



Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2018.

Janvier 2019





Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2018.

Janvier 2019

Référence à citer

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.* Rapport préparé par Samuel Dufour-Pelletier et Joannie Beaupré pour le Conseil des Abénakis d'Odanak. 33 pages et annexes.

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Directeur de projet, Bureau environnement et terre d'Odanak (BETO)

Samuel Dufour-Pelletier, biologiste, M. Sc. (BETO)

Compilation, analyse et rédaction

Samuel Dufour-Pelletier

Joannie Beaupré, biologiste, B. Sc. (BETO)

Relevés terrain

Samuel Dufour-Pelletier

Luc G. Nolett, technicien (BETO)

Evelyne Benedict, aide terrain (BETO)

Christopher Coughlin, aide terrain (BETO)

Émile Gariéry, stagiaire en biologie (BETO)

Michel La Haye, ichtyologue, M. Sc., Enviro Science et Faune inc.

Carl F. Uhland, vétérinaire

Travaux de laboratoire

Denise Panadis, tri en laboratoire (communauté d'Odanak)

Diane Nolett, tri en laboratoire (communauté d'Odanak)

Cartographie

Samuel Dufour-Pelletier

Révision

Hugo Mailhot-Couture, biologiste B. Sc., DGE (Grand Conseil de la Nation Waban-Aki)

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| ÉQUIPE DE TRAVAIL | 1 |
| TABLE DES FIGURES..... | 3 |
| TABLE DES TABLEAUX | 4 |
| TABLE DES CARTES | 5 |
| RÉSUMÉ | 6 |
| MISE EN CONTEXTE..... | 7 |
| MATÉRIEL ET MÉTHODES | 9 |
| ZONE D'ÉTUDE | 9 |
| ÉCHANTILLONNAGE ET TRAVAUX TERRAIN | 9 |
| <i>Évolution de la température de l'eau, du débit et de l'activité de fraye</i> | 9 |
| <i>Suivi des sites de dépôt d'œufs</i> | 9 |
| <i>Capture et manipulation des reproducteurs</i> | 10 |
| <i>Capture de larves dérivantes.....</i> | 11 |
| <i>Profil hydraulique.....</i> | 11 |
| <i>Correction des débits déversés.....</i> | 12 |
| ANALYSE DES DONNÉES..... | 14 |
| <i>Abondance des géniteurs.....</i> | 14 |
| <i>Abondance des larves dérivantes.....</i> | 15 |
| <i>Évaluation du succès reproducteur</i> | 15 |
| RÉSULTATS..... | 16 |
| DÉBUT DES TRAVAUX TERRAIN | 16 |
| SUIVI DES SITES DE DÉPÔT D'ŒUFS | 16 |
| ESTIMATION DU NOMBRE DE REPRODUCTEURS, DE LARVES DÉRIVANTES ET DU SUCCÈS REPRODUCTEUR..... | 19 |
| INFLUENCE DES DÉBITS | 23 |
| DISCUSSION | 25 |
| DYNAMIQUE DE FRAYE DES ESTURGEONS JAUNES AU PRINTEMPS 2018 | 25 |
| SUCCÈS REPRODUCTEUR..... | 26 |
| GESTION DES DÉBITS..... | 28 |
| CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET REMERCIEMENTS | 30 |
| RÉFÉRENCES..... | 31 |
| ANNEXE 1..... | 34 |
| ANNEXE 2..... | 35 |
| ANNEXE 3..... | 36 |
| ANNEXE 4..... | 37 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| FIGURE 1. REPRÉSENTATION DU PROFIL HYDRAULIQUE RÉALISÉ LE 5 JUIN POUR A) LE SOUS-SECTEUR D ET B) LE SOUS-SECTEUR E (SECTEUR 2). CHAQUE POINT NOIR REPRÉSENTE UN POINT D'ÉCHANTILLONNAGE ET CHAQUE COULEUR REPRÉSENTE UN REGROUPEMENT DE SECTIONS. LES SECTIONS SANS COULEURS N'ONT ÉTÉ ASSOCIÉES À AUCUN ENGIN DE PÊCHE (CERCLES). | 13 |
| FIGURE 2. STRUCTURE DE BASE D'UN PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE DE TYPE <i>ROBUST DESIGN</i> (ADAPTÉ DE COOCH ET WHITE 2014). | 14 |
| FIGURE 3. MOYENNE QUOTIDIENNE DU NOMBRE DE LARVES D'ESTURGEON JAUNE DÉRIVANTES PAR $100\text{ m}^3/\text{s}$ (CPUE MOYEN) ET DÉBIT JOURNALIER AU SECTEUR 2. LES ÉTOILES REPRÉSENTENT L'ESTIMATION DU NOMBRE DE LARVES AYANT DÉRIVÉ QUOTIDIENNEMENT AU SECTEUR 2 (N_i). | 20 |
| FIGURE 4. TEMPÉRATURE DE L'EAU (VIOLET), DÉBITS TOTAL (VERT), DÉVERSÉ (ROUGE) ET TURBINÉ (BLEU) À LA CENTRALE DE DRUMMONDVILLE ENTRE LE 6 MAI ET LE 6 JUIN 2018. LA TEMPÉRATURE A ÉTÉ MESURÉE PAR UN THERMOGRAPHE INSTALLÉ EN AMONT DE LA CENTRALE DE LA CHUTE-HEMMINGS. LA LIGNE HORIZONTALE POINTILLÉE REPRÉSENTE LE DÉBIT TOTAL MINIMAL DE $75\text{ m}^3/\text{s}$ CIBLÉ EN PÉRIODE DE RESTRICTION DES POISSONS..... | 24 |

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1. NOMBRE D'ŒUFS D'ESTURGEON JAUNE CAPTURÉS À L'AIDE D'OVOCAPTEURS (CPUE; NOMBRE/24H) PAR DATE ET PAR SOUS-SECTEUR. SEULEMENT LES DATES DE LA PÉRIODE ACTIVE DE FRAYE (C.-À-D. 1 ^{ER} ŒUF RÉCOLTÉ JUSQU'AU DERNIER) SONT PRÉSENTÉES ET ONT ÉTÉ UTILISÉES POUR LE CALCUL DE CPUE TOTAL. | 17 |
| TABLEAU 2. NOMBRE D'ESTURGEONS JAUNES CAPTURÉS À L'AIDE DE FILETS MAILLANTS EN FONCTION DE LA DATE ET DU SEXE. LA VALEUR DE CPUE (NOMBRE/H) A ÉTÉ CALCULÉE EN UTILISANT L'EFFORT TOTAL PAR JOUR (C.-À-D. TOUS FILETS CONFONDUS). LES RECAPTURES DE LA MÊME JOURNÉE ONT ÉTÉ OMISES..... | 19 |
| TABLEAU 3. NOMBRE DE LARVES CAPTURÉES ET ESTIMATION DU NOMBRE DE LARVES DÉRIVANTES, DE FEMELLES PRÉSENTES ET DU SUCCÈS REPRODUCTEUR SELON LA MÉTHODE DE SCHNABEL ET LA MÉTHODE DU <i>MAXIMUM LIKELYHOOD</i> , FRAYÈRE DE DRUMMONDVILLE, PRINTEMPS 2014 À 2018. | 20 |

TABLE DES CARTES

| | |
|--|----|
| CARTE 1. AIRE D'ÉTUDE POUR LE SUIVI DE FRAYE DE L'ESTURGEON JAUNE DANS LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS AU PRINTEMPS 2018. LES ENCADRÉS NOIRS ET BLANCS REPRÉSENTENT RESPECTIVEMENT LES SECTEURS ET LES SOUS-SECTEURS..... | 10 |
| CARTE 2. POSITION DES OVOCAPTEURS ET NOMBRE D'ŒUFS D'ESTURGEON JAUNE CAPTURÉS (CPUE; NOMBRE/24H) AU <i>SECTEUR 1</i> . SEULEMENT LA PÉRIODE ACTIVE DE FRAYE (C.-À-D. 1 ^{ER} ŒUF RÉCOLTÉ JUSQU'AU DERNIER) A ÉTÉ UTILISÉE AFIN DE CALCULER LES VALEURS DE CPUE POUR LES OVOCAPTEURS. LA TAILLE DES SYMBOLES EST PONDÉRÉE EN FONCTION DE LA VALEUR DE CPUE..... | 18 |
| CARTE 3. LOCALISATION DES FILETS MAILLANTS ET CPUE (NOMBRE/H) D'ESTURGEONS JAUNES REPRODUCTEURS AU <i>SECTEUR 1</i> . LA TAILLE DES SYMBOLES EST PONDÉRÉE EN FONCTION DE LA VALEUR DE CPUE ET LE CHIFFRE EN INDICE REPRÉSENTE LE NOMBRE ABSOLU DE CAPTURES TOTAL PAR FILET. | 21 |
| CARTE 4. LOCALISATION DES FILETS DE DÉRIVE CONIQUE POUR LA CAPTURE DE LARVES DÉRIVANTES AU <i>SECTEUR 2</i> . LE CHIFFRE EN INDICE REPRÉSENTE LA VALEUR DE CPUE (NOMBRE/24H) CALCULÉ POUR LA PÉRIODE DE DÉRIVE (C.-À-D. 1 ^{RE} LARVE RÉCOLTÉE JUSQU'À LA DERNIÈRE). | 22 |

RÉSUMÉ

Entre le 10 mai et le 5 juin 2018 s'est déroulée la dernière d'une série de six campagnes d'échantillonnage qui avaient pour but de suivre la fraye de l'esturgeon jaune (*Acipenser fluvescens*) dans le bief aval de la centrale hydroélectrique de Drummondville. L'objectif principal pour 2018 était d'évaluer l'effet des directives d'exploitation d'Hydro-Québec (HQ), commandées par le Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs (MFFP), sur le succès de reproduction de cette espèce. Ces directives exigent que le débit total s'écoulant à la centrale de la Chute-Hemmings soit d'au moins 75 m³/s et qu'un minimum de 20 m³/s déverse en tout temps sur la crête avoisinant la centrale de Drummondville, et ce, pour la période du 1^{er} avril au 15 juin inclusivement. Pour ce faire, nous avons réalisé le suivi des sites de dépôt d'œufs, estimé le nombre de reproducteurs et de larves dérivantes et évalué le succès reproducteur. Au printemps 2018, la rivière Saint-François a subi une crue intense et prolongée, en rapport aux années antérieures, ce qui a forcé l'ajustement spatial du plan d'échantillonnage et entraîné l'ajout de nouveaux sous-secteurs. La fraye s'est déroulée du 12 au 16 mai à des températures allant de 12 à 14,6°C. Dans les *sous-secteurs A, G et F*, 695 œufs ont été prélevés à l'aide d'ovocapteurs. Aucun œuf n'a été prélevé aux *sous-secteurs B et P122*. Au total, 93 esturgeons différents, dont 72 mâles, 11 femelles et 10 de sexe indéterminé ont été capturés entre le 13 et le 16 mai. Douze individus ont été recapturés, ce qui a permis d'estimer la population de reproducteurs à 170 mâles (IC 95% 94-494), 110 femelles (IC 95% 34-434) et 110 de sexe indéterminé (IC 95% 34-434). Du 27 au 31 mai, 33 larves ont été capturées dans le *Secteur 2*, suggérant que 8 563 larves auraient dérivé. Le succès reproducteur pour l'esturgeon jaune au printemps 2018 à la frayère de Drummondville a donc été évalué à 0,08 % (IC 95% 0,02 – 0,25), ce qui en fait la valeur la plus faible depuis le début du suivi. Cela peut être attribuable à différentes raisons telles que les imprécisions méthodologiques lors des différentes estimations, une mortalité accrue des œufs due à une forte densité de femelles sur des sites de ponte restreint, une forte crue condensée dans le déversoir chevauchant la période de fraye et offrant ainsi des conditions de développement stressantes pour les œufs et, finalement, la décroissance rapide du débit en deçà sur seuil exigé de 75 m³/s qui a pu compromettre à la fois la dérive larvaire ainsi que l'efficacité des engins de pêche. Afin de limiter toutes pressions hydrauliques supplémentaires et de respecter les modalités de gestions en vigueur, il est ainsi suggéré de favoriser une répartition adéquate de l'eau reçue à Drummondville en cas de forte crue entre le déversoir et la centrale, et d'éviter toute manœuvre anthropique qui pourrait limiter l'écoulement en deçà du seuil minimal de 75 m³/s.

MISE EN CONTEXTE

Les pressions sur les systèmes aquatiques se font sentir par différentes causes de natures physiques, chimiques et biologiques. Lorsqu'il est question de qualité d'habitat de la faune aquatique, le débit est souvent mis de l'avant puisqu'il régit de nombreux processus écologiques. Il est par ailleurs estimé que la modification des patrons climatiques se reflètera davantage sur les régimes hydrologiques des rivières (IPCC, 2015). En plus de l'augmentation de l'amplitude et de la fréquence des débits de pointe, on prévoit entre autres des crues printanières multiples, intenses et hâties. Cela peut être expliqué notamment par la réduction du couvert nival et l'augmentation des précipitations en hiver (IPCC, 2015). Les conséquences liées aux événements de débit extrême sont, à titre d'exemple, les inondations, l'érosion des berges et la sédimentation. Il est également connu que ces phénomènes, et les conséquences reliées, peuvent être exacerbés (ou contrôlés) en présence d'infrastructures humaines tels que les barrages hydroélectriques (*p. ex.* Saint-Laurent *et al.*, 2001; Clément-Robert *et al.*, 2016).

Dans la rivière Saint-François, une frayère à esturgeon jaune se situe directement en aval du barrage hydroélectrique de Drummondville, dont la centrale peut turbiner jusqu'à 200 m³/s (Roy *et al.*, 1997). Lorsque le débit de la rivière dépasse cette capacité, le surplus est déversé par-dessus deux crêtes localisées en rive droite du complexe. De plus, environ trois kilomètres en amont, se trouve la centrale de la Chute-Hemmings qui contrôle le niveau d'eau d'un petit bassin. Des haussoirs y sont posés à la fin de la crue printanière afin d'assurer un niveau suffisant pour les activités estivales telles que la pêche sportive et la navigation. Afin d'effectuer la pose des haussoirs de façon sécuritaire, le niveau du bassin est d'abord abaissé sous le seuil de la crête déversante du barrage, ce qui occasionne une augmentation rapide et momentanée du débit en aval de la centrale de Drummondville. Une fois les haussoirs en place, les gestionnaires procèdent au remplissage du bassin de la Chute-Hemmings, ce qui limite alors la quantité d'eau reçue au barrage de Drummondville. Ces manœuvres coïncident régulièrement avec la fraye de l'esturgeon jaune, ce qui peut entraîner certains changements dans la sélection des sites de ponte à l'échelle fine, tel que cela semble s'être produit au printemps 2016 (BETO, 2018a). Sans mesures appropriées, ces actions peuvent même entraîner un assèchement partiel du lit de la rivière. De plus, dès que le niveau estival est atteint dans le bassin de la Chute-Hemmings, le surplus d'eau est rapidement évacué, ce qui provoque une succession de rejets spontanés en aval de la centrale de Drummondville (BETO, 2018a). De telles fluctuations durant la fraye affectent les niveaux d'eau et la vitesse du courant, pouvant ainsi mener les adultes à se reproduire sur les sites de moins bonne qualité pour le développement des œufs. En effet, les variations spontanées du débit durant l'incubation sont à risque de réduire le taux de survie des œufs et des stades larvaires subséquents (Dumont *et al.*, 2011).

Les suivis antérieurs menés par le BETO révèlent que le secteur directement en aval de la centrale de Drummondville offre des débits plus constants et un substrat plus hétérogène que le secteur situé en aval de l'exutoire du déversoir (BETO, 2015; BETO, 2016a). Néanmoins, il semble que les esturgeons ont souvent été attirés par l'exutoire du déversoir, qui est davantage soumis aux fluctuations de débit, et ce dès qu'on y observe un certain coup d'eau (BETO, 2015; BETO, 2016a; BETO, 2018b). La continuité de ces travaux est donc justifiée, par la présence de facteurs naturels et anthropiques pouvant affecter le comportement ainsi que le succès de la reproduction dans le bief aval du barrage de Drummondville (BETO, 2016b).

Afin de donner suite au contexte particulier entourant la période de reproduction de 2016 (BETO, 2018a), un plan de gestion des débits et des niveaux d'eau a été déposé par Hydro-Québec (HQ) au début de 2017. Un des éléments du plan de gestion consistait à modifier les directives d'exploitation des centrales afin de s'assurer qu'aucune manœuvre d'exploitation n'affecte négativement la période de fraye printanière des poissons dans la rivière Saint-François. Il est convenu, pour la période du 1^{er} avril au 15 juin inclusivement, que :

- le débit total à la centrale de Chute-Hemmings doit être $\geq 75 \text{ m}^3/\text{s}$;
- le débit dans le déversoir de la centrale de Drummondville doit être $\geq 20 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il est ainsi possible d'assurer un niveau d'eau suffisant à l'aval des deux centrales pendant cette période, évitant d'une part l'exondation des frayères et d'autre part la mortalité des poissons se retrouvant coincés dans les cuvettes du déversoir lors d'événements de faible hydraulicité. Ces mesures ont été respectées lors de la fraye du printemps 2017 (BETO, 2018b), ce qui semble avoir été bénéfique pour le succès de reproduction des esturgeons.

L'étude de la fraye de l'esturgeon jaune dans le bief aval de la centrale de Drummondville au printemps 2018 avait donc comme but principal de procéder à une seconde année d'évaluation des directives d'exploitation proposées par HQ sur la dynamique et le succès de la reproduction de l'esturgeon jaune. Afin de répondre à ces questions, les objectifs spécifiques sont 1) d'effectuer le suivi des sites de dépôt d'œufs, 2) d'estimer le nombre de reproducteurs, 3) d'estimer le nombre de larves dérivantes et 4) d'évaluer le succès reproducteur.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Le suivi a été réalisé dans le bief aval de la centrale de Drummondville dans la rivière Saint-François entre le 10 mai et le 5 juin 2018. L'aire d'étude est composée du *Secteur 1* ($45,88^{\circ}\text{N}$, $-72,48^{\circ}\text{O}$; *sous-secteurs A, B, G, F* et *P122*), situé dans le tronçon aval du barrage de Drummondville, et du *Secteur 2* ($45,91^{\circ}\text{N}$, $-72,49^{\circ}\text{O}$; *sous-secteurs D* et *E*), situé à proximité du parc des Voltigeurs (carte 1).

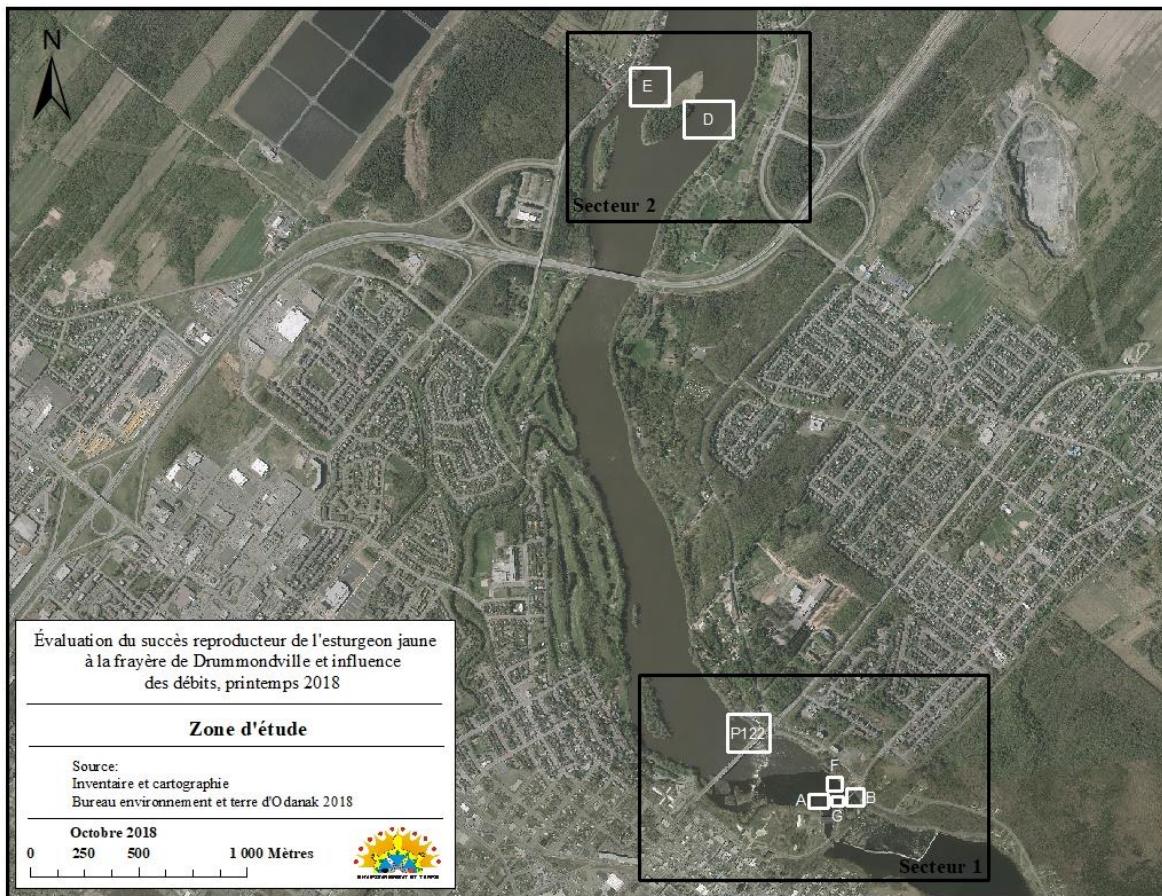
Échantillonnage et travaux terrain

Évolution de la température de l'eau, du débit et de l'activité de fraye

Dès la fin avril, les données de débits turbinés, déversés et totaux des centrales hydroélectriques de Drummondville et de la Chute-Hemmings, ainsi que la température de l'eau, ont été fournies par HQ (pas de temps de cinq minutes) et examinées quotidiennement afin d'orienter le moment de début des travaux terrain. Contrairement aux années précédentes, le *secteur 1* n'a pas été visité quotidiennement puisque que le débit était anormalement haut et il était moins propice d'observer des comportements de fraye (*c.-à-d.* sauts, éclaboussures). Le début des travaux a donc uniquement été initié par l'abaissement des débits à un niveau sécuritaire pour la circulation en embarcation.

Suivi des sites de dépôt d'œufs

Un suivi de la localisation des sites de dépôt d'œufs dans le *secteur 1* a été réalisé à l'aide d'ovocapteurs (parpaing [101 mm X 203 mm X 406 mm] entouré d'une bande de filtres à air). Au total, 70 ovocapteurs ont été répartis dans les *sous-secteurs A* ($n = 23$), *B* ($n = 4$), *F* ($n = 15$), *G* ($n = 18$) et *P122* ($n = 10$) entre le 10 et le 16 mai (voir résultats, carte 2). Les ovocapteurs ont été installés selon une densité d'un appareil à tous les 5 à 10 m², en couvrant les secteurs de la rivière accessibles en bateau et qui semblaient propices à la ponte d'œufs. Puisque les conditions hydrauliques étaient particulièrement intenses, la surface couverte par les ovocapteurs et l'effort de pêche ont été différents des années précédentes. Les ovocapteurs ont été actifs pour un effort d'échantillonnage total de 241 jours-ovocapteur. Les ovocapteurs ont été minutieusement inspectés tous les deux jours en moyenne afin de détecter la présence d'œufs. Tous les œufs capturés ont été identifiés visuellement puis mis en pot avec de l'éthanol [95%] pour leur préservation.



Carte 1. Aire d'étude pour le suivi de fraye de l'esturgeon jaune dans la rivière Saint-François au printemps 2018. Les encadrés noirs et blancs représentent respectivement les secteurs et les sous-secteurs.

Capture et manipulation des reproducteurs

Des pêches expérimentales ont été réalisées dans le *Secteur 1* au moyen de deux types de filets maillant en multifilament de nylon (2 m de haut par 30 m de long; voir résultats carte 3). Le premier type est formé de mailles étirées de 203 mm et le second de mailles étirées de 205 mm. Les pêches se sont déroulées du 13 au 16 mai. Cinq stations ont été échantillonnées, représentant un effort d'échantillonnage total de 67,73 heures-filet. La majorité des filets ont été tendus parallèlement au courant et ont été visités après un maximum de trois heures afin de réduire les risques de blessures et d'épuisement des poissons. Les esturgeons capturés ont été conservés dans un bac d'eau directement dans l'embarcation ou dans une cage de rétention placée à même la rivière jusqu'au moment des manipulations.

Un laboratoire portatif installé en bordure de rivière a d'abord permis de mesurer le poids (balance électronique *Rapala* $\pm 0,5$ kg) ainsi que la longueur totale et à la fourche des individus. Ensuite, le sexe et la maturité sexuelle ont été déterminés en expulsant les gamètes par pression abdominale. Si cette manipulation s'avérait non concluante, un vétérinaire effectuait une biopsie percutanée des gonades. Finalement, les individus capturés ont été marqués d'une étiquette à numérotation séquentielle (*T-bar tag 2½'*) à la base de la partie postérieure de la nageoire dorsale. Chaque esturgeon a été remis à l'eau près de la rive en s'assurant qu'il démontre des signes évidents de récupérations (*c.-à-d.* tonus musculaire, battement de queue, stabilité).

Capture de larves dérivantes

Un suivi de la dérive larvaire a été réalisé entre le 23 mai et le 4 juin. Dix filets de dérive conique (1,0 m de diamètre à l'ouverture X 4,2 m de long, mailles de 0,75 mm) munie d'un godet (100 mm de diamètre, mailles de 300 µm) ont été positionnés dans le *Secteur 2*, 11 jours après la capture des premiers œufs. Sept filets ont été posés dans le *sous-secteur D* et trois dans le *sous-secteur E* (voir résultats, carte 4). Les engins de capture ont été déployés au centre de la colonne d'eau (entre 0,6 et 2,6 m de profondeur) et distancés à 30 m l'un de l'autre le long d'un transect perpendiculaire à la rive. Le contenu des godets a été récolté quotidiennement et trié par des membres de la communauté d'Odanak au laboratoire du BETO.

Profil hydraulique

Un profil hydraulique a été réalisé les 28 mai et 5 juin dans le *Secteur 2* le long du transect des filets de dérive larvaire. Cependant, puisque les débits du 5 juin étaient plus représentatifs de la moyenne des débits durant la période de dérive larvaire, seulement ce profil hydraulique a été considéré. La vitesse d'écoulement (m/s) a été mesurée à l'aide d'un courantomètre (*Rickly Hydrological 102-003*) à des points distancés d'environ 10 m le long du transect. La vitesse était mesurée à 20% (V_1), 60% (V_2) et 80% (V_3) de la profondeur lorsqu'elle était de plus de 2 m et à 60% (V_2) seulement lorsque la profondeur était de moins de 2 m. La vitesse a également été mesurée à 50% de la profondeur en amont de chaque filet. La vitesse d'écoulement moyenne à un point d'échantillonnage a été calculée selon la formule suivante,

$$(1) V_{\text{moy}} = \frac{V_1 + (2 \cdot V_2) + V_3}{4}$$

La surface couverte entre deux points d'échantillonnage (*c.-à-d.* distance entre deux points multipliée par la profondeur moyenne; ci-après « section ») a été multipliée par la V_{moy} entre ces mêmes deux points afin d'obtenir le débit (m^3/s) pour une section donnée. La proportion du débit s'écoulant à chacune de ces sections a ainsi pu être déterminée le long du transect d'échantillonnage (figure 1).

Correction des débits déversés

Les données de débit déversé du barrage de Drummondville comportent une marge d'erreur importante en raison du patron d'écoulement hétérogène causé par la configuration du lit de la rivière en aval des crêtes de déversement (où la mesure est prise). De ce fait, les données de débit déversé utilisé ont été obtenues en soustrayant les données de débit turbiné à la centrale de Drummondville au débit total de la centrale de la Chute-Hemmings. Un test de corrélation de Pearson confirme d'ailleurs que les débits totaux de ces deux barrages sont similaires ($r^2 = 0,998$). Les débits totaux utilisés pour les analyses sont donc ceux de la centrale de la Chute-Hemmings, tandis que les débits turbinés sont ceux de la centrale de Drummondville.

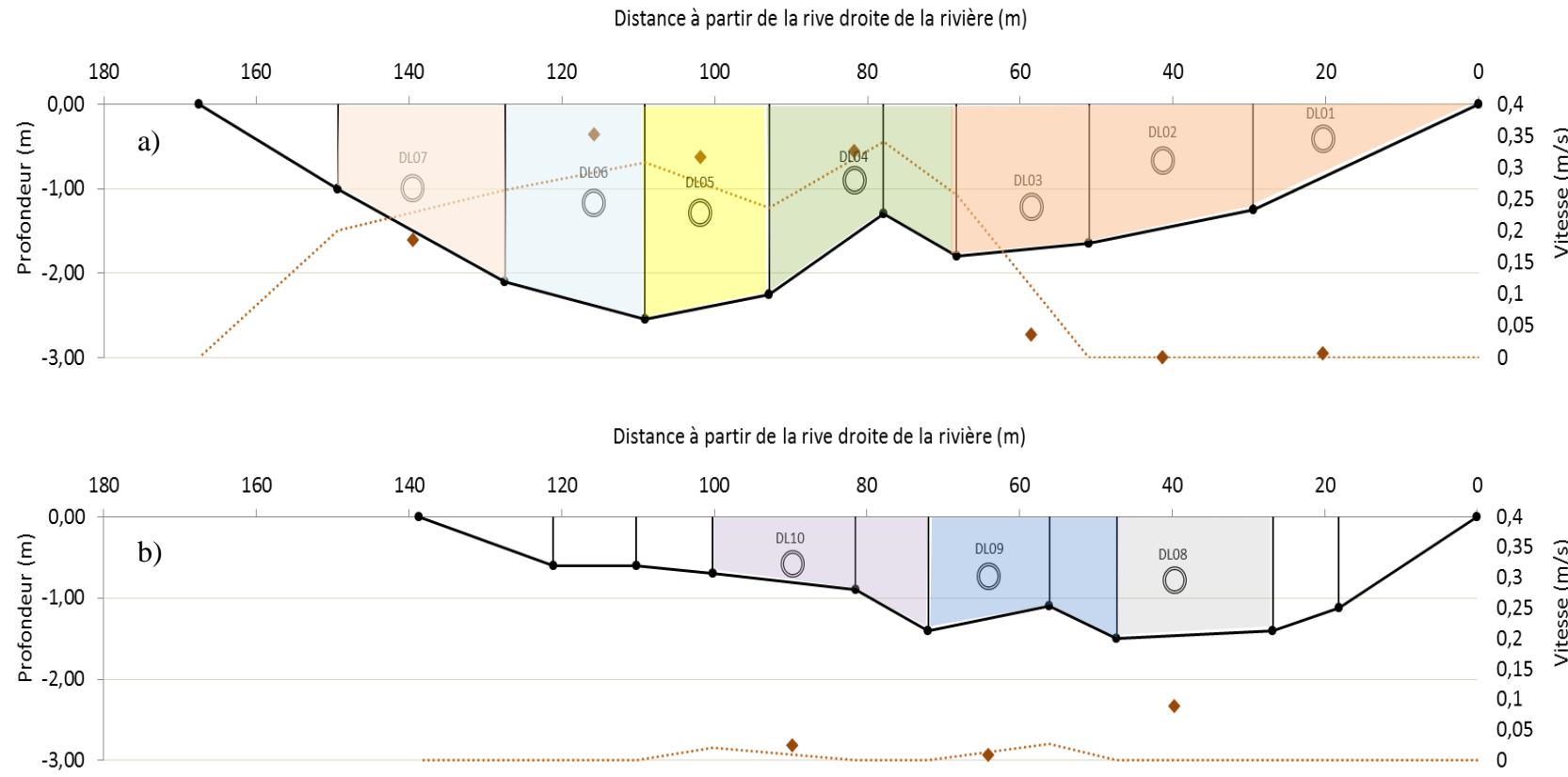


Figure 1. Représentation du profil hydraulique réalisé le 5 juin pour a) le *sous-secteur D* et b) le *sous-secteur E* (*Secteur 2*). Chaque point noir représente un point d'échantillonnage et chaque couleur représente un regroupement de sections. Les sections sans couleurs n'ont été associées à aucun engin de pêche (cercles).

Analyse des données

Abondance des géniteurs

Un plan d'analyse de type *Robust design* a été utilisé afin d'estimer le nombre de géniteurs d'esturgeon jaune présent pendant la période de fraye (figure 2; voir Kendall *et al.*, 1995). Ce faisant, les occasions d'échantillonnage primaires (les années) considèrent la population à l'étude comme étant ouverte (*c.-à-d.* immigration, émigration, mortalité, naissances), tandis que les occasions d'échantillonnage secondaires (les journées), qui sont nichées à l'intérieur des occasions primaires, considèrent la population comme étant fermée. Ce type de plan d'analyse permet, entre autres, un contrôle affiné de la précision relative de chaque paramètre estimé du modèle (Kendall et Pollock, 1992; Williams *et al.*, 2002).

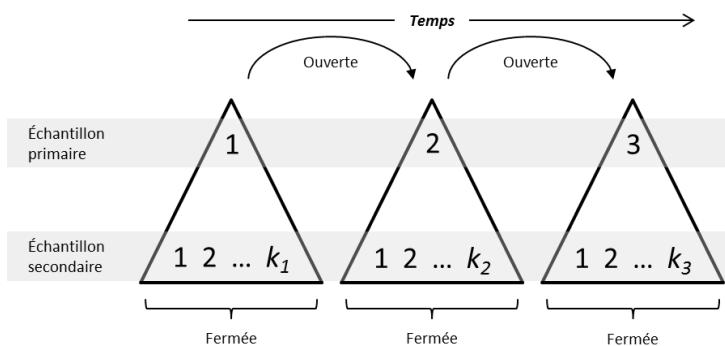


Figure 2. Structure de base d'un plan d'échantillonnage de type *Robust design* (adapté de Cooch et White, 2014).

Nous avons utilisé des modèles de capture-marquage-recapture (CMR) qui estiment les paramètres par maximisation de la vraisemblance (*Maximum likelihood* (ML); voir Edwards, 1992). Ce principe vise à trouver, à l'aide de routines numériques, la valeur optimale d'un paramètre statistique – et de sa variance – qui maximise la probabilité d'observer les données récoltées. Plusieurs estimateurs, qui permettent d'incorporer des covariables individuelles affectant potentiellement la probabilité de capture (p) et de recapture (c), ont été comparés selon leur forme nulle (*c.-à-d.* avec l'ensemble des paramètres fixes) sur la base du critère d'information d'Akaike adapté pour de petits échantillons (AICc). L'estimateur ayant la plus faible valeur d'AICc (*c.-à-d.* le plus parcimonieux) a par la suite été sélectionné afin de construire 11 modèles candidats faisant varier p et c en fonction du sexe, de la journée et de l'année. Le paramètre d'abondance (N_{acfu}) ainsi que l'intervalle de confiance 95% (IC 95%) ont été dérivés du modèle le plus parcimonieux selon l'AICc. Ces analyses ont été réalisées à l'aide de la bibliothèque RMark (Laake, 2013) sur la plateforme RStudio (R Core Team 2015; voir Annexe 1).

Abondance des larves dérivantes

À l'instar des travaux précédents (BETO 2015, 2016a, 2018a, 2018b), l'estimation de l'abondance des larves dérivantes d'esturgeon jaune a été réalisée selon la méthode de Garceau et Bilodeau (2004). D'abord, les captures par unités d'effort (CPUE; nombre de larves dérivantes par 100 m³ d'eau filtrée) pour chaque jour-filet ont été calculées selon la formule suivante,

$$(2) \text{ CPUE} = \frac{N_j}{V \cdot S \cdot T} \cdot 100$$

où N est le nombre de larves capturées au jour j , V est la vitesse du courant (m/s) à l'embouchure du filet lors du profil hydraulique du 5 juin, S est la surface du filet (standardisé à 0,79 m²) et T est le temps écoulé (standardisé à 86 400 secondes). Ensuite, chaque section du profil hydraulique a été associée à la valeur de CPUE du filet de dérive conique le plus proche afin d'obtenir une CPUE pondérée (CPUE_{pond}) en fonction de la proportion du débit s'écoulant à chacune des sections (voir figure 1). Le nombre de larves absolues par jour (N_l) a finalement été estimé selon,

$$(3) N_l = \frac{(CPUE_{gj}) \cdot Vol_j}{100}$$

où $CPUE_g$ est la somme des CPUE_{pond} et Vol est le volume quotidien s'écoulant au Secteur 2 calculé à partir du débit moyen quotidien à la centrale de la Chute-Hemmings (adapté de Garceau et Bilodeau, 2004). Le nombre total de larves pendant la durée de la dérive larvaire est donc représenté par N_{ltot} .

Évaluation du succès reproducteur

Le succès de la reproduction repose sur le rapport entre N_{ltot} et le nombre d'œufs potentiellement déposé (N_o), qui est estimé selon l'équation fécondité—masse dérivée de Fortin *et al.* (1992),

$$(4) N_o = \frac{\sum_i^n (13079,6 \cdot m_i - 11921,2)}{n} \cdot N_{acf} (\text{femelles})$$

où m est la masse (kg) de chaque femelle i et n est le nombre de femelles capturées.

RÉSULTATS

Début des travaux terrain

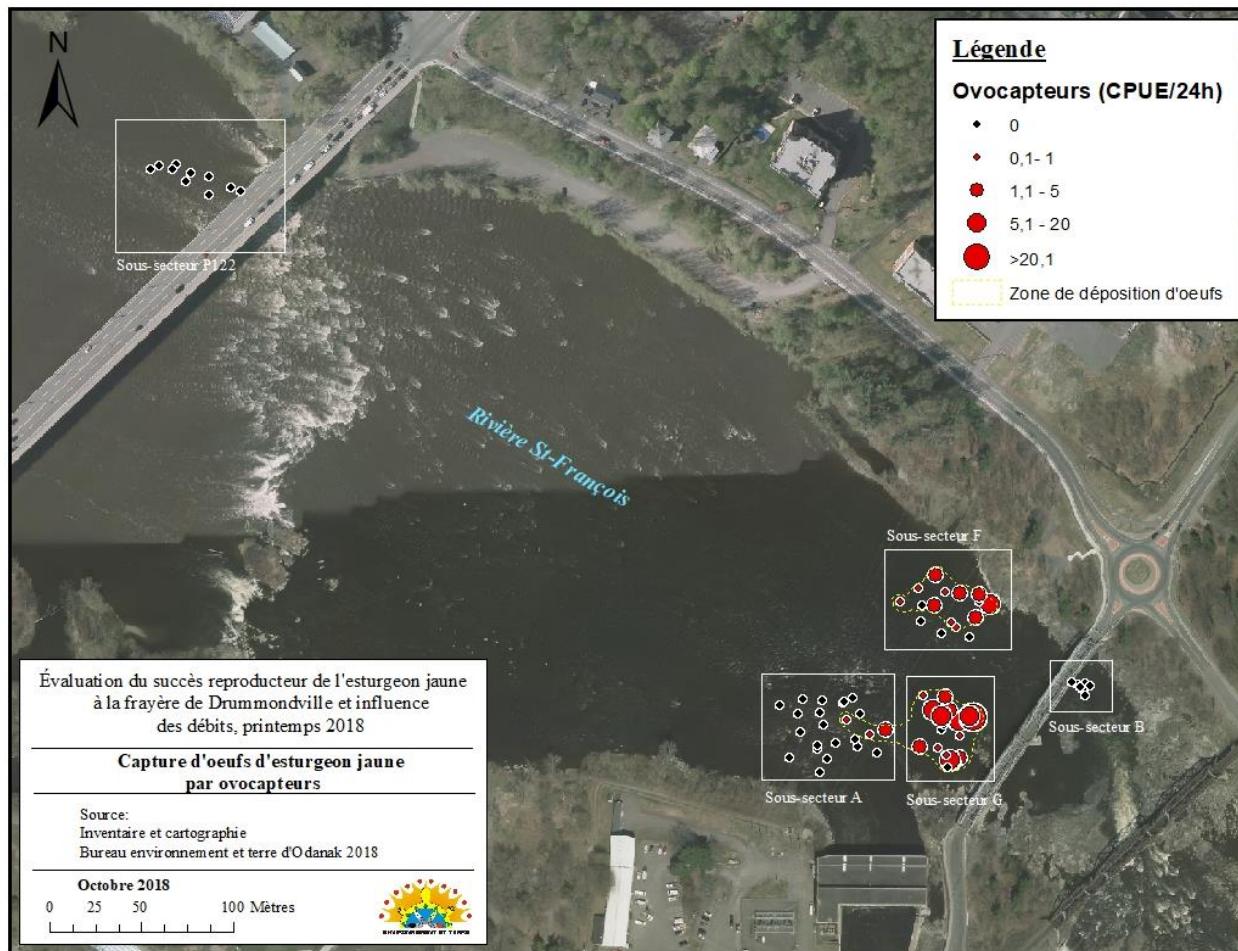
Le seuil de température favorable au début de la fraye (~ 10 C) a été atteint la première fois le 6 mai alors que le débit total moyen de la rivière était de 1 028 m³/s (70 m³/s turbinés; 958 m³/s déversés; figure 4). Les travaux ont débuté le 10 mai lorsque la température était de 11,7°C et que le débit déversé était environ de 385 m³/s (débit total: 405 m³/s; figure 4). Les premiers esturgeons ont été aperçus dans l'après-midi du 10 mai dans la partie amont du sous-secteur G.

Suivi des sites de dépôt d'œufs

Trente-et-un ovocapteurs ont été placés le premier jour de travail, soit le 10 mai dans les *sous-secteurs A et G*. Le lendemain, huit ovocapteurs ont été vérifiés de façon exploratoire sans qu'aucun œuf n'ait été capturé. Étant donné que le débit continuait de descendre, des ovocapteurs supplémentaires ont été disposés, dont plusieurs dans le *sous-secteur F*. Les premiers œufs ont été récoltés dans les *sous-secteurs A, G et F* le 12 mai. Au total, 695 œufs d'esturgeon jaune ont été retrouvés sur 27 des 70 ovocapteurs (ci-après « ovocapteurs utilisés »; tableau 1) entre les 12 et 16 mai. La plus grande quantité d'œufs a été retrouvée dans le *sous-secteur G* (n = 603), et dans une moindre mesure dans le *sous-secteur F* (n = 79). Quelques œufs seulement ont été capturés dans le *sous-secteur A* (n = 13) et aucun dans les *sous-secteurs B et P122*. L'aire de ponte est ainsi estimée à environ 2500 m², dont un peu moins de 1500 m² est situé dans le *sous-secteur G* (carte 2).

Tableau 1. Nombre d'œufs d'esturgeon jaune capturés à l'aide d'ovocapteurs (CPUE; nombre/24h) par date et par sous-secteur. Seulement les dates de la période active de fraye (*c.-à-d.* 1^{er} œuf récolté jusqu'au dernier) sont présentées et ont été utilisées pour le calcul de CPUE total.

| Sous-secteur | Date de pose | Date de levée | Nombre d'Ovocapteurs actifs | Nombre d'œufs d'esturgeon | Nombre d'Ovocapteurs utilisés | Effort de pêche total (hrs) | CPUE (nombre/24h) |
|--------------|--------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| A | 10 mai | 12 mai | 17 | 12 | 3 | 758,2 | 0,4 |
| | 11 mai | 12 mai | 6 | 0 | 0 | 139,2 | 0,0 |
| | 12 mai | 14 mai | 19 | 0 | 0 | 1031,8 | 0,0 |
| | 12 mai | 15 mai | 2 | 1 | 1 | 142,6 | 0,2 |
| TOTAL | | | 44 | 13 | 4 | 2071,8 | 0,2 |
| B | 14 mai | 16 mai | 4 | 0 | 0 | 186,3 | 0,0 |
| | TOTAL | | 4 | 0 | 0 | 186,3 | 0,0 |
| F | 11 mai | 12 mai | 11 | 38 | 7 | 253,3 | 3,6 |
| | 12 mai | 16 mai | 11 | 31 | 8 | 1111,9 | 0,7 |
| | 13 mai | 16 mai | 4 | 10 | 2 | 286,2 | 0,8 |
| | TOTAL | | 26 | 79 | 17 | 1651,4 | 1,1 |
| G | 10 mai | 12 mai | 6 | 73 | 5 | 265,5 | 6,6 |
| | 11 mai | 12 mai | 8 | 134 | 4 | 195,2 | 16,5 |
| | 12 mai | 14 mai | 6 | 8 | 4 | 322,7 | 0,6 |
| | 12 mai | 15 mai | 9 | 388 | 6 | 636,9 | 14,6 |
| TOTAL | | | 29 | 603 | 19 | 1420,3 | 10,2 |
| P122 | 10 mai | 12 mai | 10 | 0 | 0 | 454,1 | 0,0 |
| | TOTAL | | 10 | 0 | 0 | 454,1 | 0,0 |



Carte 2. Position des ovocapteurs et nombre d'œufs d'esturgeon jaune capturés (CPUE; nombre/24h) au Secteur 1. Seulement la période active de fraye (c.-à-d. 1^{er} œuf récolté jusqu'au dernier) a été utilisée afin de calculer les valeurs de CPUE pour les ovocapteurs. La taille des symboles est pondérée en fonction de la valeur de CPUE.

Estimation du nombre de reproducteurs, de larves dérivantes et du succès reproducteur

Au total, 93 esturgeons reproducteurs différents ont été capturés entre le 13 et le 17 mai dans le *Secteur 1* (carte 3). Parmi les individus, on compte 72 mâles, 11 femelles et 10 de sexe indéterminé (tableau 2). Douze individus ont été capturés une seconde fois lors des journées subséquentes, dont deux femelles. Cela a permis d'estimer le nombre de reproducteurs (N_{acf}), potentiellement présents au *Secteur 1* pendant la période de fraye de 2018, à 170 mâles (IC 95% 34-494), 110 femelles (IC 95% 34-434) et 110 de sexe indéterminé (IC 95% 34-394).

Tableau 2. Nombre d'esturgeons jaunes capturés à l'aide de filets maillants en fonction de la date et du sexe. La valeur de CPUE (nombre/h) a été calculée en utilisant l'effort total par jour (*c.-à-d.* tous filets confondus). Les recaptures de la même journée ont été omises.

| Date | Effort de pêche (hrs) | <u>Nbre de 1^{re} captures</u> | | | Nombre recaptures | CPUE (Nbre/h) |
|--------------|-----------------------|--|-----------|-----------|-------------------|---------------|
| | | Mâle | Femelle | N/D | | |
| 13 mai | 23,33 | 14 | 1 | 3 | 0 | 0,77 |
| 14 mai | 9,40 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0,85 |
| 15 mai | 14,98 | 47 | 5 | 3 | 5 | 4,00 |
| 16 mai | 12,93 | 7 | 2 | 1 | 3 | 1,01 |
| 17 mai | 7,08 | 1 | | 1 | 4 | 0,85 |
| Total | 67,73 | 72 | 11 | 10 | 12 | 7,48 |

Des larves d'esturgeon jaune ont été capturées dans trois des 10 filets à dérive déployés dans le *Secteur 2*. Certains filets ont parfois eu de la difficulté à pêcher en raison du faible débit (filets 1, 2, 3, 7, 10). Ces évènements ont été considérés dans les calculs. Au total, 33 larves ont été capturées entre le 27 et le 31 mai, dont 73 % le 29 et le 30 mai. Le CPUE total est de 0,026 larve pour 100 m³ d'eau filtrée. Ainsi, il a été estimé que 8 563 larves (N_{ltot}) ont dérivé au *Secteur 2* au printemps 2018 (figure 3).

La masse totale des 11 femelles capturées a été estimée à 85,77 kg. Conséquemment, il a été estimé que 11,2 millions d'œufs (N_o) ont été pondus au *Secteur 1* pendant la période de fraye.

Considérant les estimations du nombre d'œufs déposés et de larves dérivantes, le succès de reproduction (*c.-à-d.* N_{ltot}/N_o) pour l'esturgeon jaune au printemps 2018 à la frayère de Drummondville est estimé à 0,08% (IC 95% 0,02 – 0,25). À titre de comparaison, le tableau 3 présente les résultats des années antérieures selon la méthode de Schnabel (BETO, 2015; BETO, 2016a) et la méthode de du *Maximum likelihood* (BETO, 2018b et présent rapport).

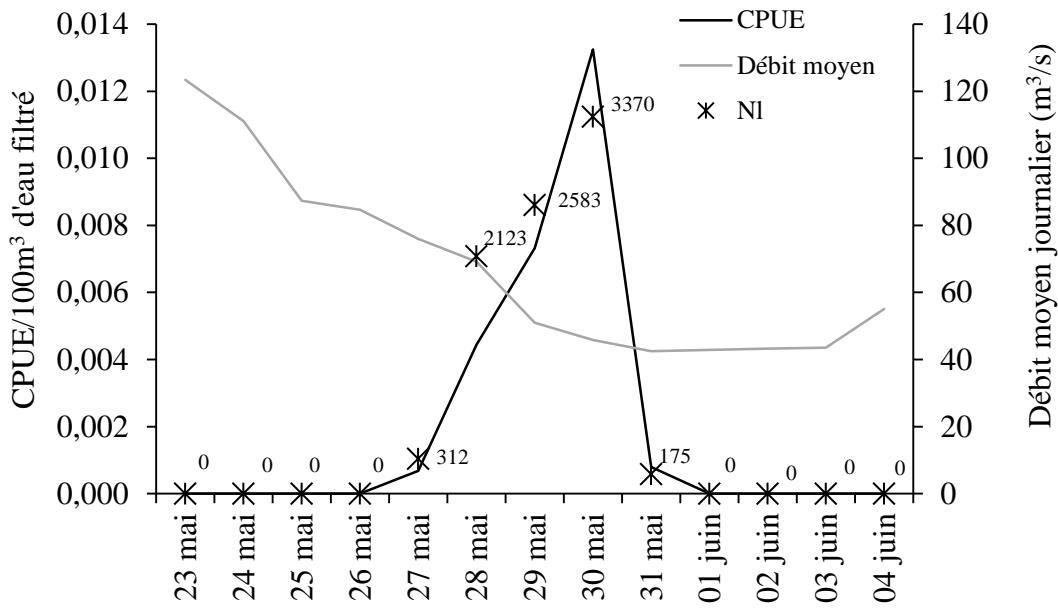
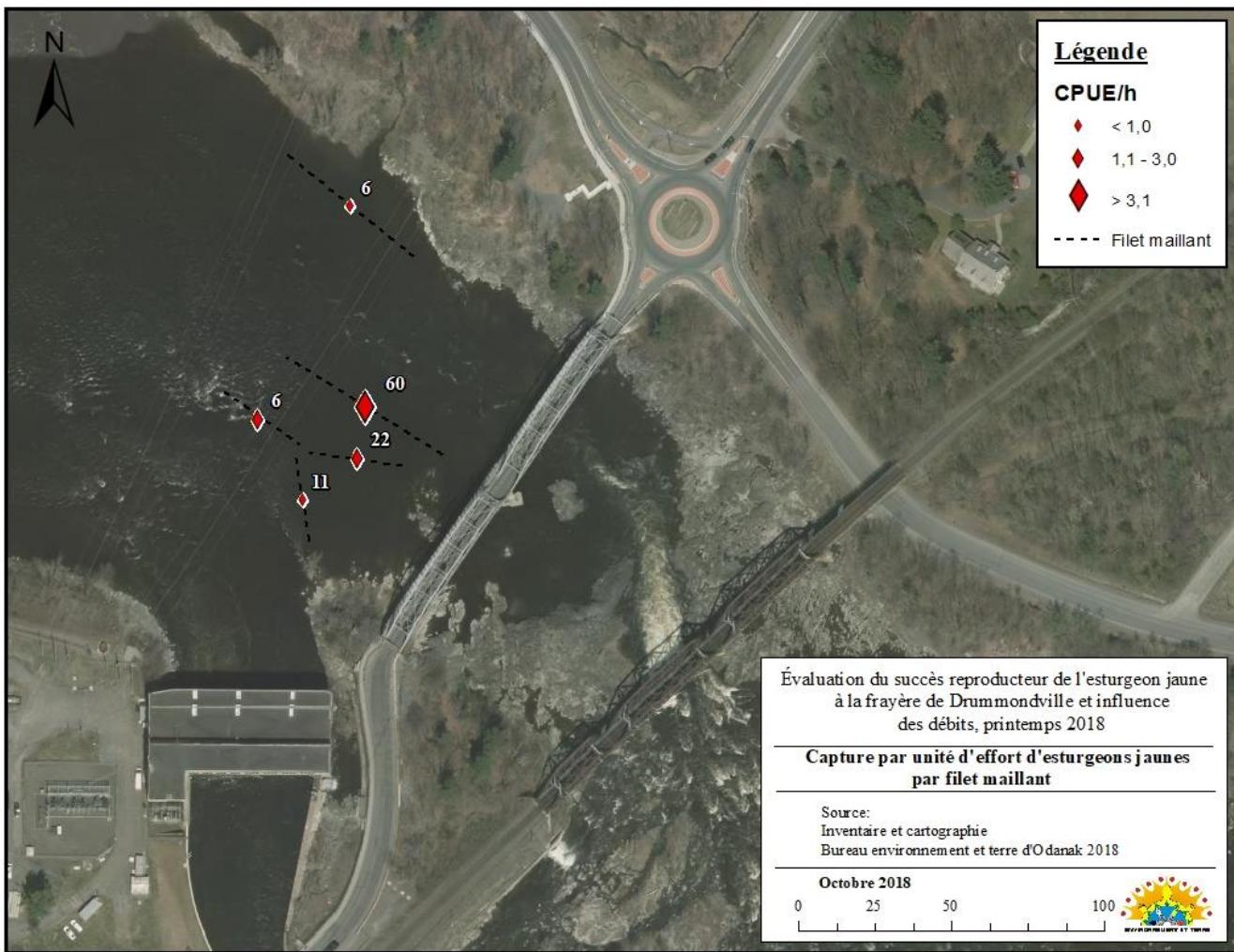


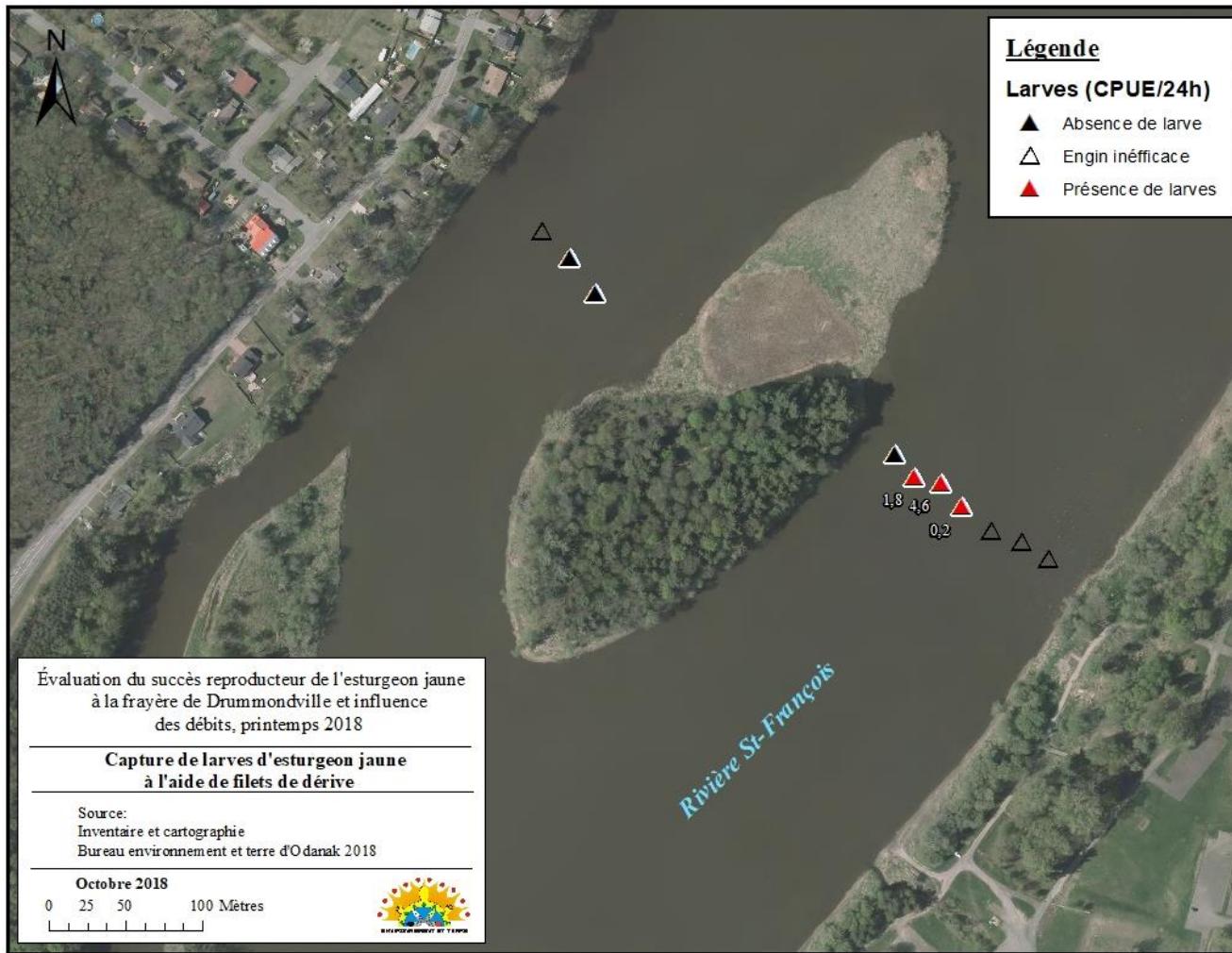
Figure 3. Moyenne quotidienne du nombre de larves d'esturgeon jaune dérivantes par $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (CPUE moyen) et débit journalier au Secteur 2. Les étoiles représentent l'estimation du nombre de larves ayant dérivé quotidiennement au Secteur 2 (N_l).

Tableau 3. Nombre de larves capturées et estimation du nombre de larves dérivantes, de femelles présentes et du succès reproducteur selon la méthode de Schnabel et la méthode du *Maximum likelihood*, frayère de Drummondville, printemps 2014 à 2018.

| Année | Nombre de larves capturées | Nombre estimé de larves | Selon Schnabel [IC 95%] | | Selon Maximum Likelihood [IC 95%] | |
|-------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | | | Nombre estimé de femelles | Succès reproducteur | Nombre estimé de femelles | Succès reproducteur |
| 2014 | 104 | 24 094 | 5 [3, 20] | 2,33 [0,62 - 4,55] | 68 [23,206] | 0,19 [0,06 - 0,55] |
| 2015 | 79 | 12 982 | 23 [12, 86] | 0,35 [0,09 - 0,68] | 34 [14,109] | 0,24 [0,07 - 0,57] |
| 2016 | 69 | 12 768 | N/D | N/D | 83 [13,500] | N/D |
| 2017 | 125 | 44 218 | 1 [1, 3] | 12,42 [5,95 - 20,06] | 27 [6,129] | 0,72 [0,15 - 3,22] |
| 2018 | 33 | 8 953 | 26[15-54] | 0,33[0,16-0,53] | 110[34-434] | 0,08[0,02-0,25] |



Carte 3. Localisation des filets maillants et CPUE (nombre/h) d'esturgeons jaunes reproducteurs au *Secteur 1*. La taille des symboles est pondérée en fonction de la valeur de CPUE et le chiffre en indice représente le nombre absolu de captures total par filet.



Carte 4. Localisation des filets de dérive conique pour la capture de larves dérivantes au Secteur 2. Le chiffre en indice représente la valeur de CPUE (nombre/24h) calculé pour la période de dérive (*c.-à-d.* 1^{re} larve récoltée jusqu'à la dernière).

Influence des débits

Lors de la première journée avec présence d'œufs sur les ovocapteurs, le débit déversé était en moyenne de 255 m³/s (débit total: 293 m³/s; figure 4). Ce fort débit était principalement concentré dans une veine d'eau passant près de la rive droite entre les *sous-secteurs G et F* (Annexe 2). Le débit déversé a ensuite diminué quotidiennement pour atteindre 76 m³/s le 16 juin, soit la dernière journée de fraye (figure 4). La réduction de ce débit a ainsi réduit la quantité d'eau s'écoulant sur les ovocapteurs les plus à gauche du *sous-secteur G* (Annexe 3), concentrant alors davantage la fraye en périphérie de la veine principale. Durant cette même période, le débit turbiné a augmenté de 37 à 82 m³/s (figure 4).

La figure 4 permet également de constater, qu'à certains moments, les modalités issues du plan de gestion des débits d'HQ n'ont pas été respectées. À titre d'exemple, lors des 24 et 25 mai, les débits déversés ont été inférieurs à 20 m³/s durant respectivement 28% et 16% de la journée. De plus, entre le 28 mai et le 4 juin, le débit total s'est stabilisé autour de 40 m³/s, soit bien en deçà du seuil fixé de 75 m³/s. Cet événement chevauche en partie la période de dérive larvaire. Dès le 4 juin, le débit total a par la suite augmenté rapidement jusqu'à 120 m³/s avant d'osciller fortement pendant plus de 6 jours consécutifs.

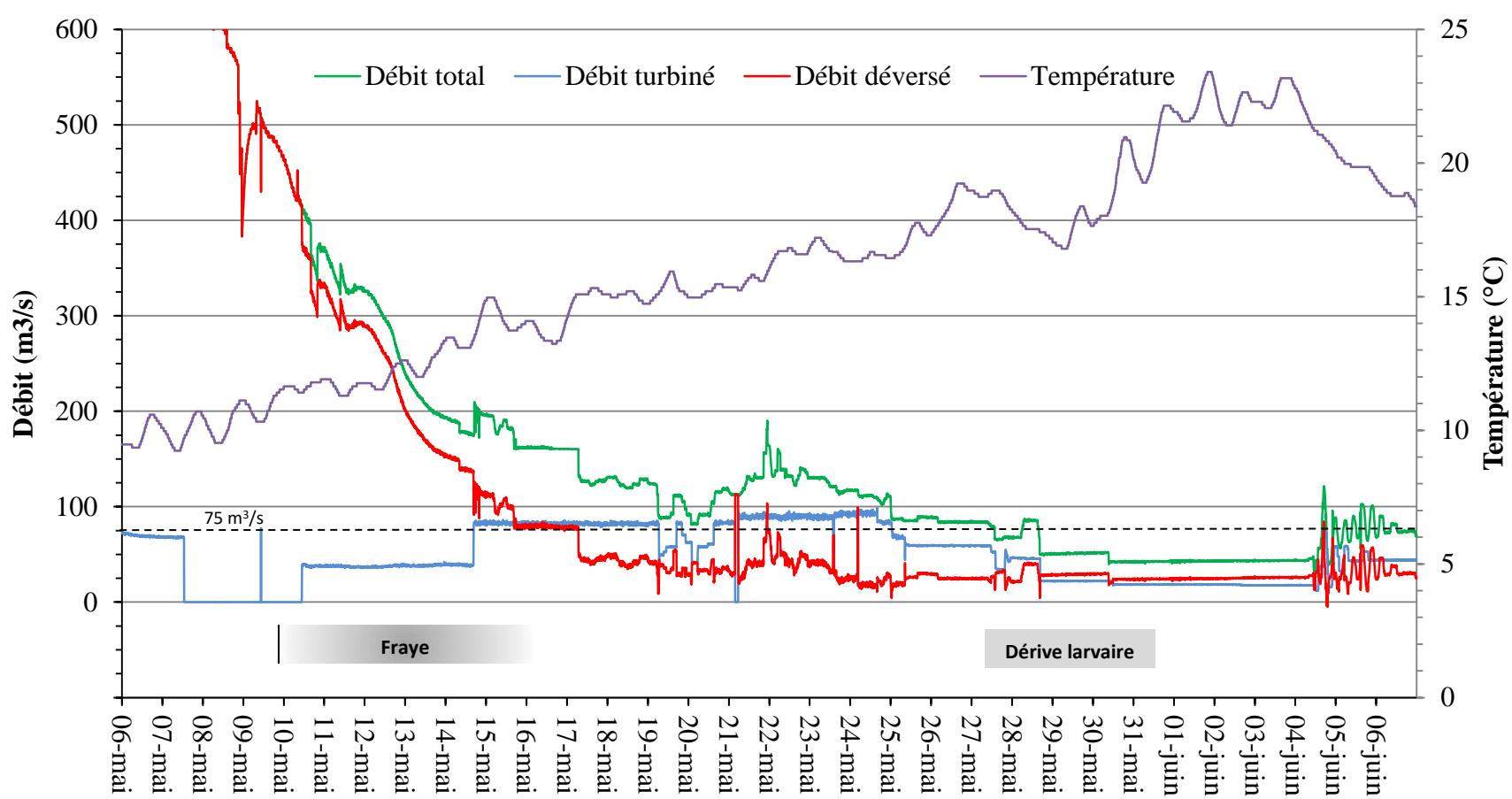


Figure 4. Température de l'eau (violet), débits total (vert), déversé (rouge) et turbiné (bleu) à la centrale de Drummondville entre le 6 mai et le 6 juin 2018. La température a été mesurée par un thermographe installé en amont de la centrale de la Chute-Hemmings. La ligne horizontale pointillée représente le débit total minimal de $75 \text{ m}^3/\text{s}$ ciblé en période de restriction des poissons.

DISCUSSION

Dynamique de fraye des esturgeons jaunes au printemps 2018

Le printemps 2018 sur la rivière Saint-François a été caractérisé par une crue de forte intensité et prolongée. La fermeture momentanée des quatre groupes turbine-alternateur (T/A) à la centrale de Drummondville a forcé l'évacuation de l'eau par le déversoir, alimentant en eau les *sous-secteurs B, F et G*, alors qu'une faible quantité d'eau était reçue au *sous-secteur A*.

La capture d'œufs suggère que la fraye de l'esturgeon jaune s'est produite principalement dans le *sous-secteur G*, et dans une moindre mesure dans le *sous-secteur F*, dont les apports d'eau sont majoritairement dépendants du débit déversé. Ces sous-secteurs ont été échantillonnés pour la première fois depuis 2012, puisque le patron d'écoulement des années précédentes n'y semblait pas favorable à la fraye (BETO, 2016a). En effet, en 2018 la grande quantité d'eau déversée fournissait une profondeur et une vitesse propices aux activités de reproduction. Compte tenu de l'emplacement et de la faible quantité d'ovocapteurs utilisés au *sous-secteur A*, il est possible de penser que les œufs récoltés à cet endroit ont dérivé à partir du *sous-secteur G*. La distance séparant les ovocapteurs du *sous-secteur G* et les ovocapteurs utilisés du *sous-secteur A* est d'environ 45 m, soit une distance de dérive incluse dans l'étendue de celles observées par Forsythe (2010) (0-60 m).

L'utilisation des *sous-secteurs G et F* laisse croire que les esturgeons tentaient, comme en 2017, d'accéder au *sous-secteur B*, mais que les zones situées plus en aval de celui-ci offraient des conditions d'écoulement davantage intéressantes pour la fraye. Cela concorderait avec l'hypothèse évoquée par BETO (2018b), suggérant que lorsque l'appel d'eau au *sous-secteur A* est faible et/ou imperceptible, les esturgeons se rapprochent de l'appel d'eau le plus important (Bruch et Binkowski, 2002; Dumont *et al.*, 2011; Baril, 2017; BETO, 2018b). De plus, il a été démontré que la présence d'un substrat hétérogène avec des espaces interstitiels libres de sédiments fins et plus poreux, comme celui présent au *sous-secteur A*, est un atout reconnu pour le succès de la reproduction de l'esturgeon jaune (Johnson *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2011; Dumont *et al.*, 2011). La caractérisation du substrat effectué en 2013 révèle que le substrat aux *sous-secteurs G et F* est plutôt similaire au *sous-secteur A* (BETO, 2012), ce qui pourrait expliquer davantage leur utilisation en 2018.

L'hypothèse soutenant que le *sous-secteur B* offrirait potentiellement des conditions de développement convenables à l'échelle fine (*p. ex.* présence d'interstices dans la roche mère; Forsythe, 2010; BETO, 2018b; Fischer *et al.*, 2018) malgré la faible qualité

apparente à plus grande échelle pourrait également expliquer pourquoi les esturgeons tentent fortement de s'y rendre. Lors des suivis précédents, il a été possible de démontrer que l'utilisation de ce sous-secteur n'entraîne pas nécessairement un succès de reproduction réduit en rapport aux autres années (BETO, 2015; BETO, 2018b).

La couverture temporelle partielle au *sous-secteur B* est associée au fort débit déversé au printemps 2018. En effet, pour les quatre premiers jours de travail, la moyenne du débit déversé était d'environ 250 m³/s. Les premiers blocs dans ce sous-secteur ont été placés à la suite des deux pics de fraye, soit un premier dans la nuit du 11 au 12 mai et un deuxième, moins bien définis, entre le 12 et le 15 mai. Il est donc possible que la fraye à cet endroit n'y ait pas été documentée ou n'y aille tout simplement pas eu lieu. Même si aucune mesure précise n'est disponible, cette deuxième hypothèse pourrait être supportée par les observations de l'équipe terrain qui démontrent que la vitesse d'écoulement dans ce sous-secteur était assurément supérieure à 1,1 m/s lors de la période de fraye. Cette valeur représente la vitesse maximale à laquelle des œufs ont été récoltés par La Haye *et al.* (1992).

Tout comme au *sous-secteur B*, la fraye au *sous-secteur P122* a pu être compromise par les forts débits qui s'écoulaient à cet endroit. En effet, lorsque le débit total de la rivière est très élevé ($>\sim 300\text{ m}^3/\text{s}$) lors des jours immédiats avant la fraye, comme c'était le cas en 2014 et en 2018, les esturgeons ne semblent pas frayer pas au *sous-secteur P122*. Cependant, lorsque les débits sont plus faibles quelques jours avant la fraye ($\le 200\text{ m}^3/\text{s}$) tel qu'en 2012, 2015 et 2017, les esturgeons tendent à utiliser davantage ce sous-secteur.

La durée et le moment de la fraye ont quant à eux été plutôt représentatifs des frayes antérieures (BETO, 2015; BETO, 2016a; BETO, 2018b). La période entre les premiers œufs et les premières larves capturées a également été similaire aux autres années. Cependant, la dérive larvaire a été la plus courte observée jusqu'à maintenant, avec une durée de cinq jours en 2018 comparativement à 11, 13, 6 et 12 jours pour 2014, 2015, 2016 et 2017 respectivement.

Succès reproducteur

En 2018, un record de 93 individus différents, dont 11 femelles, ont été capturés. L'estimation du nombre de femelles déterminé par la méthode ML est également la plus élevée depuis 2014, avec 110 individus (IC 95% [34-434]). Il est toutefois possible de penser que ce nombre soit légèrement surestimé. En effet le faible nombre de captures et de recaptures annuelles et interannuelles peuvent réduire la précision des différents paramètres estimés. De plus, la clé utilisée afin d'estimer la fécondité individuelle des femelles a été développée à partir d'un nombre limité d'échantillons datant de plusieurs

années et provenant de milieux différents que celui de la rivière Saint-François. L'impact d'une potentielle surestimation du nombre de femelles entraînerait donc la surestimation du nombre d'œufs pondus, ce qui augmenterait le déphasage entre l'importance relative de la fraye et le nombre de larves produites estimé. Il est ainsi possible que cela se soit produit au printemps 2018, avec un nombre d'œufs pondus estimé à 11,2 millions et une estimation de seulement 8 563 larves dérivantes. Le faible succès de reproduction estimé à seulement 0,08% (IC 95% [0,02-0,25]) peut également supposer un faible taux de survie des œufs et/ou des larves. Ces résultats portent à se questionner sur le contexte l'application de chaque méthode d'estimation, mais également l'impact des débits expérimentés durant la période critique de reproduction.

Le débit élevé observé dès le début de la fraye suivi par des diminutions abruptes pourraient avoir eu un impact négatif sur le succès reproducteur de l'esturgeon. Les larves de certaines familles d'esturgeon peuvent avoir une croissance totale inférieure et ultimement avoir un faible taux de survie si les œufs sont exposés à des courants élevés et variables durant l'incubation (Dammerman *et al.*, 2015). Suite au dépôt des œufs, le débit déversé, principal apport d'eau des *sous-secteurs G et F*, ont été aussi forts que 335 m³/s dès les premiers dépôts d'œufs (11 mai ; moyenne de 300 m³/s) et aussi faible que 5 m³/s juste avant la capture des premières larves le 25 mai. Un faible débit au site d'éclosion aurait peut-être pu limiter le potentiel de dérive des larves, ce qui pourrait possiblement expliquer le faible nombre de larves dérivantes capturées en aval et une période de dérive générale aussi courte.

De plus, le faible nombre de larves capturées pourrait être expliqué par un facteur de densité-dépendance lors de la ponte des œufs. En effet Young (2015) soutient que le taux de mortalité des premiers stades de vie de l'esturgeon jaune (œufs et larves) peut être influencé par des facteurs dépendant de la densité comme la prédatation, la compétition pour l'habitat de bonne qualité et l'alimentation. Comme il a été suggéré par Fortin *et al.* (2002), l'espace nécessaire pour le dépôt d'œufs de chaque femelle serait de 13 m², si l'habitat est de très bonne qualité, à 48 m² si l'habitat est de moins bonne qualité. Pour 2018, la zone entourant les ovocapteurs utilisés est d'approximativement 2500 m². Puisque le nombre de femelles à la frayère de Drummondville a été estimé à environ 110 individus, chacun d'entre eux aurait disposé d'environ 22 m² pour pondre, ce qui se rapproche de la limite inférieure proposée par Fortin *et al.* (2002). Par ailleurs, 87 % de la fraye a été concentré au *sous-secteur G* qui comprend une aire de ponte totale d'un peu moins que 1500 m²; limitant alors davantage la quantité d'habitat individuellement disponible à cet endroit. Il semble toutefois que la superficie des aires de ponte varie en fonction des années, passant de 68 m² en 2014 à 18 m² en 2015. Ces variations pourraient être attribuables, entre autres, à une modification de la qualité des sites de fraye en raison des différences interannuelles des patrons d'écoulement de l'eau. Dépendamment des

années, la superficie des sites de ponte pourrait donc constituer un facteur limitant additionnel au succès de la reproduction (BETO 2016a).

Gestion des débits

Tel que mentionné par Clément-Robert *et al.* (2016), l'apport d'eau du bassin versant de la rivière Saint-François est influencé d'une part par les nombreux ouvrages hydro-électriques situés en amont et d'autre part par l'ampleur des précipitations totales, qui à leur tour peuvent être accentuées par les changements climatiques. Ces constats sont d'autant plus importants lors de la crue printanière, qui chevauche parfois la période critique pour la reproduction de l'esturgeon jaune sur la rivière Saint-François, alors que les débits peuvent être imprévisibles et qu'une telle quantité d'eau peut devenir difficile à gérer de façon concertée entre les différentes infrastructures humaines.

L'arrêt des groupes T/A pendant la crue de 2018 a entraîné un écoulement hors norme dans le déversoir et sa portion aval. Il est ainsi possible de croire qu'une gestion différente de cet apport d'eau au complexe hydroélectrique de Drummondville pendant la période de ponte aurait influencé le patron d'écoulement de l'eau et donc possiblement la dynamique générale de la reproduction des esturgeons (Poff et Hart, 2002; Forsythe *et al.*, 2012; Haxton *et al.*, 2015; Baril, 2017), sans toutefois pouvoir affirmer avec certitude que le succès reproducteur en aurait été amélioré. À titre d'exemple, en 2017, année avec le succès de reproduction le plus élevé, il a été possible de répartir adéquatement l'eau reçue à Drummondville entre le déversoir et la centrale, diminuant ainsi les pressions hydrauliques aux différents sites de ponte documentés.

BETO (2018b) soutient également que le fait de tenir les débits les plus stables possible, et au-dessus du seuil minimal de 75 m³/s pendant dérive larvaire, semble avoir contribué à un succès de reproduction plus élevé. De plus, le maintien d'un débit total minimum de 75 m³/s, dont un déversé de 20 m³/s, assure qu'aucun des sites de fraye connus dans la zone d'étude ne soit exondé au moment de la ponte et que la quantité totale d'eau s'écoulant dans la rivière demeure suffisante pour le reste de la période de restriction de l'esturgeon jaune (*c.-à-d.* jusqu'au 15 juin). Le patron d'écoulement observé après la crue printanière de 2018 (*c.-à-d.* suite aux environs du 14 mai) suggère cependant que certaines manœuvres allant à l'encontre des directives d'exploitation ont été exercées au barrage de la Chute-Hemmings, et ce pendant la période critique pour la fraye de l'esturgeon jaune. La signature hydrographique aplatie entre le 28 mai et le 3 juin semble indiquer qu'une certaine rétention d'eau ait été réalisée à la centrale de la Chute-Hemmings; fort probablement afin de remplir le bassin à son niveau estival. Les oscillations observées entre le 4 et le 9 juin sont également typiques de l'atteinte d'un niveau d'eau maximal, après quoi il est possible d'observer un phénomène de «trop-plein» où l'eau excédentaire est rapidement évacuée en plusieurs coups avant de se

stabiliser. Cette signature hydrographique, bien qu'elle se déroule sur une plus longue période de temps, se rapproche de celles observées chaque année lors de l'exécution des mêmes manœuvres (Annexe 4). Bien que nous ne connaissons pas la quantité d'eau retenue à la Chute-Hemmings pendant ces manœuvres, ni celle provenant de l'amont, nous croyons cependant qu'en l'absence totale de rétention, il aurait été possible de s'approcher davantage de la cible établie de 75 m³/s s'écoulant en aval de la centrale.

Cette période a superposé presque en totalité celle de la dérive larvaire (27 au 31 mai) qui a été la moins fructueuse depuis le début des suivis de fraye à Drummondville par le BETO. Les agents de terrain ont mentionné que le débit moyen durant la dérive larvaire (56 m³/s en 2018 en comparaison à 84 m³/s en 2017; BETO, 2018b) semblait être une condition sous-optimale pour la pêche avec les filets de dérive étant donné qu'ils se positionnaient difficilement dans la colonne d'eau. Cela a potentiellement affecté l'efficacité de pêche et pourrait avoir contribué en partie, en plus des facteurs susmentionnés, au faible nombre de larves capturées.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Malgré un nombre de géniteurs capturés le plus élevé depuis le début des suivis à la frayère de Drummondville, le nombre de larves dérivantes est quant à lui le plus bas; ce qui se reflète par un faible succès reproducteur estimé. Bien que ce faible nombre de larves puisse être la conséquence de nombreux facteurs, dont le manque de précision des différentes méthodes d'estimation, il est également possible d'en évoquer d'autres :

- la mortalité accrue des œufs due à une aire de ponte restreinte par rapport au nombre de femelles sur la frayère;
- la forte crue chevauchant la période fraye, offrant ainsi des conditions de développements stressantes pour les œufs;
- la décroissante rapide du débit en deçà du seuil exigé de 75 m³/s suite à la fraye a pu compromettre à la fois la dérive larvaire ainsi que l'efficacité des filets à dérive coniques.

Les suivis menés par le BETO depuis 2013 suggèrent que les esturgeons sont fortement attirés vers le *sous-secteur B* et ceux adjacents lorsqu'il y a un appel d'eau en provenance du déversoir. Puisque certaines études prédisent que les débits de pointe s'intensifieront dans les années à venir, il est fort probable qu'une fraye en périphérie de l'exutoire du déversoir, comme en 2018, se reproduira dans le futur. Afin de soutenir la gestion durable de l'espèce, il pourrait être envisageable de fournir des efforts concrets pour améliorer la qualité des sites de ponte actuels et potentiels. Cela pourrait se traduire par l'ajout de substrat de fond aux sous-secteurs critiques en plus d'une gestion réactive des ouvrages hydroélectriques s'adaptant aux variations de débit afin de garder une constance accrue du patron d'écoulement durant toute la période de reproduction de l'esturgeon jaune.

Il peut cependant être complexe de déterminer le portrait idéal de gestion d'écoulement, puisque chaque année semble être un cas unique. Les données des années antérieures suggèrent que les esturgeons qui frayent à Drummondville sont en mesure de s'adapter à divers régimes hydrauliques et à différents patrons d'écoulement, mais que certains éléments, tels que la stabilité des débits et les niveaux d'eau, peuvent potentiellement affecter la dynamique de fraye et même le succès reproducteur.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce à la contribution sans faille d'Enviro Science et Faune et du Conseil des Abénakis d'Odanak, en plus du soutien financier du *Fonds Autochtone pour les Espèces en Péril* de Pêches et Océans Canada. D'autres organisations, telles que le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Hydro-Québec, la Ville de Drummondville et le Grand Conseil de la Nation Waban Aki ont aussi grandement contribué au bon déroulement du projet. Nous remercions également la participation antérieure de toute autre personne ou organisme n'ayant pas été cité dans le document.

RÉFÉRENCES

- Baril AM. 2017. Assessing a restoration project for lake sturgeon spawning habitat: use of habitat suitability and numerical models. Presented in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science (Biology) at Concordia University Montreal, Quebec, Canada. 65 pages et annexes.
- BETO. 2012. Restauration de l'esturgeon jaune dans le bassin inférieur de la rivière Saint-François. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 55 pages et annexe.
- BETO. 2015 Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2014. Par Émilie Paquin et Michel La Haye. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 42 pages et annexes.
- BETO. 2016a. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2015. Par Émilie Paquin et Michel La Haye. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 38 pages et annexes.
- BETO. 2016b. Analyse des facteurs naturels et anthropiques des variations de débit de la rivière Saint-François en aval du barrage de Drummondville – 2014-2015. Par Claudie Giguère-Croteau. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 7 pages et annexes.
- BETO. 2018a. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2016. Par Samuel Dufour-Pelletier et Michel La Haye. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 38 pages et annexes.
- BETO. 2018b. Évaluation du succès de reproduction de l'esturgeon jaune à la frayère de Drummondville et influence des débits, printemps 2017. Par Samuel Dufour-Pelletier et Michel La Haye. (Conseil des Abénakis d'Odanak), 44 pages et annexes.
- Bruch RM et Binkowski F. 2002. Spawning behavior of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). Journal of Applied Ichthyology, 18(4-6):570-579.
- Clément-Robert G, Gingras S, Pellerin M et Poirier R. 2016. Enquête sur les sources de variation de débits de la rivière Saint-François durant la période de fraie de l'esturgeon jaune. Sherbrooke, Québec : Université de Sherbrooke. 88 pages et annexes.
- Cooch EG et White GC. 2014. Program MARK – a ‘gentle introduction’. [En ligne] : <http://www.phidot.org/software/mark/docs/book>
- Dammerman K, Steibel J et Scribner K. 2015. Genetic and environmental components of phenotypic and behavioral trait variation during lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) early ontogeny. Environmental Biology of Fishes, 98(6):1659-1670.

- Du H, Wei Q, Zhang H, Liu Z, Wang C et Li Y. 2011. Bottom substrate attributes relative to bedform morphology of spawning site of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* below the Gezhouba dam. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2):257-262.
- Dumont P, D'Amours J, Thibodeau S, Dubuc N, Verdon R, Garceau S, Bilodeau P, Mailhot Y et Fortin R. 2011. Effects of the development of a newly created spawning ground in the Des Prairies River (Quebec, Canada) on the reproductive success of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2):394-404.
- Edwards AW. 1992. Likelihood, expanded ed. (Johns Hopkins University Press, Baltimore).
- Fischer JL, Pritt JJ, Roseman EF, Prichard CG, Craig JM, Kennedy GW et Manny BA. 2018. Lake Sturgeon, Lake Whitefish, and Walleye egg deposition patterns with response to fish spawning substrate restoration in the St. Clair–Detroit river system. *Transactions of the American Fisheries Society*, 147(1):79-93.
- Forsythe PS. 2010. Exogenous correlates of migration, spawning, egg deposition and egg mortality in the lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). Ph.D. dissertation, Department of Zoology Michigan State University, East Lansing, Mich.
- Forsythe PS, Scribner KT, Crossman JA, Ragavendran A, Baker EA, Davis C et Smith KK. 2012. 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(1):35-53.
- Fortin R, Guénette S et Dumont P. 1992. Biologie, exploitation, modélisation et gestion des populations d'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) dans 14 réseaux de lacs et de rivières du Québec.
- Garceau S et Bilodeau P. 2004. La dérive larvaire de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) à la rivière des Prairies, aux printemps 2002 et 2003. Étude réalisée pour le compte du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil - Rapport technique 16-21, xi + 21 pages et annexes.
- Kendall WL, Pollock KH et Brownie C. 1995. A likelihood-based approach to capture-recapture estimation of demographic parameters under the robust design. *Biometrics*, 293-308.
- Haxton T, Friday M, Cano T et Hendry C. 2015. Assessing the magnitude of effect of hydroelectric production on Lake Sturgeon abundance in Ontario. *North American Journal of Fisheries Management*, 35(5):930-941.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2015. Climate change 2014: Mitigation of climate change. Cambridge University Press,

- Johnson JH, Lapan SR, Klindt RM et Schiavone A. 2006. Lake sturgeon spawning on artificial habitat in the St Lawrence River. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(6):465-470.
- Kendall WL et Pollock KH. 1992. The robust design in capture-recapture studies: a review and evaluation by Monte Carlo simulation. *Wildlife 2001: populations*, Springer. p 31-43.
- La Haye M, Branchaud A, Gendron M, Verdon R et Fortin R. 1992. Reproduction, early life history, and characteristics of the spawning grounds of the lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in Des Prairies and L'Assomption rivers, near Montréal, Quebec. *Canadian Journal of Zoology*, 70(1681-1689).
- Laake JL. 2013. RMark: an R interface for analysis of capture-recapture data with MARK.
- Poff NL et Hart DL. 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *BioScience*, 52:659-669.
- Roy N, La Haye M et Marche C. 1997. Étude hydrologique et géomorphologique portant sur l'habitat de fraie de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*), rivière Saint-François près de Drummondville, Québec. 30 pages et annexes.
- Saint-Laurent D, Couture C et McNeil É. 2001. Spatio-temporal analysis of floods of the Saint-François drainage basin, Québec, Canada. *Environments*, 29(2), 73.
- Williams BK, Nichols JD et Conroy MJ. 2002. Analysis and management of animal populations. Academic Press.
- Young, RT. 2015. Assessing the spatiotemporal distribution of larval Lake Sturgeon *Acipenser fulvescens* within the St. Clair river delta, Michigan, Ph.D. dissertation, Department of Zoology Michigan State University, East Lansing, Mich.

ANNEXE 1. Détails relatifs à la méthode d'évaluation du nombre de reproducteurs (CMR par maximisation de la vraisemblance)

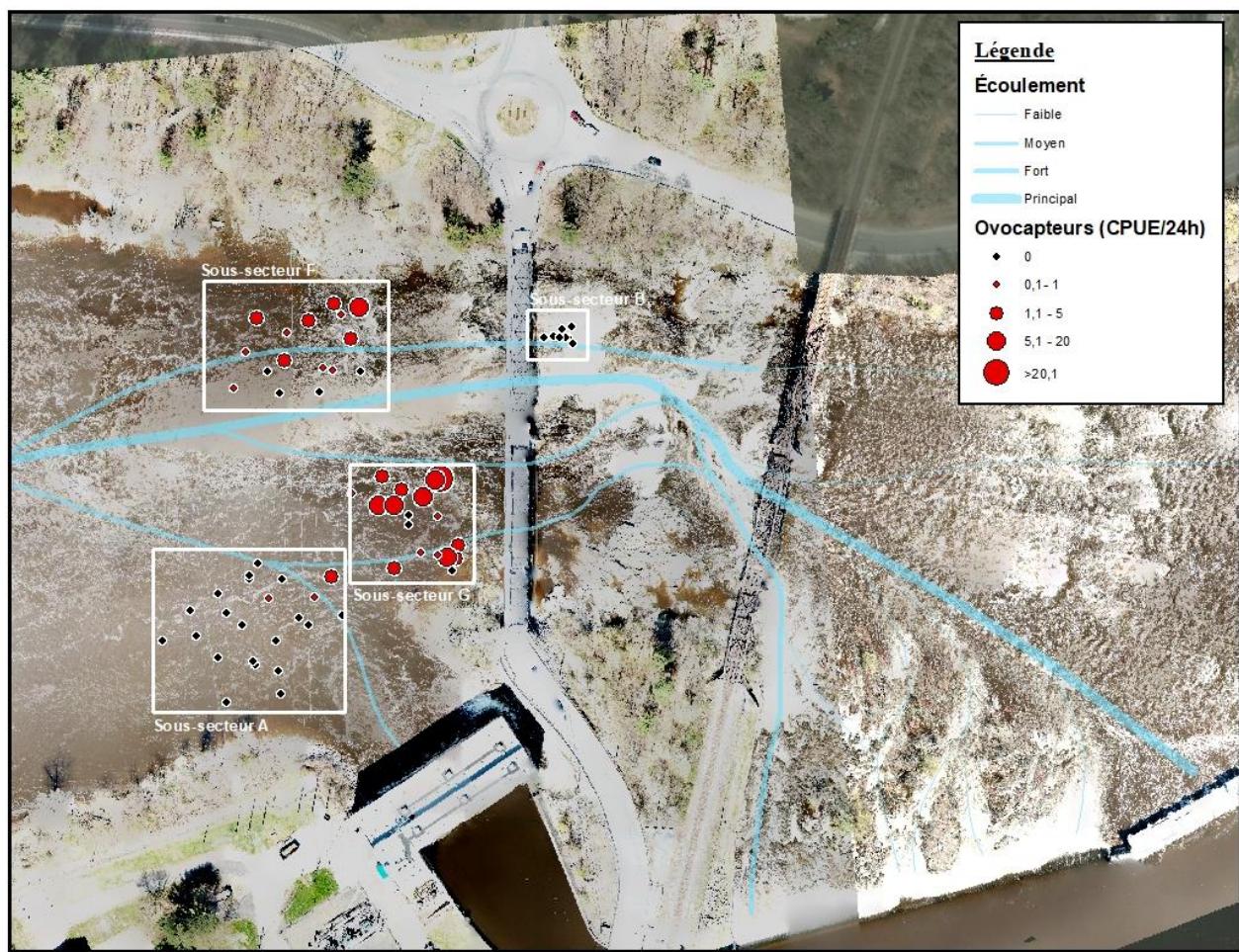
A) Descriptions des différents estimateurs CMR par maximisation de la vraisemblable. Les paramètres statistiques sont décrits dans (Cooch et White, 2014). Le texte en gras correspond au modèle retenu basé sur la plus faible valeur d'AICc.

| Estimateurs CMR (modèle null) | Abréviation | AICc | Paramètres | | | | | |
|--|--------------------|---------------|------------|----------------|---------------|-----------|----------|----------|
| Robust Design Pradel Seniority Closed Population Estimation | RDPdGClosed | 658,35 | <i>Phi</i> | <i>Gamma</i> | <i>p</i> | <i>c</i> | <i>N</i> | |
| Robust Design with Huggins' Estimator | RDHuggins | 922,73 | <i>S</i> | <i>Gamma''</i> | <i>Gamma'</i> | <i>p</i> | <i>c</i> | |
| Robust Design with Full Heterogeneity Estimator | RDFullHet | 924,84 | <i>S</i> | <i>Gamma''</i> | <i>Gamma'</i> | <i>pi</i> | <i>p</i> | <i>c</i> |
| Robust Design with Heterogeneity Estimator | RDHet | 945,69 | <i>S</i> | <i>Gamma''</i> | <i>Gamma'</i> | <i>pi</i> | <i>p</i> | <i>N</i> |
| Robust Design Pradel Recruitment Huggins' Full Closed Captures with Het. | RDPdfHugFullHet | 1536,06 | <i>Phi</i> | <i>f</i> | <i>pi</i> | <i>p</i> | <i>c</i> | |
| Robust Design Pradel Seniority Huggins' Closed Captures with Het. | RDPdGHugHet | 1541,63 | <i>Phi</i> | <i>Gamma</i> | <i>pi</i> | <i>p</i> | | |
| Robust Design Pradel Recruitment Huggins' Closed Captures with Het. | RDPdfHugHet | 1541,63 | <i>Phi</i> | <i>f</i> | <i>pi</i> | <i>p</i> | | |

B) Descriptions des différents modèles issus de l'estimateur retenu (RDPdGClosed). Le texte en gras correspond au modèle retenu basé sur la plus faible valeur d'AICc.

| Modèles selon RDPdGClosed | Probabilité de capture (p) | Probabilité de recapture (c) | AICc |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|
| Modèle Null | ~1 | ~1 | 658,35 |
| Modèle 1 | sex | sex | 588,36 |
| Modèle 2 | time+sex+session | time+sex+session | 490,48 |
| Modèle 3 | time+sex+session | sex | 502,55 |
| Modèle 4 | sex | time+sex+session | 574,42 |
| Modèle 5 | time+session | time+session | 538,84 |
| Modèle 6 | time+session | time | 545,89 |
| Modèle 7 | time+session | ~1 | 555,28 |
| Modèle 8 | time | ~1 | 624,44 |
| Modèle 9 | time | time+session | 607,20 |
| Modèle 10 | ~1 | time+session | 600,57 |
| Modèle 11 | ~1 | time | 608,52 |

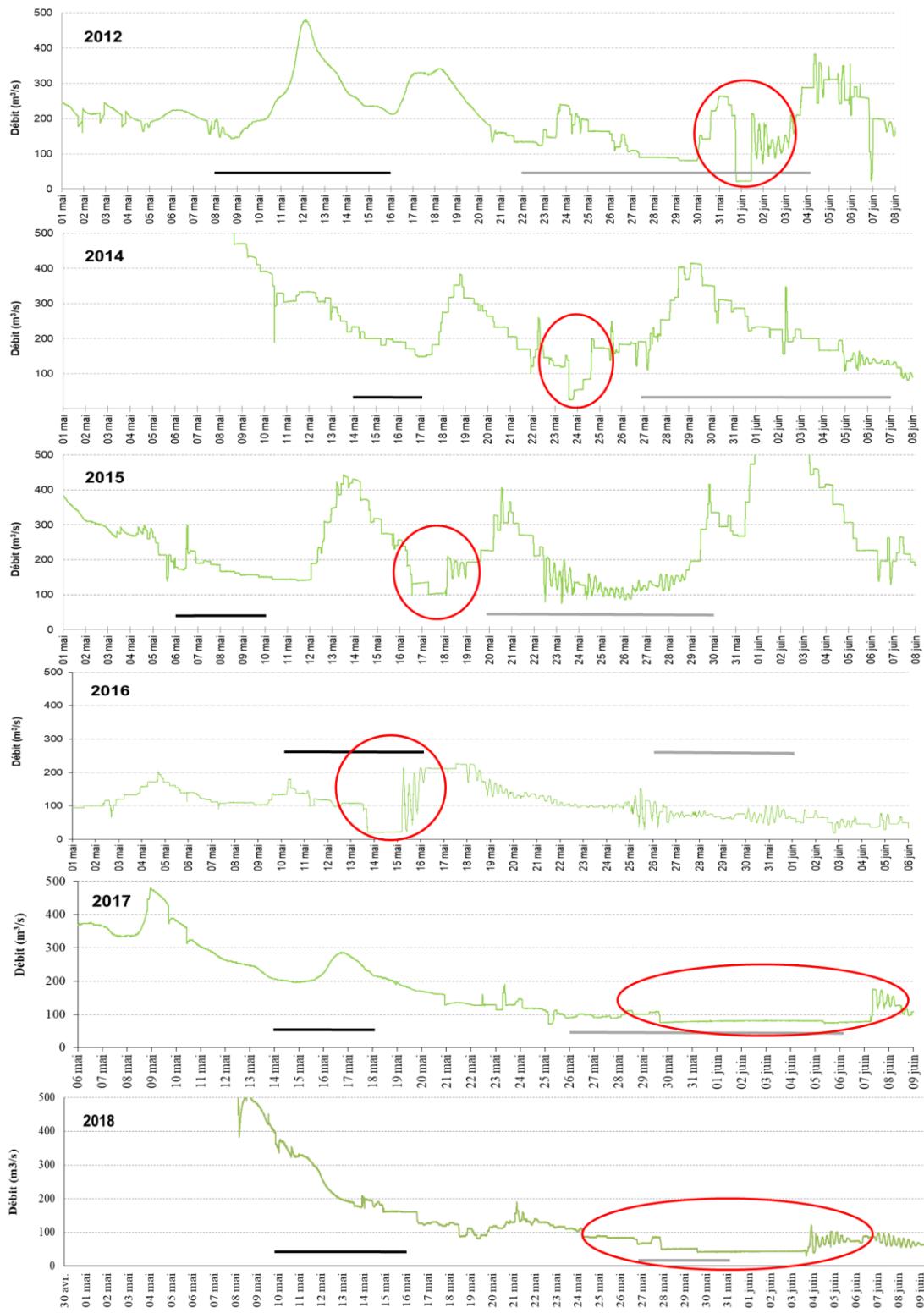
ANNEXE 2. Patron d’écoulement en provenance du déversoir et de la centrale de Drummondville. Les flèches ont été tracées en se basant sur les débits moyens déversés et turbinés du 13 mai 2018 (photos prises par drone). Les proportions des flèches ne sont pas à l’échelle. Les points noirs représentent des ovocapteurs non-utilisés, les points rouges représentent les ovocapteurs utilisés et la taille des points est proportionnelle à leur utilisation.



ANNEXE 3. Évolution des débits pendant la fraye selon trois périodes, soit lors du 12 mai, du 13 au 14 mai et du 15 au 17 mai (photos prises par drone). Les points roses représentent des ovocapteurs non-utilisés, les points verts représentent les ovocapteurs utilisés et la taille des points est proportionnelle à leur utilisation.



ANNEXE 4. Comparaison interannuelle des débits totaux à Drummondville pendant la période de reproduction de l'esturgeon jaune. Les lignes noires représentent la période de fraye, les lignes grises illustrent la période de dérive larvaire et les cercles rouges ciblent l'écoulement de l'eau lors des manœuvres de rehaussement du niveau d'eau du bassin de la Chute-Hemmings.



Ce projet a été rendu possible grâce au Fonds autochtone pour les espèces en péril (FAEP) du gouvernement du Canada.

