

Reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François : un exemple de participation des peuples autochtones à la conservation d'une espèce emblématique

Samuel Dufour-Pelletier, Émilie Paquin, Philippe Brodeur and Michel La Haye

Volume 145, Number 2, Fall 2021

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1080621ar>
DOI: <https://doi.org/10.7202/1080621ar>

[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

Dufour-Pelletier, S., Paquin, É., Brodeur, P. & La Haye, M. (2021). Reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François : un exemple de participation des peuples autochtones à la conservation d'une espèce emblématique. *Le Naturaliste canadien*, 145(2), 35–48.
<https://doi.org/10.7202/1080621ar>

Article abstract

The Abenaki First Nation of Odanak studied lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) reproduction in the Saint-François River (Québec, Canada), just downstream of the Drummondville hydroelectric plant, from 2012 to 2018. The spawning population was assessed, egg deposition sites were located, and larval production and reproductive success were estimated. This study aimed to determine if interannual variability in the abundance of spawners and larvae were influenced by water flow rate and temperature. Between 54 and 188 spawners used 3 separate sites for egg deposition. The number of larvae produced differed between years, ranging from 8,953 to 44,218, representing a reproductive success ranging from 0.29% to 4.59%. The results suggest that the river flow rate during migration positively influenced annual spawner abundance. However, water temperature did not affect the number of spawners or larvae. The highest larval abundance values were observed under a stable flow rate of 85 m³/s during larval drift. Thanks to the work conducted by the Abenaki community of Odanak, it has been possible to inform and guide fishery and water flow management to support and enhance lake sturgeon conservation.

Reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François : un exemple de participation des peuples autochtones à la conservation d'une espèce emblématique

Samuel Dufour-Pelletier, Émilie Paquin, Philippe Brodeur et Michel La Haye

Résumé

La reproduction de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) à la centrale hydroélectrique de Drummondville, sur la rivière Saint-François, a été étudiée par la communauté abénaquise d'Odanak de 2012 à 2018. Les zones de déposition d'œufs ont été localisées et le contingent reproducteur, la production larvaire ainsi que le pourcentage de succès reproducteur ont été estimés. Cette étude visait à déterminer si les différences interannuelles de l'abondance des reproducteurs et des larves étaient influencées par le débit ou la température de l'eau. De 54 à 188 reproducteurs ont utilisé 3 sites de déposition d'œufs. Le nombre de larves produites variait de 8 953 à 44 218, selon les années, représentant un succès reproducteur variant de 0,29 % à 4,59 %. Les résultats suggèrent que l'abondance des reproducteurs était influencée positivement par le débit pendant la migration printanière et que les nombres de reproducteurs et de larves n'étaient pas influencés par la température de l'eau. Les plus grandes abondances de larves ont été mesurées lors de débits stables d'environ 85 m³/s durant la dérive larvaire. Grâce aux travaux effectués par la communauté abénaquise d'Odanak, la présente étude a permis d'orienter la gestion de la pêche et du débit afin de soutenir la conservation de cette espèce.

MOTS-CLÉS : Abénaquis, débit, esturgeon jaune, frayère, rivière Saint-François

Abstract

The Abenaki First Nation of Odanak studied lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) reproduction in the Saint-François River (Québec, Canada), just downstream of the Drummondville hydroelectric plant, from 2012 to 2018. The spawning population was assessed, egg deposition sites were located, and larval production and reproductive success were estimated. This study aimed to determine if interannual variability in the abundance of spawners and larvae were influenced by water flow rate and temperature. Between 54 and 188 spawners used 3 separate sites for egg deposition. The number of larvae produced differed between years, ranging from 8,953 to 44,218, representing a reproductive success ranging from 0.29% to 4.59%. The results suggest that the river flow rate during migration positively influenced annual spawner abundance. However, water temperature did not affect the number of spawners or larvae. The highest larval abundance values were observed under a stable flow rate of 85 m³/s during larval drift. Thanks to the work conducted by the Abenaki community of Odanak, it has been possible to inform and guide fishery and water flow management to support and enhance lake sturgeon conservation.

KEYWORDS: Abenaki, flow rate, lake sturgeon, spawning ground, Saint-François River

Introduction

Un lien particulier unit la communauté abénaquise d'Odanak à l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*; *Kabasa* en abénaquis) de la rivière Saint-François (*Alsig8ntegw*). Cette espèce est d'ailleurs le symbole officiel de la communauté depuis sa fondation, il y a plus de 350 ans. Encore aujourd'hui, certains membres le pêchent dans la rivière et dans le fleuve Saint-Laurent (*Kchitegw*) et le consomment lors de rassemblements communautaires.

Les esturgeons jaunes qu'exploitent les Abénaquis font partie de la population du fleuve Saint-Laurent, dans la portion comprise entre le barrage de Beauharnois et les eaux saumâtres de l'estuaire en aval de Québec. Cette population est incluse dans l'unité désignable Grands Lacs-Haut-Saint-Laurent pour laquelle le statut d'espèce menacée est recommandé

par le Comité sur la situation des espèces en péril du Canada (COSEPA, 2006) et elle est susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable selon la *Loi sur les espèces menacées* ou

Samuel Dufour-Pelletier, M. Sc., est biologiste et directeur du Bureau environnement et terre d'Odanak, au Conseil des Abénaquis d'Odanak.

sdufour@caodanak.com

Émilie Paquin, B. Sc., est biologiste à la Direction de la gestion de la faune Mauricie-Centre-du-Québec du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Philippe Brodeur, M. Sc., est biologiste à la Direction de la gestion de la faune Mauricie-Centre-du-Québec au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Michel La Haye, M. Sc., est ichtyologiste et P.-D. G. de Enviro Science et Faune inc.

vulnérables du Québec. Contrairement aux autres populations d'esturgeons jaunes présentes au Québec, celle du fleuve Saint-Laurent en aval de Beauharnois montre des signes de rétablissement et supporte une pêcherie commerciale durable (Dumont et collab., 2013). Les mesures d'encadrement de la pêche commerciale instaurées graduellement depuis 1987, combinées aux nombreuses actions d'amélioration de l'habitat de reproduction, ont permis d'accroître l'abondance des juvéniles, d'assurer une production annuelle de cohortes, de protéger les femelles matures et de réduire considérablement le prélèvement par la pêche (Dumont et collab., 2011; Dumont et collab., 2013; Mailhot et collab., 2011). Le plus récent plan de gestion de l'esturgeon jaune du fleuve Saint-Laurent recommande de poursuivre l'identification, la conservation et, au besoin, l'amélioration des frayères dans l'ensemble du système (Dumont et collab., 2013).

Dans la rivière Saint-François, une frayère d'esturgeon jaune a été documentée pour la première fois par La Haye et Clermont (1996) dans le bief aval du barrage hydroélectrique de Drummondville. Des travaux de restauration de cette frayère ont par la suite été réalisés par Faucher et Abbott (2001), avant de confirmer, l'année suivante, l'utilisation par l'esturgeon jaune des sites aménagés (Ouellet et Faucher, 2002). Une dizaine d'années plus tard, le lien traditionnel unissant les Abénakis à l'esturgeon jaune a incité le Bureau environnement et terre d'Odanak (BETO) à documenter davantage la reproduction de cette espèce à la frayère de Drummondville pour favoriser sa conservation (BETO, 2012; 2014; 2015; 2016a; 2018a; 2018b; 2019). Le barrage hydroélectrique de Drummondville constitue le premier obstacle infranchissable de la rivière Saint-François pour la population d'esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent. Il est le premier d'une série de plus de 300 barrages (dont 19 servent à la production hydroélectrique) situés dans le bassin versant de la rivière Saint-François (Clément-Robert et collab., 2016). Le débit du bief aval du barrage de Drummondville est donc soumis à de grandes variations d'origines naturelle et anthropique (Clément-Robert et collab., 2016; BETO, 2016b). L'amplitude et la durée de ces variations influencent l'écoulement de l'eau sur la frayère (BETO, 2015; 2016a; 2016b; 2018a; 2018b; 2019).

L'esturgeon jaune se reproduit du début-mai à la mi-juin, sur un substrat rocheux ou graveleux exposé à des courants relativement rapides (Baril et collab., 2018). Il a été démontré que les fluctuations du régime hydrologique, dont celles occasionnées par la présence de barrages hydroélectriques, peuvent avoir un effet sur le comportement et sur la reproduction de l'esturgeon jaune (D'Amours et Dion, 2018; Dumont et collab., 2011; Haxton et Findlay, 2008). Les variations de vitesse d'écoulement et de niveau d'eau peuvent ainsi perturber le comportement de fraie, augmenter le taux de mortalité des œufs et des larves, réduire la croissance des larves ou même entraîner les reproducteurs à frayer sur des sites sous-optimaux (BETO, 2018a; Dammerman et collab., 2015; Forsythe et collab., 2013). Ces effets dépendent notamment de la période de l'année, du type d'infrastructure et du mode

de gestion des débits (Auer, 1996; Haxton et Findlay, 2009; Haxton et collab., 2015). Bien que le maintien d'une vitesse d'écoulement d'environ 0,6 m/s soit généralement associé à un habitat de reproduction de bonne qualité (Baril et collab., 2018), d'autres paramètres peuvent influencer la reproduction de l'esturgeon, tels que la qualité du substrat (Johnson et collab., 2006), la prédation (Waraniak et collab., 2018), la température de l'eau (Nilo et collab., 1997; Wassink et collab., 2019) et la phase lunaire (Forsythe et collab., 2012a).

La présente étude a pour but de documenter la reproduction de l'esturgeon jaune dans le bief aval de la centrale de Drummondville. Le premier objectif vise à localiser les zones de déposition d'œufs, ainsi qu'à estimer le contingent de reproducteurs, la production larvaire et le pourcentage de succès reproducteur. Le deuxième objectif consiste à déterminer si les différences interannuelles de l'abondance des reproducteurs et des larves d'esturgeon jaune pouvaient avoir été influencées par le débit ou la température de l'eau.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Cette étude a été réalisée de 2012 à 2018 dans la rivière Saint-François, à environ 35 km en amont de la communauté abénakise d'Odanak (figure 1). L'aire d'étude est composée de deux secteurs. Le Secteur 1 comprend la frayère située en aval du complexe hydroélectrique de Drummondville et le Secteur 2, situé à 4 km en aval, a été visité pour le suivi de la dérive larvaire. La centrale au fil de l'eau de Drummondville peut turbiner jusqu'à 200 m³/s. Le débit excédentaire est évacué par deux crêtes déversantes situées sur la rive droite avant de rejoindre le cours principal de la rivière quelques centaines de mètres en aval (figure 1). La centrale hydroélectrique de la Chute-Hemmings, située à 4 km en amont, contrôle le niveau d'eau d'un réservoir de petit volume. Des haussoirs y sont installés à la fin de la crue printanière afin de rehausser le niveau d'eau du réservoir en vue de la période estivale.

Échantillonnage

Des travaux exploratoires ont été menés dans le bief aval de la rivière Saint-François en 2012 et en 2013 afin de localiser des œufs d'esturgeon et de capturer des reproducteurs pendant et après la reproduction (BETO, 2012; 2014). De 2014 à 2018, un protocole d'échantillonnage standardisé visant l'étude de la reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville a été appliqué annuellement par un groupe de travail composé de biologistes et de membres de la communauté abénakise d'Odanak (BETO, 2015; 2016a; 2018a; 2018b; 2019). L'effort ainsi que la répartition spatiale et temporelle de l'échantillonnage ont varié selon les années en fonction des conditions hydrauliques contrastées de la rivière (tableau 1). Pour 2012 et 2013, seules les données récoltées selon une méthode comparable avec les années subséquentes ont été conservées.

Tableau 1. Nombre d'engins et effort d'échantillonnage total (valeurs entre parenthèses, en engin-heure) consacrés à la capture de reproducteurs, d'œufs et de larves d'esturgeon jaune de 2012 à 2018 à la frayère située en aval de la centrale de Drummondville.

Type d'engin	Nombre d'engins (effort d'échantillonnage total; engin-heure)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Filet maillant (reproducteurs)	0 (0)	9 (116)	10 (130)	3 (192)	3 (107)	12 (165)	5 (103)
Ovocapteur (œufs)	98 (7 187)	0 (0)	58 (4 056)	47 (9 917)	43 (11 727)	47 (6 997)	70 (5 784)
Filet de dérive (larves)	0 (0)	0 (0)	10 (1 584)	10 (1 584)	10 (576)	10 (1 152)	10 (528)

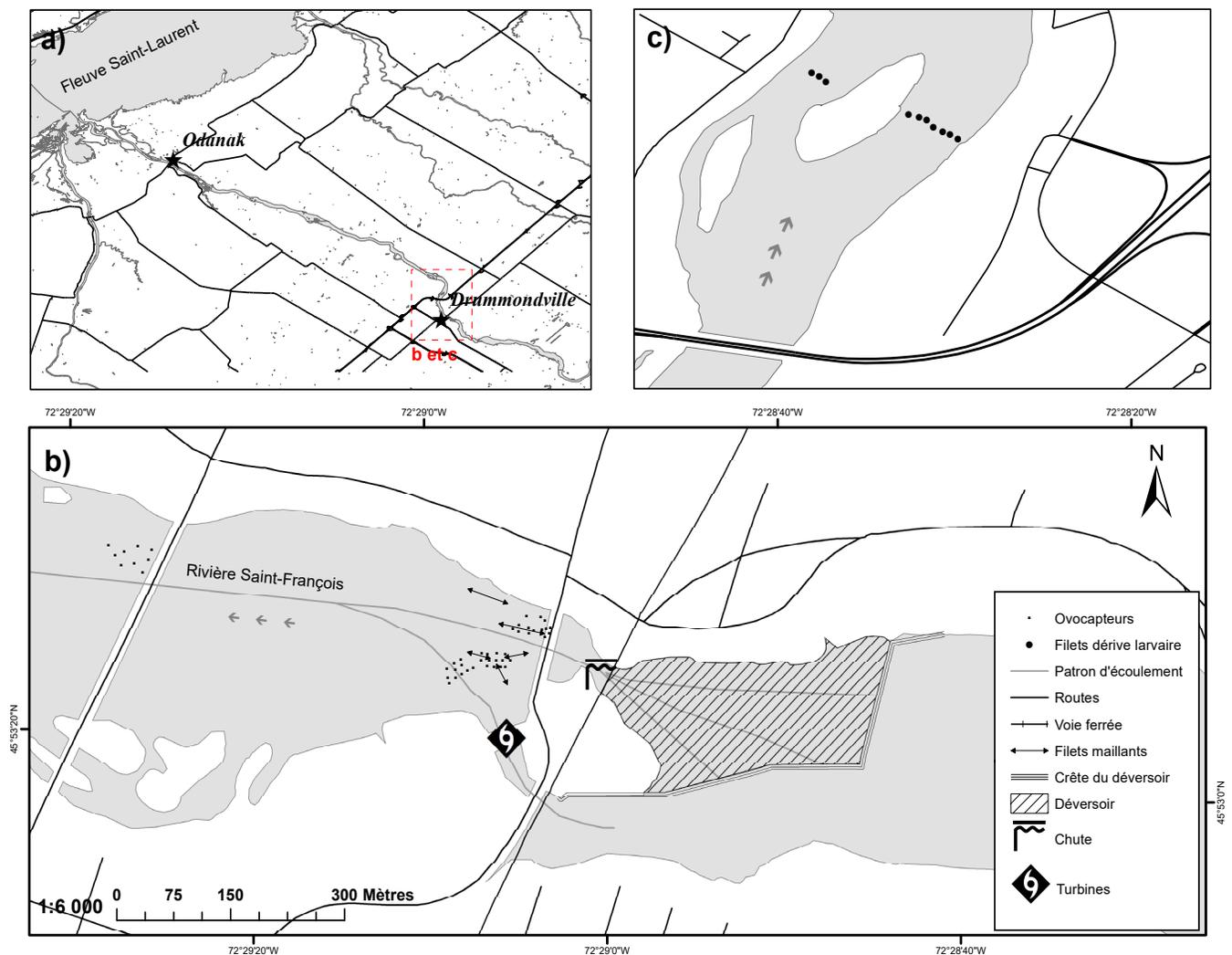


Figure 1. Carte de l'aire d'étude a) à l'échelle régionale, comprenant les Secteurs 1 et 2, b) le Secteur 1 et c) le Secteur 2. Les engins de capture illustrés représentent la stratégie d'échantillonnage visée de 2014 à 2018. L'effort de pêche et la répartition du dispositif expérimental réels ont varié entre les années en fonction du débit de la rivière.

Capture et manipulation des reproducteurs

Des pêches expérimentales aux filets maillants (multifilament de nylon ; 2 m de haut × 30 m de long ; mailles de 203 et de 243 mm correspondant à 8 et à 10 po) ont été réalisées dans le Secteur 1 en mai de chaque année, à l'exception de 2012. La période de pêche débutait lorsque la température de l'eau atteignait 10 °C ou que des signes d'activités de reproduction étaient observés (sauts ou remous). Les filets étaient installés quotidiennement pendant une période d'environ 8 heures et étaient relevés toutes les 2 heures de pêche. L'échantillonnage se terminait lorsqu'aucun esturgeon n'était capturé dans l'ensemble des filets. Avant d'être remis à l'eau, chaque esturgeon a été mesuré (longueur totale maximale et à la fourche, mm), pesé (kg), sexé (par pression abdominale ou biopsie percutanée des gonades) et marqué à l'aide d'une étiquette à ancrage en T (2,5 po) portant un numéro séquentiel. Les recaptures de spécimens marqués ont été notées. Ces manipulations ont été réalisées en conformité avec le Comité institutionnel de protection des animaux de l'Université du Québec à Montréal (CIPA n° 891) ainsi qu'aux permis SEG délivrés par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Capture des œufs

Les sites de dépôt d'œufs ont été localisés en mai de chaque année dans le Secteur 1, à l'exception de 2013. Des ovocapteurs (blocs de béton de 101 mm × 203 mm × 406 mm, entourés d'une bande de filtres à air) ont été installés dès que la température de l'eau atteignait environ 8 °C, ou que des signes d'activités étaient détectés, et ont été retirés lorsqu'aucun œuf n'était capturé dans l'ensemble du secteur d'étude. La grille d'échantillonnage utilisée à partir de 2014 a été établie en fonction des résultats de capture d'œufs et de la caractérisation des sites potentiels de fraie de l'esturgeon jaune dans l'ensemble du cours inférieur de la rivière Saint-François en 2012 (BETO, 2012). Des contraintes logistiques de navigabilité, de sécurité et d'accès ont également été considérées. À l'échelle fine, la localisation des ovocapteurs a été ajustée annuellement afin de couvrir uniformément les secteurs où des esturgeons jaunes étaient observés ainsi que les zones caractérisées par des conditions d'écoulement propice à la fraie basé sur la littérature. Les ovocapteurs ont été inspectés tous les 2 ou 3 jours afin de dénombrer les œufs d'esturgeon jaune.

Capture de larves en dérive et profil hydraulique

À partir de 2014, les larves en dérive ont été échantillonnées quotidiennement dans le Secteur 2, au cours des mois de mai et de juin de chaque année, en utilisant des filets de dérive larvaire (1,0 m de diamètre à l'ouverture × 4,2 m de long ; mailles de 0,75 mm) munis d'un godet (100 mm de diamètre ; mailles de 300 µm). La période de pêche a débuté environ 10 jours après le début de la capture des premiers œufs du Secteur 1 et s'est poursuivie jusqu'à ce qu'aucune larve ne soit capturée dans l'ensemble des filets pendant deux journées consécutives. Un total de 10 filets, pêchant en continu, ont été déployés le long d'un même transect perpendiculaire à la rive.

Les filets de dérive ont été installés au centre de la colonne d'eau (à une profondeur de 0,6 à 2,6 m) et distancés de 30 m l'un de l'autre. Le contenu des godets a été récolté quotidiennement et trié par des aînés de la communauté d'Odanak, sous la supervision d'un des auteurs de la présente étude. Le profil hydraulique transversal de la rivière a été mesuré lorsqu'un nombre maximum de larves en dérive étaient capturées afin de calculer le débit d'eau s'écoulant le long des différentes sections du transect d'échantillonnage des larves (pour plus de détails sur la méthode, voir BETO, 2019).

Traitement des données

Superficie de dépôt d'œufs

La superficie des habitats utilisés par l'esturgeon jaune pour le dépôt des œufs a été mesurée annuellement en générant, à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2, une zone tampon de 7 m de rayon (distance moyenne entre les ovocapteurs) autour des ovocapteurs ayant recueilli des œufs. La superficie totale de dépôt d'œufs a été calculée en additionnant l'aire de l'ensemble des zones tampons.

Abondance relative des reproducteurs, des œufs et des larves et pourcentage de succès reproducteur

Les abondances relatives des reproducteurs, des œufs et des larves d'esturgeon jaune ont été exprimées en termes de captures par unité d'effort (CPUE), soit en nombre/filet-heure, en nombre/ovocapteur-jour et en nombre/filet-10 000 m³ d'eau filtrés, respectivement.

Le contingent de reproducteurs a été estimé chaque année, à l'exception de 2012 et de 2016, à l'aide de modèles de Capture-Marquage-Recapture (CMR) pour population ouverte de type Jolly-Seber. Ces analyses ont été réalisées en considérant le sexe des individus en covariable selon la formulation POPAN (Schwarz et Arnason, 1996) de la bibliothèque RMark (Laake, 2013) du progiciel R (version 4.0.1; R Core Team, 2020). Ce type de formulation permet, en fonction de l'historique des captures quotidiennes, d'estimer la taille de la population (N) pour chaque niveau de la covariable incluse dans le modèle, et où p_i représente la probabilité de capture à l'occasion i , φ_i représente la probabilité qu'un poisson survive entre l'occasion i et $i+1$, et b_i représente la probabilité qu'un poisson immigré dans la population entre l'occasion i et $i+1$ et survive jusqu'à la prochaine occasion $i+1$ (Cooch et White, 2014).

À partir de 2014, le contingent de larves en dérive a été estimé selon la méthode de Garceau et Bilodeau (2004), adaptée au contexte de la rivière Saint-François (pour plus de détails sur la méthode, voir BETO, 2019). Cette méthode prend en compte le nombre quotidien de larves capturées, la vitesse du courant à l'entrée des filets lors de la mesure du profil hydraulique transversal de la rivière, la surface de l'ouverture des filets, la durée de la pêche, la proportion du débit total s'écoulant dans chacune des sections de la rivière échantillonnées par les filets de dérive, ainsi que le débit journalier de la rivière.

Finalement, le pourcentage de succès reproducteur a été évalué sur la base du rapport entre le nombre estimé de larves en dérive et le nombre total d'œufs potentiellement déposés sur la frayère, estimé en fonction de l'équation fécondité-masse proposée par Fortin et collab. (1992) et de la masse moyenne des femelles capturées (pour plus de détails sur la méthode, voir BETO, 2019).

Analyses statistiques

Dans le but de déterminer si le débit et la température pouvaient avoir influencé les différences interannuelles de l'abondance des reproducteurs et des larves, plusieurs analyses ont été effectuées. De 2014 à 2018, le débit total et la température de l'eau de la rivière Saint-François lors de la période de migration, correspondant à 14 jours avant la capture du premier œuf (Bruch et Binkowski, 2002), ont été comparés entre les années en utilisant des modèles linéaires suivant une distribution gaussienne. La même analyse a été appliquée à la période de dérive larvaire, définie entre la première et la dernière capture de larves.

D'autres périodes ont également été évaluées, par exemple la période d'incubation et d'éclosion des œufs, mais n'ont pas été retenues en raison des importantes variations de débits survenant lors de ces périodes plus longues, rendant complexe l'interprétation. Les débits totaux et les températures de l'eau ont été mesurés toutes les heures à la centrale hydroélectrique de la Chute-Hemmings, située à 4 km en amont du Secteur 1.

L'abondance des reproducteurs sur la frayère a été comparée entre les années à l'aide d'un modèle linéaire généralisé mixte suivant une distribution binomiale négative et ayant comme effets aléatoires la date d'échantillonnage ainsi que le numéro du filet. Le temps de pêche a été utilisé comme variable de standardisation.

Les CPUE de larves en dérive ont été comparées entre les années à l'aide d'un modèle linéaire mixte suivant une distribution gaussienne. La racine cubique des données a été utilisée afin de respecter le postulat de normalité des résidus. La date d'échantillonnage ainsi que le numéro du filet ont été utilisés comme variables aléatoires. Seuls les filets ayant contribué à la capture de 90 % des larves ont été conservés pour cette analyse afin de réduire le nombre de valeurs nulles, souvent associées à des limitations méthodologiques en présence de faibles débits ou de zones de contre-courants.

Les modèles linéaires mixtes ont été réalisés en utilisant la bibliothèque *nlme* (Pinheiro et collab., 2018) du progiciel R, tandis que les modèles linéaires généralisés mixtes ont été réalisés avec la bibliothèque *lme4* (Bates et collab., 2015). Les comparaisons multiples à posteriori entre les années ($\alpha = 0,05$) ont été effectuées avec la bibliothèque *lsmeans* (Lenth, 2016).

Résultats

Déroulement de la reproduction

De 2012 à 2018, la reproduction de l'esturgeon jaune dans le bief aval du complexe hydroélectrique de Drummondville s'est déroulée sur une période moyenne (\pm erreur type) de

6,5 \pm 0,8 jours, du 9 au 19 mai (tableau 2). Le contingent annuel de reproducteurs, tous sexes confondus, a varié de 54 à 188 (IC à 95 % : 41-240), avec un nombre de femelles variant de 4 à 29 (IC à 95 % : 2-45). Les valeurs moyennes de CPUE pour les reproducteurs ont été les plus faibles en 2016 (0,06 \pm 0,01 individu/filet-h) et les plus élevées en 2018 (1,13 \pm 0,34 individu/filet-h). Le taux de recapture interannuel des reproducteurs a varié de 0 % (2014 et 2016) à 15 % (2017). Les valeurs moyennes de CPUE pour les œufs ont été les plus faibles en 2016 et 2012 (0 et 0,10 \pm 0,04 œuf/ovocapteur-jour, respectivement) et les plus élevées en 2015 (3,83 \pm 1,49 œufs/ovocapteur-jour; tableau 2). Des œufs d'esturgeon jaune ont été trouvés à 3 sites de ponte, soit sous le pont de la route 122, devant la centrale et devant le déversoir (figure 2). Des œufs ont été trouvés sur une superficie de 766 m² au site du pont de la route 122 en 2015 et 2017 (figure 2), alors qu'aucun œuf n'a été trouvé à cet endroit en 2016 et en 2018 (tableau 2). En 2014 et en 2017, des œufs ont été récoltés uniquement plus près du barrage en aval de l'exutoire du déversoir sur une superficie de 1 225 m². En 2015, des œufs ont été trouvés autant en aval de l'exutoire du déversoir que de la centrale, sur une superficie totale de 3 981 m². En 2018, des œufs ont été trouvés uniquement en aval de l'exutoire du déversoir, sur une superficie plus grande totalisant 4 595 m².

De 2014 à 2018, la dérive larvaire a eu lieu du 20 mai au 7 juin, soit en moyenne 14 jours après la capture du premier œuf, et a duré en moyenne 9 \pm 1,4 jours (tableau 2). La durée de la dérive larvaire a été la plus courte en 2018 et la plus longue en 2017 (tableau 2). Le nombre estimé de larves en dérive et le pourcentage de succès reproducteur ont été les plus faibles en 2018 et les plus élevées en 2017 (8 953 et 44 218 larves; 0,29 % et 4,59 %, respectivement; tableau 2).

Relation entre le débit ainsi que la température de l'eau et l'abondance des reproducteurs

De 2014 à 2018, pendant les 14 jours précédant le début de la fraie, le débit total de la rivière Saint-François et la température de l'eau ont varié de façon hautement significative entre les années ($F_{1,4} = 867,3$; $p < 0,001$ et $F_{1,4} = 336,5$; $p < 0,001$, respectivement; figures 3a et 3b). Le débit moyen a été le plus faible en 2016 et le plus fort en 2018; il a été significativement différent d'une année à l'autre, à l'exception de 2014 et 2015 (figure 3a). La température moyenne de l'eau a été significativement différente d'une année à l'autre (figure 3b). La valeur la plus faible et la valeur la plus élevée ont été observées en 2015 et 2014, respectivement. Le nombre moyen de reproducteurs capturés par filet-h a varié de façon significative entre les années ($\chi^2 = 10,4$; $p = 0,034$; figure 3c). La valeur moyenne de CPUE a été la plus faible en 2016 et la plus élevée en 2018. Seules les années 2016 et 2018 étaient significativement différentes (figure 3c). Les figures 4a et 4b montrent les fluctuations quotidiennes de débit et de température de l'eau pendant la période précédant la fraie.

Tableau 2. Moyenne des captures par unité d'effort (CPUE \pm erreur type) pour les reproducteurs (nombre/filet-heure), les œufs (nombre/ovocapteur-jour) et les larves (nombre/filet-10 000 m³) d'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville de 2012 à 2018. Les périodes de fraye et de dérive larvaire, la superficie des zones de dépôt d'œufs sous le pont de la route 122 (P122) et au barrage de Drummondville (Barrage), le contingent estimé de reproducteurs et de larves, ainsi que le pourcentage de succès reproducteur sont également présentés.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Période de fraye	9 au 15 mai	ND	14 au 16 mai	6 au 11 mai	~ 9 au 16 mai	12 au 19 mai	10 au 16 mai
Période de dérive larvaire	ND*	ND	28 mai au 7 juin	20 au 30 mai	26 au 31 mai	27 mai au 7 juin	27 au 31 mai
Reproducteurs							
Nombre de captures/filet-heure	ND	40	46	58	6	74	110
CPUE	ND	0,33 \pm 0,16	0,37 \pm 0,13	0,25 \pm 0,08	0,06 \pm 0,01	0,66 \pm 0,17	1,13 \pm 0,34
Contingent estimé [IC 95 % [†]]	ND	54 [41-73]	69 [52-99]	92 [74-116]	ND	106 [91-125]	188 [150-240]
Femelles		19 [14-25]	7 [2-22]	12 [9-16]		4 [3-5]	29 [19-45]
Taux de recapture interannuel	ND	ND	0%	9,26 %	0%	15,00 %	13,83 %
Œufs							
Nombre de captures/ovocapteur-jour	55	ND	24	421	0	171	695
CPUE	0,10 \pm 0,04	ND	0,14 \pm 0,05	3,83 \pm 1,49	0,00	0,59 \pm 0,22	3,23 \pm 1,21
Superficie des zones de dépôt (m ²):							
P122	ND	ND	ND	766	0	766	0
Barrage	ND	ND	1 225	3 981	0	1 225	4 595
Larves							
Nombre de captures/filet-10 000 m ³	ND	ND	104	79	69	125	33
CPUE	ND	ND	0,20 \pm 0,04	0,78 \pm 0,22	2,81 \pm 1,21	6,04 \pm 1,84	0,83 \pm 0,39
Contingent estimé	ND	ND	24 094	12 982	12 768	44 218	8 953
Pourcentage de succès reproducteur							
Succès estimé [IC 95 %]	ND	ND	1,81 % [0,6-6,3]	0,67 % [0,5-0,9]	ND	4,59 % [3,7-6,1]	0,29 % [0,2 -0,4]

* ND : non déterminé.

†: IC 95 % : intervalle de confiance à 95 %.

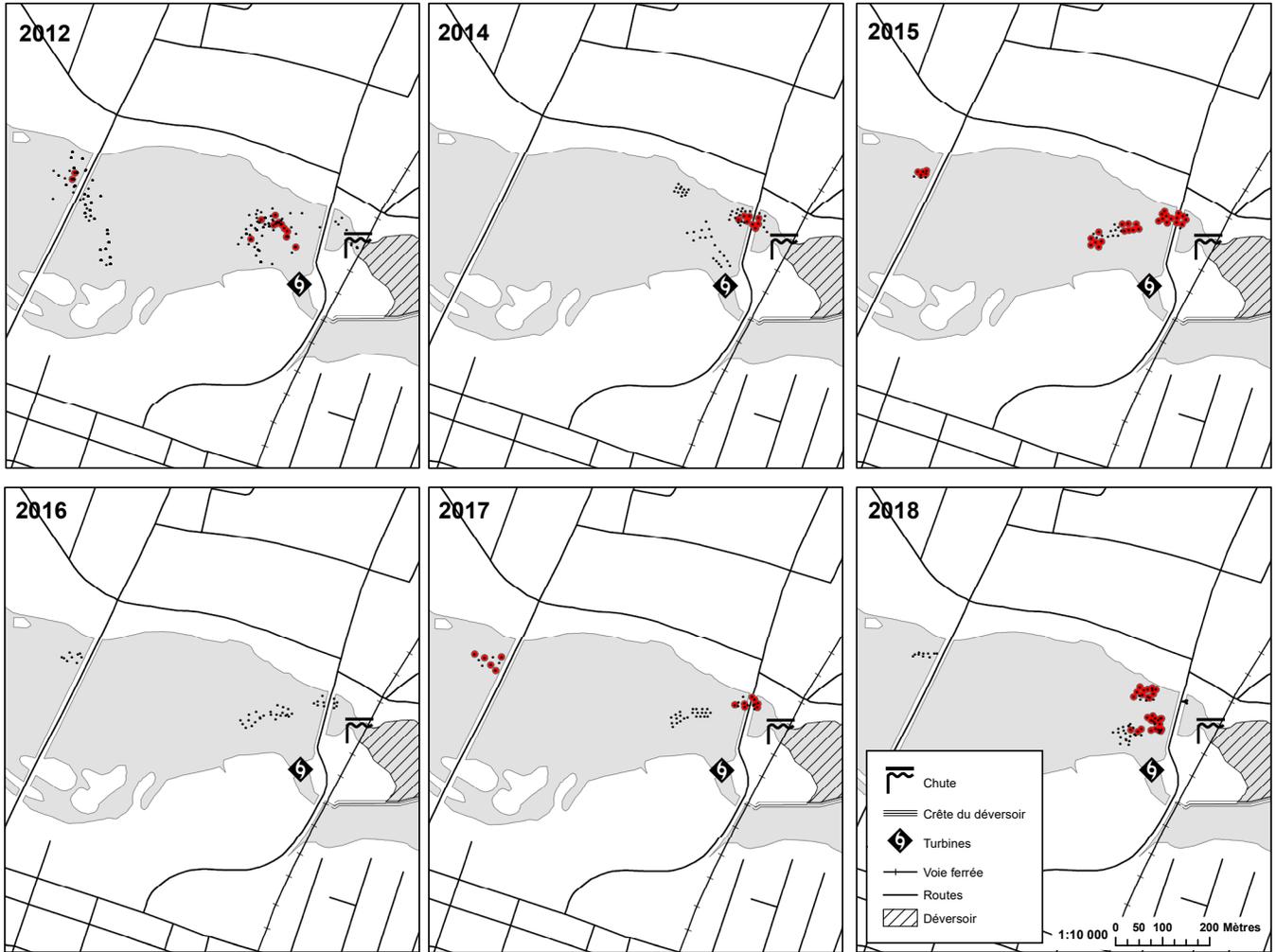


Figure 2. Emplacement des captures d'œufs d'esturgeon jaune de 2012 à 2018 à la frayère située en aval de la centrale de Drummondville. Les ovocapteurs sont représentés par un point noir; les cercles rouges délimitent une zone tampon de 7 m de rayon autour des ovocapteurs ayant capturé au moins un œuf.

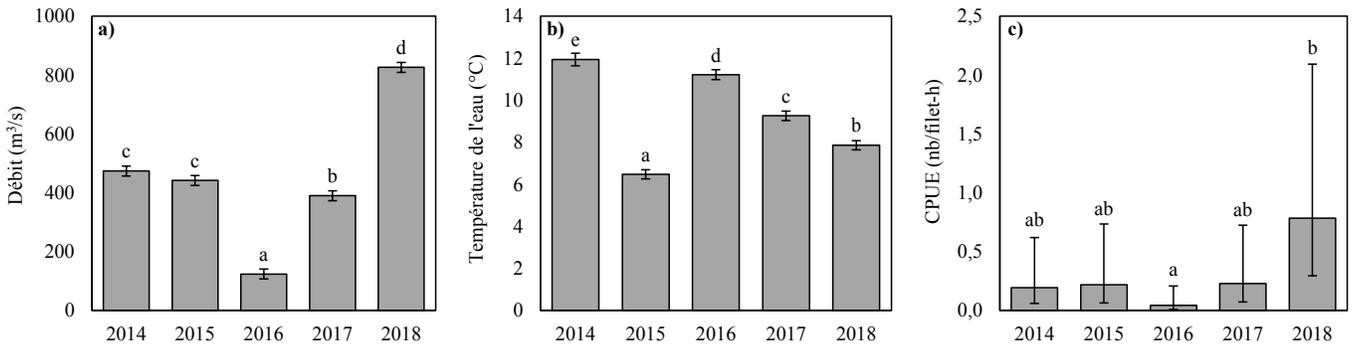


Figure 3. Moyennes annuelles ajustées (\pm intervalle de confiance de 95 % [IC 95 %]) du débit total (a) et de la température de l'eau (b) de la rivière Saint-François mesurées de 2014 à 2018 lors de la période de migration des esturgeons jaunes vers la frayère de Drummondville (c.-à-d. 14 jours avant la capture du premier œuf). En (c), les moyennes ajustées (\pm IC 95 %) des captures par unité d'effort (CPUE) pour les reproducteurs d'esturgeon jaune sont également représentées. Dans chaque graphique, les années qui ne partagent pas une même lettre indiquent une différence significative ($\alpha = 0,05$) des moindres carrés entre 2 années.

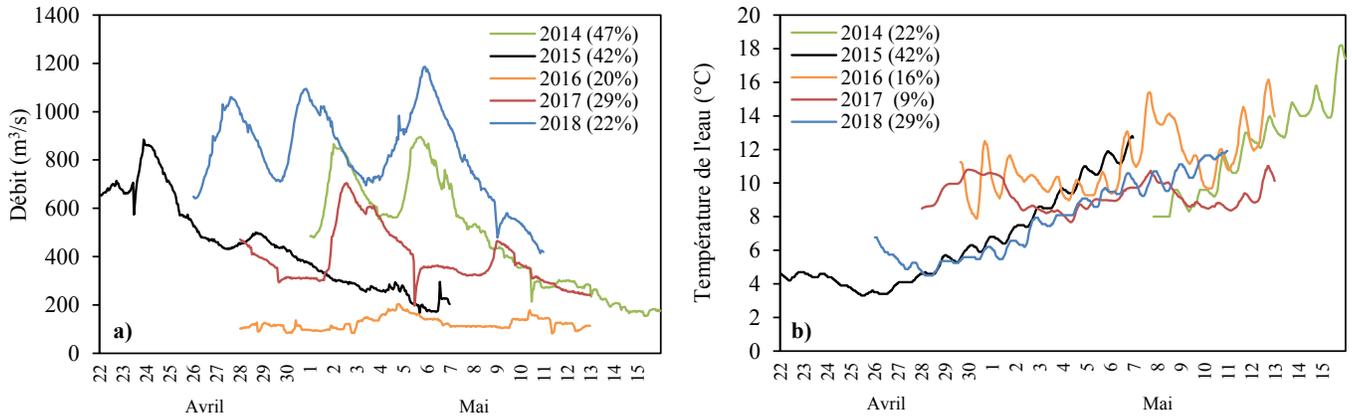


Figure 4. Débit total (a) et température de l'eau (b) quotidiens de la rivière Saint-François mesurés de 2014 à 2018 lors de la période de migration des esturgeons jaunes vers la frayère de Drummondville (c.-à-d. 14 jours avant la capture du premier œuf). Les nombres entre parenthèses représentent les coefficients de variation (%) annuels.

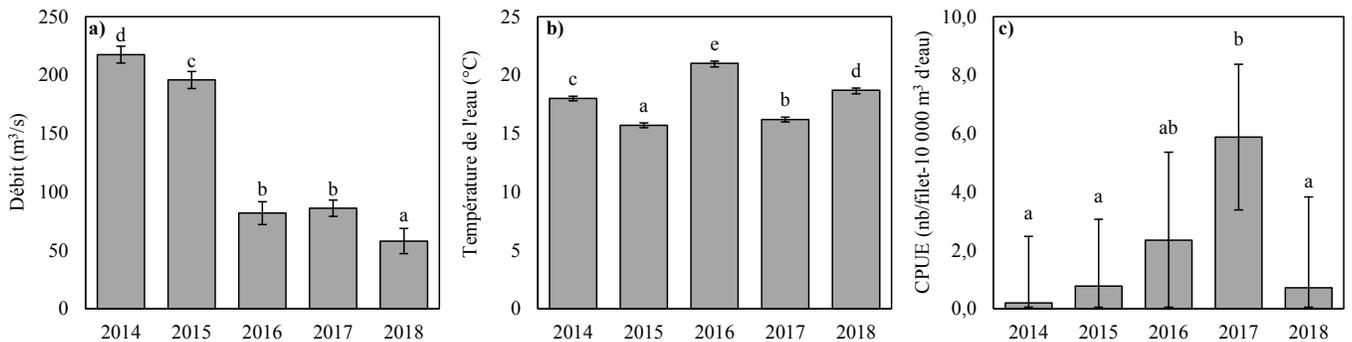


Figure 5. Moyennes annuelles ajustées (\pm intervalle de confiance à 95 % [IC 95 %]) du débit total (a) et de la température de l'eau (b) de la rivière Saint-François mesurées de 2014 à 2018 lors de la période de dérive larvaire (c.-à-d. de la première à la dernière larve capturée). Les moyennes ajustées (\pm IC 95 %) des captures par unité d'effort (c) (CPUE) pour les larves d'esturgeons jaunes sont également représentées. Dans chaque graphique, les années qui ne partagent pas une même lettre indiquent une différence significative ($\alpha = 0,05$) des moindres carrés entre deux années.

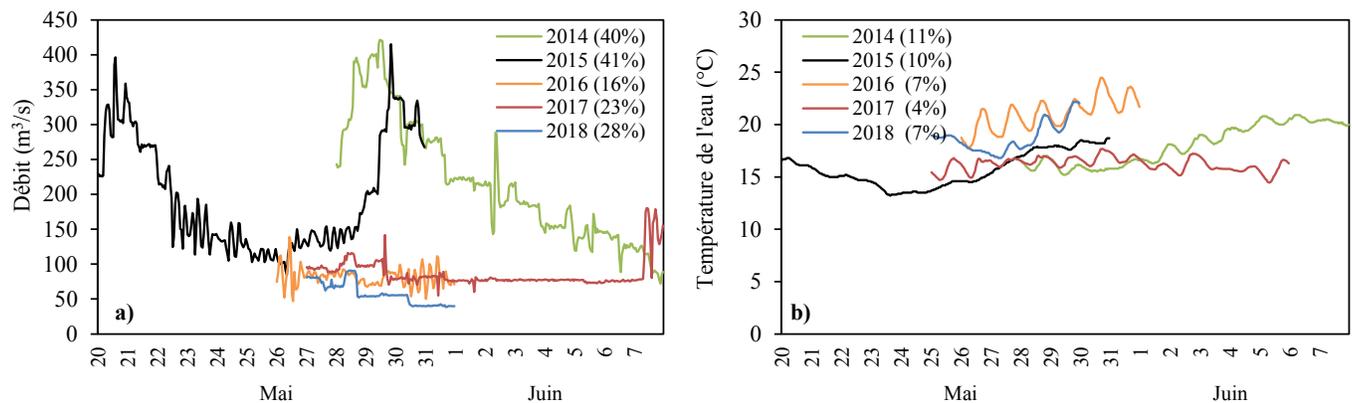


Figure 6. Débit total (a) et température de l'eau (b) quotidiens de la rivière Saint-François mesurés de 2014 à 2018 lors de la période de dérive larvaire (c.-à-d. de la première à la dernière larve capturée). Les nombres entre parenthèses représentent les coefficients de variation (%) annuels.

Relation entre le débit ainsi que la température de l'eau et l'abondance des larves

De 2014 à 2018, le débit total de la rivière et la température de l'eau pendant la période de dérive larvaire ont varié de façon hautement significative entre les années ($F_{1,4} = 314,5; p < 0,001$ et $F_{1,4} = 381,4; p < 0,001$, respectivement; figure 5a). Le débit moyen a été significativement différent d'une année à l'autre, à l'exception de 2016 et de 2017. Le débit moyen a été significativement le plus faible en 2018 et le plus fort en 2014 (figure 5a). Les printemps 2016 et 2017 ont été marqués par une plus grande stabilité des débits pendant la dérive larvaire (coefficients de variation de 16 % et de 23 % respectivement). La température moyenne de l'eau pendant la dérive larvaire a été significativement différente d'une année à l'autre. La température la plus faible et la température la plus élevée ont été mesurées en 2015 et en 2016, respectivement (figure 5b). Les CPUE moyennes pour les larves ont également varié de façon hautement significative entre les années ($\chi^2 = 20,5; p < 0,001$). Ces valeurs ont été significativement plus élevées en 2017 par rapport aux autres années, sauf en 2016, année montrant une tendance vers une valeur plus faible, mais non significativement différente des autres (figure 5c). Les figures 6a et 6b montrent les fluctuations quotidiennes de débits et de températures de l'eau pendant la période de dérive larvaire.

Discussion

Dynamique et habitat de reproduction

La présente étude confirme que l'esturgeon jaune utilise annuellement le bief aval de la centrale hydroélectrique de Drummondville, dans la rivière Saint-François, pour se reproduire. Cette frayère constitue l'un des 19 sites de reproduction connus de l'esturgeon jaune dans le fleuve Saint-Laurent, dans la portion située en aval de Beauharnois (Paradis et collab., en préparation). Huit de ces sites, dont celui de la rivière Saint-François à Drummondville, ont fait l'objet de travaux d'aménagement dans le passé (Paradis et collab., en préparation).

Trois sites de déposition d'œufs ont été identifiés sur la frayère de Drummondville : un premier en aval immédiat du déversoir (alimenté par le débit déversé), un deuxième en aval de la centrale (alimenté par le débit turbiné) et un troisième environ 500 m plus en aval, sous le pont de la route 122 (alimenté par le débit total de la rivière) (BETO, 2012; 2015; 2016a; 2018b; 2019). L'utilisation par l'esturgeon du site de déposition d'œufs situé sous le pont de la route 122, soit la frayère identifiée par La Haye et Clermont (1996), est plus marginale comparativement à ceux situés près du barrage. En effet, ce site n'est pas fréquenté sur une base annuelle, et sa superficie ainsi que l'abondance des œufs y sont plus faibles. La localisation des œufs dans les deux sites situés près du barrage montre des variabilités spatiales journalières et interannuelles. Ces fluctuations sont reliées à la répartition du débit entre le déversoir et la centrale, aux variations de débit lors de la reproduction et à leur intensité (BETO, 2012; 2015; 2016a; 2018a; 2018b; 2019). Telle que décrite en 2015, la répartition

du débit total de la rivière entre le déversoir et la centrale contribue à l'utilisation d'une plus vaste superficie d'habitat pour le dépôt des œufs (BETO, 2016a). En 2017, malgré un débit turbiné soutenu, la déposition des œufs dans le bief aval du barrage a été observée uniquement en aval du déversoir lors d'une hausse rapide de débit déversé (BETO, 2018b). De forts débits soutenus tout au long de la fraie ont aussi été associés à une plus grande superficie de frayère utilisée en 2018 (BETO, 2019). À l'inverse, les 3 sites peuvent être délaissés lors de faibles débits, comme ce fut le cas en 2016 (BETO, 2018a). Cette même année, des larves ont tout de même été capturées, ce qui suggère l'existence d'un ou de plusieurs sites de ponte inconnus à ce jour en amont du Secteur 2 (BETO, 2018a).

Comme l'indiquent les intervalles de confiance, le contingent estimé de reproducteurs à Drummondville a varié annuellement de 41 à 240 esturgeons jaunes, pour un total de 2 à 45 femelles gravides. Très peu d'estimations par CMR, intégrant une variabilité interannuelle, sont disponibles à ce jour pour les frayères d'esturgeon jaune du fleuve Saint-Laurent. Selon Paradis et collab. (en préparation), la frayère de Drummondville est qualifiée comme un site de reproduction fréquenté par un faible contingent (< 1 000 reproducteurs). On trouve dans cette catégorie les frayères des rivières L'Assomption, Ouareau, des Mille Îles, Richelieu (Chambly), Saint-Maurice et Montmorency. À titre de comparaison, la frayère de la rivière des Prairies, qui est considérée comme la plus importante pour la population d'esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent, présente un contingent de géniteurs variant de 4 163 à 7 166 individus (Fortin et collab., 2002). D'autres frayères d'envergure (> 1 000 reproducteurs) seraient présentes dans les rivières Richelieu (Saint-Ours) et Chaudière (Paradis et collab., en préparation).

Selon les contingents de reproducteurs estimés à la frayère de Drummondville, la superficie des habitats de fraie utilisés de 2012 à 2018 n'y serait pas limitante. En considérant la limite de confiance supérieure du nombre annuel de femelles, la superficie disponible par femelle se situait entre 56 m² en 2014 et 398 m² en 2017. Ces valeurs sont supérieures au critère de 13 à 48 m² par femelle suggéré par Fortin et collab. (2002) pour optimiser le taux de survie des œufs. La qualité du substrat de fraie à Drummondville n'est toutefois pas uniforme. Le site de ponte situé en aval de l'exutoire du déversoir se compose majoritairement de roche mère (BETO, 2012). Ce type de substrat n'est généralement pas associé à un habitat propice pour la reproduction (voir Kerr et collab., 2010). Inversement, le substrat des deux autres sites se compose d'un mélange, plus propice pour la fraie, de galets et de gravier parsemés de blocs (BETO, 2012). Dans le cadre de la présente étude, aucune donnée ne semble permettre d'établir de façon robuste un lien direct entre l'emplacement des sites de ponte, leurs caractéristiques et le pourcentage de succès annuel de la reproduction.

Les 3 sites de ponte se situent dans les secteurs aménagés en 2000 par Faucher et Abbot (2001). Le site de déposition d'œufs du pont de la route 122 est situé à proximité du haut fond qui a été nettoyé et agrandi et les deux autres

se trouvent dans le bief aval du barrage, où 15 abris de courant accompagnés de matériaux granulaires hétérogènes ont été aménagés (Faucher et Abbott, 2001). Il est toutefois impossible de statuer sur l'effet et sur l'intégrité structurelle de ces aménagements considérant l'absence d'état de référence avant aménagement et d'information sur la localisation précise des structures. Le barrage de Drummondville entrave cependant le transit sédimentaire dans la rivière, ce qui réduit le renouvellement de substrat propice à la fraie de l'esturgeon. L'ajout de substrat résistant aux grandes variations de débit et propice à la rétention et au développement des œufs, plus spécifiquement en aval de l'exutoire du déversoir, pourrait améliorer le succès de reproduction de l'esturgeon jaune à Drummondville (voir McLean et collab., 2015).

La production annuelle de larves issues de la frayère de Drummondville varie d'une année à l'autre d'un facteur pouvant atteindre 5 fois (de 8 953 à 44 218 larves annuellement). Cette variabilité est cohérente avec les connaissances disponibles sur la dynamique du recrutement de la population d'esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent (Dumont et collab., 2013), ainsi qu'avec celles issues d'autres systèmes comparables dans la région des Grands Lacs (Lawrence et collab., 2020).

Relation entre le débit ainsi que la température de l'eau et l'abondance des reproducteurs

La plus grande moyenne de CPUE pour les reproducteurs correspond à l'année où le débit moyen pendant la période de migration a été le plus fort, soit 826 m³/s en 2018. À l'inverse, la moyenne la plus faible a été observée en 2016, soit une année de faible débit moyen (estimé à 124 m³/s). Il est généralement reconnu qu'un appel d'eau important et constant durant la saison printanière déclenche des signaux de reproduction et stimule la migration vers l'amont de certaines espèces, comme les Acipensérédés (Auer, 1994; 1996; Kerr et collab., 2010; Kohlhörst et collab., 1991). La diminution du niveau de l'eau et du débit en période printanière peut, au contraire, retarder la montaison des esturgeons jaunes adultes (Friday et Chase, 2005) et même entraîner une relocalisation de la fraie chez d'autres espèces d'esturgeon (Paragamian et collab., 2002). Le débit, à lui seul, ne peut cependant expliquer les variations interannuelles de CPUE observées dans la présente étude pour les reproducteurs. Des conditions de débit contrastées, telles qu'observées aux printemps 2017 et 2018, n'étaient pas associées à des différences significatives dans l'abondance des reproducteurs. Le nombre de reproducteurs présents à un site de fraie pourrait plutôt être influencé par une combinaison de facteurs, tels que le débit printanier du fleuve Saint-Laurent et de ses autres tributaires, le patron d'écoulement de l'eau sur la frayère ou encore le taux de retour interannuel des reproducteurs (Forsythe et collab., 2012a; 2012b). Des taux de recapture interannuels de 0 à 15 % ont été mesurés dans le cadre de cette étude. Bien que les taux de retour interannuels puissent varier en fonction des années

et du sexe (Pledger et collab., 2013), leur estimation tend à augmenter et à se préciser en fonction du nombre croissant de poissons marqués dans la population et du temps écoulé depuis la première capture, ce qui explique les taux les plus élevés obtenus en 2017 et en 2018.

Les températures de l'eau mesurées au début de la fraye de chaque année correspondent à celles généralement documentées, soit de 11,5°C à 16,0°C (Baril et collab., 2018; Bruch et Binkowski, 2002). Cependant, aucun lien entre la valeur moyenne de CPUE pour les reproducteurs et la température de l'eau lors des 14 jours précédant la fraye n'a été établi dans la présente étude.

Relation entre le débit ainsi que la température de l'eau et l'abondance des larves

Comparativement aux autres années, le printemps 2017 a été marqué par une plus grande stabilité des débits pendant la fraye et la dérive larvaire, ainsi que par la moyenne la plus élevée de CPUE pour les larves en dérive. La seconde valeur la plus élevée d'abondance relative de larves (bien que non statistiquement différente des autres années) a été observée au printemps 2016, une année de débit moyen intermédiaire et semblable à celui de 2017 (86,08 m³/s). La période de dérive larvaire de 2016 a cependant été caractérisée par de nombreuses variations d'amplitude modérée. En 2018, malgré le nombre élevé de reproducteurs et d'œufs capturés, la moyenne de CPUE pour les larves en dérive a été une des plus faibles (BETO, 2019). En 2018, le débit était fort pendant la fraye, mais faible pendant la dérive larvaire. De forts débits combinés à de grandes variations pourraient déloger les œufs et les larves de leur substrat d'incubation (Kerr et collab., 2010; Swanson et collab., 1990), notamment dans des conditions de substrat sous-optimales (Peake, 2006). Comme c'est le cas en aval de l'exutoire du déversoir de la centrale de Drummondville (substrat composé essentiellement de roc), il est possible que des conditions d'écoulement stables et modérées favorisent une meilleure survie des œufs et ultimement, une plus grande production larvaire. D'Amours et Dion (2018) ont observé, dans la rivière Rupert, une relation négative entre la vitesse d'écoulement pendant la dérive larvaire et le nombre de larves capturées. De plus, la majorité des larves dénombrées dans le cadre de la présente étude avaient résorbé leur sac vitellin, suggérant une alimentation exogène au moment de la capture (BETO, 2016). Puisque les larves d'esturgeon jaune ont une capacité natatoire limitée au cours des premières semaines de vie et qu'elles s'alimentent principalement de macro-invertébrés qui dérivent, des conditions d'écoulement stables et modérées pourraient favoriser leur alimentation (COSEPAC, 2006; D'Amours et Dion, 2018; Kempinger, 1996). Un trop faible débit peut toutefois limiter la capture de larves en dérive en empêchant le fonctionnement optimal des filets, comme cela a été constaté en 2018 alors que plusieurs filets se rabattaient au fond en périphérie de la veine d'eau principale, ce qui a pu contribuer à sous-estimer la production larvaire dans ces conditions (voir BETO, 2019).

Contrairement à ce qui a été documenté dans d'autres systèmes, aucun lien n'a été établi entre la température de la rivière Saint-François et les CPUE pour les larves en dérive. Dans la rivière Rupert, des températures de l'eau inférieure à 17°C pendant la dérive larvaire favorisaient la survie des larves (D'Amours et Dion, 2018). Dans la rivière Saint-François, la plus grande abondance relative de larves (2017) correspond à la seconde année la plus froide, alors que la deuxième plus forte abondance (2016) est associée à l'année la plus chaude (figure 5). Même si la température de l'eau peut influencer le développement des œufs, ainsi que la survie des larves (Wang et collab., 1985), ce sont généralement les conditions hydrologiques qui constituent le principal facteur influençant le nombre de larves dérivantes (Auer et Baker, 2002; Krieger et collab., 2018; Verdon et collab., 2013). C'est aussi ce que suggèrent les résultats de la présente étude.

Implications pour la gestion de la ressource

Les travaux sur l'esturgeon jaune réalisés dans la rivière Saint-François de 2012 à 2018 ont permis d'orienter plusieurs décisions de gestion visant la protection de l'espèce. Malgré l'interdiction de pêche à l'esturgeon en vigueur dans le secteur à l'étude, plusieurs captures de cette espèce (intentionnelles ou non) ont été observées à la frayère de Drummondville. Une démarche impliquant les agents de protection de la faune et les biologistes du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) ainsi que le BETO a mené, en 2017, à la création d'une zone d'interdiction totale de pêche durant la période de reproduction de l'esturgeon, soit du 1^{er} avril au 14 juin. La même année, cette réglementation a aussi été appliquée à la frayère d'esturgeon jaune de la rivière Saint-Maurice, située en aval du barrage de la Gabelle, en raison d'une problématique similaire.

Deux événements ont mené à la mise en œuvre d'un plan de gestion des débits des centrales hydroélectriques de Drummondville et de la Chute-Hemmings, qui prend en compte les besoins de l'esturgeon jaune. D'une part, un épisode de mortalité de poissons, majoritairement composés de chevaliers blancs (*Moxostoma anisurum*) et de chevaliers rouges (*Moxostoma macrolepidotum*), est survenu en 2013 en aval du déversoir du barrage de Drummondville à la suite d'une coupure du débit déversé ayant entraîné la formation de cuvettes isolées et anoxiques. D'autre part, en 2016, le rehaussement du niveau d'eau en amont du barrage de la Chute-Hemmings (opération effectuée sur une base annuelle) a entraîné un assèchement partiel du cours inférieur de la rivière Saint-François pendant plus de 24 heures, et ce, en période de déposition d'œufs. Après cet assèchement, aucun œuf d'esturgeon jaune n'a été récolté aux 3 sites de ponte connus malgré la capture de reproducteurs en aval du barrage. Des larves ont tout de même été capturées. Depuis 2017, un plan de gestion des débits est appliqué par Hydro-Québec du 1^{er} avril au 15 juin. Il comprend un débit réservé printanier à la centrale de la Chute-Hemmings afin d'éviter l'assèchement des

habitats présents en aval, notamment la frayère d'esturgeon jaune, ainsi qu'un débit minimal déversé par le barrage de Drummondville afin d'éviter la formation de cuvettes isolées en aval du déversoir. Ce plan contribue à la protection des activités de reproduction de l'esturgeon et de plusieurs autres espèces qui utilisent les mêmes habitats pour la reproduction, dont le doré jaune (*Sander vitreus*), la laquaiche argentée (*Hiodon tergisus*), le chevalier blanc, le chevalier rouge, le meunier noir (*Catostomus commersonii*) et l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*).

La mise en place du plan de gestion des débits par Hydro-Québec aux deux centrales hydroélectriques de Drummondville constitue un premier pas vers une amélioration de la gestion des débits de la rivière Saint-François. Les analyses réalisées lors de la présente étude suggèrent qu'un débit total fort lors de la montaison (de la mi-avril à la mi-mai) contribuerait à une plus grande présence de reproducteurs à la frayère de Drummondville, tandis qu'un débit stable d'environ 85 m³/s pendant la dérive larvaire (de la mi-mai à la mi-juin) favoriserait une plus grande abondance de larves dérivantes. Une étude sur les variations de débits à l'échelle du bassin versant (Clément-Robert et collab., 2016) et une autre plus spécifique à la centrale de la Chute-Hemmings (BETO, 2016b) ont identifié cet ouvrage comme étant la principale source des variations de débit mesurées à la frayère de Drummondville. Certaines fluctuations de débit de la rivière Saint-François pendant la période d'incubation des œufs d'esturgeon jaune et de dérive larvaire pourraient être évitées ou amoindries par une amélioration de la gestion des centrales hydroélectriques de Drummondville et de la Chute-Hemmings (BETO, 2016b; 2018a; 2018b; 2019), ainsi que par d'autres ouvrages de contrôle de l'eau situés dans le bassin versant (Clément-Robert et collab., 2016). Une réflexion approfondie sur la gestion du débit de la rivière Saint-François serait souhaitable et devrait impliquer l'ensemble des gestionnaires d'ouvrage de contrôle du bassin versant.

Conclusion

Les résultats de cette étude suggèrent que l'abondance de l'esturgeon jaune en période de reproduction dans la rivière Saint-François, en aval du barrage de Drummondville, est influencée positivement par le débit de la rivière pendant la période de migration des esturgeons adultes. Toutefois, aucun lien n'a été établi entre le contingent de reproducteurs à cette frayère et la production de larves, ce qui suggère que plusieurs facteurs influencent individuellement ou conjointement la survie des œufs et des larves après la reproduction. Les facteurs hydrologiques se sont avérés déterminants dans le choix des habitats de fraye et la production de larves en dérive. Les larves ont été les plus abondantes lorsque les débits étaient stables et que les niveaux d'eau étaient intermédiaires durant la reproduction. Les résultats issus de ce projet permettent d'orienter la gestion du débit et de la pêche pour améliorer la conservation de l'esturgeon jaune de la rivière Saint-François.

Ce projet démontre aussi la pertinence d'impliquer les communautés autochtones dans le développement de connaissances scientifiques. L'embauche et la formation de nombreux membres des Premières Nations, demeurés soudés à la culture abénakise, ont permis le partage de savoirs technique, scientifique, traditionnel et de ressources humaines qui ont contribué à la réussite du projet tout en permettant de développer l'intérêt et les compétences de la communauté dans le domaine des sciences halieutiques. En plus d'avoir favorisé la conservation d'une espèce emblématique pour la Nation, les partenariats établis avec les gouvernements provincial et fédéral, ainsi qu'Hydro-Québec, ont contribué à consolider le BETO. Ce bureau du Conseil des Abénakis d'Odanak se dévoue depuis à l'étude et à la protection de l'environnement.

Remerciements

Ce projet a été financé par le Fonds autochtone pour les espèces en péril de Pêches et Océans Canada, ainsi que par la Fondation de la Faune du Québec. Nous tenons d'abord à remercier le personnel du BETO, en particulier Luc G. Nolett et Christopher Coughlin, le Conseil des Abénakis d'Odanak, ainsi que tous les membres de la communauté ayant participé au projet et sans qui il n'aurait jamais été réalisé. Merci également aux différents organismes et personnes qui ont participé à l'élaboration et au soutien du projet, Dr Carl Uhland, Hydro-Québec, le MFFP, les firmes Enviro-Science et Faune et Aecom, ainsi que la Ville de Drummondville. Nous soulignons également la contribution de l'équipe éditoriale du *Naturaliste canadien* et de deux réviseurs anonymes pour leurs commentaires constructifs qui ont permis d'améliorer le manuscrit. ◀

Le Bureau environnement et terre d'Odanak (BETO ; Mziaow8gan ta Aki) est un département du Conseil des Abénakis d'Odanak qui, depuis 2007, se consacre à l'étude et à la protection de l'environnement. Au fil des ans, le BETO a participé et a développé de nombreux projets en lien avec des espèces en péril ou ayant une importance significative pour la Nation Waban-Aki (inventaires, aménagements d'habitat, recherche, éducation). Ces travaux ont permis de développer de nombreux partenariats et de faire valoir les valeurs de la Nation Waban-Aki tout en permettant la consolidation et la pérennité d'une équipe multidisciplinaire consacrée à la Terre-Mère.

Références

- AUER, N.A., 1994. Effects of change in operation of a small hydroelectric facility on spawning characteristics of lake sturgeon. *Lake and Reservoir Management*, 9: 52-53.
- AUER, N.A., 1996. Response of spawning lake sturgeons to change in hydroelectric facility operation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 125: 66-77. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1996\)125%3C0066:ROSLST%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1996)125%3C0066:ROSLST%3E2.3.CO;2).
- AUER, N.A. et A. BAKER, 2002. Duration and drift of larval lake sturgeon in the Sturgeon River, Michigan. *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 557-564. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00393.x>.
- BARIL, A.-M., J.T. BUSZKIEWICZ, P.M. BIRON, Q.E. PHELPS et J.W.A. GRANT, 2018. Lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) spawning habitat: A quantitative review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75: 925-933. <http://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0100>.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER et S. WALKER, 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67: 1-48. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2012. Restauration de l'esturgeon jaune dans le bassin inférieur de la rivière Saint-François. Bureau environnement et terre d'Odanak et Aecom, Odanak, 55 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2012.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2012.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2014. Restauration de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) dans le bassin inférieur de la rivière Saint-François. Capture-marquage-recapture et utilisation du cours inférieur de la rivière Saint-François en période estivale. Bureau environnement et terre d'Odanak et Aecom, Odanak, 44 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2014.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2013.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2015. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2014. Bureau environnement et terre d'Odanak et Enviro Science et Faune inc., Odanak, 42 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2015.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2014.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2016a. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2015. Bureau environnement et terre d'Odanak et Enviro Science et Faune inc., Odanak, 38 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2016.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2015.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2016b. Analyse des facteurs naturels et anthropiques des variations de débit de la rivière Saint-François en aval du barrage de Drummondville — 2014-2015. Bureau environnement et terre d'Odanak, Odanak, 7 p.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2018a. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2016. Bureau environnement et terre d'Odanak et Enviro Science et Faune inc., Odanak, 38 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2018.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2016.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2018b. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2017. Bureau environnement et terre d'Odanak et Enviro Science et Faune inc., Odanak, 44 p. Disponible en ligne à : https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-2018.-Esturgeon_Drummondville_Odanak_2017.pdf.
- [BETO] BUREAU ENVIRONNEMENT ET TERRE D'ODANAK, 2019. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2018. Bureau environnement et terre d'Odanak, Odanak, 33 p. Disponible en ligne à : <https://caodanak.com/wp-content/uploads/2018/10/BETO-Bureau-environnement-et-terre-dOdanak-2019-%C3%89valuation-du-succ%C3%A8s-de-reproduction-de-l%E2%80%99esturgeon-jaune.pdf>.
- BRUCH, R.M. et F.P. BINKOWSKI, 2002. Spawning behavior of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 570-579. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00421.x>.
- CLÉMENT-ROBERT, G., S. GINGRAS, M. PELLERIN, et R. POIRIER, 2016. Enquête sur les sources de variation de débits de la rivière Saint-François durant la période de fraie de l'esturgeon jaune. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 88 p.
- COOCH, E.G. et G.C. WHITE, 2014. Program MARK—'A gentle introduction'. Disponible en ligne à : <http://www.phidot.org/software/mark/docs/book>.

- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2006. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) au Canada — Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, 124 p. Disponible en ligne à : https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/virtual_sara/files/cosewic/sr_Lake_Sturgeon_0807_f.pdf.
- DAMMERMAN, K.J., J.P. STEIBEL et K.T. SCRIBNER, 2015. Genetic and environmental components of phenotypic and behavioral trait variation during lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) early ontogeny. *Environmental Biology of Fishes*, 98: 1659-1670. <https://doi.org/10.1007/s10641-015-0392-6>.
- D'AMOURS, J. et R. DION, 2018. Juvenile lake sturgeon monitoring and determinants of year-class strength in the Rupert River, mid-northern Québec, Canada. *Journal of Applied Ichthyology*, 35: 344-354. <https://doi.org/10.1111/jai.13748>.
- DUMONT, P., J. D'AMOURS, S. THIBODEAU, N. DUBUC, R. VERDON, S. GARCEAU, P. BILODEAU, Y. MAILHOT et R. FORTIN, 2011. Effects of the development of a newly created spawning ground in the Des Prairies River (Québec, Canada) on the reproductive success of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 394-404. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01718.x>.
- DUMONT, P., Y. MAILHOT et N. VACHON, 2013. Révision du plan de gestion de la pêche commerciale de l'esturgeon jaune dans le fleuve Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 127 p. Disponible en ligne à : <https://mern.gouv.qc.ca/publications/monteregie/esturgeon-jaune.pdf>.
- FAUCHER, R. et M. ABBOT, 2001. Restauration d'habitats propices à la reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François — secteur Drummondville. Bilan des travaux 1999-2001. GDG Conseil inc. et ABBOTT Experts-conseils, 10 p.
- FORSYTHE, P.S., K.T. SCRIBNER, J.A. CROSSMAN, A. RAGAVENDRAN, E.A. BAKER, C. DAVIS et K.K. SMITH, 2012a. Environmental and lunar cues are predictive of the timing of river entry and spawning-site arrival in lake sturgeon *Acipenser fulvescens*. *Journal of Fish Biology*, 81: 35-53. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03308.x>.
- FORSYTHE, P.S., J.A. CROSSMAN, N.M. BELLO, E.A. BAKER, K.T. SCRIBNER et W. TONN, 2012b. Individual-based analyses reveal high repeatability in timing and location of reproduction in lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69: 60-72. <https://doi.org/10.1139/f2011-132>.
- FORSYTHE, P.S., K.T. SCRIBNER, J.A. CROSSMAN, A. RAGAVENDRAN et E.A. BAKER, 2013. Experimental assessment of the magnitude and sources of lake sturgeon egg mortality. *Transactions of the American Fisheries Society*, 142: 1005-1011. <https://doi.org/10.1080/00028487.2013.790847>.
- FORTIN, R., S. GUÉNETTE et P. DUMONT, 1992. Biologie, exploitation, modélisation et gestion des populations d'esturgeons jaunes (*Acipenser fulvescens*) dans 14 réseaux de lacs et de rivières du Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Québec, 213 p.
- FORTIN, R., J. D'AMOURS et S. THIBODEAU, 2002. Effets de l'aménagement d'un nouveau secteur de frayère sur l'utilisation du milieu en période de fraie et sur le succès de reproduction de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) à la frayère de la rivière des Prairies. Université du Québec à Montréal, Montréal, 131 p.
- FRIDAY, M.J. et M.E. CHASE, 2005. Biology and management of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in the Kaministiquia River. Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, 45 p.
- GARCEAU, S. et P. BILODEAU, 2004. La dérive larvaire de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) à la rivière des Prairies aux printemps 2002 et 2003. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 21 p. Disponible en ligne à : <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs66784>.
- HAXTON, T.J. et C.S. FINDLAY, 2008. Variation in lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) abundance and growth among river reaches in a large regulated river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 645-657. <https://doi.org/10.1139/f08-005>.
- HAXTON, T.J. et C.S. FINDLAY, 2009. Variation in large-bodied fish-community structure and abundance in relation to water-management regime in a large regulated river. *Journal of Fish Biology*, 74: 2216-2238. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02226.x>.
- HAXTON, T.J., M. FRIDAY, T. CANO et C. HENDRY, 2015. Assessing the magnitude of effect of hydroelectric production on lake sturgeon abundance in Ontario. *North American Journal of Fisheries Management*, 35: 930-941. <https://doi.org/10.1080/02755947.2015.1074962>.
- JOHNSON, J.H., S.R. LAPAN, R.M. KLINDT et A. SCHIAVONE, 2006. Lake sturgeon spawning on artificial habitat in the St. Lawrence River. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 465-470. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00812.x>.
- KEMPINGER, J.J., 1996. Habitat, growth, and food of young lake sturgeons in the Lake Winnebago system, Wisconsin. *North American Journal of Fisheries Management*, 16: 102-114.
- KERR, S.J., M.J. DAVISON et E. FUNNELL, 2010. A review of lake sturgeon habitat requirements and strategies to protect and enhance sturgeon habitat. Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, 58 p.
- KOHLHORST, D.W., L.W. BOTSFORD, J.S. BRENNAN et G.M. CAILLIET, 1991. Aspects of the structure and dynamics of an exploited central California population of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). Dans : WILLIOT, A.P. (éd.). *Proceedings of the first international symposium on sturgeon*, Bordeaux, p. 277-294.
- KRIEGER, J.R., R.T. YOUNG et J.S. DIANA, 2018. Evaluation and comparison of a habitat suitability model for postdrift larval lake sturgeon in the St. Clair and Detroit Rivers. *North American Journal of Fisheries Management*, 38: 1091-1104. <https://doi.org/10.1002/nafm.10217>.
- LA HAYE, M. et S. CLERMONT, 1996. Localisation d'une frayère à esturgeon jaune dans le cours inférieur de la rivière Saint-François. Association des pêcheurs commerciaux du lac Saint-Pierre, Notre-Dame-de-Pierreville, 15 p.
- LAAKE, J.L., 2013. RMark: An R interface for analysis of capture-recapture data with MARK. Disponible en ligne à : <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/Publications/ProcRpt/PR2013-01.pdf>.
- LAWRENCE, D.A., R.F. ELLIOTT, M.C. DONOFRIO et P.S. FORSYTHE, 2020. Larval lake sturgeon production and drift behaviour in the Menominee and Oconto Rivers, Wisconsin. *Ecology of Freshwater Fish*. <https://doi.org/10.1111/eff.12549>.
- LENTH, R.V., 2016. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69: 1-33. <https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01>.
- MAILHOT, Y., P. DUMONT et N. VACHON, 2011. Management of the lake sturgeon *Acipenser fulvescens* population in the lower St. Lawrence River (Québec, Canada) from the 1910s to the present. *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 405-410. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01727.x>.
- MCCLEAN, M., E.F. ROSEMAN, J.J. PRITT, G. KENNEDY et B.A. MANNY, 2015. Artificial reefs and reef restoration in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 41: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.021>.
- NILO, P., P. DUMONT et R. FORTIN, 1997. Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St. Lawrence Riverlake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 774-780. <https://doi.org/10.1139/f96-330>.
- OUELLET, G. et R. FAUCHER, 2002. Restauration d'habitats propices à la reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François — secteur Drummondville. Suivi de l'utilisation des frayères aménagées — printemps 2002. Alliance Environnement, GDG Conseil inc. et Daniel Arbour & Associés, 19 p.
- PARADIS, Y., S. BERNATCHEZ, É. VALIQUETTE, M. MINGELBIER, D. HATIN, P. BRODEUR, É. PAQUIN, C. CÔTÉ, L. L'ITALIEN, T. CALVÉ, J.-P. HAMEL, M. BÉLANGER et T. J. HAXTON, en préparation. A review of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) spawning sites in the Lower St. Lawrence and Ottawa Rivers systems.
- PARAGAMIAN, V., V. WAKKINEN et G. KRUSE, 2002. Spawning locations and movement of Kootenai River white sturgeon. *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 608-616. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00397.x>.

- PEAKE, S.J., 2006. The effect of water velocity on adhesion and survival of lake sturgeon eggs in an experimental raceway. Présentation à la Great Lakes Lake Sturgeon Coordination Meeting, Sault Ste. Marie, Michigan. Disponible en ligne à : https://www.fws.gov/midwest/sturgeon/documents/2006-2_Steve_Peake_Velocity_Adhesion.pdf.
- PINHEIRO, J., D. BATES, S. DEBROY et D. SARKAR, 2018. R Core Team. 2018. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3. 1-137. Disponible en ligne à : <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>.
- PLEDGER, S., E. BAKER et K. SCRIBNER, 2013. Breeding return times and abundance in capture-recapture models. *Biometrics*, 69: 991-1001. <https://doi.org/10.1111/biom.12094>.
- R CORE TEAM, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en ligne à : <https://www.R-project.org/>.
- SCHWARZ, C.J. et A.N. ARNASON, 1996. A general methodology for the analysis of capture-recapture experiments in open populations. *Biometrics*, 52: 860-873. <https://doi.org/10.2307/2533048>.
- SWANSON, G.M., K.R. KANSAS et S.M. MATKOWSKI, 1990. A report on the fisheries resources of the lower Nelson River and the impacts of hydroelectric development. Manitoba Department of Natural Resources, Winnipeg, 260 p.
- VERDON, R., J.C. GUAY, M. LA HAYE, M. SIMONEAU, A. CÔTÉ-BHERER, N. OUELLET et M. GENDRON, 2013. Assessment of spatio-temporal variation in larval abundance of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in the Rupert River (Québec, Canada), using drift nets. *Journal of Applied Ichthyology*, 29: 15-25. <https://doi.org/10.1111/jai.12088>.
- WANG, Y.L., F.P. BINKOWSKI et S.I. DOROSHOV, 1985. Effect of temperature on early development of white and lake sturgeon, *Acipenser transmontanus* and *A. fulvescens*. *Environmental Biology of Fishes*, 14: 43-50.
- WARANIAK, J.M., E.A. BAKER et K.T. SCRIBNER, 2018. Molecular diet analysis reveals predator-prey community dynamics and environmental factors affecting predation of larval lake sturgeon *Acipenser fulvescens* in a natural system. *Journal of Fish Biology*, 93: 616-629. <https://doi.org/10.1111/jfb.13726>.
- WASSINK, L., U. BUSSY, W. LI et K. SCRIBNER, 2019. High-stress rearing temperature in *Acipenser fulvescens* affects physiology, behaviour and predation rates. *Animal Behaviour*, 157: 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.09.005>.



Groupe Hemispheres
L'heure juste en environnement



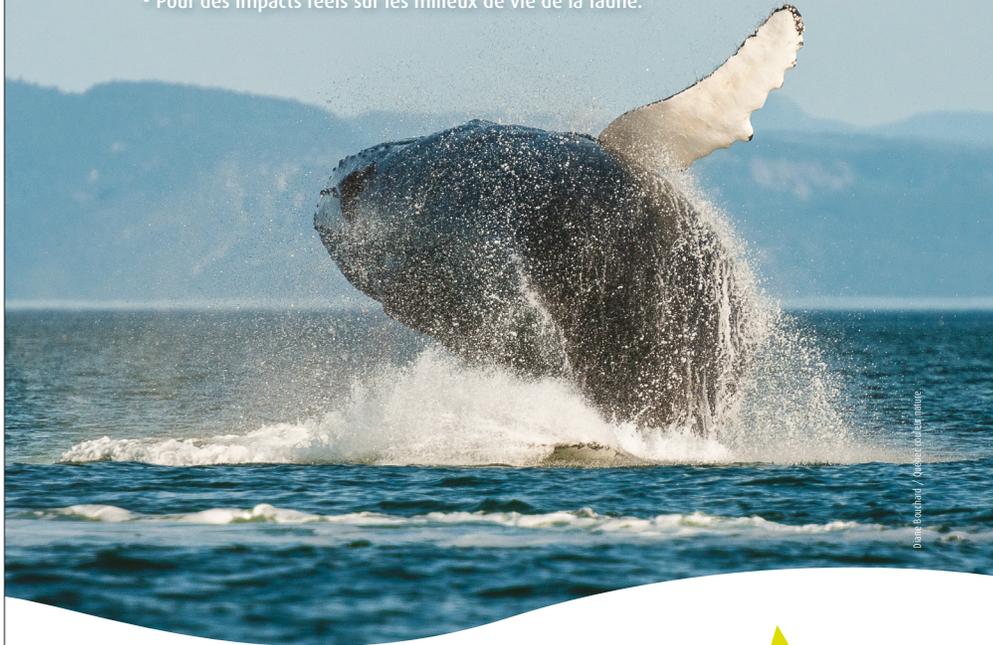
-  Évaluation environnementale
-  Gestion écologique du territoire
-  Conservation des lacs et cours d'eau

QUÉBEC MONTRÉAL LÉVIS www.hemis.ca
SANS FRAIS 1 866 569-7140 info@hemis.ca

LA FAUNE, notre mission, notre passion !

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, **239 projets** de conservation de la faune ont été soutenus en 2020-2021 !

- Des initiatives réalisées par des organismes du milieu ;
- Sélectionnées avec rigueur par des experts ;
- Pour des impacts réels sur les milieux de vie de la faune.



Dominic Fontenay / Agence de la nature

› **Faites partie du mouvement faunique !**

Faites un don :
www.fondationdelafaune.qc.ca



Fondation
de la faune
du Québec



**Gestion privée
de patrimoine**^{INC}

Gervais Comeau, Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca • gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE

Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>