant la fraie a été évaluée pour cette même période. Pour chacune de ces années, le moment de la fraie a été comparé au moment où les premiers herbiers sont inondés (100,48 m ou 13,0 pi) et au moment où tous les herbiers sont inondés (niveau maximal atteint au printemps). Les dates annuelles du départ des glaces, évaluées à partir de survols aériens (Départ des glaces, 2016), ont été utilisées pour s'assurer que les périodes de fraie estimées débutaient après que le lac ait été libéré de ses glaces.

Résultats et discussion

Les habitats de fraie potentiels des poissons dans les milieux humides riverains du lac Saint-Jean

Alors que les écrits historiques rapportent que le lac Saint-Jean abritait jadis de vastes milieux humides riverains (André Marsan et Associés, 1983), les sites de fraie pour la perchaude et le grand brochet y sont aujourd'hui peu abondants (figures 1 et 2). L'érosion des berges qui a suivi la mise en eau du réservoir a contribué à la disparition de ces habitats (André Marsan et Associés, 1983). Même aujourd'hui, ceux-ci sont érodés : des marques évidentes d'érosion ont pu être observées lors d'une visite au printemps 2016, et les bilans décennaux du PSBLSJ indiquent que plusieurs milieux humides montrent des « signes d'érosion significatifs ponctuels ou récurrents » (Alcan, 1996, 2007; WSP, 2015). Les milieux humides avec le meilleur potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet sont aujourd'hui situés dans le nord-ouest du lac Saint-Jean, dans des secteurs souvent protégés de l'attaque des vagues (figure 1). Les habitats situés dans le secteur sud-est sont principalement des marais dominés par des herbiers denses de typhas, qui offrent un substrat peu intéressant pour la reproduction (Farrel, 2001; Mingelbier et collab., 2005).

Plusieurs milieux humides riverains ont été modifiés par les travaux de stabilisation réalisés au cours des 30 années du PSBLSJ. L'enrochement du pourtour de certains marais et la mise en place d'épis, des structures de pierres érigées perpendiculairement à la rive, à proximité de leur embouchure ont entraîné des changements dans la dynamique de l'émissaire de ces habitats. Dans certains cas, l'aménagement de seuils artificiels a été nécessaire afin d'assurer les échanges entre le lac Saint-Jean et l'habitat (WSP, 2015). Par exemple, le marais du golf de Saint-Prime a été considérablement transformé depuis l'enrochement de son pourtour en 1988 (figure 3A). Le perré a été installé dans le but de protéger le milieu humide contre l'action érosive des vagues du lac Saint-Jean. Depuis la réalisation des travaux, la végétation émergente à l'intérieur du marais s'est fortement développée, à un point tel qu'elle bloque totalement le passage des poissons (WSP, 2015; figure 3B). Les observations réalisées dans le cadre du PSBLSJ indiquent d'ailleurs que la superficie en eau libre de plusieurs marais du lac Saint-Jean a diminué peu à peu au fil des années, et que celle-ci est attribuable à l'envahissement par le typha (Alcan, 1996; Alcan, 2007; WSP, 2015).

Les habitats de fraie potentiels sont situés dans les secteurs peu profonds. La végétation aquatique est absente ou rare à des niveaux inférieurs à 100,17 m (12,0 pi). Les premiers herbiers deviennent accessibles pour les poissons lorsque l'élévation du lac atteint environ 100,48 m (13,0 pi). Plusieurs habitats de reproduction à fort potentiel, mais peu profonds (~45 cm), sont accessibles seulement lorsque l'élévation du lac se trouve près du maximum, soit 101,54 m (16,5 pi; Plourde-Lavoie et Sirois, 2017).

Fluctuations historiques du niveau de l'eau

Les fluctuations interannuelles du niveau du lac Saint-Jean ont été grandement modifiées depuis 1913 (figure 4). Avant sa transformation en réservoir en 1926, le lac Saint-Jean subissait une importante baisse de niveau en été d'une amplitude moyenne de 2,72 m. La hauteur maximale atteinte au printemps variait d'une année à l'autre, atteignant des niveaux variant de 100,43 m (12,8 pi) à 101,97 m (17,9 pi). Après la mise en eau du réservoir, l'écart entre le niveau printanier et estival a été réduit à 0,37 m en moyenne ($F = 33{,}43$; $p < 0{,}001$; figure 5). Le niveau maximal atteint lors de la crue a été stabilisé à environ 101,84 m (17,5 pi) de 1926 à 1990 et à environ 101,54 m (16,5 pi) après 1991. Le niveau présente peu de variabilité interannuelle depuis la mise en réservoir.

3. La température de l'eau a été mesurée quotidiennement à la prise d'eau de la ville de Roberval.

La faible diminution du niveau de l'eau en été du lac Saint-Jean est vraisemblablement défavorable à la création et au maintien des habitats de fraie de la perchaude et du grand brochet. En conditions naturelles, l'importante baisse du niveau en été favorisait le développement de la végétation riveraine sur son littoral (André Marsan et Associés, 1983). La zone riveraine soumise à des inondations annuelles offre une densité et une diversité importante de plantes (Wilcox et Meeker, 1991), éléments favorables à la reproduction du grand brochet (McCarraher et Thomas, 1972; Craig, 2008) et de la perchaude (Plourde-Lavoie et Sirois, 2016). Les herbiers trouvés en zone littorale dépendent grandement du moment, de la durée et de la profondeur de leur immersion : ils sont généralement adaptés à survivre dans des conditions de niveau variable et

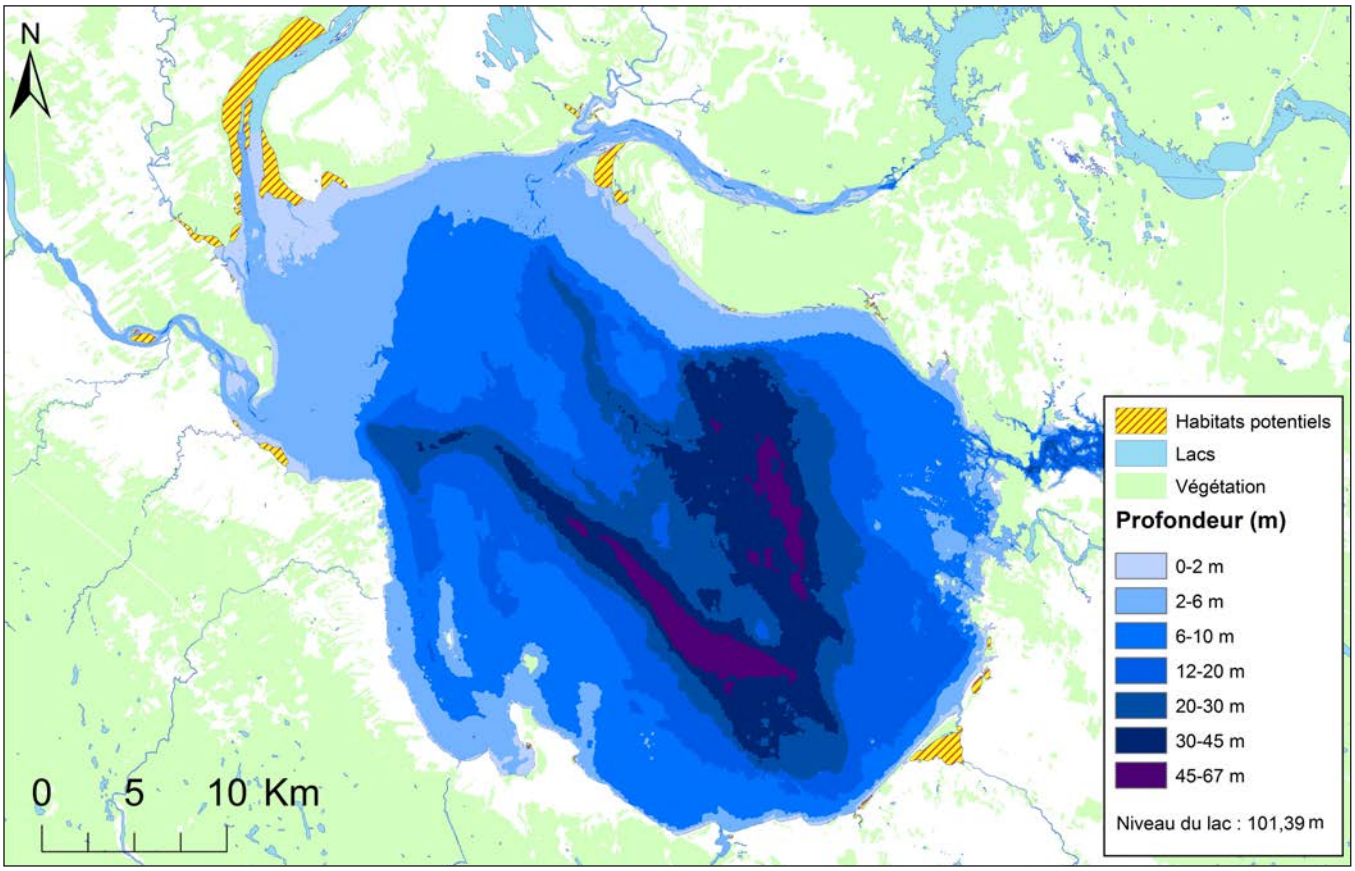

Figure 1. Carte de l'emplacement des principaux habitats de fraie potentiels de la perchaude et du grand brochet dans les milieux humides riverains du lac Saint-Jean. Les données bathymétriques ont été fournies par le Service hydrographique du Canada pour un niveau du lac à 101,39 m (16,0 pi).

Patrick Plourde-Lavoie

Patrick Plourde-Lavoie

Figure 2. Exemples d'habitats potentiels retrouvés au lac Saint-Jean : A) site de fraie du grand brochet près de l'embouchure d'une rivière, B) marais peu profond inondé lors de la crue printanière.

supportent souvent mal une inondation prolongée (Casanova et Brock, 2000; Hudon et collab., 2005; Krolová et collab., 2013). Des constats similaires ont été réalisés pour d'autres plans d'eau régularisés, pour lesquels la diminution de l'amplitude des variations hydrologiques limite le développement de la végétation riveraine (Wilcox et Meeker, 1991; Gertzen et collab., 2012; Krolová et collab., 2013) et est défavorable aux poissons qui utilisent ces habitats (p. ex., Kitchell et Koshinsky, 1996; Mingelbier et collab., 2008). La réduction de la hauteur de la crue printanière en 1991 n'a fait qu'empirer la situation. La partie supérieure des habitats humides riverains s'est asséchée : les observations du PSBLSJ révèlent une augmentation de la végétation arbustive et arborescente au détriment de la végétation herbacée (Alcan, 1996; 2007; WSP, 2015).

La régularisation des niveaux a aussi modifié significativement le moment de l'atteinte du niveau maximal en période printanière (ANOVA réalisée sur des jours juliens; $F = 8{,}77$; $p < 0{,}001$; figure 6). Ce phénomène est causé en partie par le laminage des crues printanières qui réduit la vitesse de remontée des eaux près du niveau maximal. La date moyenne à laquelle l'élévation maximale était atteinte était le 24 mai avant la mise en place des barrages et le 7 juin après, soit environ 2 semaines plus tard. Il semble y avoir un léger devancement de la date moyenne de l'atteinte du niveau maximal pour la période de 1991-2015 (4 juin) par rapport à celle de 1926-1990 (9 juin), bien que l'écart soit non significatif. Il en résulte tout de même un décalage de 11 jours aujourd'hui par rapport aux conditions d'avant 1926, un décalage possiblement sous-estimé étant donné le contexte de réchauffement climatique. En raison du réchauffement de la température survenu depuis 1926, on peut supposer qu'en conditions naturelles, le niveau maximal serait atteint plus tôt aujourd'hui qu'avant 1926. D'après les prévisions actuelles, les changements climatiques en cours entraîneront un devancement de la crue printanière d'environ 11,6 jours d'ici 2050 (WSP, 2015). La chronologie de la fraie des poissons étant une adaptation écologique aux conditions climatiques et hydrologiques naturelles (Shoup et Wahl, 2009), l'atteinte tardive des hauts niveaux d'eau au printemps peut limiter la disponibilité des habitats pendant la reproduction (Kitchell et Koshinki, 1996). Les poissons sont alors contraints de retarder le dépôt des œufs ou de déposer ceux-ci en dehors des habitats optimaux, ce qui pourrait entraîner une diminution du succès reproducteur.

La disponibilité des habitats de fraie de la perchaude et du grand brochet

Relation entre la température des habitats et celle du lac Saint-Jean

Il a été possible d'établir une relation linéaire entre la température des milieux humides et celle du lac Saint-Jean au printemps ($R^2 = 0{,}328$; $F = 65{,}52$; $p < 0{,}001$; figure 7). Les habitats de fraie se réchauffent généralement plus rapidement que le lac Saint-Jean (figure 7). Les habitats situés à l'intérieur ou à proximité des tributaires semblent se réchauffer plus

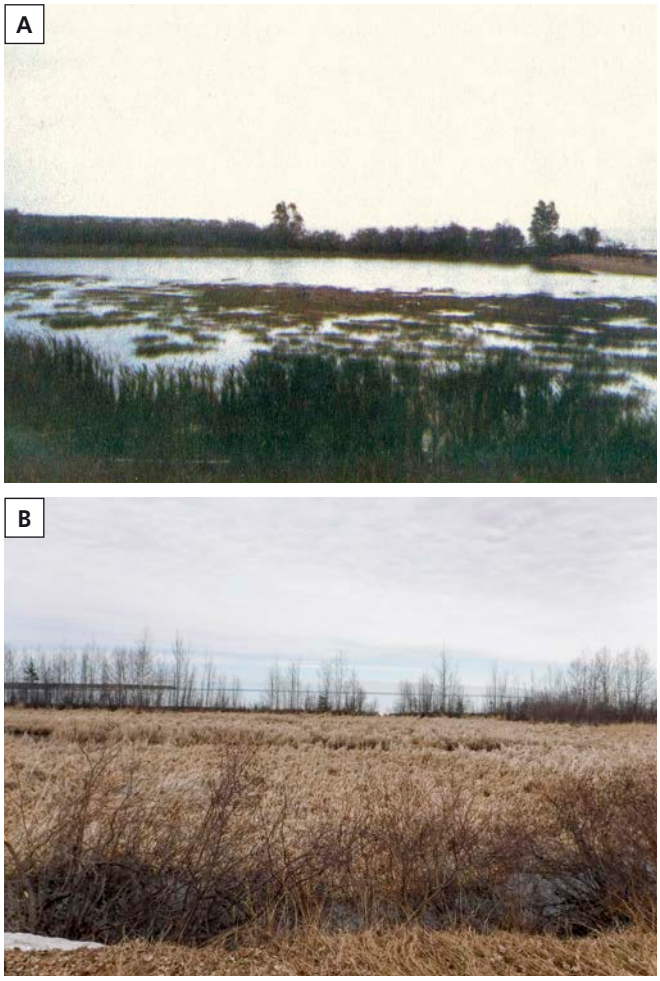

Figure 3. Exemple de la perte d'un habitat potentiel au cours des dernières années : A) marais du Golf de Saint-Prime avant l'enrochement de son cordon littoral dans le cadre du PSBLSJ en 1987; B) le même habitat en 2016.

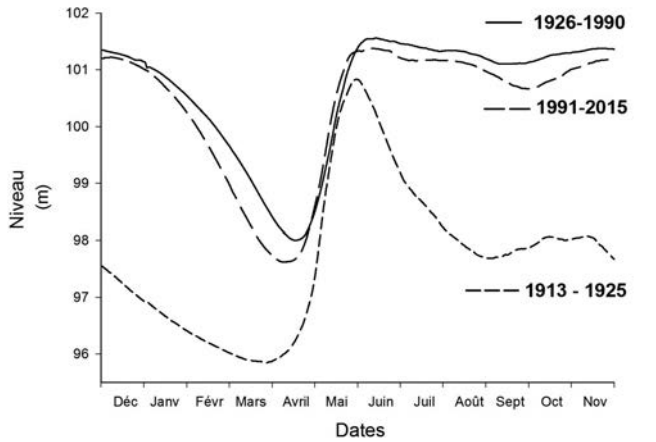

Figure 4. Niveau moyen journalier des eaux du lac Saint-Jean pendant 3 différentes périodes de gestion, soit en régime naturel (1913-1925), après la transformation du lac en réservoir (1926-1990) et après l'abaissement du niveau maximum printanier (1991-2015).

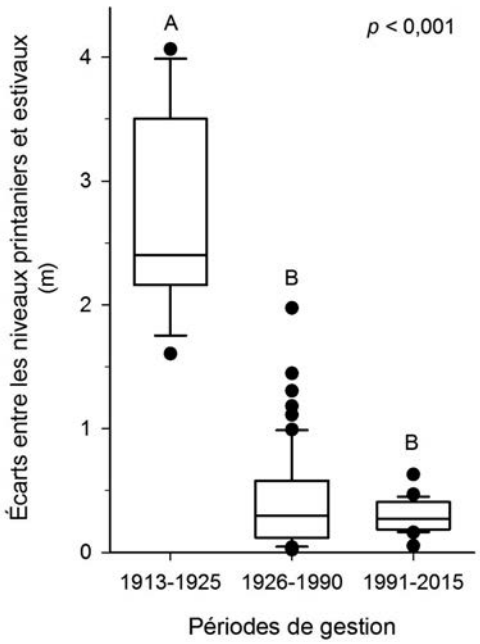

Figure 5. Écarts entre le niveau maximal atteint au printemps et le niveau moyen des eaux du lac Saint-Jean en juillet de 1913 à 2015, pendant 3 périodes de gestion. Les barres horizontales représentent les 10e, 25e, 50e, 75e et 90e centiles. Les points représentent les valeurs extrêmes. Les lettres différentes indiquent une différence significative.

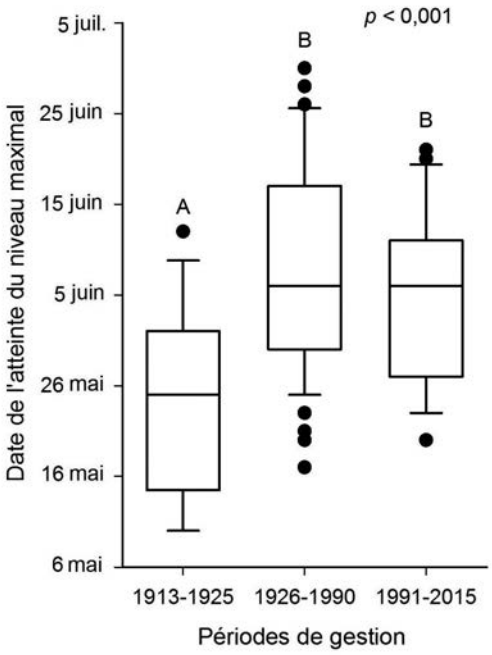

Figure 6. Date de l'atteinte du niveau maximal en période printanière, selon trois périodes de gestion. Les barres horizontales représentent les 10e, 25e, 50e, 75e et 90e centiles. Les points représentent les valeurs extrêmes. Les lettres différentes indiquent une différence significative.

tardivement que les marais. À partir de cette relation, les températures printanières des milieux humides ont pu être rétrocalculées pour la période de 1991 à 2015. Nos estimations indiquent que dès le départ des glaces du lac Saint-Jean, la température des milieux humides est en moyenne de 9,9 °C, tandis que celle du lac est de 5,0 °C.

Chronologie de la fraie

Les températures printanières rétrocalculées des milieux humides ont permis d'estimer les périodes de reproduction du brochet et de la perchaude de 1991 à 2015. En moyenne, la reproduction théorique des 2 espèces a débuté le 8 mai, soit environ lorsque le lac se libère de ses glaces (figure 8). Il est possible cependant que la fraie s'amorce plus tôt que nos estimations dans certains secteurs du lac, notamment près des tributaires où la fonte des glaces est plus hâtive. En moyenne, la fraie de la perchaude a duré 15 jours et s'est terminée le 23 mai, tandis que celle du grand brochet s'est poursuivie pendant 10 jours pour finir le 18 mai (figure 8). Ces estimations concordent avec ce qu'on retrouve dans la littérature scientifique, soit que la reproduction de la perchaude dure de 1 à 3 semaines (Plourde-Lavoie et Sirois, 2016) et celle du brochet, de 10 à 20 jours (Farrel, 2001; Brodeur et collab., 2004a; Farrel et collab., 2006).

Même si la température est l'un des principaux facteurs qui influencent la chronologie de la fraie, plusieurs autres éléments (p. ex., l'augmentation du niveau, la photopériode, etc.) peuvent également avoir une incidence (Mingelbier et collab., 2005; Plourde-Lavoie et Sirois, 2016). Rappelons également que les températures utilisées pour estimer les périodes de fraie (de 8 à 14 °C pour la perchaude et de 6 à 13 °C

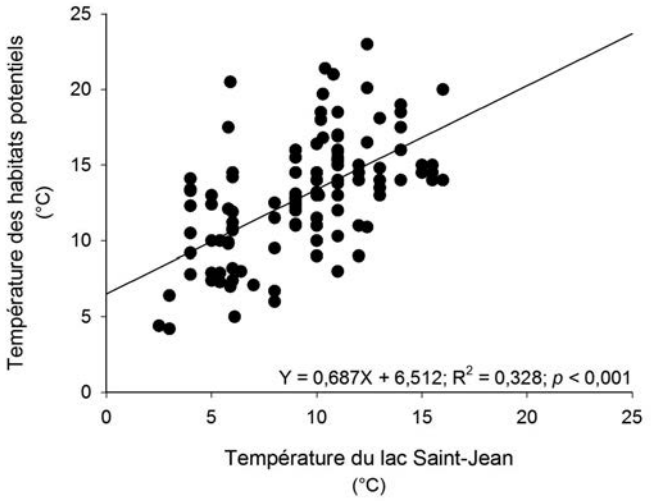

Figure 7. Relation entre la température des habitats de fraie potentiels de la perchaude et du grand brochet et la température des eaux du lac Saint-Jean au printemps suivant le départ des glaces.

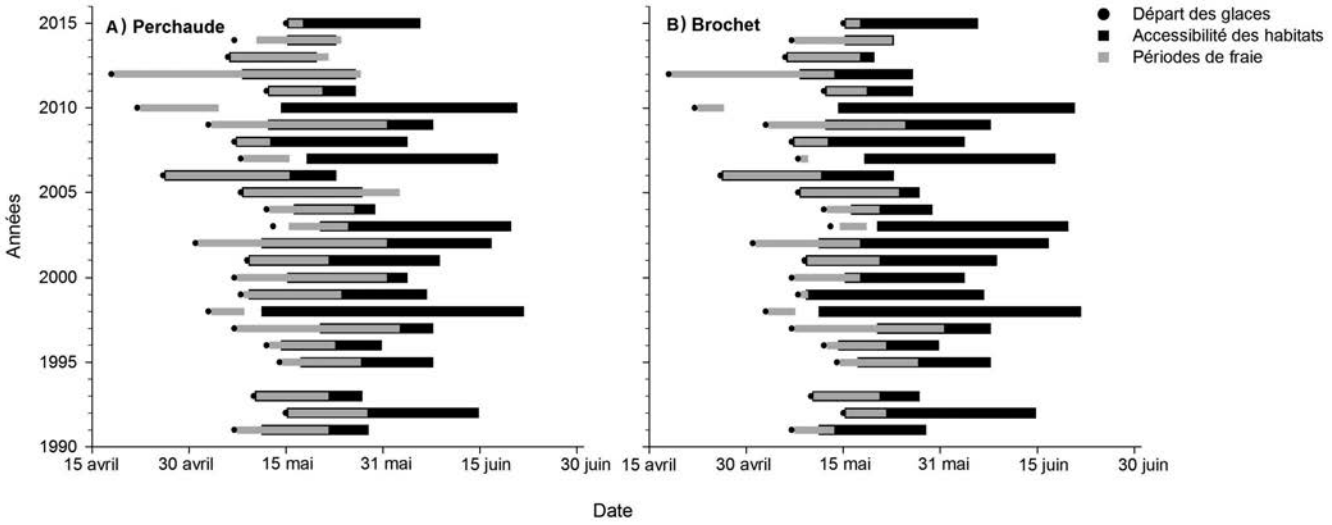

Figure 8. Dates estimées de la disponibilité des habitats potentiels selon les périodes de fraie de la perchaude (A) et du grand brochet (B) par année pour la période de 1991 à 2015. Les bandes grises représentent les périodes pour lesquelles la température des habitats est de 8 à 14 °C pour la perchaude et 6 à 13 °C pour le grand brochet. Les bandes noires représentent les périodes entre le début de la disponibilité des habitats et la disponibilité complète.

pour le grand brochet) correspondent aux températures de reproduction les plus fréquemment observées et rapportées dans la littérature scientifique, et que chaque espèce peut frayer à des températures inférieures et supérieures aux valeurs de référence. Par exemple, Sztramko et Teleki (1977) mentionnent que la perchaude se déplace vers les sites de reproduction lorsque la température augmente de 1,5 à 6,0 °C, tandis que la littérature scientifique rapporte des températures de fraie allant jusqu'à 15 °C (Plourde-Lavoie et Sirois, 2016). Pour le grand brochet, les adultes peuvent entamer leur migration vers les sites de fraie lorsque l'eau atteint à peine 1 ou 2 °C, et la reproduction peut se poursuivre jusqu'à 17 °C (Brodeur et collab., 2004b). Une baisse de la température peut par ailleurs entraîner l'arrêt temporaire de la fraie et prolonger sa durée (Fortin et collab., 1982). Nous considérons néanmoins que nos estimations offrent un portrait général représentatif des périodes de fraie réelles de la perchaude et du grand brochet au lac Saint-Jean.

Disponibilité des habitats

Le grand brochet et la perchaude se reproduisent sur la végétation inondée lors de la remontée printanière des eaux. La disponibilité des habitats dépend donc du niveau du lac Saint-Jean au moment de la reproduction. Afin d'optimiser la productivité des populations, les géniteurs doivent pouvoir accéder à des milieux de reproduction de qualité, tôt le printemps, lorsqu'ils sont physiologiquement prêts à frayer. Puisque les habitats au lac Saint-Jean sont situés principalement près des rives, à de faibles profondeurs, plus les hauts niveaux d'eau sont atteints rapidement au printemps et plus la superficie disponible pour la fraie est grande.

L'analyse de la disponibilité des habitats de 1991 à 2015 met en évidence un retard de la disponibilité des sites de reproduction en période de fraie (figure 8). En moyenne, les sites de reproduction situés aux plus basses altitudes sur la rive (niveau du lac : 100,48 m ou 13 pi) ont été accessibles le 12 mai tandis que ceux situés sur la limite de la ligne des hautes eaux sont devenus disponibles le 4 juin (niveau du lac : 101,54 m ou 16,5 pi), soit 24 jours plus tard. Pour les 2 espèces, les résultats montrent qu'en moyenne, les habitats ont commencé à être disponibles 4 jours après le début de la reproduction. Ils étaient partiellement accessibles dès le début de la reproduction dans 38 % des cas. Ils sont devenus complètement accessibles respectivement 12 et 17 jours après la fin de la fraie pour la perchaude et le grand brochet. Les habitats sont devenus complètement disponibles avant la fin de la fraie dans 17 % des cas pour la perchaude et 4 % pour le grand brochet. Ils ont été totalement inaccessibles pendant la totalité de la reproduction dans 13 % des cas pour la perchaude et dans 17 % des cas pour le grand brochet. Ainsi, on peut supposer que pour les années 1998, 2003 (brochet seulement), 2007 et 2010, la reproduction de la perchaude et du grand brochet au lac Saint-Jean a été un échec, en raison de l'inaccessibilité des habitats de fraie. Cette situation est survenue lors des années où les apports d'eau au printemps étaient inférieurs à la normale.

Nos estimations du moment de la fraie et nos résultats concernant la disponibilité des habitats sont corroborés par différents suivis réalisés antérieurement au lac Saint-Jean, avec un décalage de 1 à 2 jours. Par exemple, en 1998, une étude réalisée dans l'émissaire du Petit marais de Saint-Gédéon indique la présence de grands brochets et de perchaudes 9 à 10 jours avant que l'habitat ne devienne accessible (Larose et Bouchard, 1998). Nos estimations de la période de fraie donnent un écart de 8 jours entre le début de la reproduction et le début de la disponibilité des habitats pour cette même année (figure 8). Dans ce marais, un seuil artificiel permet aux poissons d'accéder à l'habitat lorsque le niveau atteint de 100,30 m (12,4 pi) à 100,50 m (13,1 pi), selon le débit du marais,

soit environ le même niveau auquel les herbiers deviennent accessibles dans les autres habitats du lac Saint-Jean (100,48 m ou 13,0 pi). L'écart de 1 à 2 jours entre l'étude de Larose et Bouchard (1998) et nos estimations s'explique, en partie, par l'arrivée de géniteurs à l'embouchure du marais avant le départ des glaces. Lors d'une étude similaire réalisée dans le même marais en 2000 (Larose, 2001), des grands brochets et des perchaudes ont été observés dans l'émissaire du marais dès la première visite le 10 mai, tandis que nos estimations ont fixé le début de la reproduction au 8 mai pour cette même année. Les grands brochets ont pu pénétrer dans le marais à partir du 16 mai, alors que sa température était déjà de 11 °C. Nos estimations ont fixé la fin de la fraie au 17 mai pour cette année, ce qui semble concorder avec les données de température mesurées. D'ailleurs, lors de cette étude, des brochets morts coincés en aval du seuil artificiel ont été observés.

Ainsi, l'inondation retardée des habitats de fraie par rapport aux conditions naturelles s'avère défavorable à la reproduction du grand brochet et de la perchaude qui, lorsque l'accessibilité aux habitats est restreinte, sont contraints de frayer dans des conditions sous-optimales (absence de végétation, température inadéquate, etc.). Plusieurs sites à fort potentiel pour la fraie, mais qui sont situés à des niveaux plus élevés, sont probablement inutilisés par les poissons en raison de l'atteinte tardive des hauts niveaux. L'étude d'impact et le rapport du BAPE qui ont précédé le début du PSBLSJ en 1986 avaient tiré la même conclusion :

> […] Il est possible, au lac Saint-Jean, que le brochet et la perchaude soient prêts à frayer avant qu'il n'y ait un habitat adéquat de plantes submergées, ce qui contribuerait à limiter la production de ces espèces. (André Marsan et Associés, 1983)
>
> […] Tous les organismes qui se sont prononcés sur cette question sont d'accord pour affirmer que la gestion historique a été néfaste en retardant la pointe de la crue et en allongeant sa durée. Il en résulte […] un décalage de la période de la fraie des poissons d'eau chaude (perchaude, brochet), évènements préjudiciables à la reproduction de ces espèces. (BAPE, 1985)

La présente analyse permet de mieux démontrer et de quantifier cette problématique.

Effets de la gestion du niveau du lac Saint-Jean sur les populations de poissons : bilan et recommandations

La gestion actuelle du niveau du lac Saint-Jean s'avère défavorable aux poissons qui se reproduisent dans les milieux humides riverains en raison d'un faible abaissement du niveau en été et de l'atteinte tardive des hauts niveaux nécessaires à la fraie au printemps. Une gestion qui maximiserait l'écart entre le niveau d'eau au printemps et celui en été tout en minimisant l'érosion des berges et des milieux humides optimiserait le développement de la végétation riveraine et, par le fait même, la superficie des habitats disponibles pour la fraie des poissons. En outre, l'atteinte des hauts niveaux en période printanière devrait être devancée, de façon à ce que la chronologie de la crue s'apparente le plus possible à celle qui prévalait en conditions naturelles, avant la mise en place des barrages.

Il est également essentiel de maintenir des niveaux élevés et stables pendant l'incubation des œufs et les premiers jours de croissance des larves de perchaude (Henderson, 1985; Kallemeyn, 1987; Mingelbier et collab., 2005) et de grand brochet (Johnson, 1957; Casselman et Lewis, 1996; Mingelbier et collab., 2005). À partir de la littérature scientifique, on peut estimer que la période qui couvre le dépôt et l'incubation des œufs ainsi que l'utilisation des milieux humides par les larves dure approximativement 3 à 5 semaines, selon les années et les milieux (Brodeur et collab., 2006; Mingelbier et collab., 2008; Plourde-Lavoie et Sirois, 2016). Pour le Saint-Laurent par exemple, Brodeur et collab. (2006) recommandent de maintenir une crue printanière de 35 à 40 jours.

Finalement, la gestion du niveau devrait tenir compte de la variabilité intra et interannuelle naturelle du cycle hydrologique (Poff et collab., 1997), car les perturbations d'importance moyenne favorisent généralement la biodiversité d'un écosystème (Wilcox et Meeker, 1991; Pollock et collab., 1998; White et collab., 2008). La stabilisation des niveaux a souvent comme résultante la dominance d'une seule espèce végétale, notamment le typha qui prolifère dans les endroits où la hauteur de l'eau est constante, un phénomène fréquent lorsque les apports en éléments nutritifs sont importants (Boers et Zedler, 2008; Shay et collab., 1999; Farrel et collab., 2010). En milieu naturel, la flore riveraine profite généralement des années de faible hydraulicité pour croître à des niveaux inférieurs sur la berge, tandis que les hauts niveaux inondent cette végétation, offrant par le fait même une plus grande surface de fraie (Hudon, 1997; Mingelbier et collab., 2008). Deux années de hauts niveaux, espacées de quelques années de niveaux moindres, peuvent augmenter la productivité des populations (Martin et collab., 1981). Les données historiques de l'élévation du lac Saint-Jean montrent que les variations interannuelles de niveau étaient plus importantes avant la mise en place des barrages qu'aujourd'hui : toute la variabilité de l'écosystème est maintenant restreinte par un scénario de gestion fixe des niveaux d'une année à l'autre. Un scénario de gestion qui tendrait à imiter le régime naturel du lac (c'est-à-dire l'ampleur, la fréquence, la durée et la chronologie des niveaux) favoriserait la diversité des plantes riveraines, la productivité des milieux humides riverains et celle de la faune aquatique qui utilise ces milieux.

Conclusion

La transformation du lac Saint-Jean en réservoir hydroélectrique a modifié considérablement les fluctuations naturelles du niveau de l'eau : l'abaissement du niveau de l'eau en période estivale a été réduit, et l'atteinte du niveau maximal survient plus tard en saison. Le maintien des hauts niveaux pendant la période de croissance de la végétation nuit vraisemblablement au développement des milieux humides riverains. Ces habitats sont essentiels pour la fraie de plusieurs

espèces de poissons, notamment le grand brochet et la perchaude. De plus, l'atteinte tardive des hauts niveaux entraîne un important problème de disponibilité des habitats de reproduction au printemps. Afin de favoriser les populations de poissons qui utilisent les milieux humides riverains, nous estimons que la gestion du lac Saint-Jean devrait viser à maximiser les écarts entre les niveaux printaniers et estivaux et devancer l'atteinte des hauts niveaux, pour permettre aux poissons d'accéder au bon moment à des sites de fraie de qualité. Nous considérons néanmoins que les effets directs de la gestion actuelle du lac Saint-Jean sur l'ensemble des populations de poissons demeurent largement inconnus. Des séries temporelles de l'abondance et de la croissance des principales espèces susceptibles d'être affectées permettraient de mesurer les répercussions réelles de la gestion du lac Saint-Jean sur les poissons.

Remerciements

Nous remercions Marc Mingelbier et Philippe Brodeur du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs pour le partage de leur expertise scientifique aux premières étapes du projet. Merci également à Stéphane Gagnon-Harvey et Stevens Gagné pour leur collaboration sur le terrain. Un merci tout spécial à Sonya Lévesque pour la révision d'une version préliminaire de ce document. Nous remercions aussi Marc-Antoine Couillard, Yves Paradis, Denise Tousignant et Pierre Périnet pour leurs commentaires lors de l'édition de l'article. Ce projet a été financé par la Corporation LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean, la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'UQAC, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine et la MRC du Domaine-du-Roy. ◂

Références

ALCAN, 1996. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Rapport synthèse 1986-1996. Aluminium du Canada Ltée (Alcan).

ALCAN, 2007. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Rétrospective 1996-2006. 108 p. Disponible en ligne à : http://synapse.uqac.ca/wp-content/uploads/2014/03/Version-finale-R%C3%A9trospective1996-2006.pdf

ANDRÉ MARSAN ET ASSOCIÉS, 1983. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport synthèse. Aluminium du Canada Ltée (Alcan).

AROVIITA, J. et H. HÄMÄLÄINEN, 2008. The impact of water-level regulation on littoral macroinvertebrate assemblages in boreal lakes. Hydrobiologia, 613 (1) : 45-56. doi:10.1007/s10750-008-9471-4.

ASTRADE, L., 1998. La gestion des barrages-réservoirs au Québec : exemples d'enjeux environnementaux. Annales de Géographie, 604 : 590-609. doi:10.3406/geo.1998.20878.

BAIN, M.B., N. SINGKRAN et K.E. MILLS, 2008. Integrated ecosystem assessment: Lake Ontario water management. PLoS One, 3 : e3806. doi:10.1371/journal.pone.0003806.

BAPE, 1985. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Rapport d'enquête et d'audience publique, Gouvernement du Québec, Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.

BAUMGÄRTNER, D., M. MÖRTL et K.-O. ROTHHAUPT, 2008. Effects of water-depth and water-level fluctuations on the macroinvertebrate community structure in the littoral zone of Lake Constance. Hydrobiologia, 613 (1) : 97-107. doi:10.1007/s10750-008-9475-0.

BENNETT, D.H., O.E. MAUGHAN et D.B. JESTER, 1985. Generalized model for predicting spawning success of fish in reservoirs with fluctuating water levels. North American Journal of Fisheries Management, 5 (1) : 12-20. doi:10.1577/1548-8659(1985)5<12:GMFPSS>2.0.CO;2.

BOERS, A.M. et J.B. ZEDLER, 2008. Stabilized water levels and *Typha* invasiveness. Wetlands, 28 (3) : 676-685. doi:10.1672/07-223.1.

BOUCHARD, L. et M. LAROSE, 1995. Suivi de l'impact des ouvrages de stabilisation au marais du Golf de Saint-Prime. Centre Écologique du Lac St-Jean Inc., 38 p.

BOUDREAU, M., D. FABER, G. ST-GELAIS et N. VILLENEUVE, 1987. Reconnaissance annuelle de 29 habitats ripariens du lac Saint-Jean (1987). Écologex pour le programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, 118 p.

BOXRUCKER, J.C., G.L. SUMMERS et E.R. GILLILAND, 2005. Effects of the extent and duration of seasonal flood pool inundation on recruitment of threadfin shad, white crappies, and largemouth bass in Hugo Reservoir, Oklahoma. North American Journal of Fisheries Management, 25 (2) : 709-716. doi: 10.1577/M03-248.1.

BRAUNS, M., X.-F. GARCIA et M.T. PUSCH, 2008. Potential effects of water-level fluctuations on littoral invertebrates in lowland lakes. Hydrobiologia, 613 (5) : 5-12. doi:10.1007/s10750-008-9467-0.

BRODEUR, P., M. MINGELBIER et J. MORIN, 2004a. Impact des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés du Saint-Laurent fluvial. Le Naturaliste Canadien, 128 (2) : 66-77.

BRODEUR, P., M. MINGELBIER et J. MORIN, 2004b. Impact des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés le long du Saint-Laurent fluvial. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, 63 p.

BRODEUR, P., M. MINGELBIER et J. MORIN, 2006. Impact de la régularisation du débit des Grands Lacs sur l'habitat de reproduction des poissons dans la plaine inondable du fleuve Saint-Laurent. Le Naturaliste Canadien, 130 (2) : 60-68.

CASANOVA, M.T. et M.A. BROCK, 2000. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? Plant Ecology, 147 (2) : 237-250. doi:10.1023/A:1009875226637.

CASSELMAN, J.M. et C.A. LEWIS, 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53 : 161-174.

CHOQUETTE, C., É. GUILHERMONT et M.-P. GOYETTE NOËL, 2010. La gestion du niveau d'eau des barrages-réservoirs au Québec : aspects juridiques et environnementaux. Les Cahiers de droit, 51 (3-4) : 827-857.

CLAP, 2015. La pêche sportive dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean. Corporation LACtivité Pêche Lac Saint-Jean, 27 p.

CLARK, M.E., K.A. ROSE, J.A. CHANDLER, T.J. RICHTER, D.J. ORTH et W. VAN WINKLE, 2008. Water-level fluctuation effects on centrarchid reproductive success in reservoirs: A modeling analysis. North American Journal of Fisheries Management, 28 (4) : 1138-1156. doi: 10.1577/M07-106.1.

CRAIG, J.F., 2008. A short review of pike ecology. Hydrobiologia, 601 (1) : 5-16. doi:10.1007/s10750-007-9262-3.

DABROWSKI, K., R.E. CIERESZKO, A. CIERESZKO, G.P. TOTH, S.A. CHRIST, D. EL-SAIDY et J.S. OTTOBRE, 1996. Reproductive physiology of yellow perch (*Perca flavescens*): Environmental and endocrinological cues. Journal of Applied Ichthyology, 12 : 139-148. doi:10.1111/j.1439-0426.1996.tb00079.x.

DEMBKOWSKI, D.J., S.R. CHIPPS et B.G. BLACKWELL, 2014. Response of walleye and yellow perch to water-level fluctuations in glacial lakes. Fisheries Management and Ecology, 21 (2) : 89-95. doi:10.1111/fme.12047.

DÉPART DES GLACES, 2016. Disponible en ligne à : http://www.departdesglaces.org/ [Visité le 10-07-16].

EVTIMOVA, V.V. et I. DONOHUE, 2016. Water-level fluctuations regulate the structure and functioning of natural lakes. Freshwater Biology, 61 : 251-264. doi:10.1111/fwb.12699.

FARRELL, J.M, 2001. Reproductive success of sympatric northern pike and muskellunge in an upper St. Lawrence River bay. Transactions of the American Fisheries Society, 130 (5) : 796-808. doi:10.1577/1548-8659(2001)130<0796:RSOSNP>2.0.CO;2.

FARRELL, J.M., J.V. MEAD et B.A. MURRY, 2006. Protracted spawning of St. Lawrence River northern pike (*Esox lucius*): simulated effects on survival, growth, and production. Ecology of Freshwater Fish, 15 (2) : 169-179. doi:10.1111/j.1600-0633.2006.00135.x.

FARRELL, J.M., B.A. MURRY, D.J. LEOPOLD, A. HALPERN, M.B. RIPPKE, K.S. GODWIN et S.D. HAFNER, 2010. Water-level regulation and coastal wetland vegetation in the upper St. Lawrence River: inferences from historical aerial imagery, seed banks, and *Typha* dynamics. Hydrobiologia, 647 (1) : 127-144. doi:10.1007/s10750-009-0035-z.

FORTIN, R., P. DUMONT, H. FOURNIER, C. CADIEUX et D. VILLENEUVE, 1982. Reproduction et force des classes d'âge du grand brochet (*Esox lucius L.*) dans le Haut-Richelieu et la baie Missisquoi. Canadian Journal of Zoology, 60 (2) : 227-240. doi:10.1139/z82-031.

FOURT, R.A., 1978. The effects of a two-year water-level management plan on the production of sport fish in Beaver Reservoir. Arkansas Game and Fish Commission, Little Rock, 15 p.

FRANCOEUR, N. et L. BOUCHARD, 1992. Reconnaissances annuelles des habitats ripariens du lac Saint-Jean. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. pour la Société d'électrolyse et de Chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 104 p.

FRANKLIN, D.R. et L.L. SMITH, 1963. Early life history of the northern pike, *Esox lucius L.*, with special reference to the factors influencing the numerical strength of year classes. Transactions of the American Fisheries Society, 92 (2) : 91-110. doi:10.1577/1548-8659(1963)92[91:ELHOTN]2.0.CO;2.

GABOURY, M.N. et J.W. PATALAS, 1984. Influence of water level drawdown on the fish populations of Cross Lake, Manitoba. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41 (1) : 118-125. doi:10.1139/f84-011.

GERTZEN, E., S. DOKA, C. MINNS, J. MOORE et C. BAKELAAR, 2012. Effects of water levels and water level regulation on the supply of suitable spawning habitat for eight fish guilds in the Bay of Quinte, Lake Ontario. Aquatic Ecosystem Health and Management, 15 (4) : 397-409.

GRUBAUGH, J.W. et R.V. ANDERSON, 1988. Spatial and temporal availability of floodplain habitat: long-term changes at pool 19, Mississippi River. The American Midland Naturalist, 119 (2) : 402-411. doi:10.2307/2425823.

HÅKANSON, L., 1977. The influence of wind, fetch, and water depth on the distribution of sediments in Lake Vänern, Sweden. Canadian Journal of Earth Sciences, 14 (3) : 397-412. doi:10.1139/e77-040.

HANSON, T.R., L.U. HATCH et H.C. CLONTS, 2002. Reservoir water level impacts on recreation, property, and nonuser values. Journal of the American Water Resources Association, 38 (4) : 1007-1018.

HASSLER, T.J., 1969. Biology of the northern pike in Oahe Reservoir, 1959 through 1965. U.S. Bureau of Sport Fisheries, Wildlife Technical Paper, 29 : 1-13.

HAVENS, S., M. RENNIE, P. BLANCHFIELD, M. PATERSON et S. HIGGINS, 2014. Evaluation of eutrophication and water level drawdown on Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*) productivity: Fish habitat assessment. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences, 45 p.

HEISEY, P.G., D. MATHUR et N.C. MAGNUSSON, 1980. Accelerated growth of smallmouth bass in a pumped storage system. Transactions of the American Fisheries Society, 109 (4) : 371-377. doi:10.1577/1548-8659(1980)109<371:AGOSBI>2.0.CO;2.

HENDERSON, B.A., 1985. Factors affecting growth and recruitement of yellow perch, *Perca flavescens* Mitchill, in South Bay, Lake Huron. Journal of Fish Biology, 26 (4) : 449-458. doi:10.1111/j.1095-8649.1985.tb04284.x.

HOUDE-FORTIN, M.-A. et F.C. GIBEAULT, 2007. Revue de littérature sur les composantes écologiques du Grand lac Saint-François – Impacts du marnage. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, 33 p.

HUDON, C., 1997. Impact of water level fluctuations on St. Lawrence River aquatic vegetation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54 (12) : 2853-2865. doi:10.1139/f97-201.

HUDON, C., P. GAGNON, J.-P. AMYOT, G. LÉTOURNEAU, M. JEAN, C. PLANTE, D. RIOUX et M. DESCHÊNES, 2005. Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada). Hydrobiologia, 539 (1) : 205-224. doi:10.1007/s10750-004-4872-5.

HUDON, C., A. ARMELLIN, P. GAGNON et A. PATOINE, 2010. Variations in water temperatures and levels in the St. Lawrence River (Québec, Canada) and potential implications for three common fish species. Hydrobiologia, 647 (1) : 145-161. doi:10.1007/s10750-009-9922-6.

JOHNSON, F.H, 1957. Northern pike year-class strength and spring water levels. Transactions of the American Fisheries Society, 86 (1) : 285-293. doi:10.1577/1548-8659(1956)86[285:NPYSAS]2.0.CO;2.

JONES, H.G., M. LECLERC, M. OUELLET, L. POTVIN, P. COUTURE, D. CLUIS, W. SOCHANSKA et J. SOCHANSKI, 1979. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean, synthèse. INRS-eau, Québec, 46 p.

KALLEMEYN, L.W., 1987. Correlations of regulated lake levels and climatic factors with abundance of young-of-the-year walleye and yellow perch in four lakes in Voyageurs National Park. North American Journal of Fisheries Management, 7 (4) : 513-521. dx.doi.org:10.1577/1548-8659(1987)7<513:CORLLA>2.0.CO;2.

KITCHELL, J.F. et G.D. KOSHINSKY, 1996. Review of proposed changes in water level regulation for Rainy and Namakan Lakes: Their consequent ecological effects on fisheries and related aquatic resources. International Joint Commission, 125 p.

KROLOVÁ, M., H. ÍŽKOVÁ, J. HEJZLAR et S. POLÁKOVÁ, 2013. Response of littoral macrophytes to water level fluctuations in a storage reservoir. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 408 (7) : 1-21. doi:10.1051/kmae/2013042.

LAPOINTE, A. 2013. Distribution connue des espèces de poissons de certains lacs, rivières et ruisseaux du bassin hydrographique du lac Saint-Jean. Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'expertise Énergie-Faune-Forêts-Mines-Territoire du Saguenay–Lac-Saint-Jean. 107 p.

LAROSE, M., 2001. Suivi environnemental et faunique 2000. Suivi des conditions de la montaison et dynamique de l'embouchure au Petit marais de Saint-Gédéon en 2000. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. pour Alcan Métal primaire, Énergie électrique, Programme de stabilisation des berges, 16 p.

LAROSE, M. et L. BOUCHARD, 1998. Suivi environnemental et faunique 1998. Suivi des conditions de la montaison aux structures de maintien du niveau de l'eau au marais Le Rigolet de Métabetchouan et au Petit marais de Saint-Gédéon en 1998. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. pour la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 39 p.

LAROSE, M., L. BOUCHARD, H. ROYER et Y. PLOURDE, 1997. Suivi biophysique 1996. Suivi de l'impact des structures de gestion du niveau d'eau dans l'émissaire du marais Le Rigolet de Métabetchouan. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. pour la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 36 p.

LEIRA, M. et M. CANTONATI, 2008. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography. Hydrobiologia, 613 (1) : 171-184. doi:10.1007/s10750-008-9465-2.

LORANG, M.S., P.D. KOMAR et J.A. STANFORD, 1993. Lake level regulation and shoreline erosion on Flathead Lake, Montana: A response to the redistribution of annual wave energy. Journal of Coastal Research, 9 (2) : 494-508.

LYCKE, A., 2014. La population de touladi (*Salvelinus namaycush*) au réservoir Kipawa et la gestion du marnage. Synthèse des informations actuelles, analyse de la première année d'essai du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et perspectives d'évaluation pour les prochaines années. Direction de la gestion de la faune de l'Abitibi-Témiscamingue – Secteur de la faune et des Parcs, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Rouyn-Noranda, 33 p.

MARTIN, D.B., L.J. MENGEL, J.F. NOVOTNY et C.H. WALBURG, 1981. Spring and summer water levels in a Missouri river reservoir: Effects on age-0 fish and zooplankton. Transactions of the American Fisheries Society, 110 (3) : 370-381. doi:10.1577/1548-8659(1981)110<370:SASWLI>2.0.CO;2.

MASSÉ, G., P. DUMONT, J. FERRARIS et R. FORTIN, 1991. Influence des régimes hydrologique et thermique de la rivière aux Pins (Québec) sur les migrations de fraie du grand brochet et sur l'avalaison des jeunes brochets de l'année. Aquatic Living Resources, 4 (4) : 275-287.

MCCARRAHER, D.B. et R.E. THOMAS, 1972. Ecological significance of vegetation to northern pike, *Esox lucius*, spawning. Transactions of the American Fisheries Society, 101 (3) : 560-563. doi: 10.1577/1548-8659(1972)101<560:ESOVTN>2.0.CO;2.

MCEWEN, D.C. et M.G. BUTLER, 2010. The effects of water-level manipulation on the benthic invertebrates of a managed reservoir. Freshwater Biology, 55 (5) : 1086-1101. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02382.x.

MINGELBIER, M., P. BRODEUR et J. MORIN, 2005. Recommandations concernant les poissons et leurs habitats dans le Saint-Laurent fluvial et évaluation des critères de régularisation du système lac Ontario – Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche sur la faune, Québec, 141 p.

MINGELBIER, M., P. BRODEUR et J. MORIN, 2008. Spatially explicit model predicting the spawning habitat and early stage mortality of Northern pike (*Esox lucius*) in a large system : The St. Lawrence River between 1960 and 2000. Hydrobiologia, 601 (1) : 55-69. doi:10.1007/s10750-007-9266-z.

PLOURDE-LAVOIE, P. et P. SIROIS, 2016. Revue et synthèse de la littérature scientifique sur la reproduction et les habitats des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay, 126 p. Disponible en ligne à : http://constellation.uqac.ca/3953/

PLOURDE-LAVOIE, P. et P. SIROIS, 2017. Portrait du potentiel des milieux humides riverains pour la fraie des poissons. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay, 71 p. Disponible en ligne à : http://constellation.uqac.ca/4161/

POFF, N.L., J.D. ALLAN, M.B. BAIN, J.R. KARR, K.L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R.E. SPARKS et J.C. STROMBERG, 1997. The Natural Flow Regime. BioScience, 47 (11) : 769-784.

POLLOCK, M.M., R.J. NAIMAN et T.A. HANLEY, 1998. Plant species richness in riparian wetlands-a test of biodiversity theory. Ecology, 79 (1) : 94-105. doi:10.1890/0012-9658(1998)079[0094:PSRIRW]2.0.CO;2.

RIIS, T. et I.A.N. HAWES, 2003. Effect of wave exposure on vegetation abundance, richness and depth distribution of shallow water plants in a New Zealand lake. Freshwater Biology, 48 (1) : 75-87. doi:10.1046/j.1365-2427.2003.00974.x.

RIO TINTO ALCAN, 2014. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2016-2026. Avis de projet. Présenté à la Direction générale de l'évaluation environnementale, 12 p.

ROYER, H., M. LAROSE et L. BOUCHARD, 1997. Suivi biophysique 1997. Suivi de l'impact des structures de gestion du niveau d'eau dans l'émissaire du marais Le Rigolet de Métabetchouan. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. pour la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 47 p.

SCOTT, W.B. et E.J. CROSSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Bulletin 184, Office des recherches sur les pêcheries du Canada, 1026 p.

SHAY, J.M., P.M.J. DE GEUS et M.R.M. KAPINGA, 1999. Changes in shoreline vegetation over a 50-year period in the Delta Marsh, Manitoba in response to water levels. Wetlands, 19 (2) : 413-425. doi:10.1007/bf03161773.

SHOUP, D.E. et D.H. WAHL, 2009. Fish diversity and abundance in relation to interannual and lake-specific variation in abiotic characteristics of floodplain lakes of the lower Kaskaskia River, Illinois. Transactions of the American Fisheries Society, 138 (5) : 1076-1092. doi:10.1577/T07-272.1.

ST-GELAIS, G., H. TREMBLAY, D. FABER, Y. MEUNIER et C. MASSON, 1990. Reconnaissances annuelles des habitats ripariens du lac Saint-Jean 1990. Rapport d'Écologex Inc. pour la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 110 p.

ST-GELAIS, G., D. FABER, M. MURDOCK et Y. MEUNIER, 1991. Reconnaissances annuelles des habitats ripariens du lac Saint-Jean, 1991. Rapport d'Écologex Inc. pour la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, 118 p.

SUTELA, T., J. AROVIITA et A. KETO, 2013. Assessing ecological status of regulated lakes with littoral macrophyte, macroinvertebrate and fish assemblages. Ecological Indicators, 24 : 185-192. doi:10.1016/j.ecolind.2012.06.015.

SZTRAMKO, L. et G.C. TELEKI, 1977. Annual variations in the fecundity of yellow perch from Long Point Bay, Lake Erie. Transactions of the American Fisheries Society, 106 (6) : 578-582. doi:10.1577/1548-8659(1977)106<578:AVITFO>2.0.CO;2.

TREMBLAY, H., 1992. Effets des variations du niveau d'eau du lac Saint-Jean (P.Q.) sur la migration saisonnière de quelques espèces de poissons, en particulier de la perchaude (*Perca flavescens*) dans le petit marais de Saint-Gédéon. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, 61 p.

TREMBLAY, V., 1979. La tragédie du lac Saint-Jean. Société historique du Saguenay, Chicoutimi, 231 p.

VALLIÈRES, L. et R. FORTIN, 1988. Le Grand Brochet (*Esox lucius*) au Québec : biologie et gestion. Université du Québec à Montréal, pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction de la gestion des espèces et des habitats, Québec, 298 p.

VERSCHELDEN, M.-C., 2009. Estimation des retombées économiques de la pêche sportive au lac Saint-Jean et dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean en 2008. Atouts Conseils inc., pour la Corporation LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean, 22 p.

WALBURG, C.H., 1977. Lake Francis Case, a Missouri River reservoir: Changes in the fish population in 1954-75, and suggestions for management. U.S. Fish and Wildlife Service, 12 p.

WHITE, M.S., M.A. XENOPOULOS, K. HOGSDEN, R.A. METCALFE et P.J. DILLON, 2008. Natural lake level fluctuation and associated concordance with water quality and aquatic communities within small lakes of the Laurentian Great Lakes region. Hydrobiologia, 613 (1) : 21-31. doi:10.1007/s10750-008-9469-y.

WILCOX, D.A. et J.E. MEEKER, 1991. Disturbance effects on aquatic vegetation in regulated and unregulated lakes in northern Minnesota. Canadian Journal of Botany, 69 (7) : 1542-1551. doi:10.1139/b91-198.

WILCOX, D.A. et J.E. MEEKER, 1992. Implications for faunal habitat related to altered macrophyte structure in regulated lakes in northern Minnesota. Wetlands, 12 (3) : 192-203. doi:10.1007/bf03160609.

WILCOX, D.A. et S.J. NICHOLS, 2008. The effects of water-level fluctuations on vegetation in a Lake Huron wetland. Wetlands, 28 (2) : 487-501. doi:10.1672/07-129.1.

WSP. 2015. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026. Étude d'impact sur l'environnement. Rapport produit pour Rio Tinto Alcan. 86 p. + annexe.

PARTENAIRE DE VOS PROJETS!

Desjardins
Caisse populaire du Piémont Laurentien

1638, rue Notre-Dame
L'Ancienne-Lorette QC
G2E 3B6

1095, boulevard Pie-XI Nord
Québec QC G3K 2S7

UN SEUL NUMÉRO :
418 872-1445 | 1 866 972-1445

www.desjardins.com/caisse-piemont-laurentien

Visitez notre page facebook!