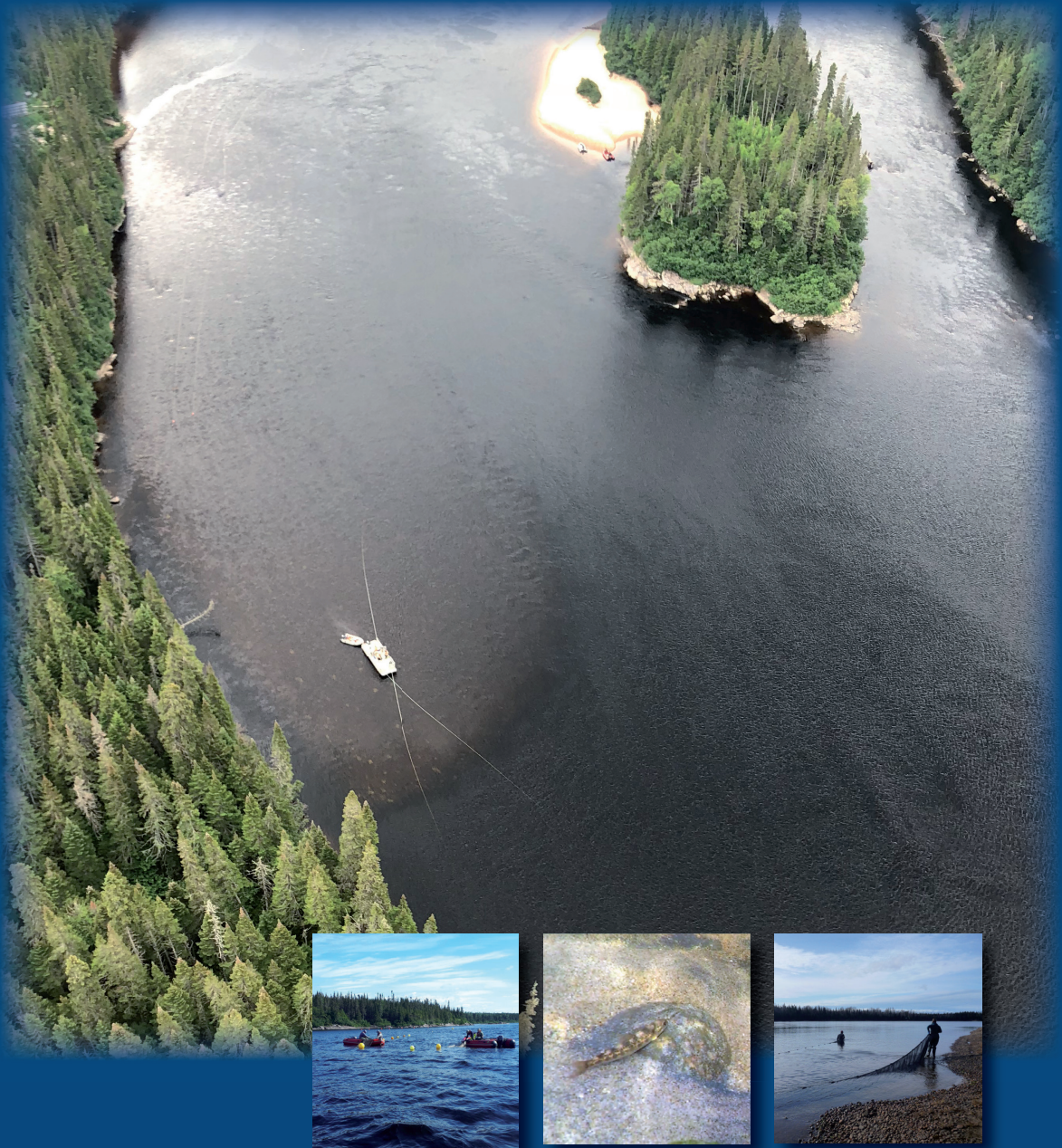


Complexe de la Romaine

Suivi de la population de saumon atlantique



FINAL

Décembre 2020



Complexe de la Romaine

Suivi environnemental 2019 en phase exploitation

Suivi de la population de saumon atlantique

Version finale

Décembre 2020

Préparé par :

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Bernard Aubé-Maurice'.

Responsable scientifique
Bernard Aubé-Maurice
Biologiste
WSP Canada Inc.

Révisé et
approuvé par :

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Louis Belzile'.

Responsable scientifique
Louis Belzile
Directeur de projet
WSP Canada Inc.

Le présent rapport a été préparé à la demande d'Hydro-Québec, dans le contexte déterminé par les termes spécifiques du mandat accordé à WSP Canada Inc. par Hydro-Québec et selon l'entente intervenue entre les deux parties. Aucune copie en tout ou en partie de ce rapport ne peut être réalisée par un tiers sans le consentement explicite d'Hydro-Québec.

Référence pour fins de citation :

AUBÉ-MAURICE, B., BELZILE, L., JEANMOYE-TURCOTTE, G et J.-C. GUAY. 2020. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2019 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Préparé pour Hydro-Québec. 139 p. et annexes. Version finale.

Mots clés : Saumon atlantique, dévalaison, smolt, smoltification, taux de croissance, décompte de nids, dénombrement de juvéniles, entraînement de juvéniles, tapis d'antennes, échouage de saumons juvéniles, intégrité des aménagements, embryons, capsule d'incubation, alevin, tacon, méthode, suivi, complexe hydroélectrique, centrale, barrage, rivière Romaine

HydroDoc : HQ-2020-022

Sommaire

Référence pour fins de citation :

AUBÉ-MAURICE, B., BELZILE, L., JEANMOYE-TURCOTTE, G et J.-C. GUAY. 2020. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2019 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Préparé pour Hydro-Québec. 139 p. et annexes. Version finale.

Résumé :

En 2019, huit activités étaient prévues au programme de suivi environnemental du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans la rivière Romaine, soit : l'étude des smolts en dévalaison, le suivi de l'entraînement des saumons juvéniles à la suite de changements de débit, l'inventaire des juvéniles sur certaines aires d'élevage, la caractérisation du substrat de surface dans les habitats aménagés, le suivi du déroulement de la fraie, le dénombrement des nids de saumons après la fraie à l'automne, la vérification de l'échouage des juvéniles lors du passage de deux à un groupe turbine-alternateur à la centrale de la Romaine-1, ainsi que l'évaluation de la survie des embryons dans les principales frayères du cours principal de la Romaine (retrait des embryons après l'implantation réalisée en 2018). Toutes ces activités ont eu lieu au cours du printemps, de l'été ou de l'automne 2019.

L'année 2019 s'inscrit dans la période globale de transition (2014-2021) associée au remplissage des réservoirs et à la mise en fonction des installations hydroélectriques. Toutefois, aucun réservoir n'a été rempli en 2019 et les conditions de débit se rapprochaient des conditions qui prévaudront en période d'exploitation, lorsque le complexe sera terminé. Depuis l'automne 2018, des ajustements au patron de gestion de l'eau à la centrale de la Romaine-1 ont été apportés, afin de réduire l'amplitude et la fréquence des variations de débit en période hivernale. Ces ajustements ont été soumis aux autorités gouvernementales et approuvés.

La dévalaison des smolts dans le cours principal de la Romaine s'est déroulée du 11 juin au 19 juillet 2019, soit environ deux semaines plus tard que lors des années de référence (2013 et 2014). Un retard similaire avait également été observé chaque année depuis 2015, soit depuis que le régime thermique de la rivière au printemps est influencé par la présence des réservoirs en amont. Le principal pic d'abondance est survenu le 30 juin, mais des pics de moindre amplitude ont aussi été enregistrés le 21 et le 26 juin, puis le 2 juillet. Les analyses génétiques indiquent que **82 %** des smolts ont une affiliation de la Puyjalon, comparativement à **18 %** pour la Romaine. La prédominance des smolts affiliés à la Puyjalon est plus marquée depuis 2016. En 2019, **24 %** des smolts analysés sont issus desensemencements réalisés par la SSRR. Ceux-ci constituent environ un cinquième des smolts affiliés à la Puyjalon, comparativement à un tiers pour la rivière Romaine.

Comme au cours des deux dernières années, ainsi qu'en 2013, deux estimations d'abondance des smolts ont été menées avec une méthode de CMR, soit dans les tronçons aval de la Romaine et de la Puyjalon. L'étude de CMR réalisée dans la Puyjalon est toutefois jugée plus précise que dans la Romaine puisque l'engin de capture déployé dans ce cours d'eau permet d'intercepter un plus grand pourcentage du débit de la rivière. Le nombre de captures (n = 1 073) y a d'ailleurs été plus grand que dans la Romaine (n = 902) comme lors des années précédentes. L'étude de CMR dans la Puyjalon permet d'estimer la population de smolts de cette rivière à 28 117. En tenant compte des proportions d'appartenance des smolts aux deux sous-populations sur la base des analyses génétiques réalisées sur 236 smolts capturés dans le cours principal de la Romaine, l'estimation obtenue pour la Puyjalon a été extrapolée à l'ensemble du bassin de la Romaine, comme cela avait aussi été fait en 2018, en 2017 et en 2013. Ainsi, la population de smolts en dévalaison dans la Romaine en 2019 est évaluée à **34 302** individus, dont approximativement **4 150** sont issus de la reproduction naturelle dans la Romaine et **2 035** proviennent des ensemencements réalisés dans la Romaine (ensemencements de 2017). L'évaluation de la population inclut également **21 867** smolts sauvages dans la Puyjalon et **6 250** provenant des ensemencements de 2017 dans ce tributaire. Les données préliminaires sur le nombre de smolts produit par nid de fraie pour la cohorte d'œufs de 2015 indiquent que la décroissance observée chez les cohortes d'œufs précédentes dans le cours principal de la Romaine se poursuivrait.

Dans le cours principal de la Romaine, les algues à la dérive observées depuis 2015 qui seraient associées à une augmentation temporaire de la teneur en éléments nutritifs dans la rivière en aval des réservoirs étaient à nouveau présentes en 2019. Toutefois, elles étaient moins abondantes, probablement parce que le remplissage le plus récent de réservoir (Romaine 3) remonte à l'année 2017.

L'âge moyen des smolts sauvages en 2019 est évalué à **2,14 ans** pour la population de la Romaine et à **2,56 ans** pour celle de la Puyjalon. Pour les cohortes d'œufs de 2010 à 2015 (données partielles pour 2015), l'âge à la smoltification varie de **2,00 ans** et à **2,35 ans** dans le cours principal de la Romaine comparativement à **2,38 ans** à **2,84 ans** dans la Puyjalon. En 2019, les smolts issus des ensemencements étaient tous âgés de 2 ans et provenaient donc des ensemencements de 2017. L'âge à la smoltification de cette cohorte d'alevins ensemencés pourra être évalué après la dévalaison de 2020. Les comparaisons de croissances interannuelles indiquent des croissances annuelles plus élevées dans la Romaine, et ce, autant chez les populations sauvages qu'ensemencées.

Le suivi de l'entraînement des saumons juvéniles vise à valider que les règles de gestion des débits établis sont adéquates pour permettre aux saumons juvéniles de se maintenir dans leurs habitats. Ce suivi repose sur l'utilisation d'un tapis d'antennes télémétriques installé en 2016 sur l'habitat d'élevage amont du PK 49 et sur le marquage de juvéniles à l'aide de transpondeurs passifs. Les mouvements des juvéniles peuvent ensuite être documentés en continu sur l'habitat d'élevage alors que des campagnes de détection télémétrique mobile permettent de localiser ponctuellement les juvéniles marqués à l'extérieur de celui-ci. À l'automne 2019, des transpondeurs passifs ont été implantés sur 132 juvéniles. La campagne de détection mobile a été réalisée à la mi-novembre. Afin de bien couvrir les zones peu profondes du PK 49 susceptibles d'abriter des saumons juvéniles, celles-ci ont été parcourues à pied avec l'antenne télémétrique mobile. Un total de 11 juvéniles marqués a ainsi été détecté dans les habitats aménagés du PK 49.

À l'instar des années précédentes, les densités de saumons juvéniles sur les aires d'élevage aménagées aux PK 49 et 51 ont été faibles en 2019. En août, un total de 13 saumons juvéniles a été aperçu, soit neuf tacons et quatre alevins. Lors du second suivi en octobre, on a recensé un total de huit juvéniles répartis également entre tacons et alevins. Sur les 21 observations, 14 proviennent de l'aire d'élevage amont du PK 49 et sept de l'aire d'élevage du PK 51. Aucun juvénile n'a été aperçu sur l'aire d'élevage aval du PK 49. Comme au cours des années précédentes, les habitats aménagés étaient partiellement recouverts de sable, en particulier dans le cas de l'aire d'élevage du PK 51. Sur ce site, le sable recouvrait une superficie moindre qu'en 2018, mais les dépôts étaient généralement plus épais. Les carottages effectués dans les frayères aménagées à l'été 2019 indiquent que la granulométrie du lit des deux frayères n'a pas changé de façon notable depuis leur construction. Les résultats ont tout de même indiqué la présence de sédiments fins dans quelques échantillons de la frayère du PK 51. Néanmoins, les pourcentages de sédiments fins restent inférieurs à la valeur limite ciblée pour assurer un bon taux de survie des embryons.

Le suivi du déroulement de la fraie indique qu'elle était terminée au début de novembre sur le cours principal de la Romaine en 2019, soit légèrement plus tard qu'en conditions naturelles. Dans les rivières Allard et Bat-le-Diable, la fraie était terminée lors du décompte de nids, les 4 et 5 novembre. Sur la base des observations des dernières années, le dénombrement des nids dans la Puyjalon a toutefois été fait environ une semaine plus tard, soit les 13 et 14 novembre. Un total de **144 nids** de fraie du saumon a été comptabilisé dans le bassin versant de la Romaine en 2019. Depuis 2015, le nombre de nids de saumons à l'échelle du bassin de la Romaine a ainsi toujours été supérieur aux cinq premières années du suivi annuel (2010 à 2014). La distribution des nids entre le cours principal de la Romaine et ses tributaires est similaire aux observations des deux dernières années, avec **87 nids** dans le cours principal, **52 nids** dans la Puyjalon, **3 nids** dans la rivière Allard et **2 nids** dans la Bat-le-Diable.

Contrairement aux cinq premières années en conditions de débit régularisé, moins de la moitié des nids ont été dénombrés en amont des chutes à Charlie, soit 36 %. La frayère naturelle du PK 46,2 a été très peu utilisée en 2019 avec seulement 2 nids, alors qu'à l'inverse, la frayère aménagée du PK 51 a connu son utilisation la plus importante jusqu'ici (16 nids).

Le suivi de l'échouage des saumons juvéniles a été réalisé au début de juillet, à la suite du passage de deux à un groupe turbine-alternateur à la centrale de la Romaine-1. Un total de 26 sites différents sujets à la formation de cuvettes isolées lors d'une baisse du niveau d'eau de la Romaine a été parcouru. Plus de 500 cuvettes ont été minutieusement inspectées et pêchées, lorsque requis, afin de vérifier si elles abritaient des saumons juvéniles isolés de la rivière. Une attention particulière a aussi été accordée à la présence de poissons échoués dans les zones exondées par la diminution du débit le long de la rivière. Un saumon et trois ombles de fontaine juvéniles ont été aperçus sur les 293 observations enregistrées, qui étaient largement dominées par les meuniers et l'épinoche à trois épines. Cela corrobore les observations réalisées lors des suivis précédents et montre que les juvéniles de saumon sont peu vulnérables à l'échouage.

Le second suivi de la survie des embryons jusqu'à l'éclosion en condition d'exploitation a été complété au début de l'été 2019 avec le retrait des dispositifs d'incubation. Ceux-ci avaient préalablement été implantés dans trois frayères de la Romaine (PK 46,2, 49 et 51) à

l'automne 2018, à raison de 48 capsules par frayère, soit quatre capsules pour chacune des 12 lignées parentales. Le taux de mortalité post-fécondation (24 heures après la fraie) des œufs insérés dans les 144 capsules s'élève à **53,6 %**. Un total de **801 œufs** vivants a donc été enfoui dans les trois frayères de la Romaine. Le taux de survie jusqu'à l'éclosion au début de l'été 2019 a été respectivement de **1,0 %** pour la frayère du PK 46,2, de **7,2 %** au PK 49 et de **8,6 %** au PK 51. Les femelles 1 et 4 montrent un taux de survie plus élevé que les femelles 2 et 3 et il semble en être de même pour le mâle A. La variabilité entre les frayères naturelles est élevée, autant avant qu'après les aménagements. Pour la frayère du PK 46,2, la seule ayant fait l'objet d'un suivi à quatre reprises jusqu'ici, on observe une diminution du taux de survie des embryons en conditions aménagées, mais il y a également une forte variation en conditions naturelles.

Executive Summary

Citation reference:

AUBÉ-MAURICE, B., BELZILE, L., JEANMOYE-TURCOTTE, G and J.-C. GUAY. 2020. *Romaine Complex. 2019 Environmental Monitoring – Operation Phase. Monitoring of the Atlantic Salmon Population*. Prepared for Hydro-Québec. 139 p. and appendices. Final version.

Summary:

Eight activities were planned for the 2019 Environmental Monitoring Program for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Rivière Romaine, i.e. study of the descent of smolts, monitoring of juvenile salmon downstream entrainment following changes in flow, inventory of juvenile salmon in created rearing areas, characterization of the surface substrate in created habitats, monitoring of spawning, counting of salmon nests after the fall spawning, checking for stranded juvenile salmon (after passage from two to one generating unit at the Romaine-1 generating station), as well as the assessment of the embryonic survival in the primary spawning grounds of the main stem of the Rivière Romaine (retrieval of embryos after implantation done in 2018). All activities took place during the spring, summer or fall of 2019.

The year 2019 falls within the overall transition period (2014-2021) associated with filling of the reservoirs and commissioning of the hydroelectric facilities. However, no reservoirs were filled in 2019 and the flow conditions would resemble the conditions that will prevail during operation, when work at the Romaine complex will be completed. Since fall 2018, adjustments have been made to the water management pattern of the Romaine-1 generating station to reduce the amplitude and frequency of flow variations during winter. These adjustments that were submitted to the government authorities have been approved.

The downstream migration of smolts in the main stem of the Rivière Romaine took place from June 11 to July 19, 2019, i.e. approximately two weeks later than in the reference years (2013 and 2014). Since 2015, a similar delay has been observed every year as the thermal regime of the river during spring is affected by the upstream reservoirs. The main peak of abundance occurred on June 30, but smaller peaks were also recorded on June 21 and June 26, and thereafter on July 2. Genetic analyses show that **82%** of smolts are affiliated to the Puyjalon, compared to **18%** to the Romaine. The prevalence of smolts affiliated to the Puyjalon has been more pronounced since 2016. In 2019, **24%** of the smolts that were analyzed were the result of the stocking carried out by the Société saumon de la rivière Romaine (SSRR). These represent about one-fifth of the smolts affiliated with the Puyjalon, as opposed to one-third with the Rivière Romaine.

As in the last two years, as well as in 2013, two estimates of smolt abundance were conducted in the downstream sections of Romaine and Puyjalon rivers using the mark and recapture method. However, the mark and recapture study conducted in the Puyjalon is considered more accurate than that in the Romaine, since the capture gear deployed in this watercourse intercepts a greater percentage of the river's flow. Furthermore, the number of catches (n = 1,073) was greater there than in the Romaine (n = 902) as it was the case in previous years. The mark and recapture study in the Puyjalon estimated the smolt population of this river to be at 28,117. Considering the proportions of smolt belonging to the two sub-populations based on the genetic analyses carried out on 236 smolts captured in the main stem of the Romaine, the estimate for Puyjalon was extrapolated to the entire Romaine basin, as was also done in 2018, 2017 and 2013. Thus, the population of smolts migrating downstream the Romaine in 2019 is estimated at **34,302** individuals, of which approximately **4,150** are the result of natural reproduction in the Romaine and **2,035** come from stocking carried out in the Romaine (2017 stocking). The population assessment also includes **21,867** smolts from natural reproduction in the Puyjalon and **6,250** smolts from 2017 stocking carried out in this tributary. Preliminary data on the number of smolts produced per spawning ground for the 2015 egg cohort indicates that the decline observed in previous egg cohorts in the main stem of the Rivière Romaine continues.

The drifting algae that have been observed in the main stem of the Romaine since 2015 and that are believed to be connected to a temporary increase in nutrient levels in the river downstream of the reservoirs were again found in 2019. However, they were found to be less abundant, probably because the most recent reservoir filling (Romaine 3) dates back to 2017.

The average age of naturally reproduced smolts in 2019 is estimated at **2.14 years** for the population in the Romaine and **2.56 years** for the population in the Puyjalon. For the egg cohorts of 2010 to 2015 (partial data for 2015), the age at smoltification ranges from **2.00 years** to **2.35 years** in the main stem of the Romaine and from **2.38 years** to **2.84 years** in the Puyjalon. In 2019, the smolts from the stocking were all 2 years old and therefore resulted from the 2017 stocking. The age at smoltification of this stocked fry cohort can be assessed after the downstream migration in 2020. When comparing the interannual growth, the Romaine shows higher annual growth in natural as well as stocked populations.

Monitoring of juvenile salmon entrainment is intended to validate that the established flow management rules are suitable to allow juvenile salmon to stay in their habitats. This monitoring is based on the use of a telemetry antenna array installed in 2016 in the upstream created rearing habitat at KP 49 and on the marking of juveniles using passive transponders. The movement of juveniles within the rearing habitat can then be continuously documented, while mobile telemetry detection campaigns make it possible to locate the marked juveniles outside the habitat. In the fall of 2019, passive transponders were implanted on 132 juveniles. The mobile detection campaign was carried out in mid-November. To ensure good coverage of the shallow areas at KP 49 that are likely to harbour juvenile salmon, they were surveyed on foot using a mobile telemetry antenna. A total of 11 marked juveniles were detected in the created habitats at KP 49.

As in previous years, the densities of juvenile salmon in created rearing areas at KP 49 and 51 were low even in 2019. In August, a total of 13 juvenile salmon were sighted (parr: 9, fry: 4). During subsequent monitoring in October, a total of eight juveniles were counted, evenly

divided between parr and fry. Of the 21 sightings, 14 are from the upstream rearing area at KP 49 and seven from the rearing area at KP 51. No juveniles were seen in the rearing area downstream of KP 49. As in previous years, the created habitats were partially covered with sand, particularly the rearing area at KP 51. The sand cover at this site was less than that in 2018, but the deposits tended to be thicker. Core drilling at the created spawning grounds in the summer of 2019 indicates that the bed grading of the two spawning grounds has not significantly changed since their construction. However, the results did indicate the presence of fine sediment in a few samples from the spawning grounds at KP 51. Nevertheless, the percentages of fine sediment remain below the target limit value ensuring a good embryo survival rate.

Monitoring of spawning in 2019 indicates that it ended in early November on the main stem of the Rivière Romaine, slightly later than under natural conditions. In Rivière Allard and Rivière Bat-le-Diable, spawning was finished at the time of nest counting on November 4 and 5. However, considering the observations made over the past few years, nest counting in the Puyjalon was done about a week later, on November 13 and 14. A total of **144 salmon nests** were recorded in the Romaine watershed in 2019. Since 2015, the number of salmon nests in the Romaine watershed has always been higher than in the first five years of annual monitoring (2010 to 2014). The distribution of nests between the main stem of the Romaine and its tributaries is similar to the observations of the last two years, i. e., **87 nests** in the main stem, **52 nests** in the Puyjalon, **3 nests** in the Allard and **2 nests** in the Bat-le-Diable.

Unlike the first five years where regulated flow conditions were in effect, less than half of the nests were counted upstream of the Chutes à Charlie, i.e., 36%. The natural spawning ground at KP 46.2 was scarcely used in 2019, with only 2 nests, whereas, on the other hand, the created spawning ground at KP 51 saw its highest usage to date (16 nests).

The monitoring of stranded juvenile salmon was carried out in early July, after passage from two to one generating unit at Romaine-1 generating station. A total of 26 different sites were visited that were prone to isolated basin formation when the Romaine water level dropped. More than 500 basins were thoroughly inspected and fished, as required, to ensure that they housed juvenile salmon isolated from the river. Particular attention was also paid to the presence of stranded fish in dewatered areas caused by reduced flow along the river. One juvenile salmon and three juvenile brook trout were sighted out of 293 recorded sightings, which were largely dominated by chubs and three-spine stickleback. This corroborates the observations made during previous monitoring and shows that juvenile salmon are less susceptible to stranding.

The second monitoring of embryo survival till hatching, under operating conditions was completed in early summer 2019 with the removal of incubation devices. These had previously been implanted in three Romaine spawning grounds (KP 46.2, 49 and 51) in the fall of 2018, in a ratio of 48 capsules per spawning ground, i.e., four capsules for each of the 12 parent lines. The post-fertilization mortality rate (24 hours after spawning) of eggs introduced in the 144 capsules is **53.6%**. A total of **801 live eggs** were, therefore, buried in the three Romaine spawning grounds. In early summer 2019, the survival rate up to hatching was **1.0%** for spawning ground at KP 46.2, **7.2%** at KP 49 and **8.6%** at KP 51, respectively. Females 1 and

4 show a higher survival rate than females 2 and 3 and the same appears to be true for male A. There is high variability between natural spawning grounds, both before and after development. The spawning ground at KP 46.2, the only one monitored four times to date, shows a decrease in embryo survival under adapted conditions, but there is also a strong variation in natural conditions.

Équipe de réalisation

Hydro-Québec

Coordonnatrice du suivi environnemental :
Maude Richard St-Vincent

Responsables scientifiques :
Jean-Christophe Guay
Mylène Levasseur

WSP Canada Inc.

Directeurs de projet :
Louis Belzile
Jean Daneau

Chargé de projet :
Bernard Aubé-Maurice

Analyse et rédaction :
Bernard Aubé-Maurice
Louis Belzile
Guillaume Jeanmoye-Turcotte

Collaborateurs :
Georges Morin
François Sabourin
Jean Therrien

Travaux de terrain :
Carl Gauthier (coordonnateur principal)
Dominick Cuerrier
Olivier Barthell Mailhot
Florian Bellance
David Bérubé
Jacob Carrier
Carlos Delgado
Cédric Dupuis

Frédéric Gagné
Olivier Galipeau
Jérémy Gauthier-Boutin
Marie-Claude Julien
Charles Otis
Laury Parent
Tommy Saint-Pierre
Antoine Therrien

Infographie :
Diane Gagné

Édition :
Linette Poulin

Uanan Experts-Conseils inc.

Aides de terrain d'Ekuanitshit :
David Basile (coordonnateur)
Moïse-Alexis Basile
Ronny Benjamin
Pierre Desjardins
Nicolas Fontaine
Jean-Philippe Hervieux
Antoine Ishpatao

Athanase Napess Mestokosho
Nico Napess
Keanu Nolin
Samuel Picard
Nicolas Pietacho
Jean-Pierre Verreault
Robert Wapistan

Sigles et abréviations

CMR	Capture-marquage-recapture
E.T.	Écart type
I.C.	Intervalle de confiance
IBIS	Institut de biologie intégrative et des systèmes
INRS	Institut national de la recherche scientifique
INRS-ETE	Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement
LARSA	Laboratoire de recherche en sciences aquatiques de l'Université Laval
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
LF	Longueur à la fourche
LT	Longueur totale
Moy.	Moyenne
MPO	Pêches et Océans Canada
PK	Point kilométrique
SSRR	Société saumon de la rivière Romaine
T/A	Turbine-alternateur

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1 Description sommaire du projet	1
1.2 Engagements et obligations.....	1
1.3 Revue des études antérieures	5
1.4 Objectifs et zone d'étude.....	8
2. DÉVALAISON DES SMOLTS.....	13
2.1 Matériel et méthode	13
2.1.1 Plan d'échantillonnage et sites d'étude.....	13
2.1.2 Engins de pêche et période d'échantillonnage	14
2.1.3 Marquage et transport des smolts	20
2.1.4 Estimation d'abondance des smolts	20
2.1.5 Mesures, prélèvements et analyses en laboratoire	22
2.1.6 Traitement des données	25
2.1.7 Débit et température de l'eau.....	25
2.2 Résultats et discussion	25
2.2.1 Débit et température de l'eau.....	25
2.2.2 Chronologie de la dévalaison	28
2.2.2.1 Rivière Romaine	28
2.2.2.2 Rivière Puyjalon.....	32
2.2.3 Capture et recapture.....	32
2.2.4 Abondance des smolts	37
2.2.4.1 Efficacité des trappes	37
2.2.4.2 Facteurs affectant le nombre de captures	38
2.2.4.3 Estimation de l'abondance de la population	39
2.2.4.4 Relation entre le nombre de nids et la dévalaison des smolts.....	41
2.2.4.5 Relation entre le nombre d'alevinsensemencés et la dévalaison des smolts	44
2.2.4.6 Algues à la dérive dans la colonne d'eau	45
2.2.5 Caractéristiques biologiques de la population	45
2.2.5.1 Âge, longueur, masse et coefficient de condition	45
2.2.5.2 Âge à la smoltification par cohorte d'œufs sauvage	48
2.2.5.3 Rapport des sexes.....	49
2.2.5.4 Croissance annuelle	50
2.2.6 Autres espèces capturées	52

Table des matières (suite)

3. ENTRAÎNEMENT DES SAUMONS JUVÉNILES	55
3.1 Matériel et méthode	55
3.1.1 Description des principaux équipements.....	55
3.1.1.1 Tapis d’antennes télémétriques et antenne mobile	55
3.1.1.2 Transpondeurs passifs	57
3.1.2 Captures de juvéniles et implantation des transpondeurs passifs.....	57
3.1.2.1 Implantation des transpondeurs passifs	57
3.1.3 Détection mobile	59
3.2 Résultats et discussion	60
3.2.1 Débit et température de l’eau	60
3.2.2 Marquage des saumons juvéniles	60
3.2.3 Détection des saumons juvéniles	62
3.2.3.1 Détection mobile.....	62
3.2.3.2 Détection par le tapis d’antennes	62
3.2.4 Autres espèces capturées	63
4. INVENTAIRE VISUEL DE SAUMONS JUVÉNILES DANS LES HABITATS AMÉNAGÉS ET CARACTÉRISATION DU SUBSTRAT.....	65
4.1 Matériel et méthode	65
4.1.1 Inventaire de saumons juvéniles dans les habitats d’élevage aménagés.....	65
4.1.2 Recouvrement du substrat	66
4.1.2.1 Estimation du recouvrement en sédiments fins.....	66
4.1.2.2 Estimation du recouvrement en algues	69
4.1.3 Carottage du substrat sur les frayères aménagées.....	69
4.1.3.1 Prélèvement au carottier cryogénique.....	69
4.1.3.2 Analyses granulométriques	70
4.1.3.3 Calcul de l’indice de survie des embryons	73
4.2 Résultats et discussion	74
4.2.1 Débit et température de l’eau	74
4.2.2 Inventaire de saumons juvéniles dans les habitats d’élevage aménagés.....	74
4.2.3 Recouvrement du substrat	79
4.2.3.1 Estimation du recouvrement en sédiments fins.....	79
4.2.3.2 Estimation du recouvrement en algues	84

Table des matières (suite)

4.2.4	Carottage du substrat sur les frayères aménagées	87
4.2.4.1	Analyses visuelles	87
4.2.4.2	Analyses granulométriques	87
5.	DÉCOMPTE DE NIDS DE FRAIE	91
5.1	Matériel et méthode	91
5.1.1	Déroulement de la fraie	91
5.1.2	Décompte de nids de fraie	91
5.2	Résultats et discussion	93
5.2.1	Déroulement de la fraie	93
5.2.1.1	Débit et température de l'eau	93
5.2.1.2	Observation des activités de reproduction du saumon	94
5.2.2	Décompte de nids de fraie	97
5.2.2.1	Nombre de nids de fraie en 2019	97
5.2.2.2	Comparaison interannuelle	99
5.2.2.3	Estimation du nombre de nids avec œufs	106
5.2.2.4	Analyses génétiques sur les œufs prélevés dans les frayères de la Romaine	107
6.	ÉCHOUAGE DES SAUMONS JUVÉNILES	109
6.1	Matériel et méthode	109
6.2	Résultats et discussion	112
7.	SURVIE DES EMBRYONS	113
7.1	Matériel et méthode	113
7.1.1	Capsules d'incubation et support	114
7.1.2	Approvisionnement en embryons	114
7.1.2.1	Création des lignées parentales	114
7.1.2.2	Transport, acclimatation et encapsulation	115
7.1.3	Implantation des capsules	116
7.1.3.1	Plan expérimental	116
7.1.3.2	Piquage et mortalité post-fécondation	120
7.1.3.3	Implantation	120
7.1.4	Retrait des capsules	120
7.1.5	Taux de survie des embryons	121
7.1.6	Analyses statistiques	122

Table des matières (suite)

7.2 Résultats et discussion	122
7.2.1 Mortalité post-fécondation	122
7.2.2 Implantation dans les frayères.....	123
7.2.3 Débit et température de l'eau	124
7.2.4 Développement embryonnaire et retrait des dispositifs.....	124
7.2.5 Taux de survie	126
7.2.5.1 Taux de survie dans le lot témoin.....	126
7.2.5.2 Taux de survie dans le lot expérimental.....	127
7.2.6 Comparaison interannuelle.....	129
7.2.7 Facteurs influençant la survie.....	130
8. CONCLUSION.....	131
9. BIBLIOGRAPHIE.....	135

Liste des tableaux

Tableau 2-1	Dates auxquelles 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % de la population sauvage de smolts en dévalaison ont été atteints dans le cours inférieur de la Romaine	31
Tableau 2-2	Dates auxquelles 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % de la population totale de smolts en dévalaison ont été atteints dans les cours inférieurs de la Romaine et de la Puyjalon	32
Tableau 2-3	Bilan des captures de smolts lors de l'étude de la dévalaison en 2019 dans la Romaine	36
Tableau 2-4	Bilan des captures de smolts lors de l'étude de la dévalaison en 2019 dans la Puyjalon	37
Tableau 2-5	Répartition des smolts capturés dans la Romaine en 2019	37
Tableau 2-6	Nombre de smolts capturés dans la Romaine et succès de pêche entre 2013 et 2019	38
Tableau 2-7	Nombre de smolts capturés dans la Puyjalon et succès de pêche en 2013 et de 2017 à 2019	38
Tableau 2-8	Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Puyjalon en 2019 et répartition des smolts capturés dans la Romaine selon leur origine	39
Tableau 2-9	Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Romaine en 2019	40
Tableau 2-10	Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Romaine entre 2005 et 2019	41
Tableau 2-11	Nombre moyen de smolts produits par nid de fraie pour les cohortes d'œufs de 2010 à 2016	43
Tableau 2-12	Nombre moyen de smolts produits par 1 000 alevinsensemencés pour les cohortes d'alevins de 2015 à 2017	44
Tableau 2-13	Caractéristiques biologiques des smolts de la Romaine et de la Puyjalon en 2019	46
Tableau 2-14	Nombre total de smolts en dévalaison et âge à la smoltification selon les cohortes d'œufs de 2010 à 2015 et leur provenance	48
Tableau 2-15	Rapport des sexes des smolts capturés dans la Romaine en 2019	49

Liste des tableaux (suite)

Tableau 2-16	Croissance interannuelle des smolts des rivières Romaine et Puyjalon	51
Tableau 2-17	Nombre de poissons par espèce capturés dans la Romaine en 2019	52
Tableau 2-18	Nombre de poissons par espèce capturés dans la Puyjalon en 2019	53
Tableau 3-1	Répartition des saumons juvéniles marqués par classe de taille entre 2016 et 2019	60
Tableau 3-2	Nombre de juvéniles capturés par jour avec utilisation de la seine entre 2016 et 2019	61
Tableau 3-3	Nombre de juvéniles capturés par jour avec utilisation de la pêche électrique entre 2016 et 2019	61
Tableau 3-4	Nombre de juvéniles capturés par jour avec tous les engins de pêche (seine, pêche électrique ou verveux) entre 2016 et 2019	62
Tableau 3-5	Nombre de poissons capturés dans la Romaine à l'automne 2019 selon l'espèce et l'engin de pêche utilisé	63
Tableau 4-1	Visibilité dans l'eau de la rivière Romaine mesurée à l'aide d'un disque de Secchi lors des inventaires visuels de saumons juvéniles réalisés depuis 2015	65
Tableau 4-2	Débit et nombre d'échantillons prélevés lors des travaux de carottage cryogénique aux frayères des PK 49 et PK 51	70
Tableau 4-3	Sommaire des extractions au carottier cryogénique par frayère	70
Tableau 4-4	Classification granulométrique (modifiée d'après Wentworth, 1922)	73
Tableau 4-5	Résultats de l'inventaire de juvéniles réalisé les 21 et 22 août 2019 dans les habitats d'élevage aménagés des PK 49 et PK 51	74
Tableau 4-6	Résultats de l'inventaire de juvéniles réalisé les 23 et 24 octobre 2019 dans les habitats d'élevage aménagés des PK 49 et PK 51	74
Tableau 4-7	Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage amont du PK 49	78
Tableau 4-8	Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage aval du PK 49	78
Tableau 4-9	Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage du PK 51	79

Liste des tableaux (suite)

Tableau 4-10	Évolution de la superficie (m ²) recouverte de sable de 2016 à 2019 sur la frayère du PK 49 et du PK 51.....	80
Tableau 4-11	Évolution de la superficie (m ²) recouverte de sable entre 2016 et 2019 sur l'habitat d'élevage amont du PK 49 et sur l'habitat d'élevage du PK 51	84
Tableau 4-12	Analyse visuelle de la proportion en sable à différentes profondeurs dans le substrat de la frayère aménagée du PK 49 et PK 51 de la rivière Romaine en 2019	88
Tableau 4-13	Valeurs du D10, D50 et D90 des échantillons prélevés à la frayère du PK 49 et du PK 51 de la rivière Romaine (toutes strates confondues) et classes granulométriques associées selon l'échelle de Wentworth (1922) en 2019.....	88
Tableau 4-14	Proportion des sédiments fins (%) < 2 mm des échantillons prélevés sur la frayère du PK 49 et du PK 51 de la rivière Romaine (toutes strates confondues) en 2019.....	89
Tableau 5-1	Température de l'eau et principales observations sur les frayères du cours principal de la Romaine pendant le déroulement de la fraie	94
Tableau 5-2	Moment du décompte des nids, température de l'eau et état d'avancement de la fraie, entre 2010 et 2019.....	97
Tableau 5-3	Nombre de nids de fraie et température de l'eau sur les frayères à saumon du bassin versant de la Romaine en 2019	98
Tableau 5-4	Répartition des nids de saumon selon le recouvrement en sable sur les frayères aménagées des PK 49 et 51 entre 2016 et 2019.....	103
Tableau 5-5	Nids de saumon dénombrés dans les portions accessibles du bassin versant de la Romaine entre 2003 et 2019	103
Tableau 5-6	Nids de saumon dénombrés dans les frayères du cours principal de la Romaine entre 2001 et 2019.....	103
Tableau 5-7	Pourcentage de nids contenant des œufs lors des dénombrements des nids de fraie.....	107
Tableau 6-1	Nombre de poissons capturés ou aperçus par espèce dans les cuvettes le long de la Romaine en 2019.....	112
Tableau 7-1	Cohorte et nombre de reproductions des saumons géniteurs utilisés pour la fécondation artificielle à l'automne 2018	114

Liste des tableaux (suite)

Tableau 7-2	Mortalité post-fécondation (24 heures après la fraie) des œufs implantés dans les frayères de la Romaine le 16 novembre 2018122
Tableau 7-3	Nombre d'embryons vivants implantés dans les frayères de la Romaine en 2018.123
Tableau 7-4	État des œufs implantés dans les frayères de la Romaine lors de l'implantation des capsules en 2018 et au moment de leur récupération en 2019.....126
Tableau 7-5	Taux de survie des embryons par lignée parentale et par femelle dans les frayères de la Romaine au début de l'été 2019.....128
Tableau 7-6	Taux de survie des embryons encapsulés de saumon implantés dans les frayères de la Romaine et conservés en pisciculture (témoin).....129

Liste des cartes

Carte 1-1	Situation du projet	2
Carte 1-2	Zone d'étude des activités de suivi du saumon en 2019 dans la Romaine.....	11
Carte 2-1	Sites de capture des smolts dans la Romaine en 2019.....	15
Carte 2-2	Site de capture des smolts dans la Puyjalon en 2019	17
Carte 3-1	Localisation des antennes télémétriques dans l'habitat d'élevage aménagé du PK 49	56
Carte 3-2	Localisation des sites de capture de juvéniles utilisés pour la télédétection en 2019 sur la rivière Romaine.....	58
Carte 4-1	Emplacement des stations de caractérisation du substrat de surface pour la frayère et les habitats d'élevage aménagés du PK 49.....	67
Carte 4-2	Emplacement des stations de caractérisation du substrat de surface pour la frayère et l'habitat d'élevage aménagés du PK 51.....	68
Carte 4-3	Localisation des carottages réalisés en août 2019 sur la frayère du PK 49 et du PK 51 de la rivière Romaine.....	71
Carte 4-4	Inventaire des saumons juvéniles dans les habitats d'élevage aménagés du PK 49.....	75
Carte 4-5	Inventaire des saumons juvéniles dans l'habitat d'élevage aménagé du PK 51	76
Carte 4-6	Évolution du recouvrement en sable sur les habitats aménagés du PK 49 en 2018 et 2019	81
Carte 4-7	Évolution du recouvrement en sable sur les habitats aménagés du PK 51 en 2018 et 2019	85
Carte 5-1	Répartition des nids de saumon dans le bassin versant de la rivière Romaine.....	101
Carte 6-1	Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles en 2019	111
Carte 7-1	Répartition des supports à capsules d'embryons au PK 46,2 de la Romaine.....	117
Carte 7-2	Répartition des supports à capsules d'embryons au PK 49 de la Romaine.....	118
Carte 7-3	Répartition des supports à capsules d'embryons au PK 51 de la Romaine.....	119

Liste des figures

Figure 1-1	Températures et débits près de l'embouchure de la Romaine en 2019	4
Figure 2-1	Filet-trappe utilisé pour la capture de smolts en 2019	18
Figure 2-2	Période de dévalaison des smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019	26
Figure 2-3	Contribution relative des smolts de la Puyjalon et de la Romaine dans les captures de smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019	29
Figure 2-4	Période de dévalaison des smolts dans la Puyjalon en 2013 et de 2017 à 2019	33
Figure 2-5	Période de dévalaison des smolts dans la Romaine et dans la Puyjalon en 2019	35
Figure 5-1	Températures et débits (PK 46) moyens journaliers de la Romaine en octobre et en novembre 2019	95
Figure 5-2	Répartition des nids de saumon entre 2001 et 2019 à l'échelle du bassin versant de la Romaine et du cours principal de la Romaine	105
Figure 6-1	Évolution du débit de la Romaine à différents endroits entre la centrale Romaine-1 et son embouchure les 8 et 9 juillet 2019	110
Figure 7-1	Plan expérimental pour l'étude de la survie des embryons.....	116
Figure 7-2	Températures et débits moyens journaliers de la Romaine (PK 46 et PK 34), de novembre 2018 à juillet 2019, et développement des embryons pendant leur incubation	125

Liste des annexes

Annexe 1	Débits moyens journaliers et températures moyennes journalières de l'eau de la Romaine au PK 46 de 2010 à 2019 et débits horaires en 2019
Annexe 2	Conditions d'autorisation du MELCC (n° 530-2009) et du MPO (n° 2015-006)
Annexe 3	Répertoire photographique
Annexe 4	Assignation populationnelle et parentale de smolts de la rivière Romaine capturés à l'été 2019 et analyse génétique des frayères (Piette-Lauzière et coll., 2019)
Annexe 5	Données brutes de captures dans la Romaine et dans la Puyjalon en 2019
Annexe 6	Données brutes des smolts capturés en 2019
Annexe 7	Débits horaires de la Romaine à différentes périodes de l'année entre 2013 et 2019
Annexe 8	Calcul de l'évaluation de la population de smolts par la méthode de capture-marquage-recapture (CMR)
Annexe 9	Détail du calcul de l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs
Annexe 10	Détail du calcul du nombre de smolts produits par nid de fraie par cohorte d'œufs
Annexe 11	Stades d'anesthésie
Annexe 12	Données brutes des saumons juvéniles capturés dans la Romaine en 2019
Annexe 13	Sites d'ensemencement d'alevins de 2015 à 2019 par la SSRR
Annexe 14	Résultats détaillés de la caractérisation visuelle du substrat dans les habitats aménagés de la Romaine en 2019
Annexe 15	Résultats détaillés du décompte de nids dans les frayères du cours principal de la Romaine et dans la Puyjalon et ses tributaires en 2019
Annexe 16	Répartition des nids de saumon inventoriés sur le cours principal de la Romaine en 2019

Liste des annexes (suite)

- Annexe 17 Évaluation du nombre de géniteurs contribuant aux nids des frayères de la rivière Romaine (Piette-Lauzière et coll., 2020)
- Annexe 18 Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles en 2019 et superficies inventoriées
- Annexe 19 Résultats détaillés de l'inventaire des poissons échoués le long du cours principal de la Romaine en 2019
- Annexe 20 Évaluation de la survie des embryons de saumon – Protocole de fraie 2018
- Annexe 21 Mortalité post-fécondation et taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine
- Annexe 22 Calcul du développement embryonnaire théorique en fonction de l'évolution de la température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 ou au PK 34

1. Introduction

1.1 Description sommaire du projet

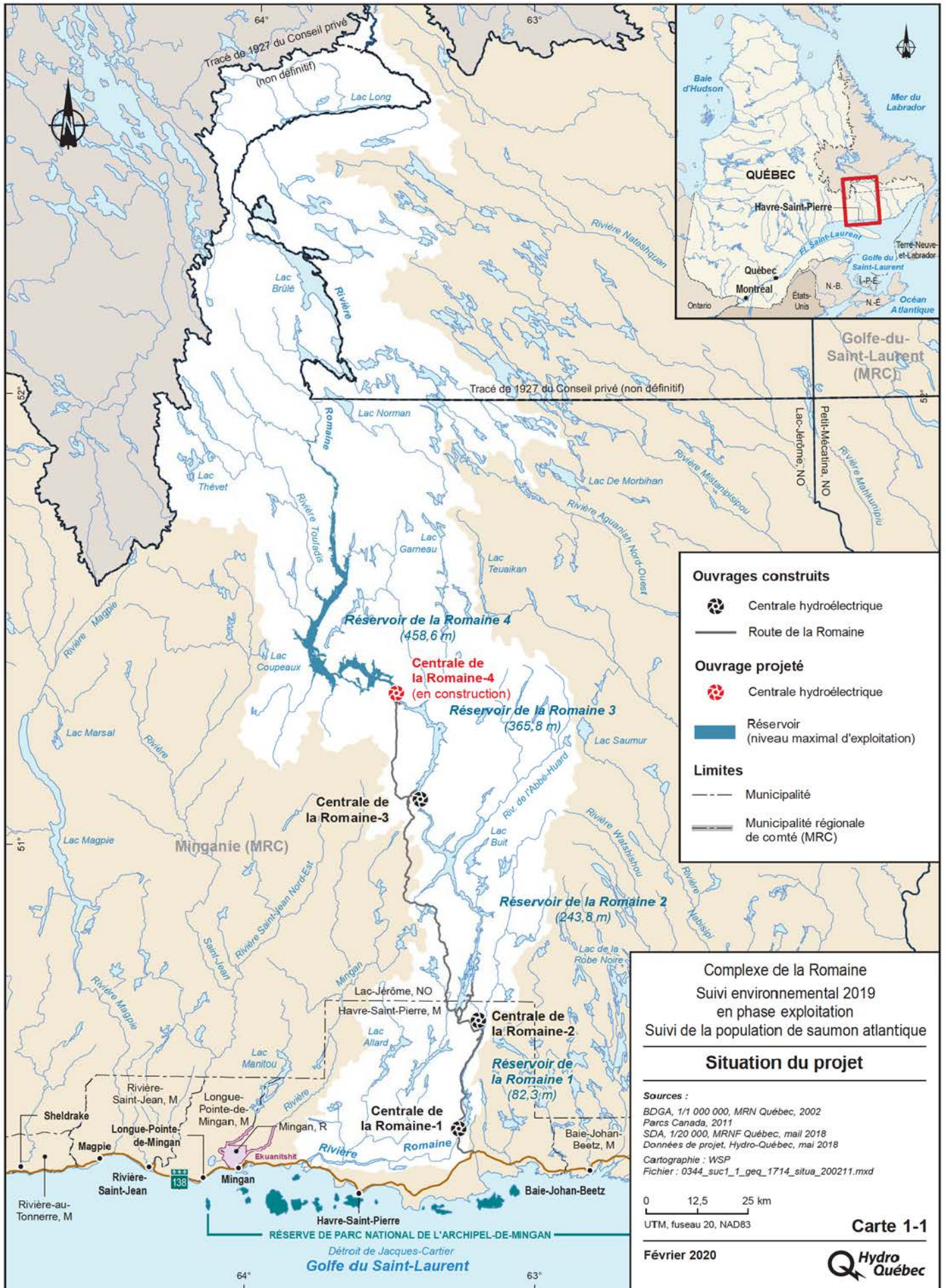
En mai 2009, les gouvernements fédéral et provincial autorisaient l'aménagement d'un complexe hydroélectrique sur la rivière Romaine (Complexe de la Romaine), au nord de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord. Hydro-Québec a dès lors amorcé la construction de quatre centrales hydroélectriques d'une puissance totale de 1 550 MW sur ce cours d'eau. Chacun des quatre aménagements hydroélectriques de ce complexe, situés respectivement au PK 191,9 (Romaine-4), au PK 158,4 (Romaine-3), au PK 90,3 (Romaine-2) et au PK 51,5 (Romaine-1), comprend un barrage en enrochement, une centrale et un réservoir (carte 1-1). Les centrales de la Romaine-2, de la Romaine-1 et de la Romaine-3 ont respectivement été mises en service lors des automnes 2014, 2015 et 2017, à la suite du remplissage des réservoirs correspondant au cours des mois précédents. Il est prévu que la mise en eau du réservoir de la Romaine 4 débute en juin 2020 et que la centrale de la Romaine-4 soit mise en service en 2021. La superficie totale des quatre réservoirs projetés est de 279,2 km². Le projet inclut également la construction d'une route de 150 km reliant la route 138 aux aménagements hydroélectriques, ainsi qu'environ 500 km de lignes de transport d'énergie.

1.2 Engagements et obligations

La réalisation du complexe hydroélectrique de la Romaine est soumise au respect de nombreuses conditions et engagements, dont plusieurs concernent la protection de l'environnement et le suivi environnemental. Un programme de suivi environnemental pour la période de 2009 à 2040 a été déposé aux autorités gouvernementales en janvier 2010. Ce programme a été mis à jour pour le saumon en juin 2014, de concert avec les autorités concernées. Il couvre l'ensemble des éléments du suivi et comprend les objectifs poursuivis, les zones d'études, les méthodes retenues ainsi que le calendrier de réalisation. Ce programme comprend, entre autres, divers suivis sur la population de saumon qui permettront d'évaluer les effets de l'exploitation des aménagements hydroélectriques sur cette espèce, de même que l'efficacité des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation mises en place dans le cadre du projet. Le saumon atlantique (*Salmo salar*), une espèce hautement valorisée, est peu abondant dans la Romaine où il fréquente le tronçon compris entre l'embouchure et le PK 51, où se trouvait une chute infranchissable pour le saumon avant la construction de la centrale de la Romaine-1.

En considérant que la mise en eau des réservoirs et l'exploitation des centrales entraîneront une modification du régime hydrologique de la Romaine, notamment dans le tronçon entre son embouchure et le canal de fuite de la centrale de la Romaine-1, un régime de débit réservé écologique a été établi, des modalités d'exploitation particulières ont été instaurées et des habitats (frayères et habitats d'élevage) ont été aménagés pour minimiser les impacts du projet sur le saumon atlantique. En conditions naturelles, le régime hydrologique de la Romaine était typique des rivières de la Côte-Nord, c'est-à-dire caractérisé par des crues printanières généralement fortes (1 500 m³/s en moyenne) et des étiages hivernaux prononcés (entre 75 et 100 m³/s).

L'étiage le plus prononcé survenait en hiver, alors que le débit minimal variait généralement de 58 à 84 m³/s (25^e et 75^e centile des débits moyens journaliers en février et mars, série de 1958 à 2004; Hydro-Québec, 2007). Ce régime est maintenant remplacé par un régime d'exploitation où le module annuel demeure le même, mais où le débit varie généralement à l'intérieur d'une plage plus restreinte, soit entre 140 et 525 m³/s (en moyenne), égal ou supérieur au régime de débits réservés écologiques.



Comme prévu, l'inertie thermique associée à la présence des réservoirs en amont a pour effet de retarder le réchauffement printanier de l'eau de la Romaine alors qu'à l'inverse, le refroidissement automnal se produit plus tard qu'en conditions naturelles. Les figures jointes à l'annexe 1 (figures A1-1 et A1-2) montrent les températures journalières et les débits journaliers de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) entre 2010 et 2019. Elles illustrent les modifications associées à la mise en eau et à la présence de réservoirs dans la portion aval du bassin versant (Romaine 2 en 2014, Romaine 1 en 2015, puis Romaine 3 en 2017).

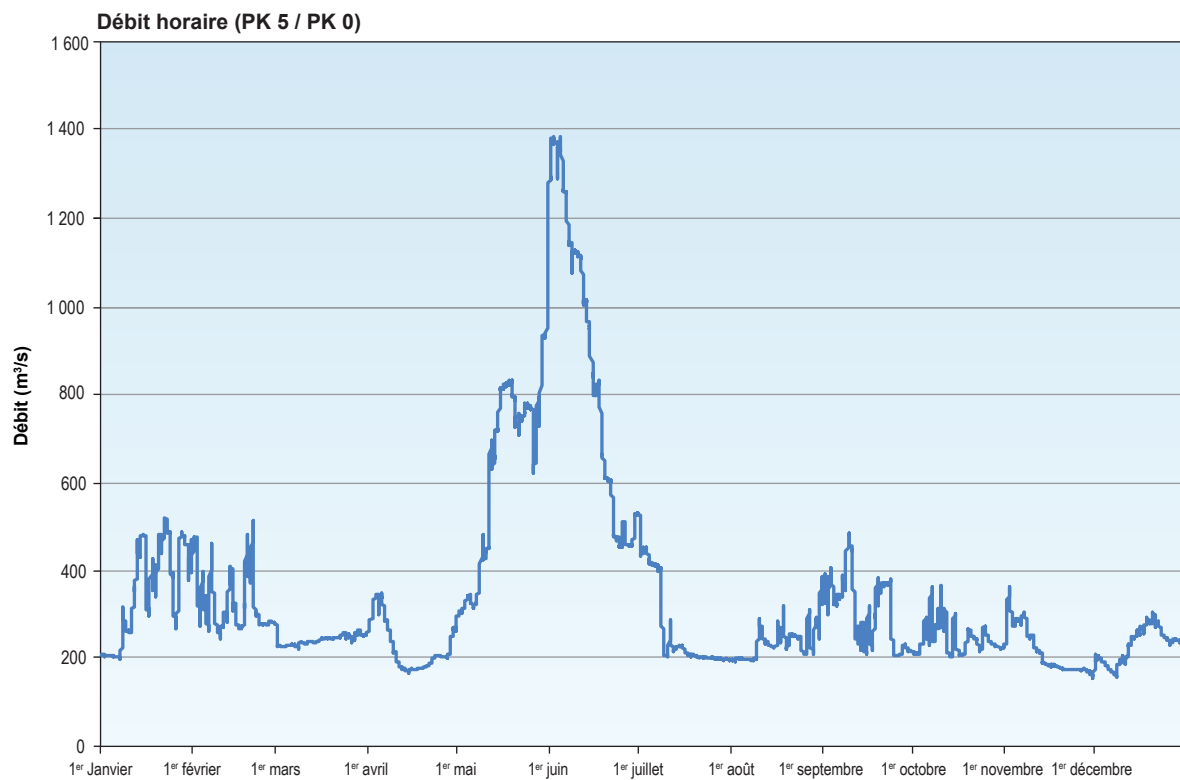
La construction de l'aménagement de la Romaine-2 a été complétée en 2014 et le remplissage du réservoir, d'une superficie de 85,8 km², s'est échelonné du 10 mai au 7 novembre 2014. La centrale a ensuite été mise en service le 6 décembre 2014. Le remplissage du réservoir de la Romaine 1, d'une superficie de 12,6 km² s'est déroulé du 23 septembre au 20 octobre 2015. La centrale de la Romaine-1 a ensuite été mise en service le 13 décembre 2015. Enfin, le réservoir de la Romaine 3, d'une superficie de 38,6 km², a été rempli en 2017, soit du 10 mai au 12 juin. La centrale de la Romaine-3 a ensuite été mise en service le 9 septembre 2017.

Depuis 2014, les conditions météorologiques et les contraintes techniques associées au remplissage des réservoirs causent une variabilité accrue des débits évacués comparativement aux conditions normales d'exploitation attendues. Cette variabilité est observée notamment lors des déversements qui entraînent une hausse subite du débit de la Romaine en aval des installations hydroélectriques. L'année 2019 s'insère dans la période transitoire qui s'échelonna jusqu'en 2021, soit jusqu'à la mise en service de la centrale de la Romaine-4. La présence de ce réservoir de 142,2 km² contribuera à réduire les fluctuations de débit associées aux apports naturels. La figure 1-1 montre les fluctuations de débit et de température à l'embouchure de la Romaine entre le début d'avril et la fin de novembre 2019. L'annexe 1 (figure A1-3) montre également les débits horaires enregistrés au PK 46 (station ROMA0944) au cours de l'année 2019.

Conformément à ses engagements et à ses obligations, Hydro-Québec a procédé à divers aménagements visant à maintenir ou à augmenter la production salmonicole de la Romaine. Des frayères et des habitats d'élevage ont ainsi été réalisés au printemps 2014 dans la portion amont de la Romaine accessible au saumon. Dans le secteur du PK 49, les aménagements incluent une frayère de près de 5 700 m² et deux habitats d'élevage totalisant environ 8 900 m². Plus près de la centrale de la Romaine-1, au PK 51, une autre frayère d'environ 1 550 m² a également été aménagée, de même qu'un habitat d'élevage de 6 300 m².

De plus, un régime de débits réservés écologiques minimum est appliqué en conditions d'exploitation à l'aval de la centrale de la Romaine-1 afin d'assurer le maintien de conditions propices à l'accomplissement de chacune des phases du cycle vital du saumon atlantique en rivière (Hydro-Québec, 2010). Du 7 juin au 7 juillet (période d'émergence des alevins), le débit réservé minimum est de 200 m³/s. Pour la période du 8 juillet au 15 octobre, le débit réservé minimum est de 170 m³/s. Par la suite, entre le 16 octobre et le 15 novembre, soit pendant la période de reproduction du saumon, le débit turbiné sera généralement maintenu à 200 m³/s pour éviter de perturber les activités de reproduction du saumon, sauf si les risques de déversement à l'évacuateur de crue sont élevés. Par la suite, à partir du 16 novembre au 6 juin (incubation des œufs), le débit réservé hivernal minimal est fixé à 140 m³/s, mais la gestion de l'eau se fait généralement entre 200 et 400 m³/s pour les besoins de puissance en hiver (le débit normal d'exploitation en hiver atteint rarement 140 m³/s).

Figure 1-1 **Températures et débits près de l'embouchure de la Romaine en 2019**



sauf en cas de faible hydraulité et en cas de bris des deux groupes turbines-alternateurs (T/A) de la centrale de la Romaine-1). Outre le respect d'un régime de débits réservés, certaines restrictions sur les arrêts et les redémarrages des groupes T/A de la Romaine-1 s'appliquent à certaines heures pour prévenir les risques d'échouage ou d'entraînement des juvéniles de saumon.

Le présent document porte sur les activités réalisées en 2019 dans le contexte du programme de suivi du saumon. Il s'agit de l'évaluation du nombre de smolts¹ en dévalaison (7^e année consécutive de suivi depuis 2013), du suivi de l'entraînement des saumons juvéniles (4^e année consécutive de suivi depuis 2016), de l'inventaire des juvéniles sur les habitats aménagés (5^e année consécutive de suivi depuis 2015), de l'évaluation de l'intégrité des habitats aménagés (partie caractérisation visuelle du substrat de surface, 4^e année consécutive de suivi depuis 2016), du déroulement de la fraie (5^e année consécutive depuis 2015), du dénombrement des nids de saumons (10^e année consécutive depuis 2010), de l'échouage des saumons juvéniles (3^e suivi après 2016 et 2017) et, finalement, de l'estimation du taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine (4^e suivi après 2010-2011, 2012-2013 et 2016-2017). Le suivi de la qualité granulométrique des frayères a également été réalisé en 2019, mais fait l'objet d'un rapport distinct.

Ces activités sont liées à des engagements ou des conditions d'autorisations provenant :

- de l'étude d'impact :
 - le suivi du saumon est prévu au chapitre 47 de l'étude d'impact, section 47.2.3.
- du certificat d'autorisation du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) délivré en vertu de l'article 164 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (référence 530-2009, annexe 2);
- de l'autorisation du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) (n° 2015-006, annexe 2).

1.3 Revue des études antérieures

Conditions à l'état de référence (2003-2014)

Lors des études d'avant-projet réalisées pour les besoins de l'étude d'impact sur l'environnement et de celles réalisées à la suite de l'obtention des autorisations gouvernementales en 2009, Hydro-Québec a dressé un état de référence détaillé de la population de saumon atlantique et de ses habitats dans la rivière Romaine (Hydro-Québec, 2007, 2008; GENIVAR, 2002, 2011a, 2012a, 2013; WSP, 2014a, 2015). Ces études ont permis, entre autres, d'estimer l'abondance de la population de saumons adultes en montaison, de caractériser la qualité des frayères naturelles, d'y dénombrer les nids de fraie, d'étudier les conditions hydrologiques permettant aux saumons de franchir les chutes à Charlie et d'estimer l'abondance de smolts produits annuellement dans la rivière.

1 Saumons dévalant vers la mer après leurs premières années de vie (généralement 2 ou 3 ans) passées en rivière.

Le saumon remontait la rivière Romaine jusqu'au pied de la Grande Chute (emplacement actuel de la centrale de la Romaine-1), localisée au PK 51, ainsi que la rivière Puyjalon, un tributaire important localisé au PK 13 de la Romaine. Le nombre de saumons en montaison a été estimé lors de trois années, soit par un système hydroacoustique, soit à l'aide d'une barrière de comptage. Les résultats indiquent que l'abondance de la population de saumons adultes est plutôt faible, avec des montaisons s'établissant respectivement à 330 en 2001, 151 en 2010 et 266 en 2013. La pêche sportive a d'ailleurs été fermée en 2011 à la suite de la faible montaison observée en 2010. Les estimations de la montaison comprennent les captures par les Innus (2010, 2013) et par la pêche sportive allochtone (2001 et 2010). Le nombre de saumons ayant participé à la fraie est donc plus faible, soit aux environs d'une cinquantaine en 2010 et de l'ordre de 125 en 2013.

Dans le cours principal de la Romaine, on trouvait quatre frayères avant le début de la construction du complexe hydroélectrique, situées aux PK 34,5, 46,2, 48,9 et 51,4. Les principales frayères sont celles situées aux PK 34,5 et 46,2. Elles ont été systématiquement utilisées par le saumon à chacune des années d'inventaires, tant avant qu'après le début de la construction du complexe hydroélectrique. La frayère du PK 48,9 n'était pas utilisée de façon régulière par le saumon avant 2014. Elle est encore utilisée de façon occasionnelle depuis cette année-là. Enfin, la frayère du PK 51,4, une frayère rarement utilisée en conditions naturelles, a été détruite lors de la construction de Romaine-1. Sa perte a été compensée par l'aménagement de frayères artificielles au PK 49 et au PK 51.

Plusieurs sites de fraie sont également présents dans la Puyjalon au pied d'obstacles infranchissables, soit dans un tronçon d'environ 5 km en aval du lac Puyjalon et dans deux tributaires de la Puyjalon, soit les rivières Allard et Bat-le-Diable. Un décompte des nids de fraie dans les rivières Romaine et Puyjalon a été réalisé en 2003 et 2004, puis annuellement depuis 2010. Le nombre de nids recensé a varié entre 196 en 2003 et 72 en 2014. Dans la Romaine plus spécifiquement, le nombre de nids a récemment fluctué entre 30 et 63 de 2010 à 2014. Sur l'ensemble des nids inventoriés dans le bassin de la Romaine accessible au saumon, la proportion des nids retrouvés dans le cours principal de la Romaine a varié entre 24 et 56 %, selon les années de l'état de référence.

Le nombre de smolts en dévalaison a été évalué à environ 21 300 en 2013 et à 27 800 en 2014. La mortalité étant généralement reconnue comme très importante en mer (98 %), en particulier depuis les années 1990, ces chiffres concordent à des retours de saumon de l'ordre de 300 individus, comme ceux évalués en 2001 et en 2013.

Aménagements pour le saumon (2014)

Comme précisé à la section 1.2, deux frayères ainsi que des habitats d'élevage adjacents ont été aménagés pour le saumon par Hydro-Québec en 2014 (GENIVAR, 2012b; Hydro-Québec, 2014). Ces aménagements sont localisés aux PK 49 et 51 de la rivière Romaine. Les critères de conception font en sorte que les conditions d'écoulement sur les frayères sont optimales pour les débits prévus d'exploitation de Romaine-1, soit 200 et 400 m³/s, et permettent l'ennoisement des deux frayères au débit réservé minimal de 140 m³/s prévu durant la période hivernale.

Suivis environnementaux en condition d'exploitation (2015-2018)

Bien que le remplissage du réservoir de la Romaine 2 ait débuté au printemps 2014, son remplissage n'a été complété qu'à la fin de 2014 et la centrale de la Romaine-2 a été mise en exploitation à compter du 6 décembre de la même année. L'année 2015 constitue ainsi la première année complète du suivi en phase exploitation avec des conditions d'hydraulicité modifiées dans la rivière Romaine. Mais c'est également une année de transition, car ce fut celle du remplissage du réservoir de la Romaine 1. En 2016, les conditions hydrauliques qui prévalaient dans la Romaine se rapprochaient davantage des conditions normales d'exploitation puisque les aménagements de la Romaine-1 et de la Romaine-2 étaient alors en service et que le débit de la Romaine n'a pas été influencé par le remplissage d'un réservoir et la mise en service d'une centrale. La variabilité des débits demeurerait toutefois plus élevée que lorsque le réservoir de la Romaine 4 accumulera les apports naturels de l'amont du bassin versant, causant ainsi le laminage des débits. En 2017, les conditions étaient à nouveau similaires à celles qui prévalaient en 2015, en raison du remplissage du réservoir de la Romaine 3. En 2018, aucun réservoir n'a été rempli et les conditions se rapprochaient donc de celles qui prévaudront en période d'exploitation. Néanmoins, des ajustements au patron de gestion de l'eau à la centrale de la Romaine-1 ont été apportés à l'automne 2018, afin de réduire l'amplitude et la fréquence des variations de débit en période hivernale.

En 2015 et en 2018, la montaison des saumons a eu lieu environ deux semaines plus tard que lors des années de référence (2010 et 2013). La montaison totale a respectivement été estimée à 188 saumons en 2015 et à 164 saumons en 2018. Dans ce cas, aucune donnée sur les captures liées à la pêche de subsistance en aval de la barrière n'était cependant disponible ne permettant pas de tenir compte de ces saumons dans l'évaluation de la montaison totale. La proportion de madeleineaux au sein de la population de saumons adultes en montaison a respectivement été de 35 % et de 39 % (65 % et 61 % de rédibermarins), ce qui est du même ordre de grandeur que ce qui prévalait en 2010 et 2013.

De 2015 à 2018, des signes que la fraie du saumon était en cours ont été observés au cours de la dernière semaine d'octobre, comme c'était également le cas en conditions naturelles, bien que les températures de l'eau soient maintenant plus élevées. Ce constat semble indiquer que la photopériode a une influence marquée dans le déroulement de la fraie depuis que le régime thermique de la rivière a été modifié en 2015. Néanmoins, la fraie du saumon se termine désormais quelques jours plus tard qu'en conditions naturelles, soit dans la première semaine de novembre. Quant aux nombres de nids de saumons recensés dans l'ensemble du bassin versant de la Romaine, les années 2015 à 2018 affichent les plus hauts totaux depuis le début du suivi annuel en 2010, avec 137 à 273 nids comparativement à 72 à 136 nids entre 2010 et 2014. Cette augmentation traduit principalement la hausse considérable de nids recensés dans le cours principal de la Romaine avec 74 à 205 nids entre 2015 et 2018, incluant une proportion considérable dans les frayères aménagées, en particulier celle du PK 49 (25 à 86 nids).

Les travaux réalisés entre 2015 et 2018 permettent également de constater que la dévalaison des smolts se déroule maintenant plus tard qu'en conditions naturelles. Ce décalage est de l'ordre de deux semaines, bien qu'il ait été moins marqué en 2017, vraisemblablement en raison de la température printanière de l'eau plus élevée, se rapprochant des conditions de référence.

Au cours de ces trois années, l'évaluation de la population de smolts en dévalaison dans la Romaine a varié entre 11 479 et 15 443 individus, ce qui est plus faible qu'au cours des deux années précédentes. Il est à souligner que les travaux réalisés jusqu'ici en conditions d'exploitation ont été compliqués par la présence d'une algue filamenteuse dans la colonne d'eau augmentant la résistance offerte par les engins de capture. Ce phénomène serait associé à la mise en eau des réservoirs et serait toutefois limité à quelques années. D'ailleurs, les algues étaient moins abondantes au printemps et à l'été 2017, alors que le plus récent remplissage de réservoir remontait à 2015. En 2018, les algues filamenteuses étaient généralement moins abondantes. Toutefois, des plantes aquatiques de plus grande taille ont été observées en plus grande quantité, notamment sur les habitats aménagés.

Certaines activités de suivi ont été réalisées uniquement depuis le début de la période d'exploitation des aménagements hydroélectriques, soit celles qui concernent l'utilisation et l'intégrité des habitats aménagés en 2014 (inventaire des juvéniles sur les habitats aménagés et intégrité de ceux-ci), de même que celles associées à la gestion des débits de la Romaine (entraînement et échouage des saumons juvéniles). L'inventaire de juvéniles dans les habitats aménagés indique que l'aire d'élevage amont du PK 49 est la plus utilisée, et ce, chaque année. Les habitats aménagés sont stables et conservent leur intégrité physique, bien que quelques zones soient caractérisées par la présence de sédiments fins. Quant au suivi de l'échouage des juvéniles réalisé pour la première fois en 2016, puis à nouveau en 2017, celui-ci indique que le passage de deux à un groupe T/A aux installations de la Romaine-1 ne semble pas occasionner de problématique significative d'échouage chez les saumons juvéniles.

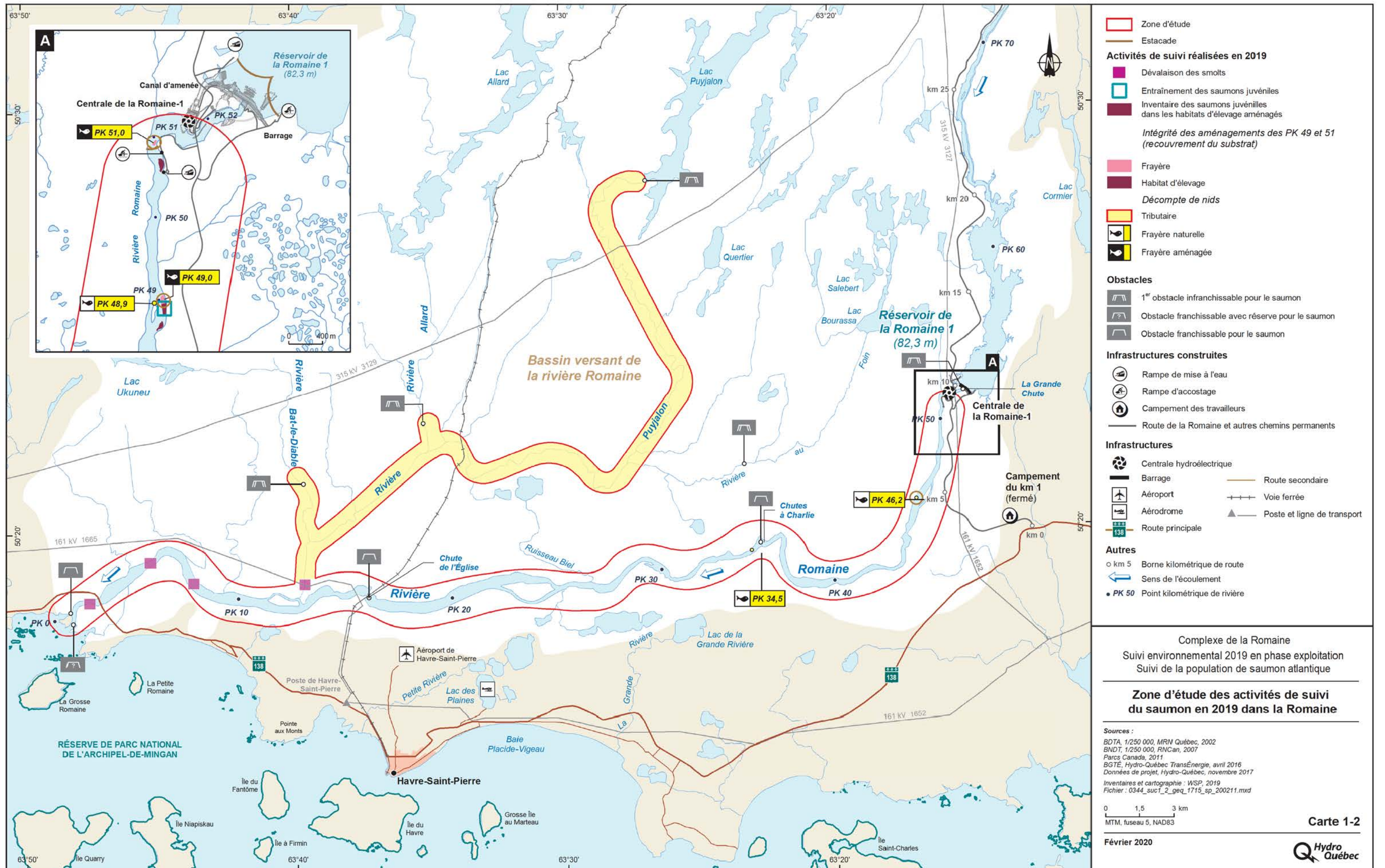
1.4 Objectifs et zone d'étude

L'objectif général de l'étude est de vérifier les effets de la modification du régime thermique et du régime de débits sur la population de saumon et ses habitats. Dans ce contexte, les activités suivantes ont été réalisées en 2019 :

- évaluer le nombre de smolts en dévalaison dans le cours principal de la Romaine et dans son affluent Puyjalon au printemps et à l'été;
- déterminer l'âge à la smoltification ainsi que la croissance et estimer l'indice de survie des juvéniles de saumon (smolts) issus de la fraie de 2015;
- participer à l'étude de l'entraînement des saumons juvéniles menée par l'INRS;
- décrire l'intégrité physique des habitats aménagés et leur utilisation par les saumons adultes et juvéniles, notamment en évaluant les densités d'alevins et de tacons dans les habitats d'élevage aménagés dans le cours principal de la Romaine;
- documenter le déroulement de la fraie du saumon et réaliser le décompte de nids de fraie du saumon dans la portion accessible de la Romaine et de ses affluents (rivière Puyjalon et ses tributaires Bat-le-Diable et Allard), ce qui permettra de suivre l'évolution de la population de saumon en conditions aménagées (Romaine) et naturelles (affluents);
- vérifier si des saumons juvéniles s'échouent ou demeurent prisonniers de cuvettes dans les secteurs exondés de la Romaine à la suite du passage de deux à un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1;

- retirer des frayères de la Romaine les embryons de saumon implantés à l'automne 2018 en vue d'estimer leur taux de survie.

La méthodologie, les résultats et la discussion pour les différentes activités sont présentés dans les chapitres suivants dans l'ordre chronologique de leur réalisation. Les zones où les sites d'étude de chacune des activités réalisées en 2019 sont présentés sur la carte 1-2.



Zone d'étude

Estacade

Activités de suivi réalisées en 2019

- Dévalaison des smolts
- Entraînement des saumons juvéniles
- Inventaire des saumons juvéniles dans les habitats d'élevage aménagés

Intégrité des aménagements des PK 49 et 51 (recouvrement du substrat)

Décompte de nids

- Frayère
- Habitat d'élevage

Tributaire

- Frayère naturelle
- Frayère aménagée

Obstacles

- 1^{er} obstacle infranchissable pour le saumon
- Obstacle franchissable avec réserve pour le saumon
- Obstacle franchissable pour le saumon

Infrastructures construites

- Rampe de mise à l'eau
- Rampe d'accostage
- Campement des travailleurs
- Route de la Romaine et autres chemins permanents

Infrastructures

- Centrale hydroélectrique
- Barrage
- Aéroport
- Aérodrome
- Route principale
- Route secondaire
- Voie ferrée
- Poste et ligne de transport

Autres

- km 5
- Borne kilométrique de route
- Sens de l'écoulement
- PK 50
- Point kilométrique de rivière

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

Zone d'étude des activités de suivi du saumon en 2019 dans la Romaine

Sources :
BDTA, 1/250 000, MRN Québec, 2002
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
Parcs Canada, 2011
BGTE, Hydro-Québec TransÉnergie, avril 2016
Données de projet, Hydro-Québec, novembre 2017
Inventaires et cartographie : WSP, 2019
Fichier : 0344_suc1_2_geq_1715_sp_200211.mxd

0 1,5 3 km
MTM, fuseau 5, NAD83

Février 2020

Carte 1-2

Hydro Québec

2. Dévalaison des smolts

Les objectifs spécifiques de cette activité sont de :

- évaluer le nombre de smolts en dévalaison dans les rivières Romaine et Puyjalon;
- pour la rivière Romaine, déterminer à l'aide d'analyses génétiques le nombre de smolts issus de la reproduction naturelle (smolts sauvages) et des ensemencements, ainsi que leur appartenance aux sous-populations de la Romaine et de la Puyjalon;
- faire une caractérisation biologique sommaire des deux sous-populations (âge, taille, masse, coefficient de condition, sexe, etc.);
- établir dans la mesure du possible une relation entre l'abondance des smolts et le nombre de nids lors des fraies antérieures.

2.1 Matériel et méthode

2.1.1 Plan d'échantillonnage et sites d'étude

Comme lors des années précédentes du suivi, les populations de smolts en dévalaison dans les rivières Romaine et Puyjalon ont été évaluées au moyen de la méthode de capture-marquage-recapture (CMR), en utilisant des filets-trappes de type « chalut » comme engins de capture. Le principe de base consiste à capturer une partie de la population que l'on considère représentative. Les spécimens capturés sont ensuite marqués et relâchés. Une fois que les individus marqués sont mélangés avec le reste de la population, des captures sont à nouveau effectuées au sein de celle-ci. En considérant que le nombre d'individus marqués dans le second échantillon est proportionnel au nombre d'individus marqués dans la population totale, il est alors possible d'estimer la taille de la population totale. Plus précisément, l'abondance de la population est évaluée à l'aide de l'estimateur de Petersen (modifié par Chapman), lequel est décrit en détail à la section 2.1.4, de même que les conditions de son application au terrain.

L'estimation d'une population de smolts en dévalaison peut être effectuée selon deux approches. Une première consiste à prévoir deux sites de captures : un premier site, en amont, est le lieu où les smolts sont capturés, marqués et relâchés; le second site, plus en aval, est le lieu où les smolts sont capturés en vue de les examiner pour déceler ceux qui portent des marques.

La seconde approche est d'établir un seul site de capture : les poissons y sont capturés et marqués, puis ils sont transportés et relâchés un peu plus en amont, de façon à ce qu'ils se mélangent aux autres smolts en dévalaison. Depuis le début du suivi, c'est la seconde approche qui a été adoptée.

Étant donné le faible nombre de captures de smolts dans le cours principal de la Romaine en 2018, la campagne de terrain de 2019 s'est amorcée par des relevés bathymétriques à différents endroits dans la portion aval de la Romaine, dans le but de trouver un ou des nouveaux sites de capture de smolts. Des bouées munies d'un GPS ont également été mises à l'eau à quelques endroits, afin qu'elles soient emportées par le courant, de façon à localiser la veine d'eau principale où les smolts en dévalaison sont susceptibles de se concentrer. Rappelons que lors des suivis précédents, tous les engins de capture étaient positionnés dans le secteur du PK 5.

Ces relevés ont mené à l'identification d'un nouveau secteur prometteur localisé entre le PK 7 et le PK 8. À cet endroit, la rivière Romaine est plus large qu'au PK 5 (environ 400 m plutôt que 250 m), mais la présence d'une zone peu profonde caractérisée par un important dépôt de sable en rive droite a pour effet de concentrer l'écoulement près de la rive gauche. De plus, le secteur juste en aval de la route 138 (PK 2) caractérisé par un étranglement marqué de la Romaine (< 200 m) et des vitesses d'écoulement plus élevées a aussi été identifié comme potentiellement intéressant, malgré les défis techniques associés à la force du courant. Ainsi, en 2019, des filets-trappes ont été installés dans ces deux secteurs, de même que sur les sites du PK 5 ayant eu le meilleur succès de pêche au cours des suivis précédents (carte 2-1) :

- PK 2 : sites 24A et 27A;
- PK 5 : sites 1A, 4A et 28A;
- PK 7-8 : sites 20A à 23A, 25A et 26A.

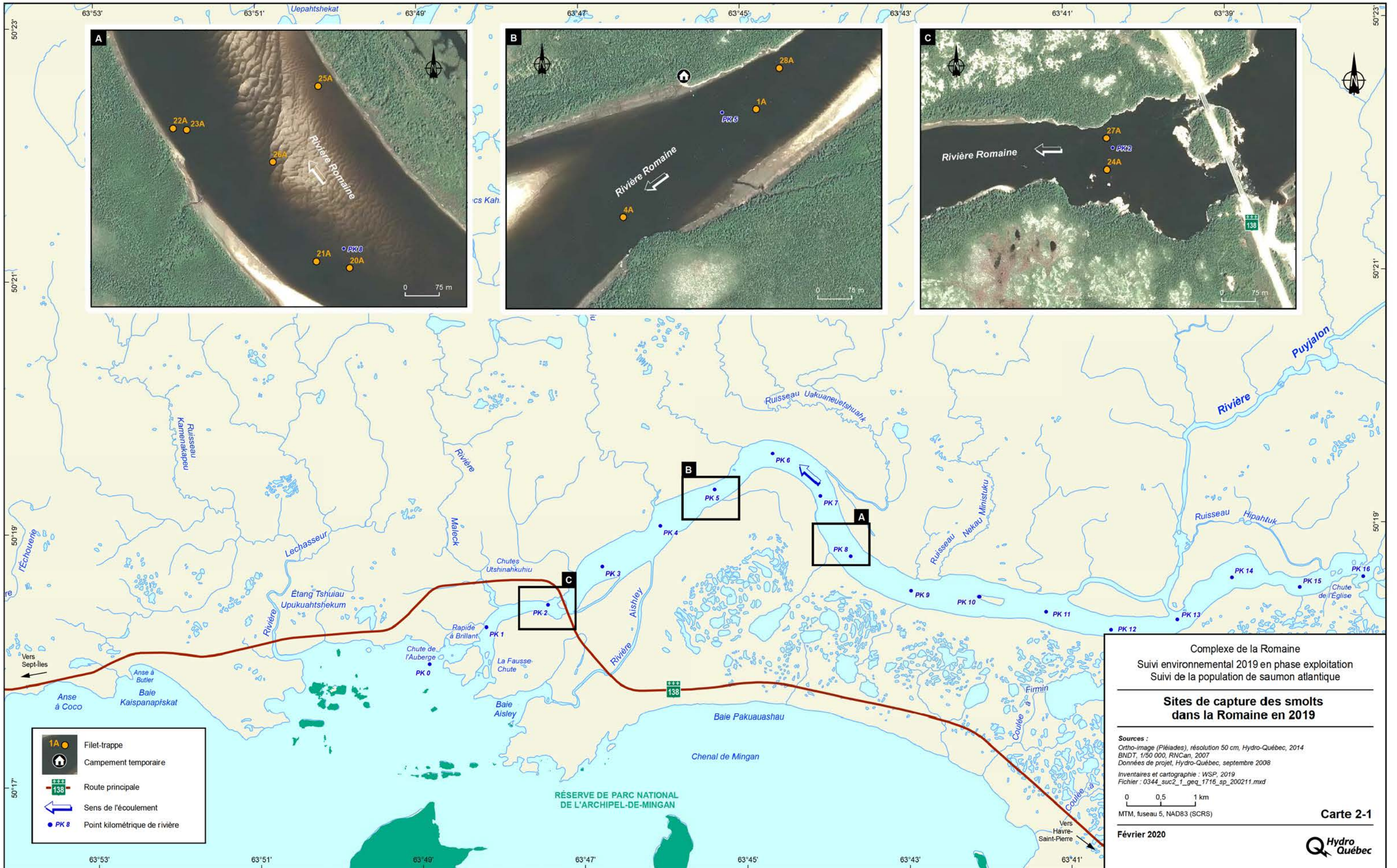
Bien que des engins de captures aient ainsi été installés sur 11 sites différents dans la Romaine en 2019, le nombre de trappes en opération simultanément n'a jamais dépassé 7. Dans la rivière Puyjalon, le site d'échantillonnage se trouve à environ 1 km en amont de son embouchure dans la Romaine (bras amont). Un seul engin de capture a été utilisé sur le même site que lors des deux dernières années (site 11A, carte 2-2).

En plus des smolts capturés et marqués dans le contexte du suivi réalisé pour Hydro-Québec, un certain nombre de smolts ont également été conservés pour les besoins suivants :

- Engraissement de saumons juvéniles par la Société saumon de la rivière Romaine (SSRR) en vue de produire des géniteurs dans le contexte des activités de restauration de la population : 205 smolts capturés dans la Romaine (incluant 2 recaptures).
- Étude sur les microbiotes du saumon par l'Université Laval et appuyée par Hydro-Québec : 77 smolts, soit 24 smolts capturés dans la Romaine et 53 dans la Puyjalon.

2.1.2 Engins de pêche et période d'échantillonnage

Les filets-trappes utilisés pour la capture de smolts sont spécialement conçus pour opérer efficacement sous des vitesses de courant élevées. Ces engins, d'une longueur de 9,1 m, ont une forme cylindrique et sont munis de cerceaux de 0,75 m de diamètre, de deux cônes antiretour de 25 cm de diamètre et d'une chambre de récupération faite en toile de nylon dans laquelle les poissons capturés se regroupent (figure 2-1). Cette chambre constitue un abri où la vitesse de courant est diminuée par rapport à ce qui prévaut en rivière. L'ouverture des engins est rectangulaire et fait 1,8 m x 2,4 m. La grandeur des mailles des filets-trappes varie de 3,2 cm à 1,3 cm, de l'ouverture vers la chambre de récupération des captures. Les filets-trappes possèdent également des ailes de 7,6 m de longueur (25 pi) pouvant être raccordées à des ailes supplémentaires de 9 m (30 pi) ou 18 m (60 pi) de longueur pour couvrir une plus large section de rivière et augmenter les probabilités de capture, à condition que les conditions en rivière le permettent.



Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

**Sites de capture des smolts
 dans la Romaine en 2019**

Sources :
 Ortho-image (Pliades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 BNDT, 1/50 000, RNCan, 2007
 Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008
 Inventaires et cartographie : WSP, 2019
 Fichier : 0344_suc2_1_geq_1716_sp_200211.mxd

0 0,5 1 km
 MTM, fuseau 5, NAD83 (SCRS)

Février 2020

Carte 2-1

Hydro Québec

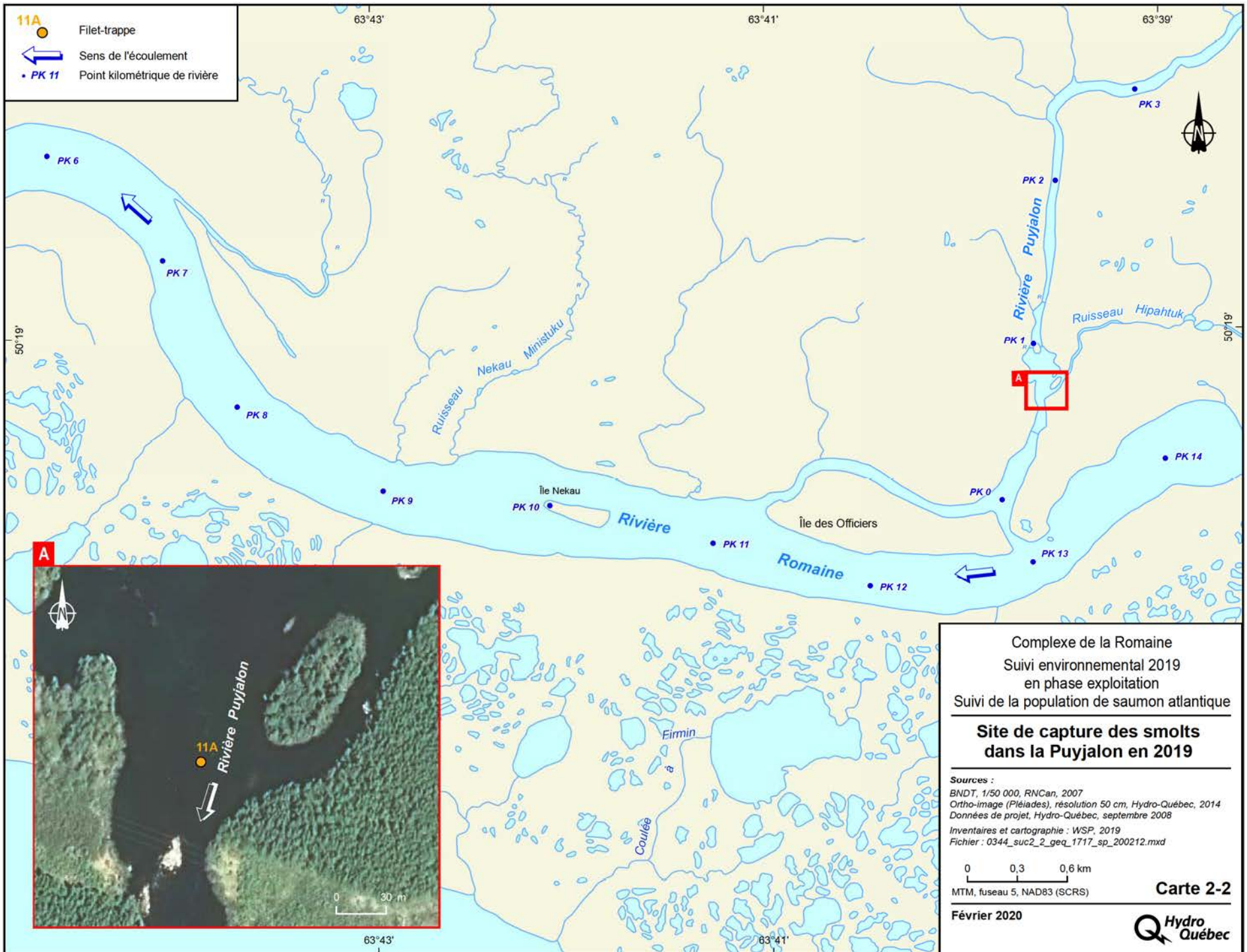
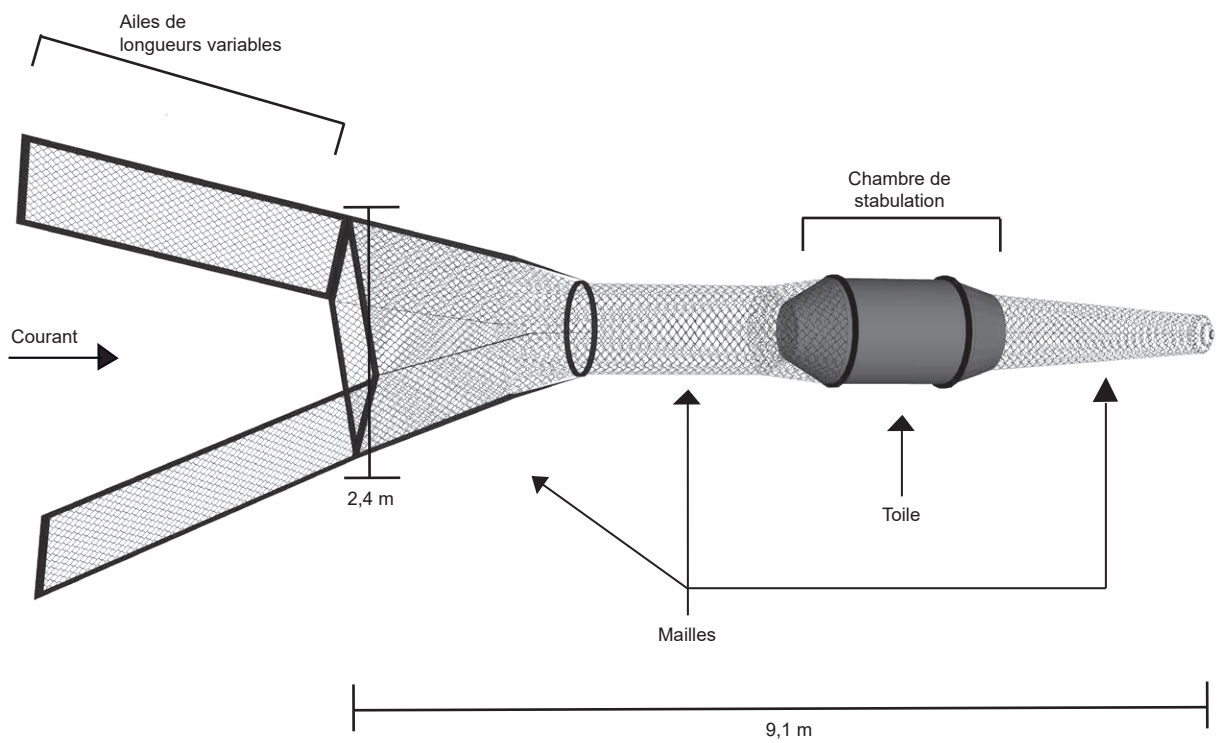


Figure 2-1 Filet-trappe utilisé pour la capture de smolts en 2019



Note : La figure n'est pas à l'échelle

0344_suf2_1_geq_1699_sp_200902.ai

Dans le cours principal de la Romaine, les filets-trappes ont été installés au début de juin 2019, en aval des zones de production salmonicole du cours principal de la Romaine et de l'affluent Puyjalon (carte 1-2). La première trappe était fonctionnelle dès le 8 juin dans le secteur des PK 7 à 8 (trappe 20A), alors qu'un minimum de cinq trappes était en opération à compter du 11 juin (sauf le 13 juin où les forts vents et les vagues ont mené à des ajustements). Le nombre de trappes est ensuite passé à 6 le 16 juin, puis à 7 pendant quelques jours et systématiquement à compter du 29 juin. Les trappes installées dans la Romaine ont été fixées au lit de la rivière au moyen d'ancres, sauf dans le secteur du PK 2 où les deux trappes ont plutôt été attachées à un câble préalablement fixé aux deux rives (carte 2-1). Pour chaque engin de pêche, la longueur de la corde reliant la gueule des trappes aux bouées a été ajustée de manière à obtenir la profondeur désirée. En moyenne, la gueule des trappes était positionnée à environ 1 m sous la surface, mais certaines trappes étaient positionnées à des profondeurs différentes (ex : trappe en surface suivie d'une trappe plus en profondeur juste en aval).

En raison du débit et des vitesses de courant élevés dans le cours principal de la Romaine au début des travaux de terrain, les trappes ont initialement été installées sans aile. Celles-ci ont ensuite été ajoutées graduellement sur les différents sites, en commençant par le secteur des PK 7 à 8, caractérisé par un courant plus faible. L'ajout d'ailes n'a cependant pas été possible au PK 2 en raison des vitesses de courant plus élevées sur ce site. Pour cette raison, une chaudière de plastique était fixée aux engins de capture sur ce site, en aval de la chambre de stabulation, afin de créer un contre-courant et ainsi réduire la vitesse du courant à l'intérieur de la chambre de stabulation.

Comme c'est le cas depuis la mise en eau du premier réservoir en 2014, des algues à la dérive dans la colonne d'eau s'accumulent sur les ailes et sur les trappes installées dans la Romaine. Celles-ci augmentent la résistance à l'écoulement offerte par les trappes, en particulier pendant la crue printanière, alors que la vitesse du courant est plus grande et que de nombreux débris en rivière s'ajoutent à ces algues. Les opérations au terrain ont donc à nouveau dû être adaptées en raison de la présence de ces algues et débris végétaux. Les trappes ont donc été nettoyées minutieusement lors de chacune des levées (annexe 3, photos 1 et 2). Pour ce faire, la pompe utilisée depuis 2016 pour le nettoyage a de nouveau été utilisée en 2019. Il n'a cependant pas été requis de réaliser deux levées quotidiennes des trappes.

Dans le cours principal de la Romaine, une première trappe a été retirée le 17 juillet, suivie de deux trappes par jour au cours des trois jours suivants. Le retrait de tous les filets-trappes a ainsi été complété le 20 juillet, après un effort total de pêche de 256 nuits. Comme au cours des derniers suivis, ce retrait relativement tardif vise à tenir compte du décalage de quelques jours dans la période de dévalaison des smolts sur le cours principal de la Romaine, en raison du réchauffement printanier plus tardif de l'eau depuis que des réservoirs sont aménagés dans la portion amont du bassin versant.

Dans la Puyjalon, la trappe (désignée 11A) était opérationnelle dès le 6 juin (première levée). Cette trappe a été installée sur le site caractérisé par un bon succès de capture au cours des deux derniers suivis, soit à proximité du PK 1 de la Puyjalon (carte 2-2). À l'instar de la Romaine, le débit de la Puyjalon était relativement élevé au début de la période de dévalaison et la trappe 11A a donc initialement été installée sans aile. Des ailes 12 m (40 pi) ont toutefois pu être installées sur cette trappe dès le 13 juin. À plusieurs reprises pendant les travaux, la trappe a été légèrement repositionnée afin qu'elle soit toujours localisée de façon optimale en fonction du débit. La trappe 11A a été relevée quotidiennement jusqu'au 20 juillet (45 nuits de pêche), à l'exception du 20 juin où deux levées ont été réalisées.

Les smolts capturés dans chacune des trappes étaient transférés dans une glacière remplie d'eau fraîche (annexe 3, photo 3). Au moment de la levée des trappes, les autres espèces de poissons étaient dénombrées et relâchées sur place. Les smolts, quant à eux, étaient transportés à des laboratoires de terrain en rive, près des sites de capture sur les deux rivières. Le personnel a toujours manipulé les smolts en portant des gants de latex (annexe 3, photo 4).

2.1.3 Marquage et transport des smolts

Chaque smolt capturé était examiné minutieusement pour vérifier la présence éventuelle d'une marque appliquée les jours précédents. À l'exception des smolts conservés pour la SSRR ou pour l'étude sur les microbiotes de saumon, tous les smolts capturés une première fois et en bonne condition étaient marqués. Dans la Puyjalon, les smolts étaient marqués au moyen de l'ablation de l'extrémité inférieure de la nageoire caudale. Dans la Romaine, les smolts ont fait l'objet d'une marque différente de façon à les distinguer de ceux marqués dans la Puyjalon : ils étaient plutôt marqués en pratiquant une ablation de l'extrémité supérieure de la nageoire caudale ainsi qu'une ablation partielle de la nageoire adipeuse. La partie excisée des nageoires adipeuses était conservée dans de l'éthanol pur à 95 %, non dénaturé, à des fins d'analyse génétique (voir section 2.1.5). Une fois marqués, les smolts étaient replacés dans la glacière d'eau fraîche pour leur transport en amont des engins de captures et pour s'assurer de leur bon état de santé avant de les relâcher. Les smolts déjà marqués (les recaptures) étaient déposés dans une autre glacière, en vue d'être transportés vers l'aval des filets-trappes.

Sur la rivière Romaine, les smolts marqués une première fois après avoir été capturés entre le PK 2 et le PK 8 étaient transportés en bateau sur plus de 4 km, jusqu'à l'aval du premier rapide dans la rivière Puyjalon (c'est-à-dire en aval de la trappe 11A). À cet endroit, les smolts marqués dans la Romaine étaient relâchés individuellement ou en petits groupes de moins de cinq individus dans la veine d'eau principale afin de favoriser leur mélange avec le reste de la population. Cette approche visait aussi à prévenir la formation d'un banc de poissons marqués. Sur la rivière Puyjalon, les smolts étaient relâchés moins loin, car la trappe couvrait une proportion plus grande de la largeur de la rivière. Dans ce cas, les smolts étaient relâchés dans les contre-courants en aval de la chute située à l'extrémité amont d'un bassin, soit environ 220 m en amont de la trappe.

2.1.4 Estimation d'abondance des smolts

L'abondance des smolts en dévalaison a été évaluée à l'aide de l'estimateur de Petersen, modifié par Chapman :

$$N = (M+1) \times (C+1) / (R+1)$$

où :

N est le nombre de smolts estimés dans la population;

M est le nombre de smolts marqués;

C est le nombre de captures;

R est le nombre de recaptures.

L'intervalle de confiance est obtenu à l'aide des équations proposées par Zar (1984). Ce calcul est basé sur la relation entre la distribution F (rapport entre deux variances) et la distribution binomiale, ce qui correspond précisément à la structure de l'estimateur de Petersen, c'est-à-dire le rapport R/C, lequel estime la proportion marquée des smolts en dévalaison. Ainsi, la variabilité des recaptures, celle des captures et du rapport entre les deux sont pris en compte.

L'estimateur de Petersen (modifié par Chapman) demeure valide même lorsqu'il se produit une mortalité en cours d'expérience, pourvu que celle-ci affecte l'ensemble de la population de smolts à l'étude, autant les individus marqués que les non marqués.

Selon Williams et coll. (2002), pour que la méthode de CMR soit valable, certaines conditions doivent être satisfaites :

1. le marquage ne doit pas affecter la vulnérabilité du poisson (susceptibilité à la recapture);
2. les individus marqués ne doivent pas perdre leur marque;
3. les individus marqués doivent pouvoir se mélanger aux non marqués avant le site de recapture;
4. les probabilités de capture et de recapture doivent être identiques pour tous les individus durant la période d'échantillonnage;
5. il ne doit pas exister de recrutement entre les sites de capture et de recapture.

Si les conditions 2 et 5 sont relativement faciles à satisfaire avec la méthodologie utilisée, les conditions 1, 3 et 4 sont plus difficiles à respecter. La vulnérabilité du poisson à la capture (condition 1) peut varier à cause du stress occasionné par leur manipulation lors du marquage.

Ce biais est plus susceptible de survenir pour des espèces ou des tailles vulnérables, comme chez les smolts. Ce biais dans ce type de suivi en rivière est inévitable et il est également survenu lors des années précédentes. Plusieurs précautions particulières ont néanmoins été prises pour minimiser le stress chez les smolts lors du marquage et de leur transport. Ainsi, des gants de latex ont systématiquement été utilisés lors des manipulations. La température de l'eau et la densité des smolts dans les glacières de transport ont par ailleurs fait l'objet d'un suivi. Au PK 2 de la Romaine caractérisé par des vitesses plus grandes, une chaudière de plastique était fixée à l'extrémité aval des filets-trappes, de façon à réduire la vitesse du courant à l'intérieur de la chambre de stabulation. Enfin, la proportion de smolts visée par des prélèvements d'écailles a été minimisée et la surface de prélèvement d'écailles a été réduite autant que possible.

Selon les observations faites par les équipes de terrain de WSP au cours des suivis précédents, le mélange des smolts marqués et non marqués (condition 3) est jugé efficace lorsque les smolts sont relâchés en petits nombres dans la veine principale d'écoulement de la rivière, à une distance d'environ 4 km en amont des trappes. Cela permet d'éviter un comportement d'agrégation en banc n'assurant pas un mélange homogène (WSP, 2016a, 2017a). Toutefois, en conditions aménagées, il est possible que les eaux de la Puyjalon et du cours principal de la Romaine ne se mélangent pas parfaitement durant la période d'échantillonnage, en raison entre autres de l'écart thermique entre ces deux cours d'eau. Soulignons cependant que les trappes sont disposées pour couvrir la largeur du chenal principal d'écoulement de la rivière (carte 2-1).

Les variations des probabilités de capture (condition 4) peuvent être occasionnées, notamment, par les variations journalières de débit (plus grande facilité d'évitement de la trappe à de faibles courants) et par les modifications apportées à la trappe pour augmenter l'efficacité de capture ou pour réduire les bris ou les mortalités. Toutefois, comme ce sont les mêmes engins qui sont utilisés pour la capture et la recapture, la probabilité de capture pour chaque journée d'échantillonnage demeure la même pour les deux groupes (marqués et non marqués) pour les deux CMR.

En somme, malgré certains biais pouvant affecter les probabilités de capture, ceux-ci affectent généralement autant les probabilités de capture que de recapture et n'ont généralement pas d'influence significative sur l'estimation de l'abondance. Ainsi, l'estimateur d'abondance de la population est jugé fiable dans de telles circonstances et les résultats sont généralement comparables d'une année à l'autre, les mêmes biais étant présents chaque année. Par exemple, cette situation pourrait s'appliquer à l'abondance d'algues dans la Romaine depuis 2015, lesquelles ont rendu les trappes probablement moins efficaces à la fois pour la capture et la recapture des smolts (voir section 2.2.3).

2.1.5 Mesures, prélèvements et analyses en laboratoire

Mesures et prélèvements

En plus d'être marqués (incluant l'ablation de la nageoire adipeuse dans la Romaine), les smolts capturés une première fois étaient généralement aussi mesurés (longueur totale). Toutefois, pour limiter l'effet des manipulations sur la condition des poissons, la proportion de smolts visée par des prélèvements d'écaillés pour la détermination ultérieure de l'âge a été limitée à environ 30 % (en excluant les smolts morts et ceux remis à la SSRR).

Les smolts morts dans les trappes (capture ou recapture) ont été conservés afin de recueillir des données morphologiques et anatomiques. Ainsi, en plus d'être mesurés (longueur totale) et de faire l'objet d'un prélèvement d'écaillés et, dans certains cas, de nageoire adipeuse (pour les analyses génétiques, Romaine seulement), ces smolts ont été pesés au moyen d'une balance électronique (précision de $\pm 0,1$ g) et sexés. La longueur à la fourche de ces spécimens a également été mesurée en plus de la longueur totale.

La condition de ces poissons a également été évaluée à l'aide du coefficient de Fulton qui est calculé à partir de l'équation suivante :

$$K = \text{masse (g)} \times 10^5 / \text{longueur totale (mm)}^3$$

Analyses génétiques

Chaque année de suivi depuis 2013, un échantillon de smolts capturés sur l'ensemble de la période de dévalaison dans le cours principal de la Romaine fait l'objet d'analyses génétiques, afin d'établir les proportions de smolts issus de la Puyjalon et du cours principal de la Romaine. En effet, des analyses génétiques effectuées en 2013 sur des smolts dont la provenance était certaine (Puyjalon ou Romaine) ont permis de déceler des différences significatives entre les deux sous-populations (Albert et Bernatchez, 2006; annexe 5 dans WSP, 2014a).

Au total, 236 échantillons de nageoires adipeuses provenant de smolts capturés dans la Romaine ont été acheminés au laboratoire du Dr Louis Bernatchez de l'Université Laval pour réaliser des analyses génétiques, ce qui représente environ 28 % des smolts capturés une première fois dans la Romaine. Les recaptures (smolts marqués dans la Romaine ou dans la Puyjalon) n'ont pas été analysées. Par ailleurs, aucune analyse génétique n'a été réalisée sur les smolts capturés dans la rivière Puyjalon.

La méthodologie relative aux analyses génétiques est décrite à l'annexe 4 (Piette-Lauzière et coll., 2019). Soulignons également que depuis 2017, une partie des smolts en dévalaison est issue de la fraie artificielle et des ensemencements réalisés par la SSRR. L'étude génétique jointe à l'annexe 4 vise également à identifier ces smolts, à l'aide de la signature génétique connue des adultes dont ils sont issus.

Puisque les premiers ensemencements ont été réalisés en 2015 dans la Romaine et en 2016 dans la Puyjalon, les smolts qui en sont issus sont susceptibles de dévaler avec la population sauvage depuis 2017 dans le cas de la Romaine et depuis 2018 pour la Puyjalon. Ainsi, comme au cours des deux dernières années de suivi, les analyses génétiques permettaient en 2019 de départager les smolts sauvages de ceux issus des ensemencements. Comme lors des années précédentes, les analyses génétiques visaient aussi à départager l'affiliation populationnelle des smolts (cours principal de la Romaine par rapport à Puyjalon).

Contrairement aux ensemencements de 2015 qui ont été faits uniquement dans le cours principal de la Romaine, mais incluaient à la fois des alevins affiliés à la Romaine et à la Puyjalon, les ensemencements réalisés depuis 2016 sont faits dans la Puyjalon et dans la Romaine, selon l'affiliation populationnelle des géniteurs. Ainsi, les smolts ensemencés susceptibles de dévaler en 2019 (smolts de 3 ans ensemencés en 2016 et smolts de 2 ans ensemencés en 2017) peuvent provenir de l'une ou l'autre des deux rivières, en fonction de leur affiliation populationnelle. Dans ce contexte, quatre groupes différents de smolts ont été suivis en 2019, soit les smolts sauvages, affiliés à l'une ou l'autre des deux rivières, et les smolts issus des ensemencements qui sont regroupés selon la rivière dans laquelle ils ont été ensemencés (équivalent à leur affiliation populationnelle en 2019). En résumé, les quatre groupes considérés sont :

1. Smolts sauvages – Sous-population de la Puyjalon
2. Smolts sauvages – Sous-population de la Romaine
3. Smolts ensemencés dans la Puyjalon
4. Smolts ensemencés dans la Romaine

Étant donné le grand nombre d'analyses génétiques réalisées, il y a lieu de penser que les résultats qui en découlent permettent d'obtenir un portrait fiable de la proportion de smolts issus des groupes décrits précédemment.

Détermination de l'âge du poisson

Afin de réduire le stress chez les poissons, seule une partie des smolts capturés a fait l'objet d'un prélèvement d'écaillés pour la détermination de l'âge, soit environ 30 % des smolts capturés dans chacune des deux rivières.

Les lectures d'âge sont réalisées comme lors des années précédentes, soit à partir des anneaux de croissance (annuli), selon la méthode de lecture conventionnelle. Celle-ci consiste à repérer la fin du rétrécissement entre les circuli pour y fixer l'arrêt de croissance durant la période hivernale. Une méthode de lecture indirecte a été utilisée comme pour les suivis antérieurs. D'abord, l'écaille est photographiée au moyen d'un binoculaire Leica MZ6 et d'un module d'enregistrement d'image DFC295. Ensuite, la qualité de la photo est améliorée et les marques d'interruption de croissance sont identifiées avec le logiciel *Leica suite*.

L'ensemble des écailles utilisées pour déterminer l'âge des smolts a fait l'objet d'une interprétation par deux personnes qualifiées. En cas de disparité, les deux lecteurs échangent leurs observations et procèdent à une nouvelle lecture afin de trancher sur l'âge du poisson. Soulignons que les écailles prélevées sur les recaptures n'ont pas été lues en raison de la possibilité que ces spécimens aient été échantillonnés deux fois.

En 2017, les premiers spécimens ensemencés ont fait l'objet de cette détermination d'âge à l'aide des écailles. Il appert qu'ils présentent deux patrons d'écailles. Le premier est similaire à celui des smolts sauvages. Le second est caractérisé par un arrêt de croissance qui pourrait être assimilé à la période hivernale (resserrement des circuli). Toutefois, la mesure des distances inter-circuli et leur nombre permettent d'écartier cette possibilité. L'hypothèse avancée est que ces alevins, lors de leur ensemencement, ont été plus susceptible au choc thermique ou au changement de milieu (absence de nourriture aisément obtenue comme dans les bassins d'élevage), ce qui a provoqué un arrêt momentané de croissance, créant ainsi un faux annuli. Dans ce contexte, un protocole de lecture a été élaboré en 2017 afin de faciliter l'identification des smolts ensemencés lors des lectures d'âge et d'éviter de se méprendre sur leur âge. Ce protocole a été utilisé en 2018 et en 2019.

Rétrocalcul de la longueur à partir de l'écaille

Comme le rayon des écailles du saumon est directement proportionnel à la longueur du poisson, la technique des rétrocalculs permet d'estimer sa longueur à différents âges précédant sa capture. Pour la détermination de la longueur du poisson lors des arrêts antérieurs de croissance hivernale, les rétrocalculs sont réalisés directement sur les mesures faites à partir de la position des annuli fixés sur les images. Le logiciel *Leica suite* utilise les équations de Fraser-Lee qui se définissent comme suit :

$$\text{Équation 1 : } L_i = L_c (S_i / S_c)$$

$$\text{Équation 2 : } L_i = ((L_c - a) / S_c) S_i + a$$

où :

L_c est la longueur du poisson à la capture

S_c est le rayon de l'écaille à la capture

S_i est le rayon à l'annuli antérieur considéré

L_i est la longueur du poisson à cet annuli

et a est une constante qui correspond à la longueur probable où l'alevin a commencé à former ses premières écailles. Pour le présent mandat, une longueur de 32 mm² est ajoutée à celle déterminée par rétrocalcul pour l'évaluation de la longueur du poisson à la fin de sa première année de croissance en rivière (Perrier, 2006).

2 Longueur de l'alevin au moment de l'apparition des écailles et correspondant à l'ordonnée à l'origine de l'équation de Fraser-Lee déterminant la relation entre le rayon de l'écaille et la longueur du poisson. Cette valeur est basée sur 720 spécimens capturés dans la rivière Scorff (Morbihan, France) entre 1970 et 2003.

2.1.6 Traitement des données

Des comparaisons statistiques (analyse de type ANOVA suivie d'un test de LSD [Least Significant Difference] ou d'un test HSD [Honestly Significant Difference] de Tukey, selon que la variance est homogène ou non entre les groupes, $p < 0,05$) ont été effectuées entre les smolts issus des différents groupes considérés, pour les caractéristiques de la population (âge, masse, longueur, coefficient de condition, croissance interannuelle). Ces analyses sont effectuées par groupe d'âge quand la taille de l'échantillon le permet (effectif minimum de 3 par groupe).

2.1.7 Débit et température de l'eau

Le débit et la température de l'eau de la Romaine peuvent aider à interpréter la chronologie de la dévalaison des smolts. Puisque cette activité est réalisée près de l'embouchure de la Romaine, les données utilisées sont celles des stations ROMA0665 ou EROM0690 opérées par Hydro-Québec et localisées respectivement aux PK 5 et 0. Ces données sont prises en compte dans la réalisation des différentes activités du suivi et dans l'interprétation des résultats. Les données utilisées sont présentées sur la figure 2-2. Des températures de l'eau ont également été mesurées *in situ* pendant la période de dévalaison à l'aide d'un thermomètre digital. Enfin, des données de température de l'eau en provenance de la station RPUY0680 installée sur la rivière Puyjalon ont aussi été utilisées.

2.2 Résultats et discussion

2.2.1 Débit et température de l'eau

Pendant la période de dévalaison des smolts, la température moyenne journalière de l'eau de la Romaine dans le secteur de l'embouchure a augmenté de façon relativement constante, passant graduellement de 6,6 °C le 11 juin (date des premières captures de smolts), à 15,3 °C au moment du retrait des trappes, le 20 juillet (figure 2-2). L'évolution de la température de la Romaine pendant la dévalaison des smolts est similaire à celle observée depuis 2015, à la suite de la mise en eau du premier réservoir du complexe hydroélectrique (Romaine 2). Avant 2015, alors que le régime thermique de la Romaine n'était pas encore influencé par la présence des réservoirs sur le cours principal, les températures étaient plus élevées aux mêmes dates et les maxima de 19 ou 20 °C ont été atteints dans la première semaine de juillet (figure 2-2).

Depuis 2015, l'eau du cours principal de la Romaine se réchauffe plus tardivement au printemps et au début de l'été en raison de l'influence des réservoirs en amont. Ce décalage a été encore plus marqué au cours des deux dernières années dans la Romaine. Un tel phénomène est observé dans d'autres bassins versants aménagés pour la production hydroélectrique. C'est notamment le cas dans la rivière Betsiamites, où le réchauffement printanier du cours principal est retardé de quelques semaines par rapport à celui de la rivière Boucher (tributaire non aménagé) (Richard Verdon, comm. pers., 2010 dans WSP, 2016a).

Ce décalage dans le réchauffement de l'eau au printemps est d'autant plus marqué dans les zones de croissance des saumons juvéniles qui se trouvent les plus près du réservoir de la Romaine 1, en amont de la confluence avec la rivière Puyjalon, d'autant plus qu'il n'y a pas de tributaires importants pouvant influencer le régime thermique de la rivière dans ce secteur de la Romaine.

Figure 2-2a Période de dévalaison des smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019

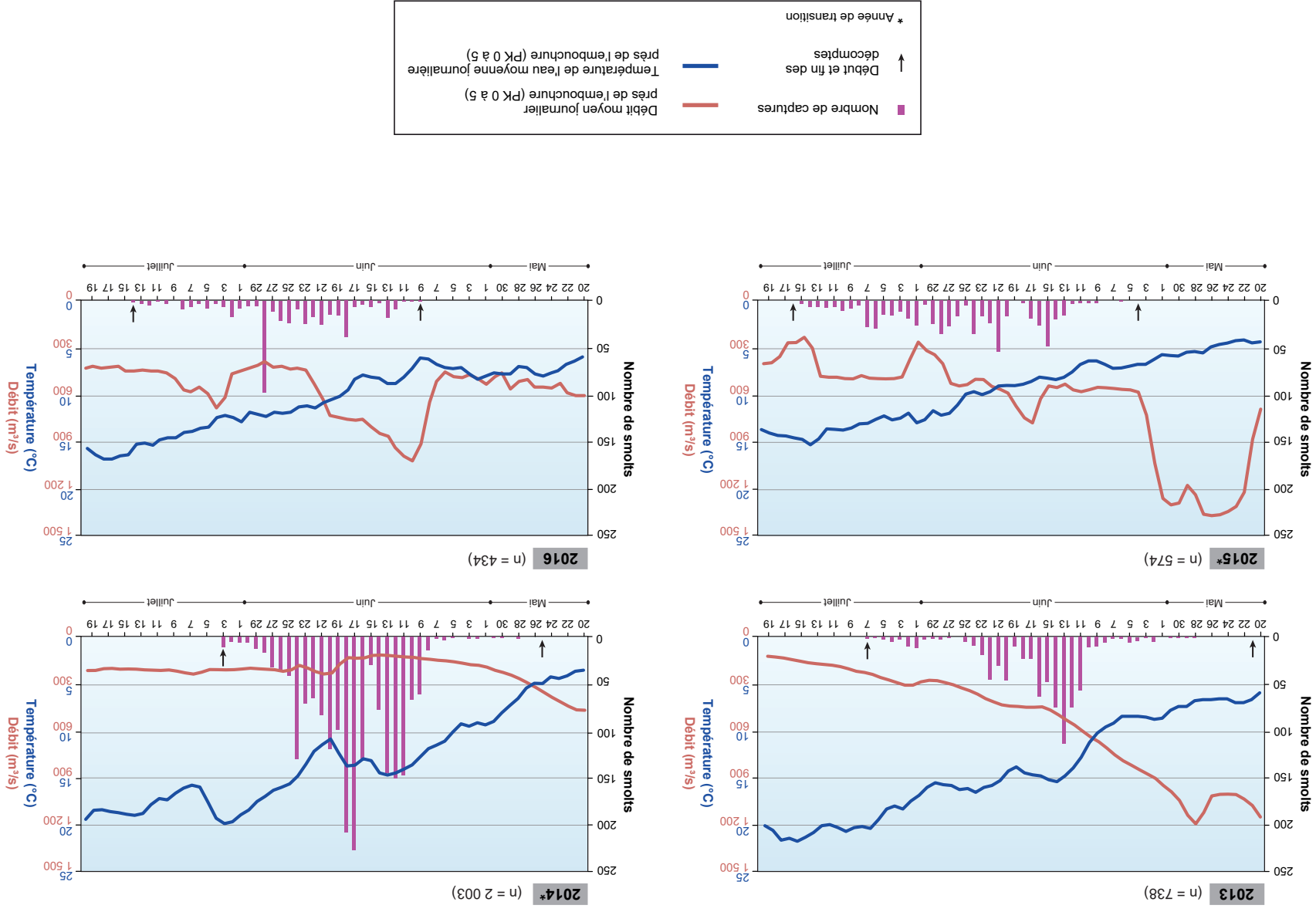
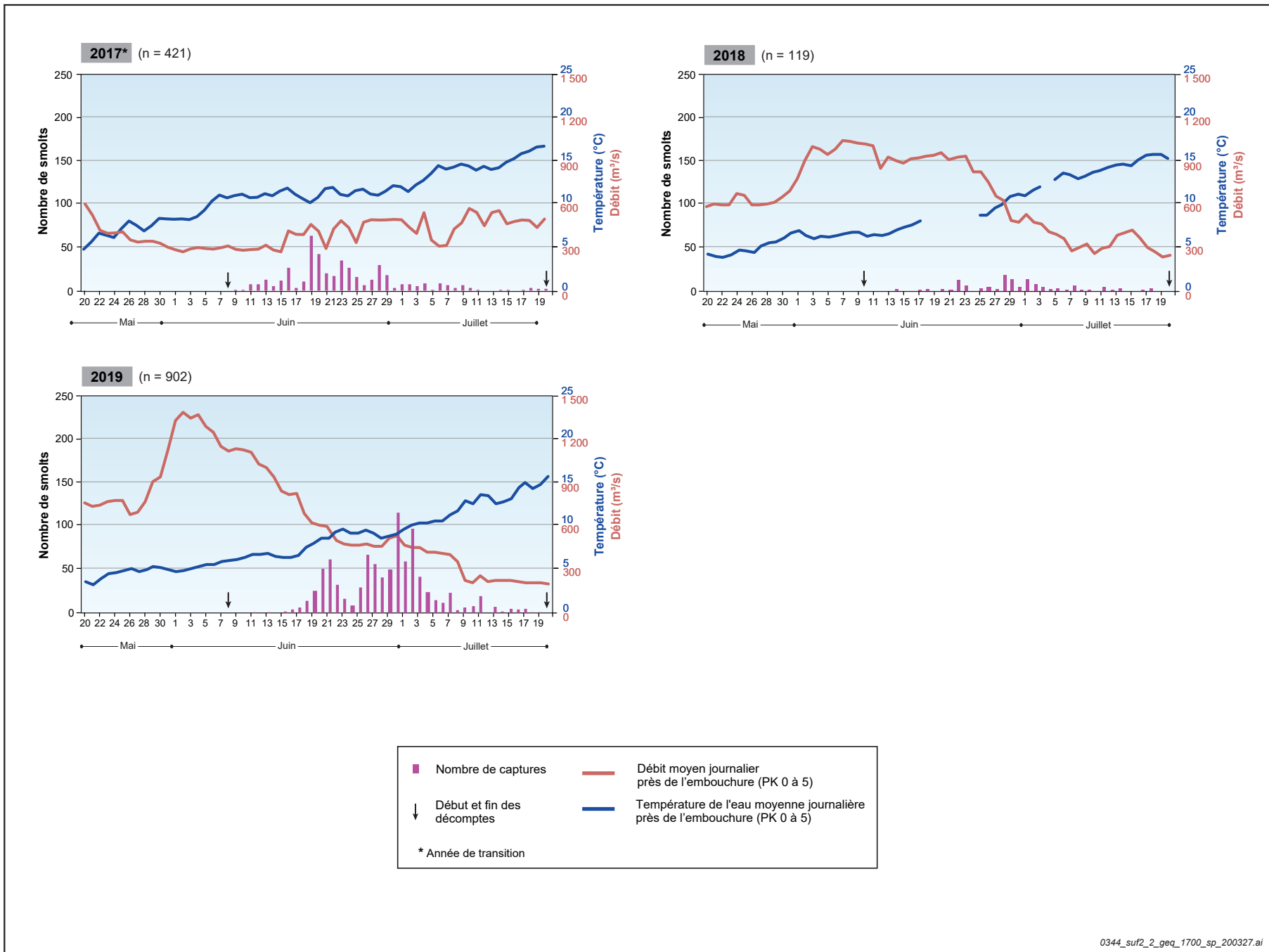


Figure 2-2b Période de dévalaison des smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019



Par exemple, au PK 34³ (station ROMA0943), la température moyenne de l'eau pendant la période d'opération des trappes (8 juin au 20 juillet) a été de 7,7 °C en 2019, comparativement à 9,8 °C dans le secteur de l'embouchure (en aval de la confluence avec l'affluent Puyjalon), soit une différence de 2,1 °C. Des écarts de température similaires entre le PK 46 de la Romaine et son embouchure pendant la période de dévalaison des smolts ont aussi été observés en 2018 (3,0 °C; Aubé-Maurice et coll., 2019), en 2017 (2,8 °C; WSP, 2019) et en 2016 (2,6 °C; WSP, 2017a).

La rivière Puyjalon, d'où provient plus de la moitié des smolts du bassin versant de la Romaine depuis 2013, est le principal tributaire qui influence la température de l'eau de la Romaine entre le réservoir de la Romaine 1 et le site de capture des smolts au PK 5. Entre le 8 juin et le 20 juillet 2019, la température moyenne de l'eau dans ce tributaire (station RPUY0680) était de 13,7 °C, soit 3,9 °C de plus que près de l'embouchure de la Romaine. En comparant la rivière Puyjalon au PK 34 de la Romaine, l'écart grimpe à 6,0 °C. Cet écart de température entre les deux rivières est bien visible sur la figure 2-3⁴. Des écarts semblables, qui s'expliquent en bonne partie par l'inertie thermique associée à la présence de réservoirs dans la portion amont du bassin versant de la Romaine, ont également été observés en 2018 (3,4 °C et 6,4 °C respectivement; Aubé-Maurice et coll., 2019) et en 2017 (3,3 °C et 6,1 °C respectivement; WSP, 2019).

Au début de la période d'opération des trappes dans la Romaine, le débit de la rivière près de son embouchure était très élevé, soit aux environs de 1 100 m³/s (figure 2-2), mais il était alors à la baisse. Le débit a continué à diminuer rapidement pour passer sous les 500 m³/s le 23 juin. Le débit de la Romaine est ensuite demeuré relativement stable jusqu'à la fin de la première semaine de juillet. Il a été réduit d'environ 50 % à la suite de l'arrêt d'un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1 pour se stabiliser légèrement au-dessus de 200 m³/s pour la fin de la période d'opération des engins de capture. À l'instar de la Romaine, le débit dans la Puyjalon était très élevé au début de la période de captures (environ 115 m³/s le 6 juin), mais était alors en décrue marquée. Le débit de la Puyjalon est ainsi passé sous les 50 m³/s le 15 juin. La baisse s'est ensuite poursuivie dans les semaines suivantes jusqu'à ce que le débit se stabilise aux environs de 15 à 20 m³/s à compter de la deuxième semaine de juillet.

2.2.2 Chronologie de la dévalaison

2.2.2.1 Rivière Romaine

Dans la Romaine, la première capture de smolt est survenue le 11 juin (figure 2-2, annexes 5 et 6), trois jours après la première levée. Un premier pic de dévalaison a été enregistré environ une semaine plus tard, soit le 21 juin (60 captures), mais le principal pic de dévalaison est survenu à la toute fin du mois, soit le 30 juin (113 captures). Par la suite, dans les premiers jours de juillet, le nombre de captures quotidiennes a diminué rapidement. Après une hausse ponctuelle du nombre de captures le 11 juillet (19 captures), le nombre de captures quotidiennes est demeuré faible pendant toute la dernière semaine de suivi.

3 En 2019, les températures de l'eau ne sont pas disponibles au PK 46 (station ROMA0944) entre le 27 mars et le 24 août.

4 La station de mesure RPUY0680 a été installée sur la rivière Puyjalon en 2016, soit après la mise en eau du premier réservoir sur le cours principal de la Romaine en 2014. Un thermographe a également été utilisé pendant la dévalaison de 2013.

Figure 2-3a Contribution relative des smolts de la Puyjalon et de la Romaine dans les captures de smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019

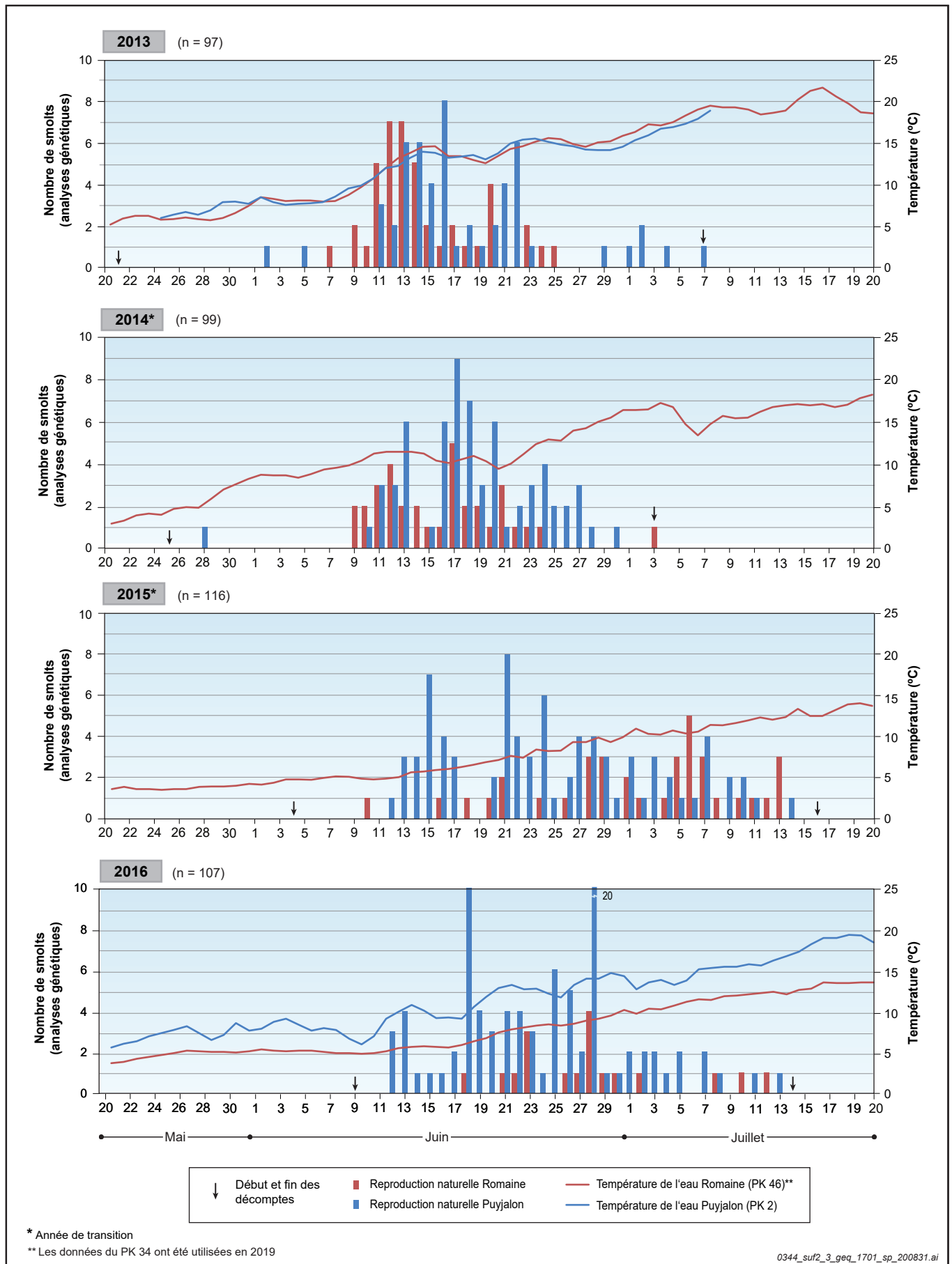
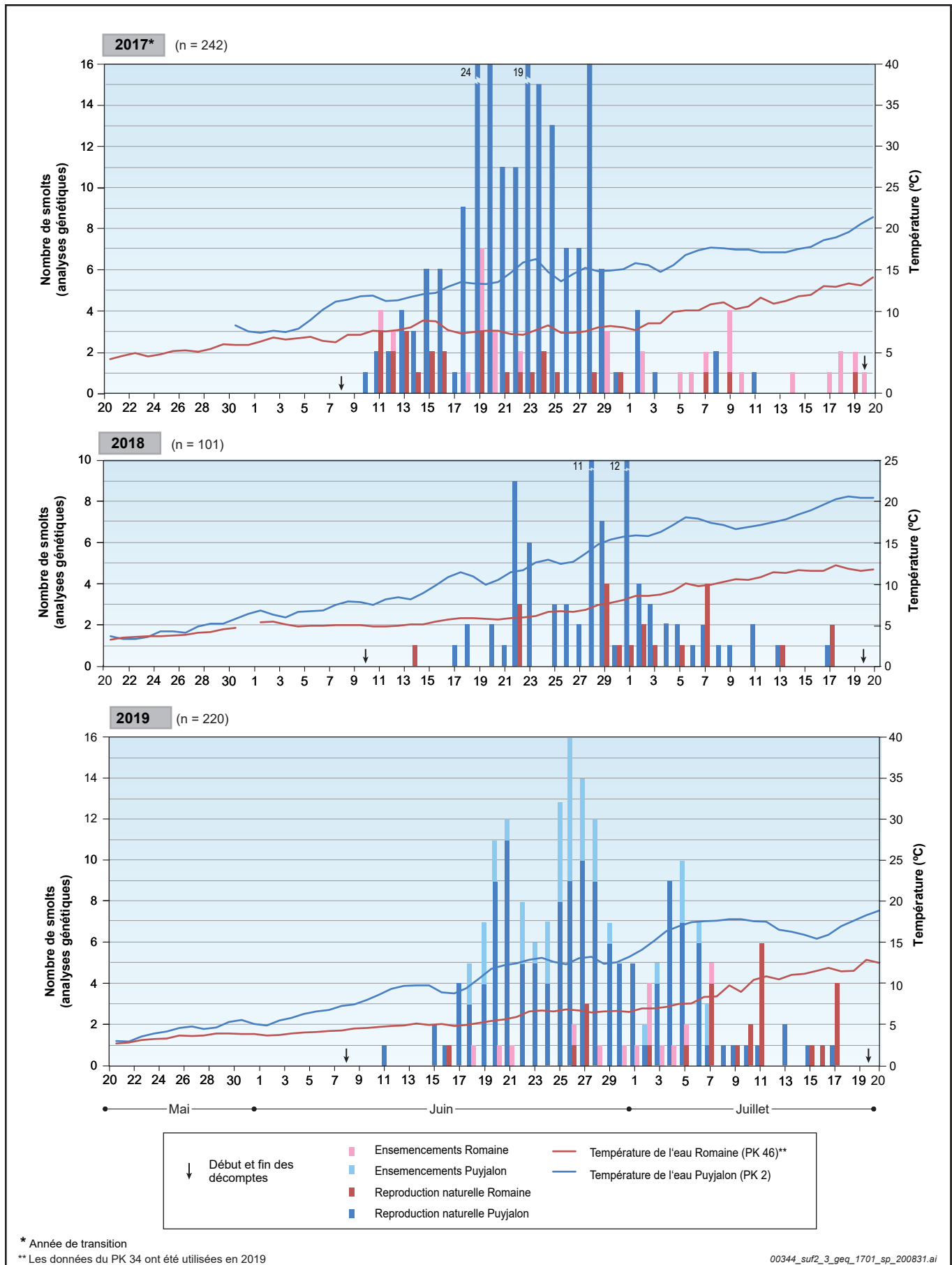


Figure 2-3b Contribution relative des smolts de la Puyjalon et de la Romaine dans les captures de smolts dans la Romaine entre 2013 et 2019



* Année de transition

** Les données du PK 34 ont été utilisées en 2019

Pendant les 43 jours d'échantillonnage qui se sont étalés du 8 juin au 20 juillet, 902 smolts ont été capturés au total. La dévalaison a été particulièrement intense entre le 20 juin et le 2 juillet (13 jours), où on a enregistré 673 captures, soit 74 % des prises totales de smolts. Seulement 25 smolts (moins de 3 % du total) ont été capturés au cours des neuf derniers jours d'échantillonnage, ce qui indique que la dévalaison était terminée ou presque terminée au moment du retrait des engins de pêche.

En considérant les smolts ayant fait l'objet d'analyses génétiques, il est possible de distinguer quotidiennement parmi les smolts capturés dans le cours principal de la Romaine, ceux appartenant aux sous-populations de la Romaine et de la Puyjalon. Les analyses génétiques permettent également d'identifier les smolts provenant desensemencements réalisés par la SSRR dans le cours principal de la Romaine (depuis 2015) et dans la Puyjalon et ses tributaires (depuis 2016). En 2019, contrairement à 2018, une partie des smolts analysés provenaient de ces ensemencements. Soulignons que le nombre total d'ensemencements en 2016 (smolts de 2 ans en 2018 et de 3 ans en 2019) a été de 25 257 comparativement à 228 566 en 2017 (smolts de 2 ans en 2019). L'importance relative des smolts provenant des quatre groupes considérés est illustrée sur la figure 2-3.

Comme c'est généralement le cas depuis 2015 (première année où la présence d'un réservoir a influencé le régime thermique de la Romaine pendant la dévalaison des smolts), on observe un décalage temporel, en 2019, de la dévalaison des smolts en provenance du cours principal de la Romaine, comparativement aux conditions préaménagement.

Le décalage temporel de la dévalaison des smolts, comparativement aux conditions naturelles, est vraisemblablement associé au réchauffement plus tardif de l'eau du cours principal de la Romaine en raison de l'influence des réservoirs dans la portion amont du bassin versant. En 2019, la température moyenne journalière à l'embouchure a dépassé 10 °C seulement le 3 juillet, soit la date la plus tardive depuis le début du suivi des smolts en 2013 (tableau 2-1). Ce phénomène, prévu lors de l'étude d'impact, est bien visible à l'annexe 1 (figure A1-1), qui montre les températures moyennes journalières de l'eau au PK 46 entre 2010 et 2019.

Tableau 2-1 Dates auxquelles 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % de la population sauvage de smolts en dévalaison ont été atteints dans le cours inférieur de la Romaine

Année	10 °C atteint (Rom.) ¹	Sous-population de la Romaine (reproduction naturelle) ²					10 °C atteint (Puy.) ¹	Sous-population de la Puyjalon (reproduction naturelle) ²				
		10 %	25 %	50 %	75 %	90 %		10 %	25 %	50 %	75 %	90 %
2013	9 juin	11 juin	12 juin	13 juin	17 juin	20 juin	10 juin	12 juin	14 juin	16 juin	21 juin	29 juin
2014	5 juin	10 juin	12 juin	16 juin	19 juin	22 juin	ND	12 juin	16 juin	18 juin	22 juin	26 juin
2015	23 juin	20 juin	28 juin	4 juillet	7 juillet	12 juillet	ND	15 juin	17 juin	24 juin	1 ^{er} juillet	7 juillet
2016	19 juin	21 juin	23 juin	28 juin	30 juin	10 juillet	12 juin	15 juin	19 juin	25 juin	28 juin	3 juillet
2017	7 juin	11 juin	13 juin	19 juin	24 juin	7 juillet	6 juin	16 juin	19 juin	22 juin	25 juin	28 juin
2018	29 juin	22 juin	29 juin	2 juillet	7 juillet	13 juillet	16 juin	22 juin	23 juin	28 juin	1 ^{er} juillet	6 juillet
2019	3 juillet	27 juin	5 juillet	10 juillet	11 juillet	17 juillet	18 juin	19 juin	21 juin	27 juin	3 juillet	6 juillet

1 Date à laquelle la température moyenne quotidienne de l'eau près de l'embouchure de la Romaine (PK 0 à 5) ou de la Puyjalon (PK 2) a été atteinte.

2 N = Smolts capturés dans la Romaine ayant été visés par une analyse génétique et issus de la reproduction naturelle.

Les smolts sauvages d'origine Puyjalon capturés dans la Romaine montrent également un léger décalage dans leur période de dévalaison depuis 2015, mais celui-ci est moins marqué que dans la Romaine (figure 2-3 et tableau 2-1).

2.2.2.2 Rivière Puyjalon

Le premier smolt provenant de la rivière Puyjalon a été capturé lors de la première levée de la trappe le 6 juin (figure 2-4). On note ensuite une augmentation graduelle des captures quotidiennes jusqu'à l'atteinte d'un premier pic de dévalaison le 19 juin (84 captures). Le principal pic de dévalaison a ensuite été atteint quelques jours plus tard, soit le 23 juin (103 captures). Un troisième pic est ensuite survenu le 27 juin (77 captures). Par la suite, le nombre de captures quotidiennes a diminué, mais est demeuré soutenu jusqu'au 3 juillet, avant de chuter de façon plus marquée. Le nombre de captures quotidiennes est ensuite demeuré très faible au cours des 10 derniers jours de l'échantillonnage, à l'exception d'une hausse ponctuelle les 16 et 17 juillet.

Pendant les 45 jours d'échantillonnage dans la Puyjalon (6 juin au 20 juillet), un total de 1 073 smolts a été capturé. La dévalaison a été particulièrement intense entre le 18 et le 29 juin (12 jours), alors que les deux tiers des captures ont été enregistrés (724 captures). Bien que des captures aient été enregistrées jusqu'à la fin de la période d'échantillonnage, la répartition temporelle des captures pendant la durée d'opération de la trappe indique que la dévalaison était alors pratiquement terminée.

Les smolts issus de la Puyjalon représentent la majorité des captures dans la Romaine. C'est probablement ce qui explique que le patron de dévalaison des smolts, basé sur les captures quotidiennes, soit assez semblable dans les deux rivières. Néanmoins, on observe un décalage de quelques jours entre les deux rivières (figure 2-5).

Tableau 2-2 Dates auxquelles 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % de la population totale de smolts en dévalaison ont été atteints dans les cours inférieurs de la Romaine et de la Puyjalon

Année	10 °C atteint (Rom.) ¹	Rivière Romaine (toutes les captures) ²					10 °C atteint (Puy.) ¹	Rivière Puyjalon (toutes les captures) ²				
		10 %	25 %	50 %	75 %	90 %		10 %	25 %	50 %	75 %	90 %
2013	9 juin	11 juin	13 juin	14 juin	20 juin	23 juin	10 juin	4 juin	9 juin	17 juin	29 juin	2 juillet
2014	5 juin	11 juin	13 juin	17 juin	21 juin	24 juin	ND	-	-	-	-	-
2015	23 juin	15 juin	20 juin	26 juin	3 juillet	7 juillet	ND	-	-	-	-	-
2016	19 juin	17 juin	20 juin	25 juin	28 juin	4 juillet	12 juin	-	-	-	-	-
2017	7 juin	15 juin	19 juin	22 juin	28 juin	4 juillet	6 juin	20 juin	22 juin	26 juin	27 juin	1 ^{er} juillet
2018	29 juin	22 juin	26 juin	29 juin	3 juillet	11 juillet	16 juin	19 juin	27 juin	3 juillet	7 juillet	12 juillet
2019	3 juillet	20 juin	25 juin	29 juin	2 juillet	6 juillet	18 juin	18 juin	20 juin	24 juin	29 juin	5 juillet

1 Date à laquelle la température moyenne quotidienne de l'eau près de l'embouchure de la Romaine (PK 0 à 5) ou de la Puyjalon (PK 2) a été atteinte.

2 N = Smolts capturés dans la Romaine ou dans la Puyjalon.

2.2.3 Capture et recapture

Romaine

Au total, 902 smolts ont été capturés entre le PK 2 et le PK 8 de la Romaine en 2019 (tableau 2-3, carte 2-1). Parmi ceux-ci, 572 ont été marqués et 27 ont ensuite été recapturés pour un taux de recapture de 4,7 %. Les données brutes de captures lors de l'étude de la dévalaison des smolts en 2019 sont présentées aux annexes 5 et 6.

Figure 2-4a Période de dévalaison des smolts dans la Puyjalon en 2013 et de 2017 à 2019

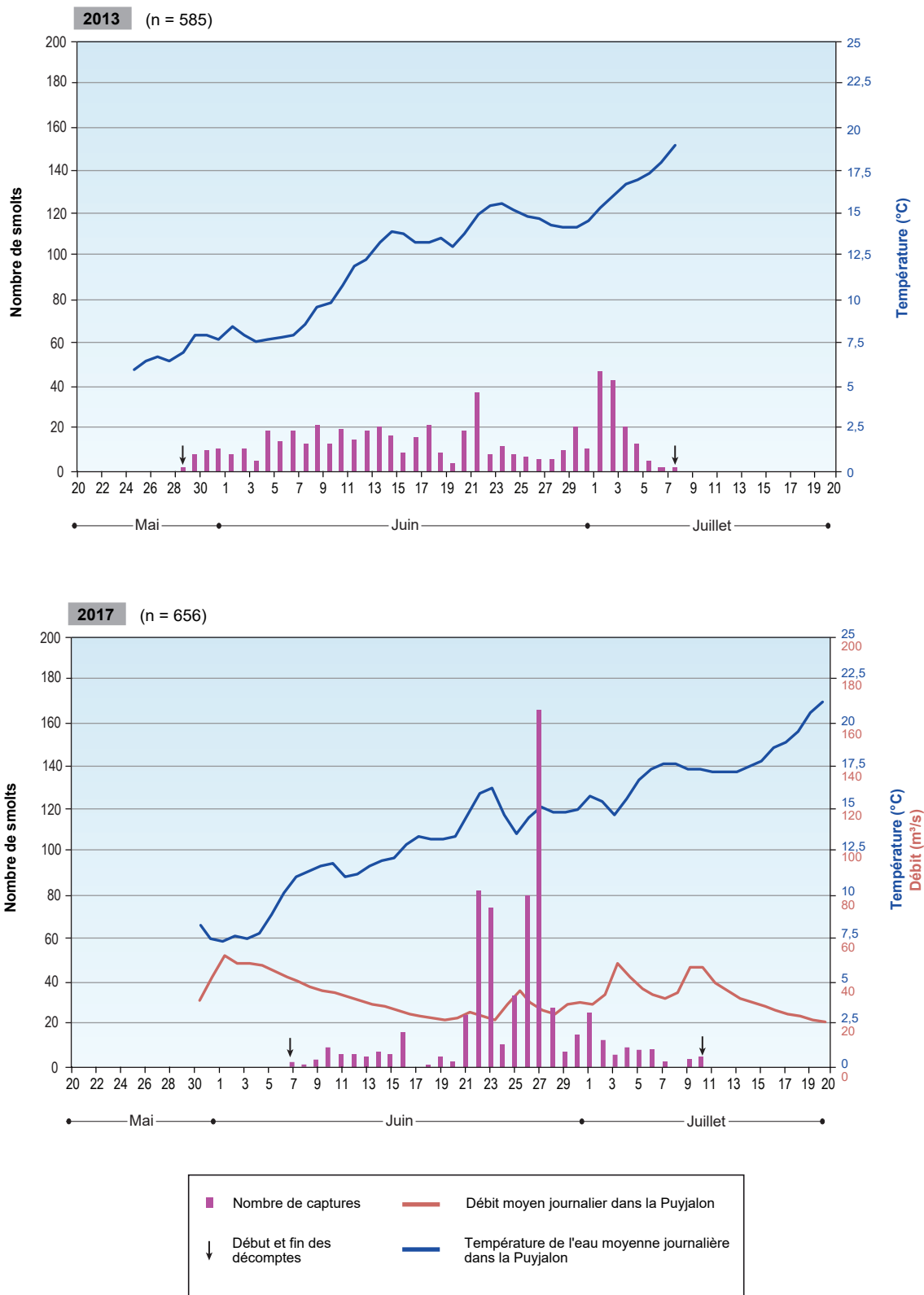
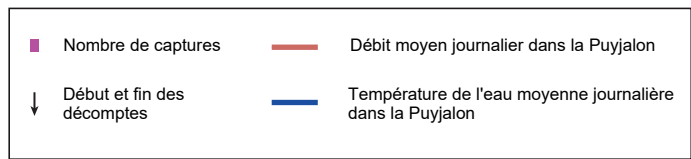
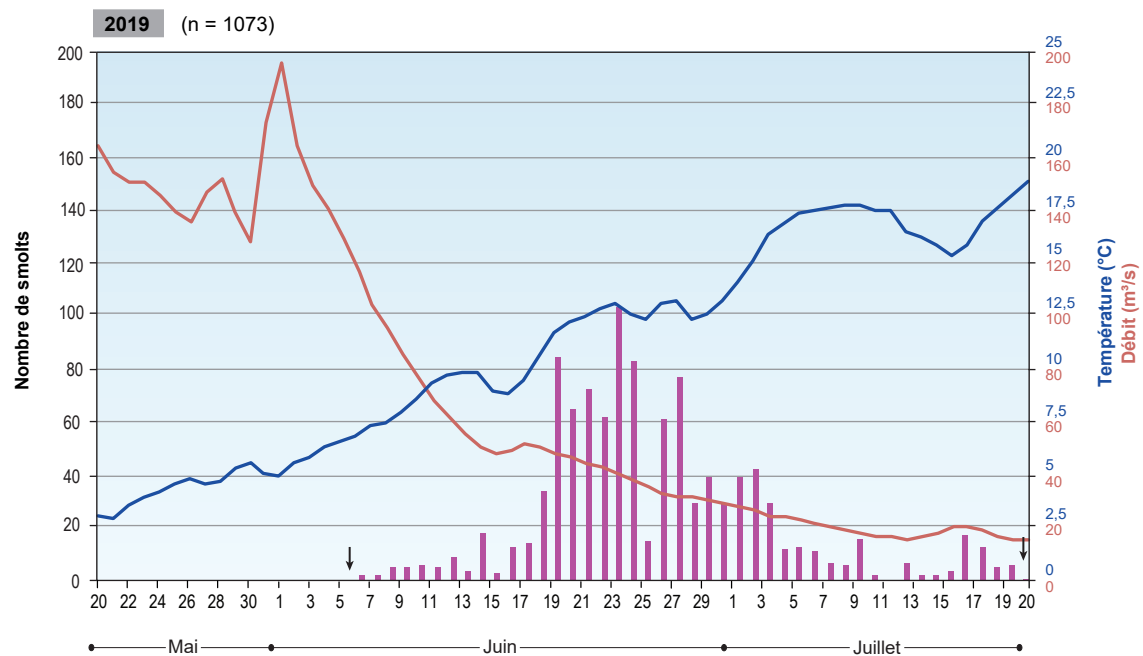
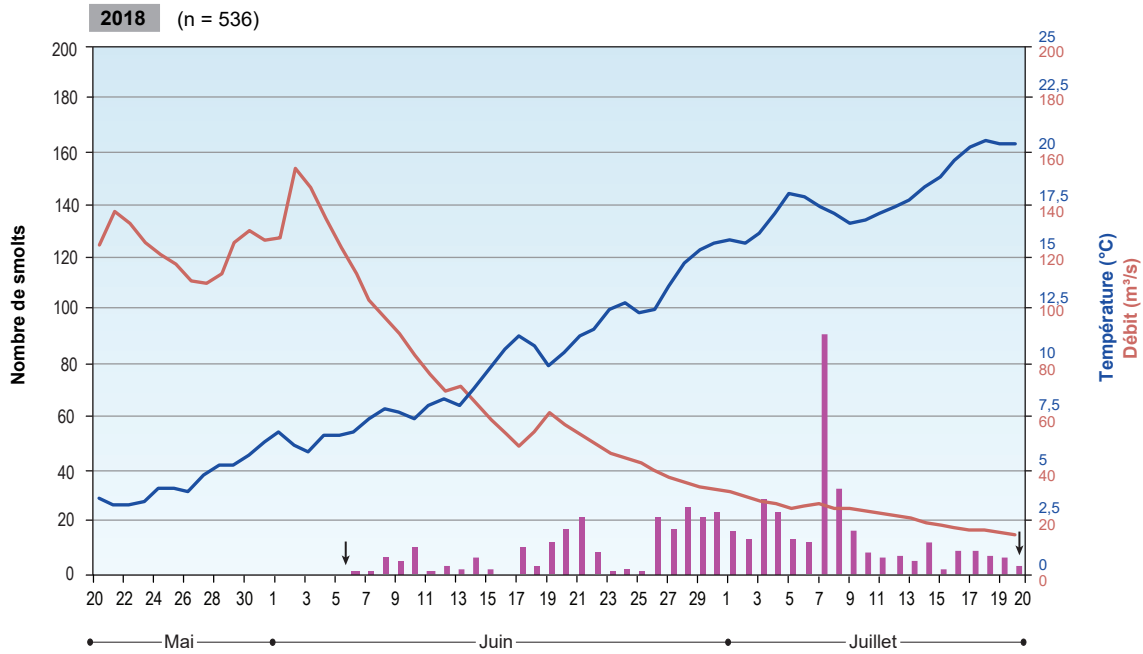
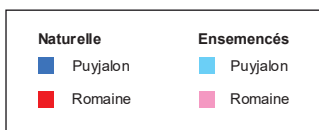
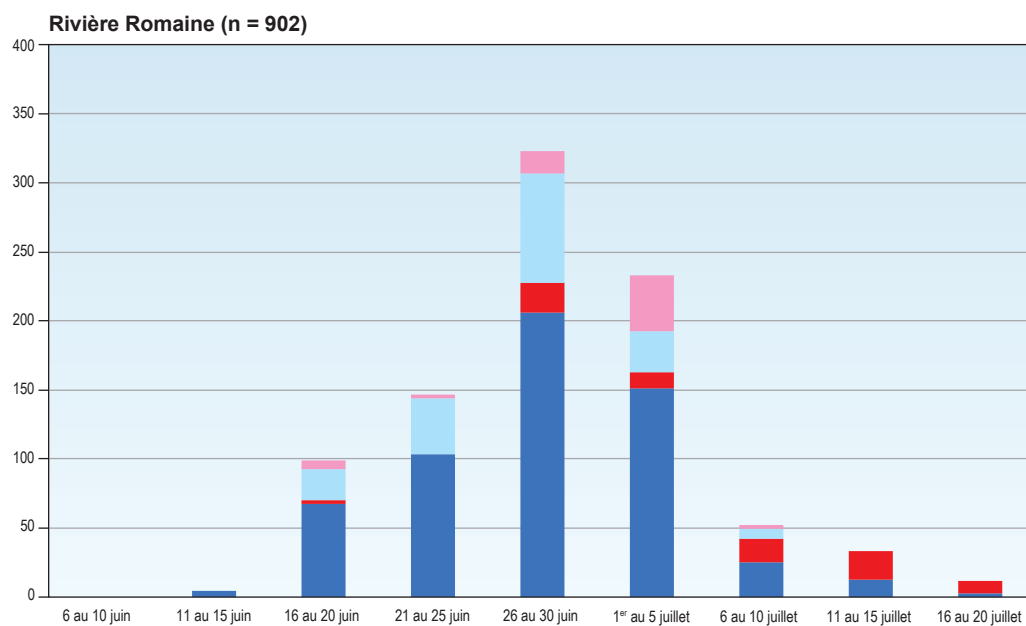
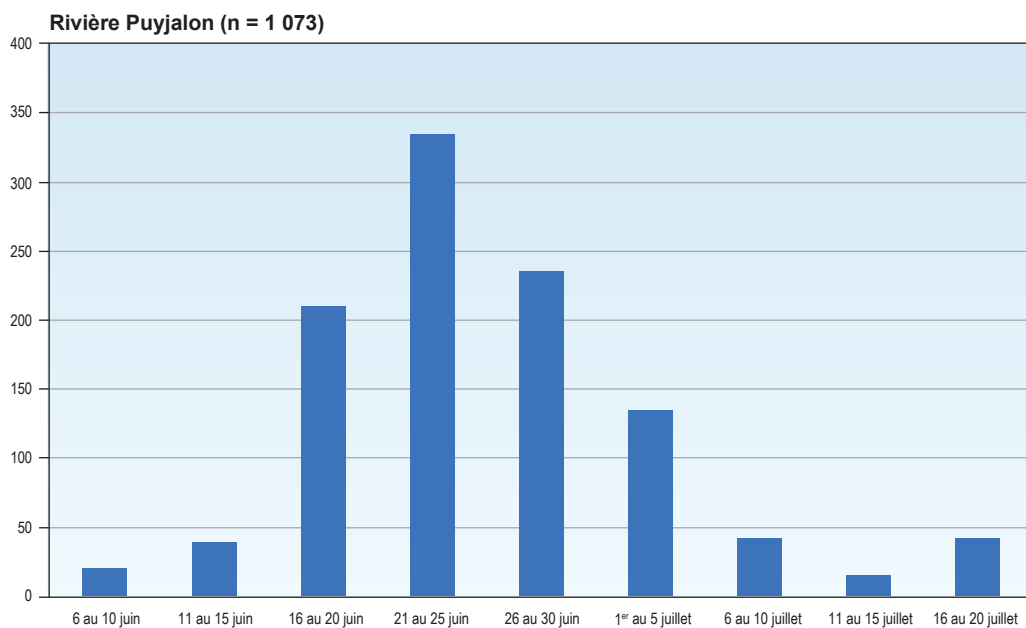


Figure 2-4b Période de dévalaison des smolts dans la Puyjalon en 2013 et de 2017 à 2019



0344_suf2_4_geq_1702_sp_200831.ai

Figure 2-5 Période de dévalaison des smolts dans la Romaine et dans la Puyjalon en 2019



0344_suf2_5_geq_1703_sp_200323.ai

Tableau 2-3 Bilan des captures de smolts lors de l'étude de la dévalaison en 2019 dans la Romaine

Répartition des smolts	Nombre
Captures totales :	902 ¹
Smolts non marqués :	303 ²
Smolts marqués :	572
Smolts recapturés :	27 ³
Recapture (%) :	4,72

1 Incluant 1 smolt capturé au premier jour (11 juin) (à exclure pour le calcul CMR).

2 Soit 78 smolts non marqués morts dans les trappes ou lors des manipulations, 2 smolts échappés non marqués, 203 smolts non marqués transférés en pisciculture et 20 smolts marqués préalablement dans la Puyjalon (14 remis à l'eau, 4 conservés pour l'étude sur les microbiotes et 2 morts).

3 Incluant 1 smolt recapturé mort et 26 smolts recapturés vivants (2 transférés en pisciculture, 18 sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes et 6 remis à l'eau).

Chez les smolts capturés une première fois (n = 855), c'est-à-dire en excluant les smolts recapturés après avoir été initialement marqués dans la Romaine (n = 27) ou encore dans la Puyjalon (n = 20), on a observé un total de 78 smolts morts dans les trappes en 2019, soit un taux de mortalité de 9,1 %. Ce taux est beaucoup plus élevé que celui observé au cours des deux dernières années, alors qu'il avait respectivement été de 1,7 % en 2018 et de 3,0 % en 2017 (Aubé-Maurice et coll., 2019; WSP, 2019). Cependant, en 2019, le taux de mortalité a varié considérablement selon le site de capture :

- PK 2 : 36,7 % (65/177)
- PK 5 : 1,6 % (4/247)
- PK 7-8 : 2,1 % (9/431)

Ainsi, le taux de mortalité sur les sites de capture répartis entre les PK 5 et 8 se compare à celui observé au PK 5 de la Romaine en 2018. Par contre, il semble que les vitesses plus élevées dans le secteur du PK 2 se sont traduites par une mortalité beaucoup plus grande chez les smolts, malgré la mise en place d'un dispositif visant à réduire la vitesse dans la chambre de stabulation.

Chez les recaptures, le taux de mortalité sur l'ensemble des sites a été de 6,4 % (3/47). Ce taux de mortalité est cependant surtout représentatif des sites localisés entre les PK 5 et 8, puisque seulement 4 smolts ont été recapturés au PK 2 de la Romaine (aucun mort).

Puyjalon

Les trappes installées dans la Puyjalon ont permis de capturer 1 073 smolts en 2019 (tableau 2-4, carte 2-2), dont 917 ont été marqués. Parmi ceux-ci, 34 ont été recapturés (3,7 % de recapture). Les données brutes de captures dans la rivière Puyjalon sont également présentées aux annexes 5 et 6.

La mortalité des smolts capturés une première fois dans la Puyjalon a été de 7,9 % en 2019 (82/1039), ce qui est plus élevé qu'en 2018 (4,5 %) et en 2017 (6,1 %). Ainsi, si on exclut les données du PK 2 de la Romaine, le taux de mortalité dans la Puyjalon a été plus élevé que dans le cours principal de la Romaine, comme cela avait également été observé au cours des deux dernières années, et ce, malgré l'absence d'une problématique d'accumulation d'algues dans les engins de capture. Ce taux de mortalité plus élevé s'explique vraisemblablement par les vitesses

plus grandes dans la Puyjalon, au niveau de l'engin de capture. Rappelons à cet effet les mesures de vitesse prises pendant la crue à la fin du printemps 2018, vis-à-vis la chambre de stabulation contenant les smolts. Ces vitesses ont varié entre 0,70 et 0,85 m/s dans la Romaine (PK 5), alors qu'à la même période, elles se situaient entre 0,97 et 1,02 m³/s dans la Puyjalon.

Tableau 2-4 Bilan des captures de smolts lors de l'étude de la dévalaison en 2019 dans la Puyjalon

Répartition des smolts	Nombre
Captures totales :	1 073 ¹
Smolts non marqués :	122 ²
Smolts marqués :	917
Smolts recapturés :	34 ³
Recapture (%) :	3,71

1 Incluant 2 smolts capturés au premier jour (6 juin) (à exclure pour le calcul CMR).

2 Soit 82 smolts non marqués morts dans les trappes ou lors des manipulations et 40 smolts sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes.

3 Incluant 12 smolts recapturés morts et 22 smolts recapturés vivants (13 sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes et 9 remis à l'eau).

Pour ce qui est des smolts recapturés, le taux de mortalité observé dans la Puyjalon en 2019 a été nettement plus élevé que chez les smolts capturés une première fois, soit de 35,3 % (12/34). Des taux de mortalité très élevés chez les recaptures avaient aussi été observés au cours des deux dernières années, avec respectivement 52 % en 2018 et 35 % en 2017 (Aubé-Maurice et coll., 2019; WSP, 2019).

2.2.4 Abondance des smolts

2.2.4.1 Efficacité des trappes

Parmi les 11 sites différents mis à l'essai en 2019 dans le cours principal de la Romaine, les sites 25A (PK 7-8), 1A (PK 5) et 24A (PK 2) sont ceux qui affichent le meilleur succès de pêche avec respectivement 6,6, 6,5 et 5,5 captures/jour (tableau 2-5). Le succès de pêche pour les autres sites a varié entre 0 et 2,8 captures/jour, mais il faut préciser que certains sites ont été inventoriés seulement quelques jours, en dehors du pic de la dévalaison.

Tableau 2-5 Répartition des smolts capturés dans la Romaine en 2019

Secteur	N° de trappe	Effort de pêche (jour-trappe)	Nombre de levée	Capture	Succès de pêche (capture/jour)
PK 2	24A	23	23	127	5,5
PK 2	27A	25	25	54	2,2
PK 5	1A	39	39	252	6,5
PK 5	4A	12	12	7	0,6
PK 5	28A	6	6	3	0,5
PK 7-8	20A	39	39	46	1,2
PK 7-8	21A	40	40	110	2,8
PK 7-8	22A	3	3	0	0,0
PK 7-8	23A	10	10	3	0,3
PK 7-8	25A	36	36	239	6,6
PK 7-8	26A	23	23	61	2,7
PK 2	Sous-total	48	48	181	3,8
PK 5	Sous-total	57	57	262	4,6
PK 7-8	Sous-total	151	151	459	3,0
	Total	256	256	902	3,5

Le succès global de capture, toutes trappes confondues, s'élève à 3,5 captures/jour en 2019, ce qui est supérieur aux trois dernières années et comparable aux années 2013 et 2015 (tableau 2-6). Le succès de capture demeure toutefois en deçà de celui de 2014, alors qu'on avait capturé en moyenne 10,4 smolts par jour dans les différentes trappes installées au PK 5 de la Romaine. Comparativement aux trois dernières années, le succès de capture plus élevé en 2019 s'explique en partie par une dévalaison plus abondante. Les relevés bathymétriques du début juin et l'essai de filets-trappes sur de nouveaux sites ont aussi contribué à augmenter le succès de capture. Rappelons également qu'en 2018, alors que le succès de capture avait été particulièrement faible, les débits étaient demeurés très élevés jusqu'à tard pendant la période de dévalaison limitant davantage l'efficacité des engins de capture (installation tardive des ailes, faible proportion de la rivière interceptée par les filets-trappes).

Tableau 2-6 Nombre de smolts capturés dans la Romaine et succès de pêche entre 2013 et 2019

Année (référence)	Effort de pêche (jour-trappe)	Captures totales	Smolts marqués	Recapture (%)	Succès de pêche (capture/jour)
2013 (WSP, 2014a)	191	738	-	5 (0,7) ¹	3,9
2014 (WSP, 2015)	192	2 003	1 637	117 (7,1)	10,4
2015 (WSP, 2016a)	168	574	544	24 (4,4)	3,4
2016 (WSP, 2017a)	190	434	354	9 (2,5)	2,3
2017 (WSP, 2019)	207	421	351	24 (6,8)	2,0
2018 (Aubé-Maurice et coll., 2019)	197	119	110	0 (0)	0,6
2019	256	902	572	27 (4,7)	3,5

¹ En 2013, un CMR a été réalisé dans la Puyjalon uniquement. Le taux de recapture était de 4,6 % (24 recaptures / 527 smolts marqués; WSP, 2014b). Pour la même année au site du PK 5 de la Romaine, 5 smolts marqués dans la Puyjalon ont été récoltés sur les 738 captures (taux de recapture de 0,7 %).

Dans la rivière Puyjalon, l'unique filet-trappe utilisé (11A) a affiché un succès de capture nettement plus élevé que dans la Romaine avec 23,8 captures par jour, comme ce fût également le cas lors des suivis précédents (tableau 2-7). Soulignons que les dimensions plus faibles de ce cours d'eau permettent d'augmenter l'efficacité de l'engin de capture qui intercepte une proportion considérable de cette rivière.

Tableau 2-7 Nombre de smolts capturés dans la Puyjalon et succès de pêche en 2013 et de 2017 à 2019

Année (référence)	Effort de pêche (jour-trappe)	Captures totales	Smolts marqués	Recapture (%)	Succès de pêche (capture/jour)
2013 (WSP, 2014b)	41	585	527	24 (4,6)	14,3
2017 (WSP, 2019)	36	656	512	37 (7,2)	18,2
2018 (Aubé-Maurice et coll., 2019)	45	536	484	27 (5,6)	11,9
2019	45	1 073	917	34 (3,7)	23,8

2.2.4.2 Facteurs affectant le nombre de captures

Le faible nombre de captures dans le cours principal de la Romaine depuis 2015 et comparativement aux résultats obtenus pour la Puyjalon depuis 2017 (avec un seul engin de capture) s'explique vraisemblablement en partie par une efficacité de pêche réduite des trappes. En effet, la présence d'algues filamenteuses dans la colonne d'eau depuis la mise en eau des réservoirs favorise le colmatage des ailes des trappes pouvant possiblement rendre ces dernières plus faciles à éviter pour les smolts en dévalaison.

De plus, comparativement à la rivière Puyjalon, les dimensions considérables de la rivière Romaine font en sorte que les filets-trappes interceptent généralement une proportion relativement faible de la section d'écoulement de la rivière. Ce phénomène est encore plus marqué pendant la crue printanière, alors que les débits sont élevés. Ces débits élevés se traduisent alors par un agrandissement de la section d'écoulement de la rivière en plus de limiter les possibilités de mettre en place les ailes qui visent à augmenter l'efficacité des trappes.

Soulignons néanmoins qu'en 2019, l'ajout de nouveaux sites de capture en particulier dans le secteur des PK 7 et 8 de la Romaine a permis d'augmenter considérablement le succès de pêche par rapport aux trois années précédentes (tableau 2-6).

2.2.4.3 Estimation de l'abondance de la population

Comme au cours des deux dernières années, l'estimation de la population de smolts en dévalaison a été faite de façon séparée pour l'ensemble du bassin versant de la Romaine (CMR basé sur les captures dans la Romaine) et pour la rivière Puyjalon uniquement (CMR basé sur les captures dans la Puyjalon). Dans la Puyjalon, l'estimation de la population de smolts s'établit à 28 117 avec un intervalle de confiance allant de 21 979 à 38 991 smolts (tableau 2-8). Dans le cours principal de la Romaine, l'estimation pour l'ensemble du bassin versant s'établit plutôt à 18 459, avec un intervalle de confiance allant de 13 996 à 26 895 (annexe 8). Ces résultats sont incohérents, la population totale de la Romaine étant inférieure à celle de son tributaire Puyjalon. Malgré l'amélioration du succès de pêche dans la Romaine en 2019, l'estimation de population obtenue pour la Puyjalon est considérée plus précise. Dans ce tributaire beaucoup plus étroit que le cours principal, l'engin de capture permet en effet d'intercepter une plus grande proportion de la population en dévalaison.

Tableau 2-8 Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Puyjalon en 2019 et répartition des smolts capturés dans la Romaine selon leur origine

Répartition des smolts	Estimation (I.C. 95 %) ¹
Nombre de smolts en dévalaison dans la Puyjalon d'après les résultats du CMR	28 117 (21 979 à 38 991)
Proportion de smolts capturés dans la Romaine issue de la Puyjalon ²	81,97
Proportion de smolts capturés dans la Romaine issue de la Romaine ²	18,03
Proportion de smolts de la Romaine issue de la reproduction naturelle dans la Puyjalon ²	63,75
Proportion de smolts de la Romaine issue de la reproduction naturelle dans la Romaine ²	12,10
Proportion de smolts de la Romaine issue des ensemencements dans la Puyjalon ²	18,22
Proportion de smolts de la Romaine issue des ensemencements dans la Romaine ²	5,93

¹ Limites minimale et maximale selon un intervalle de confiance de 95 %.

² Les proportions d'appartenance aux différents groupes ont été établies à partir des résultats des analyses génétiques de 236 smolts capturés dans le cours inférieur de la Romaine (PK 2 à PK 8) en 2019 (Piette-Lauzière et coll., 2019; annexe 4). Les proportions dans les groupes « Reproduction naturelle » et « Ensemencements » ont d'abord été établies à partir de l'ensemble des 236 analyses (179 : 57 en faveur du groupe « Reproduction naturelle »). À l'intérieur de chacun de ces deux groupes, la proportion d'appartenance aux sous-populations Puyjalon et Romaine a ensuite été établie à partir des spécimens pour lesquels une affiliation génétique a été obtenue (137 : 26 en faveur de la Puyjalon pour le groupe « Reproduction naturelle » en excluant les spécimens d'origine indéterminée et 43 : 14 en faveur de la Puyjalon pour le groupe « Ensemencements »).

Dans ce contexte, l'estimation de la taille de la population de smolts à l'échelle du bassin versant de la Romaine a été réalisée de la même manière qu'en 2013, en 2017 et en 2018 (WSP, 2014a; 2019, Aubé-Maurice et coll., 2019), soit en extrapolant le nombre de smolts estimé pour la Puyjalon à l'aide des proportions d'appartenance à chacune des sous-populations issues

des analyses génétiques sur les smolts capturés dans la Romaine. Ainsi, en considérant que les smolts issus de la rivière Puyjalon (reproduction naturelle et ensemencements) représentent 82 % des smolts capturés dans la Romaine (tableau 2-8), l'estimation de la population de smolts en dévalaison pour l'ensemble du bassin versant de la Romaine s'établit à 34 302 smolts avec un intervalle de confiance entre 26 813 et 47 568 (tableau 2-9, annexe 8). En soustrayant les smolts morts dans les trappes, ceux transférés en pisciculture et ceux sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes de saumon, l'estimation du nombre de smolts se dirigeant vers la mer est d'environ 33 847 (tableau 2-9).

Tableau 2-9 Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Romaine en 2019

Répartition des smolts	Estimation (I.C. 95 %) ¹
Nombre total de smolts en dévalaison estimé dans la Romaine	34 302 (26 813 à 47 568)
Nombre de smolts issus de la Puyjalon - Reproduction naturelle	21 867 (17 093 à 30 324)
Nombre de smolts issus de la Romaine - Reproduction naturelle	4 150 (3 244 à 5 755)
Nombre de smolts issus de la Puyjalon - Ensemencements	6 250 (4 885 à 8 667)
Nombre de smolts issus de la Romaine - Ensemencements	2 035 (1 591 à 2 822)
Nombre estimé de smolts se dirigeant vers la mer ²	33 847 (26 457 à 46 937)

¹ Limites minimale et maximale selon un intervalle de confiance de 95 %.

² Nombre total de smolts moins les mortalités dans les trappes ou lors des manipulations (n = 175, soit 81 dans la Romaine et 94 dans la Puyjalon), les smolts transférés en pisciculture (n = 205, tous dans la Romaine) et ceux sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes (n = 75, soit 22 dans la Romaine et 53 dans la Puyjalon).

Les résultats des analyses génétiques réalisées sur 236 smolts capturés dans la Romaine en 2019 (Piette-Lauzière et coll., 2019; annexe 4) permettent d'établir les proportions de smolts appartenant aux quatre groupes considérés, soit les smolts sauvages (issus de la reproduction naturelle dans la Romaine ou dans la Puyjalon) et ceux issus des ensemencements faits par la SSRR (dans la Romaine ou dans la Puyjalon) (tableau 2-8). Selon ces proportions, la population de smolts en 2019 inclut 21 867 smolts sauvages de la rivière Puyjalon et 4 150 smolts sauvages du cours principal de la Romaine (tableau 2-9). Quant aux smolts issus des ensemencements, leur nombre s'élève respectivement à 6 250 et à 2 035 pour la Puyjalon et pour la Romaine.

En tenant compte à la fois de la reproduction naturelle (26 017 smolts) et des ensemencements (8 285 smolts), l'estimation de la population de smolts en dévalaison en 2019 est la plus élevée depuis le début du suivi annuel (tableau 2-10). En ne tenant compte que de la reproduction naturelle, la dévalaison de 2019 se classe au deuxième rang après celle de 2014.

Pour les smolts sauvages du cours principal de la Romaine, leur nombre est en hausse par rapport aux quatre dernières années, mais demeure nettement en deçà des évaluations réalisées en conditions naturelles en 2013 et en 2014 (tableau 2-10) qui étaient environ deux fois plus élevées. La diminution observée dans la taille de la sous-population de la Romaine (reproduction naturelle) depuis que le complexe hydroélectrique est en fonction pourrait être liée à un taux de survie plus faible des juvéniles de la Romaine, lequel pourrait être lié à la gestion des eaux à la centrale de la Romaine-1 qui se traduit par des fluctuations marquées et fréquentes de débit dans la portion aval de la Romaine, notamment en hiver (annexe 8).

Quant aux smolts sauvages de la souche Puyjalon, leur nombre a toujours été plus élevé que ceux de la Romaine depuis le début des suivis annuels en 2013. En 2019, leur nombre est cependant le plus élevé jusqu'ici, surpassant même la dévalaison de 2014 (tableau 2-10).

Tableau 2-10 Évaluation de l'abondance des smolts en dévalaison dans la Romaine entre 2005 et 2019

Année (référence)	Estimation pour l'ensemble du bassin versant	Intervalle de confiance (95 %) ¹	Reproduction naturelle		Ensemencements ²	
			Sous-population de la Puyjalon	Sous-population de la Romaine	Ensem. dans la Puyjalon	Ensem. dans la Romaine
2005 ³ (GENIVAR, 2006)	15 264	10 023 à 25 597	n. d.	n. d.	-	-
2013 ⁴ (WSP, 2014a)	21 281	15 131 à 29 679	11 869 (56 %)	9 412 (44 %)	-	-
2014 (WSP, 2015)	27 818	23 260 à 33 847	18 264 (66 %)	9 554 (34 %)	-	-
2015 (WSP, 2016a)	12 277	8 918 à 19 907	8 463 (69 %)	3 814 (31 %)	-	-
2016 (WSP, 2017a)	15 443	9 152 à 37 050	12 845 (83 %)	2 598 (17 %)	-	-
2017 ⁴ (WSP, 2019)	11 479	9 096 à 15 763	8 843 (77 %)	1 284 (11 %)	-	1 353 (12 %)
2018 ⁴ (Aubé-Maurice et coll., 2019)	11 721	8 947 à 16 969	9 284 (79 %)	2 437 (21 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
2019 ⁴	34 302	26 813 à 47 568	21 867 (64 %)	4 150 (12 %)	6 250 (18 %)	2 035 (6 %)

1 Limites minimale et maximale avec un intervalle de confiance de 95 % (pour les années 2013 et 2017 à 2019, l'I.C. a été calculé pour la Puyjalon et extrapolé à l'ensemble du bassin versant)

2 Premiers ensemencements en 2015 dans le cours principal de la Romaine et en 2016 dans la Puyjalon et ses tributaires.

3 Le début de la dévalaison n'avait pu être échantillonné adéquatement en 2005, ce qui implique que l'estimation présentée est vraisemblablement inférieure à la dévalaison réelle.

4 Estimation basée sur le CMR réalisé dans la rivière Puyjalon et sur les résultats d'analyses génétiques dans le cours principal de la Romaine (en aval de la confluence avec la Puyjalon).

En 2019, le nombre de smolts issus des ensemencements est de loin le plus élevé jusqu'ici, ce qui est cohérent avec les ensemencements importants réalisés par la SSRR en 2017 (smolts de 2 ans en 2019). Rappelons que plus de 200 000 alevins ont été ensemencés en 2017 dans le bassin de la Romaine comparativement à moins de 50 000 au cours des deux années précédentes.

2.2.4.4 Relation entre le nombre de nids et la dévalaison des smolts

Depuis 2017, le nombre de smolts dévalant, qui témoigne annuellement de l'ensemble des conditions de survie ayant prévalu en rivière, est potentiellement influencé par le programme de restauration du saumon par la SSRR. Toutefois, la génétique des smolts ensemencés étant connue, il est toujours possible d'estimer le rapport de smolts produits par nid en ne considérant que la fraction des smolts dévalant issus de la fraie naturelle dans le calcul.

Relation entre le nombre de smolts en dévalaison et le nombre de nids de fraie dont ils sont issus

Les smolts ayant dévalé en 2019 et capturés dans la Romaine sont tous issus des fraies des automnes 2016 et 2017, et ce, autant pour la sous-population de la Romaine que pour celle de la Puyjalon. En effet, ces smolts étaient tous âgés de 2 ou 3 ans en 2019 d'après les lectures d'âge réalisées à partir des écailles prélevées (annexe 3, photos 5 à 6, annexe 6). Seuls les smolts capturés dans la Romaine sont ici considérés, puisque ceux-ci ont aussi fait l'objet d'analyses génétiques, permettant de les associer avec certitude à leur sous-population d'origine,

mais également de déterminer s'ils proviennent ou non des ensemencements. Précisons néanmoins qu'une partie des smolts capturés dans la Puyjalon a aussi fait l'objet de lecture d'âge. Dans ce cas, les smolts de 2 ou 3 ans représentaient la presque totalité des spécimens analysés (99 %), avec un seul smolt de 4 ans recensé.

Les smolts de la sous-population de la Romaine ayant dévalé en 2019 sont donc issus des 138 nids recensés en 2015 et des 205 nids recensés en 2016 dans les frayères du cours principal de la Romaine. Quant aux smolts issus de la sous-population de la Puyjalon, ils proviennent des 13 nids recensés en 2015 et des 68 nids recensés en 2016 dans la rivière Puyjalon et ses tributaires.

Rapport du nombre de smolts par nid de fraie

Comparativement à l'estimation du taux de survie de l'œuf au smolt qui prend en compte plusieurs hypothèses et estimations, le nombre de smolts produits par nid de fraie fournit un indice de survie plus factuel qui minimise plusieurs biais potentiels.

Ce rapport utilise le nombre de nids de fraie recensés à l'automne sur les frayères à une année donnée et le nombre de smolts dénombrés au cours des années suivantes, principalement trois à quatre ans plus tard, puisque les smolts issus de la Romaine et de la Puyjalon dévalent généralement à deux ou trois ans, soit trois à quatre ans après la fraie.

Le tableau 2-11 présente le nombre de smolts produits par nid de fraie pour les cohortes d'œufs de 2010 à 2015, alors que le détail est fourni aux annexes 9 et 10. Les données présentées pour la cohorte de 2015 sont encore considérées préliminaires puisqu'il est possible que des smolts de 4 ans dévalent en 2020. Lorsque des smolts de 4 ans ont été recensés jusqu'ici, ces derniers représentaient toutefois une proportion très faible de l'effectif (< 10 %), n'affectant pas de façon significative le nombre de smolts par nid.

Soulignons toutefois qu'à la lumière des résultats de la dévalaison de 2018 et en particulier de 2019, il semble que le nombre de nids dans le bassin versant de la Puyjalon ait été sous-estimé en 2015. En effet, l'évaluation de 21 867 smolts sauvages dans la Puyjalon en 2019 est composée à environ 56 % de smolts de 3 ans, indiquant que 12 220 de ces smolts sont issus de la fraie de 2015. En considérant que seulement 13 nids ont été dénombrés dans le bassin versant de la Puyjalon en 2015, cela se traduit par un nombre de smolts par nid très élevé. Or, en 2015, le décompte de nids avait été réalisé particulièrement tôt dans la rivière Puyjalon, soit les 27 et 28 octobre. Les observations colligées au cours des trois années suivantes indiquent que l'essentiel des activités de reproduction du saumon dans la Puyjalon aurait eu lieu quelques jours plus tard, au début novembre. Les décomptes de nids dans la Puyjalon ont d'ailleurs dû être entièrement refaits dans la deuxième semaine de novembre de 2016 à 2018 après qu'une première tentative indique que la fraie n'était pas terminée. De plus, en 2015, le dénombrement des nids dans la rivière Allard avait été partiel en raison du fort débit au moment du décompte. Dans ce contexte, les données du tableau 2-11 pour la cohorte de 2015 dans la rivière Puyjalon doivent être interprétées avec prudence.

Tableau 2-11 Nombre moyen de smolts produits par nid de fraie pour les cohortes d'œufs de 2010 à 2016

Cohorte d'œufs ¹	Cours principal de la Romaine (n)	Puyjalon et ses tributaires (n)	Total (n)
Fraie de 2010²			
Smolts de 2 ans (2013)	297	54	119
Smolts de 3 ans (2014)	73	123	109
Smolts de 4 ans (2015)	0	3	2
Total	370	180	230
Fraie de 2011			
Smolts de 2 ans (2014)	183	82	111
Smolts de 3 ans (2015)	16	50	40
Smolts de 4 ans (2016)	0	0	0
Total	199	132	151
Fraie de 2012			
Smolts de 2 ans (2015)	81	71	76
Smolts de 3 ans (2016)	0	246	136
Smolts de 4 ans (2017)	0	13	7
Total	81	330	219
Fraie de 2013			
Smolts de 2 ans (2016)	41	21	32
Smolts de 3 ans (2017)	2	106	47
Smolts de 4 ans (2018)	0	0	0
Total	43	127	79
Fraie de 2014²			
Smolts de 2 ans (2017)	22	151	58
Smolts de 3 ans (2018)	12	248	77
Smolts de 4 ans (2019)	0	0	0
Total	34	399	135
Fraie de 2015³			
Smolts de 1 an (2017) ⁴	<1	0	<1
Smolts de 2 ans (2018)	13	333	41
Smolts de 3 ans (2019)	4	940	85
Total préliminaire	18	1 273	127
Fraie de 2016			
Smolts de 2 ans (2019)	17	142	48

1 Entre parenthèses, année de dévalaison.

2 L'évaluation du nombre de smolts par nid est vraisemblablement légèrement surestimée dans le bassin versant de la Puyjalon pour les cohortes de 2010 et de 2014, puisque la rivière Allard n'a pas été inventoriée lors de ces deux années.

3 L'évaluation du nombre de smolts par nid est sans doute surestimée dans le bassin versant de la Puyjalon pour la cohorte de 2015 en raison d'un inventaire partiel dans la rivière Allard, mais surtout parce que le décompte de nids dans la Puyjalon a fort possiblement été réalisé avant que la fraie ne soit complétée.

4 Un seul smolt de 1 an a été capturé depuis le début du suivi annuel de la dévalaison des smolts en 2013. Ce dernier a été capturé en 2017.

De façon générale, on observe une tendance à la baisse dans le nombre de smolts produits par nid de fraie dans le cours principal de la Romaine depuis la fraie de 2010. Ce nombre a diminué chaque année pour les cohortes d'œufs de 2010 à 2015. À noter que les alevins produits depuis la fraie de 2012 dans la Romaine ont vécu partiellement ou totalement sous les conditions de débit régulé par l'exploitation du Complexe de la Romaine. On peut suspecter que les diminutions du nombre de smolts produits par nid pour les cohortes de 2013 à 2015, qui sont les trois plus faibles enregistrés, sont peut-être liées à une diminution du taux de survie des juvéniles en lien avec un patron de gestion de l'eau marqué par des fluctuations de débit importantes et fréquentes, en particulier à l'hiver 2016-2017 et 2017-2018. À l'hiver 2018-2019, la gestion hivernale à la centrale de la Romaine-1 a été modifiée afin de réduire l'amplitude et la fréquence des fluctuations de débit (voir annexe 7).

Dans la Puyjalon, le nombre de smolts par nid affiche une plus grande variabilité d'une année à l'autre, même en ne tenant pas compte des données pour la cohorte de 2015. Toutefois, à l'exception des cohortes de 2010 et de 2011, ce nombre est nettement plus élevé que dans la Romaine ce qui indique un meilleur taux de survie des saumons juvéniles dans cette rivière. Les smolts produits dans la rivière Puyjalon sont cependant plus petits que dans la Romaine et dévalent en moyenne à un âge plus avancé, ce qui était également le cas en conditions naturelles (voir section 2.2.5.2).

2.2.4.5 Relation entre le nombre d'alevins ensemencés et la dévalaison des smolts

Le tableau 2-12 présente le nombre de smolts produits par 1 000 alevins ensemencés. Rappelons que les ensemencements ont débuté en 2015, alors que la SSRR a procédé à l'ensemencement de 22 000 alevins dans le cours principal de la Romaine uniquement. Les smolts issus de ces ensemencements ont tous dévalé au printemps 2017, à l'âge de 2 ans.

Tableau 2-12 Nombre moyen de smolts produits par 1 000 alevins ensemencés pour les cohortes d'alevins de 2015 à 2017

Cohorte d'alevins ensemencés ¹	Cours principal de la Romaine (n)	Puyjalon et ses tributaires (n)	Bassin versant de la Romaine (n)
Ensemencements de 2015			
Smolts de 2 ans (2017)	62	-	62
Smolts de 3 ans (2018)	0	-	0
Smolts de 4 ans (2019)	0	-	0
Total	62	-	62
Ensemencements de 2016			
Smolts de 2 ans (2018)	0	0	0
Smolts de 3 ans (2019)	0	0	0
Total préliminaire	0	0	0
Ensemencements de 2017			
Smolts de 2 ans (2019)	18	56	36

1 Entre parenthèses, année de dévalaison.

En 2016, un total de 25 257 alevins a été ensemencé par la SSRR, soit 9 546 alevins dans le cours principal de la Romaine et 15 711 dans la rivière Puyjalon. Aucun smolt issu de ces ensemencements n'a toutefois été recensé dans les analyses génétiques des smolts capturés dans la Romaine en 2018 (smolts de 2 ans) ou en 2019 (smolts de 3 ans). L'absence de smolts ensemencés de 2 ans en 2018 pourrait s'expliquer par le faible nombre de captures en 2018 (119 captures dont 101 visées par une analyse génétique) et par le faible nombre d'alevins ensemencés en 2016 (considérant leur faible taux de survie jusqu'au stade de smolt). Quant à l'absence de smolts ensemencés de 3 ans en 2019, rappelons que les smolts de la Romaine dévalent surtout à 2 ans. Dans la Puyjalon, une proportion importante des smolts sauvages dévale plutôt à 3 ans, mais il n'est pas certain que ce soit également le cas chez les ensemencés.

En 2017, le nombre d'alevins ensemencés a augmenté considérablement, passant à 228 566, soit 116 073 alevins dans la Romaine et 112 993 alevins dans le bassin de la Puyjalon (rivières Puyjalon et Bat-le-Diable). Des smolts de 2 ans issus de ces ensemencements ont été analysés en 2019. Le nombre de smolts produits par 1 000 alevins ensemencés a été trois fois plus élevé dans la Puyjalon comparativement à la Romaine (tableau 2-12).

2.2.4.6 Algues à la dérive dans la colonne d'eau

Pour la cinquième année consécutive, une quantité non négligeable d'algues et de débris à la dérive était présente dans la Romaine pendant la dévalaison des smolts. À l'instar de la dévalaison de 2018, les algues filamenteuses observées au cours des dernières années étaient moins abondantes en 2019. Néanmoins, pendant la crue printanière, les algues et les débris à la dérive contribuaient à augmenter la résistance offerte par les engins de capture qui devaient donc être nettoyés minutieusement lors de chaque levée. En raison de la plus faible quantité de débris à la dérive dans la colonne d'eau en 2019, il n'a cependant pas été requis de procéder à deux levées quotidiennes.

Les algues filamenteuses semblent être associées à la mise en eau des réservoirs dans la portion amont du bassin versant, un phénomène également documenté après la mise en eau du réservoir de l'Eastmain 1 en 2005-2006 (Bastien et coll., 2007). Les algues à la dérive observées pendant la dévalaison des smolts de 2015 à 2019 découleraient ainsi des mises en eau successives des réservoirs de la Romaine 2, de la Romaine 1 et de la Romaine 3 en 2014, 2015 et 2017. Le fait que la mise en eau la plus récente remonte à 2017 explique vraisemblablement la diminution observée de l'abondance de ces algues pendant la dévalaison des smolts en 2019. On peut cependant s'attendre à une présence accrue de ces algues dans les prochaines années, à la suite de la mise en eau du réservoir de la Romaine 4 qui a débuté le 18 juin 2020 et devrait s'étirer jusqu'à l'été 2021. Il s'agit néanmoins d'une situation temporaire qui n'est pas représentative des conditions normales d'exploitation.

2.2.5 Caractéristiques biologiques de la population

2.2.5.1 Âge, longueur, masse et coefficient de condition

Six des sept smolts génétiquement affiliés à la sous-population de la Romaine (reproduction naturelle) et ayant fait l'objet d'une lecture d'âge en 2019 sont âgés de 2 ans et sont donc issus de la cohorte d'œufs de 2016. L'autre spécimen était âgé de 3 ans (cohorte d'œufs de 2015). L'âge moyen des smolts sauvages de la souche Romaine est donc, sous réserves, de 2,14 ans (tableau 2-13), ce qui est similaire à ce qui est observé pour ce groupe depuis 2013 (âge moyen variant entre 2,00 et 2,24 ans). Tous les smolts issus desensemencements dans la Romaine et ayant fait l'objet d'une lecture d'âge ($n = 4$) étaient âgés de 2 ans.

Parmi les 34 smolts sauvages génétiquement associés à la Puyjalon dont l'âge est disponible, 15 sont âgés de 2 ans (44,1 %) et 19 de 3 ans (55,9 %). Ainsi, l'âge moyen des smolts issus de la Puyjalon est de 2,56 ans (tableau 2-13), ce qui est semblable aux valeurs obtenues depuis 2013 qui ont toujours varié entre 2,53 et 2,73 ans, sauf en 2016, alors que l'âge moyen de ces smolts était de 2,92 ans (WSP, 2017a).

Comme dans la Romaine, les smolts issus desensemencements dans la Puyjalon et ayant fait l'objet d'une lecture d'âge ($n = 8$) étaient tous âgés de 2 ans. En 2019, malgré les faibles effectifs, il y a une différence significative entre les âges moyens des smolts sauvages provenant des deux rivières (Romaine : 2,14 ans; Puyjalon : 2,56 ans), ainsi qu'entre les smolts sauvages et ensemencés pour la Puyjalon (sauvages : 2,56 ans; ensemencements : 2,00 ans).

Tableau 2-13

Caractéristiques biologiques des smolts de la Romaine et de la Puyjalon en 2019

Variable	Romaine – Reproduction naturelle			Romaine – Ensemencements		
	Âge		Tous ¹	Âge		Tous ¹
	2 ans	3 ans		2 ans	3 ans	
<i>Âge</i>						
Effectif	6	1	7	4	0	4
Âge moyen			2,14 ans ^b			2,00 ans ^a
<i>Masse (g)</i>						
Effectif	0	0	0	0	0	0
Moyenne	-	-	-	-	-	-
Minimum	-	-	-	-	-	-
Maximum	-	-	-	-	-	-
I.C. (95 %)	-	-	-	-	-	-
<i>Longueur totale (mm)</i>						
Effectif	6	1	22	4	0	14
Moyenne	175,2 ^a	234,0	166,6 ^a	160,3 ^a	-	158,7 ^a
Minimum	160	-	127	134	-	133
Maximum	199	-	234	200	-	200
I.C. (95 %)	16,0	S.O.	9,3	45,4	-	10,7
<i>Longueur à la fourche (mm)</i>						
Effectif	0	0	0	0	0	0
Moyenne	-	-	-	-	-	-
Minimum	-	-	-	-	-	-
Maximum	-	-	-	-	-	-
I.C. (95 %)	-	-	-	-	-	-
<i>Coefficient de condition (Fulton)</i>						
Effectif	0	0	0	0	0	0
Moyenne	-	-	-	-	-	-
Minimum	-	-	-	-	-	-
Maximum	-	-	-	-	-	-
I.C. (95 %)	-	-	-	-	-	-

¹ Incluant les smolts appartenant à l'une ou l'autre des populations, mais pour lesquels l'âge n'a pas été déterminé.

^a Des comparaisons statistiques (analyse de type ANOVA suivie d'un test de LSD) ont été effectuées pour chacune des variables (effectif minimal de 3 spécimens par groupe) et des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour les comparaisons interrivières (Romaine vs Puyjalon).

* Des comparaisons statistiques (analyse de type ANOVA suivie d'un test de LSD) ont été effectuées pour chacune des variables (effectif minimal de 3 spécimens par groupe) et des astérisques indiqueraient une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour les comparaisons intrarivières (reproduction naturelle vs ensemencements).

S.O. Effectif trop faible pour calculer l'intervalle de confiance.

Tableau 2-13 (suite) Caractéristiques biologiques des smolts de la Romaine et de la Puyjalon en 2019

Variable	Puyjalon – Reproduction naturelle			Puyjalon – Ensemencements		
	Âge		Tous ¹	Âge		Tous ¹
	2 ans	3 ans		2 ans	3 ans	
<i>Âge</i>						
Effectif	15	19	34	8	0	8
Âge moyen			* 2,56 ans ^a			* 2,00 ans ^a
<i>Masse (g)</i>						
Effectif	0	2	2	0	0	0
Moyenne	-	25,5	25,5	-	-	-
Minimum	-	24,9	24,9	-	-	-
Maximum	-	26,1	26,1	-	-	-
I.C. (95 %)	-	S.O.	S.O.	-	-	-
<i>Longueur totale (mm)</i>						
Effectif	15	19	117	8	0	24
Moyenne	139,8 ^b	151,5	146,0 ^b	136,5 ^a	-	143,1 ^b
Minimum	125	135	119	123	-	123
Maximum	158	173	187	156	-	165
I.C. (95 %)	6,1	4,7	2,5	10,2	-	4,8
<i>Longueur à la fourche (mm)</i>						
Effectif	0	2	2	0	0	0
Moyenne	-	143,0	143,0	-	-	-
Minimum	-	141	141	-	-	-
Maximum	-	145	145	-	-	-
I.C. (95 %)	-	S.O.	S.O.	-	-	-
<i>Coefficient de condition (Fulton)</i>						
Effectif	0	2	2	0	0	0
Moyenne	-	0,68	0,68	-	-	-
Minimum	-	0,67	0,67	-	-	-
Maximum	-	0,68	0,68	-	-	-
I.C. (95 %)	-	S.O.	S.O.	-	-	-

¹ Incluant les smolts appartenant à l'une ou l'autre des populations, mais pour lesquelles l'âge n'a pas été déterminé.

^a Des comparaisons statistiques (analyse de type ANOVA suivie d'un test de LSD) ont été effectuées pour chacune des variables (effectif minimal de 3 spécimens par groupe) et des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour les comparaisons interrivières (Romaine vs Puyjalon).

* Des comparaisons statistiques (analyse de type ANOVA suivie d'un test de LSD) ont été effectuées pour chacune des variables (effectif minimal de 3 spécimens par groupe) et des astérisques indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour les comparaisons intrarivières (reproduction naturelle vs ensemencements).

S.O. Effectif trop faible pour calculer l'intervalle de confiance.

Des comparaisons statistiques (voir section 2.1.6) ont été faites pour les variables du tableau 2-13 avec un effectif suffisant (> 3) en vue de comparer les smolts issus du cours principal de la Romaine à ceux de la Puyjalon, ou selon le type de reproduction. Afin de minimiser le stress occasionné par les manipulations, rappelons que la proportion de smolts sur lesquels des écailles ont été prélevées en vue de déterminer l'âge a été plus faible en 2019, à l'instar de ce qui avait également été fait en 2018. Comme pour les années passées, on note que les smolts sauvages de la Romaine demeurent significativement plus grands que ceux de la Puyjalon. Pour les smolts affiliés à la Romaine et âgés de deux ans, on note également que les smolts sauvages sont en moyenne plus grands (175,2 mm) que ceux issus desensemencements (160,3 mm). Ces moyennes ne sont cependant pas significativement différentes vu la faible taille de l'échantillon.

2.2.5.2 Âge à la smoltification par cohorte d'œufs sauvage

En considérant les smolts de 2 ans issus de la cohorte d'œufs de 2015 ayant dévalé en 2018 et ceux âgés de 3 ans qui ont dévalé en 2019, il est possible d'évaluer de façon préliminaire l'âge à la smoltification des smolts issus de cette cohorte d'œufs (tableau 2-14, annexe 9). Dans le cours principal de la Romaine, l'âge à la smoltification de la cohorte d'œufs de 2015 est évalué à 2,22 ans comparativement à 2,74 ans dans la Puyjalon. Cette évaluation pourra être précisée en 2020 advenant que des smolts de 4 ans viennent compléter le portrait des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2015.

Tableau 2-14 Nombre total de smolts en dévalaison et âge à la smoltification selon les cohortes d'œufs de 2010 à 2015 et leur provenance

Cohorte d'œufs	Cours principal de la Romaine (reproduction naturelle)		Puyjalon et ses tributaires (reproduction naturelle)	
	Nombre de smolts en dévalaison ¹ (I.C. 95 %)	Âge à la smoltification ¹	Nombre de smolts en dévalaison ¹ (I.C. 95 %)	Âge à la smoltification ¹
2010	11 444 (8 414 à 13 096)	2,20 ²	15 268 (12 167 à 20 466)	2,71
2011	7 960 (6 583 à 9 949)	2,08 ²	12 648 (10 046 à 17 343)	2,38
2012	3 160 (2 296 à 5 121)	2,00 ³	15 876 (9 992 à 34 784)	2,82
2013	2 693 (1 615 à 6 364)	2,04 ³	6 212 (4 719 à 9 578)	2,84
2014	1 750 (1 369 à 2 449)	2,35 ⁴	7 980 (6 178 à 11 325)	2,62
2015 ⁵	2 469 (1 897 à 3 533)	2,22 ⁴	16 553 (12 859 à 23 218)	2,74

1 Voir annexe 9 pour le détail du calcul.

2 2010 et 2011 : Cohorte d'œufs non influencée par la présence des installations hydroélectriques.

3 2012 et 2013 : Cohortes d'œufs partiellement influencées par la présence des installations hydroélectriques.

4 2014 et 2015 : Cohortes d'œufs influencées par la présence des installations hydroélectriques dès la ponte des œufs.

5 Total à ajuster si la dévalaison de 2020 inclut des smolts de 4 ans.

Depuis le début du suivi, l'âge à la smoltification des deux sous-populations semble indiquer une meilleure croissance des saumons juvéniles atteignant le stade de smolt dans le cours principal de la Romaine comparativement à la Puyjalon, en présence ou non des installations hydroélectriques. Néanmoins, rappelons que la survie des juvéniles dans la Romaine semble plus faible que dans la Puyjalon depuis la mise en eau des premiers réservoirs. C'est ce que

suggère le rapport du nombre de smolts par nid de fraie qui diminue d'année en année dans la Romaine (voir section 2.2.4.4 et tableau 2-11). En effet, il y a plusieurs facteurs dans ce cours d'eau pouvant nuire à la survie des juvéniles (p. ex. fluctuations répétées du débit hivernal, augmentation de la température moyenne de l'eau en hiver, présence accrue d'algues). Toutefois, cette survie plus faible pourrait contribuer à diminuer la compétition intraspécifique et ainsi augmenter le taux de croissance.

Cette différence entre les âges à la smoltification semble liée au milieu de vie, dans la mesure où dans des conditions contrôlées identiques (au laboratoire du LARSA), les smolts provenant de la rivière Puyjalon montrent une croissance plus rapide que ceux de la Romaine (SSRR, données non publiées). À titre de comparaison, dans la rivière Betsiamites, l'âge à la smoltification est de 2,10 ans selon des données compilées entre 1990 et 2009 (Richard Verdon, comm. pers., 2010 dans WSP, 2016a), ce qui est semblable à ce qui est observé dans le cours principal de la Romaine.

Ces âges à la smoltification sont toutefois relativement faibles en comparaison avec d'autres rivières du Québec. Hutchings et Jones (1998) calculent un âge moyen à la smoltification de 3,60 ans \pm 0,79 an à partir de données issues de 27 rivières du Québec. L'âge à la smoltification des smolts de la Romaine et, dans une moindre mesure, ceux de la Puyjalon (tableau 2-14), est également moins élevé si on le compare avec celui de la rivière de la Trinité sur la Haute-Côte-Nord (2,98 ans entre 1984 et 2018), de la rivière Saint-Jean en Gaspésie (3,39 ans entre 1989 et 2018), et enfin ceux de la rivière du Vieux-Fort sur la Basse-Côte-Nord (3,78 ans entre 2014 et 2018) (April et coll., 2019; Gagné et coll., 2018). Dans tous les cas, les smolts de 2 ans sont très peu représentés, les smolts âgés de 3 ans dominent généralement dans les rivières de la Trinité et Saint-Jean alors que les smolts de 4 ans sont les plus abondants dans la population de la rivière du Vieux-Fort.

2.2.5.3 Rapport des sexes

Comme au cours des deux dernières années, les analyses génétiques réalisées sur les smolts capturés dans la Romaine ont permis de sexer chacun des spécimens analysés. En plus de ces 236 spécimens, 65 smolts additionnels morts dans les trappes (excluant les recaptures) ont également été sexés pour un total de 301 smolts. Les résultats sont présentés au tableau 2-15.

Tableau 2-15 Rapport des sexes des smolts capturés dans la Romaine en 2019

Échantillon	Effectif	Femelle	Mâle	Femelle (%)	Mâle (%)
Total	301	188	113	62,5	37,5
2 ans	45	28	17	62,2	37,8
3 ans	34	22	12	64,7	35,3
Romaine – Sauvage	26	15	11	57,7	42,3
2 ans	6	2	4	33,3	66,7
3 ans	1	1	0	100	0
Puyjalon – Sauvage	137	91	46	66,4	33,6
2 ans	15	9	6	60,0	40,0
3 ans	19	13	6	68,4	31,6
Romaine – Ensem.	14	3	11	21,4	78,6
2 ans	4	2	2	50,0	50,0
3 ans	0	0	0	-	-
Puyjalon – Ensem.	43	29	14	67,4	32,6
2 ans	8	6	2	75,0	25,0
3 ans	0	0	0	-	-

De façon générale, le rapport des sexes favorise les femelles, qui représentent 62,5 % de l'ensemble des spécimens capturés dans la Romaine et ayant été sexés. Dans le cas des smolts affiliés à la population de la Puyjalon, environ les deux tiers des spécimens sexés sont des femelles, et ce, autant chez les smolts sauvages que ceux provenant des ensemencements. Pour la population de la Romaine, la proportion de mâles est plus grande, mais demeure inférieure à 50 % pour les smolts sauvages. Toutefois, près de 80 % des smolts provenant des ensemencements dans la Romaine sont des mâles.

En excluant les recaptures, un total de 95 smolts capturés dans la Puyjalon a également été sexé parmi les smolts morts dans les trappes ou sacrifiés pour l'étude sur les microbiotes de saumon. À l'instar de la Romaine, ces smolts sont majoritairement des femelles, mais dans une proportion légèrement inférieure à ce qui observé dans la Romaine (56,8 % dans la Puyjalon comparativement à 62,5 % dans la Romaine).

Un déséquilibre en faveur des femelles est fréquemment observé chez les smolts. Selon Cunjak et coll. (1998), les tacons mâles sexuellement matures (tacons précoces) accumulent moins de réserves lipidiques que les tacons femelles immatures et seraient ainsi soumis à un plus haut taux de mortalité hivernale.

2.2.5.4 Croissance annuelle

À l'exception des alevins de 2015 (ponte de 2014) et de 2017 (ponte de 2016) lors de leur première année en rivière (âge 0 à 1+), la croissance annuelle des saumons juvéniles avant leur smoltification est plus élevée dans la rivière Romaine que dans la rivière Puyjalon, les comparaisons des accroissements annuels étant toutes significativement différentes ($p < 0,05$) pour la même cohorte et la même classe d'âge (tableau 2-16). La plus faible compétition intraspécifique pour la ressource alimentaire, en lien avec la plus faible densité des juvéniles dans le cours principal de la Romaine, serait le principal facteur expliquant ce phénomène. Les longueurs rétrocalculées pour un même âge varient considérablement d'une cohorte à l'autre, et ce, pour les deux rivières. Par ailleurs, ces données de croissance annuelle ne sont disponibles que pour les juvéniles qui se sont smoltifiés et ne renseignent donc pas sur les patrons de croissance chez les juvéniles n'ayant pas atteint ce stade.

Rappelons que la croissance des juvéniles de la sous-population de la Romaine est influencée par la présence des installations hydroélectriques depuis 2014. Comme montré à l'annexe 1 (figure A1-1), la présence du réservoir de la Romaine 2, dont le remplissage a débuté le 10 mai 2014, a commencé à avoir une influence sur le régime thermique de la rivière à compter de l'automne 2014. Les cohortes d'alevins de 2012 à 2014 ont été partiellement soumises aux modifications des régimes thermiques et hydrologiques associées à la présence des équipements et à leur exploitation.

La cohorte d'alevins de la Romaine de 2015 (ponte de 2014) est la première dont la croissance a pu être influencée dès l'éclosion par le nouveau régime thermique de la rivière. Bien que la première année de croissance de cette cohorte (54,2 mm) soit nettement inférieure à la moyenne des quatre cohortes précédentes (moyenne de 66,2 mm, voir tableau 2-16), cette tendance n'a pas été observée chez les deux cohortes suivantes (alevins de 2016 et de 2017) mais dans ces deux cas, le nombre d'analyses est faible.

Tableau 2-16 Croissance interannuelle des smolts des rivières Romaine et Puyjalon

Cohorte ¹	Croissance moyenne \pm I.C. (95 %) (mm) ^{2,3}		
	Âge 0 à 1 an	Âge 1 à 2 ans	Âge 2 à 3 ans
<i>Romaine sauvage</i>			
2011 (2010)	67,0 ^{ab} ($\pm 0,9$) [n=48]	47,1 ^d ($\pm 1,8$) [n=48]	47,3 ^a ($\pm 6,5$) [n=8]
2012 (2011)	69,5 ^a ($\pm 1,1$) [n=32]	51,3 ^{cd} ($\pm 2,2$) [n=32]	21,2 ^b ($\pm 7,5$) [n=6] ⁴
2013 (2012)	64,3 ^b ($\pm 1,2$) [n=28]	54,8 ^c ($\pm 2,3$) [n=28] ⁴	-
2014 (2013)	64,1 ^b ($\pm 1,4$) [n=20] ⁴	70,0 ^a ($\pm 2,8$) [n=20] ⁵	65,7 [n=2] ⁵
2015 (2014)	54,2 ^c ($\pm 1,2$) [n=26] ⁵	61,5 ^b ($\pm 2,4$) [n=26] ⁵	56,7 [n=2] ⁵
2016 (2015)	65,4 ^{ab} ($\pm 2,2$) [n=8] ⁵	73,8 ^a ($\pm 4,6$) [n=7] ⁵	80,3 [n=1] ⁵
2017 (2016)	63,7 ^b ($\pm 2,6$) [n=6] ⁵	77,7 ^a ($\pm 5,0$) [n=6] ⁵	
<i>Puyjalon sauvage</i>			
2010 (2009)	59,7 ^{ab} ($\pm 1,4$) [n=31]	30,5 ^d ($\pm 1,8$) [n=31]	32,4 ^d ($\pm 1,8$) [n=31]
2011 (2010)	*60,9 ^a ($\pm 0,9$) [n=57]	*36,7 ^c ($\pm 1,4$) [n=57]	*41,0 ^{ab} ($\pm 1,6$) [n=36]
2012 (2011)	*58,5 ^b ($\pm 0,8$) [n=72]	*43,0 ^b ($\pm 1,2$) [n=72]	*37,3 ^{bc} ($\pm 1,5$) [n=45]
2013 (2012)	*53,7 ^c ($\pm 0,6$) [n=126]	*35,0 ^c ($\pm 0,9$) [n=126]	36,6 ^c ($\pm 1,0$) [n=96]
2014 (2013)	*46,0 ^e ($\pm 0,6$) [n=115]	*31,9 ^d ($\pm 1,0$) [n=115]	34,6 ^{cd} ($\pm 0,9$) [n=108]
2015 (2014)	51,6 ^d ($\pm 0,7$) [n=79]	*45,4 ^b ($\pm 1,2$) [n=79]	38,5 ^{abc} ($\pm 2,4$) [n=16]
2016 (2015)	*54,5 ^c ($\pm 1,2$) [n=33]	*43,2 ^b ($\pm 1,8$) [n=33]	43,5 ^a ($\pm 2,2$) [n=19]
2017 (2016)	56,8 ^{bc} ($\pm 1,7$) [n=15]	*55,3 ^a ($\pm 2,7$) [n=15]	
<i>Romaine ensem.</i>			
2015 (2014)	*73,3 ^a ($\pm 1,8$) [n=29]	67,6 ^a ($\pm 3,1$) [n=29]	-
2016 (2015)	-	-	-
2017 (2016)	66,9 ^a ($\pm 4,9$) [n=4]	68,8 ^a ($\pm 8,4$) [n=4]	
<i>Puyjalon ensem.</i>			
2016 (2015)	-	-	-
2017 (2016)	58,3 ($\pm 2,6$) [n=8]	*52,8 ($\pm 3,3$) [n=8]	

¹ Cohorte de poisson (année de ponte des œufs, correspondant à la fraie, entre parenthèses).

² Selon les rétrocalculs de l'âge des poissons réalisés à partir des écailles.

³ La croissance est exprimée en longueur à la fourche (LF). Les mesures de la longueur totale (LT) prises sur le terrain doivent donc être préalablement transformées en longueur à la fourche.

⁴ Année de croissance partiellement influencée par la présence des installations hydroélectriques (2014).

⁵ Années de croissance complètement influencées par la présence des installations hydroélectriques (2015 et +).

* Des comparaisons statistiques ont été effectuées et les astérisques indiquent une différence significative ($p < 0,05$) de la croissance pour une même année entre les smolts sauvages et ensemencés de la Puyjalon ou ensemencés de la Romaine comparativement aux smolts sauvages de la Romaine.

a Des comparaisons statistiques ont été effectuées interannuellement pour chacune des variables pour chaque rivière et des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les années (pour une même rivière).

Pour ce qui est de la deuxième année de croissance des cohortes Romaine influencées par le nouveau régime thermique et hydrologique de la rivière (cohortes d'alevins de 2014 à 2017), on note une croissance moyenne supérieure à ce qui prévalait pour les trois cohortes précédentes ayant grandi en conditions naturelles. Ces taux de croissance passablement plus élevés (en moyenne 38 %) entre 1 et 2 ans pourraient traduire une plus faible compétition intraspécifique pour la nourriture chez les tacons ayant survécu à l'incubation et au premier hiver en conditions d'exploitation.

Dans la Puyjalon, la croissance des alevins sauvages (0 à 1 an) de 2017 (ponte de 2016) est en hausse comparativement à celles des quatre cohortes précédentes (alevins de 2013 à 2016) et se rapproche des croissances des cohortes d'alevins sauvages de 2010 à 2012. Chez les tacons sauvages d'âge 1+ (1 à 2 ans), la croissance annuelle présente également une tendance à la hausse pour la cohorte de 2017 (ponte de 2016). Les trois cohortes les plus récentes (alevins de 2015 à 2017) sont d'ailleurs caractérisées par les croissances les plus importantes enregistrées jusqu'ici entre 1 et 2 ans.

Ces résultats indiquent une croissance plus rapide des saumons juvéniles dans le cours principal de la Romaine et leur smoltification à un plus jeune âge. Théoriquement, le fait de passer une année de moins en rivière entraîne une meilleure survie du saumon juvénile (une année de moins de mortalité naturelle). Toutefois, ces données sont disponibles uniquement pour les juvéniles ayant atteint le stade de smolt et ne permettent donc pas de savoir si cette meilleure croissance est corrélée à une plus grande mortalité chez les juvéniles, ce qui réduirait la compétition chez ces derniers. Rappelons à cet effet que le rapport du nombre de smolts par nid de fraie est plus grand pour la Puyjalon que pour la Romaine (voir section 2.2.4.4 et tableau 2-11) depuis la mise en eau des premiers réservoirs, ce qui suggère une meilleure survie des juvéniles dans la Puyjalon. Par ailleurs, il ne semble pas que les ensemencements d'alevins, réalisés à partir de 2015 dans la Romaine et de 2016 dans la Puyjalon, aient affecté la croissance des alevins issus de reproduction naturelle, même dans le cas de la cohorte d'alevins de 2017, alors que plus de 200 000 alevins ont été ensemencés par la SSRR dans les rivières Romaine et Puyjalon.

La croissance plus rapide des juvéniles de saumon de la sous-population de la Romaine est vraisemblablement attribuable à une plus faible densité dans ce système, ce qui diminue la compétition pour la nourriture et pour les abris. Cette hypothèse est étayée par les travaux de la SSRR qui élève des smolts de la Romaine et de la Puyjalon pour en faire des reproducteurs. En conditions d'élevage contrôlées et identiques, ce sont plutôt les poissons de la Puyjalon, où la densité est près de 20 fois plus grande que dans la Romaine (12,3 juvéniles/100 m² par rapport à 0,68 juvéniles/100 m²; AECOM, 2013), qui affichent une meilleure croissance.

2.2.6 Autres espèces capturées

Les tableaux 2-17 et 2-18 présentent toutes les captures de poissons dans les rivières Romaine et Puyjalon en 2019. En excluant les smolts de saumon, la ouitouche est l'espèce la plus fréquemment capturée dans la Romaine avec 59 captures, suivi du meunier noir (19 captures), du meunier rouge (18 captures), puis des alevins ou tacons de saumon (18 captures). Quatre autres espèces ont aussi été capturées en petit nombre (cumul de 13 captures) pour un total de 8 espèces. Le nombre d'espèces capturées se compare aux années précédentes (8 à 16 espèces capturées entre 2013 et 2018).

Dans la Puyjalon, ce sont les alevins ou tacons de saumon qui ont été les plus souvent capturés après les smolts avec 105 captures, suivi de la ouitouche avec 61 captures. Dix autres espèces de poisson ont été capturées dans la Puyjalon, pour un total de 12 espèces. Ces espèces ont cependant été capturées en nombre plus faible (< 10 / espèce).

Tableau 2-17 Nombre de poissons par espèce capturés dans la Romaine en 2019

Nom français	Nom latin	Effectif
Saumon atlantique (smolt)	<i>Salmo salar</i>	902
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>	59
Meunier noir	<i>Catostomus commersoni</i>	19
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	18
Saumon atlantique (alevin ou tacon)	<i>Salmo salar</i>	18
Méné de lac	<i>Couesius plumbeus</i>	6
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	5
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>	1
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>	1
Total		1 029

Tableau 2-18 Nombre de poissons par espèce capturés dans la Puyjalon en 2019

Nom français	Nom latin	Effectif
Saumon atlantique (smolt)	<i>Salmo salar</i>	1 073
Saumon atlantique (alevin ou tacon)	<i>Salmo salar</i>	105
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>	61
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>	9
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	8
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	7
Meunier noir	<i>Catostomus commersoni</i>	6
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>	5
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>	4
Méné de lac	<i>Couesius plumbeus</i>	3
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	3
Épinoche tachetée	<i>Gasterosteus wheatlandi</i>	1
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	1
Total		1 286

3. Entraînement des saumons juvéniles

L'objectif général de cette activité est de vérifier si les règles de gestion des débits sont adéquates pour permettre aux saumons juvéniles de se maintenir dans leurs habitats.

Plus spécifiquement, les volets de ce suivi réalisés par WSP consistaient à :

- installer des transpondeurs passifs sur 150 saumons juvéniles capturés dans la Romaine et les relâcher sur l'aire d'élevage du PK 49 (amont) où un tapis d'antennes télémétriques a été installé;
- procéder à la détection mobile de ces juvéniles.

Le suivi de l'efficacité des règles de gestion des débits devant permettre le maintien des saumons juvéniles dans leurs habitats est réalisé à l'aide d'un tapis d'antennes télémétriques installé en 2016 sur l'habitat d'élevage aménagé du PK 49 et sur le marquage de juvéniles à l'aide de transpondeurs passifs (PIT tag). Les mouvements des juvéniles sont enregistrés en continu sur l'habitat d'élevage, tandis que des campagnes de détection télémétrique mobiles permettent de localiser ponctuellement des juvéniles marqués à l'extérieur de celui-ci. Un bref historique du développement du tapis d'antennes est disponible dans le rapport de suivi de 2016 (WSP, 2017a).

La conception des antennes (tapis d'antennes et antenne pour la détection mobile), la détection des juvéniles à l'aide du tapis d'antennes, de même que l'analyse des données sont sous la responsabilité de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), tandis que WSP est responsable de la capture de juvéniles, de l'implantation de transpondeurs passifs et de la détection mobile des juvéniles à l'extérieur du tapis d'antennes.

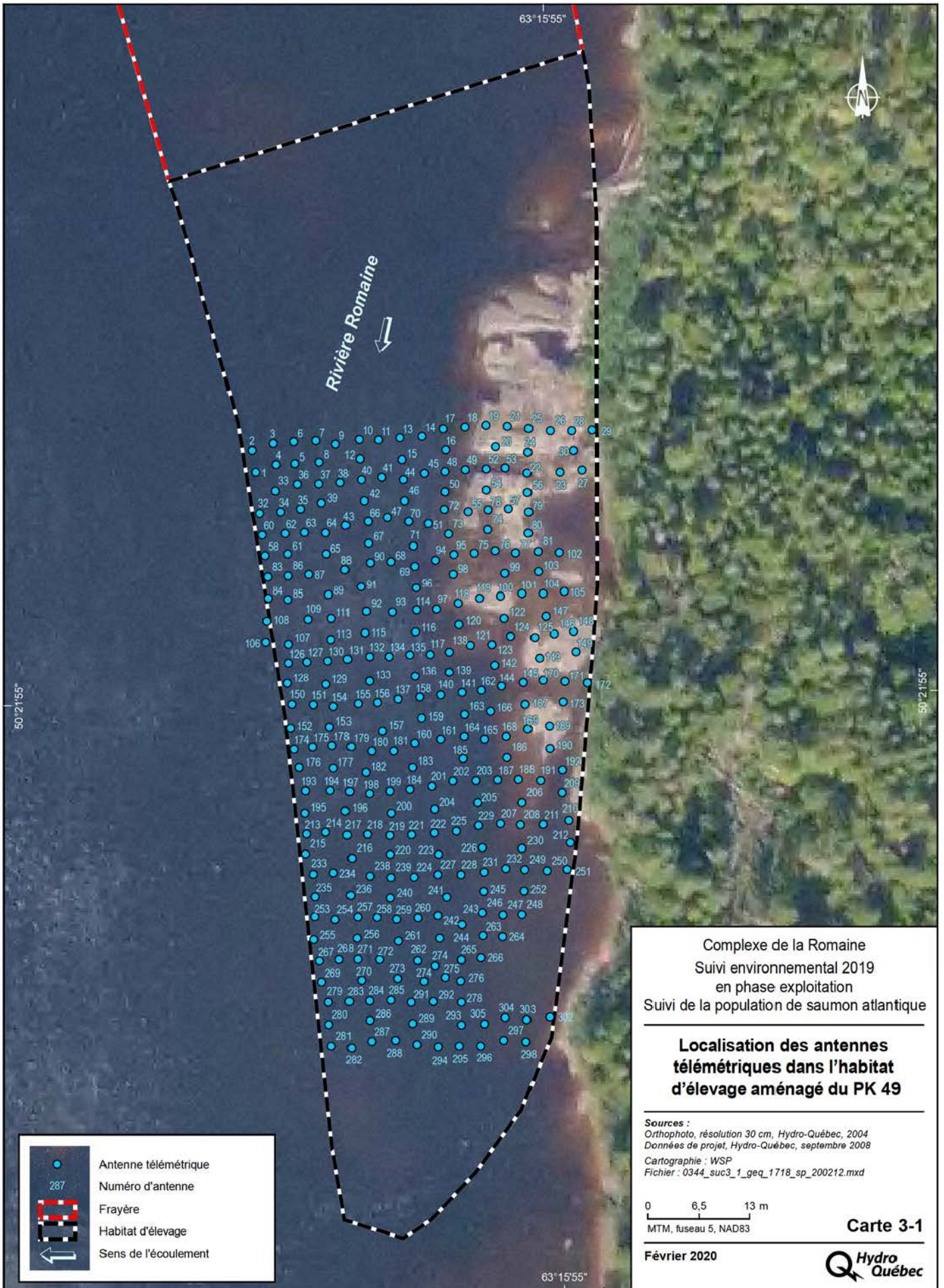
En 2019, une partie des tacons capturés devait être remise à la SSRR pour le renouvellement du stock de saumons reproducteur. Ces tacons ont été remis aux équipes de terrain de Uanan travaillant pour la SSRR, en même temps que les équipes de WSP.

3.1 Matériel et méthode

3.1.1 Description des principaux équipements

3.1.1.1 Tapis d'antennes télémétriques et antenne mobile

Le tapis d'antennes télémétriques est constitué d'un réseau de 296 antennes disposées sur une superficie d'environ 3 200 m², dans l'habitat d'élevage aménagé amont du PK 49 (carte 3-1), dont la superficie totale est de 5 580 m². Chacune des antennes est composée d'un cadre d'aluminium de 1,7 m de côté fixé horizontalement au substrat à l'aide de quatre tiges d'acier. Chaque groupe de quatre antennes est relié à un câble de communication permettant la transmission des données enregistrées. Le tapis d'antennes est muni de points de faiblesse dans ses raccords afin d'éviter le risque d'arrachement en cascade de celui-ci en cas de soulèvement d'une antenne. Soulignons que les antennes doivent être disposées à environ 1 m l'une de l'autre pour éviter les interférences entre elles et assurer une couverture complète de la zone étudiée.



Quant à l'antenne mobile développée par l'INRS, elle permet la détection des juvéniles à partir de la surface de l'eau. Elle peut être traînée par une embarcation ou utilisée manuellement. Sa portée est relativement faible limitant la profondeur de détection des juvéniles. Elle a toutefois été améliorée en 2019 et cette portée est désormais d'environ 1 m.

3.1.1.2 Transpondeurs passifs

Deux tailles de transpondeurs passifs ont été utilisées pour marquer les juvéniles, soit des transpondeurs de 12 mm et de 23 mm (half duplex, fréquence 134,2 kHz, répondant à la norme ISO/IEC 11 784/11 785).

3.1.2 Captures de juvéniles et implantation des transpondeurs passifs

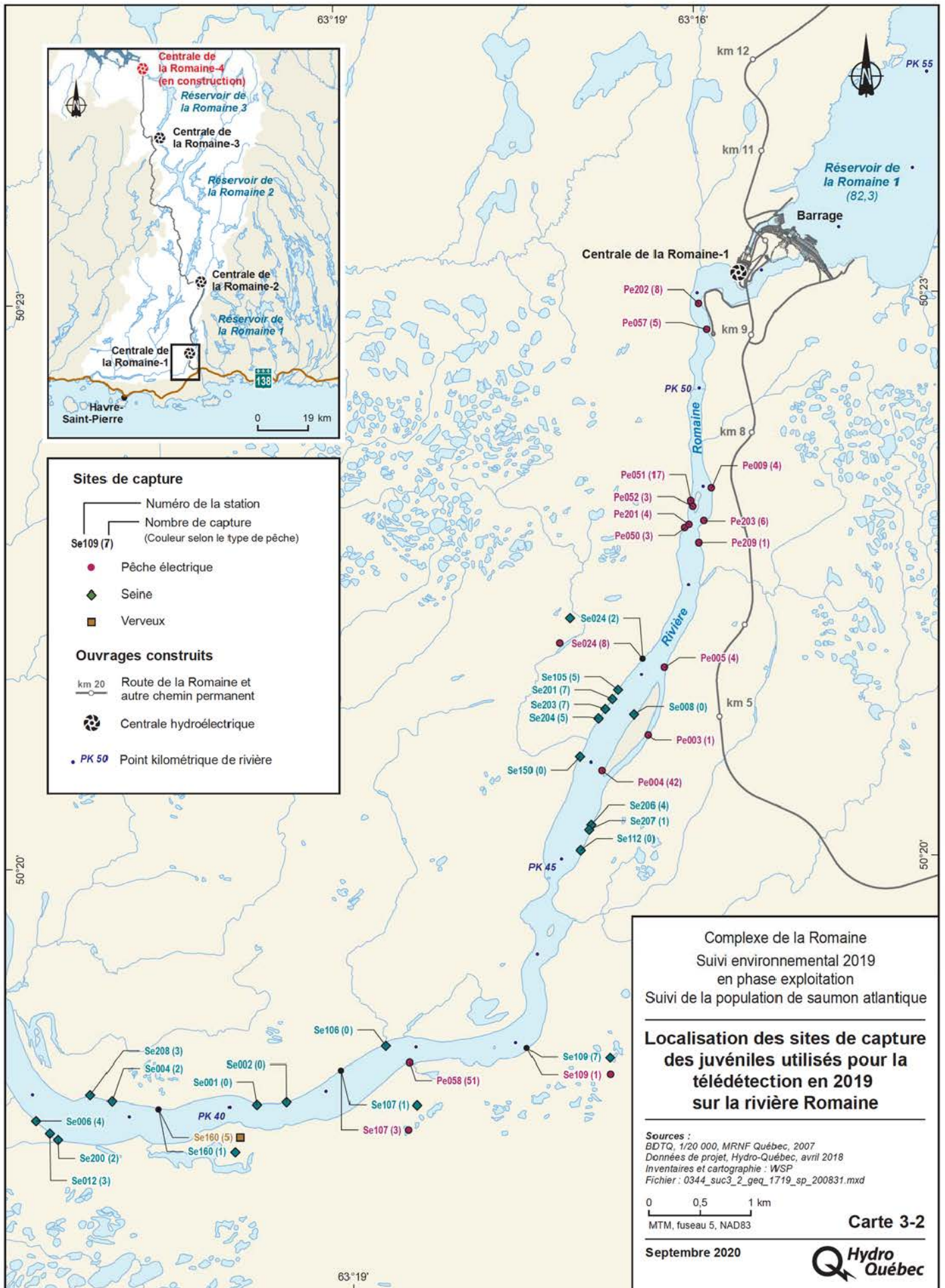
En 2019, la campagne de terrain visant à capturer des saumons juvéniles a été réalisée entre le 25 octobre et le 3 novembre. Aucune pêche n'a cependant été réalisée le 1^{er} novembre en raison du mauvais temps. Les sites de pêche sont montrés sur la carte 3-2. Les principales activités réalisées ont été les suivantes :

- Pêche à l'aide des engins suivants : seine de rivage (annexe 3, photos 7 et 8), pêche électrique. À la toute fin de la campagne de terrain, un autre engin de pêche a été essayé pour tenter de capturer davantage de tacons. Un verveux modifié sur lequel ont été posées des ailes a ainsi été fabriqué, afin qu'il soit tiré par une embarcation à la manière d'un chalut de fond (annexe 3, photos 9 et 10).
- Transport en bateau des juvéniles capturés dans des glacières munies de aérateurs mécaniques vers le laboratoire situé en rive (PK 49), implantation des transpondeurs passifs (voir plus bas) et prise de mesures (longueur, masse). En général, les juvéniles capturés en après-midi étaient mis en stabulation dans un enclos aménagé en rivière pour être opérés le lendemain matin.
- Stabulation des juvéniles après la chirurgie, pendant une durée variable allant d'une heure jusqu'à 24 heures, afin de vérifier leur survie aux manipulations et attendre qu'ils aient un comportement indiquant une complète récupération post-anesthésie.
- Remise à l'eau des juvéniles marqués sur le tapis d'antennes du PK 49. En 2019, les juvéniles étaient remis à l'eau dans un enclos fermé spécialement aménagé sur le tapis d'antennes afin de minimiser le risque que les juvéniles quittent rapidement le tapis d'antenne après leur remise à l'eau. La porte de l'enclos était ouverte seulement le lendemain matin afin que les juvéniles se dispersent tranquillement dans l'aire aménagée.

3.1.2.1 Implantation des transpondeurs passifs

Un laboratoire de terrain où est réalisée l'implantation des transpondeurs est localisé à la hauteur du PK 49. Il est constitué d'un abri permettant d'atténuer l'ensoleillement et de garder la température constante. Les saumons juvéniles sont conservés dans un bassin de rétention rempli d'eau fraîche et muni d'un aérateur mécanique et d'un thermomètre.

Les petits transpondeurs (12 mm) étaient généralement réservés aux spécimens mesurant entre 60 et 95 mm. Toutefois, en 2019, plusieurs alevins de moins de 60 mm ont aussi été marqués à l'aide des transpondeurs de petite taille, malgré leur plus grande vulnérabilité à la chirurgie. Cette décision a été prise sur le terrain et visait à augmenter la probabilité d'atteindre l'objectif de 150 juvéniles marqués. Néanmoins, les alevins les plus petits étaient remis à l'eau.



Avant l'implantation d'un transpondeur, chaque saumon juvénile est d'abord anesthésié dans une solution contenant du MS-222. Pour ce faire, le juvénile est placé dans un bassin d'anesthésie, dont la concentration en MS-222 est ajustée à l'aide d'une solution mère ayant une concentration de 100 mg/ml. Une concentration modérée de MS-222 dans le bassin d'anesthésie est visée (environ 30 à 80 mg/l) afin que le juvénile atteigne le stade 4 de l'anesthésie selon Bowser (2001), dans un délai de 3 à 5 minutes (annexe 11). La concentration initiale de MS-222 dans le bassin d'anesthésie est déterminée en fonction de la température de l'eau et de la taille du spécimen à anesthésier. Ainsi, les plus grands juvéniles nécessitent une concentration de MS-222 plus élevée, mais plus l'eau est chaude, moins la concentration requise de MS-222 est grande. Le comportement du juvénile fait ensuite l'objet d'une attention particulière afin de vérifier son degré d'anesthésie. Si, après 3 minutes, le juvénile n'a pas atteint le stade 4, la concentration de MS-222 est augmentée par paliers de 5 mg/l, espacés de 2 à 3 minutes. Il est important que le stade 4 de l'anesthésie ne soit pas dépassé pour minimiser les risques de mortalité.

Il est à souligner que l'anesthésiant (MS-222) doit en tout temps être protégé de la lumière directe du soleil et de la température élevée pour éviter qu'il ne devienne toxique. Par ailleurs, le bassin d'anesthésie doit être oxygéné en continu à l'aide d'un diffuseur. De plus, le MS-222 étant acide, le pH du bassin doit être régulièrement vérifié et ajusté au besoin à l'aide d'une solution tampon contenant du bicarbonate de sodium (NaHCO_3). Enfin, la température doit être prise en continu et ne doit pas varier de plus de 2 °C.

Une fois le saumon juvénile anesthésié, l'implantation du transpondeur est réalisée sur une surface de travail stérile, avec des instruments chirurgicaux également stérilisés avant chaque chirurgie. Le saumon juvénile est placé en décubitus dorsal sur une surface en V, afin qu'il demeure stable et immobile. Des gants stériles neufs sont utilisés par le chirurgien et les branchies du poisson sont humidifiées, afin qu'elles demeurent humides en tout temps. L'incision doit être réalisée sur la surface ventrale du poisson, de façon longitudinale, entre 10 et 15 mm devant les nageoires pelviennes selon la taille du spécimen. L'incision doit être la plus courte possible (entre 5 et 15 mm) et le transpondeur est ensuite inséré délicatement dans la cavité coelomique. Une colle chirurgicale est utilisée pour refermer la plaie. La chirurgie doit être réalisée en moins de deux minutes.

Après l'opération, les saumons juvéniles sont mis en stabulation dans un bassin d'éveil oxygéné et contenant de l'eau fraîche. Les juvéniles doivent être gardés en stabulation au moins jusqu'à ce qu'ils ne présentent aucun signe d'anesthésie et soient suffisamment vigoureux afin de réduire les risques de prédation. En 2019, les juvéniles marqués étaient ensuite remis à l'eau dans un petit enclos fermé aménagé sur le tapis d'antennes télémétriques. La porte de l'enclos n'était ouverte que le lendemain matin afin de minimiser le comportement de fuite chez les juvéniles marqués.

3.1.3 Détection mobile

La détection mobile des juvéniles marqués a été réalisée lors d'une seconde campagne de terrain qui a eu lieu les 13 et 14 novembre. Les zones peu profondes de la Romaine dans le secteur des habitats aménagés du PK 49 (une frayère et deux aires d'élevage) ainsi qu'en rive droite de la Romaine, de l'autre côté de l'île située à la hauteur du PK 49, ont été parcourues à pied avec l'antenne télémétrique mobile plutôt qu'en embarcation comme lors des suivis des années précédentes. L'utilisation manuelle de l'antenne permet de bien couvrir les secteurs peu profonds des habitats aménagés où l'embarcation a difficilement accès.

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Débit et température de l'eau

Entre le 25 octobre et le 3 novembre, soit pendant la campagne de captures de juvéniles, le débit de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) est généralement demeuré stable, soit aux environs de 210 m³/s, correspondant à l'utilisation d'un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1 (annexe 1). Une petite hausse (environ 250 m³/s) est survenue du 31 octobre au 2 novembre. La température moyenne journalière de l'eau de la Romaine sur le même site s'est graduellement abaissée pendant la campagne de terrain, passant de 9,3 °C à 7,9 °C (annexe 1).

Pendant la campagne de détection mobile (13 et 14 novembre), le débit de la Romaine sur le même site était plus faible que pendant la campagne de capture des juvéniles. Le débit enregistré s'est maintenu entre 155 et 160 m³/s pour la majeure partie de la journée du 13 novembre, alors qu'il a augmenté un peu au-dessus de 160 m³/s le 14 novembre. Bien que faible, cet écart de débit entre les deux journées s'est traduit par une différence appréciable de niveau d'eau sur les habitats aménagés. En effet, l'habitat d'élevage amont du PK 49 était exondé sur environ 10 % de sa superficie le 13 novembre (annexe 3, photos 11 et 12), alors qu'il était entièrement recouvert d'eau le 14 novembre. La température moyenne journalière de l'eau était d'environ 4 °C pendant la campagne de détection mobile.

3.2.2 Marquage des saumons juvéniles

Des transpondeurs passifs ont été implantés sur 132 juvéniles en 2019, lesquels ont été classés au terrain en tant qu'alevin ou tacon en fonction de leurs caractéristiques (coloration, longueur). Des transpondeurs ont ainsi été implantés sur 126 alevins et 6 tacons, alors que 11 autres tacons ont plutôt été conservés pour le renouvellement du stock de saumons reproducteurs et remis à la SSRR. La répartition des juvéniles marqués selon la taille est présentée au tableau 3-1.

Tableau 3-1 Répartition des saumons juvéniles marqués par classe de taille entre 2016 et 2019

Année	Classes de taille d'alevins (mm)						Classes de taille de tacons (mm)				
	< 60	60-64	65-69	70-74	75-79	> 80	Total	100-124	125-149	> 150	Total
2016	0	21	36	21	7	0	85	7	20	8	35
2017	2	19	40	21	12	8	102	4	8	5	17
2018	0	27	49	25	4	2	107	1	2	0	3
2019	25	43	37	16	2	3	126	2	4	0	6

Comme mentionné précédemment, plusieurs alevins de moins de 60 mm ont été marqués en 2019. Toutefois, les spécimens les plus petits étaient remis à l'eau. Ainsi, tous les alevins marqués sauf trois avaient à la fois une longueur d'au moins 56 mm et une masse d'au moins 1,4 g (annexe 12).

En 2019, tous les juvéniles ont survécu à la période de stabulation suivant la chirurgie. Toutefois, quatre des 126 alevins marqués sont morts dans l'enclos de remise à l'eau. Trois de ces alevins avaient une longueur inférieure à 60 mm et une masse de 1,3 ou 1,4 g, ce qui souligne la plus grande vulnérabilité à la chirurgie des plus petits spécimens.

Le tableau présenté à l'annexe 12 détaille les informations recueillies sur les juvéniles marqués, de même que sur ceux conservés pour le renouvellement du stock de saumons reproducteurs de la SSRR. Les alevins qui ont été remis à l'eau en raison de leur plus petite taille sont également inclus, de même que les deux alevins morts avant la chirurgie. Aux saumons juvéniles qui figurent au tableau de l'annexe 12, 32 juvéniles additionnels ont aussi été pêchés en 2019. Ces derniers correspondent à des alevins qui avaient été mis en enclos en fin de journée en vue d'être opérés le lendemain, mais qui se sont échappés pendant la nuit en raison d'un bris dans l'enclos.

Succès de pêche

Afin de capturer un nombre suffisant de juvéniles, un effort de pêche considérable a dû être déployé chaque année depuis le début de ce suivi. Les tableaux 3-2 à 3-4 présentent respectivement le succès de pêche en nombre de captures par jour pour chacun des deux principaux engins utilisés (seine de rivage et pêche électrique), puis pour tous les engins confondus (incluant le verveux modifié en 2019). Puisque ces campagnes de terrain visaient parfois à répondre à plusieurs objectifs en parallèle, les juvéniles pêchés pour une étude sur les microbiotes de saumon ou pour la SSRR sont également pris en compte pour établir le succès de pêche.

De 2016 à 2018, la seine de rivage semblait plus efficace pour capturer les alevins que la pêche électrique (tableaux 3-2 et 3-3). En 2019, c'est toutefois l'inverse qui est observé, mais cela pourrait être attribuable à une utilisation plus intensive (plus de minutes par jour) de la pêche électrique au détriment de la seine. Pour ce qui est des tacons, le succès de pêche est beaucoup plus faible, mais la pêche électrique a toujours été plus efficace que la seine en termes de captures quotidiennes (tableaux 3-2 et 3-3). Soulignons que lors de la dernière journée de terrain en 2019, le verveux modifié utilisé comme un chalut de fond a permis de capturer 5 tacons (aucun alevin) et pourrait s'avérer un moyen plus efficace pour cette classe de juvéniles. En considérant les différents engins de pêche sans distinction, environ 17 alevins/jour ont été capturés en moyenne depuis 2016, comparativement à un peu moins de 3 tacons/jour (tableau 3-4).

Tableau 3-2 Nombre de juvéniles capturés par jour avec utilisation de la seine entre 2016 et 2019

Année	Effort de pêche (jour)	Captures totales			Succès de pêche (capture/jour)		
		Alevins	Tacons	Total	Alevins	Tacons	Total
2016	10	129	9	138 ¹	12,9	0,9	13,8
2017	5	52	5	57 ²	10,4	1,0	11,4
2018	12	137	14	151 ³	11,4	1,2	12,6
2019	7	54	0	54	7,7	0,0	7,7
Total	34	372	28	400	10,9	0,8	11,8

1 Répartition des captures : 71 pour transpondeurs (62 alevins et 9 tacons), 65 pour microbiotes (alevins), 2 morts (alevins).

2 Juvéniles gardés pour l'implantation de transpondeurs uniquement.

3 Répartition des captures : 87 pour transpondeurs (alevins), 50 pour microbiotes (alevins), 14 pour SSRR (tacons).

Tableau 3-3 Nombre de juvéniles capturés par jour avec utilisation de la pêche électrique entre 2016 et 2019

Année	Effort de pêche (jour)	Captures totales			Succès de pêche (capture/jour)		
		Alevins	Tacons	Total	Alevins	Tacons	Total
2016	5	41	26	67 ¹	8,2	5,2	13,4
2017	6	50	12	62 ²	8,3	2,0	10,3
2018	9	38	19	57 ³	4,2	2,1	6,3
2019	9	149	12	161	16,6	1,3	17,9
Total	29	278	69	347	9,6	2,4	12,0

1 Répartition des captures : 49 pour transpondeurs (23 alevins et 26 tacons), 17 pour microbiotes (alevins), 1 mort (alevin).

2 Juvéniles gardés pour l'implantation de transpondeurs uniquement.

3 Répartition des captures : 23 pour transpondeurs (20 alevins et 3 tacons), 18 pour microbiotes (alevins), 16 pour SSRR (tacons).

Tableau 3-4 Nombre de juvéniles capturés par jour avec tous les engins de pêche (seine, pêche électrique ou verveux) entre 2016 et 2019

Année	Effort de pêche (jour)	Captures totales			Succès de pêche (capture/jour)		
		Alevins	Tacons	Total	Alevins	Tacons	Total
2016	11	170	35	205 ¹	15,5	3,2	18,6
2017	6	102	17	119 ²	17,0	2,8	19,8
2018	13	175	33	208 ³	13,5	2,5	16,0
2019	9	203	17	220 ⁴	22,6	1,9	24,4
Total	39	650	102	752	16,7	2,6	19,3

- 1 Répartition des captures : 120 pour transpondeurs (85 alevins et 35 tacons), 82 pour microbiotes (alevins), 3 morts (alevins).
- 2 Juvéniles gardés pour l'implantation de transpondeurs uniquement.
- 3 Répartition des captures : 110 pour transpondeurs (107 alevins et 3 tacons), 68 pour microbiotes (alevins), 30 pour SSRR (tacons).
- 4 Répartition des captures : 132 pour transpondeurs (126 alevins et 6 tacons), 11 pour SSRR (tacons), 43 remis à l'eau (alevins), 32 échappés (alevins) et 2 morts avant la chirurgie (alevins).

3.2.3 Détection des saumons juvéniles

3.2.3.1 Détection mobile

La campagne de télédétection mobile réalisée les 13 et 14 novembre dans les zones peu profondes du PK 49 a permis de détecter un total de 11 juvéniles différents. Ces derniers ont tous été détectés le 13 novembre, alors que le niveau d'eau était particulièrement bas. Deux d'entre eux ont à nouveau été détectés le 14 novembre.

Le 13 novembre, deux juvéniles cachés dans le substrat du tapis d'antennes télémétriques ont été détectés dans une zone partiellement exondée de l'aire d'élevage amont du PK 49. On a également détecté cinq juvéniles dans la frayère aménagée du PK 49 et quatre dans l'aire d'élevage aval du PK 49. Le lendemain, la campagne a visé d'abord le secteur peu profond situé en rive droite de l'île du PK 49, où aucun juvénile n'a été détecté. Les zones couvertes la veille ont ensuite été partiellement parcourues avec l'antenne télémétrique mobile, menant à la détection de deux juvéniles ayant aussi été identifiés le jour précédent sur la frayère du PK 49.

Parmi les 11 juvéniles détectés, huit ont été marqués à l'automne 2019, tandis que deux autres ont été marqués en 2016 (deux alevins) et un dernier en 2017 (tacon 1+). Les trois juvéniles marqués en 2016 et 2017 correspondent donc à des tacons 3+ à l'automne 2019. Ce constat est étonnant compte tenu des observations colligées depuis plusieurs années sur les juvéniles et sur les smolts du cours principal de la Romaine ayant fait l'objet de lectures d'âge. En effet, les smolts en dévalaison qui sont affiliés à la sous-population de la rivière Romaine sont généralement âgés de 2 ans (tacons 1+ de l'automne précédent), alors qu'une petite proportion dévale plutôt à 3 ans (tacons 2+ de l'automne précédent). Les rares smolts de 4 ans (tacons 3+ de l'automne précédent) capturés depuis le début du suivi de la dévalaison des smolts étaient tous affiliés à la sous-population de la rivière Puyalon. Rappelons cependant que lors du suivi des juvéniles en 2018, cinq des six tacons observés lors de l'inventaire du mois d'août étaient particulièrement grands. Il n'est pas impossible que ces derniers aient aussi été des tacons 3+.

3.2.3.2 Détection par le tapis d'antennes

Les résultats des détections enregistrées par le tapis d'antennes sont traités dans un autre rapport réalisé conjointement par Hydro-Québec et l'INRS-ETE.

3.2.4 Autres espèces capturées

En plus des 220 saumons juvéniles capturés dont 132 serviront pour l'étude d'entraînement (détail au tableau 3-4), les pêches réalisées ont permis d'identifier huit autres taxons, soit six ayant été identifiés à l'espèce, ainsi que des meuniers et des épinoches identifiés à la famille. Toutes espèces confondues, les pêches à la seine ont permis de capturer plus de poissons (1 063) comparativement aux pêches à l'électricité (236). Les épinoches et les meuniers sont les deux taxons les plus souvent pêchés avec respectivement 715 et 299 captures (tableau 3-5).

Tableau 3-5 Nombre de poissons capturés dans la Romaine à l'automne 2019 selon l'espèce et l'engin de pêche utilisé

Nom français	Nom latin	Effectif			Total
		Pêche électrique	Seine	Verveux modifié	
Épinoches ¹	<i>Gasterosteus sp.</i>	23	692	0	715
Meuniers ¹	<i>Catostomus sp.</i>	33	266	0	299
Saumon atlantique (alevin)	<i>Salmo salar</i>	149	54	0	203
Ménomini rond	<i>Prosopium cylindraceum</i>	0	31	0	31
Saumon atlantique (tacon)	<i>Salmo salar</i>	12	0	5	17
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>	4	10	0	14
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>	10	0	0	10
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>	1	9	0	10
Lotte	<i>Lota lota</i>	4	0	0	4
Méné de lac	<i>Couesius plumbeus</i>	0	1	0	1
Total		236	1 063	5	1 304

1 Les meuniers et les épinoches n'ont pas été identifiés à l'espèce.

4. Inventaire visuel de saumons juvéniles dans les habitats aménagés et caractérisation du substrat

Les objectifs spécifiques de cette activité sont de :

- vérifier l'utilisation des aires d'élevage aménagées pour les saumons juvéniles à l'aide d'inventaires visuels en apnée;
- estimer le recouvrement en sédiments fins et en algues des habitats aménagés (aires d'élevage et frayères);
- déterminer et décrire la structure verticale et la composition granulométrique du substrat des frayères aménagées.

4.1 Matériel et méthode

4.1.1 Inventaire de saumons juvéniles dans les habitats d'élevage aménagés

Les habitats d'alimentation et d'hivernage aménagés aux PK 49 et 51 ont été inventoriés en apnée pour vérifier la présence de saumons juvéniles (alevins et tacons) et pour évaluer, si possible, leur densité. Deux inventaires ont été réalisés en 2019, soit en août et en octobre.

Pour ces inventaires, les apnéistes ont utilisé une corde graduée servant de guide afin d'effectuer des transects géoréférencés. L'espacement des transects a été déterminé sur le terrain, en fonction de la visibilité sous l'eau. Ce paramètre a été mesuré à l'aide d'un disque de Secchi afin d'espacer suffisamment les transects pour minimiser le double comptage de juvéniles, tout en assurant une visibilité adéquate dans toute l'aire inventoriée. Lors de la visite du mois d'août, la visibilité dans l'eau était de 2,5 m, alors qu'elle était de 2,3 m au mois d'octobre. L'espacement entre les transects a été adapté en conséquence. Le tableau 4-1 présente la visibilité de l'eau mesurée à l'aide du disque de Secchi pour toutes les campagnes d'inventaire des juvéniles réalisées jusqu'ici.

Tableau 4-1 Visibilité dans l'eau de la rivière Romaine mesurée à l'aide d'un disque de Secchi lors des inventaires visuels de saumons juvéniles réalisés depuis 2015

Date de l'inventaire	Visibilité de l'eau (m) (disque de Secchi)
23 septembre 2015	2,5
15 août 2016	2,4
18 et 19 octobre 2016	2,4
18 au 20 octobre 2017	3,5
22 août 2018	3,4
28 au 30 octobre 2018	entre 2,5 et 3,0
21 et 22 août 2019	2,5
23 et 24 octobre 2019	2,3

Les spécimens observés ont été classés par âge (0+, 1+ et 2+) en fonction de leur taille et de leur coloration. La distinction entre les alevins (0+) et les tacons (1+ et 2+) est aisée en raison des différences marquées au niveau de la taille et de la coloration. Il est toutefois beaucoup plus difficile de distinguer les tacons 1+ des tacons 2+. La répartition des spécimens observés dans

ces deux catégories d'âge est donc approximative. Soulignons toutefois que les spécimens considérés comme étant des tacons 2+ avaient une morphologie légèrement différente des tacons 1+, étant plus larges (épais) et hauts pour la même longueur totale (annexe 3, photos 13 et 14).

Comme lors des suivis précédents, on suppose que 90 % des juvéniles présents dans les zones inventoriées ont été aperçus par les apnéistes. La densité de juvéniles a donc été ajustée en conséquence, afin de pouvoir comparer les données avec celles des années antérieures. Le taux de détection pourrait cependant varier selon le type d'habitat inventorié, le stade de vie considéré (alevin ou tacon) ou les conditions du milieu (p. ex. température, présence d'algues). Les faibles densités de juvéniles obtenues depuis le début de ce suivi en 2015 laissent supposer qu'un taux de détection visuel de 90 % est probablement optimiste dans les conditions qui prévalent sur les aires aménagées.

4.1.2 Recouvrement du substrat

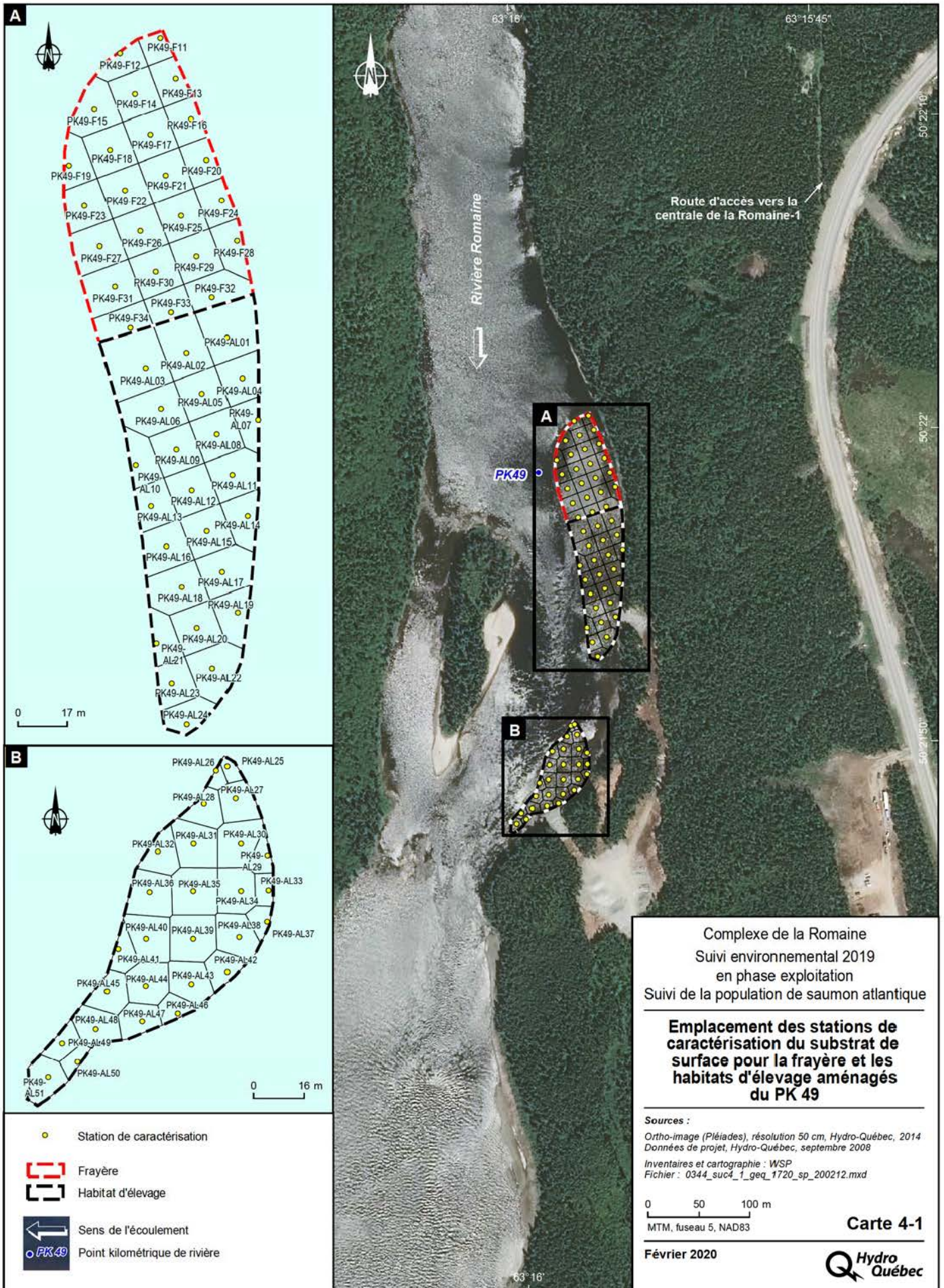
4.1.2.1 Estimation du recouvrement en sédiments fins

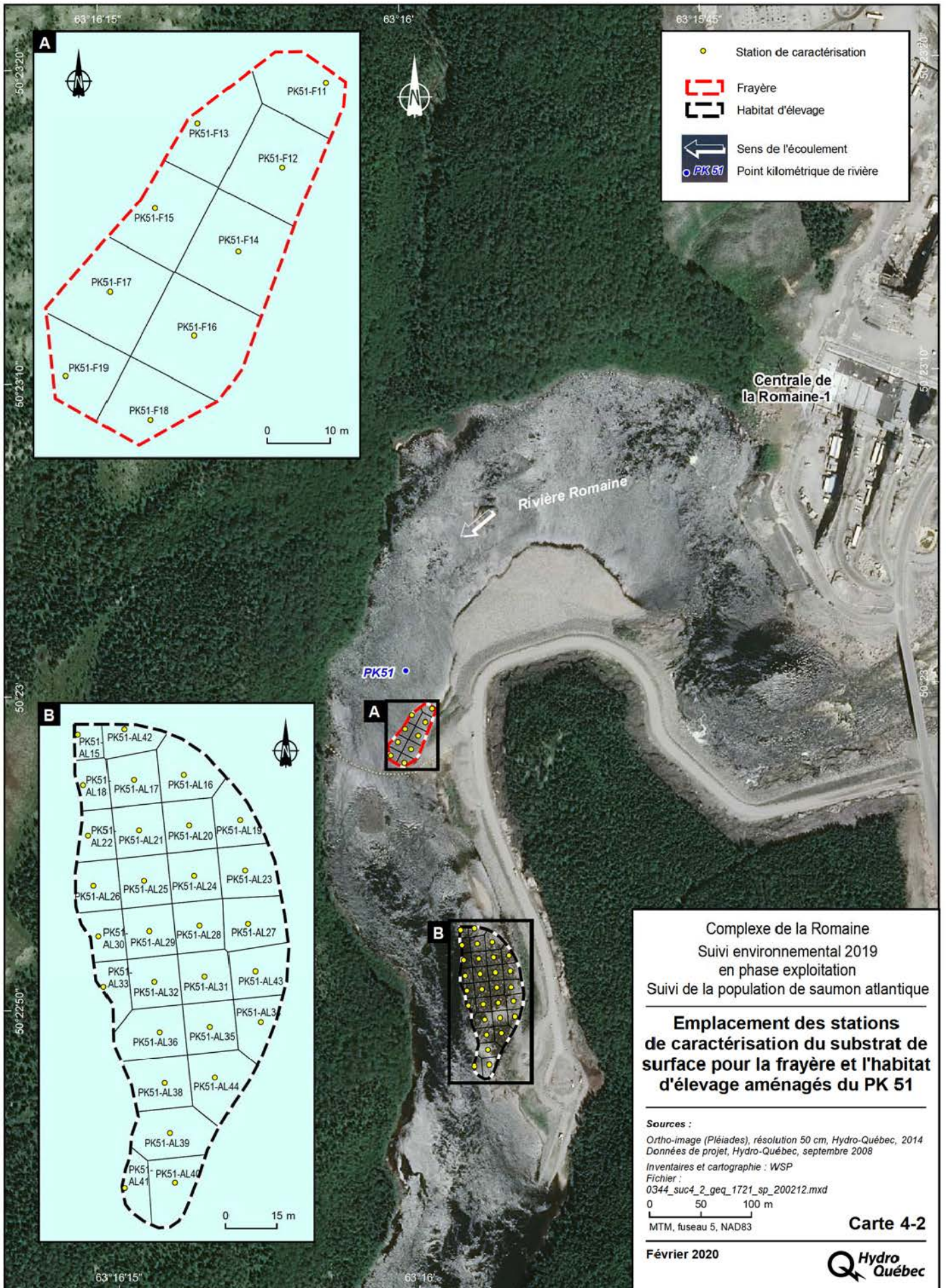
En 2019, la caractérisation visuelle du substrat des frayères et des habitats d'élevage aménagés avait comme objectif de vérifier l'évolution de celui-ci et, au besoin, de décrire l'ensablement à la surface des frayères et des habitats d'élevage des PK 49 et 51. Ainsi, une estimation visuelle du pourcentage de recouvrement en sédiments fins (< 2 mm; sable à argile) a été réalisée. Comme lors des suivis antérieurs, le type de recouvrement et son épaisseur ont aussi été documentés. Pour ce faire, la grille d'échantillonnage utilisée depuis 2016, composée de 113 parcelles d'environ 15 m sur 15 m, a de nouveau été utilisée, de façon à couvrir toute la superficie des habitats aménagés (cartes 4-1 et 4-2). Ces parcelles sont réparties de la façon suivante :

- aire d'élevage amont du PK 49 : 24 parcelles;
- aire d'élevage aval du PK 49 : 27 parcelles;
- frayère du PK 49 : 24 parcelles;
- aire d'élevage du PK 51 : 29 parcelles;
- frayère du PK 51 : 9 parcelles.

Pour chaque station, un gabarit formant un quadrat de 30 cm sur 30 cm a été positionné sur la surface la plus représentative de l'ensemble observé. Des photographies sous-marines de la station et une description visuelle du substrat de surface ont été réalisées par un apnéiste (annexe 3, photos 15 et 16). Pour chaque quadrat, un pourcentage de recouvrement en sable a été évalué. De plus, lorsqu'applicable, l'épaisseur de la couche de sable a été mesurée de manière subjective par le plongeur. Finalement, la morphologie du dépôt de sable a été classifiée selon les quatre types suivants : crêtes longitudinales (orientées dans le sens du courant), rides (crêtes orientées transversalement au courant), plaquages irréguliers et recouvrement continu. Puisqu'un pourcentage de recouvrement en sable est associé à chacune des stations, les résultats ont été cartographiés en utilisant la méthode des polygones de Voronoï⁵.

5 Les polygones sont délimités en considérant le mi-chemin entre deux points (les centroïdes des stations d'échantillonnage en l'occurrence).





- Station de caractérisation
- Frayère
- Habitat d'élevage
- ← Sens de l'écoulement
- PK51 Point kilométrique de rivière

Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019
 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

Emplacement des stations de caractérisation du substrat de surface pour la frayère et l'habitat d'élevage aménagés du PK 51

Sources :
 Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008
 Inventaires et cartographie : WSP
 Fichier : 0344_suc4_2_geq_1721_sp_200212.mxd
 0 50 100 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Quatre des cinq habitats aménagés ont été inventoriés entre le 19 et le 21 août 2019. L'habitat d'élevage aval du PK 49 a plutôt été visité tard à l'automne, soit le 20 décembre. Lors de cette seconde visite, quelques parcelles de la frayère du PK 49 qui n'avaient pu être inventoriées en apnée au mois d'août ont également été visitées. La caractérisation de deux des neuf parcelles de la frayère du PK 51 n'a cependant pas pu être réalisée lors de l'une ou l'autre des deux visites, en raison des forts courants qui ne permettaient pas un échantillonnage sécuritaire.

Comparaison des superficies recouvertes par du sable entre 2018 et 2019

L'ensablement observé en 2019 a été comparé avec celui de 2018 pour les habitats caractérisés. Pour chaque parcelle, les différences de recouvrement en sable observées entre les deux années sont présentées en classes (p. ex : 0-10 %, 10-20 %, etc.). Ces classes sont comparées, entre les années, en y associant la superficie de chaque parcelle.

4.1.2.2 Estimation du recouvrement en algues

Depuis la mise en eau des premiers réservoirs dans la portion amont du bassin versant de la Romaine, une présence inhabituelle d'algues dans la portion accessible au saumon du cours principal de la Romaine a été observée. La présence d'algues sur les habitats aménagés a donc à nouveau fait l'objet d'une attention particulière pendant les travaux de terrain. Le recouvrement en algues a ainsi été évalué sur place de façon qualitative, à différentes occasions au cours de l'été et de l'automne 2019.

4.1.3 Carottage du substrat sur les frayères aménagées

L'approche méthodologique adoptée pour évaluer la qualité du substrat des frayères aménagées repose sur la description visuelle des différentes strates des carottes de sédiments prélevées dans les frayères aménagées et l'analyse granulométrique de sous-échantillons de ces carottes.

4.1.3.1 Prélèvement au carottier cryogénique

Le prélèvement des carottes a été effectué à l'aide d'un carottier cryogénique afin de garder l'intégralité de la structure verticale du substrat en profondeur. Le carottier a été opéré à partir d'une embarcation de type ponton. Trois travailleurs ont pris place sur le ponton. Une deuxième embarcation était également présente pour des raisons de sécurité.

Afin d'effectuer les travaux de carottage, l'embarcation doit être complètement stabilisée sur la rivière. Pour ce faire, deux ancres de type Rocna (soc de charrue) doivent être fixées en amont de la frayère avec un angle de 45 degrés par rapport au ponton, puis une à l'aval de l'embarcation. L'assemblage du matériel d'échantillonnage (carottier cryogénique) doit débuter seulement lorsque l'embarcation est stable et fixe à l'aide d'un test de tension sur les ancres. Le carottier est par la suite mis en place et fixé à l'aide d'un trépied préalablement installé directement au-dessus de l'ouverture centrale du ponton (*moon pool*) (annexe 3, photo 17).

Le mât cryogénique du carottier est mis en place dans l'ouverture centrale du ponton, puis descendu par un treuil jusqu'au contact avec les sédiments du lit de la rivière, puis il est martelé pour l'enfoncer dans le substrat sur une profondeur d'environ 50 cm. Une fois enfoncé, de l'azote liquide est injecté dans le carottier en continu pendant environ 30 minutes, soit le temps

nécessaire pour geler le substrat sur la profondeur et le diamètre souhaité. L'enfoncement du carottier et la diffusion du gel dans le substrat peuvent varier selon la granulométrie et la présence de matrice pouvant faire varier la longueur de l'échantillon récolté. Finalement, le retrait du mât cryogénique, et par conséquent de la carotte de sédiments, s'effectue à l'aide d'un treuil disposé sur le trépied. La déconnexion du mât cryogénique de l'ensemble du dispositif permet ensuite de manipuler librement l'échantillon de substrat pour l'analyse visuelle des différentes strates ainsi que pour la prise du sous-échantillonnage pour d'éventuelles analyses granulométriques en laboratoire.

Une fois retirée du lit de la frayère, la carotte est photographiée et est subdivisée en unités stratigraphiques (annexe 3, photo 18), puis les strates et les sédiments sont décrits en détail. Par la suite, pour les 50 cm supérieurs de la carotte correspondant à la zone où les saumons déposent leurs œufs, les sédiments ont été prélevés pour être ensuite entreposés dans des chaudières de plastique afin de procéder aux analyses granulométriques en laboratoire, sous la supervision d'un professionnel en sédimentologie.

Les travaux d'échantillonnage sur les frayères des PK 49 et 51 ont été réalisés respectivement le 20 et 22 août 2019. Le tableau 4-2 indique la répartition des prélèvements et les débits au PK 46 durant la période d'échantillonnage.

Tableau 4-2 Débit et nombre d'échantillons prélevés lors des travaux de carottage cryogénique aux frayères des PK 49 et PK 51

Date	Débit* (m ³ /s)	Frayères	
		PK 49	PK 51
20 août 2019	249	-	quatre carottes
22 août 2019	246	quatre carottes	-

* Débit moyen journalier provenant de la station du PK 46 de la rivière Romaine

Le tableau 4-3 présente le sommaire des extractions aux PK 49 et 51. Sur chacune des frayères, les stations ont été positionnées afin de représenter différentes conditions de vitesses et de profondeurs d'écoulement (carte 4-3).

Tableau 4-3 Sommaire des extractions au carottier cryogénique par frayère

Frayère	Activités prévues	Activités complétées	Identification des échantillons
PK 49	Prélèvement de quatre carottes cryogéniques	Oui	PK49-F01
			PK49-F02
			PK49-F03
			PK49-F04
PK 51	Prélèvement de quatre carottes cryogéniques	Oui	PK51-F01
			PK51-F02
			PK51-F03
			PK51-F04

4.1.3.2 Analyses granulométriques

Les analyses ont été effectuées selon les classes granulométriques suivantes : ≥ 128 mm, 90 à < 128 mm, 64 à < 90 mm, 45 à < 64 mm, 32 à < 45 mm, 16 à < 32 mm et < 16 mm, à l'aide d'un gabarit métallique. Toutes ces fractions granulométriques ont été pesées et compilées au terrain.

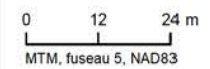


- ◆ Carotte extraite en août 2019 (carottier cryogénique)
- - - Frayère
- PK 8 Point kilométrique de rivière
- ← Sens de l'écoulement

Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

**Localisation des carottages réalisés
 en août 2019 sur la frayère du PK 49 et du PK 51
 de la rivière Romaine**

Sources :
 Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 Inventaires et cartographie : WSP
 Fichier : 0344_suc4_3_geq_1734_sp_200825.mxd



Septembre 2020

Carte 4-3



Toutes les fractions granulométriques < 16 mm de tous les échantillons ont ensuite été séchés à l'étuve, puis sous-échantillonnées pour tamisage au laboratoire de sédimentologie de WSP à Québec. Les sous-échantillons ont été tamisés selon les classes suivantes : ≥ 8 mm, 4 à < 8 mm, 2 à < 4 mm, 1 à < 2 mm, 0,5 à < 1 mm, 0,25 à < 0,5 mm, 0,125 à < 0,25 mm, 0,063 à < 0,125 mm et < 0,063 mm. Cette procédure est identique à celle utilisée lors des études antérieures sur la dynamique sédimentaire à l'échelle du nid de saumon, réalisées en 2009-2010 et 2010-2011 (GENIVAR, 2011b, 2012c) et permet ainsi la comparaison des résultats. Les classes granulométriques utilisées dans ce rapport (tableau 4-4) font référence à la classification de Wentworth (1922).

Tableau 4-4 Classification granulométrique (modifiée d'après Wentworth, 1922)

Taille (mm)	Classe granulométrique	Groupe
≥ 256	Bloc	
64 - < 256	Galet	Sédiments grossiers
16 - < 64	Caillou	
2 - < 16	Gravier	
1 - < 2	Sable très grossier	
0,500 - < 1	Sable grossier	Sédiments moyens
0,250 - < 0,500	Sable moyen	
0,125 - < 0,250	Sable fin	
0,063 - < 0,125	Sable très fin	
0,031 - < 0,063	Silt grossier	Sédiments fins
0,015 - < 0,031	Silt moyen	
0,008 - < 0,015	Silt fin	
0,002 - < 0,008	Silt très fin	
< 0,002	Argile	

Le logiciel Gradistat (Blott et Pye, 2001) a permis de calculer les paramètres granulométriques suivants pour chacun des échantillons analysés :

- D_{10} : Le diamètre des particules au 10^e percentile de la répartition statistique granulométrique (en d'autres mots, le diamètre maximal des particules les plus fines dont le groupe représente 10 % de la masse totale de l'échantillon). Ce paramètre offre des informations sur la taille minimale des particules d'un échantillon sans pour autant tenir compte des valeurs extrêmes (D_{\min} ou D_1).
- D_{50} : Le diamètre des particules au 50^e percentile de la distribution granulométrique. Il s'agit de la médiane de la répartition granulométrique de l'échantillon.
- D_{90} : Le diamètre des particules au 90^e percentile de la répartition granulométrique (en d'autres mots, le diamètre des particules au-delà duquel se retrouvent les plus grosses particules qui, cumulées, représentent 10 % de la masse totale de l'échantillon). Ce paramètre offre des informations sur la taille maximale des particules d'un échantillon sans pour autant tenir compte des valeurs extrêmes (D_{\max} ou D_{100}).

4.1.3.3 Calcul de l'indice de survie des embryons

Selon Peterson (1978), une proportion de sédiments fins (< 2 mm) inférieure à 20 % dans le substrat des frayères suggère un bon taux de survie des embryons. Cet indice a été calculé pour les échantillons collectés sur chacune des deux frayères.

4.2 Résultats et discussion

4.2.1 Débit et température de l'eau

La majeure partie des travaux de terrain réalisés sur les aires aménagées des PK 49 et 51 (inventaire des saumons juvéniles, évaluation du recouvrement du substrat, carottage) ont été menés au cours de la campagne de terrain estivale, entre le 18 et le 22 août 2019. Le deuxième inventaire de saumons juvéniles a été réalisé les 23 et 24 octobre, alors qu'une campagne de terrain complémentaire a été faite le 20 décembre, afin de compléter l'évaluation du recouvrement du substrat.

Au cours de la visite de terrain estivale, le débit journalier moyen de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) a varié légèrement, entre 220 et 250 m³/s (annexe 1). La température moyenne journalière de l'eau à la même période s'est maintenue entre 13 et 15 °C au PK 34 (station ROMA0943) (données non disponibles au PK 46 au cours de cette période). Lors du second inventaire visuel de saumons juvéniles les 23 et 24 octobre, le débit et la température de l'eau au PK 46 étaient respectivement d'environ 210 m³/s et 9,5 °C. Le 20 décembre le débit et la température de l'eau étaient respectivement de 185 m³/s et de 1,3 °C sur le même site.

4.2.2 Inventaire de saumons juvéniles dans les habitats d'élevage aménagés

Les inventaires en apnée réalisés en 2019 ont permis d'observer un total de 21 saumons juvéniles dans les aires d'élevage aménagées, soit 13 au mois d'août et 8 au mois d'octobre (tableaux 4-5 et 4-6, cartes 4-4 et 4-5). Ces faibles totaux se traduisent par des densités de juvéniles très faibles. Les juvéniles observés ont été classés comme des alevins (0+) ou encore comme des tacons d'un an (1+) ou de 2 ans (2+). Ces juvéniles seraient donc issus des fraies de 2016 à 2018, ou encore desensemencements réalisés par la SSRR entre 2017 et 2019 (annexe 13).

Tableau 4-5 Résultats de l'inventaire de juvéniles réalisé les 21 et 22 août 2019 dans les habitats d'élevage aménagés des PK 49 et PK 51

PK	Aménagement	Superficie (m ²)		Nombre de juvéniles observés (densité estimée en N/100 m ²) ¹			
		Totale	Inventoriée	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	Total
49	Aire d'élevage amont ²	5 580	5 580	3 (0,06)	1 (0,02)	6 (0,12)	10 (0,20)
49	Aire d'élevage aval	3 310	3 310	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
51	Aire d'élevage	6 300	6 300	1 (0,02)	1 (0,02)	1 (0,02)	3 (0,05)
	Total	15 190	15 190	4 (0,03)	2 (0,01)	7 (0,05)	13 (0,10)

¹ La densité totale a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %.

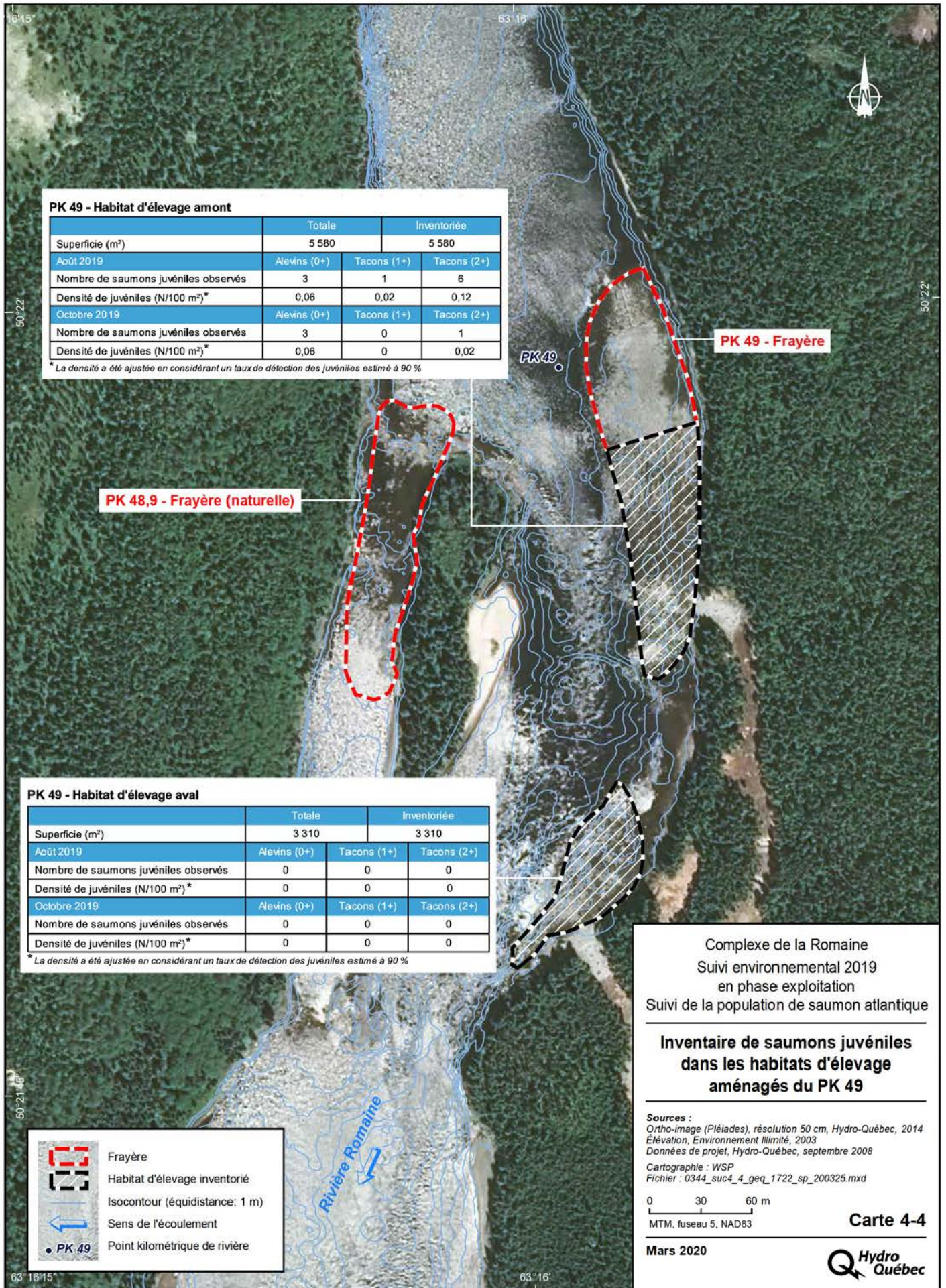
² L'inventaire des juvéniles sur le tapis d'antennes télémétriques a été réalisé le 22 août, entre 10 h 40 et 15 h 40.

Tableau 4-6 Résultats de l'inventaire de juvéniles réalisé les 23 et 24 octobre 2019 dans les habitats d'élevage aménagés des PK 49 et PK 51

PK	Aménagement	Superficie (m ²)		Nombre de juvéniles observés (densité estimée en N/100 m ²) ¹			
		Totale	Inventoriée	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	Total
49	Aire d'élevage amont ²	5 580	5 580	3 (0,06)	0 (0)	1 (0,02)	4 (0,08)
49	Aire d'élevage aval	3 310	3 310	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
51	Aire d'élevage	6 300	6 300	1 (0,02)	2 (0,04)	1 (0,02)	4 (0,07)
	Total	15 190	15 190	4 (0,03)	2 (0,01)	2 (0,01)	8 (0,06)

¹ La densité totale a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %.

² L'inventaire des juvéniles sur le tapis d'antennes télémétriques a été réalisé le 23 octobre, entre 10 h et 12 h 30.



PK 49 - Habitat d'élevage amont

	Totale		Inventoriée	
	5 580			
Superficie (m ²)	5 580			
Août 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	3	1	6	
Densité de juvéniles (N/100 m ²)*	0,06	0,02	0,12	
Octobre 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	3	0	1	
Densité de juvéniles (N/100 m ²)*	0,06	0	0,02	

* La densité a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %

PK 48,9 - Frayère (naturelle)

PK 49 - Frayère

PK 49

PK 49 - Habitat d'élevage aval

	Totale		Inventoriée	
	3 310			
Superficie (m ²)	3 310			
Août 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	0	0	0	
Densité de juvéniles (N/100 m ²)*	0	0	0	
Octobre 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	0	0	0	
Densité de juvéniles (N/100 m ²)*	0	0	0	

* La densité a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Inventaire de saumons juvéniles
dans les habitats d'élevage
aménagés du PK 49**

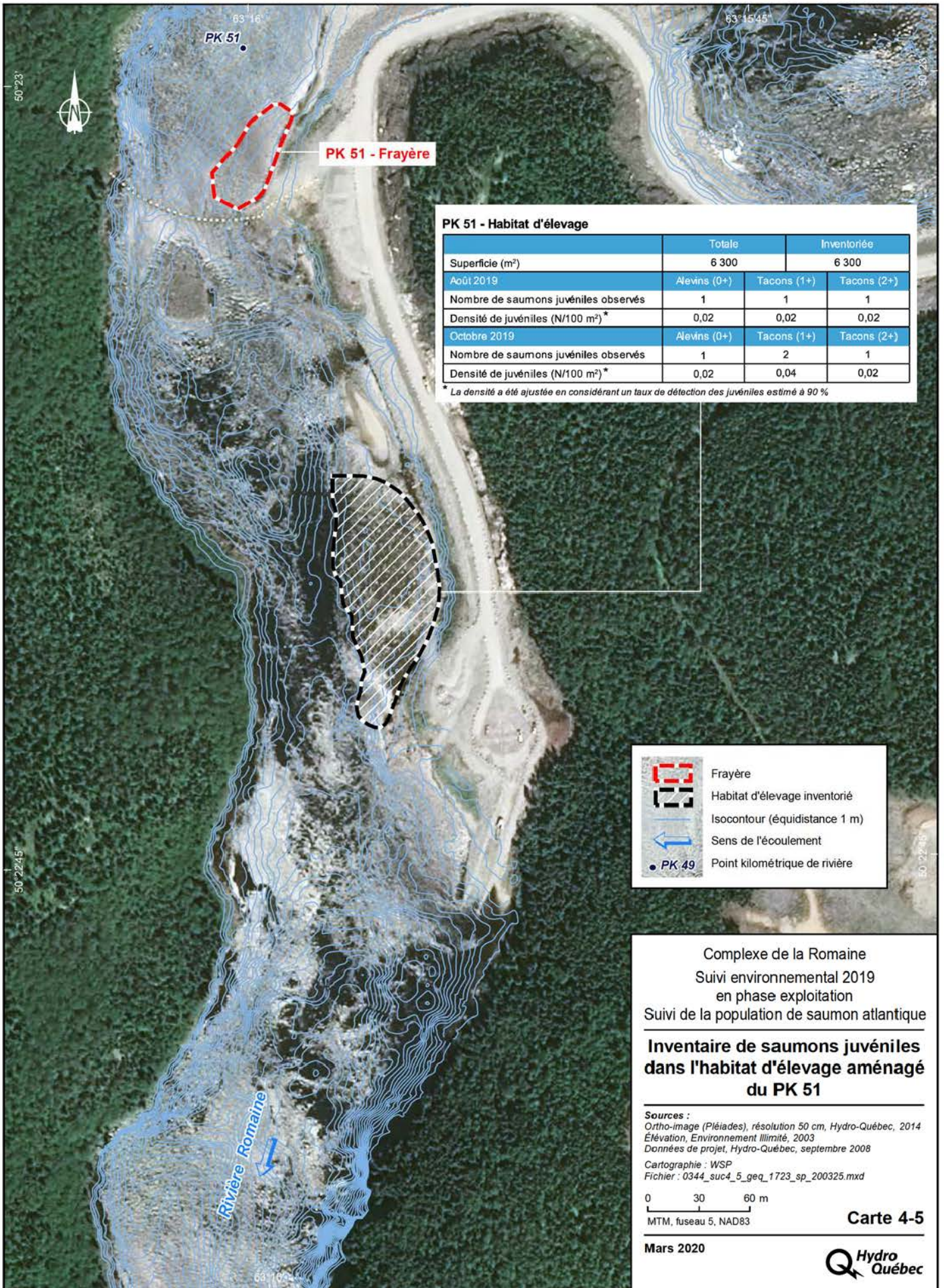
Sources :
Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
Élévation, Environnement Illimité, 2003
Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008
Cartographie : WSP
Fichier : 0344_suc4_4_geq_1722_sp_200325.mxd

0 30 60 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Carte 4-4

Mars 2020





PK 51 - Habitat d'élevage

Superficie (m ²)	Totale		Inventoriée	
	6 300			
Août 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	1	1	1	
Densité de juvéniles (N/100 m ²) *	0,02	0,02	0,02	
Octobre 2019	Alevins (0+)	Tacons (1+)	Tacons (2+)	
Nombre de saumons juvéniles observés	1	2	1	
Densité de juvéniles (N/100 m ²) *	0,02	0,04	0,02	

* La densité a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %

- Frayère
- Habitat d'élevage inventorié
- Isocontour (équidistance 1 m)
- Sens de l'écoulement
- PK 49

Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019
 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

**Inventaire de saumons juvéniles
 dans l'habitat d'élevage aménagé
 du PK 51**

Sources :
 Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 Élévation, Environnement Illimité, 2003
 Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008
 Cartographie : WSP
 Fichier : 0344_suc4_5_geq_1723_sp_200325.mxd

0 30 60 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Carte 4-5
 Mars 2020

La SSRR a procédé à desensemencements massifs d'alevins de 2017 à 2019 dans le secteur des PK 49 à 51 de la Romaine, soit 17 747 alevins ensemencés dans le secteur des PK 49 à 51 en 2017 (Uanan Experts Conseils, 2018), 1 638 alevins ensemencés dans le secteur des PK 50 et 51 en 2018 (Uanan Experts Conseils, 2019), suivi de 3 160 alevins ensemencés dans le secteur des PK 50 et 51 en 2019 (Uanan Experts Conseils, 2020). En 2019, 2 146 alevins ont également été ensemencés entre le PK 47 et le PK 49, dont une partie tout près des aménagements du PK 49.

En ce qui concerne la fraie naturelle du saumon, on a successivement dénombré un total de 89, 26 et 26 nids dans le secteur du PK 49 entre 2016 et 2018 (frayères aménagées du PK 49 et frayère naturelle du PK 48,9). À cela s'ajoutent 5, 4 et 10 nids sur la frayère aménagée du PK 51, de même que 12, 28 et 16 nids sur la frayère naturelle du PK 46,2 (voir chapitre 5).

Malgré la présence de frayères utilisées à proximité des aires d'élevage aménagées et des ensemencements massifs d'alevins par la SSRR dans ce même secteur, le nombre de juvéniles recensé dans les habitats aménagés a de nouveau été faible en 2019. Comme pour les années précédentes, il est possible que les juvéniles se soient dispersés vers l'aval et aient utilisé d'autres habitats présents dans la Romaine, entre autres en raison de la présence d'algues qui diminue l'attrait des aires aménagées pour les juvéniles. Toutefois, il est plus probable que les fortes fluctuations de débit en hiver, couplé à l'absence de couvert de glace et à la présence accrue d'algues aient pu réduire la survie des juvéniles. Il est également possible que la présence d'algues sur les habitats aménagés diminue le taux de détection des juvéniles.

Il est également probable que le taux de détection des alevins soit inférieur à celui des tacons étant donné leur petite taille et leur capacité à se dissimuler dans des abris plus restreints. De plus, en raison de leur capacité natatoire plus faible, les alevins ont davantage tendance à se disperser vers l'aval par rapport au site dont ils sont issus (nids ou ensemencements).

Comparaison entre les aires d'élevage

En 2019, 14 des 21 juvéniles observés l'ont été dans l'aire d'élevage amont du PK 49 (annexe 3, photo 19), qui correspond au site le plus utilisé depuis le début de ce suivi en 2015. Au mois d'août, on y a dénombré 10 des 13 juvéniles observés, alors que cette proportion a été de 4 sur 8 au mois d'octobre. Les densités de juvéniles demeurent néanmoins très faibles dans les habitats aménagés.

Tous les autres juvéniles dénombrés en 2019 ont été aperçus sur l'aire d'élevage du PK 51, soit 3 juvéniles en août et 4 en octobre. Aucun juvénile n'a été aperçu dans l'aire d'élevage aval du PK 49. Rappelons toutefois que, dans le contexte du suivi de l'entraînement des saumons juvéniles, 4 juvéniles munis d'un transpondeur passif ont été détectés sur ce site le 13 novembre 2019 (voir section 3.2.3). La campagne de marquage des juvéniles en 2019 a été réalisée juste après le second inventaire des saumons juvéniles, soit du 25 octobre au 3 novembre.

Comparaison entre les stades de vie

En 2019, on a dénombré environ deux fois plus de tacons que d'alevins lors de l'inventaire du mois d'août, alors que ces deux classes d'âge représentaient chacune la moitié des observations au mois d'octobre. Le faible nombre d'observations invite à une grande prudence dans

l'interprétation des résultats. Soulignons néanmoins que depuis le début de ce suivi en 2015, environ deux fois plus de tacons que d'alevins ont été observés dans l'habitat d'élevage le plus utilisé par les saumons juvéniles (PK 49 amont) (tableau 4-7). Comme mentionné précédemment, cette disparité pourrait en partie s'expliquer par un taux de détection moindre chez les alevins et par la capacité natatoire plus limitée favorisant leur dispersion vers l'aval.

Comparaison interannuelle

Depuis le début du suivi des juvéniles dans les habitats aménagés en 2015, le nombre de juvéniles observés montre une tendance à la baisse (tableaux 4-7 à 4-9), notamment sur l'habitat le plus utilisé, soit l'aire d'élevage amont du PK 49 (tableau 4-7). En 2019, le nombre d'observations est en hausse par rapport à 2018, mais demeure en deçà des trois années précédentes. Rappelons que l'estimation d'abondance des smolts en dévalaison de la sous-population du cours principal de la Romaine est également à la baisse dans les dernières années (voir chapitre 2).

Tableau 4-7 Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage amont du PK 49

Date de l'inventaire	Température de l'eau (°C) ²	Nombre de juvéniles observés (densité estimée en N/100 m ²) ¹		
		Alevins (0+)	Tacons (1+, 2+)	Total
23 septembre 2015	14,1 °C	22 (0,53)	32 (0,76)	54 (1,29)
15 août 2016	15,7 °C	2 (0,04)	25 (0,50)	27 (0,54)
18 et 19 octobre 2016	10,7 et 10,4 °C	17 (0,34)	23 (0,46)	40 (0,80)
18 au 20 octobre 2017	entre 10,4 et 10,1 °C	5 (0,10)	10 (0,20)	15 (0,30)
22 août 2018	14,4 °C	0 (0)	4 (0,08)	4 (0,08)
28 au 30 octobre 2018	entre 6,9 et 7,0 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)
21 et 22 août 2019	13,4 et 14,8 °C ³	3 (0,06)	7 (0,14)	10 (0,20)
23 et 24 octobre 2019	9,4 et 9,5 °C	3 (0,06)	1 (0,02)	4 (0,08)

¹ La densité totale a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %.

² Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) lors des journées d'inventaire.

³ Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 34 (station ROMA0943) lors des journées d'inventaire (données non disponibles au PK 46).

Tableau 4-8 Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage aval du PK 49

Date de l'inventaire	Température de l'eau (°C) ²	Nombre de juvéniles observés (densité estimée en N/100 m ²) ¹		
		Alevins (0+)	Tacons (1+, 2+)	Total
23 septembre 2015	14,1 °C	Non inventorié	Non inventorié	Non inventorié
15 août 2016	15,7 °C	0 (0)	2 (0,07)	2 (0,07)
18 et 19 octobre 2016	10,7 et 10,4 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)
18 au 20 octobre 2017	entre 10,4 et 10,1 °C	2 (0,07)	0 (0)	2 (0,07)
22 août 2018	14,4 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)
28 au 30 octobre 2018	entre 6,9 et 7,0 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)
21 et 22 août 2019	13,4 et 14,8 °C ³	0 (0)	0 (0)	0 (0)
23 et 24 octobre 2019	9,4 et 9,5 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)

¹ La densité totale a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %.

² Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) lors des journées d'inventaire.

³ Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 34 (station ROMA0943) lors des journées d'inventaire (données non disponibles au PK 46).

Tableau 4-9 Résultats de l'inventaire de juvéniles de 2015 à 2019 dans l'habitat d'élevage du PK 51

Date de l'inventaire	Température de l'eau (°C) ²	Nombre de juvéniles observés (densité estimée en N/100 m ²) ¹		
		Alevins (0+)	Tacons (1+, 2+)	Total
23 septembre 2015	14,1 °C	1 (0,02)	1 (0,02)	2 (0,04)
15 août 2016	15,7 °C	0 (0)	1 (0,02)	1 (0,02)
18 et 19 octobre 2016	10,7 et 10,4 °C	2 (0,04)	0 (0)	2 (0,04)
18 au 20 octobre 2017	entre 10,4 et 10,1 °C	2 (0,04)	0 (0)	2 (0,04)
22 août 2018	14,4 °C	0 (0)	2 (0,04)	2 (0,04)
28 au 30 octobre 2018	entre 6,9 et 7,0 °C	0 (0)	0 (0)	0 (0)
21 et 22 août 2019	13,4 et 14,8 °C ³	1 (0,02)	2 (0,04)	3 (0,05)
23 et 24 octobre 2019	9,4 et 9,5 °C	1 (0,02)	3 (0,05)	4 (0,07)

1 La densité totale a été ajustée en considérant un taux de détection des juvéniles estimé à 90 %.

2 Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) lors des journées d'inventaire.

3 Température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 34 (station ROMA0943) lors des journées d'inventaire (données non disponibles au PK 46).

Il est possible que la décroissance du nombre de juvéniles observés d'une année à l'autre s'explique par les fortes fluctuations de débit en hiver (annexe 7), l'absence de couvert de glace et la présence accrue d'algues qui peuvent réduire la survie des juvéniles (voir section 4.2.3). De plus, l'accumulation de sable depuis leur construction et la présence d'algues dans ces habitats pourraient aussi diminuer leur attrait pour les saumons juvéniles.

4.2.3 Recouvrement du substrat

4.2.3.1 Estimation du recouvrement en sédiments fins

Frayères

Pour la frayère du PK 49, le pourcentage de recouvrement en sable est inférieur ou égal à 20 % dans 19 parcelles (79 %) et supérieur à 20 % dans 5 parcelles (21 %) (carte 4-6, annexe 14). Parmi ces dernières, 3 parcelles sont recouvertes de plus de 40 % de sable dont une dépasse 60 % de recouvrement. La carte 4-6 montre que les parcelles en bordure de la frayère, tout près du thalweg, sont plus sujettes à de forts taux de recouvrement en sable. Au centre de la frayère, les pourcentages de sable sont moins importants, ils varient entre 0 et 20 %. Le sable est présent sous forme de recouvrement continu sur la presque totalité des parcelles et peut atteindre un maximum de 15 mm d'épaisseur. L'épaisseur moyenne de sable a légèrement augmenté entre 2018 et 2019 passant de 2,1 à 3,3 mm.

Sur la frayère du PK 51, le pourcentage de recouvrement est inférieur à 20 % dans toutes les parcelles (carte 4-7). Seulement sept parcelles sur neuf ont été caractérisées pour des raisons de sécurité (fortes vitesses d'écoulement). Le recouvrement se situe globalement en amont de la frayère.

Comparaison des superficies recouvertes par du sable entre 2018 et 2019

Les superficies recouvertes par du sable observées en 2019 ont été comparées avec celles de 2018 pour la frayère du PK 49. Pour chaque parcelle, les différences de recouvrement en sable observées entre 2018 et 2019 sont présentées en classes (p. ex : 0 - <10 %, 10 - <20 %, etc.). Ces classes sont comparées, entre les années, en y associant la superficie de chaque

parcelle (tableau 4-10). La comparaison n'a pas pu être faite au PK 51 en raison d'absence de données en 2018. Par contre, en comparant avec les données de 2017, il est possible d'observer une diminution du recouvrement en sable. En effet, en 2017 il y avait une parcelle recouverte de 60 à 80 % de sable et une parcelle recouverte entre 5 et 10 % alors qu'en 2019, on retrouve qu'une seule parcelle entre 5 et 10 %.

Le pourcentage moyen de recouvrement en sable sur la frayère du PK 49 a diminué de 3,7 % entre 2018 et 2019, passant de 18,1 % à 14,4 % (tableau 4-10). Ainsi, le recouvrement a diminué de 7,3 % pour la classe 10 à 20 %, de 9,9 % pour la classe 20 à 40 % et de 60,7 % pour la classe de 40 à 60 %. Notons que la classe 80 à 100 % est passée de 439 m² en 2018 à 0 m² en 2019. À l'inverse, les superficies augmentent de 25,0 % pour la classe de 0 à 10 % et de 402 m² (la superficie était à 0 m² en 2018) pour la classe 60 à 80 %.

Comme en 2018, certaines augmentations du pourcentage en sable sont situées à proximité de la rive (carte 4-6). Des augmentations du pourcentage de sable sont observées près du thalweg (section aval).

Tableau 4-10 Évolution de la superficie (m²) recouverte de sable de 2016 à 2019 sur la frayère du PK 49 et du PK 51

	Recouvrement en sable (%)						Total	Moyenne (%) ²
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100		
PK 49								
Superficie (m ²) 2016	3422	880	292	105	0	0	4699	8,6
Superficie (m ²) 2017	2142	2178	379	0	0	0	4699	13,1
Superficie (m ²) 2018	2024	1084	608	545	0	439	4699	18,1
Superficie (m ²) 2019	2530	1005	548	214	402	0	4699	14,4
Différence entre 2018 et 2019 (en m ²)	+506	-79	-60	-331	+402	-439	-	-
Différence entre 2018 et 2019 (en %)	+25,0	-7,3	-9,9	-60,7	N/D	-100	-	-3,7
PK 51								
Superficie (m ²) 2016	850	70	464	157	0	0	1541	16,3
Superficie (m ²) 2017	1281	0	0	0	131	0	1412	11,3
Superficie (m ²) 2018 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Superficie (m ²) 2019	1145	131	0	0	0	0	1276	3,4
Différence entre 2018 et 2019 (en m ²)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	-	-
Différence entre 2018 et 2019 (en %)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	-	N/D

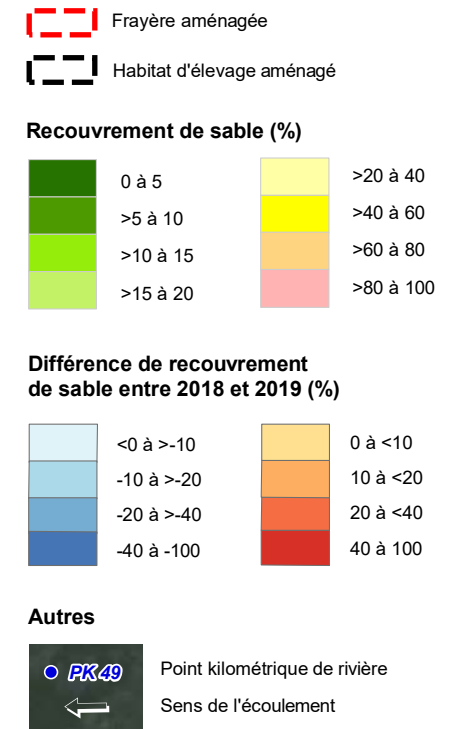
¹ Le pourcentage de recouvrement en sable n'a pu être évalué (voir texte).

² Moyenne pondérée à partir des données brutes et des superficies associées à chacune des parcelles.

Note : La superficie est calculée à partir des quadrats associés à des polygones.

Habitats d'élevage

Dix-neuf des stations (soit 80 %) de l'habitat d'élevage amont du PK 49 sont caractérisées par un substrat sans sable (recouvrement de 0 %) et 5 (20 %) montrent des pourcentages de recouvrement en sable de 5 % ou moins (carte 4-6, annexe 14). À l'habitat d'élevage aval du PK 49, le pourcentage de recouvrement du substrat en sable est ≤ 5 % dans 23 stations (85 %). Le recouvrement du substrat en sable de 4 zones situées en rive varie entre 30 et 60 %. Pour ces 4 stations, le sable comble les interstices du substrat et peut atteindre jusqu'à 100 mm d'épaisseur. Les épaisseurs ont augmenté depuis 2018 alors que le maximum était de 15 mm.



« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

Évolution du recouvrement en sable sur les habitats aménagés du PK 49 en 2018 et 2019

Sources :
Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008

Inventaires et cartographie : WSP
Fichier : 0344_suc4_6_geq_1724_sp_200825.mxd

0 13 26 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Septembre 2020

Carte 4-6



L'habitat d'élevage du PK 51 est caractérisé par un recouvrement en sable plus élevé que les autres habitats aménagés (carte 4-7). Au total, 12 stations (41 %), pour la plupart situées vers le thalweg, sont caractérisées par un recouvrement en sable ≤ 20 %. Les autres stations ont un pourcentage de recouvrement en sable > 20 %, dont 9 stations (31 %) affichant un recouvrement en sable d'au moins 50 % (annexe 14).

Les pourcentages sont plus élevés que sur les autres habitats, mais les stations présentent aussi généralement une épaisseur de sable plus grande. On observe en moyenne 35 mm de recouvrement et l'épaisseur peut aller jusqu'à 135 mm par endroit.

Tout comme par le passé, les valeurs les plus élevées sont concentrées en amont de l'habitat (carte 4-7) directement en aval de la clé en enrochement et au centre de l'habitat avec des recouvrements continus. Cette zone est dans l'axe d'un banc alluvial localisé juste en amont de l'aménagement et d'où pourrait provenir le sable (annexe 3, photo 20).

Comparaison des superficies recouvertes par du sable entre 2018 et 2019

Pour l'habitat d'élevage amont du PK 49, le pourcentage moyen de recouvrement en sable diminue de 1 % entre 2018 et 2019, passant de 1,4 % à 0,4 % (tableau 4-11). Comme en 2018, toutes les placettes de l'habitat (5 574 m²) ont un recouvrement en sable inférieur à 10 %. C'est dans la section amont et au centre de l'aménagement que la diminution de l'ensablement entre 2018 et 2019 est la plus marquée (carte 4-6).

Le pourcentage moyen de recouvrement en sable sur l'habitat d'élevage du PK 51 a diminué de 24,9 % entre 2018 et 2019, passant de 58,5 % à 33,6 % (tableau 4-11). Le recouvrement augmente de 1 345 m² (+228,7 %) pour la classe 0 à 10 % et de 808 m² (+154,8 %) pour celle de 20 à 40 %. Le recouvrement diminue pour les autres classes. Notons la diminution marquée de la classe 80-100 de 1 409 m² (-61,5 %). La diminution du pourcentage de sable est principalement localisée dans la partie aval de l'habitat (carte 4-7). Quant aux augmentations des proportions de recouvrement en sable, elles sont plutôt localisées dans la partie amont de l'habitat d'élevage. Bien que les superficies d'ensablement aient diminué par rapport à l'an dernier, on observe que les épaisseurs de sable ont augmenté. Il semble donc qu'il y ait une concentration du sable à certains endroits sur la frayère.

Bilan

Globalement, le pourcentage de recouvrement en sédiments fins a diminué entre 2018 et 2019 pour les habitats du PK 49 ayant été caractérisés. La qualité du substrat de surface de l'habitat d'élevage amont demeure excellente avec un recouvrement en sable inférieur à 5 %. La frayère montre une légère diminution de son recouvrement (passant de 18,1 % à 14,4 %) et le pourcentage est majoritairement demeuré sous les 20 %, valeur cible proposée par Peterson (1978) pour assurer une bonne survie des embryons.

En ce qui concerne les habitats du PK 51, on ne peut comparer l'état de la frayère avec les conditions de 2018, car elle n'a pas été échantillonnée en 2018. Par contre, sur l'habitat d'élevage, on note une diminution de 25 % de recouvrement en sable, principalement dans la partie aval de l'aménagement. Toutefois, même si la superficie a diminué, les épaisseurs de sable ont augmenté sur les zones recouvertes. Les prochains suivis permettront de valider si ces tendances se maintiennent.

Tableau 4-11 Évolution de la superficie (m²) recouverte de sable entre 2016 et 2019 sur l'habitat d'élevage amont du PK 49 et sur l'habitat d'élevage du PK 51

	Recouvrement en sable (%)						Total	Moyenne (%) ¹
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100		
PK 49 (amont)²								
Superficie (m ²) 2016	5373	201	0	0	0	0	5574	1,7
Superficie (m ²) 2017	5574	0	0	0	0	0	5574	3,0
Superficie (m ²) 2018	5574	0	0	0	0	0	5574	1,4
Superficie (m ²) 2019	5574	0	0	0	0	0	5574	0,4
Différence entre 2018 et 2019 (en m ²)	0	0	0	0	0	0	-	-
Différence entre 2018 et 2019 (en %)	0	0	0	0	0	0	-	-1,0
PK 51								
Superficie (m ²) 2016	1585	0	1591	1595	871	656	6298	39,2
Superficie (m ²) 2017	3811	677	1001	378	431	0	6298	18,3
Superficie (m ²) 2018	588	1149	522	834	913	2292	6298	58,5
Superficie (m ²) 2019	1933	723	1330	755	675	883	6298	33,6
Différence entre 2018 et 2019 (en m ²)	+1345	-426	+808	-80	-238	-1409	-	-
Différence entre 2018 et 2019 (en %)	+228,7	-37,1	+154,8	-9,6	-26,1	-61,5	-	-24,9

1 Moyenne pondérée à partir des données brutes et des superficies associées à chacune des parcelles.

2 L'habitat d'élevage aval n'a pas été pris en compte dans le pourcentage de recouvrement.

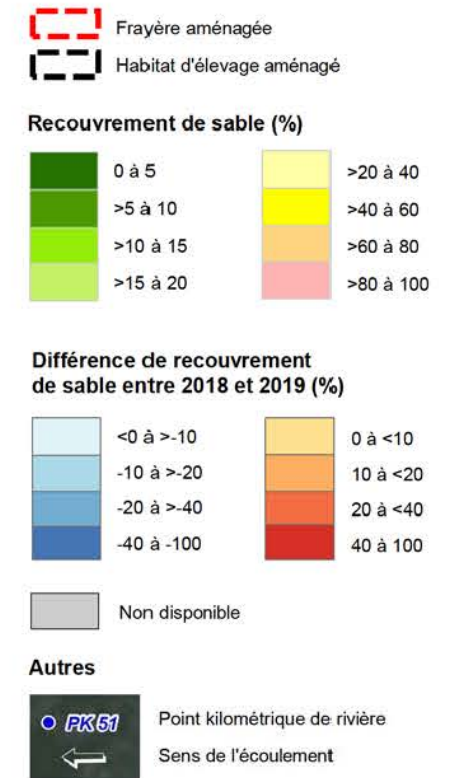
Note : La superficie est calculée à partir des quadras associés à des polygones.

4.2.3.2 Estimation du recouvrement en algues

La présence anormalement élevée d'algues dans le cours principal de la Romaine, notamment observée sur les frayères et les habitats d'élevage, semble être associée à la mise en eau des réservoirs dans la portion amont du bassin versant. Ce phénomène, peu documenté, se produirait pendant les premières années suivant la mise en eau des réservoirs nordiques et serait limité à quelques années seulement, selon ce qui a été constaté dans certains projets hydroélectriques d'Hydro-Québec (Bastien et coll., 2007).

Ainsi, la mise en eau des réservoirs de la Romaine 2 en 2014, puis de la Romaine 1 en 2015, s'est traduite par l'apparition d'une grande quantité d'algues filamenteuses en suspension dans la colonne d'eau ou encore recouvrant partiellement le lit de la rivière à certains endroits. Ces observations ont notamment été documentées lors du suivi de la dévalaison des smolts de même que lors du décompte des saumons juvéniles sur les habitats aménagés des PK 49 et 51 en 2015 et en 2016 (WSP, 2016a, 2017a). En 2017, comparativement à 2015 et 2016, ces algues étaient moins abondantes au printemps et à l'été, voire absentes à certains moments. Par contre, à l'automne 2017, elles sont réapparues, suite à la mise en eau du réservoir de la Romaine 3 qui a été complétée au printemps 2017 (WSP, 2019).

En 2018, des algues étaient à nouveau présentes sur les habitats aménagés. Toutefois, l'algue filamenteuse observée dans les années précédentes était moins abondante en 2018. À l'inverse, des plantes aquatiques de plus grande taille, notamment des bryophytes du genre *Fontinalis*, étaient davantage présentes (Aubé-Maurice et coll., 2019). C'est également ce qui a été observé lors du suivi réalisé au mois d'août 2019. Toutefois, lors de la visite du 20 décembre 2019 visant l'habitat d'élevage aval du PK 49, on a noté une plus grande quantité d'algues filamenteuses.



« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

Évolution du recouvrement en sable sur les habitats aménagés du PK 51 en 2018 et 2019

Sources :
Ortho-image (Pliades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008
Inventaires et cartographie : WSP, 2017
Fichier : 0344_suc4_7_geq_1725_sp_200825.mxd

0 22 44 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Septembre 2020

Carte 4-7



La présence accrue d'algues et de plantes aquatiques dans la Romaine est observée depuis la mise en eau des premiers réservoirs. Il s'agit selon toute vraisemblance d'un phénomène temporaire se produisant généralement au cours des premières années suivant la création de réservoirs. Le phénomène est donc susceptible de se poursuivre jusqu'après la mise en eau du réservoir de la Romaine 4 qui a débuté en juin 2020.

4.2.4 Carottage du substrat sur les frayères aménagées

L'extraction des carottes cryogéniques a permis d'obtenir un portrait de la structure verticale du substrat des frayères pour les 40 premiers centimètres depuis la surface, soit environ la profondeur maximale des nids de saumon. L'analyse visuelle des pourcentages de sable de chaque strate de chacune des carottes ainsi que l'analyse granulométrique des échantillons homogénéisés effectuée en laboratoire ont permis de déterminer la proportion de chaque classe granulométrique considérée.

4.2.4.1 Analyses visuelles

Frayère du PK 49

L'analyse visuelle de la proportion en sable pour chaque tranche de 5 cm des carottes montre que pour la frayère du PK 49, la majorité des strates ont une proportion visuelle apparente de sable inférieur à 10 % (tableau 4-12). En fait, les carottes F01 et F03 sont toutes composées de sédiment grossier alors que la carotte F02 contient du sable entre 10 et 20 % sur toute sa longueur. Pour la carotte F04 le sommet n'a pas été échantillonné en raison d'un problème technique (0-20 cm), mais le reste de la carotte est composée de sédiment entre 10 et 20 % de sable (profondeur de 20 à 30 cm) et entre 0 et 10 % de sable (profondeur > 30 cm).

Frayère du PK 51

En ce qui concerne la frayère du PK 51, la proportion apparente en sable varie peu d'une carotte à l'autre (tableau 4-12). Ainsi, seule la carotte F01, localisée en amont de la frayère (carte 4-3), contient une proportion apparente en sable entre 0 et 10 % sur les 20 premiers centimètres et une proportion visuelle de sable entre 10 et 50 % à une profondeur de 20 à 40 cm. Les carottes F02, F03 et F04 montrent une proportion apparente en sable inférieure à 10 % sur l'ensemble des strates.

4.2.4.2 Analyses granulométriques

Frayère du PK 49

Le résultat des analyses granulométriques des strates de 0 à 40 cm confondues indique que chacune des carottes de la frayère du PK 49 a un D_{50} qui correspond à la taille des cailloux, sauf l'échantillon F04 qui a un D_{50} un peu plus grossier correspondant aux galets (tableau 4-13). Toutes les carottes ont des D_{90} correspondant aux galets, alors que les valeurs du D_{10} correspondent aux cailloux (tableau 4-13). La proportion de sédiments < 2 mm, inférieure à 1 % démontre également le peu de sédiments fins présent à toutes les stations (tableau 4-14).

Tableau 4-12 Analyse visuelle de la proportion en sable à différentes profondeurs dans le substrat de la frayère aménagée du PK 49 et PK 51 de la rivière Romaine en 2019

Profondeur des strates depuis la surface du substrat (cm)	PK 49				PK 51			
	F01	F02	F03	F04	F01	F02	F03	F04
0-5	D	C	D	-	D	D	D	D
5-10	D	C	D	-	D	D	D	D
10-15	D	C	D	-	D	D	D	D
15-20	D	C	D	-	D	D	D	D
20-25	D	C	D	C	B	D	D	D
25-30	D	C	D	C	B	D	D	D
30-35	D	C	D	D	C	D	D	D
35-40	D	C	D	D	C	D	D	D
Profondeur atteinte (cm)	60	58	58	54	55	56	54	60

- A** : Substrat grossier avec matrice sableuse : graviers, galets et blocs non jointifs et proportion apparente de **sable > 50 %** ;
B : Substrat grossier avec matrice sableuse : graviers, galets et blocs non jointifs et proportion apparente de **sable > 20 et ≤ 50 %** ;
C : Substrat grossier avec matrice de gravier : galets et blocs non jointifs et proportion apparente de **sable ≥ 10 et ≤ 20 %** ;
D : Substrat grossier jointif : graviers, galets et blocs jointifs et sable apparent absents ou en très faible proportion, soit < 10 %.

Tableau 4-13 Valeurs du D10, D50 et D90 des échantillons prélevés à la frayère du PK 49 et du PK 51 de la rivière Romaine (toutes strates confondues) et classes granulométriques associées selon l'échelle de Wentworth (1922) en 2019

Frayère	Station	D10		D50		D90	
		Taille (mm)	Classe granulométrique	Taille (mm)	Classe granulométrique	Taille (mm)	Classe granulométrique
PK 49	F01	18,83	Caillou	52,89	Caillou	110,18	Galet
	F02	17,83	Caillou	47,26	Caillou	229,71	Galet
	F03	22,33	Caillou	51,99	Caillou	103,80	Galet
	F04	18,52	Caillou	66,16	Galet	97,37	Galet
PK 51	F01	0,66	Sable grossier	41,09	Caillou	108,34	Galet
	F02	8,38	Gravier	53,65	Caillou	144,4	Galet
	F03	16,23	Caillou	58,51	Caillou	170,57	Galet
	F04	8,77	Gravier	56,50	Caillou	102,25	Galet

Tableau 4-14 Proportion des sédiments fins (%) < 2 mm des échantillons prélevés sur la frayère du PK 49 et du PK 51 de la rivière Romaine (toutes strates confondues) en 2019

Frayerie	Station	< 2 mm (%)
PK 49	F01	0,03
	F02	0,61
	F03	0,17
	F04	0,22
PK 51	F01	13,06
	F02	8,11
	F03	3,10
	F04	5,49

Frayerie du PK 51

Le substrat des échantillons de cette frayère, toutes strates confondues, est un peu plus hétérogène que ceux de la frayère du PK 49 en ce qui concerne les D_{10} (tableau 4-13). Par exemple, les D_{10} varient du sable grossier au caillou comparativement au seul caillou pour la frayère du PK 49 (tableau 4-13). Les valeurs des D_{50} et D_{90} sont les mêmes pour toutes les carottes, soit respectivement caillou et galet. Enfin, les proportions de sable (< 2 mm) sont globalement plus élevées (3-13 %) que sur la frayère du PK 49 (< 1 %; tableau 4-14), mais se situent toutes en deçà du seuil de 20 % de l'indice de Peterson (1978).

Bilan

Les frayères aménagées ont été construites avec un mélange sélectionné de gravier, de cailloux et de galets (tamisé et nettoyé), composé de 25 % de gravier ($\varnothing = 4$ à 30 mm), de 40 % de caillou ($\varnothing = 30$ à 60 mm) et de 35 % de galets ($\varnothing =$ de 60 à 200 mm) (Hydro-Québec, 2014). Les résultats des analyses granulométriques des carottes extraites en août 2019 dans les frayères aménagées au PK 49 et au PK 51 de la rivière Romaine peuvent être comparés avec le substrat de départ.

Au PK 49, encore une fois cette année, les D_{10} grossiers (caillou) et les faibles valeurs du tableau 4-14 démontrent la faible proportion de sédiments fins dans le substrat actuel de cette frayère aménagée. Ainsi, il y a eu peu de changements dans la composition granulométrique de la frayère depuis sa mise en place. Les résultats sont similaires à ceux des années précédentes. De plus, l'analyse visuelle du substrat de surface présenté à la section 4.2.3 démontre globalement une bonne qualité du substrat de surface et la présence de plusieurs nids aux environs des échantillonnages réalisés.

Au PK 51, le substrat de cette frayère aménagée a changé localement depuis sa mise en place. Le D_{10} plus faible de l'échantillon F01, qui correspond aux sables grossiers, ainsi que la forte valeur du pourcentage de sédiments fins (< 2 mm) du tableau 4-14 démontrent qu'il y a des sédiments inférieurs à ceux utilisés lors de la construction qui ont pu s'infiltrer dans le substrat de ce secteur où les vitesses sont plus faibles et propices au dépôt de sédiments fins (près de la clé en enrochement). D'ailleurs, c'est dans ce secteur qu'un pourcentage supérieur de sable a été noté lors de l'analyse visuelle du substrat (voir section 4.2.3). Cependant, il est très localisé sur la frayère, car le D_{10} des autres carottes est supérieur à 8 mm.

Pour les deux frayères aménagées, les proportions en sédiments < 2 mm se situent toutes en deçà du seuil de 20 % de l'indice de Peterson (1978), ce qui est considéré comme valeur cible pour assurer un bon taux de survie des embryons. Les résultats sont similaires aux années précédentes.

5. Décompte de nids de fraie

Les objectifs spécifiques de cette activité sont de :

- suivre les activités de fraie du saumon dans la Romaine;
- dénombrer les nids de saumon sur les frayères de la Romaine (naturelles et aménagées) et dans le bassin de la Puyjalon;
- vérifier la franchissabilité des chutes à Charlie.

5.1 Matériel et méthode

5.1.1 Déroulement de la fraie

L'année 2019 correspond à la cinquième année complète où la population de saumon du cours principal de la Romaine est soumise à un régime thermique de l'eau modifié par la mise en eau des réservoirs et l'exploitation du complexe hydroélectrique. La présence des réservoirs de la Romaine 1, de la Romaine 2 et de la Romaine 3 dans le bassin versant favorise un refroidissement automnal plus tardif de l'eau de la rivière en aval des installations hydroélectriques, où se trouvent les frayères utilisées par le saumon. Puisque ce paramètre a une influence sur le moment de la fraie, il fait l'objet d'un suivi, que ce soit par des mesures prises sur le terrain à l'aide d'un thermomètre de surface, ou encore à l'aide des données enregistrées aux stations opérées par Hydro-Québec et situées notamment au PK 46 de la Romaine (station ROMA0944) et au PK 2 de la rivière Puyjalon (station RPUY0680).

Préalablement au décompte des nids, des frayères du cours principal de la Romaine font l'objet d'un suivi afin de documenter le déroulement de la fraie pour s'assurer que le décompte de nids soit réalisé une fois la fraie complétée. Ainsi, les frayères du PK 46,2 (frayère naturelle) et du PK 49 (frayère aménagée) ont chacune été visitées à quatre reprises entre le 23 octobre et le 6 novembre (annexe 3, photos 21 et 22). Lors des visites, la température de l'eau a été mesurée avec un thermomètre de surface et des plongées en apnée ont permis de vérifier les activités des saumons sur les frayères et de documenter ainsi la chronologie de la fraie. La présence et le comportement de géniteurs ont été notés. Les nids et les balayages ont également été régulièrement dénombrés. Les balayages correspondent à des sites remaniés par les saumons et ont une forme et une taille variable. Ils sont moins profonds que les nids et, contrairement à ceux-ci, ils ne sont pas caractérisés par un substrat propre dépourvu de matières fines et de sable dans les interstices entre les matériaux granulaires plus grossiers.

5.1.2 Décompte de nids de fraie

Rivière Romaine

Les informations amassées pour documenter le déroulement de la fraie visent à s'assurer que le décompte de nids soit réalisé après la fin des activités de fraie du saumon. Néanmoins, lors des premières journées du décompte de nids dans le cours principal de la Romaine, une attention particulière a à nouveau été accordée aux indices permettant de confirmer que la fraie était bien terminée. Puisque le débit de la Romaine est désormais régularisé, le décompte se fait dans des conditions de débit adéquates et prévisibles. Le dénombrement des nids du cours principal de la Romaine a été réalisé entre le 6 et le 11 novembre.

Sur le tronçon du cours principal accessible au saumon, l'ensemble des sites potentiels de fraie a été inspecté en apnée lors des inventaires de 1999 (Fontaine et coll., 2000), de 2001 (GENIVAR, 2002) et de 2003 (Belles-Isles et coll., 2004). Le bilan de ces inventaires indique qu'il y avait seulement quatre frayères utilisées sur le cours principal de la Romaine en conditions naturelles, soit aux PK 34,5, 46,2, 48,9 et 51,4. Cette dernière frayère était toutefois rarement utilisée par le saumon et n'est plus utilisable depuis 2014 en raison de la construction de la centrale de la Romaine-1.

Les deux principales frayères naturelles de la Romaine, utilisées systématiquement par le saumon à chacune des années d'inventaires depuis 2010, sont celles des PK 34,5 et 46,2. Sur la base de cette connaissance de la rivière, les frayères naturelles des PK 34,5, 46,2 et 48,9 ont été inspectées à l'automne 2019, de même que les deux frayères aménagées par Hydro-Québec au printemps 2014 aux environs des PK 49 et 51.

En 2019, le décompte des nids s'est effectué en plongée non autonome sur les frayères des PK 34,5, 46,2 et 49 du cours principal de la Romaine (annexe 3, photo 23). Un seul plongeur, attaché à l'embarcation grâce à une ligne de vie, effectuait les décomptes par balayage visuel transversal de manière à couvrir le plus large secteur possible. Lorsque la frayère n'était pas entièrement couverte en largeur, le bateau était repositionné et le plongeur recommençait le même balayage sur un transect adjacent. Un caillou coloré permettait de ne pas faire de recoupement entre les transects pour la frayère du PK 34,5, plus profonde. Pour les frayères des PK 48,9 et 51, le décompte a été effectué en apnée en raison de la profondeur d'eau assez faible pour assurer une bonne visibilité des nids. Tous les nids identifiés sur le cours principal de la Romaine ont été positionnés à l'aide de points DGPS, sauf pour la frayère du PK 51. Dans ce cas, les nids ont plutôt été positionnés à l'aide d'un croquis.

Rivière Puyjalon et ses tributaires

Dans l'ensemble des portions des rivières Puyjalon, Bat-le-Diable et Allard accessibles au saumon, l'inventaire des nids de fraie est effectué de façon systématique sans se limiter aux frayères potentielles identifiées lors des années antérieures. La rivière Puyjalon et ses tributaires ne sont pas affectés par les installations hydroélectriques de la Romaine, mais le refroidissement automnal de la rivière Puyjalon est néanmoins retardé par la présence du lac Puyjalon en amont, contrairement aux rivières Bat-le-Diable et Allard. Le moment du décompte dans les tributaires est déterminé en se basant sur les observations des années antérieures et sur la température de l'eau. Les conditions de débit doivent également être considérées afin que le décompte soit réalisé dans des conditions propices et sécuritaires. Les travaux de terrain dans les rivières Puyjalon, Bat-le-Diable et Allard ont été réalisés entre le 4 et le 14 novembre.

Dans les trois tributaires accessibles au saumon, une équipe de trois apnéistes a inspecté le lit des rivières en se laissant dériver côte à côte, parallèlement à la rive et en balayant visuellement toute la largeur du cours d'eau. Cette méthode est la même depuis le début de cette activité en 2010. Dans les secteurs à courant plus fort, les plongeurs s'attachaient à des lignes de vie reliées à des coéquipiers en rive et effectuaient des balayages transversaux.

Identification des nids et observations

Lors de chacune des journées d'inventaire, la température de l'eau a été prise avec un thermomètre de surface. De plus, toutes les observations pertinentes pouvant confirmer que la fraie était terminée ont été notées, notamment le comportement des saumons. Les nids de fraie du saumon ont été repérés de la même manière que par le passé, à l'aide des indices suivants :

- dépression de forme oblongue orientée dans le sens de l'écoulement;
- dépression de 0,5 à 1,5 m de longueur et de 0,3 à 1 m de largeur;
- substrat dont la teinte est plus pâle que le matériau granulaire environnant et qui est dépourvu de matières fines ou de sable dans les interstices entre les matériaux granulaires plus grossiers, indiquant qu'il a été récemment nettoyé et remanié (annexe 3, photo 24).

Conformément au permis scientifique, une partie des nids a été fouillée délicatement afin d'y vérifier la présence d'œufs de saumon. Sur le cours principal de la Romaine, la proportion de nids fouillés a été légèrement supérieure à un nid sur trois en 2019. Lorsque la fouille habituelle ne permettait pas de voir d'œufs, une fouille approfondie était réalisée afin de vérifier la présence d'œufs enfouis plus profondément dans le substrat de la frayère. Lors de la fouille de certains nids dans le cours principal de la Romaine, des œufs ont également été amassés et acheminés vers la pisciculture de la SSRR, en vue de réaliser en 2020 des analyses génétiques sur les œufs ayant atteint le stade oeillé ou sur les alevins émergents. Aucun nid n'a été fouillé dans la Puyjalon et ses tributaires en raison des conditions de fouille difficiles (positionnement des nids dans la veine d'eau principale de la rivière, profondeur, force du courant).

Les apnéistes affectés au dénombrement des nids de saumon sont des techniciens de la faune expérimentés dans l'identification de nids de saumon sur la Romaine et ses tributaires, ce qui assure une constance méthodologique d'une année à l'autre. Le décompte de nids est reconnu comme un bon indicateur permettant de déceler les tendances dans l'abondance du stock de saumons reproducteurs. Toutefois, il comporte certains biais causés, par exemple, par la présence de nids sans œufs ou la variabilité du nombre d'œufs par nid.

5.2 Résultats et discussion

5.2.1 Déroulement de la fraie

5.2.1.1 Débit et température de l'eau

Pendant le mois d'octobre, la température journalière moyenne de l'eau de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) a connu une baisse relativement constante passant de 12,1 °C le 1^{er} octobre à 8,5 °C le 31 octobre (figure 5-1), pour une moyenne mensuelle de 10,4 °C. La température de l'eau est passée sous la barre des 10 °C le 21 octobre. La baisse s'est ensuite accentuée vers la deuxième semaine de novembre, pour se stabiliser aux environs de 2,0 °C vers la fin du mois.

Depuis le remplissage du premier réservoir (Romaine 2) qui a débuté en mai 2014 (annexe 1, figure A1-1), la température automnale de l'eau de la Romaine dans le tronçon accessible au saumon subit un refroidissement plus tardif en raison de l'inertie thermique des réservoirs, et ce, malgré des températures maximales estivales de l'eau nettement plus basses qu'en conditions naturelles. La température moyenne de l'eau au PK 46 de la Romaine pendant la période

de fraie du saumon (16 octobre - 15 novembre) est ainsi plus chaude depuis 2014 (moyenne de 7,7 °C variant entre 7,1 et 8,2 °C selon les années) qu'elle ne l'était avant la mise en eau du premier réservoir (moyenne de 3,7 °C variant entre 1,6 et 4,8 °C selon les années pour la période 2009-2013; figure 5-1).

Le débit de la Romaine est désormais régularisé et ses fluctuations dépendent des opérations à la centrale de la Romaine-1. Pendant la reproduction du saumon (16 octobre au 15 novembre conformément aux autorisations gouvernementales), le débit turbiné doit être maintenu à 200 m³/s (sauf en cas de forte crue) pendant toute la période ou jusqu'à ce que la fin de la fraie soit confirmée par les observations faites au terrain. Ainsi, le débit de la Romaine au PK 46 est presque toujours demeuré entre 200 et 250 m³/s pendant cette période, avant de s'abaisser juste au-dessus de 150 m³/s vers la mi-novembre (figure 5-1).

Dans la rivière Puyjalon, la température de l'eau enregistrée à la station RPUY0680 est passée sous les 10 °C dès le 2 octobre. Après s'être abaissée davantage, la température de l'eau a ensuite augmenté à nouveau jusqu'à 9,8 °C le 15 octobre. Après cette date, la température de l'eau s'est abaissée de façon plus régulière jusqu'à la mi-novembre, où elle s'est stabilisée entre 1 et 2 °C. Quant au débit moyen journalier de la rivière Puyjalon, il s'est généralement maintenu entre 12 et 20 m³/s durant la première moitié d'octobre, avant de connaître quelques pointes successives dépassant 30 m³/s. La principale pointe de débit a été atteinte le 2 novembre avec un débit de 87 m³/s. Le débit s'est ensuite abaissé graduellement, mais est demeuré au-dessus de 30 m³/s jusqu'à la mi-novembre.

5.2.1.2 Observation des activités de reproduction du saumon

Les principales observations colligées lors des visites de terrain réalisées pendant le suivi du déroulement de la fraie sur les frayères des PK 46,2 et 49 sont résumées au tableau 5-1. La frayère naturelle du PK 48,9, généralement peu utilisée par le saumon, a également été visitée le 24 octobre.

Tableau 5-1 Température de l'eau et principales observations sur les frayères du cours principal de la Romaine pendant le déroulement de la fraie

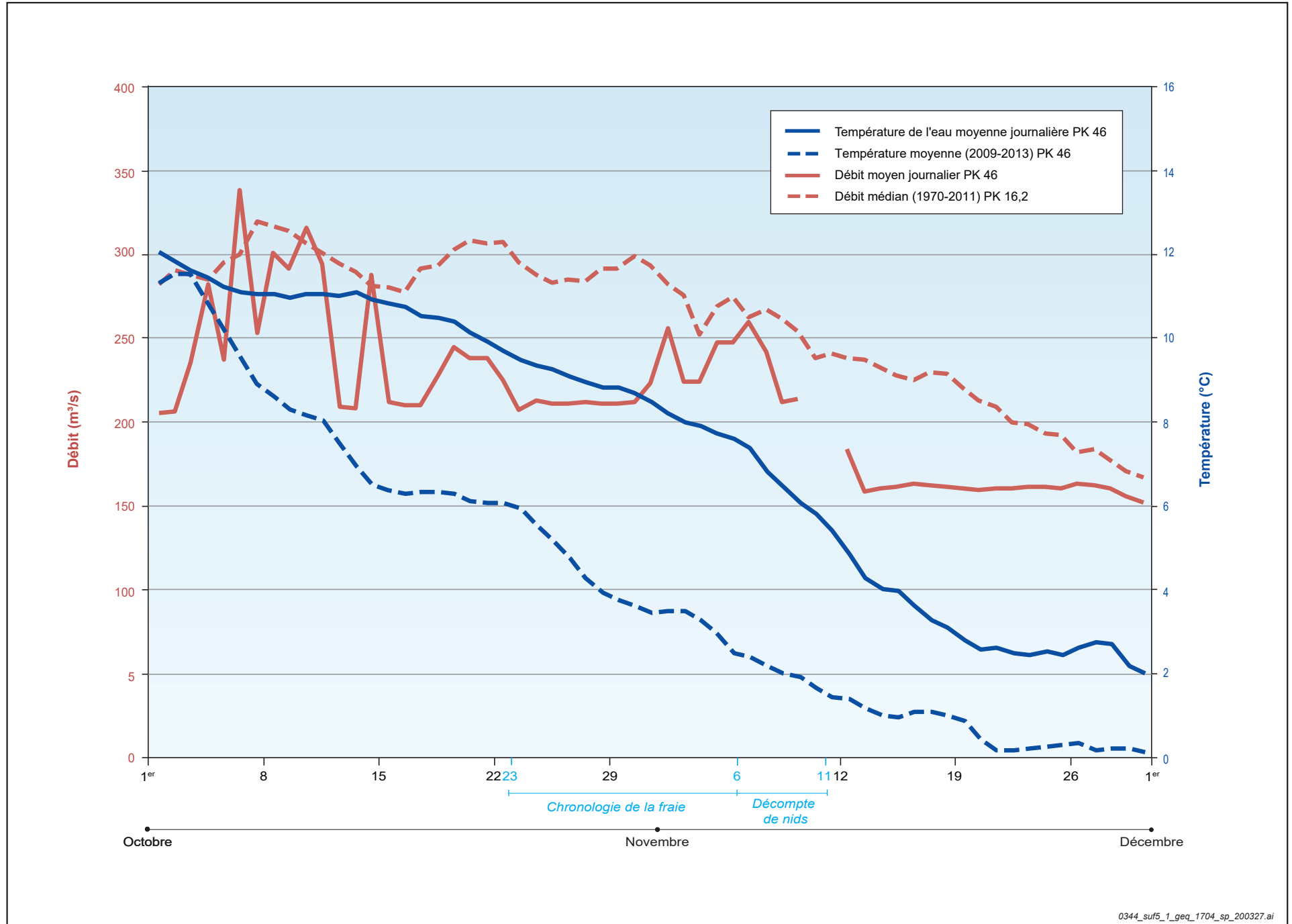
Date	Température de l'eau (°C)		Principales observations	
	PK 46 (ROMA0944)	<i>In situ</i>	PK 46,2 (naturelle)	PK 49 (aménagée)
23 octobre	9,5	9,4	5 balayages	-
24 octobre	9,4	9,4	-	Aucune activité ¹
29 octobre	8,8	9,4	1 nid, 9 balayages, 1 tacon	9 balayages, 1 adulte, 2 tacons
4 novembre	7,8	7,9	1 nid ²	6 nids, 1 tacon, œufs aperçus
6 novembre	7,4	7,7	2 nids, 3 balayages ²	5 nids, 2 balayages

¹ Deux tacons observés sur la frayère naturelle du PK 48,9.

² Mauvaises conditions de visibilité.

Sur la frayère du PK 46,2, les premiers signes que la fraie était amorcée ont été observés dès le 23 octobre, avec 5 balayages recensés (tableau 5-1). La présence d'un nid et de 9 balayages a ensuite été notée lors de la visite suivante, le 29 octobre, témoignant de la progression des activités de fraie. Lors des deux visites subséquentes, les 4 et 6 novembre, la visibilité dans l'eau n'était pas optimale, mais les indices de fraie avaient peu évolué avec seulement 2 nids observés le 6 novembre. Aucun saumon géniteur n'a été observé sur cette frayère lors de ces visites.

Figure 5-1 Températures et débits (PK 46) moyens journaliers de la Romaine en octobre et en novembre 2019



0344_suf5_1_geq_1704_sp_200327.ai

Dans le cas de la frayère du PK 49, aucun signe que la fraie était amorcée n'a été noté lors de la première visite le 24 octobre (tableau 5-1). Les activités de fraie du saumon étaient toutefois amorcées lors de la seconde visite, puisque 9 balayages et un saumon adulte ont été observés sur ce site le 29 octobre. Quelques nids ont ensuite été aperçus au cours des visites des 4 et 6 novembre.

Le décompte de nids a débuté les 4 et 5 novembre dans le bassin de la Puyjalon, avec les rivières Allard et Bat-le-Diable. Aucun saumon n'a été aperçu, malgré la présence de quelques nids. Ces observations couplées aux températures froides mesurées en surface dans ces cours d'eau (5,2 et 4,8 °C respectivement) indiquent que la fraie était terminée. Dans la Puyjalon, où la fraie du saumon est généralement plus tardive d'après les observations colligées au cours des dernières années, le décompte de nids avait été planifié les 13 et 14 novembre. Néanmoins, la température de l'eau dans la portion amont de cette rivière, où se concentrent généralement les nids de saumons, a été prise avec un thermomètre de surface le 5 novembre. La température de l'eau dans ce secteur était alors de 7,9 °C. Rappelons qu'à l'instar de la Romaine, le refroidissement automnal de la rivière Puyjalon est ralenti par la présence d'un important volume d'eau en amont (le lac Puyjalon). Ce décalage se fait cependant moins sentir dans la portion aval de la rivière. En effet, à la même date, la température moyenne journalière de l'eau mesurée à la station RPUY0680 localisée au PK 2 de la Puyjalon était plutôt de 5,2 °C. Au moment du décompte de nids les 13 et 14 novembre, la température de l'eau mesurée *in situ* dans le secteur amont de la Puyjalon s'était abaissée à 2,6 et 4,2 °C respectivement (1,4 et 1,0 °C à la station RPUY0680). Deux saumons adultes ont été aperçus le 13 novembre, mais leur comportement d'évitement, la température de l'eau et la date tardive indiquent que la fraie était alors terminée.

Lors des suivis réalisés entre 2010 et 2015, la fraie du saumon dans la Romaine était généralement complétée ou sur le point de l'être durant la dernière semaine d'octobre (tableau 5-2), et ce, malgré un refroidissement plus tardif de l'eau à partir de l'automne 2014. De 2016 à 2019, les observations suggèrent que la fraie du saumon est survenue un peu plus tard, soit au cours de la première semaine de novembre. Soulignons toutefois qu'un léger décalage dans le moment de la fraie a aussi été observé sur le cours principal de la rivière Puyjalon (environ une semaine), bien qu'elle ne soit pas affectée par les installations hydroélectriques. À cet effet, il faut souligner que l'estimation du nombre de smolts produits par nid de fraie pour la cohorte d'œufs de 2015 (voir section 2.2.4.4, tableau 2-10) indique que le dénombrement des nids dans la Puyjalon en 2015 a probablement été fait avant que la fraie soit complétée. Le décompte de nids avait alors été réalisé les 27 et 28 octobre. Or, lors des trois années suivantes, les décomptes de nids dans la Puyjalon avaient dû être entièrement refaits dans la deuxième semaine de novembre après qu'une première tentative à la fin octobre ou au début novembre eut révélé que la fraie n'était pas terminée. Ces observations jumelées aux résultats de la dévalaison des smolts en 2019 indiquent que la fraie dans la Puyjalon n'était vraisemblablement pas complétée non plus à la fin d'octobre 2015.

Comme au cours des dernières années, des activités de fraie ont été observées aux mêmes dates qu'en conditions naturelles, soit dans la dernière semaine d'octobre, alors que les températures de l'eau étaient relativement élevées (tableau 5-1). Rappelons que les suivis réalisés entre 1999 et 2010 dans la rivière Betsiamites, où le débit est régulé, indiquent que la fraie est retardée d'environ un mois par rapport à celle se déroulant dans la rivière Boucher, un tributaire non influencé par les équipements hydroélectriques du complexe Bersimis (Richard Verdon, comm. pers., 2010 dans WSP, 2017a).

Tableau 5-2 Moment du décompte des nids, température de l'eau et état d'avancement de la fraie, entre 2010 et 2019

Année ¹	Cours principal de la Romaine			Bassin de la Puyjalon		
	Moment du décompte	Température (°C) ²	Fraie terminée	Moment du décompte	Température (°C) ²	Fraie terminée
2010	3 - 19 nov.	0,9 - 4,3	Oui	3 - 30 nov.	1,3 - 5,7	Oui
2011	24 - 28 oct.	5,8 - 7,7	Oui	29 oct. - 1 ^{er} nov.	5,1 - 7,7	Oui
2012	30 - 31 oct.	5,5 - 6,1	Oui	2 - 6 nov.	7,8 - 8,6	Oui
2013	22 - 25 oct.	6,0 - 7,4	Presque ³	25 - 27 oct.	5,9 - 9,0	Oui
2014	28 - 31 oct.	8,2 - 8,5	Oui	3 - 6 nov.	5,5 - 7,7	Oui
2015	31 oct. - 12 nov.	5,2 - 6,9	Oui	26 - 28 oct.	2,7 - 5,9	Non ⁴
2016	5 - 16 nov.	5,5 - 7,0	Oui	28 oct. - 14 nov.	5,9 - 7,0	Oui ⁵
2017	7 - 16 nov.	4,4 - 6,9	Oui	31 oct. - 15 nov.	2,4 - 8,3	Oui ⁶
2018	8 - 16 nov.	3,9 - 6,2	Oui	4 - 12 nov.	2,2 - 3,8	Oui ⁷
2019	6 - 11 nov.	5,4 - 7,4	Oui	4 - 14 nov.	1,0 - 5,2	Oui

- 1 Données antérieures à 2019 disponibles dans GENIVAR (2011a, 2012a, 2013) puis WSP (2014a, 2015, 2016a, 2017a, 2019) pour les années 2010 à 2017, puis dans Aubé-Maurice et coll. (2019) pour l'année 2018.
- 2 Données provenant de la station ROMA0944 (PK 46) d'Hydro-Québec pour le cours principal et de mesures *in situ* pour les tributaires jusqu'en 2016. À partir de 2017, les données de la station RPUY0680 sont utilisées pour la rivière Puyjalon. Pour une date équivalente, les températures plus basses sont généralement mesurées dans la rivière Bat-le-Diable, alors que les températures plus élevées sont associées à la rivière Puyjalon en raison de l'influence du lac Puyjalon qui ralentit le refroidissement automnal de l'eau.
- 3 Le comportement des saumons observés sur la frayère du PK 34,5 suggère que les activités de fraie y étaient très avancées, mais peut-être pas complétées.
- 4 Le décompte de nids dans la Puyjalon a vraisemblablement été fait avant que la fraie soit complétée en 2015.
- 5 Les observations indiquent que la fraie était terminée le 27 octobre dans les rivières Allard et Bat-le-Diable, mais qu'elle se serait terminée dans la deuxième semaine de novembre dans la Puyjalon. Le décompte de nids dans la Puyjalon a donc été refait les 8 et 14 novembre.
- 6 Les observations indiquent que la fraie était terminée le 31 octobre et le 1er novembre dans les rivières Allard et Bat-le-Diable, mais qu'elle se serait terminée quelques jours plus tard dans la Puyjalon. Le décompte de nids dans la Puyjalon a donc été refait les 14 et 15 novembre.
- 7 Les observations indiquent que la fraie était terminée les 4 et 5 novembre dans les rivières Allard et Bat-le-Diable, mais qu'elle se serait terminée quelques jours plus tard dans la Puyjalon. Le décompte de nids dans la Puyjalon a donc été refait le 12 novembre.

5.2.2 Décompte de nids de fraie

5.2.2.1 Nombre de nids de fraie en 2019

L'inventaire de l'automne 2019 a permis de dénombrier un total de 144 nids de saumon dans le bassin versant de la Romaine, dont 87 ont été recensés dans le cours principal de la Romaine, 52 dans la Puyjalon, 3 dans la Allard et 2 dans la Bat-le-Diable (tableau 5-3). La répartition des nids dans le bassin de la Romaine est illustrée sur la carte 5-1 alors que le tableau de l'annexe 15 présente le détail des données colligé lors du décompte de nids.

Rivière Romaine

La localisation des nids recensés sur les quatre principales frayères du cours principal de la Romaine est détaillée sur les cartes de l'annexe 16. La localisation des saumons géniteurs observés y est également précisée.

Tableau 5-3 Nombre de nids de fraie et température de l'eau sur les frayères à saumon du bassin versant de la Romaine en 2019

Rivière	Date du décompte	Température de l'eau (°C) ¹	Nombre de nids	Nombre de saumons adultes observés
Romaine (frayère naturelle)				
PK 34,5	10 et 11 novembre	5,8 et 5,4	56	2
PK 46,2	7 novembre	6,8	2	0
PK 48,9	9 novembre	6,1	0	0
Romaine (frayère aménagée)				
PK 49	8 et 9 novembre	6,5 et 6,1	13	1
PK 51	6 novembre	7,4	16	1
Tributaires				
Puyjalon	13 et 14 novembre	1,4 et 1,0	52	2
Bat-le-Diable	5 novembre	4,8	2	0
Allard	4 et 5 novembre	5,2 ²	3	0
<i>Sous-total - Romaine</i>	-	-	87	4
<i>Sous-total - Tributaires</i>	-	-	57	2
Total	-	-	144	6

1 Données provenant de la ROMA0944 (PK 46) pour le cours principal, de la station RPUY0680 pour la rivière Puyjalon et mesures *in situ* pour les deux autres tributaires.

2 Température mesurée *in situ* le 5 novembre.

La frayère du PK 34,5, la plus utilisée en conditions naturelles, a été inventoriée entre les 10 et 11 novembre, alors que la température de l'eau mesurée à la station ROMA0944 était respectivement de 5,8 et 5,4 °C. Un total de 56 nids y a été dénombré et deux saumons adultes ont été aperçus pendant le décompte. Ces observations ont cependant été réalisées lors de deux journées différentes et pourraient donc correspondre au même spécimen. La température de l'eau, l'absence de nouveau nid entre la première et la deuxième journée de décompte, de même que le comportement des saumons suggèrent que la fraie était terminée. Les géniteurs de saumon ont tendance à se coller aux plongeurs en période de fraie et à s'en éloigner lorsque la reproduction est terminée. Or, c'est plutôt ce second comportement qui a été observé.

La frayère du PK 46,2, considérée comme la deuxième en importance sur le cours principal de la Romaine en conditions naturelles, a été inventoriée le 7 novembre alors que la température de l'eau mesurée à la station ROMA0944 était de 6,8 °C. Seulement deux nids de fraie ont été recensés en 2019 sur cette frayère, venant confirmer les observations faites la veille en apnée (tableau 5-1). L'absence de saumon adulte et les observations colligées pendant le suivi de la fraie indique que la fraie était terminée au moment du décompte. C'est d'ailleurs après le décompte de nids sur cette frayère que la fin de la fraie du saumon sur le cours principal de la Romaine a pu être confirmé par les techniciens de WSP.

La frayère du PK 48,9 a été inventoriée le 9 novembre, alors que la température de l'eau à la station ROMA0944 était de 6,1 °C. Cette petite frayère est généralement peu ou pas utilisée par le saumon en raison des faibles profondeurs d'eau et vitesses de courant lorsque les débits sont peu élevés. En 2019, aucun nid n'y a d'ailleurs été recensé.

Parmi les deux frayères aménagées par Hydro-Québec au printemps 2014, celle du PK 49 est la plus utilisée par le saumon jusqu'à maintenant. Pour la première fois en 2019, le nombre de nids recensés sur cette frayère a cependant été plus faible que sur l'autre frayère aménagée (PK 51).

Le dénombrement des nids sur la frayère du PK 49 a été fait le 8 novembre et une validation a été réalisée le lendemain. La température moyenne journalière de l'eau à la station ROMA0944 était respectivement de 6,5 et 6,1 °C lors de ces deux journées. Un total de 13 nids de saumon y a été dénombré en 2019 et un saumon géniteur a été aperçu.

La frayère aménagée du PK 51 a été visitée le 6 novembre, soit la même journée que la dernière visite de suivi de l'évolution des activités de fraie. Un total de 16 nids y a été dénombré alors que la température de l'eau à la station ROMA0944 était de 7,4 °C. Un saumon adulte a été observé au moment du décompte.

Rivière Puyjalon

Le dénombrement des nids dans la rivière Puyjalon a été réalisé les 13 et 14 novembre, alors que la température moyenne journalière mesurée à la station RPUY0680 était respectivement de 1,4 et de 1,0 °C. Lors de ces deux journées, la température de l'eau était cependant un peu plus chaude dans la portion amont de la rivière où sont concentrés les nids de saumon (mesures *in situ* de 2,6 et 4,2 °C respectivement) en raison de la qualité des habitats de reproduction (Fontaine et coll., 2000). Un total de 52 nids a été recensé dans ce secteur en 2019 (carte 5-1). Deux saumons adultes ont été aperçus pendant le décompte, mais l'ensemble des indices (température de l'eau, faible nombre de géniteurs et comportement de ceux-ci, date tardive) indiquent que la fraie était alors terminée.

Rivière Bat-le-Diable

Sur la rivière Bat-le-Diable, le dénombrement des nids a été réalisé le 5 novembre, alors que la température de l'eau était de 4,8 °C. Deux nids de saumon ont alors été dénombrés et aucun saumon adulte n'a été aperçu.

Rivière Allard

Le dénombrement des nids dans la rivière Allard a été réalisé les 4 et 5 novembre. La température de l'eau mesurée le 5 novembre était de 5,2 °C. Trois nids de saumon ont été recensés dans ce tributaire, alors qu'aucun saumon adulte n'a été aperçu.

5.2.2.2 Comparaison interannuelle

Même si le nombre de nids creusés est influencé par la proportion de madeleineaux, par le rapport des sexes et par les variations de niveaux d'eau et de débits durant la fraie, il est généralement reconnu qu'il s'agit d'un bon indicateur de l'abondance du stock de saumons d'une rivière (Hay, 1987). Cet indicateur est particulièrement utile lorsqu'une série de données est constituée sur une longue période afin de mettre en lumière une tendance à la hausse ou à la baisse du stock. Le tableau 5-5 présente les résultats des décomptes de nids à l'échelle du bassin versant de la Romaine depuis 2003.

Le nombre total de nids de saumons recensés dans l'ensemble du bassin versant de la Romaine en 2019 (144 nids) est très proche du total de l'année précédente (137 nids). Ce nombre est également du même ordre de grandeur qu'en 2015 (151 nids), mais est nettement plus faible que lors des années 2016 et 2017 où le total de nids avait été particulièrement élevé (moyenne de

227 nids). Soulignons que le nombre annuel de nids de saumon dans le bassin versant de la Romaine a toujours été plus élevé au cours des cinq dernières années (137 à 273 nids, moyenne de 177 nids) que lors des cinq premières années du suivi annuel, de 2010 à 2014 (72 à 136 nids, moyenne de 105 nids).

La contribution relative du cours principal de la Romaine dans le nombre de nids de saumon a été de 60 % en 2019 (tableau 5-5, figure 5-2). Il s'agit de la septième année consécutive où plus de la moitié des nids de saumon sont recensés dans le cours principal. À l'inverse, avant 2013, la contribution relative du cours principal de la Romaine avait toujours été inférieure à 50 %.

Rivière Romaine

Les 87 nids recensés dans le cours principal de la Romaine en 2019 représentent le cinquième plus haut total depuis 2001. Soulignons que quatre de ces cinq années sont survenues au cours des cinq dernières années (tableau 5-6). Depuis le début du décompte de nids en 2010, leur nombre dans le cours principal de la Romaine a augmenté substantiellement, atteignant un pic de 205 nids en 2016. Depuis, le nombre annuel de nids dans les frayères du cours principal a diminué (74 à 93 nids, moyenne de 85 nids), mais demeure néanmoins bien supérieur aux totaux de 2010 à 2014 (31 à 63 nids, moyenne de 45 nids). Le nombre de nids recensés au cours des trois dernières années est comparable à ce qui avait été observé dans le cours principal de la Romaine en 2003 et en 2004, mais est inférieur au total de 2001 (tableau 5-6).

Répartition des nids dans la Romaine

Au niveau de la distribution des nids dans les différentes frayères du cours principal de la Romaine, l'année 2019 se distingue par une utilisation particulièrement faible de la frayère naturelle du PK 46,2. En effet, on n'y a dénombré que deux nids en 2019, ce qui représente à peine 2 % du total de nids dans le cours principal de la Romaine. Or, depuis 2001, on dénombre généralement dans cette frayère 20 à 40 % du total de nids, sauf pour les années 2012 (82 %) et 2016 (6 %), où les résultats avaient également été inhabituels. Deux autres particularités sont aussi à noter en 2019.

Ensuite, on observe aussi que la hausse de l'utilisation de la frayère aménagée du PK 51 s'est poursuivie en 2019 avec un total de nids qui est graduellement passé de 0 en 2014 à 16 en 2019, soit 18 % du total. Pour la première fois, cette frayère a été plus utilisée que l'autre frayère aménagée au PK 49 (13 nids, 15 %). L'utilisation soutenue par le saumon des frayères aménagées depuis leur construction peut s'expliquer par leur localisation près d'un obstacle infranchissable, où le saumon tend à se rendre quand il recherche des habitats de reproduction. Soulignons également que ces habitats présentent de façon générale un recouvrement en sable relativement faible, ce qui favorise leur utilisation par le saumon. Depuis 2016, on note d'ailleurs que la grande majorité des nids de saumons recensés dans les frayères aménagées se trouvaient dans des secteurs où le recouvrement en sable est de 15 % ou moins (tableau 5-4; voir aussi les cartes des annexes A16-5 et A16-6 pour la répartition des nids en fonction du recouvrement de sable en 2019). L'utilisation importante de ces aménagements était anticipée lors de leur conception, d'autant plus que les habitats de fraie de qualité sont peu nombreux dans la rivière.

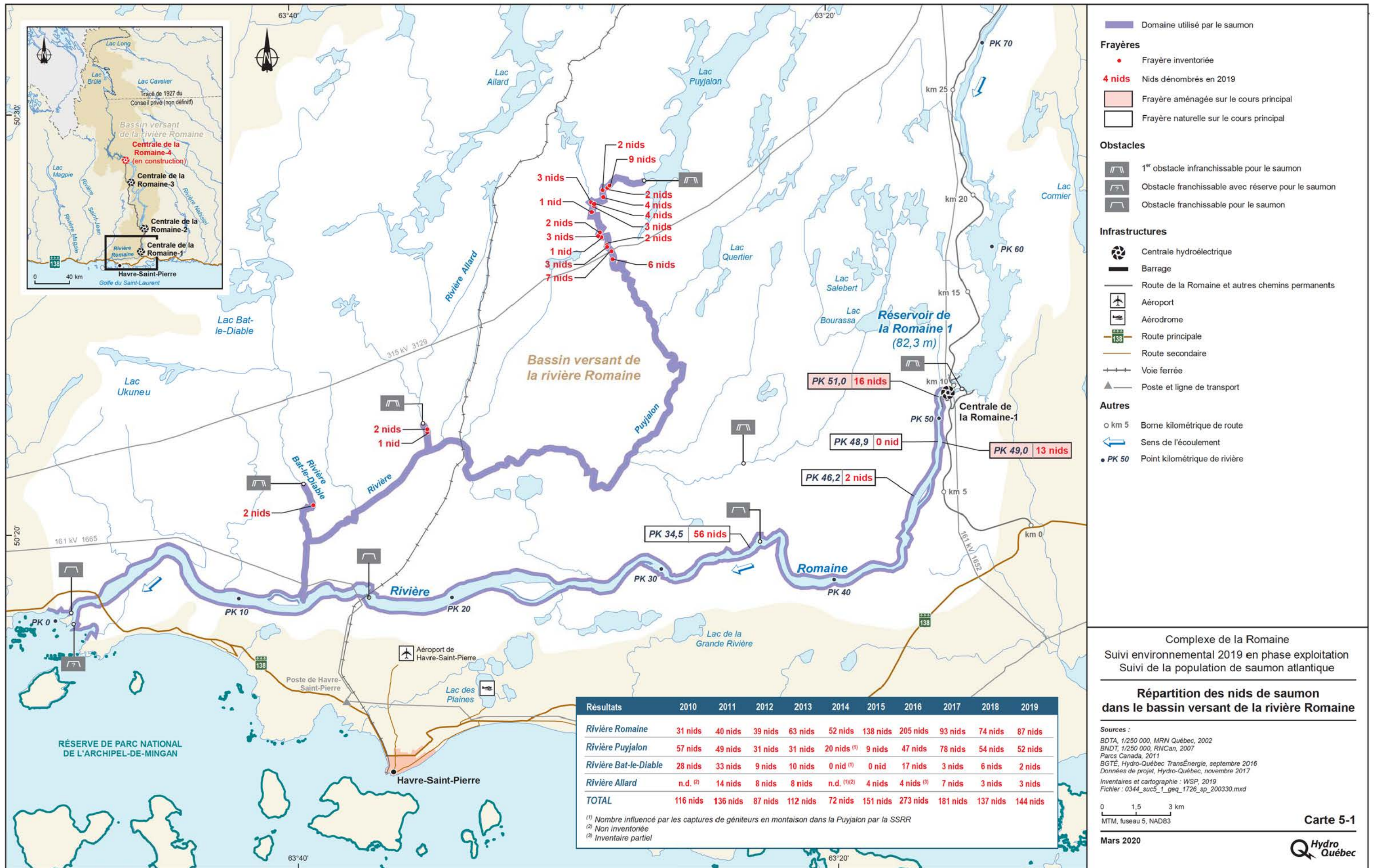


Tableau 5-4 Répartition des nids de saumon selon le recouvrement en sable sur les frayères aménagées des PK 49 et 51 entre 2016 et 2019

Année	Recouvrement de sable (%)									Total
	0-5	>5-10	>10-15	>15-20	>20-40	>40-60	>60-80	>80-100	ND	
2016	25	37	28	0	1	0	0	0	0	91
2017	6	13	9	0	1	0	0	0	0	29
2018	5	10	1	6	0	0	0	4	10 ¹	36
2019	23	2	0	0	0	4	0	0	0	29
Total	59	62	38	6	2	4	0	4	10	185

1 Le recouvrement en sable n'a pas été évalué sur la frayère du PK 51 en 2018.

Tableau 5-5 Nids de saumon dénombrés dans les portions accessibles du bassin versant de la Romaine entre 2003 et 2019

Année ¹	Romaine	Puyjalon	Bat-le-Diable	Allard	Total
2003	81 (41 %)	31 (16 %)	68 (35 %)	16 (8 %)	196
2004	75 (45 %)	22 (13 %)	54 (33 %)	15 (9 %)	166
2010	31 (27 %)	57 (49 %)	28 (24 %)	ND ²	116
2011	40 (30 %)	49 (36 %)	33 (24 %)	14 (11 %)	136
2012	39 (45 %)	31 (36 %)	9 (10 %)	8 (9 %)	87
2013	63 (56 %)	31 (28 %)	10 (9 %)	8 (7 %)	112
2014 ⁶	52 (72 %)	20 (28 %)	0 (0 %)	ND ²	72 ³
2015	138 (91 %)	9 (6 %) ⁴	0 (0 %)	4 (3 %) ⁵	151
2016	205 (75 %)	47 (17 %)	17 (6 %)	4 (1 %)	273
2017	93 (51 %)	78 (43 %)	3 (2 %)	7 (4 %)	181
2018	74 (54 %)	54 (39 %)	6 (4 %)	3 (2 %)	137
2019	87 (60 %)	52 (36 %)	2 (1 %)	3 (2 %)	144

1 Données antérieures à 2019 disponibles dans Belles-Isles et coll. (2004) et GENIVAR (2005) pour les années 2003 et 2004, dans GENIVAR (2011a, 2012a, 2013) puis WSP (2014a, 2015, 2016a, 2017a, 2019) pour les années 2010 à 2017, puis dans Aubé-Maurice et coll. (2019) pour l'année 2018.

2 Données non disponibles - La rivière Allard n'a pu être inventoriée en 2010 (nivelage du substrat de fraie à la suite de fortes crues automnales) et en 2014 (débits trop élevés).

3 En 2014, les nids dénombrés dans le bassin de la Puyjalon ainsi que la contribution relative des différents cours d'eau doivent être interprétés avec prudence en raison de la capture de saumons en montaison dans la Puyjalon par la SSRR, dont 8 femelles.

4 Le décompte de nids dans la Puyjalon a vraisemblablement été fait avant que la fraie soit complétée en 2015 et le nombre de nids doit donc être interprété avec prudence.

5 Décompte partiel en raison d'un fort débit.

6 Influence des aménagements hydroélectriques à partir de 2014.

Tableau 5-6 Nids de saumon dénombrés dans les frayères du cours principal de la Romaine entre 2001 et 2019

Année ¹	Frayères naturelles				Frayères aménagées		Total
	PK 34,5	PK 46,2	PK 48,9	PK 51,4	PK 49	PK 51	
2001 ²	96 (66 %)	31 (21 %)	12 (8 %)	7 (5 %)	-	-	146
2003	53 (65 %)	28 (35 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	-	-	81
2004	51 (68 %)	24 (32 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	-	-	75
2010	19 (61 %)	10 (32 %)	2 (6 %)	0 (0 %)	-	-	31
2011	30 (75 %)	10 (25 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	-	-	40
2012	4 (10 %)	32 (82 %)	3 (8 %)	-	-	-	39
2013	39 (62 %)	24 (38 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	-	-	63
2014	23 (44 %)	21 (40 %)	0 (0 %)	s.o. ³	8 (15 %)	0 (0 %)	52
2015	58 (42 %)	31 (22 %)	0 (0 %)	s.o. ³	47 (34 %)	2 (1 %)	138
2016	99 (48 %)	12 (6 %)	3 (1 %)	s.o. ³	86 (42 %)	5 (2 %)	205
2017	35 (38 %)	28 (30 %)	1 (1 %)	s.o. ³	25 (27 %)	4 (4 %)	93
2018	22 (30 %)	16 (22 %)	0 (0 %)	s.o. ³	26 (35 %)	10 (14 %)	74
2019	56 (64 %)	2 (2 %)	0 (0 %)	s.o. ³	13 (15 %)	16 (18 %)	87

1 Données antérieures à 2019 disponibles dans GENIVAR (2002), Belles-Isles et coll. (2004) et GENIVAR (2005) pour les années 2001, 2003 et 2004, et dans GENIVAR (2011a, 2012a, 2013) puis WSP (2014a, 2015, 2016a, 2017a, 2019) pour les années 2010 à 2017, puis dans Aubé-Maurice et coll. (2019) pour l'année 2018.

2 Du 26 octobre au 8 novembre, à une température de l'eau variant de 2,3 à 5,5 °C (GENIVAR, 2002).

3 Depuis 2014, la frayère du PK 51,4 n'est plus utilisable en raison de l'aménagement de la centrale de la Romaine-1.

On note également que la frayère naturelle du PK 34,5 a été très utilisée en 2019, avec 64 % des nids du cours principal. Il s'agit de la première fois depuis 2013 où plus de la moitié des nids sont recensés sur cette frayère. C'est d'ailleurs aussi la première fois depuis que les conditions hydrauliques de la Romaine sont régularisées pendant la période de montaison du saumon (2014), qu'on dénombre moins de la moitié des nids de saumons du cours principal de la Romaine en amont des chutes à Charlie (figure 5-2).

En 2019, seulement 36 % des nids ont été recensés en amont de cet obstacle, ce qui est semblable à ce qui prévalait en conditions naturelles (tableau 5-6 et figure 5-2). En effet, pour les sept années pour lesquelles des données sont disponibles entre 2001 et 2013, la proportion de nids en amont des chutes à Charlie a toujours varié entre 25 et 38 %, sauf en 2012 où la répartition des nids était atypique (90 % des nids en amont des chutes à Charlie). La proportion de nids en amont des chutes à Charlie a ensuite augmenté à partir de 2014, année de la mise en eau du premier réservoir et de l'aménagement de frayères aux PK 49 et 51. Entre 2014 et 2018, la proportion de nids en amont des chutes avait toujours été comprise entre 52 et 70 %.

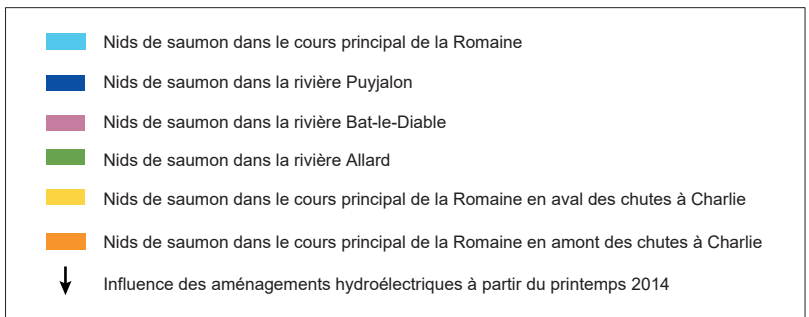
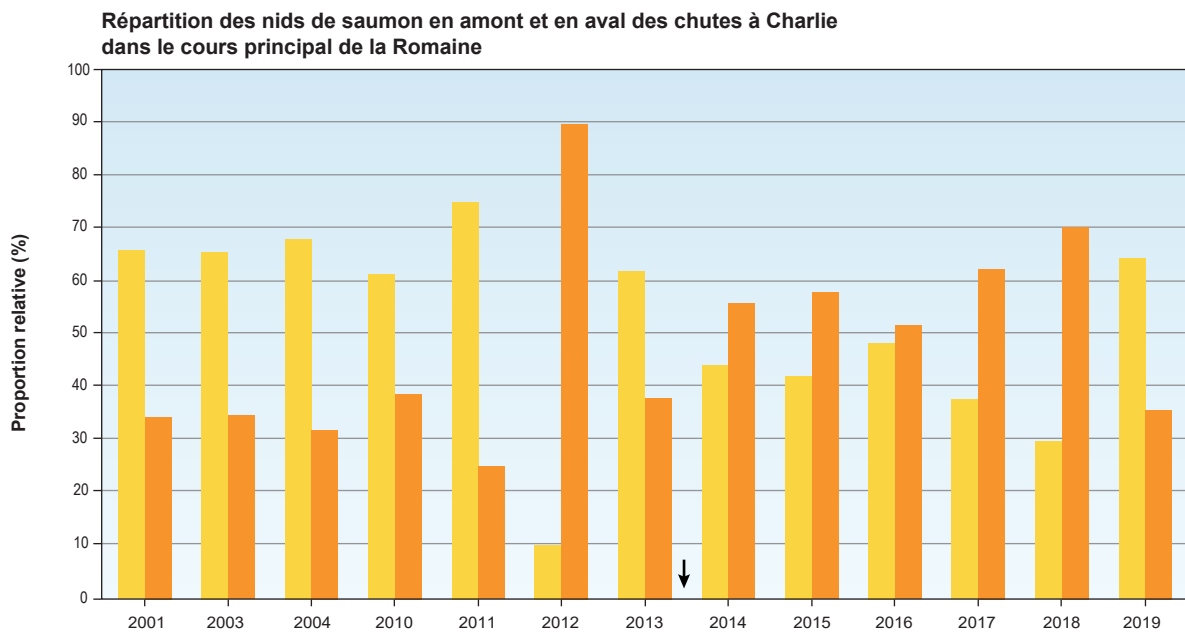
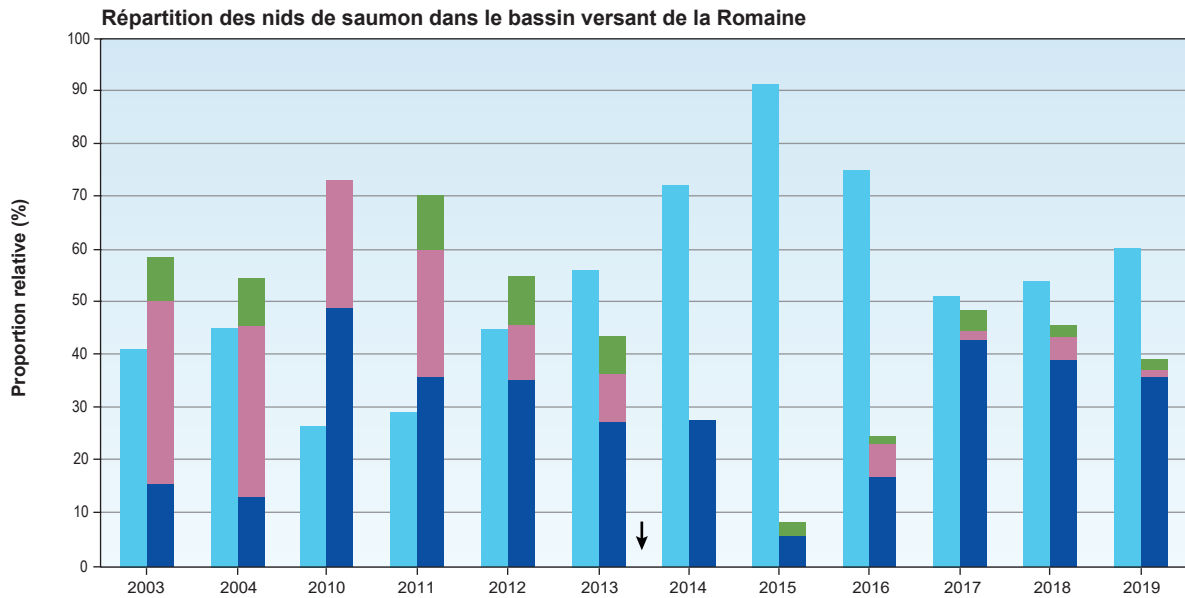
A priori, la répartition des nids en 2019 ne semble pas s'expliquer par les conditions de débit qui ont prévalu pendant la période de montaison du saumon. En 2019, le débit de la Romaine au PK 46 (station ROMA0944) s'est maintenu aux environs de 400 m³/s pendant la première semaine de juillet, mais est ensuite demeuré légèrement au-dessus de 200 m³/s pendant plusieurs semaines consécutives, entre la mi-juillet et la mi-août. À compter de la mi-août, le débit a été beaucoup plus variable avec des oscillations fréquentes entre 200 et 400 m³/s jusqu'à la fin de septembre (annexes 1 et 7). De telles variations de débit avaient été encore plus fréquentes pendant les périodes de montaison de 2017 et de 2018. À l'inverse, les montaisons de 2014 à 2016 avaient été caractérisées par un débit plus stable (annexe 7). Le débit a donc été propice au franchissement des chutes à Charlie pendant la période de montaison de 2019.

Bien que les frayères en amont des chutes à Charlie aient été proportionnellement moins utilisées en 2019, que lors des autres années depuis 2014, elles sont généralement plus utilisées qu'en conditions naturelles (figure 5-2). La proportion moyenne de nids en amont des chutes à Charlie est en effet passée de 42 % en conditions naturelles (2001-2013) à 56 % en conditions de débit régularisé (2014-2019). En excluant l'année 2012, où la répartition des nids avait été très inhabituelle, la proportion moyenne de nids en amont des chutes à Charlie en conditions naturelles serait encore plus faible à 34 %. Les observations colligées depuis 2014 corroborent les prévisions de l'étude d'impact à l'effet qu'il pourrait y avoir une plus grande proportion de nids de fraie en amont des chutes à Charlie avec l'exploitation du complexe de la Romaine, en raison des débits d'exploitation qui rendent les chutes à Charlie franchissables plus régulièrement et fréquemment qu'en conditions naturelles (Hydro-Québec, 2007). Cette situation est bénéfique pour le saumon dans la mesure où les meilleurs habitats d'alevinage et de croissance se retrouvent en amont des chutes. L'obstacle demeure toutefois toujours important et la frayère au PK 34,5 continue d'être utilisée de façon soutenue depuis 2014.

Rivière Puyjalon

Le nombre de nids recensé sur la rivière Puyjalon en 2019 (n = 52) est très similaire aux décomptes de 2018 (n = 54) et de 2016 (n = 47), mais inférieur à celui de 2017 (n = 78) qui avait cependant été exceptionnel. En termes d'utilisation relative, les trois dernières années se comparent aux années 2010 à 2012, avec une proportion de 35 à 50 % des nids du bassin versant de la Romaine.

Figure 5-2 Répartition des nids de saumon entre 2001 et 2019 à l'échelle du bassin versant de la Romaine et du cours principal de la Romaine



L'utilisation relative de ce tributaire en 2016 avait cependant été plus faible (17 %). La rivière Puyjalon semble donc à nouveau utilisée de façon soutenue par le saumon, après une baisse notable au cours des cinq premières années du dénombrement annuel des nids, entre 2010 et 2014. Pendant cette période, l'utilisation de la Puyjalon par le saumon avait graduellement diminué, passant de 57 nids en 2010 (49 % du total) à seulement 20 nids en 2014 (28 %) (tableau 5-5).

Rivière Bat-le-Diable

Dans la rivière Bat-le-Diable, on a dénombré seulement 2 nids en 2019, ce qui est très faible, mais du même ordre de grandeur que lors des deux années précédentes (3 et 6 nids respectivement en 2017 et 2018). La contribution relative de ce tributaire par rapport à l'ensemble du bassin versant de la Romaine dépasse à peine 1 % en 2019 et n'a pas excédé 10 % depuis 2012. La rivière Bat-le-Diable a pourtant déjà été un des tributaires les plus utilisés par le saumon avec des proportions de 35 % et de 33 % des nids respectivement en 2003 et en 2004 (68 et 54 nids), puis de 24 % en 2010 et en 2011 (28 et 33 nids) (tableau 5-5). L'absence de nid dans ce tributaire en 2014 et en 2015 pourrait s'expliquer par les activités de pêche rapportées dans le bassin de la Puyjalon au cours de ces deux années (WSP, 2016a). Aucune information à cet égard n'est disponible depuis.

Rivière Allard

En 2019, on a dénombré 3 nids de saumon dans la rivière Allard, soit 2 % du total, ce qui est semblable à l'année précédente. Depuis 2015, l'utilisation de ce tributaire par le saumon est faible, mais stable, avec un total annuel de nids compris entre 3 et 7 nids, pour une contribution relative de 1 à 4 % (tableau 5-5). Ces totaux sont inférieurs à ceux des années précédentes (8 à 16 nids entre 2003 et 2013 pour une contribution relative comprise entre 7 et 11 %), mais ce tributaire a toujours été relativement peu utilisé par le saumon.

5.2.2.3 Estimation du nombre de nids avec œufs

Le nombre de nids fouillés dans le cours principal de la Romaine a été légèrement supérieur à un nid sur trois en 2019. Ainsi, sur les 87 nids dénombrés sur le cours principal de la Romaine, 33 ont été fouillés. Aucun nid n'a cependant été fouillé sur les tributaires de la Romaine en raison des conditions de fouille difficiles. En 2019, le nombre de nids fouillés représente donc 38 % des nids du cours principal et 23 % des nids du bassin versant de la Romaine.

Comme lors des trois années précédentes, les nids ont d'abord été fouillés selon le même protocole que celui utilisé depuis 2010 (ci-après « fouilles de base ») pour y vérifier la présence d'œufs de saumon. En absence d'œufs, des fouilles en profondeur étaient également réalisées lorsque possible, comme de 2016 à 2018, afin de vérifier la présence d'œufs enfouis plus profondément dans le substrat.

Parmi les 33 nids fouillés, la fouille de base a permis d'apercevoir des œufs dans 13 cas, soit une proportion de 39 % (tableau 5-7). Sur les 20 nids ne contenant pas d'œufs en surface, 14 ont été fouillés en profondeur et deux d'entre eux contenaient des œufs (14 %). En appliquant cette proportion à tous les nids sans œufs en surface ($n = 20$) et en tenant également compte de ceux contenant des œufs en surface, on obtient une proportion ajustée de nids contenant des œufs de 48 % en 2019. En se basant sur ces données, le nombre estimé de nids avec œufs en 2019 est de 69 à l'échelle du bassin versant de la Romaine.

La proportion estimée de nids contenant des œufs en 2019 (en incluant les fouilles profondes) est environ deux fois plus élevée que celle de 2018. Elle est cependant très semblable aux proportions évaluées en 2016 et en 2017, les deux premières années où des fouilles profondes ont été réalisées (tableau 5-7).

Tableau 5-7 Pourcentage de nids contenant des œufs lors des dénombrements des nids de fraie

Paramètre	Décompte de nids de fraie											
	1999 ¹	2001 ²	2010 ³	2011 ³	2012 ³	2013 ³	2014 ³	2015 ³	2016 ³	2017 ³	2018 ³	2019 ²
Total de nids (N)	74	130	116	136	87	112	72	151	273	181	137	144
Fouilles de base												
Nids fouillés (N)	62	82	21	23	8	16	10	31	116	47	28	33
Nids fouillés avec œufs (N)	16	24	9	10	3	3	2	8	51	19	2	13
Fouilles profondes ⁴												
Nids fouillés (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	50	28	25	14
Nids fouillés avec œufs (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	5	2
% de nids avec œufs ⁵	25,8	29,3	42,9	43,5	37,5	18,8	20,0	25,8	50,7 (44,0)	53,2 (40,4)	25,7 (7,1)	48,1 (39,4)

1 La fouille des nids de 1999 comprend l'ensemble des rivières Allard, Bat-le-Diable, Puyjalon et Romaine (Fontaine et coll., 2000).

2 La fouille de nids ne comprend que le cours principal de la rivière Romaine (GENIVAR, 2002 et présente étude).

3 Les fouilles de nids pour 2010 à 2018 comprennent les frayères sélectionnées du cours principal de la Romaine ainsi que celles des rivières Allard, Bat-le-Diable et Puyjalon (GENIVAR, 2011a; 2012a; 2013; WSP, 2014a; 2015; 2016a; 2017a, 2019; Aubé-Maurice et coll., 2019).

4 Les fouilles profondes sont faites parmi les nids ayant d'abord fait l'objet d'une fouille normale (sans œufs).

5 À partir de 2016, deux types de fouilles ont été réalisées. La fouille de base correspondant à la méthode utilisée les années précédentes et la fouille plus en profondeur. La proportion de nids avec œufs est alors calculée en extrapolant la proportion de fouilles profondes avec œufs à l'ensemble des nids fouillés sans œufs lors de la fouille de base. La proportion de nids avec œufs tenant compte de la fouille de base uniquement est présentée entre parenthèses.

Il est généralement reconnu que les conditions environnementales (conditions de débit, de température, de compétition, etc.) peuvent affecter le comportement des saumons et influencer le nombre de nids avec œufs. Par exemple, des variations de débit peuvent faire abandonner un nid fraîchement creusé par une femelle avant que la ponte n'ait lieu.

5.2.2.4 Analyses génétiques sur les œufs prélevés dans les frayères de la Romaine

Plus d'une centaine d'œufs provenant de neuf nids différents répartis sur deux frayères (PK 34,5 et PK 49) ont été prélevés lors du dénombrement des nids à l'automne 2019 (annexe 15). Ces derniers ont été transportés le jour même à la pisciculture de la SSRR, où ils ont été mis en incubation. Le taux de mortalité de ces œufs a été très élevé au cours des premières semaines. Néanmoins, un total de 14 alevins, soit six provenant de la frayère du PK 34,5 (deux nids) et huit provenant de la frayère du PK 49 (deux nids), a éclos au printemps 2020 avant de faire l'objet d'analyses génétiques au laboratoire du Dr Louis Bernatchez de l'Université Laval. Ces analyses ont permis d'identifier un total de quatre groupements familiaux et de neuf géniteurs potentiels (Piette-Lauzière et coll., 2020; annexe 17). Ces analyses indiquent également qu'une des femelles ayant participé à la fraie artificielle de 2014 (alevinsensemencés en 2015) a contribué au patrimoine génétique de deux des groupements familiaux identifiés. Ainsi, un ou plusieurs alevinsensemencés en 2015 auraient participé à la fraie de l'automne 2019. Toutefois, le faible nombre d'échantillons ne permet pas de déterminer lesquels parmi les 14 alevins analysés sont des descendants de cette femelle.

6. Échouage des saumons juvéniles

L'objectif spécifique de cette activité est de :

- vérifier si des saumons juvéniles s'échouent ou demeurent prisonniers de cuvettes dans les secteurs exondés de la Romaine à la suite du passage de deux à un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1.

Ce suivi vise donc les sites où la baisse du niveau d'eau de la Romaine consécutive au passage de deux à un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1 (PK 51) entraîne l'exondation de zones peu profondes ou encore la formation de cuvettes. Cette activité doit ainsi être réalisée après l'utilisation prolongée de deux groupes T/A à la station de la Romaine-1, suivie par l'arrêt d'un groupe T/A et le maintien de ces conditions pendant un minimum d'environ 36 heures, afin que la diminution du niveau d'eau de la Romaine atteigne les secteurs aval de la rivière. En effet, si la baisse complète du niveau d'eau consécutive à l'arrêt d'un groupe T/A est observée assez rapidement dans les zones immédiatement en aval de la centrale de la Romaine-1 (délai d'environ 9 heures au PK 46), cette baisse survient beaucoup plus tard dans les portions aval de la rivière (délai d'environ 26 heures au PK 16 et de 36 heures à l'embouchure) (WSP, 2019).

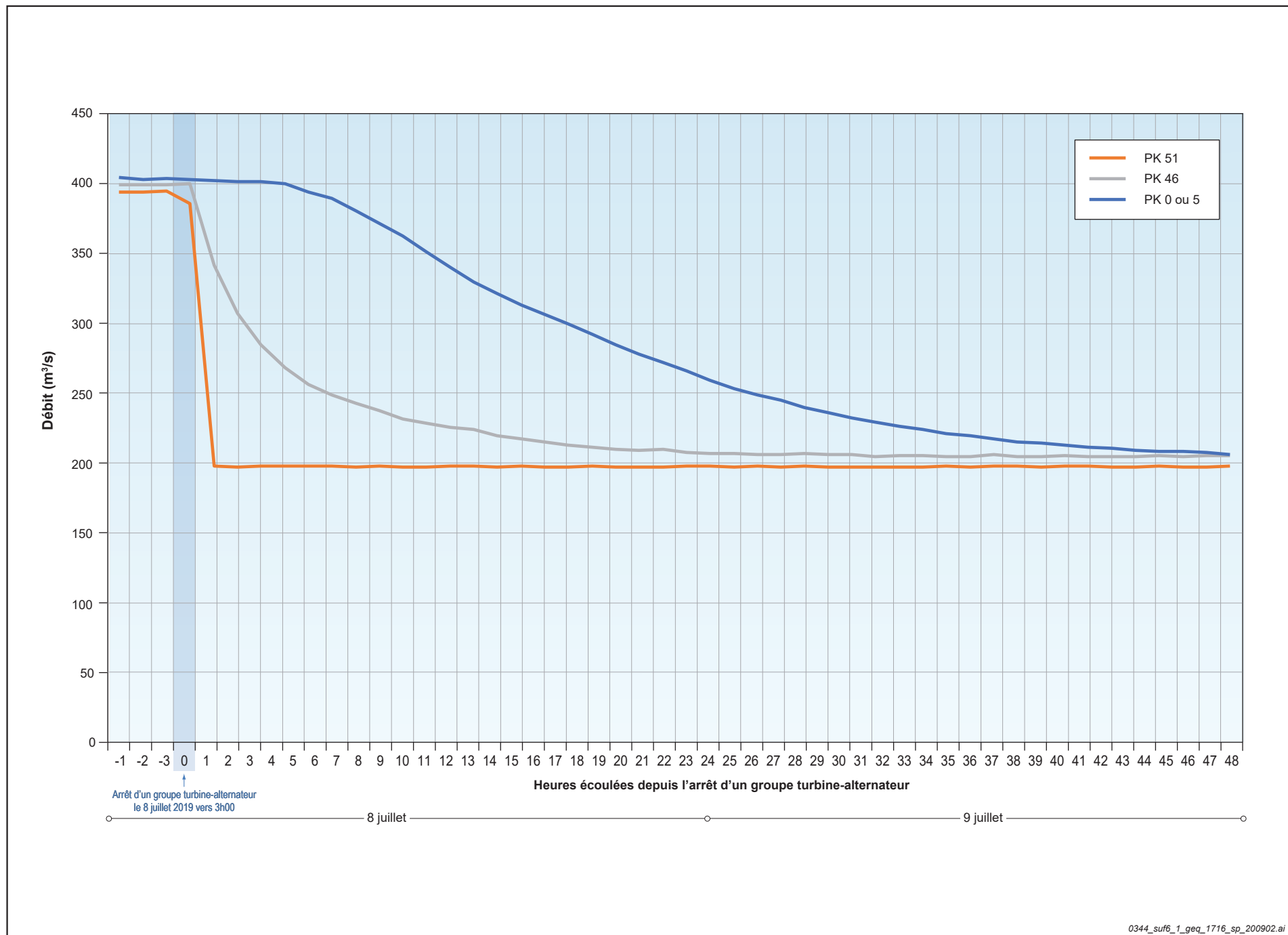
6.1 Matériel et méthode

L'inventaire des poissons piégés dans des zones sans lien hydrique avec le cours principal de la rivière Romaine vise les sites considérés plus à risque entre les installations de la Romaine-1 et l'embouchure. Les sites plus vulnérables sont ceux caractérisés par une faible pente en rive et par la présence de cuvettes pouvant favoriser l'échouage des poissons lors d'une baisse de niveau d'eau associée à l'arrêt du deuxième groupe T/A. De plus, le suivi de l'échouage doit autant que possible être réalisé à un moment où les saumons juvéniles ont une capacité natatoire plus réduite et sont donc plus vulnérables à l'échouage, soit rapidement après l'émergence des alevins (début de l'été) ou à partir du moment où la température de l'eau s'abaisse sous les 8°C (vers la mi-novembre). En 2019, le suivi de l'échouage a été réalisé au début de l'été. Un second suivi était initialement planifié à l'automne, mais la gestion des débits à cette période n'a pas permis d'y répéter le suivi de l'échouage.

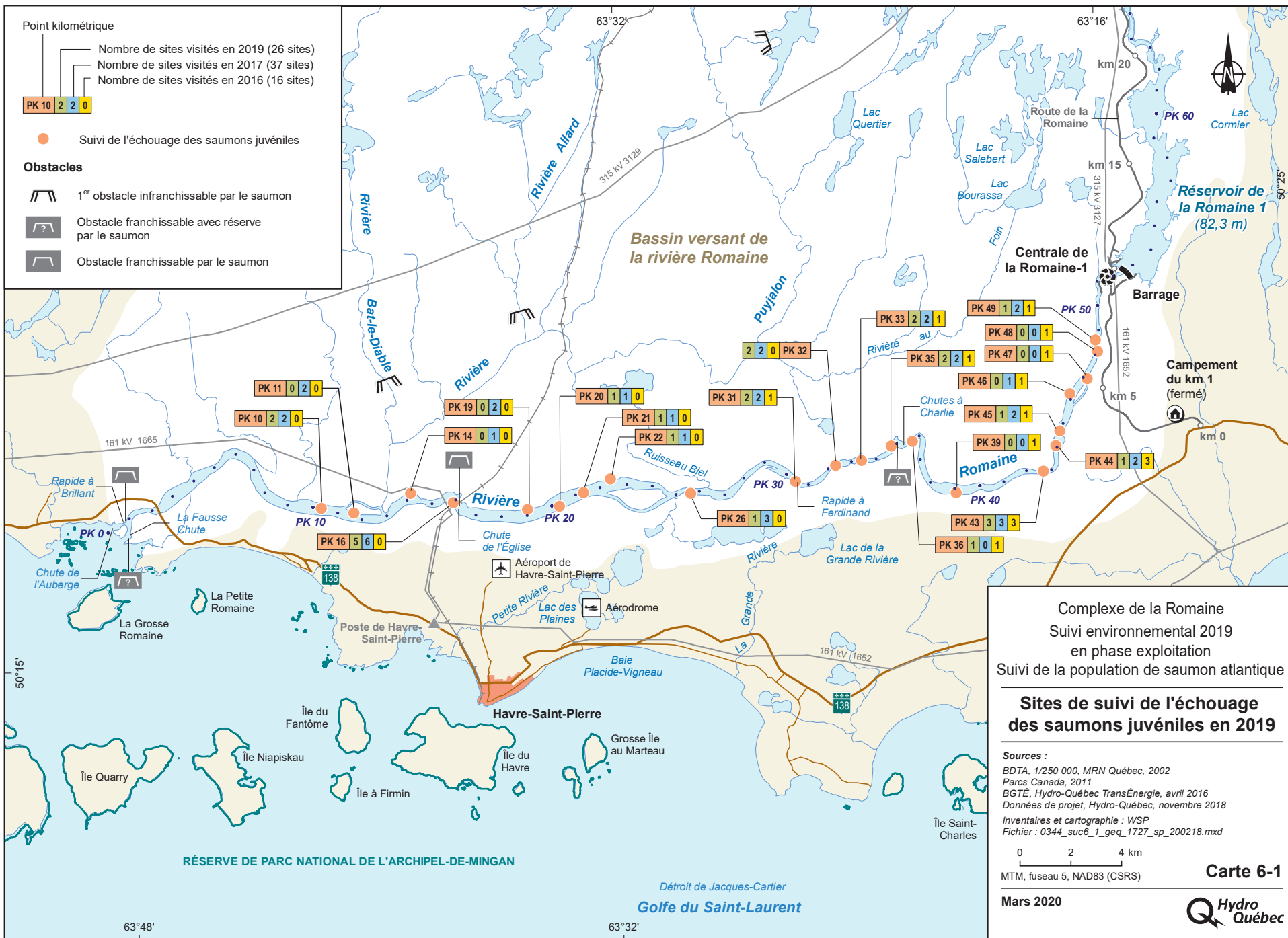
Le suivi de l'échouage a été réalisé les 8 et 9 juillet, après l'arrêt d'un groupe T/A à la centrale Romaine-1 vers 3 h 00 le 8 juillet (figure 6-1). Les sites localisés près de la centrale (PK 35 à PK 49), où la baisse du niveau d'eau consécutive à l'arrêt d'un groupe T/A est plus rapide, ont été visités dès le 8 juillet, en commençant par ceux situés le plus en amont. Comme montré sur la figure 6-1, le débit de la Romaine au PK 46 qui était d'environ 400 m³/s à 3 h 00 est passé sous les 250 m³/s vers 9h00, soit 6 heures après l'arrêt du groupe T/A. Les sites du tronçon aval de la Romaine (PK 10 à PK 33) ont été visités le lendemain. Près de l'embouchure de la Romaine, le débit a atteint 250 m³/s vers 3 h 00 le 9 juillet, soit environ 24 heures après l'arrêt du groupe T/A (figure 6-1).

Un total de 26 sites différents répartis entre le PK 10 et le PK 49 de la Romaine a été visité (carte 6-1), soit 7 sites en amont des chutes à Charlie et 19 en aval (ou vis-à-vis). Ces sites avaient tous déjà fait l'objet d'un suivi de l'échouage en 2016 ou en 2017. Rappelons que le suivi de l'échouage n'avait pu être réalisé en 2018, puisque la gestion des débits à la centrale de la Romaine-1 n'avait pas permis d'obtenir les conditions recherchées lors des périodes ciblées pour le suivi (Aubé-Maurice et coll., 2019).

Figure 6-1 Évolution du débit de la rivière Romaine à différents endroits entre la centrale Romaine-1 et son embouchure les 8 et 9 juillet 2019



0344_suf6_1_geq_1716_sp_200902.ai



Les sites exondés après le passage de deux à un groupe T/A à la centrale Romaine-1 ont été parcourus à pied. Les cuvettes isolées, auxquelles une attention particulière était portée, sont surtout abondantes dans les zones rocheuses longeant la rivière. De telles zones sont particulièrement abondantes vis-à-vis les chutes à Charlie et en aval de celles-ci (PK 30 à 35), et immédiatement en aval de la chute de l'Église (PK 15 à 16). L'expérience acquise lors des suivis précédents indique que les bancs de sable exondés sont beaucoup moins vulnérables à l'échouage des saumons juvéniles. Néanmoins, de tels sites ont également été visités lorsque des cuvettes étaient présentes.

Les cuvettes ont d'abord été inspectées visuellement et, lorsque requis, elles ont été pêchées à l'aide d'une électropêche (annexe 3, photo 25). Les poissons échoués ou isolés dans les cuvettes ont été dénombrés et identifiés à l'espèce. Les saumons juvéniles ont été dénombrés distinctement selon leur stade de développement (tacons ou alevins).

6.2 Résultats et discussion

Les résultats du suivi de l'échouage des saumons juvéniles en 2019 sont présentés en détail aux annexes 18 et 19. Le suivi réalisé sur 26 sites différents les 8 et 9 juillet a mené à l'inspection de 537 cuvettes totalisant une superficie d'environ 2 145 m². Parmi celles-ci, 272 cuvettes ont fait l'objet d'une pêche électrique totalisant une superficie approximative de 663 m².

Au total, 293 poissons appartenant à cinq espèces ont été aperçus ou pêchés dans les cuvettes inspectées (tableau 6-1). Comme lors du dernier suivi réalisé en 2017, les familles des catostomidés (meuniers) et des gastérostéidés (épinoches) sont de loin les plus représentées parmi les poissons prisonniers des cuvettes. En raison de leur nombre élevé dans certaines cuvettes, le nombre de poissons appartenant à ces deux groupes a d'ailleurs parfois été estimé.

Un seul saumon juvénile a été aperçu dans les cuvettes inspectées, soit un alevin capturé le 9 juillet dans une cuvette du site 33b, près du PK 33 (annexe 3, photos 25 et 26). Ce dernier a été remis à l'eau dans la rivière. En tenant également compte des résultats de 2016 (suivi réalisé en juillet) et de 2017 (suivis réalisés en juillet, en août et en octobre), un total de huit saumons juvéniles a jusqu'ici été dénombré dans des cuvettes isolées du cours principal de la Romaine, après le passage de deux à un groupe T/A à la centrale Romaine-1. Ceux-ci étaient tous vivants au moment du suivi et ils ont été remis à l'eau rapidement après leur capture. Ainsi, les saumons juvéniles semblent généralement peu vulnérables à l'échouage, même pour les sites localisés plus en amont dans la rivière où la diminution de niveau d'eau se fait sentir de façon plus rapide (figure 6-1).

Tableau 6-1 Nombre de poissons capturés ou aperçus par espèce dans les cuvettes le long de la Romaine en 2019

Nom français	Nom latin	Effectif
Meuniers ¹	<i>Catostomus</i> sp.	179 ²
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	110 ²
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>	3
Saumon atlantique (alevin)	<i>Salmo salar</i>	1
Total		293 ²

1 Meuniers noirs (*Catostomus commersoni*) et meuniers rouges (*Catostomus catostomus*) incluant parfois des alevins.

2 Nombre approximatif (dans certaines cuvettes avec un grand nombre de poissons, leur nombre a été estimé).

7. Survie des embryons

L'objectif spécifique de cette activité est de :

- évaluer la survie des embryons de saumon entre la fécondation des œufs et leur éclosion dans les quatre frayères de la Romaine (naturelles et aménagées).

Pour ce faire, des embryons insérés dans des capsules d'incubation sont disposés dans les frayères et leur éclosion est vérifiée au printemps. L'implantation des embryons dans les frayères a été réalisée à l'automne 2018, et les capsules d'incubation ont été retirées au début de l'été 2019.

7.1 Matériel et méthode

La méthode des capsules d'incubation développée par Dumas et Marty (2006) a été retenue pour évaluer la survie des embryons de saumon sur les deux principales frayères du cours principal de la Romaine. Cette technique a été utilisée avec succès sur les principales frayères de la Romaine en 2010-2011 (PK 46,2; GENIVAR, 2012a), en 2012-2013 (PK 34,5 et 46,2; WSP, 2014a) et en 2016-2017 (PK 34,5, 46,2, 49 et 51; WSP, 2019). L'approche consiste à introduire des capsules contenant des œufs fécondés de saumon dans des frayères, dans un substrat ayant les caractéristiques physiques d'un nid de fraie naturel. Cette méthode présente l'avantage de peu perturber le substrat lors de la mise en place des capsules et d'être facile à mettre en œuvre (Dumas et coll., 2007).

Dans l'ensemble, la même méthode que celle utilisée lors des suivis antérieurs a été appliquée en 2018-2019, incluant les ajustements suivants intégrés graduellement depuis le premier suivi en 2010-2011 :

- les capsules d'incubation sont fixées à des supports métalliques en forme de cage contenant chacun six capsules plutôt que d'être enfouies individuellement dans les nids artificiels (depuis le suivi de 2012-2013);
- un réseau de câbles pour faciliter la récupération des supports à capsules de la frayère du PK 34,5, plus profonde, est installé sur cette frayère préalablement à l'implantation des embryons (depuis le suivi de 2012-2013);
- le suivi de la survie des embryons est prévu dans les deux principales frayères naturelles de la Romaine (PK 34,5 et 46,2), ainsi que dans les deux frayères aménagées par Hydro-Québec en 2014 (PK 49 et 51) (depuis le suivi 2016-2017);
- les œufs fécondés ont été transportés plus rapidement vers Havre-Saint-Pierre, soit en avion plutôt qu'en camion (depuis le suivi 2016-2017);
- 12 lignées parentales distinctes sont utilisées plutôt que 6 et il n'y a pas de réplica des lignées parentales sur chacun des îlots, mais plutôt une seule capsule de chaque lignée parentale par îlot (depuis le suivi 2016-2017);
- les œufs des groupes témoins des 12 lignées parentales sont incubés à l'incubateur de la SSRR en bordure de la rivière Romaine.

Il est à préciser que les mauvaises conditions climatiques qui prévalaient à l'automne 2018 au moment de l'implantation des capsules d'embryons dans les frayères de la Romaine rendaient les travaux sur la frayère du PK 34,5 non sécuritaires. Rappelons que l'implantation des embryons sur cette frayère plus profonde doit être réalisée en plongée non autonome avec alimentation en surface. Or, la température de l'air avoisinait -8 °C au moment de l'implantation (16 novembre) menaçant de faire geler l'équipement de plongée de surface, notamment les ombilicaux (tuyaux) assurant l'apport d'air aux plongeurs. Dans ce contexte, les capsules d'embryons destinées à la frayère du PK 34,5 ont plutôt été distribuées sur les trois autres frayères à l'étude, à raison d'un îlot additionnel par frayère (quatre îlots plutôt que trois).

7.1.1 Capsules d'incubation et support

Les capsules d'incubation sont des tubes en grillage d'acier inoxydable de 1,5 mm de vide de maille, de 9 cm de longueur et de 1,4 cm de diamètre (annexe 3, photo 27). Un bouchon ferme chacune des extrémités, celui du dessus étant fileté pour permettre son ouverture.

Pour simplifier les opérations d'implantation et de récupération des capsules dans les nids artificiels, celles-ci sont fixées à un support semblable à une cage et pouvant contenir jusqu'à six capsules. L'utilisation de supports à capsules offre également l'avantage de minimiser le risque de perte de matériel, notamment lors des balayages effectués par les saumons femelles en fraie. Ainsi, à l'automne 2018, 144 capsules ont été fixées par groupe de six sur 24 supports à capsules à raison de 2 supports à capsules par îlot et de 4 îlots par frayère, soit 8 supports à capsules par frayère. Rappelons que les capsules contenant les embryons ont été implantées dans seulement trois frayères en 2018, puisque les capsules destinées à la frayère du PK 34,5 ont dû être réparties sur les trois autres frayères.

7.1.2 Approvisionnement en embryons

7.1.2.1 Création des lignées parentales

Quatre femelles (1 à 4) et trois mâles (A, B et C), prélevés dans la rivière Puyjalon par la SSRR (cohortes de 2014 ou 2015) et conservés au LARSA, ont été utilisés pour former 12 lignées parentales d'embryons (œufs fécondés), soit F1A, F1B, F1C, F2A, F2B, F2C, F3A, F3B, F3C, F4A, F4B et F4C. Trois des quatre femelles n'en étaient pas à leur première fraie (tableau 7-1).

Tableau 7-1 Cohorte et nombre de reproductions des saumons géniteurs utilisés pour la fécondation artificielle à l'automne 2018

Numéro des saumons géniteurs ¹	Sexe	Origine	Cohorte	Nombre de reproductions
1 (426327063E)	Femelle	Puyjalon	2014	2 ^e fraie
2 (426502242D)	Femelle	Puyjalon	2014	1 ^{ère} fraie
3 (4263332B22)	Femelle	Puyjalon	2014	3 ^e fraie
4 (985120011434838)	Femelle	Puyjalon	2014	3 ^e fraie
A (4263154075)	Mâle	Puyjalon	2014	1 ^{ère} fraie
B (985120011317543)	Mâle	Puyjalon	2014	1 ^{ère} fraie
C (426462405F)	Mâle	Puyjalon	2015	1 ^{ère} fraie

¹ Les identifiants du LARSA sont présentés entre parenthèses.

La fécondation artificielle a eu lieu au LARSA le matin du 15 novembre 2018. Pour l'extraction de la laitance des mâles, l'orifice urogénital a été essuyé et la laitance a été prélevée en exerçant une pression sur les flancs du saumon. La laitance de chaque mâle (A, B et C) a été placée dans des béciers identifiés individuellement. Ces béciers ont été déposés dans une glacière avec de la glace.

Les quatre femelles ont été anesthésiées dans une solution oxygénée de MS-222 à raison de 80 mg de MS-222 par litre d'eau. Leurs œufs ont ensuite été expulsés en exerçant des pressions répétées sur leur abdomen.

Pour la création des différentes lignées parentales, les œufs de la première femelle (F1) ont été séparés en trois lots. La laitance des trois mâles a ensuite été ajoutée à raison d'un seul mâle par lot. Pour assurer la fécondation des œufs, une période d'attente de cinq minutes a été respectée avant d'ajouter de l'eau. Cette première opération a permis d'obtenir trois lignées parentales distinctes (F1A, F1B et F1C). Celles-ci sont dites « demi-frères » puisqu'elles sont toutes issues de la même femelle. Cette procédure a ensuite été répétée pour les trois autres femelles pour créer les neuf autres lignées parentales.

Enfin, une période de durcissement de deux heures a été allouée aux œufs fécondés, ou embryons, afin de les rendre moins fragiles à la manipulation. Les œufs ainsi que les capsules ont ensuite été désinfectés dans une solution d'iode pendant environ 10 minutes.

7.1.2.2 Transport, acclimatation et encapsulation

Les œufs fécondés ont été transportés en avion vers Havre-Saint-Pierre, le même jour que la fécondation, soit le 15 novembre. Ils ont été transportés dans des casiers protégés avec de la gaze, dans une boîte munie de glace, afin d'assurer le maintien d'un milieu saturé d'humidité (100 %) et d'une basse température. Le transport des œufs fécondés a été réalisé conformément aux recommandations du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ, 1999, voir annexe 20).

Une fois arrivés à la station piscicole de la SSRR localisée aux environs du PK 2 de la Romaine (près de la route 138), les œufs ont été graduellement acclimatés à la température de l'eau de la pisciculture. Le changement de température est réalisé à un rythme maximal de 2 °C par heure, jusqu'à ce que la température des œufs soit similaire à celle de la Romaine (1 °C d'écart ou moins), conformément aux recommandations du MAPAQ (1999). Une fois acclimatés, les œufs fécondés ont été mis dans un bain de désinfection, puis entreposés temporairement dans les tiroirs de la pisciculture jusqu'au lendemain.

Le matin du 16 novembre, les œufs ont été insérés dans des capsules grillagées (encapsulés), à raison de douze œufs par capsule au moyen d'une pipette. L'encapsulage a été effectué à la pisciculture de la SSRR. Il a été réalisé autant que possible dans l'eau. Par la suite, les capsules ont été transportées par camion dans des glacières, jusqu'au secteur du PK 49 de la Romaine.

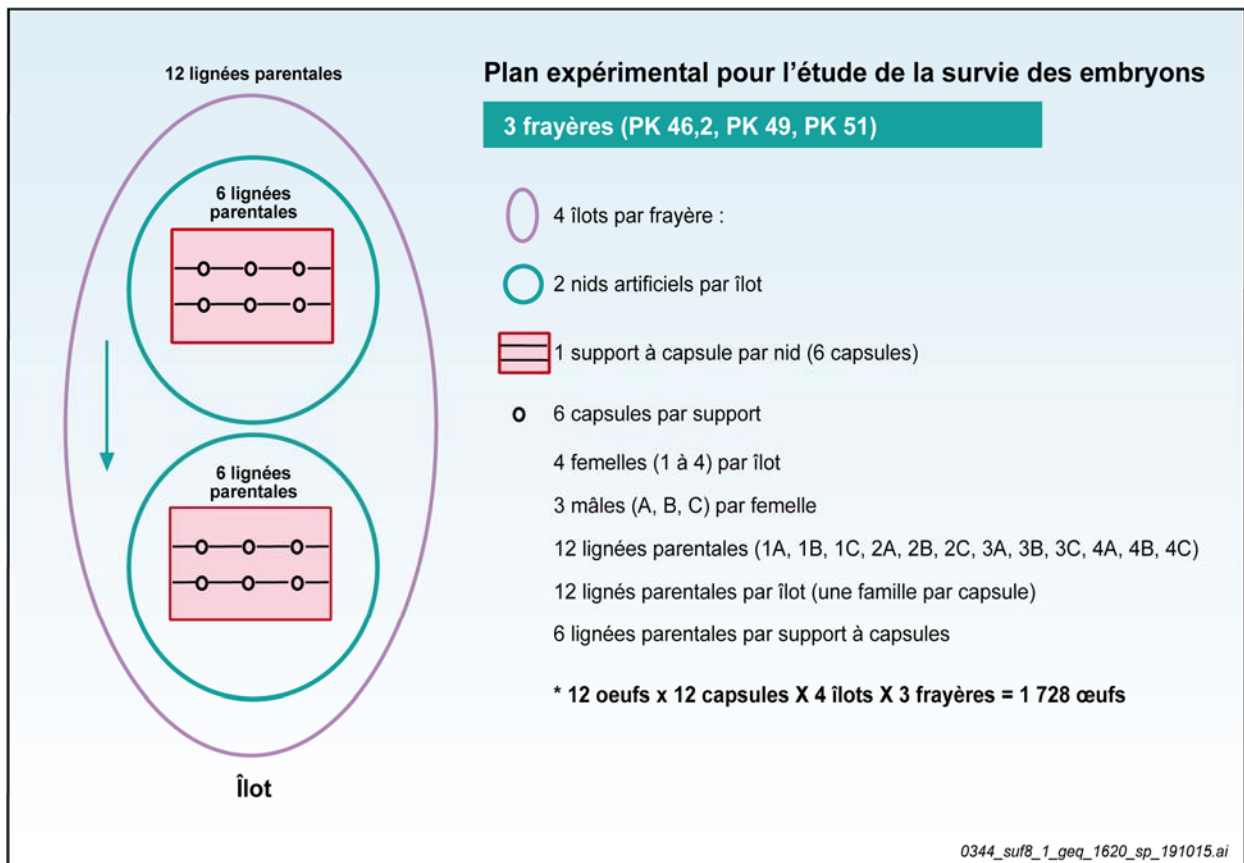
À leur arrivée au terrain, les œufs fécondés ont été acclimatés à la température de l'eau de la rivière Romaine et les œufs morts ont été retirés de chacune des capsules. Les capsules contenant les œufs ont ensuite été réparties sur les supports à capsules décrits précédemment, de façon à ce que six lignées parentales différentes soient représentées dans chacun des supports.

7.1.3 Implantation des capsules

7.1.3.1 Plan expérimental

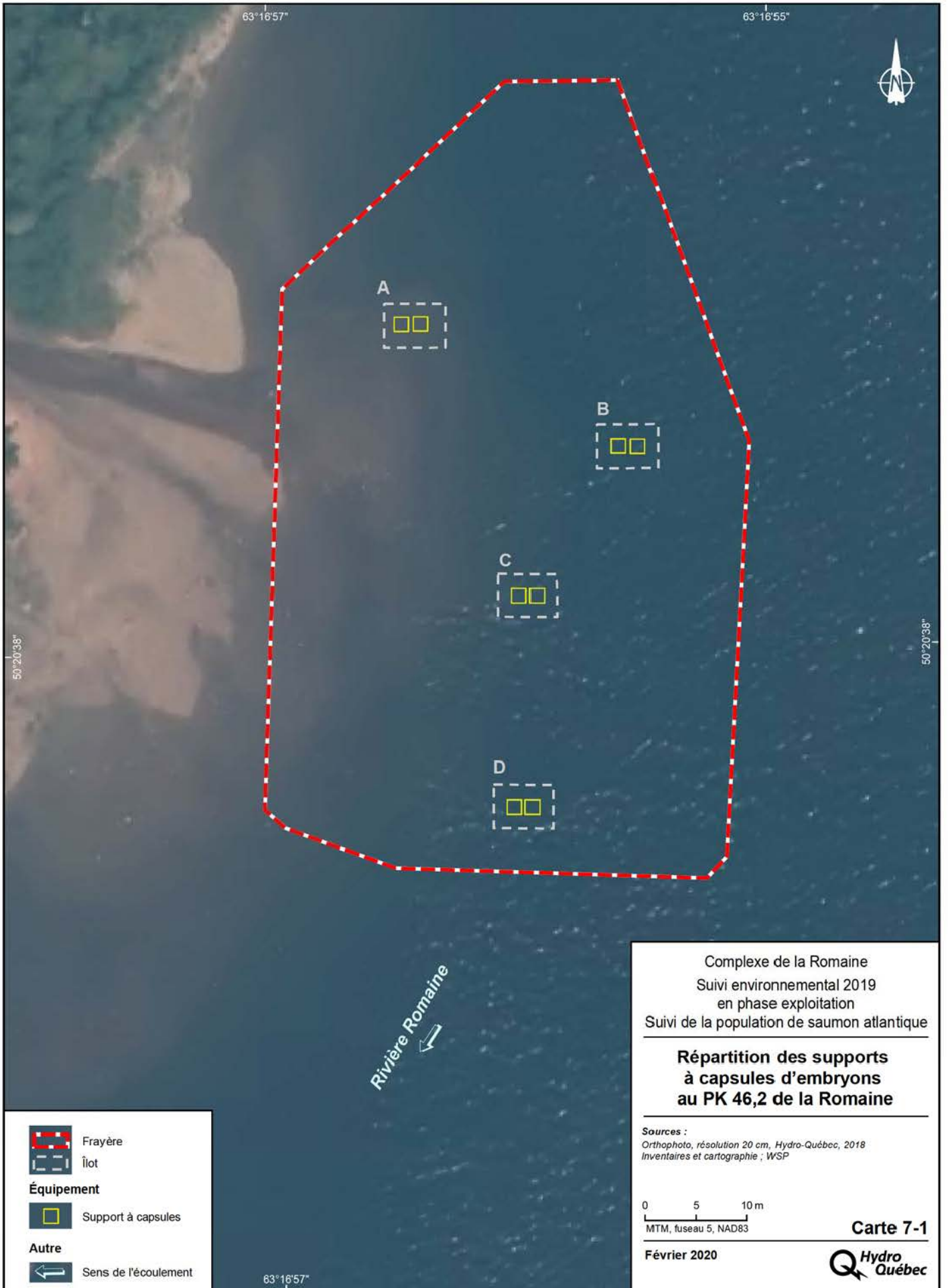
Le plan expérimental pour l'insertion des capsules dans le lit des frayères est présenté à la figure 7-1. Dans chacune des capsules, les 12 œufs insérés provenaient d'une seule lignée parentale de façon à ce que six lignées différentes soient représentées dans chacun des supports sans toutefois être mélangées. Les œufs des six autres lignées parentales ont été introduits dans les capsules d'un second support destiné à un même îlot, de façon à ce que chacun des îlots inclue 12 capsules représentant chacune des 12 lignées parentales d'œufs fécondés. Ainsi, le plan expérimental est basé sur celui utilisé en 2016-2017 et diffère légèrement de ceux des suivis antérieurs puisque 12 lignées parentales sont utilisées plutôt que six et il n'y a pas eu de réplica de chaque lignée parentale sur chacun des îlots.

Comme mentionné précédemment, la répartition des îlots sur les frayères de la Romaine n'a pas pu être réalisée conformément au plan initial en 2018, en raison de l'impossibilité de procéder à l'implantation des capsules sur la frayère du PK 34,5. Ainsi, un îlot additionnel a été aménagé sur chacune des trois autres frayères à l'étude (PK 46,2, PK 49 et PK 51) qui comprend donc quatre îlots distincts plutôt que trois. La position des îlots sur ces trois frayères est précisée sur les cartes 7-1 à 7-3. Sur les trois frayères suivies en 2018-2019, on dénombre donc un total de 12 îlots, 24 supports à capsules et 144 capsules (12 de chaque lignée parentale) et 1 728 œufs fécondés.



Document d'information destiné aux publics concernés par le projet. Pour tout autre usage, communiquer avec : Géomatique, Hydro-Québec Innovation, équipement et services partagés.

Figure 7-1 Plan expérimental pour l'étude de la survie des embryons



Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019
 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

Répartition des supports à capsules d'embryons au PK 46,2 de la Romaine

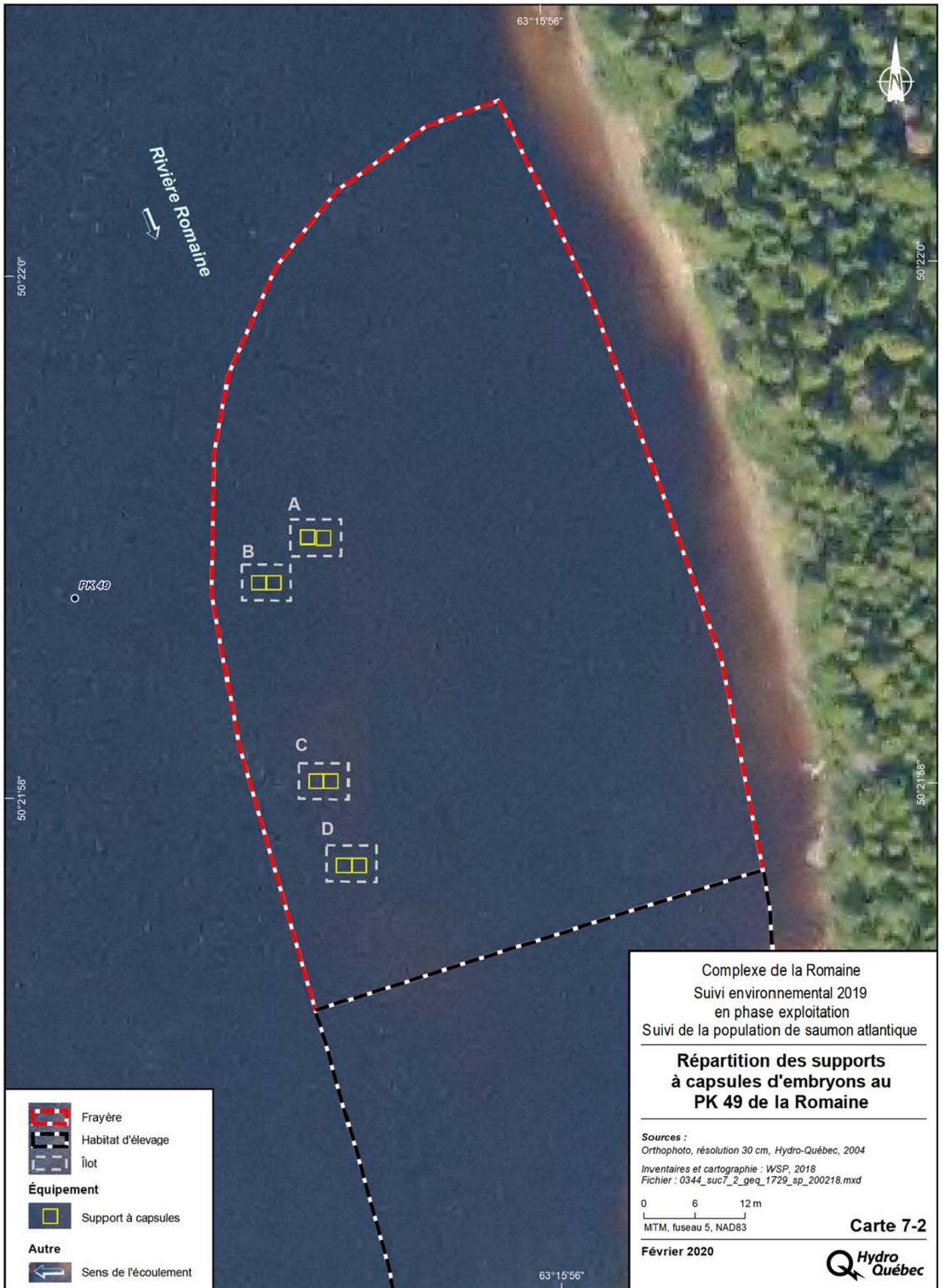
Sources :
 Orthophoto, résolution 20 cm, Hydro-Québec, 2018
 Inventaires et cartographie ; WSP

0 5 10 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Carte 7-1

Février 2020





	Frayère
	Habitat d'élevage
	Îlot
Équipement	
	Support à capsules
Autre	
	Sens de l'écoulement

Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019
 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des supports
 à capsules d'embryons au
 PK 49 de la Romaine**

Sources :
 Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
 Inventaires et cartographie : WSP, 2018
 Fichier : 0344_suc7_2_geq_1729_sp_200218.mxd

0 6 12 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Carte 7-2

Février 2020

63°16'0"



Rivière Romaine



50°22'59"

50°22'59"

50°22'58"

50°22'58"



Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des supports
à capsules d'embryons au
PK 51 de la Romaine**

Sources :
Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP, 2018
Fichier : 0344_suc7_3_geq_1730_sp_200218.mxd

0 3,5 7 m
MTM, fuseau 5, NAD83 (CSRS)

Carte 7-3

Février 2020



Frayère



Îlot

Équipement



Support à capsules

Autre



Sens de l'écoulement

63°16'0"

7.1.3.2 Piquage et mortalité post-fécondation

Un piquage systématique des œufs morts dans les capsules a été réalisé à leur arrivée au terrain le 16 novembre. De plus, lorsque des œufs morts étaient observés dans les capsules au moment de l'implantation, leur nombre était noté sans toutefois qu'ils soient retirés des capsules.

Le taux de mortalité post-fécondation est directement relié à la fécondité des géniteurs. En effet, dans les 24 heures suivant la fécondation, les œufs non fécondés meurent. Les pourcentages de mortalités des embryons issus des différentes femelles mettent en évidence les individus moins féconds. Le taux de mortalité post-fécondation des œufs est évalué de la façon suivante :

$$MPF_{\text{œufs}} = (N \text{ d'œufs morts} / N \text{ d'œufs total}) * 100$$

où :

MPF = mortalité post-fécondation

N = nombre d'œufs

7.1.3.3 Implantation

Sur chacun des douze îlots répartis dans les frayères des PK 46,2, 49 et 51, l'aménagement de deux nids artificiels et l'implantation dans chacun d'un support contenant six capsules avec les œufs fécondés ont été réalisés le 16 novembre 2018, soit le lendemain de la fécondation des œufs. Les supports à capsules ont été enfouis à environ 20 cm sous la surface des frayères. Ils étaient tous en place dans les frayères de la Romaine moins d'une journée et demie après la fécondation des œufs (délai maximal d'environ 32 heures).

Un nid artificiel est une dépression d'environ 30 cm de profondeur sur 75 cm de largeur creusée à la main dans le substrat de la frayère (GENIVAR, 2012c). Les matériaux excavés sont disposés légèrement en aval de la dépression. Une fois creusée, la dépression est remplie à nouveau à l'aide d'une pelle à main en imitant les mouvements de queue que ferait une femelle saumon lors de l'aménagement de son nid. La plus grande partie des matériaux utilisés provient de l'amont de la dépression, bien qu'une partie du substrat préalablement déplacé vers l'aval lors du creusement ait été récupérée pour uniformiser la surface. Une grande proportion des particules fines est emportée par le courant alors que les matériaux grossiers se concentrent dans la dépression. Ceci a donc pour effet de nettoyer le substrat de ses particules fines, imitant ainsi le comportement des saumons femelles. Une fois l'aménagement complété, chaque nid artificiel est caractérisé par une dépression en amont et un bourrelet en aval comme un nid naturel de saumon.

7.1.4 Retrait des capsules

Selon le protocole, les capsules doivent être retirées du substrat au printemps 2019, au moment où environ 50 % des embryons ont éclos. Le pourcentage d'éclosion est un pourcentage théorique basé sur le nombre de degrés-jour de développement calculé à partir de la température de l'eau (voir plus bas). Une prévision de la date cible peut donc être réalisée par le calcul du nombre de degrés-jours en rivière grâce aux données recueillies au moyen du thermographe installé au PK 46 (ROMA0944). Au besoin, les données du PK 34 (ROMA0943) peuvent aussi être utilisées.

Pour le calcul du développement des embryons jusqu'à l'éclosion, l'équation de Crisp (1981), ajustée pour de basses températures par Wallace et Heggberget (1988), est utilisée. L'équation s'exprime comme suit :

$$\text{Log } D = (-2,6562 \text{ Log } (T + 11)) + 5,1908$$

où :

D = durée de l'incubation en jours (j) jusqu'à 50 % d'éclosion
T = température de l'eau en degré Celsius (°C)

L'implantation relativement tardive des œufs en 2018 de même que le régime thermique désormais modifié de la Romaine ont un impact sur le moment d'éclosion des œufs. Dès le début de l'année 2019, en se basant sur les températures enregistrées au PK 46 à l'automne 2018 à partir du 16 novembre, de même que celles de l'hiver et du printemps 2018, la date cible où environ 50 % des œufs auraient éclos avait été estimée de façon préliminaire au 26 mai 2019.

Cette prédiction a ensuite pu être mise à jour avec les températures réelles enregistrées en 2019 dans la Romaine au PK 46, puis au PK 34 à compter du 27 mars 2019 (données manquantes au PK 46 à compter de cette date). En fonction de l'évolution réelle des degrés-jours dans la Romaine en 2018-2019, la date cible a été révisée au 30 mai 2019.

Afin de faciliter le repérage des supports à capsules au moment de leur retrait, ceux-ci ont tous été équipés d'un transpondeur passif.

7.1.5 Taux de survie des embryons

Les taux de survie ont été calculés en fonction de la proportion du nombre d'alevins ou d'embryons vivants ou morts retrouvés au printemps 2019 dans les capsules (excluant donc les mortalités post-fécondation). Aux fins de la présente étude, il est assumé que les embryons vivants au moment du retrait des capsules auraient éclos étant donné que leur développement est pratiquement complété.

L'équation est la suivante :

$$\text{Survie} = ((N \text{ alv vivants} + N \text{ alv morts} + N \text{ emb. vivants}) / N \text{ initial œufs vivants}) * 100$$

où :

alv = alevin
emb = embryon
N = nombre

Les taux de survie ont fait l'objet de comparaisons entre les différentes familles et frayères afin de vérifier si ces facteurs influencent la survie.

7.1.6 Analyses statistiques

Des tests de Kruskal-Wallis sont employés pour mettre en évidence les différences au niveau de la mortalité post-fécondation entre les femelles. Le même type de test est aussi utilisé pour vérifier si le taux de survie des embryons est différent d'une frayère à l'autre ou entre les années de suivi pour une frayère donnée.

Ces tests sont aussi employés pour vérifier si le taux de survie des œufs fécondés diffère selon les femelles ou selon les familles. Lorsqu'un test de Kruskal-Wallis est réalisé pour comparer trois groupes de données ou plus et que celui-ci met en lumière une différence significative, un test de Tukey sur les valeurs converties en rang doit être réalisé afin de comparer les groupes deux par deux de façon à préciser quels groupes affichent une différence significative.

7.2 Résultats et discussion

7.2.1 Mortalité post-fécondation

Le pourcentage moyen de mortalité post-fécondation (environ 24 heures après la fraie) en incluant les mortalités retirées des capsules ainsi que les mortalités observées juste avant l'implantation des capsules (non retirées) pour chaque lignée parentale a varié entre 27,8 et 65,3 % pour une moyenne de 53,6 % (tableau 7-2). Ce sont les lignées parentales « demi-frères » issues de la femelle 1 qui affichent la mortalité post-fécondation la plus faible avec 36,3 % en moyenne, ce qui est significativement différent de la mortalité post-fécondation observée chez les trois autres femelles (58,8 % à 60,2 %). La forte mortalité post-fécondation est probablement due aux manipulations subies par les embryons (transfert dans les capsules, transport). Rappelons qu'une seule femelle en était à sa première fraie, soit la femelle 2 (tableau 7-1). Cette dernière affiche cependant un taux de mortalité post-fécondation similaire aux femelles 3 et 4 qui en étaient à leur troisième reproduction. Les mortalités post-fécondation par capsule ont varié de 8,3 à 100 % (annexe 21).

Tableau 7-2 Mortalité post-fécondation (24 heures après la fraie) des œufs implantés dans les frayères de la Romaine le 16 novembre 2018

Lignée parentale	Mortalité post-fécondation (%) *
1A (n = 12)	27,8 ^f
1B (n = 12)	38,9 ^{ef}
1C (n = 12)	42,4 ^{def}
2A (n = 12)	57,6 ^c
2B (n = 12)	61,8 ^c
2C (n = 12)	56,9 ^{cd}
3A (n = 12)	62,5 ^c
3B (n = 12)	63,2 ^c
3C (n = 12)	52,1 ^{cde}
4A (n = 12)	65,3 ^c
4B (n = 12)	53,5 ^{cde}
4C (n = 12)	61,8 ^c
Moyenne (femelle 1)	36,3 ^b
Effectif (capsules)	36
Écart type	22,6
Médiane	33,3

Tableau 7-2 (suite) Mortalité post-fécondation (24 heures après la fraie) des œufs implantés dans les frayères de la Romaine le 16 novembre 2018

Lignée parentale	Mortalité post-fécondation (%)
Moyenne (femelle 2)	58,8 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	16,7
Médiane	58,3
Moyenne (femelle 3)	59,3 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	16,3
Médiane	58,3
Moyenne (femelle 4)	60,2 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	16,8
Médiane	58,3
Moyenne (4 femelles)	53,6
Effectif (capsules)	144
Écart type	20,7
Médiane	58,3

* Des comparaisons statistiques ont été effectuées entre les lignées parentales puis entre les femelles et des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour chaque groupe (a-b pour les comparaisons de femelles, c-h pour celles de lignées).

7.2.2 Implantation dans les frayères

Les données brutes relatives au nombre d'embryons vivants enfouis dans les frayères sont présentées à l'annexe 21 et résumées au tableau 7-3. Au total, 144 capsules contenant 801 embryons vivants ont ainsi été enfouies dans les trois frayères à l'étude le 16 novembre.

Tableau 7-3 Nombre d'embryons vivants implantés dans les frayères de la Romaine en 2018.

Frayère	Îlot	Nombre de capsules	Nombre d'embryons vivants
PK 46,2 (naturelle)	A	12	76
	B	12	79
	C	12	76
	D	12	64
<i>Sous-total</i>		48	295
PK 49 (aménagée)	A	12	63
	B	12	77
	C	12	62
	D	12	35
<i>Sous-total</i>		48	237
PK 51 (aménagée)	A	12	48
	B	12	73
	C	12	79
	D	12	69
<i>Sous-total</i>		48	269
Total		144	801

2 Voir cartes 7.1 à 7.3 pour la localisation des îlots.

7.2.3 Débit et température de l'eau

Au moment de l'implantation des embryons fécondés dans les frayères de la Romaine le 16 novembre 2018, la température journalière moyenne de l'eau au PK 46 (station ROMA0944) était de 3,9 °C. Rappelons cependant que la température de l'air était très basse pendant les travaux de terrain (environ - 8 °C), rendant non sécuritaire la plongée avec alimentation de surface sur la frayère du PK 34,5. Heureusement, le débit relativement faible (environ 150 m³/s au PK 46) a permis que les embryons soient implantés en apnée sur les trois autres frayères.

L'évolution de la température de l'eau et des débits de la Romaine pendant la période où les capsules d'incubation sont demeurées enfouies dans les frayères (16 novembre 2018 au 8 juillet 2019) est montrée sur la figure 7-2. La température de l'eau est rapidement passée sous les 2 °C après l'implantation des embryons et est demeurée entre 0 et 2 °C jusqu'à la mi-avril. Elle s'est ensuite élevée graduellement et avait presque atteint 10 °C au PK 34 le 8 juillet. Rappelons que le régime thermique de la rivière est désormais influencé par la présence des réservoirs dans la portion amont du bassin versant. Ainsi, comparativement aux conditions naturelles, la température de l'eau a été légèrement plus élevée en hiver, mais elle s'est réchauffée beaucoup plus lentement au printemps.

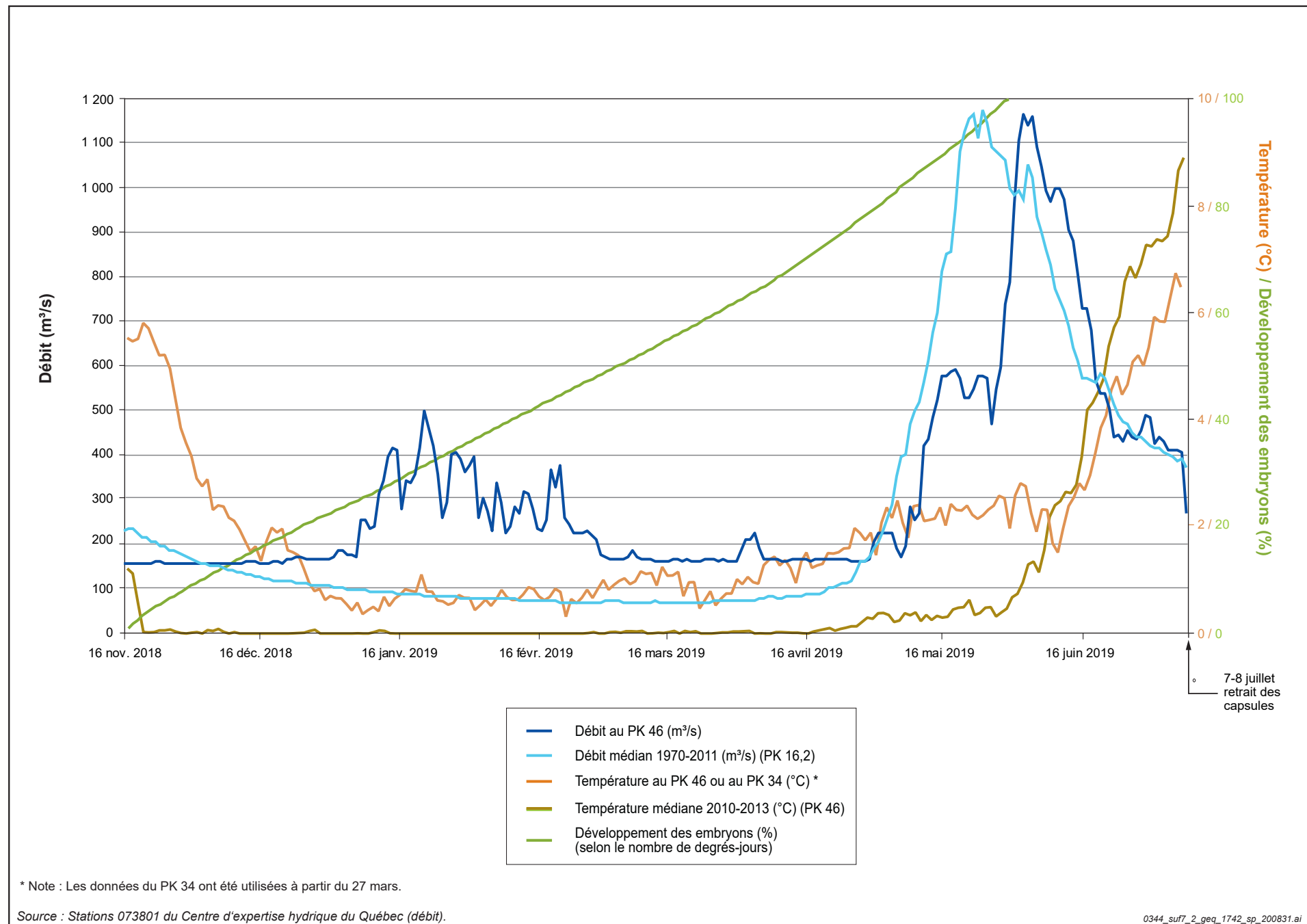
Quant au débit, à l'exception des deux premiers mois de 2019 où il a régulièrement oscillé entre 200 et 400 m³/s, le débit hivernal de la Romaine au PK 46 est demeuré stable, généralement entre 150 et 160 m³/s, jusqu'à la fin avril. Le débit a ensuite augmenté rapidement au mois de mai pour atteindre un maximum de près de 1 200 m³/s au début de juin. La décrue a ensuite eu lieu pendant les trois premières semaines de juin, avant que le débit se stabilise un peu au-dessus de 400 m³/s, correspondant au fonctionnement de deux groupes T/A. Le débit est ensuite descendu à 200 m³/s le 8 juillet, à la suite de l'arrêt d'un groupe T/A.

7.2.4 Développement embryonnaire et retrait des dispositifs

La figure 7-2 présente aussi le pourcentage médian cumulatif d'éclosion théorique au cours de la période où les capsules d'incubation étaient enfouies dans les frayères de la Romaine, soit du 16 novembre 2018 au 8 juillet 2019. Le pourcentage médian cumulatif d'éclosion a toutefois atteint 100 % bien avant le retrait des dispositifs, soit le 30 mai (annexe 22). C'est donc théoriquement à cette date que 50 % des embryons avaient éclos et le retrait des dispositifs d'incubation aurait idéalement dû être fait dans les jours suivants. Toutefois, cette période correspondait aussi au pic de la crue printanière rendant impossible un retrait sécuritaire des dispositifs.

C'est seulement quelques semaines plus tard que le retrait des capsules d'incubation a pu être réalisé, soit les 7 et 8 juillet 2019 (annexe 3, photo 28). Les capsules d'incubation ont d'abord été récupérées dans les frayères des PK 46,2 et 49 le 7 juillet, puis dans la frayère du PK 51 le 8 juillet, après le retrait d'un groupe T/A à la centrale de la Romaine-1. La totalité des 24 supports à capsules (144 capsules) implantés dans trois frayères de la Romaine à l'automne 2018 a été récupérée.

Figure 7-2 Températures et débits moyens journaliers de la Romaine (PK 46 et PK 34), de novembre 2018 à juillet 2019, et développement des embryons pendant leur incubation



7.2.5 Taux de survie

Le tableau 7-4 présente notamment les taux de survie moyens à l'éclosion des embryons implantés dans les trois frayères de la Romaine. Les taux de survie présentés excluent les mortalités post-fécondation (MPF), afin de tenir compte uniquement des conditions de développement des œufs dans le substrat des frayères. Cela permet aussi de réduire l'influence sur le taux de survie en cas de différence de viabilité des œufs entre saumons femelles. La base de données complète incluant les données relatives à chacune des capsules implantées est présentée à l'annexe 21.

Tableau 7-4 État des œufs implantés dans les frayères de la Romaine lors de l'implantation des capsules en 2018 et au moment de leur récupération en 2019

Paramètre	Effectif (ou %)			
	PK 46,2	PK 49	PK 51	Total
Implantation des capsules (16 novembre 2018)				
Nombre de capsules (effectif)	48	48	48	144
Nombre initial d'œufs	576	576	576	1 728
Nombre d'œufs implantés ¹	299	260	272	831
Nombre d'embryons vivants ²	295	237	269	801
Mortalité post-fécondation (%)	48,8	58,9	53,3	53,6
Retrait des capsules (7 et 8 juillet 2019)				
Non retrouvés ³	25	29	15	69
Œufs morts	265	203	230	698
Embryons morts	6	11	4	21
Alevins morts	0	1	4	5
Alevins vivants	3	16	19	38
Taux de survie				
Moyenne (%) ⁴	1,0 ^b	7,2 ^{ab}	8,6 ^a	5,4
Écart-type	3,8	14,6	15,2	12,6
Intervalle de confiance (95 %)	1,1	4,2	4,4	2,1
Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximum	20,0	60,0	66,7	66,7
Médiane	0,0	0,0	0,0	0,0

1 Nombre d'œufs dans les capsules après le piquage ayant mené au retrait des mortalités.

2 Embryons vivants au moment de l'implantation des capsules (en excluant les mortalités observées au moment de l'implantation, mais non retirées des capsules).

3 Les effectifs manquants sont considérés morts et décomposés. Ils incluent probablement les œufs morts au moment de l'implantation qui n'avaient pas été retirés des capsules d'incubation (n = 30). Ils pourraient également inclure des œufs morts tôt après l'implantation des capsules ou encore des alevins morts rapidement après l'éclosion, soit plusieurs semaines avant le retrait des capsules.

4 Taux de survie calculé en excluant les mortalités post-fécondation. Des comparaisons statistiques ont été effectuées entre les frayères et des lettres différentes indiquent une différence significative (p < 0,05) entre les valeurs obtenues.

7.2.5.1 Taux de survie dans le lot témoin

Les embryons des groupes témoins ont été conservés à la pisciculture de la SSRR pendant l'hiver 2018-2019. Malheureusement, il n'a pas été possible d'obtenir les données concernant la survie des embryons appartenant aux 12 lignées parentales également implantées dans les frayères de la Romaine.

7.2.5.2 Taux de survie dans le lot expérimental

Répartition des embryons par stade

Le tableau 7-4 décrit le contenu des 144 capsules d'incubation au moment de leur implantation dans les frayères de la Romaine à l'automne 2018, puis au moment de leur retrait au début de l'été 2019. La description des stades de développement est fournie à l'annexe 20 (deuxième document). Le contenu de chacune des capsules a été minutieusement documenté et photographié dans les deux jours suivant le retrait des capsules. Les photos 29 et 30 de l'annexe 3 montrent deux exemples du contenu des capsules retirées des frayères de la Romaine après la période d'incubation.

Sur les 831 œufs implantés, dont 801 étaient vivants au moment de leur enfouissement dans les frayères, 43 alevins ont été retrouvés, soit 38 alevins vivants et 5 alevins morts. Aucun embryon vivant n'a été retrouvé lors du retrait des capsules, probablement en raison de leur retrait tardif. On a également dénombré 21 embryons morts et 698 œufs morts. D'après le nombre initial d'œufs implantés, 69 œufs, embryons ou alevins n'ont pas été retrouvés. Ceux-ci pourraient être morts tôt après leur enfouissement dans le substrat et s'être dégradés plus rapidement. Ils incluent donc probablement 30 œufs identifiés comme morts au moment de l'implantation qui n'avaient cependant pas été retirés des capsules d'incubation. En considérant que la totalité des œufs non retrouvés sont morts, le taux de survie s'élève à 5,4 % (43/801). En considérant la date tardive de retrait des capsules, il n'est pas impossible que les œufs non retrouvés incluent également un certain nombre d'alevins morts quelques semaines avant le retrait, qui pourraient s'être décomposés. Dans ce contexte, le taux de survie estimé doit être considéré comme un minimum.

Taux de survie des embryons par capsule

Le taux de survie des embryons pour chacune des 144 capsules implantées est présenté en détail à l'annexe 21. Le taux de survie (sans MPF) a varié entre 0 et 67 % pour les différentes capsules implantées, mais il a été nul dans une majorité de cas, soit dans 120 des 144 capsules.

Taux de survie des embryons par frayère

Les taux de survie par frayère sont présentés au tableau 7-4. Bien que les taux de survie soient faibles dans les trois frayères, il est statistiquement plus faible pour la frayère du PK 46,2 avec environ 1 %, comparativement à 8,6 % pour la frayère aménagée du PK 51. Le taux de survie de la frayère aménagée au PK 49 (7,2 %) constitue une valeur intermédiaire non statistiquement différente des deux autres.

Pour chacune des trois frayères, on retrouve une majorité de capsules ayant un taux de survie nul, soit 94 % des capsules au PK 46,2 (45/48), 81 % au PK 49 (39/48) et 75 % au PK 51 (36/48).

Les taux de survie présentés ici peuvent être utilisés comme des indicateurs des conditions d'incubation qui prévalent dans les différentes frayères étudiées en conditions aménagées. Cependant, ils ne reflètent pas fidèlement les conditions naturelles de fécondation et d'incubation des œufs de saumon de la Romaine. Plusieurs facteurs sont en effet différents du milieu naturel : fécondation en milieu contrôlé, transport et acclimatation des œufs sur le terrain, encapsulation,

insertion dans un nid artificiel, etc. Notons que les algues présentes dans la Romaine depuis la mise en eau des réservoirs semblent pouvoir facilement colmater en tout ou en partie les capsules grillagées et réduire ainsi l'oxygénation des œufs.

À l'instar des résultats de la présente étude, les résultats obtenus lors d'autres études scientifiques portant sur la survie des embryons de salmonidés présentent aussi une grande variabilité. La revue de la documentation scientifique faite en 2012 indiquait des taux de survie à l'éclosion variant de 0 à 98 % et un taux de survie à l'émergence variant de 0 à 84 % (GENIVAR, 2012a).

Taux de survie des embryons par femelle

Les taux de survie par femelle sont présentés au tableau 7-5. Les œufs des femelles 1 à 4 affichent respectivement des taux de survie (sans MPF) de 6,2 %, 3,9 %, 4,0 % et 7,0 %. Il n'y a pas de différence significative ($p < 0,05$) entre les femelles. Rappelons que les œufs de la femelle 1, qui en était à sa deuxième reproduction, sont ceux qui affichaient le plus faible taux de mortalité post-fécondation (tableau 7-2).

Tableau 7-5 Taux de survie des embryons par lignée parentale et par femelle dans les frayères de la Romaine au début de l'été 2019

Lignée parentale ¹	Taux de survie (%) *
1A (n = 12)	7,7 ^b
1B (n = 12)	4,6 ^b
1C (n = 12)	6,0 ^b
2A (n = 12)	3,3 ^b
2B (n = 12)	3,6 ^b
2C (n = 12)	4,8 ^b
3A (n = 12)	11,1 ^b
3B (n = 12)	1,9 ^b
3C (n = 12)	0 ^b
4A (n = 12)	10,0 ^b
4B (n = 12)	7,5 ^b
4C (n = 12)	3,6 ^b
Moyenne (femelle 1)	6,2 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	12,6
Médiane	0
Moyenne (femelle 2)	3,9 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	13,1
Médiane	0
Moyenne (femelle 3)	4,0 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	10,9
Médiane	0
Moyenne (femelle 4)	7,0 ^a
Effectif (capsules)	36
Écart type	14,0
Médiane	0
Moyenne (4 femelles)	5,4
Effectif (capsules)	144
Écart type	12,6
Médiane	0

¹ Les embryons de chaque lignée parentale sont répartis dans 12 capsules, soit quatre capsules par frayère.

* Des comparaisons statistiques ont été effectuées entre les lignées parentales puis entre les femelles. Des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour chaque groupe (a pour les comparaisons de femelles, b pour celles de lignées).

Taux de survie des embryons par lignée parentale

Les taux de survie par lignée parentale sont présentés au tableau 7-5. On observe que pour trois des quatre femelles, c'est la combinaison avec le mâle A qui se traduit par le taux de survie le plus élevé. Les combinaisons entre les femelles 3 et 4 et le mâle A sont les deux seules à afficher un taux de survie au-dessus de 10 %. Rappelons que les femelles 3 et 4 en étaient à leur troisième reproduction (tableau 7-1). Les autres combinaisons affichent des taux de survie se situant entre 0 et 8 %. Pour toutes les lignées parentales, il faut cependant souligner qu'un taux de survie nul a été observé dans une majorité des capsules. Ainsi, bien que les taux de survie moyens diffèrent d'une lignée parentale à l'autre, il n'y a pas de différence statistique significative ($p < 0,05$) entre ceux-ci.

7.2.6 Comparaison interannuelle

Comparativement au suivi précédent en 2016-2017, le taux de survie des embryons a diminué dans les trois frayères à l'étude en 2018-2019 passant de 4,6 % à 1,0 % au PK 46,2, de 10,1 % à 7,2 % au PK 49 et de 12,8 % à 8,6 % au PK 51 (tableau 7-6), sans que ces différences (pour chaque frayère) ne soient toutefois statistiquement significatives ($p < 0,05$).

Les tendances observées entre ces trois frayères sont remarquablement similaires entre les deux suivis avec un taux de survie plus élevée dans la frayère du PK 51, suivi de celle du PK 49, puis enfin de celle du PK 46,2.

Tableau 7-6 Taux de survie des embryons encapsulés de saumon implantés dans les frayères de la Romaine et conservés en pisciculture (témoin)

Frayère	2010-2011	2012-2013	2016-2017	2018-2019
Frayère du PK 34,5 (naturelle)				
Nombre de capsules récupérées	0	36	36	-
Taux de survie moyen (\pm I.C.)	-	^a 6,3 % \pm 4,2	^a 2,8 % \pm 3,2	-
Taux de survie médian	-	0 %	0 %	-
Frayère du PK 46,2 (naturelle)				
Nombre de capsules récupérées	27	30	36	48
Taux de survie moyen (\pm I.C.)	^a 50,1 % \pm 12,6	^b 31,1 % \pm 12,4	^c 4,6 % \pm 3,9	^c 1,0 % \pm 1,1
Taux de survie médian	55,6 %	16,7 %	0 %	0 %
Frayère du PK 49 (aménagée)				
Nombre de capsules récupérées	-	-	36	48
Taux de survie moyen (\pm I.C.)	-	-	^a 10,1 % \pm 6,2	^a 7,2 % \pm 4,2
Taux de survie médian	-	-	0 %	0 %
Frayère du PK 51 (aménagée)				
Nombre de capsules récupérées	-	-	36	48
Taux de survie moyen (\pm I.C.)	-	-	^a 12,8 % \pm 7,2	^a 8,6 % \pm 4,4
Taux de survie médian	-	-	0 %	0 %
Groupe témoin				
Nombre de familles	6	6	12 ¹	-
Taux de survie moyen (\pm I.C.)	95,6 % \pm 3,9	93,6 % \pm 1,7	76,3 %	-
Taux de survie médian	99,1 %	94,2 %	-	-

¹ Les 12 familles sont ici représentées de façon inégale et asymétrique dans 6 tiroirs de la pisciculture de la rivière Romaine.

* Des comparaisons statistiques ont été effectuées entre les années et des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues pour chaque frayère.

La frayère du PK 46,2 est la seule à avoir été étudiée lors de chacune des quatre années de suivi. On observe dans cette frayère une nette diminution du taux de survie (par un facteur 10) entre les deux suivis réalisés en conditions naturelles (2010-2011 et 2012-2013) puis ceux réalisés en conditions aménagées (2016-2017 et 2018-2019). Ces différences sont significatives ($p < 0,05$) entre chacune des années en conditions naturelles et entre celles-ci et les années en conditions aménagées. Il n'y a pas de différence statistique entre les deux années en conditions aménagées. Les suivis granulométriques réalisés sur cette frayère (rapport distinct) montrent cependant peu de changements entre les derniers suivis réalisés en conditions aménagées et les données recueillies en conditions naturelles.

Il est difficile de statuer sur l'influence des aménagements hydroélectriques en raison du faible taux de survie observé avant 2014 à la frayère du PK 34,5 et de la grande variabilité observée à la frayère du PK 46,2 pour les deux suivis effectués avant 2014. Néanmoins, les frayères du cours principal de la Romaine ont été partiellement recouvertes d'algues depuis la première mise en eau en 2014. De plus, on observe localement des accumulations de sédiments fins, notamment sur la frayère aménagée du PK 49 (section 4.2.3). Par ailleurs, malgré ces apports en sédiments fins et en algues, les femelles parviennent à nettoyer le substrat lors du creusage des nids (WSP, 2017a).

7.2.7 Facteurs influençant la survie

La survie des embryons est un premier indicateur de la qualité des frayères et d'un cours d'eau en général. Le développement embryonnaire dépend d'interactions complexes de l'environnement, dont la qualité de l'eau interstitielle (Lacroix, 1985; Peterson et Quinn, 1996; Malcolm et coll., 2003; Malcolm et coll., 2004), le taux de renouvellement de l'eau (Hamor et Garside, 1976), la température de l'eau (Crisp, 1988; Stonecypher et coll., 1994) et la composition granulométrique du substrat (Levasseur et coll., 2006; Julien et Bergeron, 2006). Cependant, évaluer la survie en nature et mesurer l'impact de ces différents facteurs environnementaux sur celle-ci constituent des défis d'envergure, car il est très difficile d'isoler un de ces facteurs pour mesurer son effet (Beaufour, 2007).

En conditions naturelles (suivi de 2012-2013), on observe d'ailleurs un grand écart dans les taux de survie mesurés dans les deux principales frayères naturelles de la Romaine, ce qui reflète vraisemblablement leurs caractéristiques différentes, notamment en ce qui a trait à leur profondeur, au type de substrat qu'on y trouve et aux apports en matériel fin qu'elles subissent. Ces résultats soulignent l'importance des caractéristiques propres à chaque frayère dans la survie des embryons et la nécessité de les analyser séparément dans le contexte du suivi.

De la même manière, les conditions en rivière peuvent varier d'une année à l'autre pour une même frayère. Dans le cas de la frayère naturelle du PK 46,2, on observe une différence marquée entre les conditions naturelles et aménagées. Cette différence interannuelle peut en partie s'expliquer par les conditions en rivière qui varient d'une année à l'autre (p. ex. débit, température, frasil, glace, etc.), rendant plus difficile une comparaison pré et post-aménagement. Néanmoins, il semble que les changements survenus dans cette frayère depuis que la rivière est influencée par les aménagements hydroélectriques aient eu un effet sur les taux de survie des embryons.

8. Conclusion

Depuis 2014, toutes les phases du cycle vital en eau douce de la population de saumon atlantique du cours principal de la Romaine sont dorénavant sous l'influence des aménagements hydroélectriques du complexe de la Romaine. Les indicateurs retenus pour suivre l'état de la population de saumon du cours principal de la Romaine sont non seulement influencés par la modification de ses régimes hydrologique et thermique, mais aussi par les aménagements de frayères et d'aires d'alimentation réalisés entre les PK 49 et 51, de même que par les activités de restauration (ensemencements d'alevins) entreprises par la SSRR.

La chronologie de la dévalaison des smolts en 2019 montre un patron atypique similaire à ceux observés depuis 2015, avec un décalage d'environ deux semaines dans la période de dévalaison et un prolongement de celle-ci jusqu'à la mi-juillet. Les résultats des analyses génétiques indiquent à nouveau une prédominance des smolts issus de l'affluent Puyjalon (82 %) dans la dévalaison annuelle. Par ailleurs, en 2019, 24 % des smolts provenaient des ensemencements réalisés par la SSRR en 2017. Ces smolts représentent environ un cinquième de l'effectif affilié à la Puyjalon et un tiers de celui de la Romaine. Pour la troisième année consécutive, un filet-trappe a également été installé dans la rivière Puyjalon en 2019. Les captures de smolts y ont à nouveau été plus nombreuses que dans la Romaine.

L'analyse des smolts capturés en 2019 montre que ceux provenant de la Romaine continuent d'afficher une croissance plus rapide que ceux provenant de la Puyjalon. Ils smoltifient également plus rapidement (2,22 ans dans la Romaine et 2,74 ans dans la Puyjalon). Les spécimens de la population Romaine sont plus grands à 2 ans que ceux de la Puyjalon à 3 ans. La meilleure croissance apparente dans la Romaine peut être liée à une plus faible densité dans cette rivière, car les saumons des deux rivières soumis aux mêmes conditions d'élevage en laboratoire montrent un patron de croissance contraire.

En se basant sur une analyse de CMR, la population de smolts du bassin versant de la Romaine (incluant le tributaire Puyjalon) a été évaluée à 34 302 spécimens. Il s'agit du plus grand total depuis le début de ce suivi annuel en 2013 et du deuxième plus élevé après 2014 si on ne tient compte que des smolts sauvages. Les analyses génétiques ont permis de déterminer que la sous-population de smolts issue de la reproduction naturelle dans la Romaine s'élève à 4 150 spécimens, en hausse par rapport aux deux années précédentes. Toutefois cette valeur est nettement en deçà de ce qui prévalait en conditions naturelles. Les facteurs ou cofacteurs suivants sont identifiés pour expliquer la baisse observée du nombre de smolts de la sous-population de la Romaine :

- les modifications au régime thermique de la Romaine depuis 2014;
- la présence accrue d'algues dans les habitats du saumon;
- la gestion des débits à l'aval de la centrale de la Romaine-1.

La modification du régime thermique avait été anticipée à l'étude d'impact. Bien que ce facteur puisse affecter la croissance des juvéniles, il ne peut à lui seul expliquer la baisse observée du nombre de smolts en dévalaison. D'ailleurs, aucun résultat des suivis menés depuis 2015 n'indique que ce facteur puisse en être la cause.

Pour ce qui est de l'augmentation de la quantité d'algues dans les habitats du saumon en aval de la centrale de la Romaine-1, celle-ci n'avait pas été anticipée lors de l'étude d'impact. Ce phénomène est vraisemblablement temporaire et lié à la mise en eau des réservoirs et a d'ailleurs été moins marqué en 2019, vraisemblablement parce que le plus récent remplissage de réservoir (Romaine 3) remonte à 2017. La présence d'algues à la dérive dans la colonne d'eau peut de plus occasionner des difficultés d'échantillonnage en raison de leur accumulation dans les engins de capture, ce qui a particulièrement le cas en 2015 et en 2016.

En ce qui concerne la gestion des débits à l'aval de la Romaine-1, une analyse détaillée du patron de gestion de l'eau depuis la mise en service du complexe montre qu'à partir de décembre 2016, l'amplitude et la fréquence des variations de débit ont augmenté par rapport aux années précédentes, bien que les valeurs minimales de débit réservé aient été respectées. Ces augmentations s'expliquent notamment par le fait qu'on ait fréquemment eu recours aux valeurs de débits réservés, principalement durant la période hivernale, afin d'assurer des réserves suffisantes pour supporter le débit réservé en fin d'hiver, d'optimiser la production d'énergie ou encore de préserver les réserves disponibles pour la demande énergétique. Suite aux résultats des suivis réalisés en 2017 et 2018, des ajustements au patron de gestion de l'eau ont été apportés par Hydro-Québec à l'automne 2018 et intégrés aux directives d'exploitation de la centrale de la Romaine-1 afin de réduire l'amplitude et la fréquence des variations de débit en hiver. Les nouvelles directives de gestion de l'eau ont été appliquées durant l'hiver 2018-2019 diminuant ainsi de manière importante les fluctuations de débit pour cette période sensible pour le saumon.

Le suivi de la détection télémétrique des saumons juvéniles s'est poursuivi en 2019 et 132 transpondeurs passifs ont été implantés sur des juvéniles de saumon qui ont ensuite été remis à l'eau sur le tapis d'antennes télémétriques installé en 2016 sur l'aire d'élevage amont du PK 49. Un suivi télémétrique mobile des juvéniles marqués a été réalisé quelques semaines plus tard permettant d'identifier 11 juvéniles sur les différents habitats aménagés du PK 49. Le suivi en continu des juvéniles marqués sur le tapis d'antennes fait l'objet d'un rapport distinct de l'INRS-ETE.

Le nombre de juvéniles recensés sur les aménagements visant à favoriser la croissance et la survie des saumons juvéniles a à nouveau été très faible en 2019, mais les densités ont toujours été faibles dans ces habitats depuis le premier suivi en 2015. Il est toutefois possible que la gestion hivernale des débits dans les dernières années ait pu affecter l'abondance des juvéniles dans ces habitats qui sont localisés près de la centrale de la Romaine-1 et donc davantage influencés par des fluctuations de niveau d'eau et de vitesse.

Comme observé lors des suivis précédents, les habitats aménagés étaient à nouveau partiellement recouverts de sable lors du suivi de la fin de l'été 2019. Sur l'aire d'élevage du PK 51, soit l'aménagement le plus ensablé depuis 2016, le recouvrement en sable y était moins étendu en 2019 qu'en 2018, mais en contrepartie, l'épaisseur des dépôts de sable était plus grande. Quant aux carottages réalisés dans les frayères aménagées, ceux-ci indiquent une proportion plus grande de sédiments fins dans la frayère du PK 51, et principalement pour une des quatre carottes, mais celle-ci respecte néanmoins la valeur cible pour assurer un bon taux de survie des embryons.

Comme au cours des derniers suivis, le saumon a frayé un peu plus tardivement qu'en conditions naturelles dans le cours principal de la Romaine, soit vers la fin octobre et le début novembre. L'inventaire des nids de fraie à l'automne a permis d'en dénombrier 144 dans le bassin versant de la Romaine, soit 87 dans le cours principal et 57 dans la Puyjalon et ses tributaires. Bien qu'en deçà des années 2016 et 2017, le nombre de nids à l'échelle du bassin versant de la Romaine demeure plus élevé que lors des recensements réalisés entre 2010 et 2014. Dans le cours principal de la Romaine, la proportion de nids en amont des chutes à Charlie a été plus faible qu'au cours des autres suivis réalisés en conditions aménagées et se compare davantage à ce qui prévalait en conditions naturelles. Néanmoins, la frayère aménagée du PK 51 n'a jamais été aussi utilisée par le saumon qu'en 2019, alors que celle du PK 49 a vu son utilisation chuter passablement.

Le suivi de l'échouage des juvéniles lors du passage de deux à un groupe T/A à puissance optimale, soit l'équivalent d'une transition de 400 m³/s à 200 m³/s, a pu être effectué au début de l'été 2019. Sur les quelque 300 spécimens appartenant à cinq espèces de poissons qui ont été recensées (poissons échoués ou isolés dans des cuvettes), on ne dénombre qu'un seul saumon, soit un alevin capturé dans une cuvette près du PK 33, ce qui corrobore les résultats des années antérieures et indique que les juvéniles de saumon seraient peu vulnérables à l'échouage.

Des embryons de saumon ont été implantés dans trois des quatre principales frayères de la Romaine à l'automne 2018 et les résultats obtenus à l'été 2019 indiquent un taux de survie très faible variant de 1,0 à 8,6 % selon la frayère. La frayère du PK 46,2 qui a été visée par chacun des quatre suivis des embryons réalisés jusqu'ici, incluant deux suivis en conditions naturelles, montre une diminution significative du taux de survie des embryons depuis la mise en eau des réservoirs (50 % en 2010-2011, 31 % en 2012-2012, 5 % en 2016-2017 et 1 % en 2018-2019).

9. Bibliographie

AUBÉ-MAURICE, B., BELZILE, L., JEANMOYE-TURCOTTE, G et J.-C. GUAY. 2019. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2018 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Préparé pour Hydro-Québec. 128 p. et annexes. Version finale.

AECOM. 2013. *Évaluation de la densité et de la distribution des saumons juvéniles dans l'affluent Puyjalon*. Rapport présenté à la Société saumon de la rivière Romaine. 20 p. et annexes.

ALBERT V, BERNATCHEZ L. 2006. *Complexe de la Romaine – Caractérisation génétique des populations de saumons de la rivière Romaine. Rapport sectoriel*. Rapport présenté par l'Université Laval à GENIVAR Groupe Conseil inc. et à Hydro-Québec. 26 p. et annexes.

APRIL, J., M. GUERARD et W. CAYER-BLAIS. 2019. *Suivi des populations témoins de saumon atlantique au Québec : rapport scientifique 2018*, Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, 66 p.

BASTIEN, J., LORRAIN, S. & R. SCHETAGNE. 2007. *Aménagement hydroélectrique de l'Eastmain-1 – Suivi environnemental en phase d'exploitation – Suivi de la qualité de l'eau 2007*. Rapport d'Environnement Illimité inc. présenté à Hydro-Québec Production, Direction Barrages et Environnement. 35 p. et annexes.

BEAUFOUR, A. 2007. *Utilisation d'œufs de truite commune (Salmo trutta) en tant qu'indicateur biologique : étude de l'impact des facteurs physicochimiques du milieu et de l'origine maternelle des œufs sur le développement embryonnaire*. Mémoire de Master 2 présenté à l'Université de Rennes, 35 p. et annexes.

BELLES-ISLES, M., PLOURDE, Y., PELLETIER, P., THÉBERGE, C., THIBODEAU, P. 2004. *Complexe Romaine- Aménagement intégral de la rivière Romaine. Étude préliminaire sur les débits réservés et la faune ichtyenne*. Rapport du Groupe conseil GENIVAR à la direction Environnement et Services techniques d'Hydro-Québec. 134 p. et annexes.

BLOTT, S.J.. PYE, K. 2001. Gradstat : A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 26, p. 1237-1248.

BOWSER, P.R. 2001. Anesthetic Options for Fish. *In Recent Advances in Veterinary Anesthesia and Analgesia: Companion Animals*, 2001. International Veterinary Information Service, Ithaca, NY.

CRISP, D.T. 1981. A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes. *Freshwater Biology* 11: 361-368.

CRISP, D.T. 1988. Prediction, from temperature, of eying, hatching, and 'swim-up' times of salmonid embryos. *Freshwater Biology* 19: 41-48.

CUNJAK, R.A, PROWSE, T.D., PARRISH, D.I. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: the season of parr discontent? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 55 (suppl. 1) : pp.161-180.

DUMAS, J., MARTY, S. 2006. A new method to evaluate egg-to-fry survival in salmonids, trial with Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 68: 284-304.

DUMAS, J., OLAIZOLA, M., BARRIÈRE, L. 2007. Survie embryonnaire du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) dans un cours d'eau du sud de son aire de répartition, la Nivelles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, n° 384 : 39-60.

FONTAINE, P.-M., LÉVESQUE, F., PROULX, M., HEPPELL, M. 2000. *Étude du saumon de la rivière Romaine en 1999*. Rapport préliminaire présenté à Hydro-Québec par le Groupe Conseil GENIVAR inc. 52 p. et annexes.

GAGNÉ, N., S. LE BRETON, J. APRIL et W. CAYER-BLAIS. 2018. *Travaux de recherche sur le saumon atlantique de la rivière du Vieux Fort, saison 2018*. Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune Côte-Nord et Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, 30 p.

GENIVAR. 2002. *Aménagement hydroélectrique de la Romaine-1 – Étude de la population de saumon atlantique de la rivière Romaine en 2001*. Rapport présenté à la direction Environnement et services techniques, Hydro-Québec par le Groupe conseil GENIVAR. 119 p. et 10 annexes.

GENIVAR. 2005. *Complexe de la rivière Romaine – Faune ichtyenne : Rapport d'inventaire 2004*. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil inc. à Hydro-Québec Équipement, Direction de l'Environnement et Services techniques. 202 p. et annexes.

GENIVAR. 2006. *Complexe de la rivière Romaine – Faune ichtyenne : Rapport d'inventaire 2005*. GENIVAR Groupe Conseil inc. à Hydro-Québec Équipement, Unité Environnement. 222 p. et annexes.

GENIVAR. 2007. *Évaluation de la franchissabilité des obstacles à la migration du saumon atlantique dans la Romaine, avec une attention spéciale aux chutes à Charlie : Rapport d'expédition avec les Innus de Mingan*. Rapport de GENIVAR à Hydro-Québec Production. 7 p. et annexe.

GENIVAR. 2011a. *Complexe de la Romaine. Étude environnementale en phase projet. État de référence de la population de saumon atlantique – suivi 2010*. Rapport de GENIVAR pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. Version finale. 54 p. et annexes.

GENIVAR, 2011b. *Complexe de la Romaine – Dynamique sédimentaire à l'échelle du nid de saumon atlantique – Période d'incubation 2009-2010*. Rapport d'étape. Hardy, F., Belzile, L., Therrien, J. GENIVAR inc. pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 61 p. et annexe.

GENIVAR. 2012a. *Complexe de la Romaine. Étude environnementale en phase projet. État de référence de la population de saumon atlantique – suivi 2011*. Rapport de GENIVAR pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 37 p. et annexes.

GENIVAR. 2012b. *Aménagements de frayères et d'habitats d'alimentation et d'hivernage pour le saumon atlantique – Énoncé d'envergure*. Rapport de GENIVAR inc. pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 52 p. et annexes.

GENIVAR, 2012c. *Complexe de la Romaine. Dynamique sédimentaire à l'échelle du nid de saumon atlantique – Période d'incubation 2010-2011*. Rapport d'étape. Hardy, F., Therrien, J. GENIVAR inc. Pour Hydro-Québec Équipement, Unité Environnement. 67 pages.

GENIVAR. 2013. *Complexe de la Romaine. Étude environnementale en phase projet. État de référence de la population de saumon atlantique – suivi 2012*. Rapport de GENIVAR pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 22 p. et annexes.

HAMOR, T., GARSIDE, T. 1976. Developmental rates of embryos of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in response to various levels of temperature, dissolved oxygen, and water exchange. *Can. J. Zool.* 54: 1912-1917.

HAY, D. W. 1987. The relationship between red counts and the number of spawning salmon in the Girnock Burn, Scotland. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 43 : 146-148.

HUTCHINGS, J.A, JONES, M.E.B. 1998. Life history variation and growth rate thresholds for maturity in Atlantic salmon, *salmo salar*. *Can-J. Fish. Aquat. Sci.* 55 (suppl.1) : 22-47.

HYDRO-QUÉBEC. 2007. *Complexe de la Romaine – Étude d'impact sur l'environnement*. Décembre 2007. 10 volumes et annexes.

HYDRO-QUÉBEC. 2008. *Complexe de la Romaine. Réponses aux questions sur l'étude d'impact sur l'environnement*. Hydro-Québec Production.

HYDRO-QUÉBEC. 2010. *Service attendu des quatre centrales du complexe de la Romaine – Mars 2010*. Rapport HQ-DPPE-HG-RA-2007-0009-02.

HYDRO-QUÉBEC. 2014. *Projet de la Romaine-1. Aménagement de frayères et d'aires d'alevinage pour le saumon atlantique. Suivi de la construction*. 27 p. et annexes

JULIEN, H.P., BERGERON, N.E. 2006. Effect of fine sediment infiltration during the incubation period on Atlantic salmon (*Salmo salar*) embryo survival. *Hydrobiologia* 56: 61-71.

LACROIX, G. L. 1985. Survival of eggs and alevins of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to the chemistry of interstitial water in redds in some acidic streams of Atlantic Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 292-299.

LEVASSEUR, M., BÉRUBÉ, F., BERGERON, N.E. 2006. A field method for the concurrent measurement of fine sediment content and embryo survival in artificial redds. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 31 : 526-530.

MALCOLM, I.A, YOUNGSON A.F., SOULSBY, C. 2003. Survival of salmonid eggs in a degraded gravel-bed stream : effects of groundwater-surface water interactions. *River Res. Applic* 19: 303-316.

MALCOLM, I.A., SOULSBY, C., YOUNGSON, A.F., HANNAH, D.M., MCLAREN, I.S., THORNE, A. 2004. Hydrological influences on hyporheic water quality: implications for salmon egg survival. *Hydrol. Process.* 18: 1543-1560.

MAPAQ. 1999. *Transport des œufs et des poissons vivants. Élevage des salmonidés*, Fascicule 9. 47 pages.

- PERRIER, C. 2006. *Modifications de la croissance en eau douce du Saumon atlantique (Salmo salar) durant les trente dernières années (1970 à 2005) sur la rivière Scorff : Influence du réchauffement climatique et des activités agricoles*. Thèse Master 1 G.I.B.V. UFR S.V.E. Université de Rennes I. 40 p.
- PETERSON, R.H., 1978. Physical characteristics of Atlantic salmon spawning gravels in some New Brunswick streams. St-Andrew (NB), Fisheries and Oceans Canada, 28 pages.
- PETERSON, N.P., QUINN, T.P. 1996. Persistence of egg pocket architecture in redds of chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Environmental Biology of Fishes* 46: 243-253.
- PIETTE-LAUZIÈRE, G., HERNANDEZ, C., WELLBAND, K., BERNATCHEZ, L. 2020. *Évaluation du nombre de géniteurs contribuant aux nids des frayères de la Rivière Romaine*. Rapport de l'IBIS (Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes), Université Laval. 14 p.
- PIETTE-LAUZIÈRE, G., HERNANDEZ, C., WELLBAND, K., BERNATCHEZ, L. 2019. *Assignation populationnelle et parentale de smolts de la rivière Romaine capturés à l'été 2019 et analyse génétique des frayères*. Rapport de l'IBIS (Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes), Université Laval. 31 p.
- STONECYPHER R.W. JR., HUBERT W.A., GERN, W.A. 1994. Effect of reduced incubation temperatures on survival of trout embryos. *The Progressive Fish Culturist* 56: p.180-184.
- UANAN EXPERTS CONSEILS. 2018. *Programme de restauration de la rivière Romaine. Ensemencements d'alevins dans les rivières Romaine, Bat-le-Diable et Puyjalon en 2016 et 2017*. Rapport final présenté à la Société Saumon de la Rivière Romaine (SSRR). Mai 2018. 39 p. et annexes.
- UANAN EXPERTS CONSEILS. 2019. *Programme de restauration de la rivière Romaine. Ensemencements d'alevins dans les rivières Romaine et Puyjalon en 2018*. Rapport final présenté à la Société Saumon de la Rivière Romaine (SSRR). Mai 2019. 27 p. et annexes.
- UANAN EXPERTS CONSEILS. 2020. *Programme de restauration de la rivière Romaine. Ensemencements d'alevins dans les rivières Romaine et Puyjalon en 2019*. Rapport final présenté à la Société Saumon de la Rivière Romaine (SSRR). Janvier 2020. 27 p. et annexes.
- WALLACE, J.C., HEGGBERGET, T.G. 1988. Incubation of eggs of atlantic salmon (*Salmo salar*) from different Norwegian streams at temperature below 1°C. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 193-196.
- WENTWORTH, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, vol. 30, p. 377-392.
- WILLIAMS, B.K., NICHOLS, J.D., CONROY, M.J. 2002. Analysis and Management of Animal Populations – Modeling, Estimating and Decision Making. *Academic Press*. 817 pages.
- WSP. 2014a. *Complexe de la Romaine. Étude environnementale en phase projet. État de référence de la population de saumon atlantique – suivi 2013*. Version finale. Rapport de WSP Canada Inc. pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 92 pages et annexes.

WSP. 2014b. *Dévalaison des smolts dans la Puyjalon – Rapport d’inventaire 2013 – Projet de restauration du saumon de la Romaine*. Rapport de WSP pour la Société Saumon de la Rivière Romaine. Version finale – Mars 2014. 25 p. et annexes.

WSP. 2015. *Complexe de la Romaine. Étude environnementale en phase projet. État de référence de la population de saumon atlantique – suivi 2014*. Version finale. Rapport de WSP Canada Inc. pour Hydro-Québec Équipement et services partagés. 51 pages et annexes.

WSP. 2016a. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2015 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Version finale. Rapport de WSP Canada Inc. pour Hydro-Québec Production. 91 pages et annexes.

WSP. 2016b. *Programme de restauration du saumon de la rivière Romaine – Pêche de saumons juvéniles dans la Romaine – Rapport d’activités 2015*. Version finale. Rapport de WSP à la Société saumon de la rivière Romaine. 24 p. et annexes.

WSP. 2017a. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2016 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Préparé pour Hydro-Québec Production. 91 p. et annexes. Version finale.

WSP. 2017b. *Programme de restauration du saumon de la rivière Romaine. Pêche de saumons juvéniles dans les rivières Romaine et Puyjalon – Rapport d’activités 2016*. Rapport de WSP à la Société saumon de la rivière Romaine. 21 pages et annexes.

WSP. 2019. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental 2017 en phase exploitation. Suivi de la population de saumon atlantique*. Préparé pour Hydro-Québec. 123 p. et annexes. Version finale.

ZAR, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2nd. ed. Prentice-Hall, New-Jersey. 718 p.

ANNEXE 1 Débits moyens journaliers et températures moyennes journalières de l'eau de la Romaine au PK 46 de 2010 à 2019 et débits horaires en 2019

Figure A1-1 Températures moyennes journalières de l'eau de la Romaine au PK 46 de 2010 à 2019

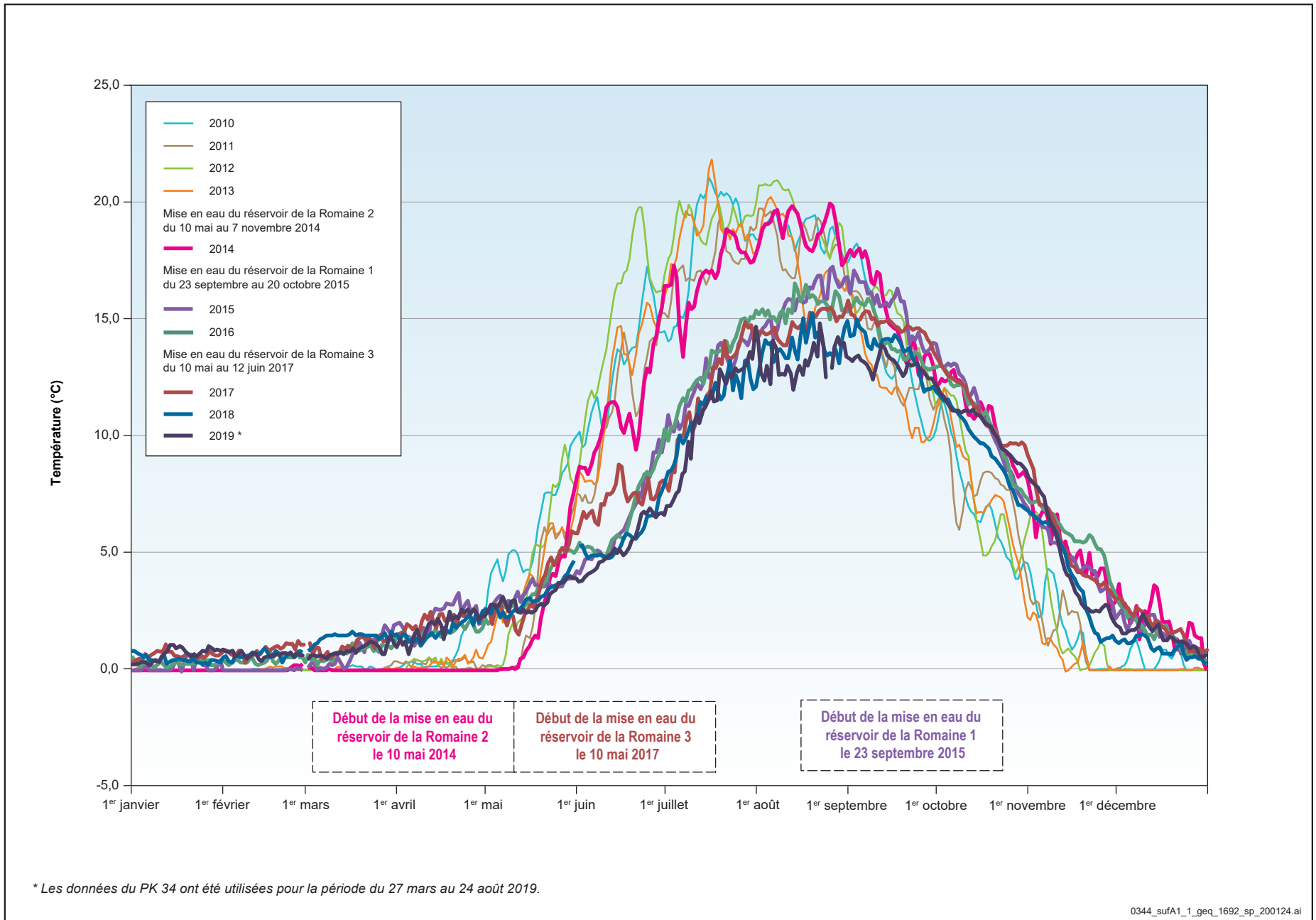
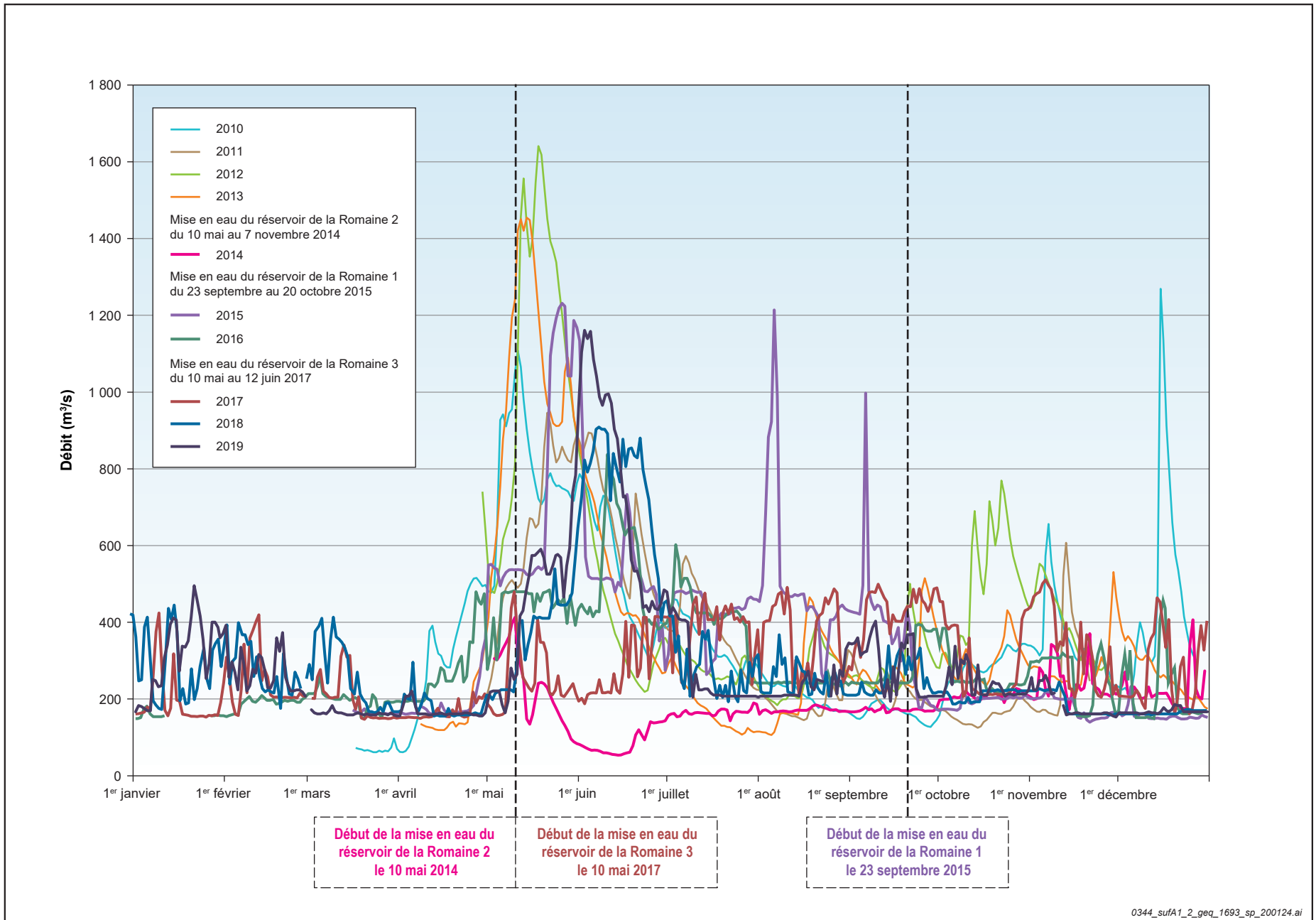
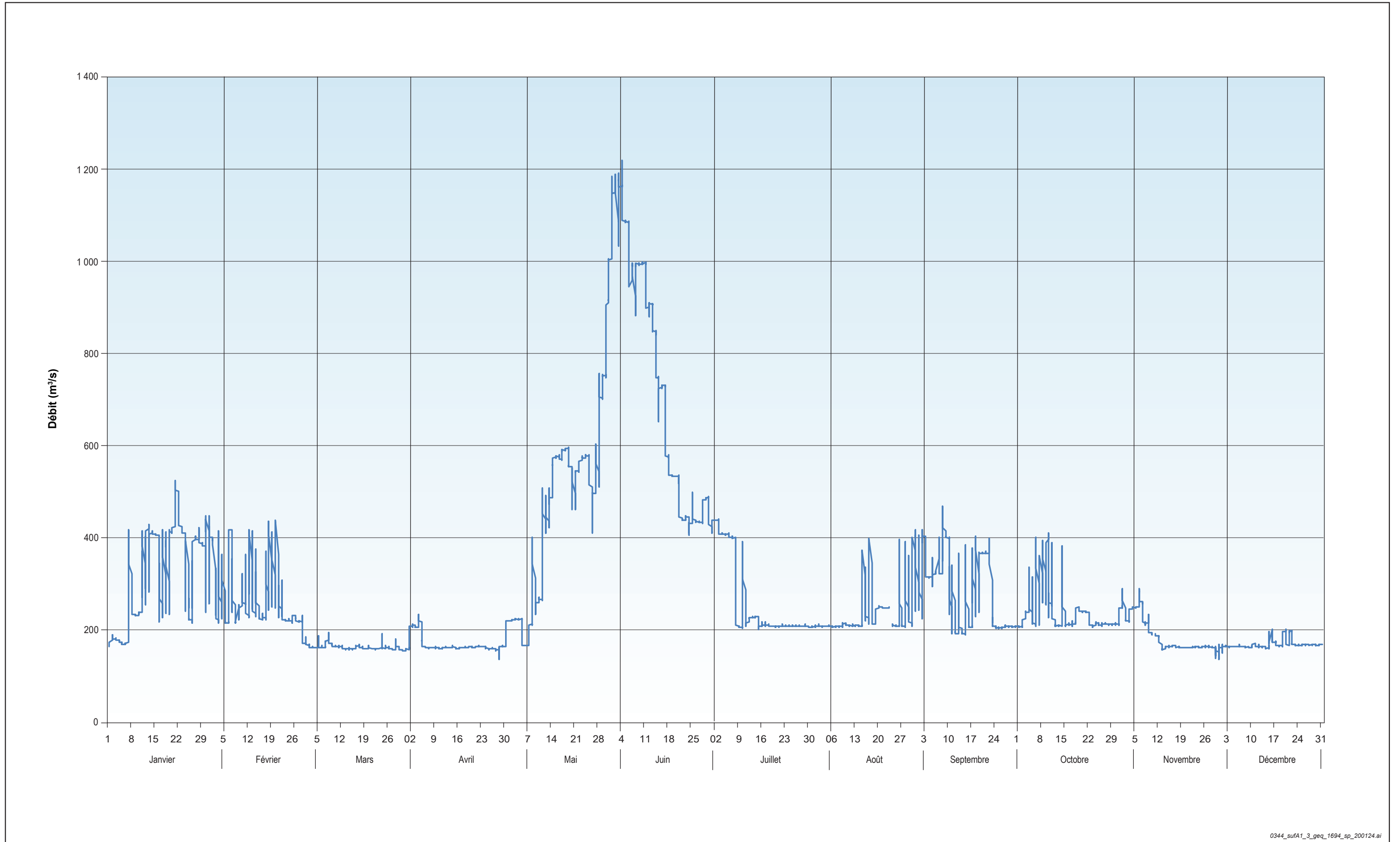


Figure A1-2 Débits moyens journaliers de la Romaine au PK 46 de 2010 à 2019



0344_sufA1_2_geq_1693_sp_200124.ai

Figure A1-3 Débits horaires de la Romaine au PK 46 en 2019



**ANNEXE 2 Conditions d'autorisation du MELCC (n° 530-2009)
et du MPO (n° 2015-006)**

Annexe 2 Conditions d'autorisation du MELCC (n° 530-2009) et du MPO (n° 2015-06)

- Conditions du certificat d'autorisation du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) délivré en vertu de l'article 164 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (référence 530-2009) :

- Condition 1. Dispositions générales.
- Condition 7. Ajouts au programme de suivi environnemental détaillé du saumon atlantique.

Hydro-Québec doit compléter le programme de suivi environnemental détaillé prévu à la condition 1 en y ajoutant les éléments suivants liés au saumon atlantique :

- Un protocole permettant de vérifier *in situ* la durée de chacune des étapes de développement, à partir de l'œuf jusqu'à la dévalaison des smolts, ainsi que la période de reproduction des adultes afin de s'assurer de la validité des valeurs et des périodes d'application du régime des débits réservés écologiques;
 - Un protocole visant à mesurer la turbidité de l'eau dans la rivière Romaine en aval du barrage de la Romaine-1 afin de déterminer l'ampleur réelle de l'augmentation de ce paramètre lors du remplissage des réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3;
 - Un protocole permettant d'évaluer la mortalité des alevins pendant les périodes estivale et automnale afin de vérifier l'effet des modifications du régime thermique;
 - L'évaluation annuelle du nombre de smolts en dévalaison et la détermination de la proportion de ceux provenant des ensemencements par rapport à ceux issus de la reproduction naturelle pendant toute la durée du plan de restauration du saumon atlantique prévu à la condition 1.
- Conditions de l'Autorisation du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) (n° 2015-006) :
 - Condition 4. Conditions se rattachant aux suivis des projets de compensation.
 - Condition 4.1. Le promoteur devra mettre en place un dispositif de suivi agréant au MPO, afin de vérifier l'efficacité du programme de compensation et de s'assurer que les objectifs définis en 3.4 ont été atteints. Plus particulièrement, le promoteur devra :
 - 4.1.2. Évaluer les paramètres :
 - Stabilité des frayères aménagées;
 - Caractéristiques et utilisation des frayères aménagées.

- Condition 5.1.1. Suivi de la gestion des débits en période de fraie du saumon atlantique.

Le promoteur devra mettre en place un programme de suivi agréant au MPO, afin de mesurer l'efficacité du débit réservé visant à protéger les habitats de fraie du saumon atlantique en période automnale. Plus particulièrement, le promoteur devra :

- 5.1.1.3. Effectuer le suivi des paramètres suivants :
 - Caractérisation des préférences biologiques de nidification sur les frayères des PK 34,5 et 46,2 avec le débit réservé en mode d'exploitation. Ce suivi devra être effectué une seule fois, soit en l'an 1 de la mise en service de la centrale de la Romaine-2;
 - Déroulement de la fraie au site du PK 46,2 incluant un suivi des températures de l'eau lors du déclenchement de la période de fraie afin d'ajuster la période de débits réservés décrite à la condition 2.2. Advenant que cette frayère ne soit pas utilisée par le saumon, les trois autres frayères (PK 34,5, 49 et 51) devront être considérées pour l'évaluation du déroulement de la fraie. Ce suivi devra être effectué pendant une période minimale de 15 années, soit en l'an 1, 2, 3, 5, 7, 10 et 15 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2;
 - Dénombrement des nids pour les quatre sites (km 34, 46,2, 49 et 51). Un état de référence devra être produit à 2 reprises, 2 années distinctes, avant la mise en service de la centrale de la Romaine-2. Ce suivi devra être effectué sur une base annuelle pendant une période minimale de 13 années suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2.

- Condition 5.1.2. Suivi de l'échouage et l'entraînement de juvéniles de saumons atlantiques dus à la gestion de pointe en aval de la centrale de la Romaine-1.

Le promoteur devra mettre en place un dispositif de suivi agréant au MPO afin de mesurer l'efficacité des règles de gestion des débits établies afin d'éviter l'échouage et l'entraînement de juvéniles de saumons atlantiques décrite à la condition 2.4. Plus particulièrement, le promoteur devra :

- 5.1.2.2. Effectuer le suivi des paramètres permettant de mesurer l'efficacité des règles de gestion des débits décrite à la condition 2.4, pendant une période minimale de 5 années, soit en l'an 1, 2, 3, 4 et 5 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-1.

- Condition 5.1.4. Suivi de la dévalaison des saumoneaux.

Le promoteur devra mettre en place un programme de suivi agréant au MPO, afin de caractériser la dévalaison des saumoneaux. Plus particulièrement, le promoteur devra :

- 5.1.4.2. Effectuer le suivi de la dévalaison 1 an avant la mise en eau de la centrale de la Romaine-2 et pendant une période minimale de 15 années soit en l'an 1, 2, 3, 5, 7, 10 et 15 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2.

- Condition 5.1.5. Suivi du passage des chutes à Charlie (km 35) par les saumons atlantiques adultes.

Le promoteur devra mettre en place un programme de suivi agréant au MPO, afin de vérifier l'efficacité de la gestion des débits à la centrale de la Romaine -1 permettant le passage des saumons atlantiques adultes à l'amont des chutes à Charlie pendant la période de montaison. Plus particulièrement, le promoteur devra :

- 5.1.5.2. Effectuer le suivi du nombre de nids de saumon en amont et en aval du site des chutes à Charlie (km 35) en lien avec les débits d'exploitation pendant une période minimale de 5 années, soit en l'an 1, 2, 3, 4 et 5 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2.

- Condition 5.1.8. Suivi de l'ampleur de l'impact des modifications du régime thermique sur la population de saumon atlantique.

Le promoteur devra mettre en place un programme de suivi agréant au MPO afin de mesurer l'ampleur de l'impact des modifications du régime thermique sur la population de saumon atlantique. Plus particulièrement, le promoteur devra :

- 5.1.8.2. Effectuer, sans s'y limiter, le suivi des paramètres suivants :
 - Âge à la smoltification. Le suivi devra être effectué annuellement pendant une période minimale de 15 années suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2;
 - Taux de croissance annuel des juvéniles de saumons. Le suivi devra être effectué annuellement pendant une période minimale de 15 années suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2;
 - Incubation et émergence des œufs et des alevins de saumons. Le suivi devra être effectué annuellement pendant une période minimale de 12 années, soit en l'an 3, 5 et 12 suivant la mise en service de la centrale de la Romaine-2.

ANNEXE 3 Répertoire photographique



Photo 1 – Levée d'un filet-trappe au PK 5 de la Romaine.



Photo 2 – Levée d'un filet-trappe au PK 5 de la Romaine.



Photo 3 – Smolts capturés dans la Puyjalon en stabulation dans une glacière oxygénée.



Photo 4 – Marquage d'un smolt capturé dans la Puyjalon.



Photo 5 – Lecture d'âge sur une écaille d'un smolt d'âge 2+ capturé dans la Romaine.



Photo 6 – Lecture d'âge sur une écaille d'un smolt d'âge 3+ capturé dans la Puyjalon.



Photo 7 – Pêche de saumons juvéniles à la seine de rivage dans la Romaine.



Photo 8 – Pêche de saumons juvéniles à la seine de rivage dans la Romaine.



Photo 9 – Aperçu du verveux modifié avec ailes utilisé pour la capture de tacons.



Photo 10 – Aperçu du verveux modifié avec ailes utilisé pour la capture de tacons.



Photo 11 – Zone exondée dans l'aire d'élevage amont du PK 49 le 13 novembre 2019.



Photo 12 – Zone exondée dans l'aire d'élevage amont du PK 49 le 13 novembre 2019.



Photo 13 – Tacon 1+ observé sur l'aire d'élevage du PK 51.



Photo 14 – Tacon 2+ observé sur l'aire d'élevage amont du PK 49.

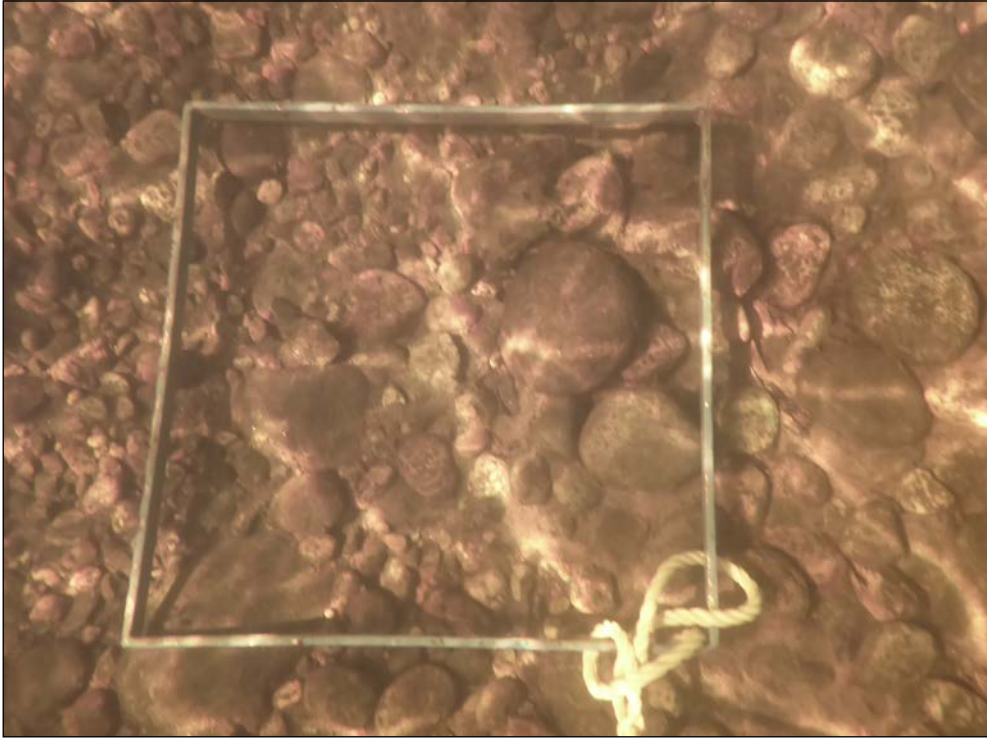


Photo 15 – Aperçu du substrat sur une station d'inventaire de la frayère du PK 49.

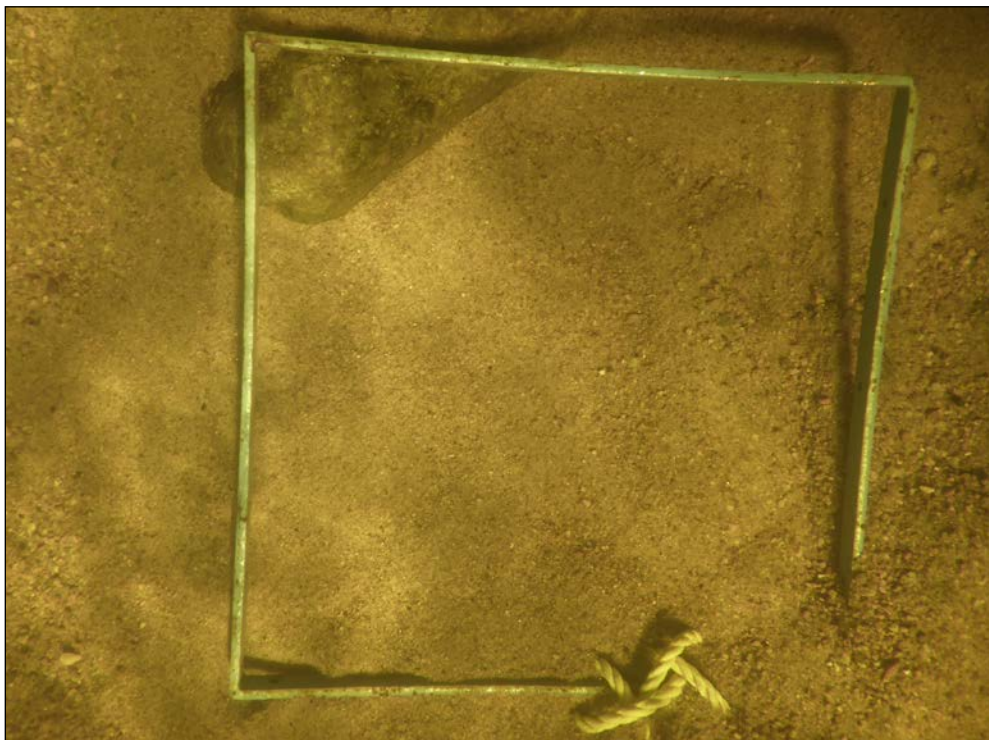


Photo 16 – Aperçu du substrat sur une station d'inventaire de l'aire d'élevage du PK 51.



Photo 17 – Travaux de carottage sur une frayère de la Romaine.



Photo 18 – Carotte prélevée sur une frayère de la Romaine.



Photo 19 – Inventaire de saumons juvéniles sur l'aire d'élevage amont du PK 49.



Photo 20 – Aire d'élevage du PK 51 et dépôt de sable en amont.



Photo 21 – Suivi du déroulement de la fraie sur la frayère du PK 49.



Photo 22 – Suivi du déroulement de la fraie sur la frayère du PK 49.



Photo 23 – Préparation de l'équipe de plongée lors du décompte de nids sur la frayère du PK 34,5.



Photo 24 – Aperçu d'un nid de saumon dans la rivière Puyjalon.



Photo 25 – Pêche à l'électricité dans une cuvette du PK 33b.

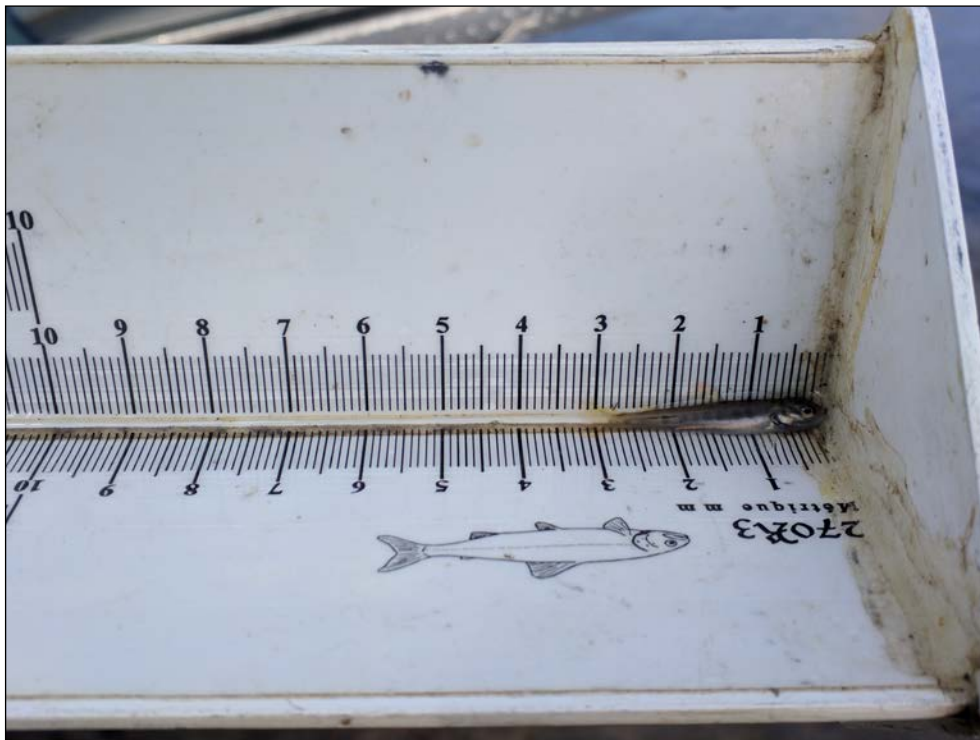


Photo 26 – Alevin de saumon capturé dans une cuvette du PK 33b.



Photo 27 – Capsules grillagées utilisées pour l'incubation des oeufs de saumon à l'automne 2018.



Photo 28 – Retrait des capsules d'embryons à l'été 2019.



Photo 29 – Aperçu du contenu d'une capsule d'embryons retirée de la frayère du PK 46,2.



Photo 30 – Aperçu du contenu d'une capsule d'embryons retirée de la frayère du PK 49.

**ANNEXE 4 Assignation populationnelle et parentale de smolts de
la rivière Romaine capturés à l'été 2019 et analyse
génétique des frayères (Piette-Lauzière et coll., 2019)**



UNIVERSITÉ
LAVAL

Assignation populationnelle et parentale de smolts de la rivière Romaine capturés à l'été 2019 et analyse génétique des frayères

Gabriel Piette-Lauzière
Cecilia Hernandez
Kyle Wellband
Louis Bernatchez

IBIS
Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes
Université Laval
Québec, QC
G1V 0A6

19 décembre 2019
Auteur pour correspondance :
Dr Louis Bernatchez
Tél: 1-418-656-3402; Téléc.: 1-418-656-7176
Courriel: louis.bernatchez@bio.ulaval.ca

Résumé

Cette étude a permis l'analyse de 236 smolts échantillonnés au début de l'été 2019 dans la rivière Romaine. Ce projet a permis d'identifier l'appartenance génétique des smolts échantillonnés à la population de la rivière Romaine ou à la rivière Puyjalon, d'identifier l'appartenance parentale de ces individus à des géniteurs sauvages ou provenant des programmes d'ensemencements et d'identifier leur sexe. Les échantillons analysés ont été assignés dans une proportion de 76,2% à la rivière Puyjalon et de 16,9% à la rivière Romaine. Un total de 16 individus (6,8%) n'ont pu être assignés à l'une de ces populations d'origine avec succès. Contrairement à l'année 2018 où aucun smolt n'avait été lié aux programmes d'ensemencement, 57 smolts (24,2%) échantillonnés à l'été 2019 provenaient de la reproduction artificielle. Le sexage des 236 saumons a permis d'identifier 85 mâles et 151 femelles, avec un sexe ratio biaisé en faveur des femelles dans la rivière Puyjalon.

De plus, une analyse de deux frayères de la Romaine a été effectuée avec comme objectif principal d'identifier le nombre de géniteurs contribuant à chaque nid et d'évaluer si ces derniers étaient des descendants du programme d'ensemencement. Les résultats indiquent qu'une (1) femelle et trois (3) mâles géniteurs ont été identifiés pour chacune des frayères. Aucune contribution des géniteurs du LARSA n'a été détectée dans ces échantillons.

Table des matières

Résumé.....	2
1. Objectifs.....	4
2. Méthodologie.....	4
2.1 Échantillonnage.....	4
2.2 Analyses de laboratoire.....	4
2.2.1 Sélection des marqueurs génétiques.....	4
2.2.2 Extraction de l'ADN.....	5
2.2.3 Amplification des 17 loci microsatellites.....	5
2.2.4 Migration et détermination du génotype.....	5
2.2.5 Détermination du sexe.....	6
2.3 Analyses des données – volet smolts.....	6
2.3.1 Assignation populationnelle.....	6
2.3.2 Assignation parentale.....	7
2.4 Analyses des données – volet frayères.....	7
2.4.1 Assignation parentale.....	7
3. Résultats.....	8
3.0 Extraction d'ADN.....	8
3.1 Assignation populationnelle – volet smolts.....	8
3.2 Assignation parentale – volet smolts.....	8
3.3 Détermination du sexe – volet smolts.....	9
3.4 Estimation du nombre de parents et origine des géniteurs – volet frayères.....	9
4. Conclusion.....	10
Références bibliographiques.....	21
Annexe 1 : Protocole d'extraction de l'ADN des échantillons.....	23
Annexe 2 : Protocole de l'amplification et de migration sur capillaires des loci microsatellites.....	25
Annexe 3 : Protocole de détermination du sexe.....	28
Annexe 4 : Assignation parentale des individus provenant de l'ensemencement.....	29
Annexe 5 : Nombre de géniteurs impliqués dans les frayères P.K.34 et P.K.49.....	31

1. Objectifs

S'insérant dans le cadre du projet de complexe hydroélectrique de la rivière Romaine, la présente étude a pour objectif d'identifier l'appartenance populationnelle et parentale de 237 smolts échantillonnés dans la rivière Romaine en 2019 ainsi que leur sexe. Plus précisément, dans cette étude, les objectifs spécifiques consistent à :

- a) Assigner chaque smolt échantillonné à une population de référence, soit celle de la rivière Romaine ou de la rivière Puyjalon.
- b) Déterminer, à l'aide d'un logiciel d'assignation parentale, la proportion de smolts échantillonnés issue du programme d'ensemencement ou de parents sauvages.
- c) Déterminer le sexe de chacun des smolts.

En parallèle avec les échantillons de smolts reçus, un second volet concernant deux frayères (P.K.34 et P.K.49) a été réalisé. Les objectifs de ce second volet consistent à :

- a) Déterminer le nombre de géniteurs contribuant à chaque nid et combien parmi eux était issu des ensemencements.

2. Méthodologie

2.1 Échantillonnage

Des échantillons de nageoire ont été prélevés de 237 smolts d'origine inconnue dans la rivière Romaine à l'été 2019. Pour l'échantillonnage des populations de référence, voir les détails dans le rapport 2014 (Côté et Bernatchez 2014).

Pour l'analyse des frayères, trois (3) nids ont été échantillonnés. 11 alevins et deux (2) œufs ont été prélevés d'un (1) nid de la frayère P.K.34. La frayère P.K.49, quant à elle, comprenait deux (2) nids non identifiés d'où cinq (5) alevins répartis dans une proportion de 4:1 ont été récoltés.

2.2 Analyses de laboratoire

2.2.1 Sélection des marqueurs génétiques

La sélection des marqueurs génétiques utilisés est une étape déterminante pour l'atteinte des objectifs d'un projet. Chaque type de marqueur a ses forces et ses limitations et leur pertinence varie en fonction de la problématique. Avec l'objectif de caractériser la diversité génétique de populations en milieu naturel, les marqueurs microsatellites sont souvent utilisés. Les avantages des marqueurs microsatellites sont qu'ils présentent, entre autres, un degré de polymorphisme variable, ils sont relativement faciles à obtenir et leur analyse est robuste. Ces marqueurs sont en fait des régions du génome qui présentent des séquences de deux à quatre bases répétées en tandem un certain nombre de fois (ex.

GATAGATAGATAGATA). Chaque région identifiée comme un microsatellite est un locus. Chaque individu possède deux copies distinctes de chaque locus, chacune de ces copies est appelée un allèle. Dans le cas des marqueurs microsatellites, c'est le nombre de répétitions de la séquence répétée en tandem qui fait varier la taille en paires de bases des allèles. C'est donc cette variabilité qui est utilisée afin de comparer les individus entre eux. Étant donné que le degré de variabilité est différent pour chaque locus, il est important de choisir des microsatellites ayant une variabilité suffisante pour arriver à caractériser adéquatement la diversité génétique des individus à l'étude, dans le but de pouvoir répondre correctement aux objectifs et d'apporter des réponses aussi solides et fiables que possible.

Les marqueurs utilisés pour la présente étude ont été utilisés à maintes reprises pour la caractérisation génétique des populations naturelles de saumon atlantique (King et coll., 2005; King, communication personnelle; Oreilly et coll., 1996; Slettan et coll., 1995; Paterson et coll., 2004; Presa et Guyomard, 1996) et présentent un degré de variabilité amplement suffisant. Au total, 17 loci ont été utilisés. Les informations relatives à ces loci sont présentées au tableau 1.

2.2.2 Extraction de l'ADN

L'ADN génomique des échantillons de saumon atlantique a été extrait (mis en solution aqueuse) selon un protocole d'extraction au sel (Annexe 1; Aljanabi et Martinez, 1997), puis quantifié (contrôle de quantité et de qualité) à l'aide d'un spectrophotomètre NanoDrop 2000 (Thermo Scientific).

2.2.3 Amplification des 17 loci microsatellites

Une fois l'ADN isolé, une réaction de polymérisation en chaîne (PCR pour « polymerase chain reaction ») a été effectuée. La PCR consiste à sélectionner et amplifier une région précise du génome permettant, dans ce cas-ci, la visualisation des fragments des loci microsatellites. La région d'intérêt est sélectionnée grâce à deux oligonucléotides (courts segments d'ADN synthétisés, appelés aussi amorces à laquelle une molécule fluorescente a été fixée), dont la séquence est complémentaire à une des deux extrémités du fragment d'ADN recherché. Par la suite, une réaction enzymatique est utilisée afin de créer une copie du fragment compris entre ces deux amorces. Les étapes de sélection et d'amplification sont répétées jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de fragments soient ainsi créés permettant de visualiser adéquatement la région amplifiée. Les détails techniques pour cette étape sont présentés à l'annexe 2.

2.2.4 Migration et détermination du génotype

Les fragments obtenus lors de la PCR ont été migrés sur le séquenceur 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems®, Life technologies Corporation) afin de les visualiser et déterminer leur taille. Le principe consiste à faire migrer par électrophorèse les fragments d'ADN à travers une matrice de polymère en y appliquant un champ électrique. Puisque

les molécules d'ADN sont chargées négativement, elles vont se déplacer au travers du polymère. Les fragments d'ADN sont séparés au cours de la migration en fonction de leur longueur, les fragments plus courts migrant plus rapidement que les fragments plus longs. Ceux-ci sont ensuite visualisés à l'aide d'un laser qui détecte les molécules fluorescentes présentes sur les fragments amplifiés. En plaçant un standard de taille (solution avec différents fragments de tailles connues) dans chaque puits, la taille des différents allèles peut être inférée de façon précise. Après la migration, les résultats sont visualisés et validés sur le logiciel GeneMapper version 4.1. Ce programme permet de déterminer le génotype multilocus des individus, c'est-à-dire la composition allélique des individus pour chacun des 17 loci utilisés.

2.2.5 Détermination du sexe

Le sexe a été déterminé à l'aide de l'amplification PCR du locus SDY selon la méthode proposée par King et Stevens (2019). Les amorces SS_SDY_Ex1F et SS_SDY_AS_R ont été utilisées afin d'amplifier le locus SDY qui est présent uniquement chez les mâles. Les amorces fabp6b-F et fabp6b-R ont également été utilisées comme contrôle interne de la réaction PCR. Le produit de la réaction PCR a été migré sur gel d'agarose 2%, avec des témoins négatifs et positifs. La présence d'une bande à 750 paires de bases sur le gel est associée à un mâle, tandis que l'absence de bande indique une femelle. Les détails techniques pour cette étape sont présentés à l'annexe 3.

2.3 Analyses des données – volet smolts

2.3.1 Assignation populationnelle

Le profil génétique des populations de saumon atlantique retrouvé dans ces deux populations a été caractérisé dans le rapport 2014 (Côté et Bernatchez 2014). Ces travaux ont confirmé l'occurrence de deux populations génétiquement très différenciées ($F_{ST} = 0,041$) et de diversité génétique considérablement élevée (HE moyenne = 0,80, HO moyenne = 0,79) qui correspondaient à la population des saumons de la rivière Romaine et à la population des saumons de la rivière Puyjalon. Ainsi, le pouvoir de réassignation, *i.e.* le pourcentage des saumons des populations de référence réassignés à leur population respective plutôt qu'à l'autre population est de 100% pour les poissons de la rivière Romaine et de la rivière Puyjalon.

Dans le cadre du projet actuel, l'assignation des échantillons d'origine inconnue de la rivière Romaine à l'une ou l'autre des populations de référence (rivière Romaine ou rivière Puyjalon) été effectuée à l'aide du logiciel GeneClass2 (Piry et coll., 2004). Les paramètres suivant ont été utilisés : un seuil d'affectation des scores de 0.05 et la méthode bayésienne de Rannala & Mountain pour le calcul des critères. La valeur seuil du paramètre D utilisée pour assigner les individus est de 1 ou -1, ce qui correspond à une probabilité 10 fois supérieure de provenir d'une population que de l'autre (voir le rapport 2014 – Côté et Bernatchez 2014 – pour les détails sur la puissance d'assignation de nos

populations de références). Dans le cas où la valeur du paramètre D est inférieure à 1 et supérieure à -1, la notation «Indéterminée» a été attribuée.

2.3.2 Assignation parentale

L'assignation parentale des échantillons à des géniteurs sauvages ou provenant de la reproduction artificielle a été effectuée à l'aide du logiciel COLONY (Jones et Wang 2010), un programme basé sur la reconstruction de pedigree. Ce programme divise les individus en trois catégories : la progéniture, les pères candidats et les mères candidates. En premier lieu, la progéniture est regroupée, basée sur leur génotype, en groupes selon leur niveau d'apparentement (partageant les mêmes parents, partageant uniquement un parent, ne partageant pas de parents). Puis les parents potentiels sont assignés à ces groupes. Pour chacun de ces regroupements (groupe de progéniture et/ou parents-progéniture) une valeur de vraisemblance est calculée. Ensuite, ces regroupements sont modifiés et une nouvelle valeur de vraisemblance est calculée, puis comparée à la structure précédente. Si la valeur de vraisemblance est plus élevée pour ces nouveaux groupements, le programme rejette la structure ayant une valeur de vraisemblance plus faible et ainsi de suite jusqu'à l'obtention des meilleurs regroupements. Le programme génère alors une liste des frères et sœurs ou demi-frères demi-sœurs potentiels avec les probabilités associées ainsi que les parents retenus s'il y a lieu. L'identification des frères/sœurs et demi-frères/demi-sœurs parmi les smolts à l'étude permet d'estimer le nombre de parent potentiels sauvages ou ensemencés. Par contre, lorsque le nombre d'échantillons analysés est faible, ou lorsque le nombre d'échantillons analysés est plus petit que le nombre actuel de parents, le calcul du nombre de parents potentiels n'est pas précis (Ackerman et coll., 2016).

Pour la présente étude, 214 mâles candidats et 260 femelles candidates, tous issus de la reproduction effectuée à la station piscicole Baldwin en 2014 (ensemencés en 2015), de la reproduction effectuée au LARSA en 2015-2016-2017 (respectivement ensemencés en 2016-2017-2018) ont été utilisés comme parents potentiels. Dans une seconde phase d'analyse, le logiciel COLONY a été utilisé afin d'estimer le nombre potentiel de parents sauvages. Pour ce faire, les analyses d'assignations parentales ont été répétées sans les génotypes des géniteurs du LARSA et en conservant seulement les génotypes des smolts sauvages.

2.4 Analyses des données – volet frayères

2.4.1 Assignation parentale

Dans le cadre du volet portant sur le nombre de géniteurs potentiels des frayères P.K.34 et P.K.49, le programme COLONY a été utilisé pour sa fonction de regroupement génétiques (*clustering*) sans génotypes parentaux de référence. Par calcul de vraisemblance, le programme COLONY permet la détermination du nombre de parents de chaque sexe dans une population donnée. Afin de retracer l'influence des programmes d'ensemencements sur les saumons de la rivière Romaine, les génotypes parentaux des

alevins ont d'abord été inférés par maximum de vraisemblance. Dans un deuxième temps, ces génotypes inférés ont été comparés dans le programme COLONY à ceux des géniteurs parentaux de références provenant du LARSA. Finalement, dans une dernière étape d'analyse, les couples de géniteurs identifiés ont été comparés avec les bases de données des croisements en laboratoire effectués entre 2014 et 2017 au LARSA.

3. Résultats

3.0 Extraction d'ADN

L'extraction d'ADN du smolt R894 et des deux œufs de la frayère PK34 a échoué. Aucun résultat ne sera donc présenté pour ces échantillons.

3.1 Assignment populationnelle – volet smolts

L'assignation des échantillons inconnus aux populations de référence a été réalisée à l'aide du logiciel GeneClass2. Les assignations réalisées avec confiance signifient que la classification de l'individu est au moins 10 fois plus probable dans une population donnée que dans l'autre ($-1 > D > 1$).

Le tableau 2 présente l'assignation des 236 saumons d'origine inconnue échantillonnés dans la rivière Romaine en 2018. Au total, 180 saumons (76,2%) ont été assignés, avec confiance ($D > 1$) à la rivière Puyjalon, 40 saumons (16,9%) ont été assignés avec confiance à la rivière Romaine ($D < -1$) et 16 saumons (6,8%) n'ont pu être assignés avec confiance à l'une ou l'autre des populations.

3.2 Assignment parentale – volet smolts

Le programme COLONY a permis d'assigner 54 smolts à des parents issus de la reproduction artificielle de 2016 (ensemencés en 2017) et trois (3) de la reproduction artificielle de 2015 (ensemencés en 2016, voir Annexe 4), ce qui correspond à 24,2% de tous les smolts échantillonnés. Ces 57 smolts issus du programme d'ensemencement provenaient de 43 croisements – ou familles – différents. L'analyse de ces croisements révèle que 34 d'entre eux ont été effectués à partir de géniteurs de la rivière Puyjalon en 2015 ($n = 3$) et 2016 ($n = 31$). À titre indicatif, les 31 croisements détectés pour l'année 2016 représentent une proportion de 27% (31/115) de l'ensemble des croisements effectués à partir de cette source. Les neuf (9) croisements restant sont ceux issus de la reproduction artificielle de géniteurs de la rivière Romaine, ce qui représente 7,8% (9/114) du nombre total des croisements effectués pour cette rivière en 2016.

Également, grâce à cette analyse d'assignation parentale, une partie des échantillons qui avaient échoués le critère d'assignation de GeneClass2 ont pu être assignés à l'une ou l'autre des populations par la connaissance de la provenance des parents (Tableau 2). Dans quatre (4) cas, soit pour les échantillons *WSP_R025*, *WSP_R066*, *WSP_R374*, *WSP_R459*, l'assignation populationnelle par GeneClass2 ne correspondait pas à

l'origine inférée à partir des parents. Une plus grande prudence est donc de mise dans l'interprétation des assignations pour ces échantillons.

Le programme COLONY a permis l'estimation du nombre de parents potentiels sauvages avec un intervalle de confiance à 95%. Pour ce faire, les 163 smolts non ensemencés ont été séparés selon leur assignation populationnelle, soit 137 smolts provenant de la rivière Puyjalon et 26 smolts provenant de la rivière Romaine. Les 16 individus n'ayant pas été assignés avec succès à l'une ou l'autre des populations de référence et tous les smolts ensemencés ont été retirés de l'analyse. Un estimé de 106 parents potentiels sauvages a été calculé pour les smolts provenant de la rivière Puyjalon avec un intervalle de confiance à 95% allant de 80 à 144. Dans cette population, 17 fratries ont été identifiées avec un indice de confiance supérieur à 90%. Dans la rivière Romaine, un estimé de 63 parents sauvages potentiels a été calculé avec un intervalle de confiance de 95% allant de 38 à 131 et aucune fratrie n'a été identifiée. Considérant la taille de l'échantillonnage ($n = 40$), ces résultats devraient être interprétés avec prudence.

3.3 Détermination du sexe – volet smolts

L'identification du sexe des 236 saumons capturés en 2019 dans la rivière Romaine est présentée dans le tableau 2. Au total, 85 mâles (36,0%) et 151 femelles (64,0%) ont été identifiés. Plus précisément, parmi les individus assignés avec confiance à la rivière Puyjalon ($n = 180$), 60 ont été identifiés comme mâle (33,3%) et 120 identifiés comme femelle (66,7%). Dans la rivière Romaine ($n = 40$), 22 mâles (55%) et 18 femelles (45%) ont été identifiés.

3.4 Estimation du nombre de parents et origine des géniteurs – volet frayères

Le programme COLONY a permis l'estimation du nombre de géniteurs mâles et femelles pour les frayères P.K.34 et P.K.49. Pour chaque nid, une (1) femelle et trois (3) mâles ont été identifiés avec une probabilité assez forte ($>0,80$; Annexe 5). Il est à noter que l'échantillon *P.K.34[8]alevin* a été assigné à un groupement génétique unique, mais que sa probabilité de groupement était relativement faible (0,55). De plus, les échantillons *P.K.34[11]alevin* et *P.K.49[4]alevin* ont été exclus de l'interprétation des résultats puisqu'ils semblent avoir été inversés durant le processus de récolte ou d'extraction des données. Le nombre d'échantillon ne permet pas de distinguer avec certitude les géniteurs impliqués pour les deux nids de la frayère P.K.49. Finalement, aucun échantillon génotypé ne semble appartenir à une lignée génétique produite par croisement en laboratoire. Cependant, ce résultat est à considérer avec prudence, étant donné que l'analyse a été effectuée sur des génotypes inférés.

4. Conclusion

En résumé, il est important de retenir les points suivants (Figure 1) :

1. Parmi les 236 saumons d'origine inconnue, 180 saumons ont été assignés avec confiance à la rivière Puyjalon (76,2%) et 40 saumons ont été assignés avec confiance à la rivière Romaine (16,9%).
2. Parmi les 236 smolts analysés, 57 smolts (24,2%) ont été assignés à la reproduction artificielle.
3. L'analyse de détermination du sexe des 236 saumons a permis d'identifier 85 mâles et 151 femelles. Le sexe ratio est biaisé en faveur des femelles dans la rivière Puyjalon et est équilibré dans la rivière Romaine.
4. Parmi les échantillons récoltés dans les frayères P.K.34 et P.K.49, une (1) femelle et trois (3) mâles géniteurs ont été identifiés pour chacune des frayères. Aucune contribution des géniteurs du LARSA n'a été détectée dans ces échantillons.

Figure 1. Proportion relative des individus assignés aux populations des rivières Romaine et Puyjalon (ou indéterminée). Les assignations dotées « * » indiquent que l'origine de l'individu a été inférée par l'origine des parents (voir annexe 4). Pour chaque groupe d'assignation populationnelle, la proportion d'individus sauvages et ensemencés est également présentée. La proportion de mâles « M » et femelles « F » est aussi illustrée.

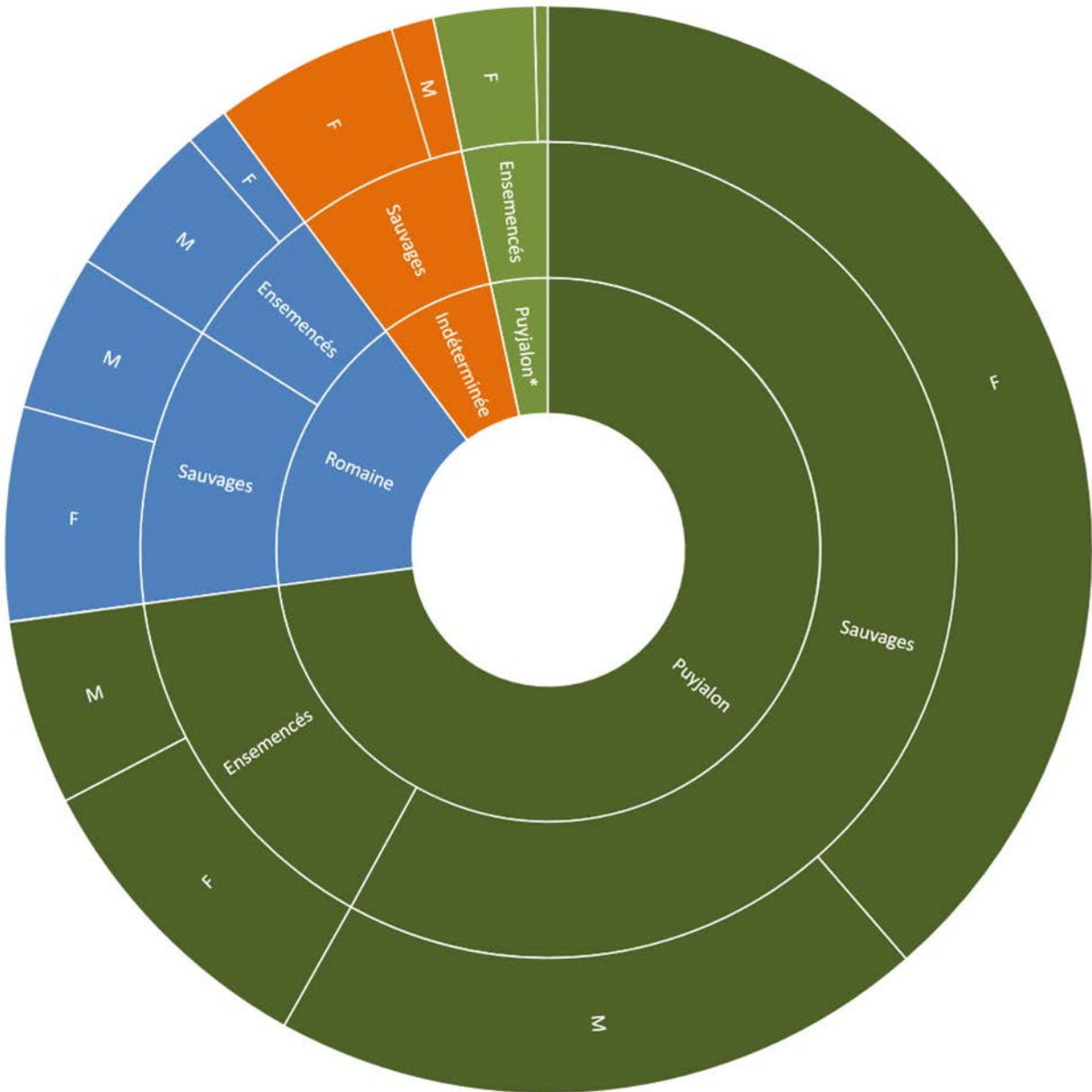


Tableau 1. Informations sur les loci utilisés pour la caractérisation génétique.

Locus	Séquence des amorces (5'-3')	Molécule fluorescente	Température d'appariement (°C)	Référence
Ssa85	a : AGGTGGGTCCTCCAAGCTAC b : ACCCGCTCCTCACTTAATC*	HEX (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa171	a : TTATTATCCAAAGGGGTCAAAA b : GAGGTCGCTGGGGTTTACTAT	NED (Jaune)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa197	a : GGGTTGAGTAGGGAGGCTTG b : TGGCAGGGATTTGACATAAC*	VIC (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa202	a : CTTGGAATATCTAGAATATGGC b : TTCATGTGTTAATGTTGCGTG*	VIC (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
SsaD58	F : TAGAGTTTGTCTCTGGCTTTG	HEX (Vert)	58	(King et coll., 2005)
SsaD71	R : AGACCCTAGGACTGGCTACTG F : AACGTGAAACATAAATCGATGG*	PET (Rouge)	58	(King et coll., 2005)
SsaD85	R : TAAGAATGGGTTGCCTATGAG F : CTTTGGCTGTTTCAGGTATGAC*	FAM (Bleu)	58	(King, pers.) comm.
SsaD144	R : CACTGCTCTACAACAGAAGTCTC F : TTGTGAAGGGGCTGACTAAC*	FAM (Bleu)	58	(King et coll., 2005)
SsaD486	R : TCAATTGTTGGGTGCACATAG F : TCGCTGTGTATCAGTATTTTGG	FAM (Bleu)	58	(King et coll., 2005)
Ssosl417	R : ACTCGGATAAACTCACAGGTC F : TTGTTCAAGTGTATATGTGTCCCAT* R : GATCTTCACTGCCACCTTATGACC	FAM (Bleu)	58	(Slettan et coll., 1995)

SsspG7	F : CTTGGTCCCGTTCTTACGACAACC*	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R : TGCACGCTGCTTGGTCCTTG			
Sssp1605	F : CGCAATGGAAGTCAGTGGACTGG*	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R :			
	CTGATTTAGCTTTTTAGTGCCCAATGC			
Sssp2201	F : TTAGATGGTGGGATACTGGGAGGC*	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R :			
	CGGGAGCCCCATAACCCTACTAATAAC			
Sssp2210	F : AAGTATTCATGCACACACATTCACTGC*	FAM (Bleu)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R : CAAGACCCTTTTTCCAATGGGATTC			
Sssp2215	F : ACTAGCCAGGTGTCCTGCCGGTC*	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R : AGGGTCAGTCAGTCACACCATGCAC			
Sssp2216	F : GGCCCAGACAGATAAAACAAACACGC*	VIC (Vert)	58	(Paterson et coll., 2004)
	R : GCCAACAGCAGCATCTACACCCAG			
MST-3	1 : CCCTGGTTTGACTTTGTCTCA*	HEX (Vert)	58	(Presa et Guyomard, 1996)
	2 : AGGCACTCTCACCAGCTAAAGATG			

* L'astérisque indique l'amorce à laquelle est fixée la molécule fluorescente

Tableau 2. Assignation populationnelle des smolts capturés dans la rivière Romaine en 2019 avec la valeur de vraisemblance (-Log10). Pour chaque échantillon, le sexe («F» et «M») et l'origine (ensemencement – oui ou non). Les assignations non concluantes ($-1 < D > 1$) sont indiquées comme «Indéterminée». Les assignations dotées «*» indiquent que l'origine de l'individu a été inférée par l'origine des parents (voir annexe 4). Les individus dont les assignations populationnelles sont non concordantes avec la provenance des parents sont soulignés d'un trait.

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R058	F	64,89	65,77	-0,87		
WSP_R168	F	58,79	57,99	0,80		
WSP_R204	F	54,62	54,96	-0,34		
WSP_R257	F	64,02	63,98	0,03	Puyjalon*	Oui
WSP_R289	F	64,91	65,74	-0,83		
WSP_R349	M	62,29	62,00	0,29		
WSP_R788	F	61,98	61,72	0,26		
WSP_R808	F	63,50	63,25	0,26		
WSP_R017	F	65,75	62,39	3,37		
WSP_R023	F	63,19	58,50	4,69		
WSP_R029	F	61,02	55,94	5,08		
WSP_R041	M	62,86	60,68	2,17		
WSP_R050	F	61,35	58,78	2,57		
WSP_R062	F	59,89	58,85	1,03		
WSP_R129	M	59,38	57,60	1,78		
WSP_R178	F	71,42	63,20	8,22		
WSP_R184	M	63,22	59,52	3,70		
WSP_R213	M	66,80	60,35	6,44		
WSP_R218	M	57,80	55,36	2,43		
WSP_R220	M	60,76	57,43	3,32		
WSP_R224	F	64,55	58,95	5,59	Puyjalon	Oui
WSP_R226	F	68,34	59,41	8,93		
WSP_R231	F	56,17	53,61	2,56		
WSP_R241	F	64,31	61,04	3,27		
WSP_R246	F	58,31	55,05	3,26		
WSP_R259	F	63,32	56,12	7,20		
WSP_R285	F	67,24	59,83	7,41		
WSP_R293	M	68,70	56,37	12,33		
WSP_R298	M	56,25	53,73	2,52		
WSP_R308	M	62,67	60,66	2,01		
WSP_R355	M	66,29	64,01	2,29		
WSP_R358	F	63,77	57,16	6,62		
WSP_R361	F	60,96	59,42	1,54		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R369	M	69,22	58,79	10,43	Puyjalon	Oui
WSP_R376	F	62,60	58,71	3,88		
WSP_R383	F	63,58	60,67	2,91		
WSP_R409	F	61,38	57,48	3,90		
WSP_R634	F	64,12	56,75	7,37		
WSP_R726	F	64,13	56,98	7,16		
WSP_R786	F	64,70	57,40	7,30		
WSP_R798	M	65,30	61,44	3,85		
WSP_R823	M	67,08	59,02	8,06		
WSP_R838	F	67,65	58,49	9,15		
WSP_R025	M	57,88	58,91	-1,03	Romaine	Oui
WSP_R066	M	59,02	62,02	-3,00		
WSP_R104	M	57,19	66,20	-9,01		
WSP_R305	F	63,14	65,48	-2,34		
WSP_R374	F	63,65	65,35	-1,71		
WSP_R459	M	63,86	64,94	-1,08		
WSP_R573	M	55,43	64,60	-9,18		
WSP_R630	M	59,60	72,91	-13,31		
WSP_R633	M	59,34	67,20	-7,86		
WSP_R637	M	59,85	66,53	-6,68		
WSP_R725	M	58,60	70,93	-12,34		
WSP_R781	M	58,43	67,01	-8,58		
WSP_R793	M	58,61	71,99	-13,38		
WSP_R826	F	57,62	69,30	-11,68		
WSP_R001	F	59,92	54,56	5,36		
WSP_R003	M	64,47	58,35	6,12		
WSP_R004	M	66,26	59,15	7,11		
WSP_R007	M	56,97	53,61	3,36		
WSP_R009	M	63,30	57,48	5,83		
WSP_R010	F	60,83	58,73	2,09		
WSP_R011	F	58,27	56,12	2,15		
WSP_R012	F	62,47	58,22	4,25		
WSP_R015	F	60,81	56,88	3,92		
WSP_R019	F	65,29	60,01	5,28		
WSP_R027	F	64,78	59,59	5,19		
WSP_R032	F	65,56	59,90	5,66		
WSP_R035	F	62,44	56,68	5,76		
WSP_R044	F	62,80	58,31	4,50		
WSP_R047	F	62,84	59,15	3,69		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R054	F	64,87	59,33	5,54		
WSP_R071	F	66,19	57,28	8,91		
WSP_R075	F	73,97	72,61	1,36		
WSP_R081	M	64,71	55,57	9,15		
WSP_R085	F	68,73	58,04	10,69		
WSP_R089	F	65,91	58,24	7,67		
WSP_R093	F	66,84	59,22	7,62		
WSP_R097	M	65,56	60,46	5,11		
WSP_R101	F	67,82	59,03	8,79		
WSP_R108	F	64,61	56,64	7,97		
WSP_R112	M	66,37	58,86	7,50		
WSP_R116	M	66,37	61,46	4,90		
WSP_R121	F	68,95	61,19	7,77		
WSP_R125	F	59,94	57,88	2,06		
WSP_R133	F	65,40	60,53	4,87		
WSP_R137	M	64,61	56,72	7,88		
WSP_R143	F	64,98	59,81	5,17		
WSP_R148	F	65,78	59,52	6,27		
WSP_R154	F	58,94	54,39	4,55		
WSP_R161	F	69,23	66,91	2,32	Puyjalon	Non
WSP_R165	F	62,24	58,61	3,63		
WSP_R171	F	60,49	55,11	5,38		
WSP_R174	F	59,64	57,63	2,01		
WSP_R181	F	66,24	58,72	7,52		
WSP_R187	F	61,64	58,79	2,84		
WSP_R198	F	62,41	55,29	7,12		
WSP_R202	F	65,55	59,40	6,15		
WSP_R206	F	61,63	58,57	3,06		
WSP_R208	M	63,29	54,37	8,92		
WSP_R209	F	72,25	60,37	11,88		
WSP_R214	M	66,84	58,51	8,33		
WSP_R215	F	66,24	61,92	4,32		
WSP_R219	F	59,26	53,10	6,16		
WSP_R221	F	64,82	61,13	3,68		
WSP_R222	F	68,90	59,69	9,21		
WSP_R229	M	62,34	59,38	2,96		
WSP_R233	F	61,00	57,10	3,89		
WSP_R235	F	62,10	57,51	4,60		
WSP_R237	M	60,79	56,62	4,17		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R239	M	67,93	60,67	7,26		
WSP_R243	M	65,23	57,91	7,33		
WSP_R248	M	59,52	55,59	3,92		
WSP_R251	F	64,61	56,44	8,17		
WSP_R253	F	65,74	58,75	6,99		
WSP_R255	F	69,92	63,83	6,09		
WSP_R282	F	63,56	59,36	4,21		
WSP_R283	M	65,62	54,31	11,31		
WSP_R296	M	62,47	57,19	5,29		
WSP_R302	F	65,14	61,33	3,80		
WSP_R311	M	64,13	56,94	7,19		
WSP_R314	F	83,89	82,09	1,80		
WSP_R319	F	60,56	51,56	9,00		
WSP_R321	F	60,74	58,13	2,61		
WSP_R323	F	62,19	55,68	6,51		
WSP_R325	M	63,86	56,15	7,71		
WSP_R327	F	64,30	61,27	3,03		
WSP_R329	F	66,76	60,60	6,16		
WSP_R331	F	64,16	55,20	8,96		
WSP_R334	F	60,90	53,88	7,02	Puyjalon	Non
WSP_R336	M	65,55	61,53	4,02		
WSP_R340	M	66,14	58,71	7,42		
WSP_R365	F	57,96	52,93	5,03		
WSP_R367	F	67,42	59,60	7,82		
WSP_R378	M	65,85	55,62	10,23		
WSP_R380	F	61,02	56,43	4,59		
WSP_R386	M	64,69	63,00	1,69		
WSP_R392	F	59,96	52,07	7,88		
WSP_R396	F	62,96	59,54	3,41		
WSP_R399	F	63,70	57,64	6,06		
WSP_R402	F	61,74	57,28	4,46		
WSP_R406	M	71,57	61,22	10,36		
WSP_R407	F	63,04	57,36	5,68		
WSP_R408	F	63,02	56,07	6,96		
WSP_R410	F	64,97	54,53	10,44		
WSP_R411	F	63,84	57,05	6,78		
WSP_R412	F	64,31	61,47	2,83		
WSP_R454	M	67,26	59,52	7,74		
WSP_R455	M	66,84	59,95	6,90		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R456	M	64,63	60,76	3,87		
WSP_R457	F	66,58	57,47	9,11		
WSP_R458	M	65,74	60,35	5,39		
WSP_R567	F	67,71	61,89	5,83		
WSP_R568	F	72,76	61,74	11,02		
WSP_R569	M	58,40	56,34	2,06		
WSP_R571	F	64,25	61,51	2,73		
WSP_R572	F	65,37	58,89	6,48		
WSP_R631	F	71,47	59,83	11,63		
WSP_R720	F	64,68	57,97	6,71		
WSP_R721	M	64,22	59,59	4,63		
WSP_R723	F	64,06	54,19	9,87		
WSP_R724	F	65,67	58,72	6,95		
WSP_R770	F	62,49	57,33	5,16		
WSP_R771	F	64,88	56,47	8,41		
WSP_R772	F	64,99	57,70	7,29		
WSP_R774	F	66,47	58,94	7,53		
WSP_R775	F	60,41	54,83	5,59		
WSP_R776	M	61,13	59,11	2,02		
WSP_R777	M	63,03	60,78	2,26	Puyjalon	Non
WSP_R778	F	58,42	55,51	2,91		
WSP_R779	M	63,62	60,98	2,65		
WSP_R785	F	69,91	61,13	8,78		
WSP_R787	M	63,30	56,30	7,00		
WSP_R789	M	68,08	61,53	6,55		
WSP_R791	M	65,67	60,79	4,88		
WSP_R792	M	62,50	58,76	3,74		
WSP_R794	M	59,39	58,18	1,22		
WSP_R797	M	63,37	56,44	6,93		
WSP_R809	M	62,11	55,36	6,75		
WSP_R810	M	72,61	60,75	11,86		
WSP_R811	F	64,10	58,45	5,65		
WSP_R813	M	57,86	54,96	2,90		
WSP_R815	M	65,12	58,61	6,51		
WSP_R817	M	66,14	59,63	6,51		
WSP_R819	F	60,65	56,52	4,13		
WSP_R843	F	60,23	57,33	2,90		
WSP_R846	F	65,35	57,57	7,78		
WSP_R851	M	79,56	77,09	2,48		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		D	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R870	F	72,21	69,47	2,75	Puyjalon	Non
WSP_R882	F	77,23	75,97	1,26		
WSP_R883	F	68,10	61,95	6,15		
WSP_R886	F	75,59	73,69	1,90		
WSP_R897	F	73,83	72,79	1,04		
WSP_R006	F	65,63	68,41	-2,78		
WSP_R287	F	57,85	60,93	-3,08		
WSP_R317	F	69,36	70,54	-1,18		
WSP_R343	F	62,09	63,52	-1,43		
WSP_R346	F	58,20	66,36	-8,15		
WSP_R636	F	58,28	63,07	-4,79		
WSP_R790	M	56,38	70,95	-14,57		
WSP_R821	M	60,34	65,65	-5,31		
WSP_R829	M	59,67	68,65	-8,99		
WSP_R832	F	54,05	62,62	-8,57		
WSP_R835	F	59,71	64,24	-4,53		
WSP_R848	F	67,55	68,89	-1,34		
WSP_R849	M	72,62	80,61	-7,99	Romaine	Non
WSP_R852	F	74,06	82,72	-8,66		
WSP_R861	M	69,28	77,14	-7,86		
WSP_R862	F	71,90	80,67	-8,77		
WSP_R863	M	71,25	75,87	-4,62		
WSP_R865	M	65,99	73,86	-7,87		
WSP_R868	M	68,29	73,91	-5,62		
WSP_R872	M	73,76	82,90	-9,14		
WSP_R887	F	71,35	81,05	-9,70		
WSP_R892	F	70,43	78,58	-8,15		
WSP_R895	M	71,21	79,04	-7,82		
WSP_R896	M	68,38	77,30	-8,92		
WSP_R898	F	70,90	77,20	-6,30		
WSP_R899	F	69,18	71,28	-2,10		
WSP_R005	M	60,12	61,00	-0,88		
WSP_R008	F	63,26	64,01	-0,75		
WSP_R021	F	62,55	62,99	-0,43		
WSP_R038	F	55,37	56,12	-0,75		
WSP_R190	F	69,75	69,17	0,58		
WSP_R197	F	57,51	56,87	0,64		
WSP_R352	F	58,44	58,46	-0,02		
WSP_R372	F	69,52	69,35	0,17		

Échantillon	Sexe	Vraisemblance -Log10(L)		<i>D</i>	Population assignée	Ensemencement
		Romaine	Puyjalon			
WSP_R389	M	57,01	56,43	0,58	Indéterminée	Non
WSP_R844	F	77,24	77,50	-0,26		
WSP_R847	F	75,36	75,93	-0,56		
WSP_R850	F	72,77	72,41	0,35		
WSP_R881	F	73,94	72,99	0,95		
WSP_R884	M	72,90	72,18	0,72		
WSP_R885	F	73,03	73,49	-0,46		
WSP_R889	F	74,56	75,09	-0,54		

Références bibliographiques

- Ackerman MW, Hand B, Waples RK, Luikart G, Waples RS, Steele CA, Garner BA, McCane J, Campbell MR (2016) Effective number of breeders from sibship reconstruction: empirical evaluations using hatchery steelhead. *Evolutionary Applications* 10: 146-160.
- Aljanabi SM, Martinez I (1997) Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Research* 25 : 4692-4693.
- Côté G. et L. Bernatchez (2014) Caractérisation génétique des saumons atlantique des rivières Romaine et Puyjalon en élevage au LARSA (Laboratoire de Recherche en Sciences Aquatiques) et des adultes reproducteurs utilisés pour le frai artificiel. Rapport présenté par l'Université Laval à la Société Saumon de la Rivière Romaine (SSRR). 48 p. et 2 annexes
- Jones OR, Wang J (2010) COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10: 551-555.
- Kalinowski ST, Taper ML, Marshall TC (2007) Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology* 16: 1099-1106.
- King TL, Eackles MS, Letcher BH (2005) Microsatellite DNA markers for the study of Atlantic salmon (*Salmo salar*) kinship, population structure, and mixed-fishery analyses. *Molecular Ecology Notes* 5 : 130-132.
- King RA & Stevens JR (2019) An improved genetic sex test for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Conservation Genetics Resources*, Technical note.
- Oreilly PT, Hamilton LC, Mcconnell SK, Wright JM (1996) Rapid analysis of genetic variation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) by PCR multiplexing of dinucleotide and tetranucleotide microsatellites. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 : 2292-2298.
- Paterson S, Piertney SB, Knox D, Gilbey J, Verspoor E (2004) Characterization and PCR multiplexing of novel highly variable tetranucleotide Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) microsatellites. *Molecular Ecology Notes* 4 : 160-162.
- Piry S, Alapetite A, Cornuet JM, Paetkau D, Baudouin L, Estoup A (2004) GENECLASS2 : a software for genetic assignment and first-generation migrant detection. *J Hered.* 95 : 536-9.
- Presa P, Guyomard R (1996) Conservation of microsatellites in three species of salmonids. *Journal of Fish Biology* 49 : 1326-1329.

Rannala B, Mountain JL, (1997) Detecting immigration by using multilocus genotypes. Proc Natl Acad Sci USA 94 : 9197–9201.

Slettan A, Olsaker I, Lie O (1995) Atlantic Salmon, *Salmo salar*, Microsatellites at the Ssosl25, Ssosl85, Ssosl311, Ssosl417 Loci. Animal Genetics 26 : 281-282.

Annexe 1 : Protocole d'extraction de l'ADN des échantillons

Protocole d'extraction d'ADN par la méthode aux sels

Tiré de Salah M. Aljanabi & Icar Martinez, 1997 : Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. Nucleic Acids Research. 25(22): 4692-4693.

Tampon d'extraction salin :	250 ml
2 mM EDTA	1 ml de 0,5 M EDTA
10 mM Tris-HCl	2,5 ml de 1 M Tris-HCl (pH 8)
0.4 M NaCl	20 ml de 5 M NaCl
	226,5 ml dH ₂ O

SDS 20 % :

20 g de SDS + 80 ml de dH₂O, mélanger et ajuster le volume à 100 ml final

Solution saline 6 M :

Dissoudre 29 g de NaCl dans 100 ml dH₂O

Dissoudre 6.06 g de NaCl additionnel (on peut le faire chauffer au micro-ondes)

Procédure :

- 1- Couper des bouts de tissu d'environ 0,05 à 0,25 cm², nettoyer ses instruments entre chaque échantillon.
- 2- Déposer chaque échantillon dans un tube 1,5 ml pré identifiés.
- 3- Laisser les morceaux de tissu sécher (pour enlever tout l'éthanol résiduel) environ 30 minutes. Mettre une Kimtech sur les échantillons afin d'éviter la contamination durant le séchage.
- 4- Ajouter 440 µl de tampon d'extraction salin + 44 µl de SDS 20 % + 12 µl de Protéinase K (20 mg/ml).
- 5- Vortexer quelques secondes.
- 6- Incuber toute la nuit à 50 °C en mettant en mouvement à 250.
- 7- Si le tissu n'est pas suffisamment digéré, ajouter 20 µl de Protéinase K et laisser agir au minimum 2h à 50 °C en mettant en mouvement à 250 (étape à éviter).
- 8- Centrifuger quelques secondes pour faire descendre la buée qui se retrouve sur les parois des tubes.
- 9- Ajouter 4 µl de RNase A dans chaque tube. Vortexer et laisser agir 1 h à 20 °C (température ambiante).
- 10- Ajouter 300 µl de la solution saline 6 M.

- 11- Vortexer quelques secondes pour chaque tube.
- 12- Centrifuger à 10300 rpm pendant 30 minutes.
- 13- Transférer 600 µl de surnageant dans un nouveau tube 1,5 ml pré identifié.
- 14- Ajouter 600 µl isopropanol froid (conservé au congélateur -20°C).
- 15- Mélanger gentiment les tubes en les inversant quelques fois.
- 16- Incuber les tubes à -20°C pendant 1 heure ou toute la nuit (les échantillons peuvent rester dans l'isopropanol pour une longue période sans problème).
- 17- Centrifuger à 13000 rpm pendant 20 minutes.
- 18- Enlever le surnageant à la pipette.
- 19- Laissez sécher les tubes 10-15 minutes. Déposer une Kimtech dessus pour éviter la contamination.
- 20- Ajouter 500 µl d'éthanol 70 % froid (conserver au congélateur -20°C).
- 21- Centrifuger à 13000 rpm pendant 10 minutes.
- 22- Enlever le surnageant à la pipette.
- 23- Ajouter 500 µl d'éthanol 70 % froid (conserver au congélateur -20°C).
- 24- Centrifuger à 13000 rpm pendant 10 minutes.
- 25- Enlever le surnageant à la pipette.
- 26- Laisser le culot sécher 1 ou 2 heures à 60 °C ou toute la nuit à 37°C.
- 27- Dissoudre le culot dans 100 µl d'H₂O

Annexe 2 : Protocole de l'amplification et de migration sur capillaires des loci microsatellites

Solutions requises :

1. Multiplex PCR kit (Qiagen, numéro de produit: 206145)
2. Amorces R: 10 μ M
3. Amorces F: 10 μ M
4. ADN : ~10 ng/ μ l
5. Hi-Di Formamide (Applied Biosystems, numéro de produit: 4311320)
6. GeneScan 500 ROX® (Applied Biosystems, numéro de produit: 401734)
7. GeneScan 500 LIZ® (Applied Biosystems, numéro de produit: 4322682)

Les 17 loci utilisés pour les analyses génétiques ont été amplifiés en trois réactions PCR. Les quantités en microlitres (μ l) des solutions de départ nécessaires aux réactions PCR sont présentées ci-dessous pour une réaction (1 échantillon). Pour chacune des réactions PCR, le volume final est de 10 μ l.

PCR Multiplex 1

Réactif		Volume (μ l)
Multiplex PCR kit		5
Amorce Ssa171	-F	0,2
	-R	
Amorce Ssa197	-F	0,05
	-R	
Amorce Ssa202	-F	0,3
	-R	
Amorce Ssosl417	-F	0,15
	-R	
Amorce SsaD85	-F	0,4
	-R	
Amorce SsaD71	-F	0,4
	-R	
ADN		2

PCR Multiplex 2

Réactif		Volume (μ l)
Multiplex PCR kit		5
Amorce SsaD144	-F -R	0,6
Amorce Sssp1605	-F -R	0,5
Amorce Sssp2210	-F -R	0,1
Amorce Sssp2215	-F -R	0,25
Amorce Sssp2216	-F -R	0,05
ADN		2

PCR Multiplex 3

Réactif		Volume (μ l)
Multiplex PCR kit		5
Amorce Sssp2201	-F -R	0,9
Amorce SsspG7	-F -R	0,1
Amorce MST-3	-F -R	0,25
Amorce Ssa85	-F -R	0,03
Amorce SsaD58	-F -R	0,8
Amorce SsaD486	-F -R	0,025
ADN		2

Les conditions lors de la PCR étaient les suivantes :

Programme Multiplex 1, Multiplex 2 et Multiplex 3

15 min à 95°C (30 sec à 95°C; 3 min à 58°C; 1 min à 72°C)₃₅ 30 min à 72°C

Une fois les réactions terminées, on procède à la préparation de la plaque pour le séquençage et permettre la visualisation des loci migrés.

Pour les migrations - Multiplex 1 et 2:

- 1- Pour chaque échantillon diluer 1 µl du produit PCR Multiplex 1 dans 10 µl d'eau.
- 2- Mélanger 2 µl de cette dilution et 10 µl d'un mélange de 10 µl de Formamide Hi-Di et 0,13 µl de GeneScan 500 LIZ.

Pour la migration - Multiplex 3:

- 1- Pour chaque échantillon diluer 1 µl du produit PCR Multiplex 1 dans 10 µl d'eau.
- 2- Mélanger 2 µl de cette dilution et 10 µl d'un mélange de 10 µl de Formamide Hi-Di et 0,13 µl de GeneScan 500 ROX.

Annexe 3 : Protocole de détermination du sexe

Solutions requises :

1. Accustart II Geltrack SuperMix 4000R (Quanta Biosciences, numéro de produit: CA89235-012)
2. Amorces R: 10 μ M
3. Amorces F: 10 μ M
4. ADN environ 10 ng/ μ l

Les quantités en microlitres (μ l) des solutions de départ nécessaires aux réactions PCR sont présentées ci-dessous pour une réaction (1 échantillon). Pour chacune des réactions PCR, le volume final est de 10 μ l.

Réactifs	Volume (μ l)
Accustart II	5
SDY_Ex1F4	1,4
SDY_AS-R	1,4
Fabp6b-F	0,1
Fabp6b-R	0,1
ADN	2

Les conditions lors de la PCR étaient les suivantes :

60 sec à 94°C (30 sec à 94°C; 30 sec à 65°C; 30 sec à 72°C)₃₅

Une fois les réactions terminées, 8 μ l de la réaction PCR sont migrée sur un gel d'agarose 2% et visualisée sur GeneSnap 6.08 (SynGene)

Annexe 4 : Assignment parentale des individus provenant de l'ensemencement

Tableau A4. Assignment parentale des smolts capturés dans la rivière Romaine en 2019. Les smolts assignés aux mêmes géniteurs sont présentés sur une même ligne (i.e. Smolt 1, Smolt 2 et Smolt 3). Pour chaque assignation, l'identifiant unique, l'origine (Pu = Puyjalon ; Ro = Romaine) et la cohorte des géniteurs sont présentés. L'année de reproduction et d'ensemencement dans la rivière sont également affichées. Les individus dont les assignations populationnelles sont non concordantes avec la provenance des parents sont soulignés d'un trait.

Origine Parentale	Famille	Mère	Père	Année		Échantillons (même lignée)		
		Identifiant inféré	Identifiant inféré	Reproduction	Ensemencement	Smolt 1	Smolt 2	Smolt 3
Puyjalon	T.38	985120011377716	985120011398190	2015	2016	<u>WSP R459</u>		
	T.37		985120011405121	2015	2016	WSP_R178		
	T.29	Sauvpu2653	985121021212128	2015	2016	WSP_R358		
	PU10-3A	985120009115611	985120011318508	2016	2017	WSP_R369		
	PU16-1A	985120011326425	426802183E	2016	2017	WSP_R798		
	PU7-1B	985120011326452	985120011316978	2016	2017	WSP_R226	WSP_R634	
	PU4-1B	985120011364735	985120011318508	2016	2017	WSP_R289	WSP_R355	<u>WSP R374</u>
	PU4-1C		985120011366633	2016	2017	WSP_R058		
	PU15-1B	985120011366231	985120011326432	2016	2017	WSP_R218		
	PU10-3B	985120011367407	985120011316590	2016	2017	WSP_R017		
	PU8-2A	985120011378974	985120012221423	2016	2017	WSP_R184	WSP_R231	
	PU14-1C	985120011379704	985120011364231	2016	2017	WSP_R349		
	PU7-4B	985120011381127	985120011316978	2016	2017	WSP_R023		
	PU7-4C		985120012211302	2016	2017	WSP_R050		
	PU2-2A	985120011396109	985120012230140	2016	2017	WSP_R308	WSP_R823	
	PU2-1B	985120011397183	985120011326309	2016	2017	WSP_R062	WSP_R383	WSP_R409
	PU5-2B	985120011424163	985120011435713	2016	2017	WSP_R285		
	PU5-3A		985120012205461	2016	2017	WSP_R788		
	PU8-1A	985120012204965	985120012221423	2016	2017	<u>WSP R025</u>	<u>WSP R066</u>	
PU7-3A	985120012205729	985120011379769	2016	2017	WSP_R293			
PU7-3C		985120012211302	2016	2017	WSP_R259			

Origine Parentale	Famille	Mère	Père	Année		Échantillons (même lignée)		
		Identifiant inféré	Identifiant inféré	Reproduction	Ensemencement	Smolt 1	Smolt 2	Smolt 3
Puyjalon	PU3-1B		985120011364231	2016	2017	WSP_R241	WSP_R808	
	PU3-1C	985120012206258	985120011316590	2016	2017	WSP_R361		
	PU3-1A		985120011364874	2016	2017	WSP_R257		
	PU7-2B	985120012210012	985120011316978	2016	2017	WSP_R246		
	PU7-2A		985120011379769	2016	2017	WSP_R786		
	PU11-2B	985120012211472	985120011364231	2016	2017	WSP_R029		
	PU11-2C		985120012230140	2016	2017	WSP_R838		
	PU4-3B	985121021157834	985120011318508	2016	2017	WSP_R129	WSP_R168	WSP_R204
	PU4-3C		985120011366633	2016	2017	WSP_R376		
	PU5-3B	4263447C4D	985120011435713	2016	2017	WSP_R213	WSP_R224	
	PU5-3A		985120012205461	2016	2017	WSP_R041		
	PU5-1B	4265756B7A	985120011435713	2016	2017	WSP_R220	WSP_R726	
PU5-1A	985120012205461		2016	2017	WSP_R298			
Romaine	RO5-3A		985120012205754	2016	2017	WSP_R573	WSP_R793	
	RO5-3C	985120011315268	985120011372860	2016	2017	WSP_R104		
	RO5-3B		985120011396957	2016	2017	WSP_R781		
	RO5-2C	985120011376258	985120011372860	2016	2017	WSP_R725		
	RO7-2A	985120011403105	985120012241872	2016	2017	WSP_R826		
	RO6-2C	985120012207127	985120011320751	2016	2017	WSP_R633		
	RO4-1A	985120012229251	985120012206648	2016	2017	WSP_R630		
	RO11-1C	42331F745D	985121016756188	2016	2017	WSP_R637		
	RO2-3C	4266593469*	985120011316876	2016	2017	WSP_R305		

Annexe 5 : Nombre de géniteurs impliqués dans les frayères P.K.34 et P.K.49

Tableau A5. Groupements génétiques et nombre de géniteurs potentiel des échantillons d'alevins provenant des frayères P.K.34 et P.K.49.

Frayère	Échantillon	Groupement	Probabilité	Parent 1	Parent 2
P.K.34	1	1	0,82	1	1
	10	1	0,82	1	1
	3	1	0,82	1	1
	4	1	0,82	1	1
	9	1	0,82	1	1
	2	1	0,82	1	2
	5	1	0,82	1	3
	6	1	0,82	1	3
	7	1	0,82	1	3
	8*	2	0,55	2	4
	11 ⁺	3	0,88	3	5
P.K.49	4 ⁺	1	0,82	1	1
	3	3	0,88	3	5
	1	3	0,88	4	5
	2	3	0,88	5	5
	5	3	0,88	5	5

*Cet échantillon a été assigné à un groupement génétique unique, mais sa probabilité de groupement est relativement faible (0,55).

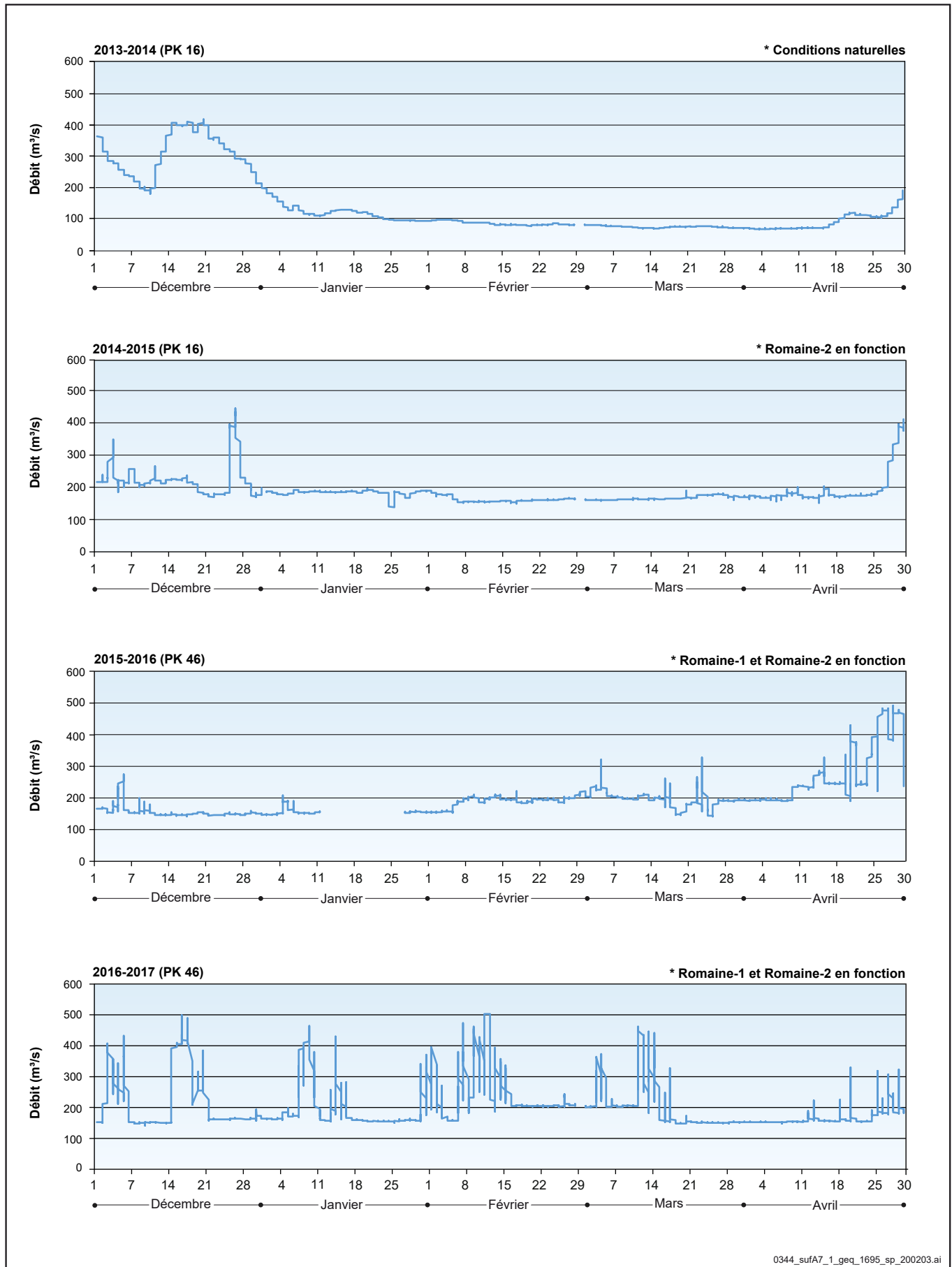
⁺Ces échantillons semblent avoir été inversés durant le processus d'échantillonnage ou d'extraction des données.

ANNEXE 5 Données brutes de captures dans la Romaine et dans la Puyjalon en 2019

ANNEXE 6 Données brutes des smolts capturés en 2019

ANNEXE 7 Débits horaires de la Romaine à différentes périodes de l'année entre 2013 et 2019

Figure A7-1a Débits horaires de la Romaine (PK 16 ou PK 46) entre décembre et avril de 2013 à 2019



0344_sufA7_1_geq_1695_sp_200203.ai

Figure A7-1b Débits horaires de la Romaine (PK 16 ou PK 46) entre décembre et avril de 2013 à 2019

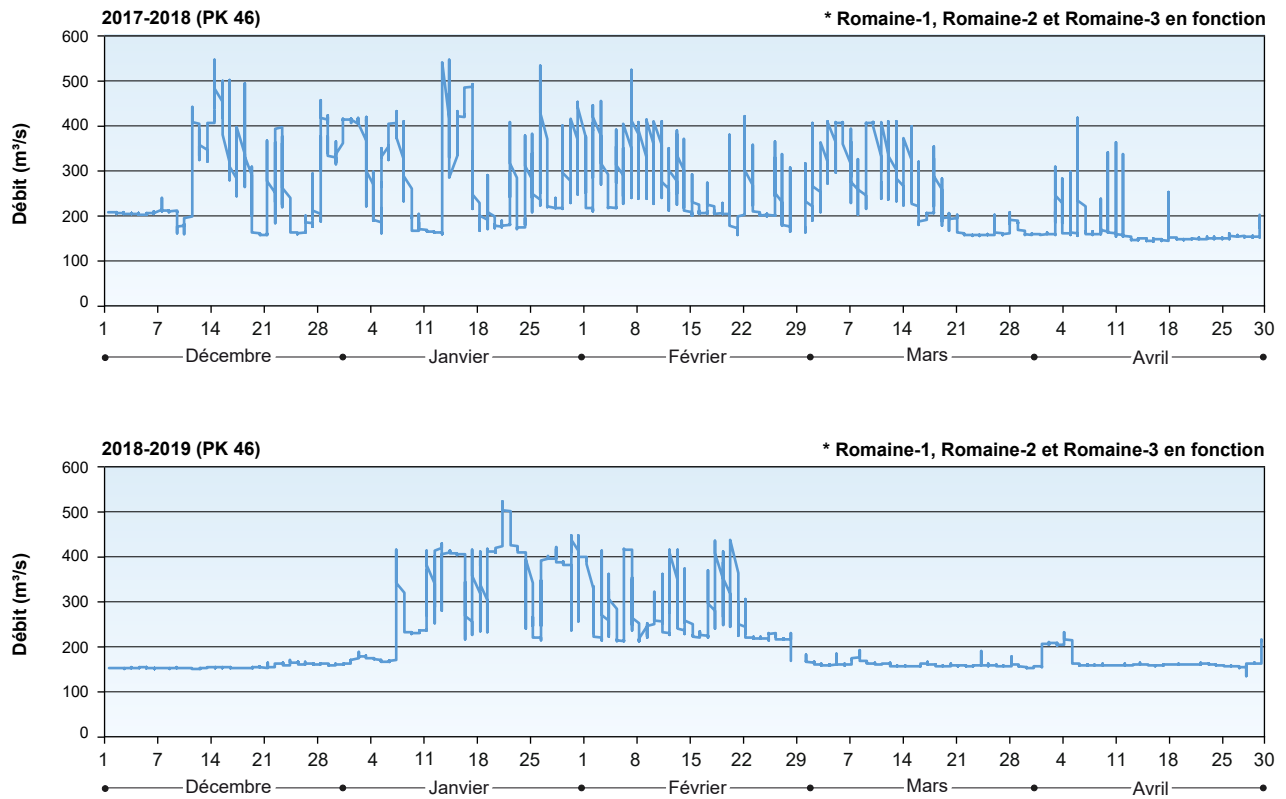
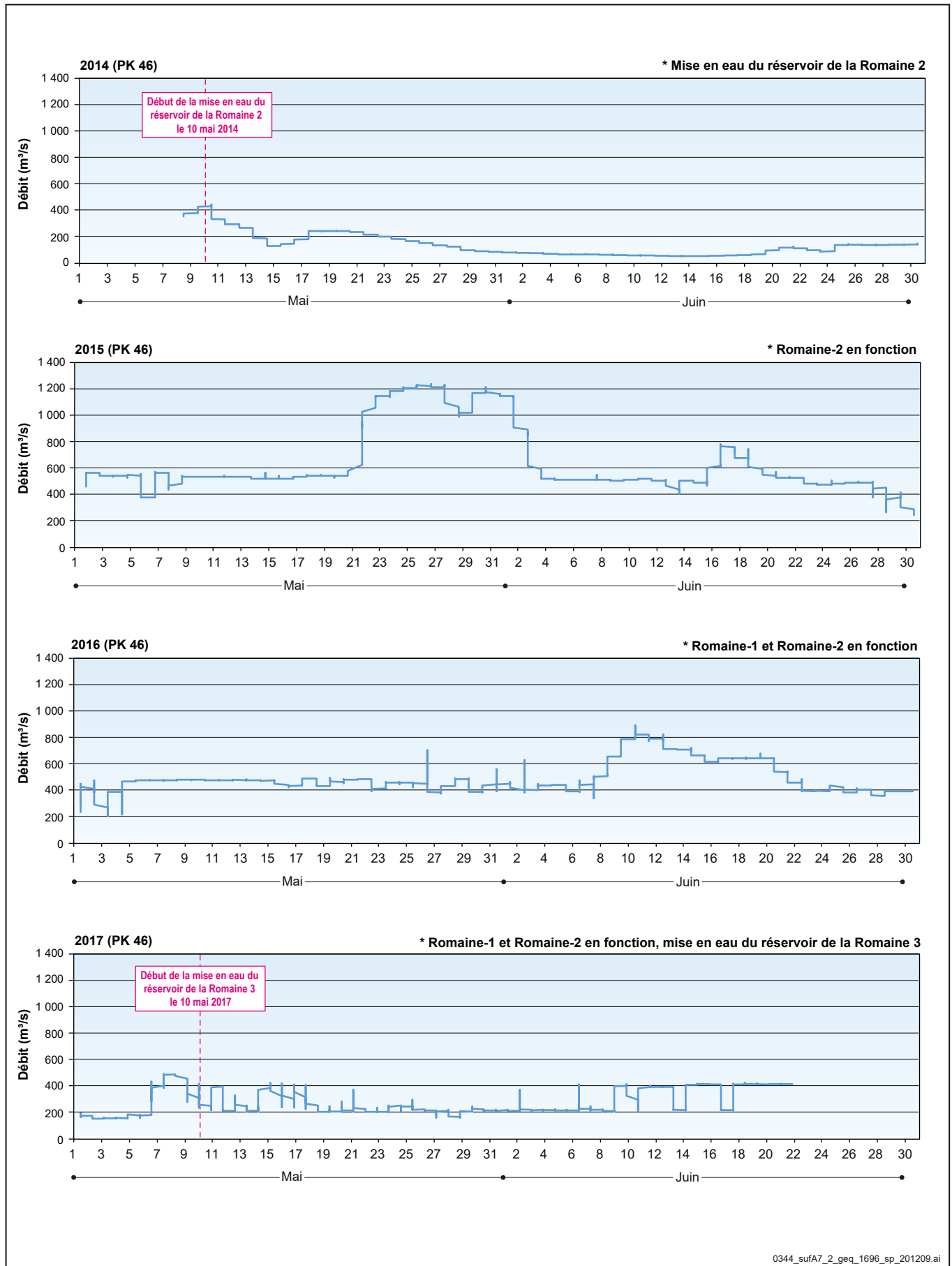


Figure A7-2a Débits horaires de la Romaine au PK 46 entre mai et juin de 2014 à 2019



0344_sufA7_2_geq_1696_sp_201209.ai

Figure A7-2b Débits horaires de la Romaine au PK 46 entre mai et juin de 2014 à 2019

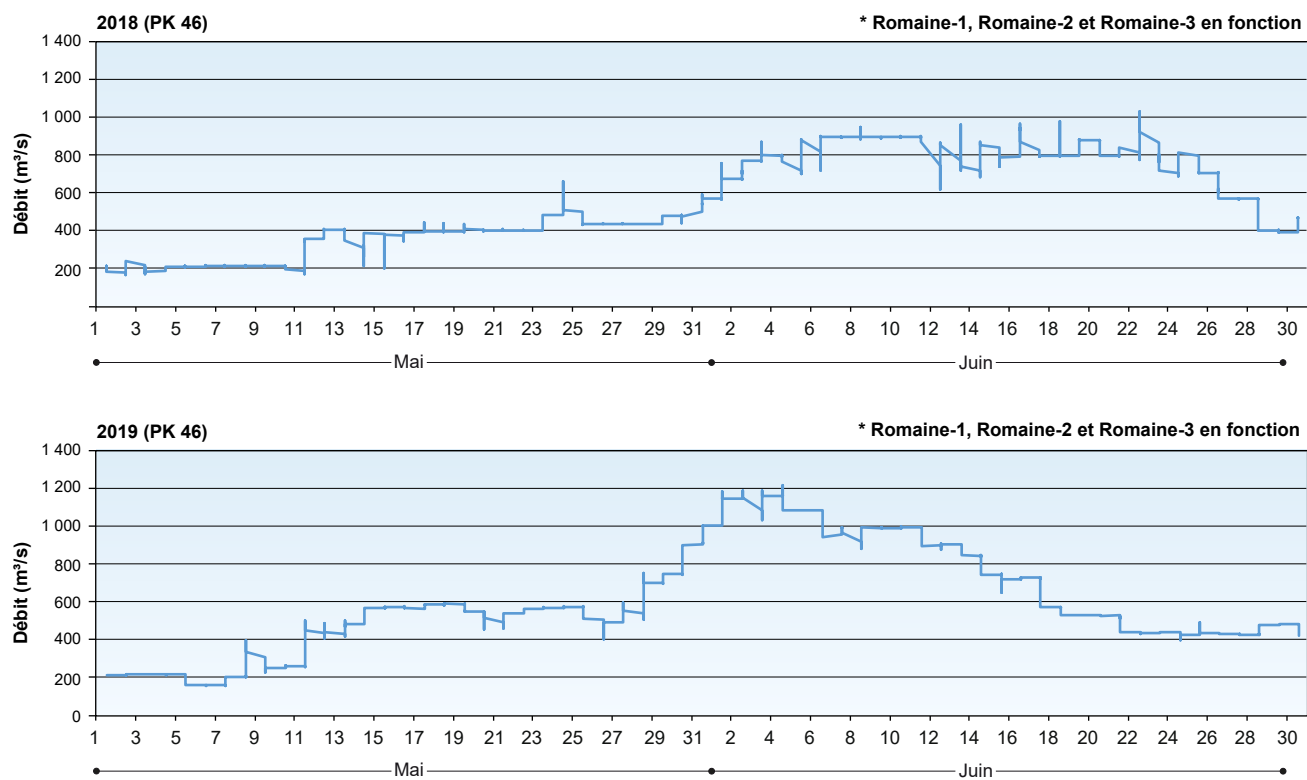
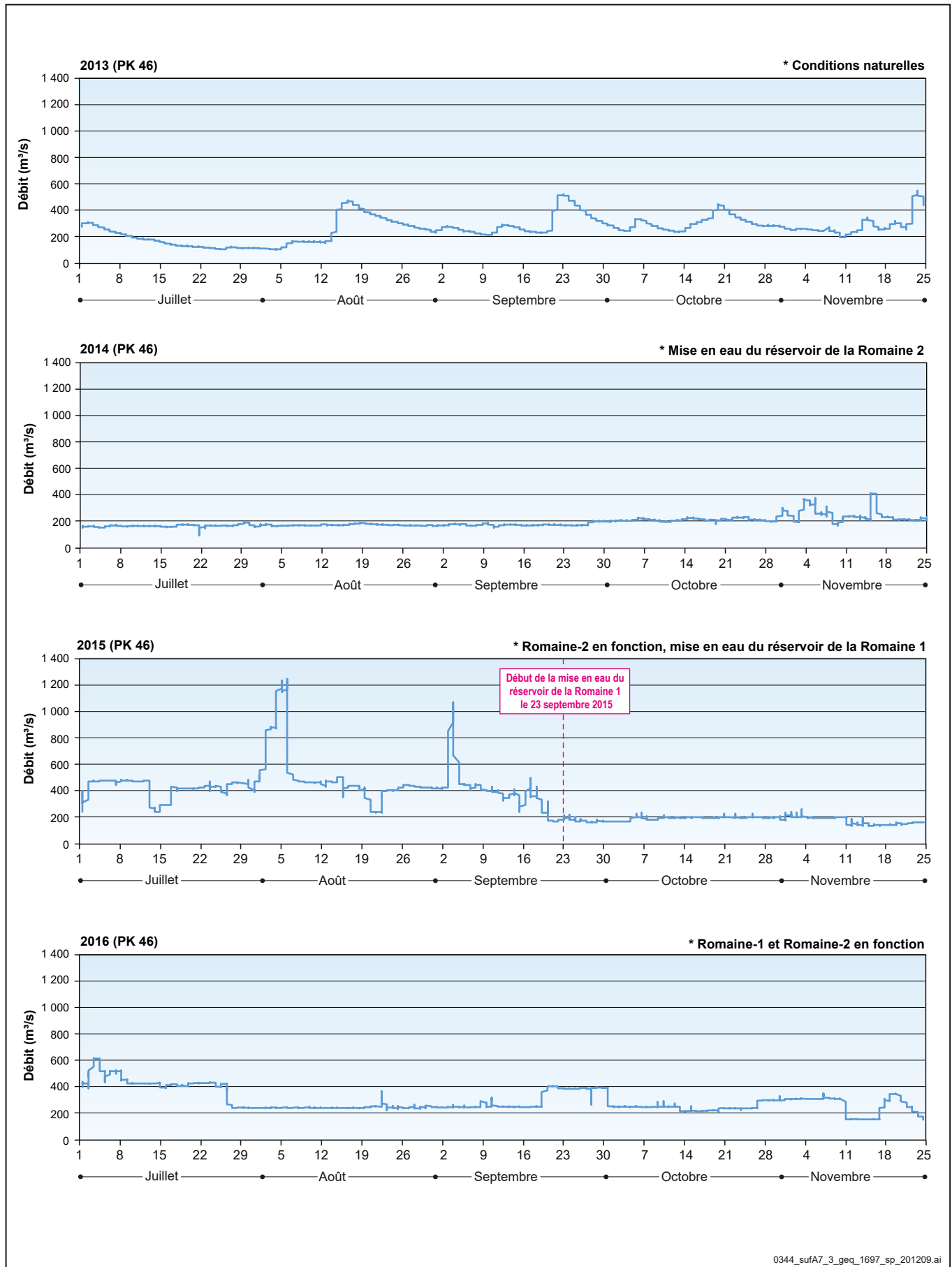
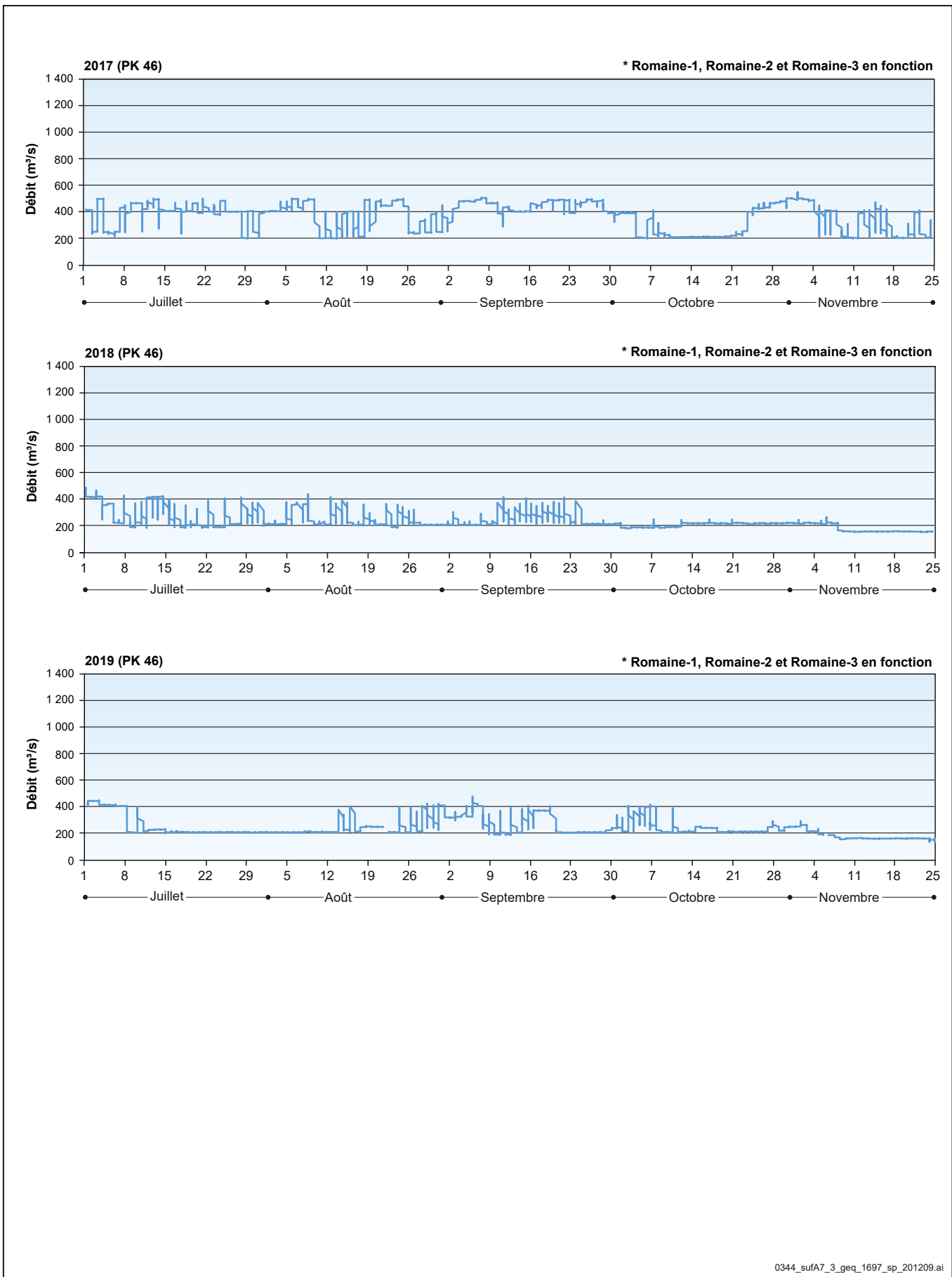


Figure A7-3a Débits horaires de la Romaine au PK 46 entre juillet et novembre 2013 à 2019



0344_sufA7_3_geq_1697_sp_201209.ai

Figure A7-3b Débits horaires de la Romaine au PK 46 entre juillet et novembre 2013 à 2019



0344_sufA7_3_geq_1697_sp_201209.ai

ANNEXE 8 Calcul de l'évaluation de la population de smolts par la méthode de capture-marquage-recapture (CMR)

Annexe 8

Calcul de l'évaluation de la population de smolts par la méthode de capture-marquage-recapture (CMR)

Évaluation de l'abondance de la population selon le modèle de Peterson

Formule: $N = (M+1) \cdot (C+1) / (R+1)$

	<i>Puyjalon</i>	<i>Romaine</i>
M: Nombre de spécimens marqués	917	572
C: Nbre de captures au site de recaptures	1071	901
R: Nbre de spécimens marqués recapturés	34	27
N: Effectif de la population de smolt	28117	18459
MIN	21979	13996
MAX	38991	26895

Calcul de l'intervalle de confiance

Calcul du MAX (int. confiance 95 %)

où:

	<i>Puyjalon</i>	<i>Romaine</i>	
x	34	27	$x = R$
n	1071	901	$n = C$
v ₁	2076	1750	$v_1 = 2 \cdot (C-R+1)$
v ₂	68	54	$v_2 = 2 \cdot R$
F (2), v ₁ ,v ₂	1,36	1,42	F (2), v ₁ ,v ₂ = Voir table du F (anova), 2 (bilatéral), v ₁ (var 1), v ₂ (var 2)
MAX	0,023518	0,021268	$MAX = R / (R + (C-R+1) \cdot (F(2), v_1, v_2))$
nbre	38991	26895	$nbre = (1/MAX) \cdot M$

Calcul du MIN (int. confiance 95 %)

où:

	<i>Puyjalon</i>	<i>Romaine</i>	
V'1	70	56	$V'1 = v_2 + 2$
V'2	2074	1748	$V'2 = v_1 - 2$
F (2), v ₁ ,v ₂	1,29	1,33	F (2), v ₁ ,v ₂ = Voir table du F (anova), 2 (bilatéral), v ₁ (var 1), v ₂ (var 2)
MIN	0,041722	0,040867	$MIN = (R+1) \cdot (F(2), v_1, v_2) / ((C-R) + (R+1) \cdot (F(2), v_1, v_2))$
nbre	21979	13996	$nbre = (1/MIN) \cdot M$

Évaluation de l'abondance de la population de l'ensemble du bassin versant de la Romaine selon le CMR basé sur les données amassées dans la rivière Puyjalon et sur les analyses génétiques réalisées sur les smolts capturés dans la Romaine

Résultats des analyses génétiques et répartition des smolts selon leur origine au sein de la population:

	N	%
Nombre d'analyses génétiques:	236	
Smolts issus desensemencements:	57	24,152542 (= 57/236)
Sous-population de la Puyjalon:	43	18,22033898 (= 43/236)
Sous-population de la Romaine:	14	5,932203 (= 14/236)
Smolts issus de la reproduction naturelle:	179	75,847458 (= 179/236)
Sous-population de la Puyjalon:	137	63,749090 (= 137/163 x 179/236)
Sous-population de la Romaine:	26	12,098367 (= 26/163 x 179/236)
Sous-population connue:	163	
Sous-population indéterminée:	16	

Évaluation de l'abondance de la population de smolts selon leur origine pour l'ensemble du bassin versant:

	N	MIN	MAX
Smolts issus de la reproduction naturelle (sous-population de la Puyjalon):	21867	17093	30324
Smolts issus de la reproduction naturelle (sous-population de la Romaine):	4150	3244	5755
Smolts issus desensemencements (dans la Puyjalon):	6250	4885	8667
Smolts issus desensemencements (dans la Romaine):	2035	1591	2822
Population totale:	34302	26813	47568

ANNEXE 9 Détail du calcul de l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs

Annexe 9 Détail du calcul de l'âge à la smoltification par cohortes d'œufs

Tableau A9-1 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2010.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2013		
Nombre total de smolts en dévalaison	9 412	11 869
(i.c. 95 %)	(6 688 à 10 605)	(8 443 à 19 074)
Smolts âgés de 2 ans (%)	97,7 (42/43)	38,9 (21/54)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹	9 196	4 617
(i.c. 95 %)	(6 534 à 10 361)	(3 284 à 7 420)
Smolts de 3 ans en 2014		
Nombre total de smolts en dévalaison	9 554	18 264
(i.c. 95 %)	(7 988 à 11 624)	(15 272 à 22 223)
Smolts âgés de 3 ans (%)	23,5 (8/34)	57,1 (36/63)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹	2 248	10 437
(i.c. 95 %)	(1 880 à 2 735)	(8 727 à 12 699)
Smolts de 4 ans en 2015		
Nombre total de smolts en dévalaison	3 814	8 463
(i.c. 95 %)	(2 771 à 6 181)	(6 147 à 13 726)
Smolts âgés de 4 ans (%)	0 (0/35)	2,5 (2/79)
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹	0	214
(i.c. 95 %)		(156 à 347)
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2010		
Nombre de smolts en dévalaison	11 444	15 268
(i.c. 95 %)	(8 414 à 13 096)	(12 167 à 20 466)
Âge à la smoltification	2,20	2,71

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

Tableau A9-2 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2011.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2014		
Nombre total de smolts en dévalaison	9 554	18 264
(i.c. 95 %)	(7 988 à 11 624)	(15 272 à 22 223)
Smolts âgés de 2 ans (%)	76,5 (26/34)	42,9 (27/63)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹	7 306	7 827
(i.c. 95 %)	(6 108 à 8 889)	(6 545 à 9 524)
Smolts de 3 ans en 2015		
Nombre total de smolts en dévalaison	3 814	8 463
(i.c. 95 %)	(2 771 à 6 181)	(6 147 à 13 726)
Smolts âgés de 3 ans (%)	17,1 (6/35)	57,0 (45/79)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹	654	4 821
(i.c. 95 %)	(475 à 1 060)	(3 501 à 7 819)
Smolts de 4 ans en 2016		
Nombre total de smolts en dévalaison	2 598	12 845
(i.c. 95 %)	(1 540 à 6 233)	(7 612 à 30 817)
Smolts âgés de 4 ans (%)	0 (0/17)	0 (0/88)
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹	0	0
(i.c. 95 %)		
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2011		
Nombre de smolts en dévalaison	7 960	12 648
(i.c. 95 %)	(6 583 à 9 949)	(10 046 à 17 343)
Âge à la smoltification	2,08	2,38

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

Tableau A9-3 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2012.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2015		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	3 814 (2 771 à 6 181)	8 463 (6 147 à 13 726)
Smolts âgés de 2 ans (%)	82,9 (29/35)	40,5 (32/79)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	3 160 (2 296 à 5 121)	3 428 (2 490 à 5 560)
Smolts de 3 ans en 2016		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 598 (1 540 à 6 233)	12 845 (7 612 à 30 817)
Smolts âgés de 3 ans (%)	0 (0/17)	92,0 (81/88)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	11 823 (7 007 à 28 366)
Smolts de 4 ans en 2017		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 284 (1 017 à 1 763)	8 843 (7 007 à 12 142)
Smolts âgés de 4 ans (%)	0 (0/27)	7,1 (13/184)
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	625 (495 à 858)
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2012		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	3 160 (2 296 à 5 121)	15 876 (9 992 à 34 784)
Âge à la smoltification	2,00	2,82

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

Tableau A9-4 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2013.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2016		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 598 (1 540 à 6 233)	12 845 (7 612 à 30 817)
Smolts âgés de 2 ans (%)	100 (17/17)	8,0 (7/88)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	2 598 (1 540 à 6 233)	1 022 (606 à 2 451)
Smolts de 3 ans en 2017		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 284 (1 017 à 1 763)	8 843 (7 007 à 12 142)
Smolts âgés de 3 ans (%)	7,4 (2/27)	58,7 (108/184)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	95 (75 à 131)	5 190 (4 113 à 7 127)
Smolts de 4 ans en 2018		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 437 (1 860 à 3 528)	9 284 (7 086 à 13 441)
Smolts âgés de 4 ans (%)	0 (0/8)	0 (0/30)
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	0
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2013		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 693 (1 615 à 6 364)	6 212 (4 719 à 9 578)
Âge à la smoltification	2,04	2,84

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

Tableau A9-5 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2014.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2017		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 284 (1 017 à 1 763)	8 843 (7 007 à 12 142)
Smolts âgés de 2 ans (%)	88,9 (24/27)	34,2 (63/184)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	1 141 (904 à 1 567)	3 028 (2 399 à 4 157)
Smolts de 3 ans en 2018		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 437 (1 860 à 3 528)	9 284 (7 086 à 13 441)
Smolts âgés de 3 ans (%)	25 (2/8)	53 (16/30)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	609 (465 à 882)	4 952 (3 779 à 7 168)
Smolts de 4 ans en 2019		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	4 150 (3 244 à 5 755)	21 867 (17 093 à 30 324)
Smolts âgés de 4 ans (%)	0 (0/7)	0 (0/34)
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	0
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2014		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 750 (1 369 à 2 449)	7 980 (6 178 à 11 325)
Âge à la smoltification	2,35	2,62

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

Tableau A9-6 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2015.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 1 an en 2017		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 284 (1 017 à 1 763)	8 843 (7 007 à 12 142)
Smolts âgés de 1 an (%)	3,7 (1/27)	0 (0/184)
Nombre de smolts de 1 an en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	48 (38 à 65)	0
Smolts de 2 ans en 2018		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 437 (1 860 à 3 528)	9 284 (7 086 à 13 441)
Smolts âgés de 2 ans (%)	75 (6/8)	47 (14/30)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	1 828 (1 395 à 2 646)	4 333 (3 307 à 6 272)
Smolts de 3 ans en 2019		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	4 150 (3 244 à 5 755)	21 867 (17 093 à 30 324)
Smolts âgés de 3 ans (%)	14 (1/7)	56 (19/34)
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	593 (463 à 822)	12 220 (9 552 à 16 946)
Smolts de 4 ans en 2020		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Smolts âgés de 4 ans (%)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2015²		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 469 (1 897 à 3 533)	16 553 (12 859 à 23 218)
Âge à la smoltification	2,22	2,74

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

² Âge à la smoltification à préciser si des smolts de 4 ans sont capturés en 2020.

Tableau A9-7 Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2016.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Smolts de 2 ans en 2019		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	4 150 (3 244 à 5 755)	21 867 (17 093 à 30 324)
Smolts âgés de 2 ans (%)	86 (6/7)	44 (15/34)
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	3 557 (2 781 à 4 933)	9 647 (7 541 à 13 378)
Smolts de 3 ans en 2020		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Smolts âgés de 3 ans (%)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Smolts de 4 ans en 2021		
Nombre total de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Smolts âgés de 4 ans (%)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Âge à la smoltification des smolts issus de la cohorte d'œufs de 2016		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Âge à la smoltification	À venir	À venir

¹ Les proportions exactes ont été utilisées pour calculer le nombre de smolts.

ANNEXE 10 Détail du calcul du nombre de smolts produits par nid de fraie par cohorte d'œufs

Annexe 10 Détail du calcul du nombre de smolts produits par nid de fraie par cohortes d'œufs

Tableau A10-1 Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2010.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2010		
Nombre de nids de fraie	31	85 ²
Dévalaison des smolts en 2013		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	9 196 (6 534 à 10 361)	4 617 (3 284 à 7 420)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	297	54
Dévalaison des smolts en 2014		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	2 248 (1 880 à 2 735)	10 437 (8 727 à 12 699)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	73	123
Dévalaison des smolts en 2015		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	214 (156 à 347)
Nombre de smolts de 4 ans par nid	0	3
Nombre total de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2010		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	11 444 (8 414 à 13 096)	15 268 (12 167 à 20 466)
Nombre de smolts par nid	369	180
1	Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.	
2	En excluant la rivière Allard n'ayant pas été inventoriée en 2010.	

Tableau A10-2 Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2011.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2011		
Nombre de nids de fraie	40	96
Dévalaison des smolts en 2014		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	7 306 (6 108 à 8 889)	7 827 (6 545 à 9 524)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	183	82
Dévalaison des smolts en 2015		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	654 (475 à 1 060)	4 821 (3 501 à 7 819)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	16	50
Dévalaison des smolts en 2016		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	0
Nombre de smolts de 4 ans par nid	0	0
Nombre total de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2011		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	7 960 (6 583 à 9 949)	12 648 (10 046 à 17 343)
Nombre de smolts par nid	199	132
1	Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.	

Tableau A10-3 Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2012.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2012		
Nombre de nids de fraie	39	48
Dévalaison des smolts en 2015		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	3 160 (2 296 à 5 121)	3 428 (2 490 à 5 560)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	81	71
Dévalaison des smolts en 2016		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	11 823 (7 007 à 28 366)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	0	246
Dévalaison des smolts en 2017		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	625 (495 à 858)
Nombre de smolts de 4 ans par nid	0	13
Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2012		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	3 160 (2 296 à 5 121)	15 876 (9 992 à 34 784)
Nombre de smolts par nid	81	331

¹ Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.

Tableau A10-4 Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2013.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2013		
Nombre de nids de fraie	63	49
Dévalaison des smolts en 2016		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	2 598 (1 540 à 6 233)	1 022 (606 à 2 451)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	41	21
Dévalaison des smolts en 2017		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	95 (75 à 131)	5 190 (4 113 à 7 127)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	2	106
Dévalaison des smolts en 2018		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	0
Nombre de smolts de 4 ans par nid	0	0
Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2013		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 693 (1 615 à 6 364)	6 212 (4 719 à 9 578)
Nombre de smolts par nid	43	127

¹ Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.

Tableau A10-5 Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2014.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2014		
Nombre de nids de fraie	52	20 ²
Dévalaison des smolts en 2017		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	1 141 (904 à 1 567)	3 028 (2 399 à 4 157)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	22	151
Dévalaison des smolts en 2018		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	609 (465 à 882)	4 952 (3 779 à 7 168)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	12	248
Dévalaison des smolts en 2019		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	0	0
Nombre de smolts de 4 ans par nid	0	0
Nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2014		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	1 750 (1 369 à 2 449)	7 980 (6 178 à 11 325)
Nombre de smolts par nid	34	399

1 Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.

2 En excluant la rivière Allard n'ayant pas été inventoriée en 2014.

Tableau A10-6 Nombre de smolts (1, 2 et 3 ans) produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2015.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2015		
Nombre de nids de fraie	138	13 ^{2,3}
Dévalaison des smolts en 2017		
Nombre de smolts de 1 an en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	48 (38 à 65)	0
Nombre de smolts de 1 an par nid	0	0
Dévalaison des smolts en 2018		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	1 828 (1 395 à 2 646)	4 333 (3 307 à 6 272)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	13	333
Dévalaison des smolts en 2019		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	593 (463 à 822)	12 220 (9 552 à 16 946)
Nombre de smolts de 3 ans par nid	4	940 ³
Dévalaison des smolts en 2020		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 4 ans par nid	À venir	À venir
Nombre de smolts de 1, 2 et 3 ans produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2015		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	2 469 (1 897 à 3 533)	16 553 (12 859 à 23 218)
Nombre de smolts par nid	18	1 273 ³

1 Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.

2 Décompte partiel dans la rivière Allard en 2015.

3 Les résultats de la dévalaison des smolts de 2019 indiquent que le décompte de nids dans la rivière Puyjalon avait probablement été fait trop tôt en 2015 (27 et 28 octobre), conduisant à une sous-évaluation du nombre de nids pour ce bassin versant et à une surévaluation du nombre de smolts produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2015.

Tableau A10-7 Nombre de smolts (2 ans) produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2016.

Paramètre	Cours principal de la Romaine	Puyjalon et ses tributaires
Nombre de nids en 2016		
Nombre de nids de fraie	205	68
Dévalaison des smolts en 2019		
Nombre de smolts de 2 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	3 557 (2 781 à 4 933)	9 647 (7 541 à 13 378)
Nombre de smolts de 2 ans par nid	17	142
Dévalaison des smolts en 2020		
Nombre de smolts de 3 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 3 ans par nid	À venir	À venir
Dévalaison des smolts en 2021		
Nombre de smolts de 4 ans en dévalaison ¹ (i.c. 95 %)	À venir	À venir
Nombre de smolts de 4 ans par nid	À venir	À venir
Nombre de smolts de 2 ans produits par nid pour la cohorte d'œufs de 2016		
Nombre de smolts en dévalaison (i.c. 95 %)	3 557 (2 781 à 4 933)	9 647 (7 541 à 13 378)
Nombre de smolts par nid	17	142

¹ Voir l'annexe détaillant l'âge à la smoltification par cohorte d'œufs.

ANNEXE 11 Stades d'anesthésie

Annexe 11 Stades d'anesthésie

Stade	Description	Réponse comportementale du poisson
0	Normal	Réaction aux stimuli externes ; fréquence operculaire et tonus musculaire normaux
1	Sédation légère	Légère perte de réactivité aux stimuli externes ; légère diminution de la fréquence operculaire ; équilibre normal.
2	Sédation profonde	Perte totale de réactivité à l'exception des réponses aux stimuli externes forts ; légère diminution de la fréquence operculaire ; équilibre normal.
3	Perte partielle de l'équilibre	Perte partielle du tonus musculaire ; nage irrégulière ; augmentation de la fréquence operculaire ; réactivité aux stimuli tactiles forts et aux vibrations intenses uniquement.
4	Perte totale de l'équilibre	Perte totale du tonus musculaire et de l'équilibre ; fréquence operculaire lente mais régulière ; perte des réflexes médullaires.
5	Perte des réflexes	Perte totale de réactivité ; mouvements operculaires lents et irréguliers ; fréquence cardiaque très lente ; perte de tous les réflexes.
6	Paralysie médullaire (stage d'asphyxie)	Interruption des mouvements operculaires souvent suivie rapidement d'un arrêt cardiaque.

Note : Tableau traduit à partir de Bowser (2001).

ANNEXE 12 Données brutes des saumons juvéniles capturés dans la Romaine en 2019

Date de capture	n° spécimen	Alevin	Tacon	Longueur totale (mm)	Masse (g)	Coefficient de condition (Fulton)	Remis à l'eau	Mortalité	n° transpondeur
25-10-19	1	-	X	132	18,6	0,809	-	-	542 246
25-10-19	2	-	X	119	16,4	0,973	-	-	542 247
25-10-19	3	-	X	125	14,1	0,722	-	-	542 248
26-10-19	4	X	-	73	2,5	0,643	-	-	301 977
26-10-19	5	X	-	81	4,4	0,828	-	-	301 905
26-10-19	6	X	-	60	1,6	0,741	-	-	301 927
26-10-19	7	X	-	70	2,5	0,729	-	-	301 971
26-10-19	8	X	-	73	2,8	0,720	-	-	301 975
26-10-19	9	X	-	54	1,5	0,953	X	-	-
26-10-19	10	X	-	57	1,4	0,756	X	-	-
26-10-19	11	X	-	64	2,3	0,877	-	-	301 916
26-10-19	12	X	-	55	1,2	0,721	X	-	-
26-10-19	13	-	X	114	12,3	0,830	-	-	542 245
26-10-19	14	-	X	133	19,6	0,833	-	-	542 249
26-10-19	15	X	-	59	1,8	0,876	-	-	301 901
27-10-19	16	X	-	70	2,6	0,758	-	-	301 970
27-10-19	17	X	-	55	1,6	0,962	X	-	-
27-10-19	18	X	-	58	1,8	0,923	-	-	301 978
27-10-19	19	X	-	56	1,6	0,911	-	X	-
27-10-19	20	X	-	60	1,7	0,787	-	-	301 967
27-10-19	21	X	-	51	1,4	1,055	X	-	-
27-10-19	22	X	-	65	1,9	0,692	-	-	301 988
27-10-19	23	X	-	57	1,6	0,864	-	-	301 915
27-10-19	24	-	X	138	20,1	0,765	-	-	542 244
27-10-19	25	X	-	69	2,4	0,731	-	-	301 996
27-10-19	26	X	-	73	2,9	0,745	-	-	301 945
27-10-19	27	X	-	66	2,2	0,765	-	-	301 976
27-10-19	28	X	-	69	2,7	0,822	-	-	301 964
27-10-19	29	X	-	61	2,1	0,925	-	-	301 936
27-10-19	30	X	-	58	1,4	0,718	-	X	301 955
27-10-19	31	X	-	56	1,4	0,797	-	-	301 921
27-10-19	32	X	-	62	1,6	0,671	-	-	301 987
27-10-19	33	X	-	56	1,4	0,797	-	-	301 949
27-10-19	34	X	-	58	1,3	0,666	-	X	301 998
27-10-19	35	X	-	56	1,4	0,797	-	X	301 924
27-10-19	36	X	-	62	1,5	0,629	-	-	301 918
27-10-19	37	X	-	54	1,5	0,953	-	-	301 984
28-10-19	38	X	-	59	1,8	0,876	-	-	301 944
28-10-19	39	X	-	62	1,9	0,797	-	-	301 911
28-10-19	40	X	-	61	1,8	0,793	-	-	301 922
28-10-19	41	X	-	71	2,7	0,754	-	-	301 950
28-10-19	42	X	-	59	1,6	0,779	-	-	301 982
28-10-19	43	X	-	66	2,3	0,800	-	-	301 985
28-10-19	44	X	-	61	1,9	0,837	-	-	301 917
28-10-19	45	X	-	69	2,4	0,731	-	-	301 961
28-10-19	46	X	-	64	2,0	0,763	-	-	301 991
28-10-19	47	X	-	69	2,3	0,700	-	-	301 992
28-10-19	48	X	-	58	1,6	0,820	-	-	301 933
28-10-19	49	X	-	66	2,2	0,765	-	-	301 974
28-10-19	50	X	-	73	2,9	0,745	-	-	301 993
28-10-19	51	X	-	65	2,1	0,765	-	-	301 928
28-10-19	52	X	-	75	3,2	0,759	-	-	301 913
28-10-19	53	X	-	73	2,8	0,720	-	-	301 900
28-10-19	54	X	-	68	2,4	0,763	-	-	301 990
28-10-19	55	X	-	60	1,6	0,741	-	-	301 972
29-10-19	56	X	-	73	2,9	0,745	-	-	301 999
29-10-19	57	X	-	68	2,4	0,763	-	-	301 983
29-10-19	58	X	-	61	1,9	0,837	-	-	301 959
29-10-19	59	X	-	76	3,2	0,729	-	-	301 997
29-10-19	60	X	-	60	1,5	0,694	-	-	301 986

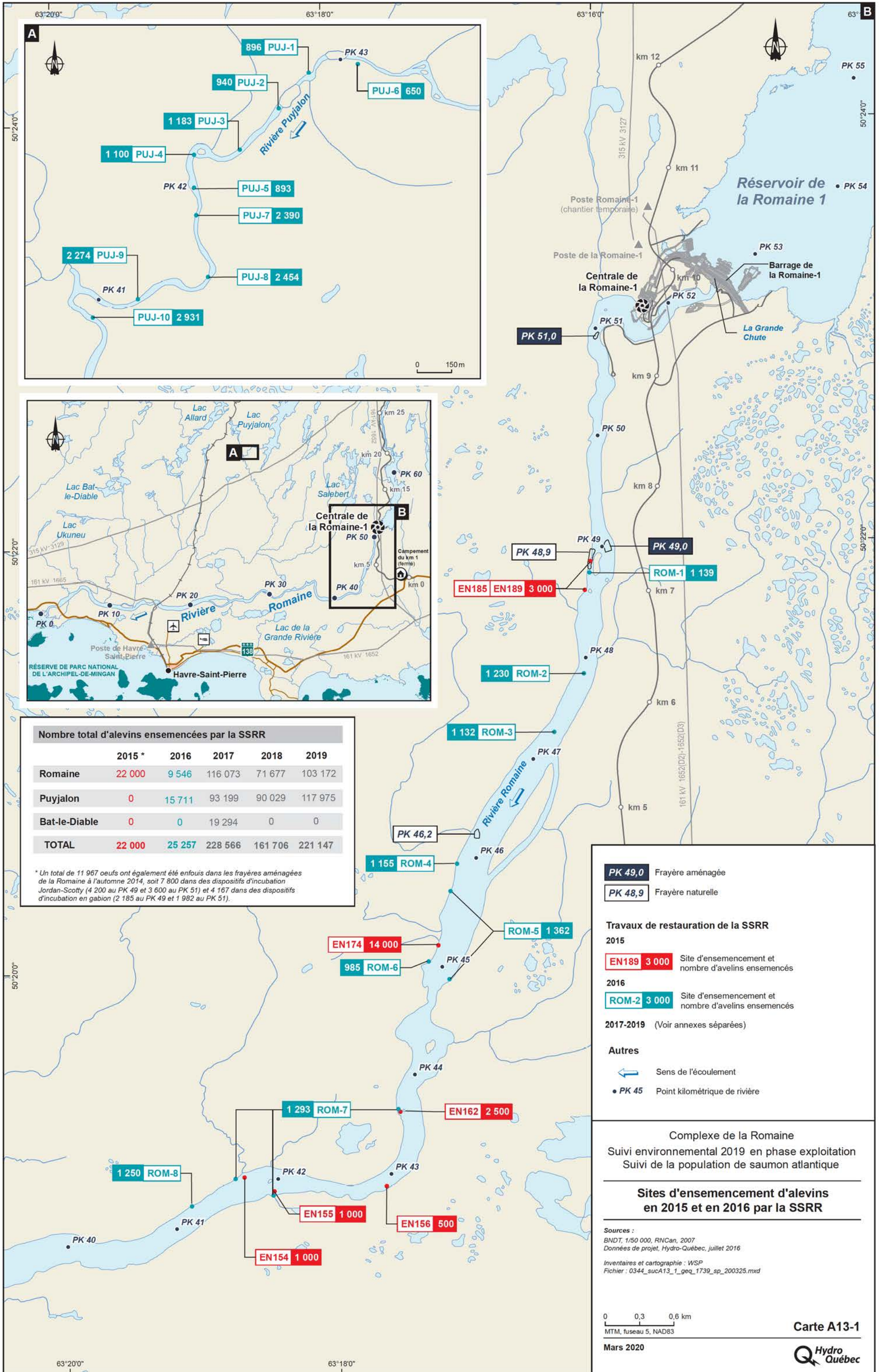
Annexe 12 (suite) Données brutes des saumons juvéniles capturés dans la Romaine en 2019

Date de capture	n° spécimen	Alevin	Tacon	Longueur totale (mm)	Masse (g)	Coefficient de condition (Fulton)	Remis à l'eau	Mortalité	n° transpondeur
29-10-19	61	X	-	84	4,9	0,827	-	-	301 926
29-10-19	62	X	-	66	2,0	0,696	-	-	301 909
29-10-19	63	X	-	63	2,4	0,960	-	-	301 965
29-10-19	64	X	-	54	1,3	0,826	X	-	-
29-10-19	65	X	-	66	2,3	0,800	-	-	301 947
29-10-19	66	X	-	55	1,5	0,902	X	-	-
29-10-19	67	X	-	54	1,1	0,699	X	-	-
29-10-19	68	X	-	58	1,9	0,974	-	-	301 958
29-10-19	69	X	-	66	2,5	0,870	-	-	301 948
29-10-19	70	X	-	60	1,8	0,833	-	-	301 989
29-10-19	71	X	-	73	3,4	0,874	-	-	301 980
29-10-19	72	X	-	60	1,7	0,787	-	-	301 941
29-10-19	73	X	-	64	1,8	0,687	-	-	301 946
29-10-19	74	X	-	63	1,7	0,680	-	-	301 995
29-10-19	75	X	-	57	1,4	0,756	-	-	301 968
29-10-19	76	X	-	68	2,9	0,922	-	-	301 951
29-10-19	77	X	-	58	1,8	0,923	-	-	301 902
29-10-19	78	X	-	58	1,6	0,820	-	-	301 904
29-10-19	79	X	-	55	1,4	0,841	X	-	-
29-10-19	80	X	-	56	1,4	0,797	X	-	-
29-10-19	81	X	-	56	1,4	0,797	X	-	-
29-10-19	82	X	-	54	1,4	0,889	X	-	-
29-10-19	83	X	-	58	1,5	0,769	X	-	-
30-10-19	84	X	-	68	2,7	0,859	-	-	301 962
30-10-19	85	X	-	59	1,7	0,828	-	-	301 930
30-10-19	86	X	-	69	2,6	0,791	-	-	301 906
30-10-19	87	X	-	65	2,3	0,838	-	-	301 907
30-10-19	88	X	-	74	3,3	0,814	-	-	301 919
30-10-19	89	X	-	71	2,8	0,782	-	-	301 923
30-10-19	90	X	-	64	2,1	0,801	-	-	301 973
30-10-19	91	X	-	74	3,1	0,765	-	-	301 932
30-10-19	92	X	-	74	3,0	0,740	-	-	301 966
30-10-19	93	X	-	60	1,6	0,741	-	-	301 956
30-10-19	94	X	-	67	2,4	0,798	-	-	301 952
30-10-19	95	X	-	65	2,2	0,801	-	-	301 943
30-10-19	96	X	-	69	2,4	0,731	-	-	301 910
30-10-19	97	X	-	54	1,5	0,953	X	-	-
30-10-19	98	X	-	67	2,4	0,798	-	-	301 912
30-10-19	99	X	-	56	1,4	0,797	X	-	-
30-10-19	100	X	-	62	1,7	0,713	-	-	301 931
30-10-19	101	X	-	60	1,7	0,787	-	X	301 903
30-10-19	102	X	-	65	2,4	0,874	-	-	301 929
30-10-19	103	X	-	66	2,4	0,835	-	-	301 994
30-10-19	104	X	-	74	2,9	0,716	-	-	301 942
30-10-19	105	X	-	55	1,2	0,721	X	-	-
30-10-19	106	X	-	68	2,0	0,636	-	-	301 960
30-10-19	107	X	-	55	1,3	0,781	X	-	-
30-10-19	108	X	-	63	1,6	0,640	-	-	301 908
30-10-19	109	X	-	67	2,0	0,665	-	-	301 979
30-10-19	110	X	-	69	2,8	0,852	-	-	301 914
30-10-19	111	X	-	61	1,7	0,749	-	-	301 938
30-10-19	112	X	-	61	2,1	0,925	-	-	301 954
30-10-19	113	X	-	60	2,1	0,972	-	-	301 934
30-10-19	114	X	-	70	2,4	0,700	-	-	301 957
30-10-19	115	X	-	64	2,3	0,877	-	-	301 969
30-10-19	116	X	-	61	2,0	0,881	-	-	301 940
30-10-19	117	X	-	53	1,2	0,806	X	-	-
30-10-19	118	X	-	60	1,8	0,833	-	-	301 925
30-10-19	119	X	-	68	2,3	0,731	-	-	301 935
30-10-19	120	X	-	63	1,8	0,720	-	-	301 937

Annexe 12 (suite) Données brutes des saumons juvéniles capturés dans la Romaine en 2019

Date de capture	n° spécimen	Alevin	Tacon	Longueur totale (mm)	Masse (g)	Coefficient de condition (Fulton)	Remis à l'eau	Mortalité	n° transpondeur
30-10-19	121	X	-	60	1,7	0,787	-	-	301 981
30-10-19	122	X	-	60	1,6	0,741	-	-	301 920
30-10-19	123	X	-	55	1,4	0,841	X	-	-
30-10-19	124	X	-	54	1,2	0,762	X	-	-
30-10-19	125	X	-	63	1,8	0,720	-	-	301 963
30-10-19	126	X	-	56	1,5	0,854	X	-	-
30-10-19	127	X	-	55	1,2	0,721	X	-	-
30-10-19	128	X	-	59	1,7	0,828	-	-	301 953
30-10-19	129	X	-	56	1,6	0,911	X	-	-
30-10-19	130	X	-	55	1,3	0,781	X	-	-
30-10-19	131	X	-	58	1,2	0,615	X	-	-
30-10-19	132	X	-	55	1,2	0,721	X	-	-
30-10-19	133	X	-	59	2,2	1,071	-	X	-
31-10-19	134	X	-	52	1,2	0,853	X	-	-
31-10-19	135	X	-	55	1,5	0,902	X	-	-
31-10-19	136	X	-	56	1,2	0,683	X	-	-
31-10-19	137	X	-	66	2,5	0,870	-	-	173 978
31-10-19	138	X	-	66	2,0	0,696	-	-	173 935
31-10-19	139	X	-	80	4,0	0,781	-	-	173 993
31-10-19	140	X	-	64	2,0	0,763	-	-	173 960
31-10-19	141	X	-	66	2,7	0,939	-	-	173 900
31-10-19	142	X	-	65	2,1	0,765	-	-	173 989
31-10-19	143	X	-	50	1,1	0,880	X	-	-
31-10-19	144	X	-	61	2,0	0,881	-	-	173 953
31-10-19	145	X	-	55	1,4	0,841	X	-	-
31-10-19	146	X	-	56	1,5	0,854	X	-	-
31-10-19	147	X	-	62	2,1	0,881	-	-	173 985
31-10-19	148	X	-	57	1,2	0,648	X	-	-
31-10-19	149	X	-	54	1,1	0,699	X	-	-
31-10-19	150	X	-	57	1,6	0,864	X	-	-
31-10-19	151	X	-	60	1,5	0,694	-	-	173 974
31-10-19	152	X	-	58	1,3	0,666	X	-	-
31-10-19	153	X	-	58	1,7	0,871	X	-	-
02-11-19	154	X	-	67	2,4	0,798	-	-	173 917
02-11-19	155	X	-	56	1,3	0,740	-	-	173 963
02-11-19	156	X	-	67	2,5	0,831	-	-	173 983
02-11-19	157	X	-	61	2,2	0,969	-	-	173 937
02-11-19	158	X	-	61	1,6	0,705	-	-	173 948
02-11-19	159	X	-	62	1,8	0,755	-	-	173 967
02-11-19	160	X	-	62	1,8	0,755	-	-	173 920
02-11-19	161	X	-	63	2,1	0,840	-	-	173 956
02-11-19	162	X	-	55	1,1	0,661	X	-	-
02-11-19	163	X	-	58	1,5	0,769	-	-	173 944
02-11-19	164	X	-	68	2,3	0,731	-	-	173 992
02-11-19	165	X	-	59	2,2	1,071	-	-	173 996
02-11-19	166	X	-	54	1,3	0,826	X	-	-
02-11-19	167	X	-	58	1,4	0,718	-	-	173 972
02-11-19	168	X	-	51	1,4	1,055	X	-	-
02-11-19	169	X	-	59	1,6	0,779	-	-	173 991
03-11-19	170	X	-	60	1,6	0,741	-	-	173 916
03-11-19	171	X	-	65	2,1	0,765	-	-	173 988
03-11-19	172	X	-	65	2,5	0,910	-	-	173 909
03-11-19	173	X	-	59	1,6	0,779	-	-	173 990
03-11-19	174	X	-	56	1,3	0,740	X	-	-
03-11-19	175	X	-	45	1,0	1,097	X	-	-
03-11-19	176	X	-	56	1,3	0,740	X	-	-
03-11-19	177	X	-	57	1,5	0,810	-	-	173 907

ANNEXE 13 Sites d'ensemencement d'alevins de 2015 à 2019 par la SSRR



Nombre total d'alevins ensemencés par la SSRR

	2015 *	2016	2017	2018	2019
Romaine	22 000	9 546	116 073	71 677	103 172
Puyjalon	0	15 711	93 199	90 029	117 975
Bat-le-Diable	0	0	19 294	0	0
TOTAL	22 000	25 257	228 566	161 706	221 147

* Un total de 11 967 oeufs ont également été enfouis dans les frayères aménagées de la Romaine à l'automne 2014, soit 7 800 dans des dispositifs d'incubation Jordan-Scotty (4 200 au PK 49 et 3 600 au PK 51) et 4 167 dans des dispositifs d'incubation en gabion (2 185 au PK 49 et 1 982 au PK 51).

PK 49,0 Frayère aménagée
PK 48,9 Frayère naturelle

Travaux de restauration de la SSRR
2015
EN189 3 000 Site d'ensemencement et nombre d'alevins ensemencés
2016
ROM-2 3 000 Site d'ensemencement et nombre d'alevins ensemencés
2017-2019 (Voir annexes séparées)

Autres
 Sens de l'écoulement
 Point kilométrique de rivière

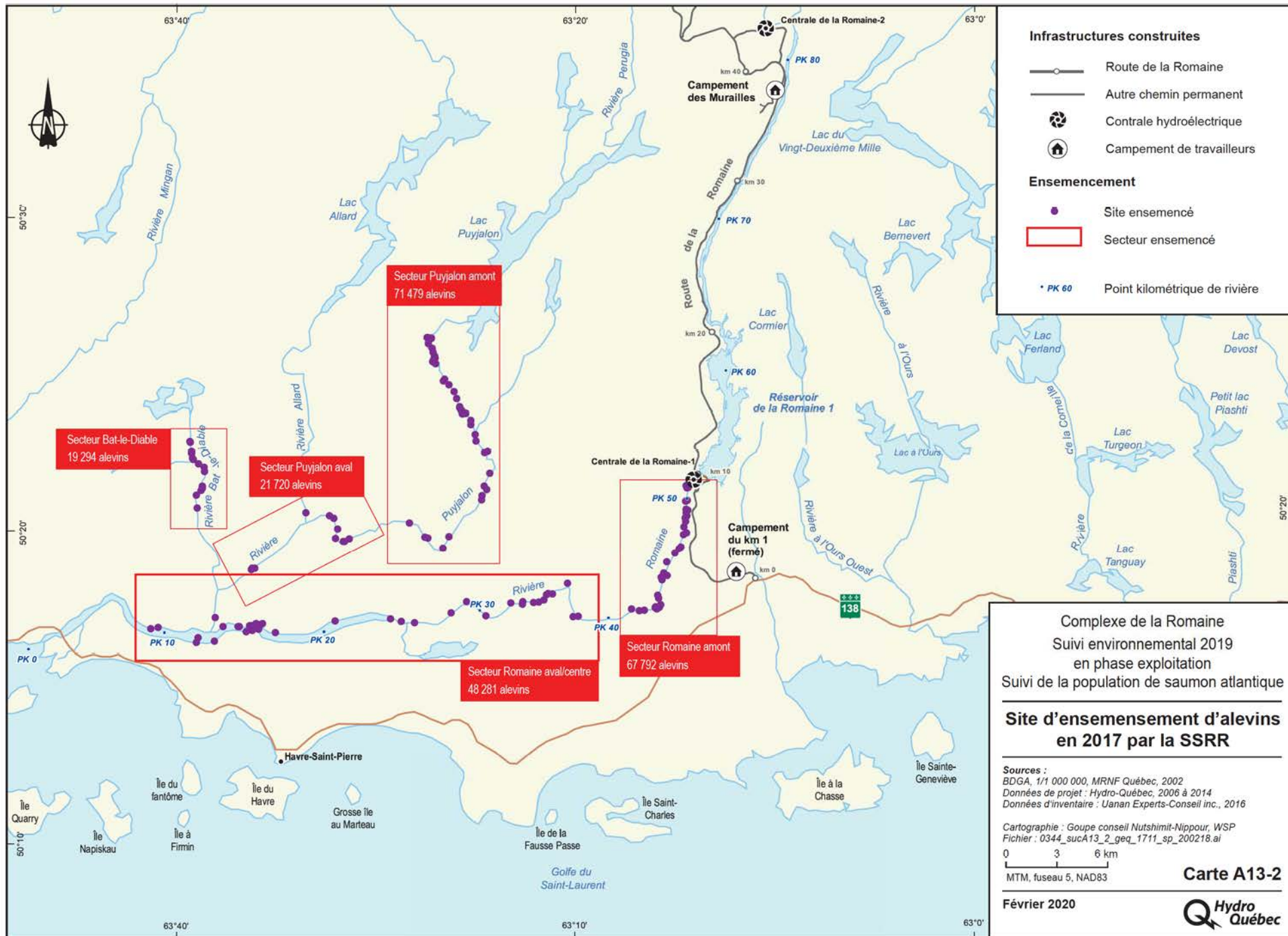
Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

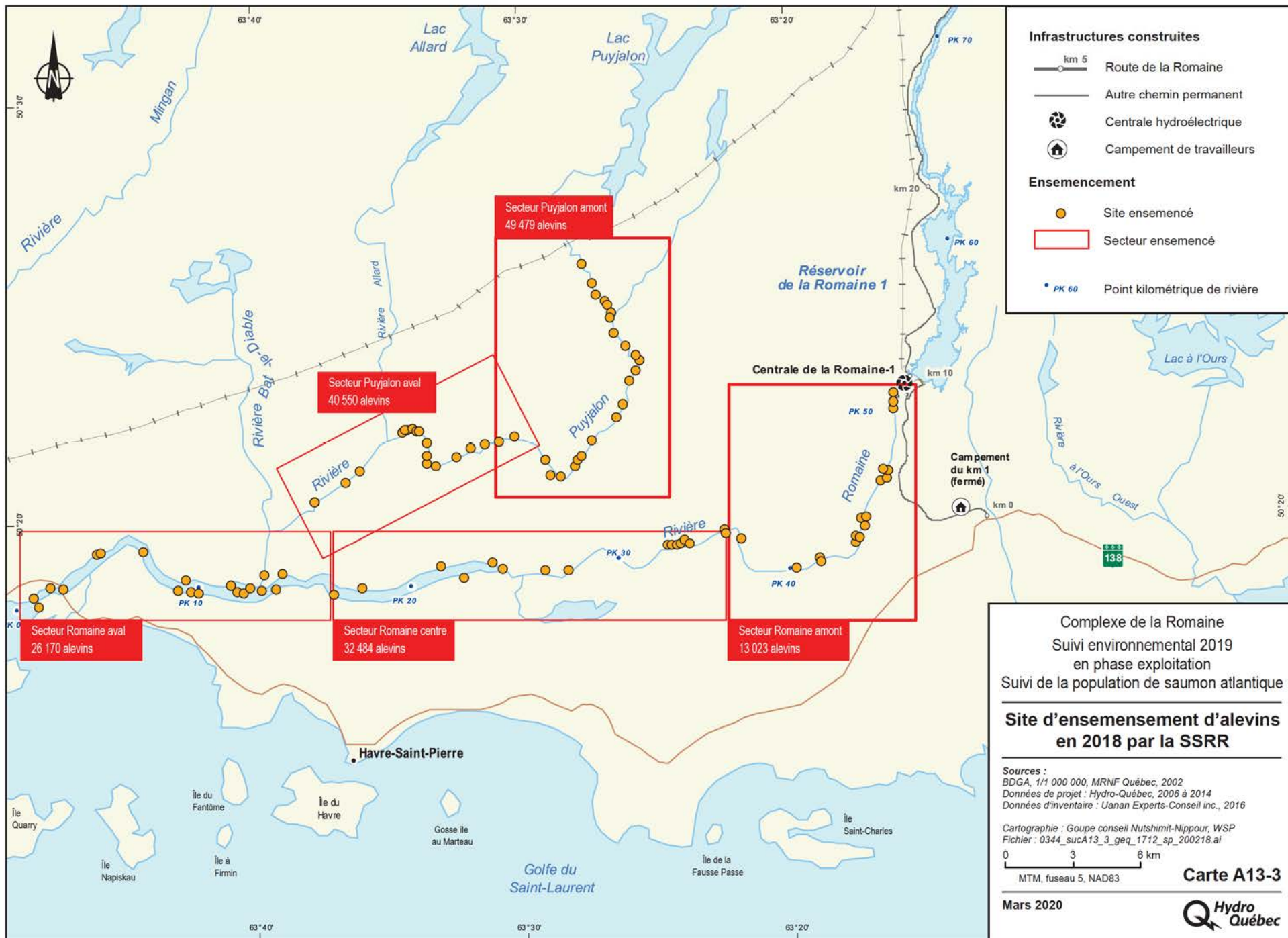
Sites d'ensemencement d'alevins en 2015 et en 2016 par la SSRR

Sources :
 BNDT, 1/50 000, RINCan, 2007
 Données de projet, Hydro-Québec, juillet 2016
 Inventaires et cartographie : WSP
 Fichier : 0344_sucA13_1_geq_1739_sp_200325.mxd

0 0,3 0,6 km
 MTM, fuseau 5, NAD83

Carte A13-1
 Mars 2020





Infrastructures construites

- Route de la Romaine
- Autre chemin permanent
- Centrale hydroélectrique
- Campement de travailleurs

Ensemencement

- Site ensemençé
- Secteur ensemençé
- Point kilométrique de rivière

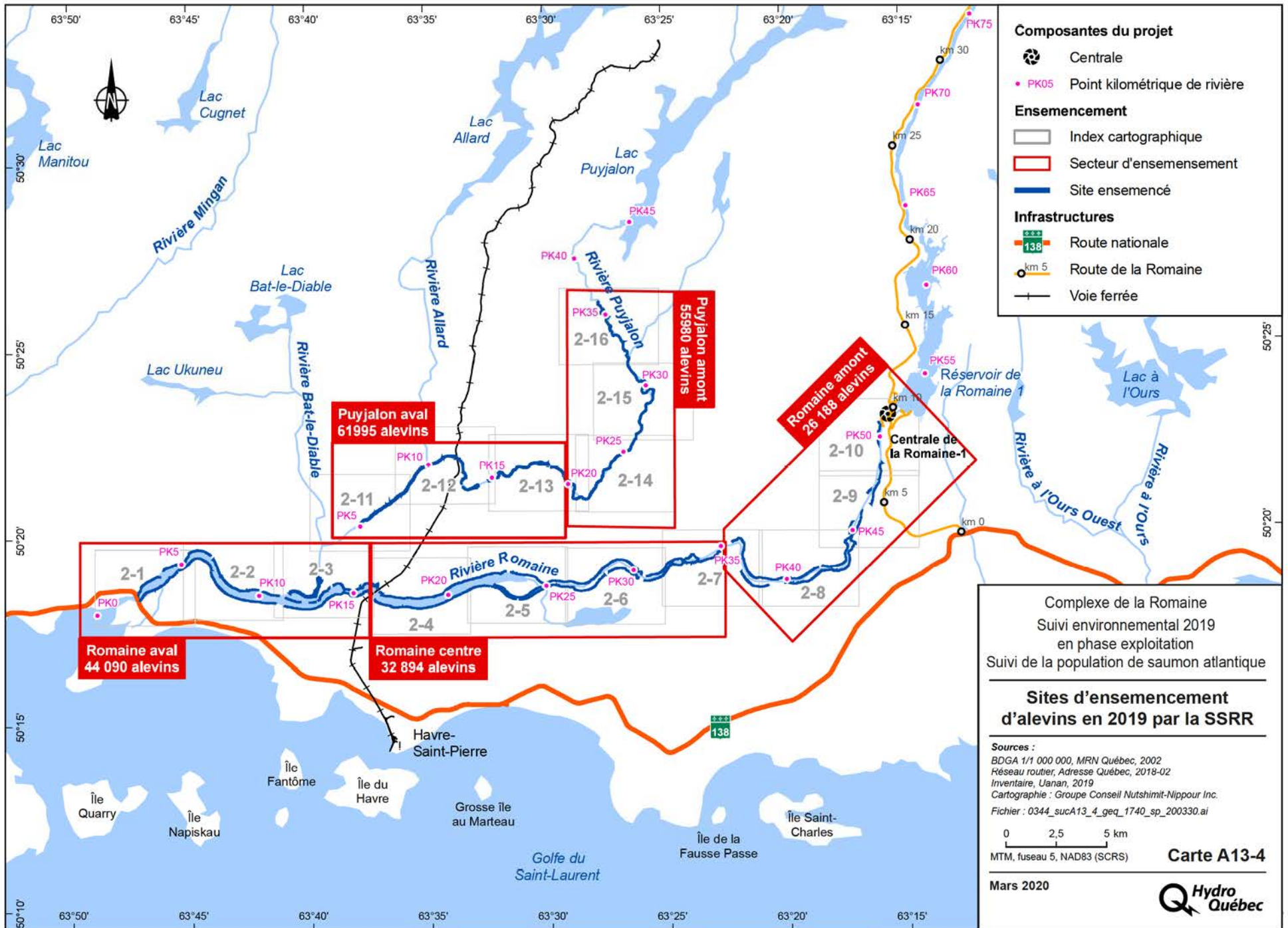
Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019
 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

**Site d'ensemencement d'alevins
 en 2018 par la SSRR**

Sources :
 BDGA, 1/1 000 000, MRNF Québec, 2002
 Données de projet : Hydro-Québec, 2006 à 2014
 Données d'inventaire : Uanan Experts-Conseil inc., 2016

Cartographie : Groupe conseil Nutshimit-Nippour, WSP
 Fichier : 0344_sucA13_3_geq_1712_sp_200218.ai

0 3 6 km
 MTM, fuseau 5, NAD83



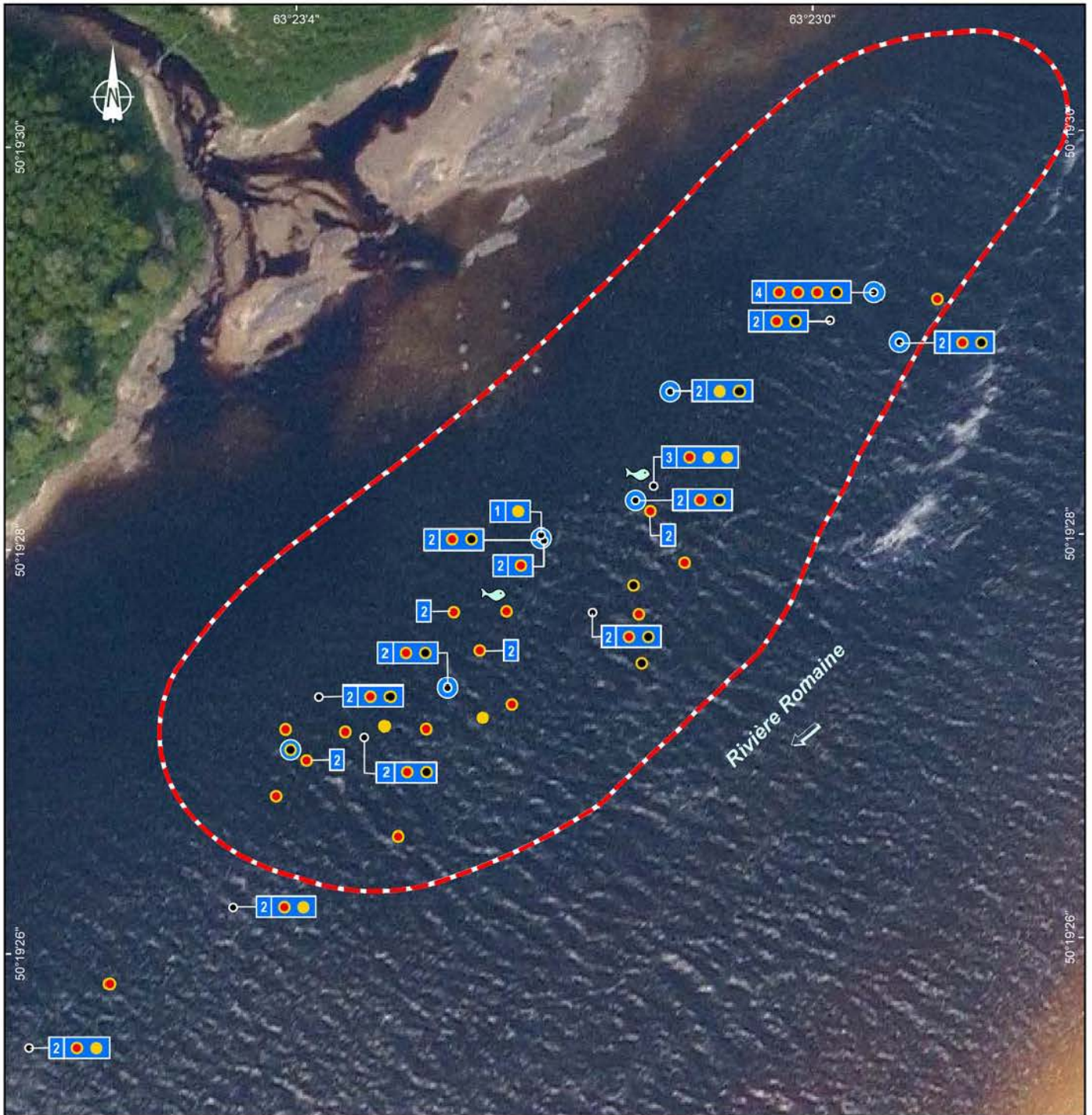
ANNEXE 14 Résultats détaillés de la caractérisation visuelle du substrat dans les habitats aménagés de la Romaine en 2019

ANNEXE 15 Résultats détaillés du décompte de nids dans les frayères du cours principal de la Romaine et dans la Puyjalon et ses tributaires en 2019

Rivière - Frayère	Date du décompte	Identifiant du point	Nombre de nids	Nombre de balayages ¹	Nids fouillés (fouille normale)		Nids fouillés (fouille profonde)		Saumons observés ¹						Œufs prélevés et acheminés vers la pisciculture de la SSRR			Alevins éclos ayant fait l'objet d'analyses génétiques	
					Sans oeufs	Avec oeufs	Sans oeufs	Avec oeufs	Saumons adultes				Saumons juvéniles		Œufs prélevés (nombre estimé)	Nombre total d'œufs morts (26 novembre)	Nombre total d'œufs morts (1 ^{er} janvier)		
									Madeleineau	Sexe indéterminé	Mâle	Femelle	Alevin	Tacon					
Romaine - PK 51	06-nov-19	1	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	2	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	3	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	4	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	5	1	-	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	6	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	7	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	8	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	9	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	10	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	11	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	12	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	13	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	14	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	15	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 51	06-nov-19	16	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puyjalon	13-nov-19	Plusieurs points	21	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puyjalon	14-nov-19	Plusieurs points	31	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bat-le-Diable	05-nov-19	-	2	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allard	04-nov-19	Allard 1	2	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allard	05-nov-19	Allard 2	1	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allard	05-nov-19	Allard 3	0	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romaine - PK 34,5	Sous-total	-	56	20	9	12	7	1	2	0	0	0	0	0	0	72	53	56	6
Romaine - PK 46,2	Sous-total	-	2	6	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Romaine - PK 48,9	Sous-total	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Romaine - PK 49	Sous-total	-	13	6	8	1	3	1	0	1	0	0	0	3	47	35	37	8	8
Romaine - PK 51	Sous-total	-	16	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puyjalon	Sous-total	-	52	9	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Bat-le-Diable	Sous-total	-	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Allard	Sous-total	-	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Romaine (naturelles)	Sous-total	-	58	26	11	12	9	1	2	0	0	0	0	1	72	53	56	6	6
Romaine (aménagées)	Sous-total	-	29	9	9	1	3	1	1	1	0	0	0	3	47	35	37	8	8
Romaine (total)	Sous-total	-	87	35	20	13	12	2	3	1	0	0	0	4	119	88	93	14	14
Tributaires	Sous-total	-	57	9	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Bassin versant	Total	-	144	44	20	13	12	2	3	2	0	1	0	5	119	88	93	14	14

¹ Les balayages et les saumons observés ont été dénombrés pour chacune des frayères sans toutefois qu'une position GPS ne soit relevée. Ces données apparaissent ainsi seulement dans les totaux au bas du tableau.

ANNEXE 16 Répartition des nids de saumon inventoriés sur le cours principal de la Romaine en 2019



Frayère

Nids de saumon



- Nid non fouillé
- Nid fouillé avec œufs
- Nid fouillé sans œuf
- Oeufs prélevés
- Saumon adulte

Autre



Sens de l'écoulement

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des nids de saumon
au PK 34,5 de la Romaine**

Sources :

Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP, 2018
Fichier : 0344_sucA16_1_geq_1735_sp34_200330.mxd

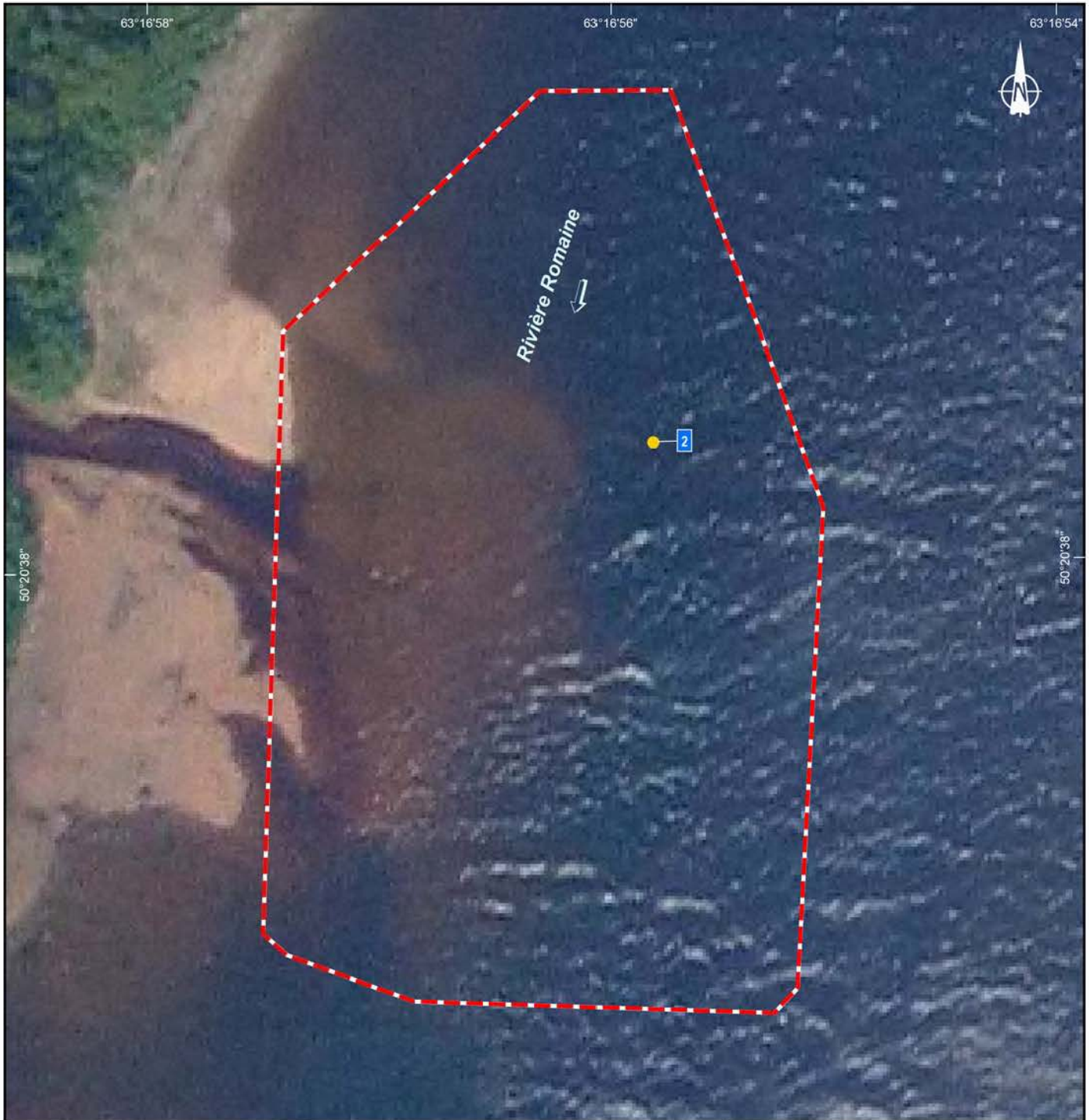
0 9 18 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Carte A16-1

Mars 2020



« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »



Frayère

Autre



Sens de l'écoulement

Nids de saumon



- Nid non fouillé
- Nid fouillé avec œufs
- Nid fouillé sans œuf
- Oeufs prélevés
- Saumon adulte

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des nids de saumon
au PK 46,2 de la Romaine**

Sources :
Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP, 2018
Fichier : 0344_sucA16_2_geq_1736_sp46_200325.mxd

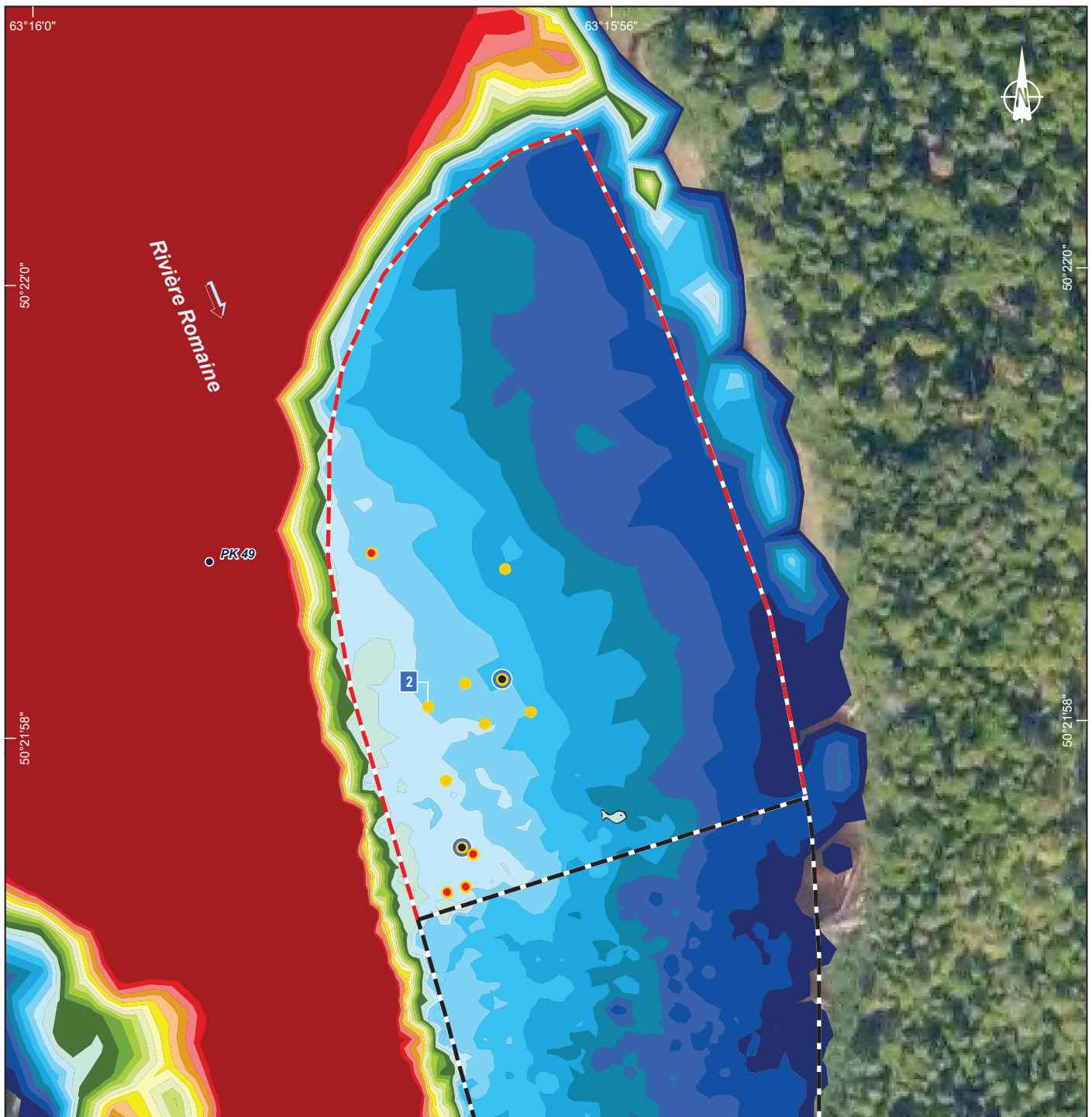
0 5 10 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Carte A16-2

Mars 2020








« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »




 Frayère

Nids de saumon

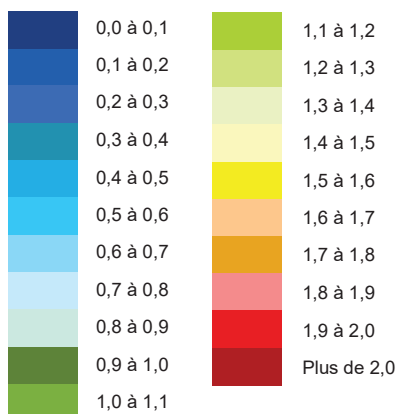
-  Nid non fouillé
-  Nid fouillé avec œufs
-  Nid fouillé sans œuf
-  Oeufs prélevés
-  Saumon adulte

Autre

-  Sens de l'écoulement

« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »

Profondeur à un débit de 140 m³/s (m)



Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des nids de saumon
au PK 49 de la Romaine
(selon la profondeur modélisé
pour un débit de 140 m³/s)**

Sources :
Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP
Fichier : 0344_sucA16_3_geq_1737_sp49_200831.mxd

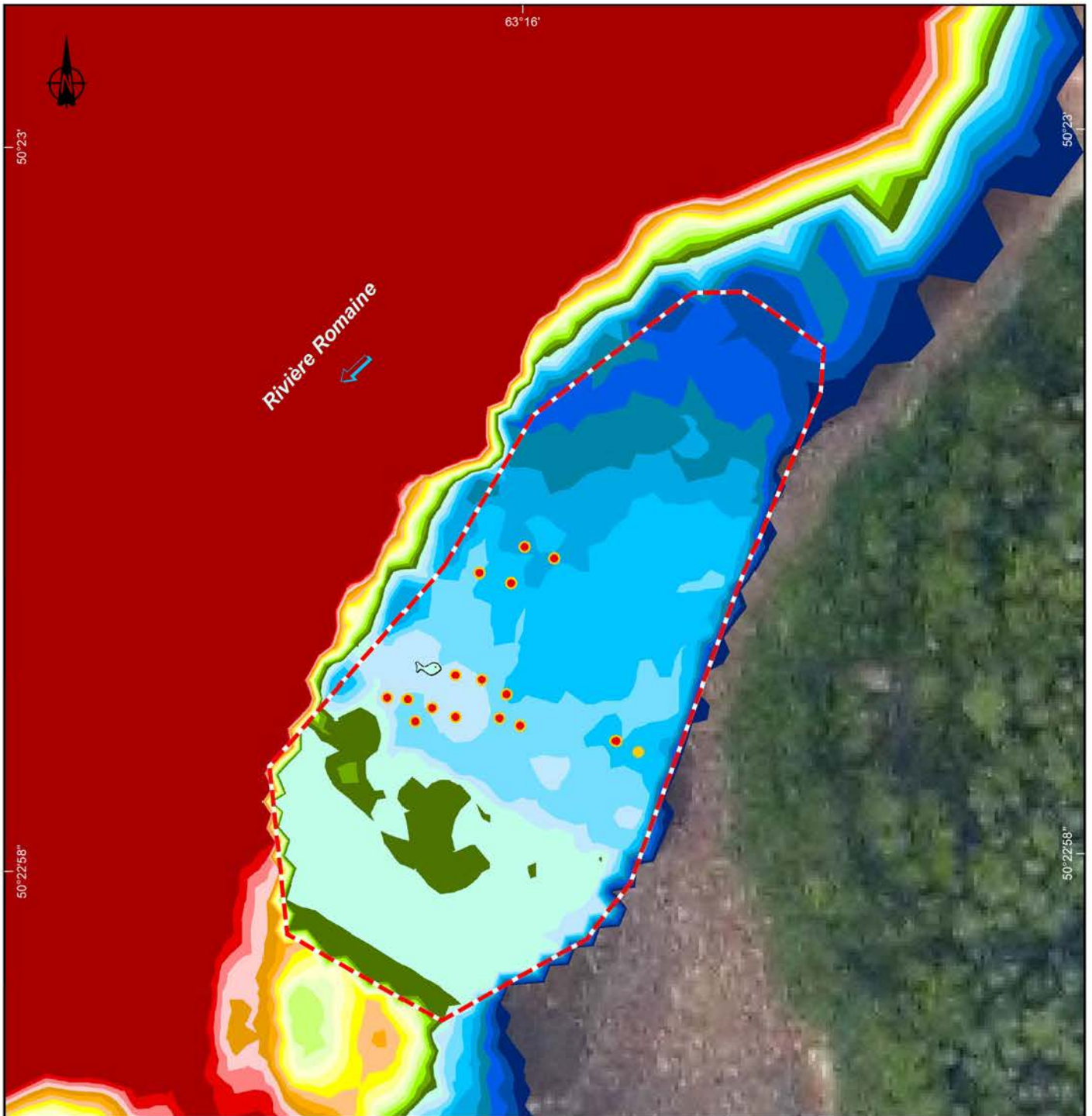
0 8 16 m

MTM, fuseau 5, NAD83

Septembre 2020

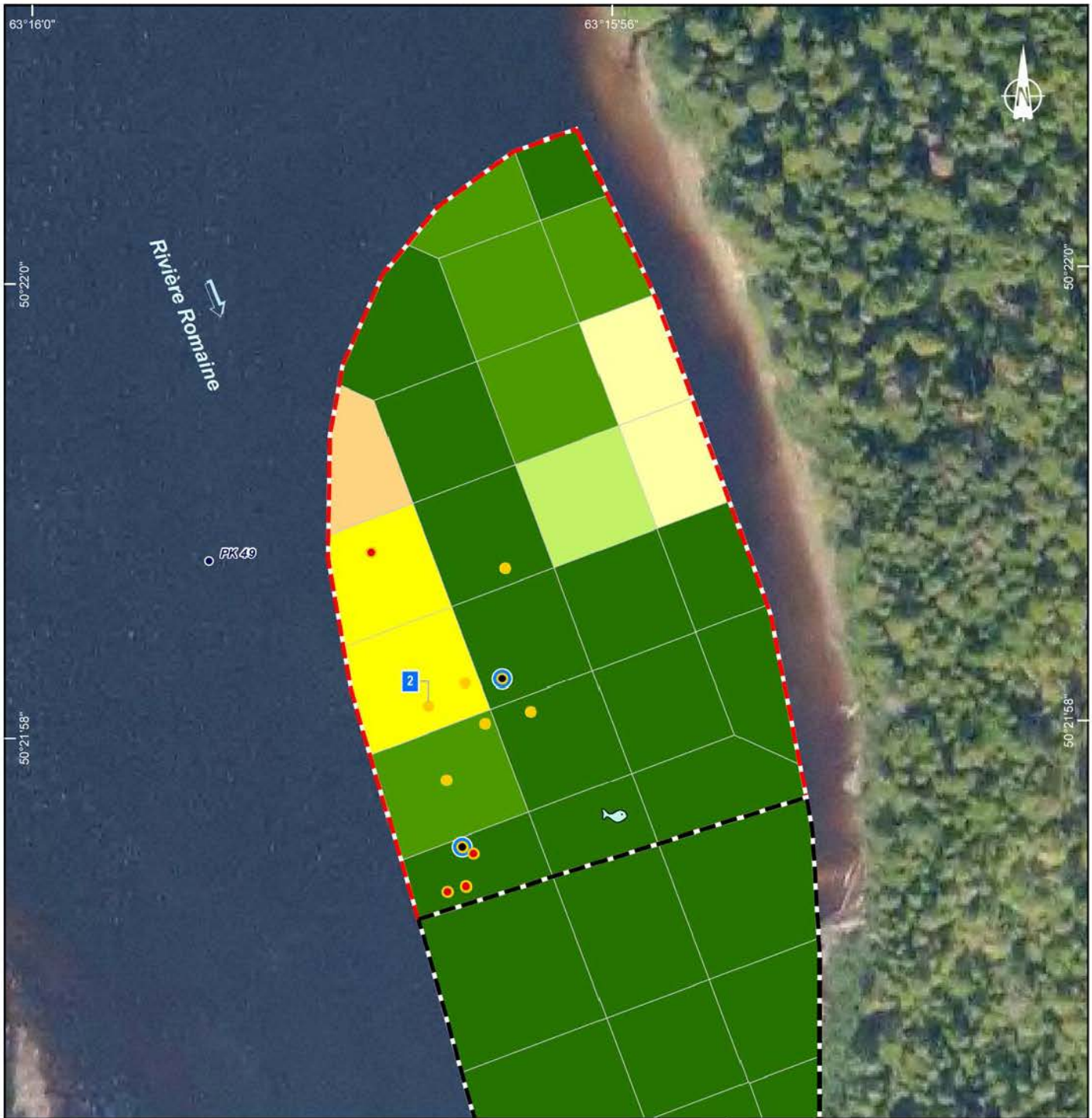
Carte A16-3

 Hydro-Québec



Frayère Nids de saumon Nid non fouillé Nid fouillé avec œufs Nid fouillé sans œuf Oeufs prélevés Saumon adulte Autre Sens de l'écoulement	Profondeur à un débit de 140 m³/s (m) <table border="1"> <tr> <td>0,0 à 0,1</td> <td>0,9 à 1,0</td> <td>1,8 à 1,9</td> </tr> <tr> <td>0,1 à 0,2</td> <td>1,0 à 1,1</td> <td>1,9 à 2,0</td> </tr> <tr> <td>0,2 à 0,3</td> <td>1,1 à 1,2</td> <td>2,0 à 2,1</td> </tr> <tr> <td>0,3 à 0,4</td> <td>1,2 à 1,3</td> <td>2,1 à 2,2</td> </tr> <tr> <td>0,4 à 0,5</td> <td>1,3 à 1,4</td> <td>2,2 à 2,3</td> </tr> <tr> <td>0,5 à 0,6</td> <td>1,4 à 1,5</td> <td>Plus de 2,3</td> </tr> <tr> <td>0,6 à 0,7</td> <td>1,5 à 1,6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,7 à 0,8</td> <td>1,6 à 1,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,8 à 0,9</td> <td>1,7 à 1,8</td> <td></td> </tr> </table>	0,0 à 0,1	0,9 à 1,0	1,8 à 1,9	0,1 à 0,2	1,0 à 1,1	1,9 à 2,0	0,2 à 0,3	1,1 à 1,2	2,0 à 2,1	0,3 à 0,4	1,2 à 1,3	2,1 à 2,2	0,4 à 0,5	1,3 à 1,4	2,2 à 2,3	0,5 à 0,6	1,4 à 1,5	Plus de 2,3	0,6 à 0,7	1,5 à 1,6		0,7 à 0,8	1,6 à 1,7		0,8 à 0,9	1,7 à 1,8		<p>Complexe de la Romaine Suivi environnemental 2019 en phase exploitation Suivi de la population de saumon atlantique</p> <p>Répartition des nids de saumon au PK 51 de la Romaine (selon la profondeur modélisée pour un débit de 140 m³/s)</p> <p><i>Sources :</i> Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004 Inventaires et cartographie : WSP Fichier : 0344_sucA16_4_geq_1738_sp51_200831.mxd</p> <p>0 5 10 m MTM, fuseau 5, NAD83</p> <p>Septembre 2020</p> <p>Carte A16-4 </p>
0,0 à 0,1	0,9 à 1,0	1,8 à 1,9																											
0,1 à 0,2	1,0 à 1,1	1,9 à 2,0																											
0,2 à 0,3	1,1 à 1,2	2,0 à 2,1																											
0,3 à 0,4	1,2 à 1,3	2,1 à 2,2																											
0,4 à 0,5	1,3 à 1,4	2,2 à 2,3																											
0,5 à 0,6	1,4 à 1,5	Plus de 2,3																											
0,6 à 0,7	1,5 à 1,6																												
0,7 à 0,8	1,6 à 1,7																												
0,8 à 0,9	1,7 à 1,8																												

« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »



Fraysère

Nids de saumon

- Nid non fouillé
- Nid fouillé avec œufs
- Nid fouillé sans œuf
- Oeufs prélevés
- Saumon adulte

Autre

- Sens de l'écoulement

Recouvrement de sable (%)

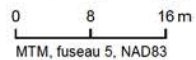


« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes. Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »

Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des nids de saumon
au PK 49 de la Romaine
(selon le recouvrement en sable)**

Sources :
Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP
Fichier : 0344_sucA16_5_geq_1788_sp49_200831.mxd



Carte A16-5






Septembre 2020






 Frayère

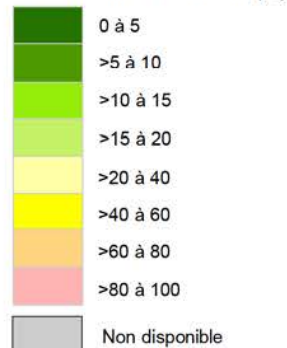
Nids de saumon

-  Nid non fouillé
-  Nid fouillé avec œufs
-  Nid fouillé sans œuf
-  Oeufs prélevés
-  Saumon adulte

Autre

-  Sens de l'écoulement

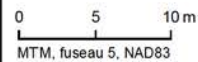
Recouvrement de sable (%)



Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019
en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

**Répartition des nids de saumon
au PK 51 de la Romaine
(selon le recouvrement en sable)**

Sources :
Orthophoto, résolution 30 cm, Hydro-Québec, 2004
Inventaires et cartographie : WSP
Fichier : 0344_sucA16_6_geq_1738_sp51_200831.mxd



Carte A16-6

Septembre 2020



« Cette légende regroupe tous les éléments susceptibles de se trouver sur un des feuillets de la série de cartes.
Il se peut donc qu'un ou plusieurs éléments de la légende ne soient pas présents sur un feuillet donné. »

ANNEXE 17 Évaluation du nombre de géniteurs contribuant aux nids des frayères de la Rivière Romaine (Piette-Lauzière et coll., 2020)



UNIVERSITÉ
LAVAL

Évaluation du nombre de géniteurs contribuant aux nids des frayères de la Rivière Romaine

Gabriel Piette-Lauzière
Cecilia Hernandez
Kyle Wellband
Louis Bernatchez

IBIS
Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes
Université Laval
Québec, QC
G1V 0A6

Auteur pour correspondance :
Dr Louis Bernatchez
Tél: 1-418-656-3402
Courriel: louis.bernatchez@bio.ulaval.ca

Résumé des objectifs

Dans le cadre de la présente étude, 14 alevins provenant de quatre nids de la rivière Romaine ont été analysés. Cette étude visait à répondre à deux objectifs principaux :

- 1) Déterminer le nombre de parents potentiels
- 2) Déterminer si ces alevins provenaient d'une reproduction entre des géniteurs sauvages ou du programme d'ensemencement réalisé à partir de géniteurs élevés au LARSEM de l'Université Laval.

1. Méthodologie

1.1 Échantillonnage

Des œufs de saumons ont été échantillonnés à l'automne 2019 dans les frayères PK34 et PK49. Ils ont ensuite été transportés à la pisciculture de la Rivière Romaine pour être incubés dans des bassins de croissance. Après éclosion, les alevins vésiculés ont été entreposés dans des tubes de 15ml remplis d'éthanol 95%, puis envoyés en juin 2020 au laboratoire de Louis Bernatchez pour analyses.

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, les génotypes des saumons reproducteurs pour le programme d'ensemencement de la Rivière Romaine étaient nécessaires. Nous avons donc utilisé la base de données rassemblant les génotypes des géniteurs utilisés pour les reproductions à la station piscicole du LARSEM. Pour plus de détails concernant l'échantillonnage de ces populations de référence, voir le rapport de Côté et Bernatchez (2014).

1.2 Analyses de laboratoire

1.2.1 Sélection des marqueurs génétiques

La sélection des marqueurs génétiques utilisés est une étape déterminante pour l'atteinte des objectifs d'un projet. Tous les types de marqueurs génétiques ont leur forces et limitations et la pertinence d'un type de marqueur par rapport à un autre varie en fonction de chaque problématique. Avec l'objectif de caractériser la diversité génétique de populations en milieu naturel, les marqueurs microsatellites sont souvent utilisés. Les avantages des marqueurs microsatellites sont qu'ils présentent, entre autres, des degrés de polymorphisme variables, qu'ils sont relativement faciles à obtenir et que leur analyse est robuste. Ces marqueurs sont en fait des régions du génome qui présentent des séquences de deux à quatre bases répétées en tandem un certain nombre de fois (ex. GATAGATAGATAGATA). Chaque région identifiée comme un microsatellite est un locus. Chaque individu possède deux copies distinctes de chaque locus, chacune de ces copies est appelée un allèle. Dans le cas des marqueurs microsatellites, c'est le nombre de

répétitions de la séquence répétée en tandem qui fait varier la taille en paires de bases des allèles. C'est donc cette variabilité qui est utilisée afin de comparer les individus entre eux. Étant donné que le degré de variabilité est différent pour chaque locus, il est important de choisir des microsatellites ayant une variabilité suffisante pour arriver à caractériser adéquatement la diversité génétique des individus à l'étude, dans le but de pouvoir répondre correctement aux objectifs et d'apporter des réponses aussi solides et fiables que possible.

Les marqueurs utilisés pour la présente étude ont été utilisés à maintes reprises pour la caractérisation génétique des populations naturelles de saumon atlantique (King et coll., 2005; King, communication personnelle; Oreilly et coll., 1996; Slettan et coll., 1995; Paterson et coll., 2004; Presa et Guyomard, 1996) et présentent un degré de variabilité suffisant. Au total, 17 loci ont été utilisés. Les informations relatives à ces loci sont présentées à l'annexe 1.

1.2.2 Extraction de l'ADN

L'ADN génomique des échantillons de saumon atlantique a été extrait (mis en solution aqueuse) selon un protocole d'extraction au sel (Annexe 2; Aljanabi et Martinez, 1997), puis quantifié (contrôle de quantité et de qualité) à l'aide d'un spectrophotomètre NanoDrop 2000 (Thermo Scientific).

1.2.3 Amplification des 17 loci microsatellites

Une fois l'ADN isolé, une réaction de polymérisation en chaîne (PCR pour « polymerase chain reaction ») a été effectuée. La PCR consiste à sélectionner et amplifier une région précise du génome permettant, dans ce cas-ci, la visualisation des fragments des loci microsatellites. La région d'intérêt est sélectionnée grâce à deux oligonucléotides (courts segments d'ADN synthétisés, appelés aussi amorces à laquelle une molécule fluorescente a été fixée), dont la séquence est complémentaire à une des deux extrémités du fragment d'ADN recherché. Par la suite, une réaction enzymatique est utilisée afin de créer une copie du fragment compris entre ces deux amorces. Les étapes de sélection et d'amplification sont répétées jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de fragments soient ainsi créés permettant de visualiser adéquatement la région amplifiée. Les détails techniques pour cette étape sont présentés à l'annexe 3.

1.2.4 Migration et détermination du génotype

Les fragments obtenus lors de la PCR ont été migrés sur le séquenceur 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems®, Life technologies Corporation) afin de les visualiser et déterminer leur taille. Le principe consiste à faire migrer par électrophorèse les fragments d'ADN à travers une matrice de polymère en y appliquant un champ électrique. Puisque les molécules d'ADN sont chargées négativement, elles vont se déplacer au travers du polymère. Les fragments d'ADN sont séparés au cours de la migration en fonction de leur longueur, les fragments plus courts migrant plus rapidement que les fragments plus longs.

Ceux-ci sont ensuite visualisés à l'aide d'un laser qui détecte les molécules fluorescentes présentes sur les fragments amplifiés. En plaçant un standard de taille (solution avec différents fragments de tailles connues) dans chaque puits, la taille des différents allèles peut être inférée de façon précise. Après la migration, les résultats sont visualisés et validés sur le logiciel GeneMapper version 4.1. Ce programme permet de déterminer le génotype multilocus des individus, c'est-à-dire la composition allélique des individus pour chacun des 17 loci utilisés.

1.3 Analyses des données

1.3.1 Assignation parentale

L'assignation parentale des échantillons à des géniteurs sauvages ou provenant de la reproduction artificielle a été effectuée à l'aide du logiciel COLONY (Jones et Wang 2010). Ce programme est basé sur la reconstruction de pedigree. Les individus sont divisés en trois catégories : la progéniture, les pères candidats et les mères candidates. En premier lieu, la progéniture est regroupée, basée sur leur génotype, en groupes selon leur niveau d'apparentement (partageant les mêmes parents, partageant uniquement un parent, ne partageant pas de parents). Puis les parents potentiels sont assignés à ces groupes. Pour chacun de ces regroupements (groupe de progéniture et/ou parents-progéniture), une valeur de vraisemblance est calculée. Ensuite, ces regroupements sont modifiés et une nouvelle valeur de vraisemblance est calculée, puis comparée à la structure précédente. Si la valeur de vraisemblance est plus élevée pour ces nouveaux groupements, le programme rejette la structure précédente (ayant une valeur de vraisemblance plus faible) et ainsi de suite jusqu'à l'obtention des meilleurs regroupements ayant les valeurs de vraisemblances les plus élevées. Le programme génère alors une liste des frères et sœurs ou demi-frères demi-sœurs potentiels avec les probabilités associées ainsi que les parents retenus s'il y a lieu. Un autre aspect intéressant de ce logiciel est la possibilité d'assigner des « grands-parents ». En effet, à partir des fréquences alléliques du jeu de données (génotypes) des rejetons, le logiciel infère les génotypes les plus probables des parents potentiels. Ces génotypes inférés sont ensuite intégrés dans COLONY pour les assigner aux géniteurs de référence.

Dans le cadre de la présente étude, le programme COLONY a d'abord été utilisé pour déterminer le nombre de groupement familiaux et le nombre potentiel de parents (basé sur les meilleures valeurs de vraisemblances obtenues). Dans un deuxième temps, nous avions le mandat de déterminer l'origine (sauvage ou ensemencé) de ces parents. Pour ce faire, leurs génotypes ont été inférés en se basant sur les fréquences alléliques des groupements familiaux, puis assignés aux génotypes « parentaux » des géniteurs du LARSEM. Considérant le cycle de vie du saumon atlantique et la date de récolte des œufs (automne 2019), seuls les géniteurs ayant participé aux événements de reproduction artificielle des années 2014 et 2015 (ensemencement 2015 et 2016) ont été utilisés comme référence, ce qui correspond à un nombre de 24 mâles et 15 femelles. En effet, il est improbable, par exemple, que des alevins ensemencés plus tard, disons en 2017 aient atteint l'âge à la reproduction à l'automne 2019.

2. Résultats

2.0 Extraction d'ADN et géotypage

L'extraction d'ADN des échantillons a été un succès, de même que l'amplification des 17 loci microsatellites ciblés. L'étape de migration et de détermination de la taille des microsatellites, effectuée dans la semaine du 15 juillet 2020, s'est également déroulée sans complications. Le géotypage des individus s'est avéré être d'excellente qualité, résultant en une matrice sans données manquantes (14 individus pour 17 microsatellites). Cependant, il est à noter que 3 microsatellites sur les 17 totaux (18%) ne démontraient aucun polymorphisme (variabilité) entre les échantillons, ce qui est indicateur d'une faible diversité génétique. Un tel résultat était quand même attendu puisque plusieurs échantillons ont été récoltés dans les mêmes nids.

2.1 Assignment parentale

L'assignation parentale des échantillons inconnus à des géniteurs sauvages ou provenant de la reproduction artificielle a été effectuée à l'aide du logiciel COLONY. Par les analyses de maximisation de vraisemblance, un total de quatre groupements familiaux différents (tableau 1, identifiés de « A » à « D ») et de neuf parents potentiels ont été détectés. Il est à noter que dans le cas du groupement familial « B », COLONY considère que les deux échantillons partagent un seul parent (parent Y), ce qui explique pourquoi il y a quatre groupements familiaux et neufs parents potentiels. Le nombre de quatre groupements familiaux correspond au nombre total de nids envoyés pour analyse (PK34-20, PK34-24, PK49-5, PK49-9). Cependant, ces groupements ne correspondent pas à l'emplacement des frayères où les échantillons ont été récoltés. Par exemple, le groupement familial « A » rassemble une fratrie de huit individus dont quatre provenant de la frayère PK34 et quatre provenant de la frayère PK49. De plus, à l'intérieur de cette fratrie, jamais plus de 4 allèles sont détectées pour un locus donné, ce qui renforce la confiance d'un seul couple de parents pour ces échantillons. Un tel résultat pourrait être dû à un mélange des noms d'échantillons lors de la récolte ou à la pisciculture.

Étant donné les résultats obtenus, les étapes d'extraction, d'amplification, de migration, de géotypage et d'analyse ont été réalisées une seconde fois afin d'éliminer la possibilité d'un mélange d'échantillons au laboratoire. Cette seconde tentative a mené aux mêmes constats. Les analyses de groupements familiaux ont également été répétées en retirant les trois loci les plus difficiles à interpréter (SsaD486, SsaD58 et MST-3). Les résultats de cette dernière analyse sont ceux présentés au tableau 1.

Par la suite, les géotypes des neuf parents détectés ont été inférés à partir des fréquences alléliques des groupements familiaux. Ils ont été intégrés dans le logiciel comme « progéniture », puis comparés aux géotypes des géniteurs du LARSEM. L'analyse a détecté la contribution de la femelle 3D6.00115AA16B8 dans le patrimoine génétique des groupements familiaux C et D.

Pour mieux comprendre ce résultat, plusieurs détails doivent être ajoutés. D'abord, la contribution de la femelle 3D6.00115AA16B8 dans le patrimoine génétique d'œufs récoltés en 2019 est tout à fait plausible. En effet, cette femelle a participé aux deux événements de reproduction artificielle de 2014 et 2015 et ses œufs ont été ensemencés en 2015 et 2016. Il est donc possible – considérant le nombre d'années et le cycle de vie des saumons – qu'un rejeton de cette femelle ait participé à la reproduction de 2019 en tant que mâle précoce ou de grisle. Cependant, il est important de rappeler que l'analyse qui a mené à l'identification de cette femelle se basait sur des génotypes reconstruits et inférés à partir de très peu d'information et pour cette raison, il est impossible d'assigner spécifiquement cette femelle comme « grand-mère » à un ou des échantillons en particulier. Le manque d'échantillons et la faible diversité génétique explique également pourquoi aucun « grand-père » potentiel n'a été détecté.

4. Conclusion

En résumé, il est important de retenir les points suivants :

1. Un nombre de 4 groupements familiaux différents a été détecté. Ce nombre correspond au nombre de nids échantillonnés. En revanche, ces groupements ne correspondent pas aux résultats attendus d'échantillons prélevés dans deux frayères différentes.
2. Neuf parents potentiels auraient été impliqués dans la production des 14 alevins analysés
3. En inférant les génotypes parentaux, il a été possible de détecter la contribution de la femelle 3D6.00115AA16B8 (utilisée dans le programme de reproduction artificielle en 2014 et 2015). Il est donc possible – considérant le nombre d'années et le cycle de vie des saumons – qu'un ou plusieurs rejetons de cette femelle aient participé à la reproduction de 2019 en tant que mâles précoces ou de grisles. La taille d'échantillonnage n'est pas suffisante pour déterminer avec plus de précision lesquels des 14 œufs analysés sont issus de parents produits par reproduction artificielle

5. Recommandations

Lors d'une prochaine étude, nous recommandons de disposer les échantillons de manière individuelle dans des tubes séparés. Il est important également d'identifier les tubes avec les informations suivantes : nom de l'échantillon (identifiant unique), espèce et stade de croissance, numéro de frayère et nid, date de capture et le nom de la personne ayant réalisé l'échantillonnage. Idéalement, une partie de ces informations pourrait être imprimée d'avance sur des étiquettes qui seraient ensuite collées sur le tube. Également, un formulaire rassemblant ces informations sous forme de tableau (en version électronique idéalement) pourrait contribuer à assurer un suivi optimal des échantillons. Finalement, la

récolte des échantillons au stade d'œufs œillés pourrait retirer les risques de mouvements qui sont présents avec les alevins.

Tableau 1. Groupements familiaux déterminés par COLONY des alevins récoltés au stade œuf à l’automne 2019. La valeur de probabilité indique à quelle fréquence une « vraie » relation de parentalité ne serait pas exclue par l’analyse à un intervalle de confiance de 95%. Pour avoir confiance aux résultats, cette probabilité devrait être idéalement supérieure à 0,95 (Wang et Santure, 2009).

Groupement familial	Probabilité	Alevin	Parent X	Parent Y
A	0,996	PK34_20-1	1	1
A	0,996	PK34_20-2	1	1
A	0,996	PK34_24-1	1	1
A	0,996	PK34_24-2	1	1
A	0,996	PK49_5-1	1	1
A	0,996	PK49_5-2	1	1
A	0,996	PK49_5-3	1	1
A	0,996	PK49_5-4	1	1
B	0,363	PK34_20-3	2	2
B	0,363	PK49_9-3	3	2
C	0,391	PK34_20-4	4	3
C	0,391	PK49_9-1	4	3
D	0,964	PK49_9-2	5	4
D	0,964	PK49_9-4	5	4

Références bibliographiques

- Aljanabi SM, Martinez I (1997) Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Research* 25 : 4692-4693.
- Côté G. et L. Bernatchez (2014) Caractérisation génétique des saumons atlantique des rivières Romaine et Puyjalon en élevage au LARSA et des adultes reproducteurs utilisés pour le frai artificiel. Rapport présenté par l'Université Laval à la Société Saumon de la Rivière Romaine (SSRR). 48 p. et 2 annexes
- Jones OR, Wang J (2010) COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10: 551-555.
- Kalinowski ST, Taper ML, Marshall TC (2007) Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology* 16: 1099-1106.
- King TL, Eackles MS, Letcher BH (2005) Microsatellite DNA markers for the study of Atlantic salmon (*Salmo salar*) kinship, population structure, and mixed-fishery analyses. *Molecular Ecology Notes* 5 : 130-132.
- King RA & Stevens JR (2019) An improved genitex sex test for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Conservation Genetics Resources*, Technical note.
- Oreilly PT, Hamilton LC, Mcconnell SK, Wright JM (1996) Rapid analysis of genetic variation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) by PCR multiplexing of dinucleotide and tetranucleotide microsatellites. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 : 2292-2298.
- Paterson S, Piertney SB, Knox D, Gilbey J, Verspoor E (2004) Characterization and PCR multiplexing of novel highly variable tetranucleotide Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) microsatellites. *Molecular Ecology Notes* 4 : 160-162.
- Piry S, Alapetite A, Cornuet JM, Paetkau D, Baudouin L, Estoup A (2004) GENECLASS2 : a software for genetic assignment and first-generation migrant detection. *J Hered.* 95 : 536-9.
- Presa P, Guyomard R (1996) Conservation of microsatellites in three species of salmonids. *Journal of Fish Biology* 49 : 1326-1329.
- Slettan A, Olsaker I, Lie O (1995) Atlantic Salmon, *Salmo salar*, Microsatellites at the Ssosl25, Ssosl85, Ssosl311, Ssosl417 Loci. *Animal Genetics* 26 : 281-282.
- Wang J, Santure A W (2009) Parentage and sibship inference from multilocus genotype data under polygamy, *Genetics* 181: 1579–1594

Annexe 1 : Informations sur les loci utilisés pour la caractérisation génétique.

Locus	Séquence des amorces (5'-3')	Molécule fluorescente	Température d'appariement (°C)	Référence
Ssa85	a : AGGTGGGTCTCCAAGCTAC b : ACCCGCTCCTCACTTAATC*	HEX (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa171	a : TTATTATCCAAAGGGGTCAAAA b : GAGGTCGCTGGGGTTTACTAT	NED (Jaune)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa197	a : GGGTTGAGTAGGGAGGCTTG b : TGGCAGGGATTTGACATAAC*	VIC (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
Ssa202	a : CTTGGAATATCTAGAATATGGC b : TTCATGTGTTAATGTTGCGTG*	VIC (Vert)	58	(Oreilly et coll., 1996)
SsaD58	F : TAGAGTTTGTCTCTGGCTTTG R : AGACCCTAGGACTGGCTACTG	HEX (Vert)	58	(King et coll., 2005)
SsaD71	F : AACGTGAAACATAAAATCGATGG* R : TAAGAATGGGTTGCCTATGAG	PET (Rouge)	58	(King et coll., 2005)
SsaD85	F : CTTTGGCTGTTTCAGGTATGAC* R : CACTGCTCTACAACAGAAGTCTC	FAM (Bleu)	58	(King, comm. pers.)
SsaD144	F : TTGTGAAGGGGCTGACTAAC* R : TCAATTGTTGGGTGCACATAG	FAM (Bleu)	58	(King et coll., 2005)
SsaD486	F : TCGCTGTGTATCAGTATTTTGG R : ACTCGGATAACACTCACAGGTC	FAM (Bleu)	58	(King et coll., 2005)
Ssosl417	F : TTGTTCAAGTGTATATGTGTCCCAT* R : GATCTTCACTGCCACCTTATGACC	FAM (Bleu)	58	(Slettan et coll., 1995)
SsspG7	F : CTTGGTCCCGTTCTTACGACAACC* R : TGCACGCTGCTTGGTCCTTG	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
Sssp1605	F : CGCAATGGAAGTCAGTGGACTGG* R : CTGATTTAGCTTTTTAGTGCCCAATGC	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
Sssp2201	F : TTTAGATGGTGGGATACTGGGAGGC* R : CGGGAGCCCCATAACCCTACTAATAAC	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
Sssp2210	F : AAGTATTCATGCACACACATTCAGTGC* R : CAAGACCCTTTTTCCAATGGGATTC	FAM (Bleu)	58	(Paterson et coll., 2004)
Sssp2215	F : ACTAGCCAGGTGTCCTGCCGGTC* R : AGGGTCAGTCAGTCACACCATGCAC	NED (Jaune)	58	(Paterson et coll., 2004)
Sssp2216	F : GGCCAGACAGATAAACAACACGC* R : GCCAACAGCAGCATCTACACCCAG	VIC (Vert)	58	(Paterson et coll., 2004)
MST-3	1 : CCCTGGTTTGAAGTTTGTCTCA* 2 : AGGCACTCTCACCAGCTAAAGATG	HEX (Vert)	58	(Presa et Guyomard, 1996)

* L'astérisque indique l'amorce à laquelle est fixée la molécule fluorescente

Annexe 2 : Protocole d'extraction de l'ADN des échantillons

Protocole d'extraction d'ADN par la méthode aux sels

Tiré de Salah M. Aljanabi & Icar Martinez, 1997 : Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. Nucleic Acids Research. 25(22): 4692-4693.

Tampon d'extraction salin :	250 ml
2 mM EDTA	1 ml de 0,5 M EDTA
10 mM Tris-HCl	2,5 ml de 1 M Tris-HCl (pH 8)
0.4 M NaCl	20 ml de 5 M NaCl
	226,5 ml dH ₂ O

SDS 20 % :

20 g de SDS + 80 ml de dH₂O, mélanger et ajuster le volume à 100 ml final

Solution saline 6 M :

Dissoudre 29 g de NaCl dans 100 ml dH₂O

Dissoudre 6.06 g de NaCl additionnel (on peut le faire chauffer au micro-ondes)

Procédure :

- 1- Couper des bouts de tissu d'environ 0,05 à 0,25 cm², nettoyer ses instruments entre chaque échantillon.
- 2- Déposer chaque échantillon dans un tube 1,5 ml pré identifiés.
- 3- Laisser les morceaux de tissu sécher (pour enlever tout l'éthanol résiduel) environ 30 minutes. Mettre une Kimtech sur les échantillons afin d'éviter la contamination durant le séchage.
- 4- Ajouter 440 µl de tampon d'extraction salin + 44 µl de SDS 20 % + 12 µl de Protéinase K (20 mg/ml).
- 5- Vortexer quelques secondes.
- 6- Incuber toute la nuit à 50 °C en mettant en mouvement à 250.
- 7- Si le tissu n'est pas suffisamment digéré, ajouter 20 µl de Protéinase K et laisser agir au minimum 2h à 50 °C en mettant en mouvement à 250 (étape à éviter).
- 8- Centrifuger quelques secondes pour faire descendre la buée qui se retrouve sur les parois des tubes.
- 9- Ajouter 4 µl de RNase A dans chaque tube. Vortexer et laisser agir 1 h à 20 °C (température ambiante).
- 10- Ajouter 300 µl de la solution saline 6 M.

- 11- Vortexer quelques secondes pour chaque tube.
- 12- Centrifuger à 10300 rpm pendant 30 minutes.
- 13- Transférer 600 µl de surnageant dans un nouveau tube 1,5 ml pré identifié.
- 14- Ajouter 600 µl isopropanol froid (conservé au congélateur -20°C).
- 15- Mélanger gentiment les tubes en les inversant quelques fois.
- 16- Incuber les tubes à -20°C pendant 1 heure ou toute la nuit (les échantillons peuvent rester dans l'isopropanol pour une longue période sans problème).
- 17- Centrifuger à 13000 rpm pendant 20 minutes.
- 18- Enlever le surnageant à la pipette.
- 19- Laissez sécher les tubes 10-15 minutes. Déposer une Kimtech dessus pour éviter la contamination.
- 20- Ajouter 500 µl d'éthanol 70 % froid (conserver au congélateur -20°C).
- 21- Centrifuger à 13000 rpm pendant 10 minutes.
- 22- Enlever le surnageant à la pipette.
- 23- Ajouter 500 µl d'éthanol 70 % froid (conserver au congélateur -20°C).
- 24- Centrifuger à 13000 rpm pendant 10 minutes.
- 25- Enlever le surnageant à la pipette.
- 26- Laisser le culot sécher 1 ou 2 heures à 60 °C ou toute la nuit à 37°C.
- 27- Dissoudre le culot dans 100 µl d'H₂O

Annexe 3 : Protocole de l'amplification et de migration sur capillaires des loci microsatellites

Solutions requises :

1. Multiplex PCR kit (Qiagen, numéro de produit: 206145)
2. Amorces R: 10 μ M
3. Amorces F: 10 μ M
4. ADN : \sim 10 ng/ μ l
5. Hi-Di Formamide (Applied Biosystems, numéro de produit: 4311320)
6. GeneScan 500 ROX® (Applied Biosystems, numéro de produit: 401734)
7. GeneScan 500 LIZ® (Applied Biosystems, numéro de produit: 4322682)

Les 17 loci utilisés pour les analyses génétiques ont été amplifiés en trois réactions PCR. Les quantités en microlitres (μ l) des solutions de départ nécessaires aux réactions PCR sont présentées ci-dessous pour une réaction (1 échantillon). Pour chacune des réactions PCR, le volume final est de 10 μ l.

PCR Multiplex 1		
Réactif		Volume (μ l)
Multiplex PCR kit		5
Amorce Ssa171	-F	0,2
	-R	
Amorce Ssa197	-F	0,05
	-R	
Amorce Ssa202	-F	0,3
	-R	
Amorce Ssos1417	-F	0,15
	-R	
Amorce SsaD85	-F	0,4
	-R	
Amorce SsaD71	-F	0,4
	-R	
ADN		2

PCR Multiplex 2			PCR Multiplex 3		
Réactif		Volume (µl)	Réactif		Volume (µl)
Multiplex PCR kit		5	Multiplex PCR kit		5
Amorce SsaD144	-F	0,6	Amorce Sssp2201	-F	0,9
	-R			-R	
Amorce Sssp1605	-F	0,5	Amorce SsspG7	-F	0,1
	-R			-R	
Amorce Sssp2210	-F	0,1	Amorce MST-3	-F	0,25
	-R			-R	
Amorce Sssp2215	-F	0,25	Amorce Ssa85	-F	0,03
	-R			-R	
Amorce Sssp2216	-F	0,05	Amorce SsaD58	-F	0,8
	-R			-R	
ADN		2	Amorce SsaD486	-F	0,025
				-R	
			ADN		2

Les conditions lors de la PCR étaient les suivantes :

Programme Multiplex 1, Multiplex 2 et Multiplex 3

15 min à 95°C (30 sec à 95°C; 3 min à 58°C; 1 min à 72°C)₃₅ 30 min à 72°C

Une fois les réactions terminées, on procède à la préparation de la plaque pour le séquençage et permettre la visualisation des loci migrés.

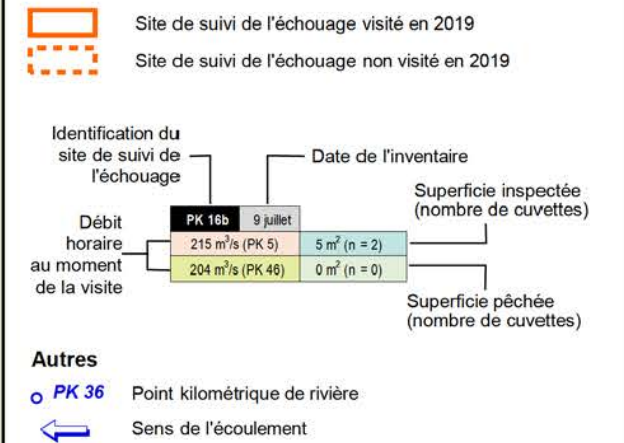
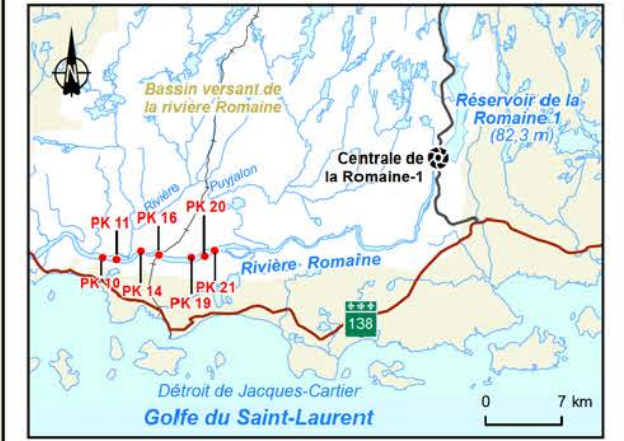
Pour les migrations - Multiplex 1, 2 et 3:

- 1- Pour chaque échantillon diluer 1 µl du produit PCR Multiplex 1 dans 10 µl d'eau.
- 2- Mélanger 2 µl de cette dilution et 10 µl d'un mélange de 10 µl de Formamide Hi-Di et 0.13 µl de GeneScan 500 LIZ.

Pour la migration - Multiplex 3:

- 1- Pour chaque échantillon diluer 1 µl du produit PCR Multiplex 1 dans 10 µl d'eau.
- 2- Mélanger 2 µl de cette dilution et 10 µl d'un mélange de 10 µl de Formamide Hi-Di et 0.13 µl de GeneScan 500 ROX.

ANNEXE 18 Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles en 2019 et superficies inventoriées



Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles et superficies inventoriées en 2019

Sources : Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008

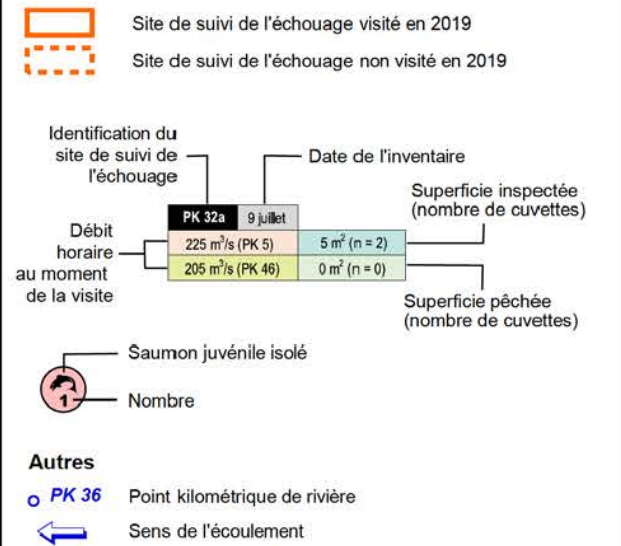
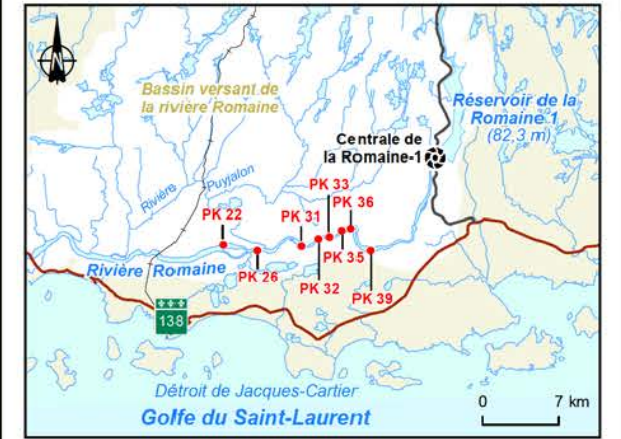
Inventaires et cartographie : WSP, 2019
 Fichier : 0344_sucA18_1_geq_1713_sp_pk5_200903.mxd

0 100 200 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Septembre 2020

Carte A18-1



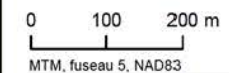


Complexe de la Romaine
Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
Suivi de la population de saumon atlantique

Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles et superficies inventoriées en 2019

Sources :
Ortho-image (Pléiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008

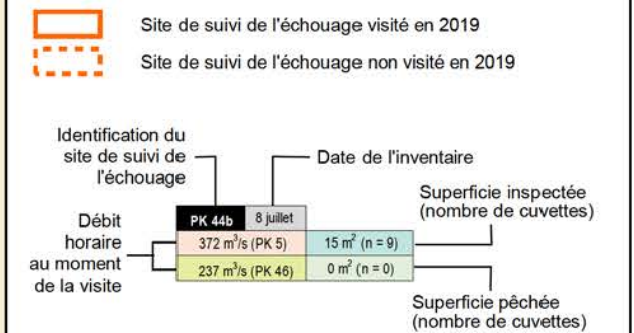
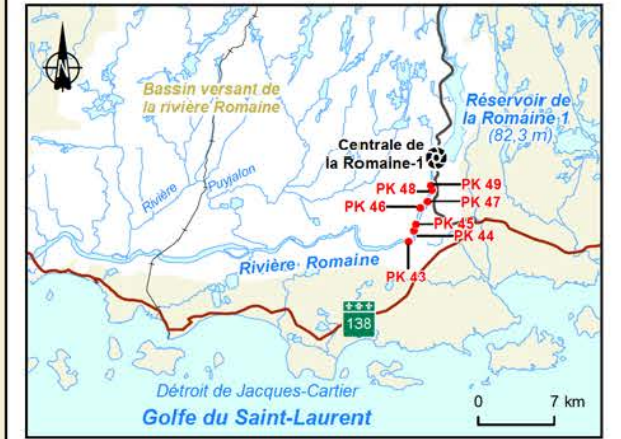
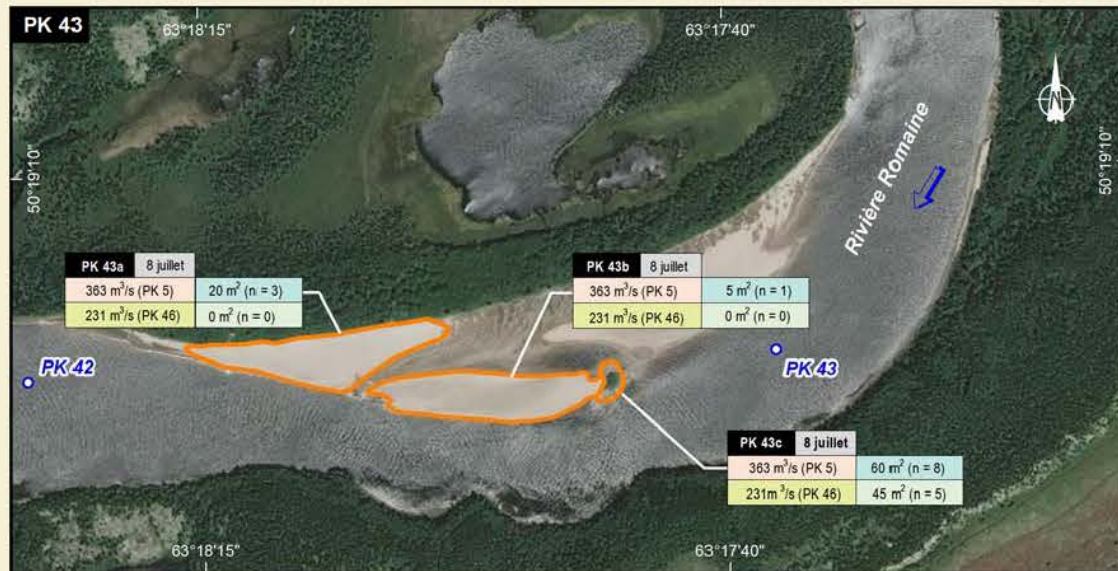
Inventaires et cartographie : WSP
Fichier : 0344_sucA18_2_geq_1732_sp_pk22_39_200903.mxd



Septembre 2020

Carte A18-2





- Autres**
- PK 36 Point kilométrique de rivière
 - Sens de l'écoulement

Complexe de la Romaine
 Suivi environnemental 2019 en phase exploitation
 Suivi de la population de saumon atlantique

Sites de suivi de l'échouage des saumons juvéniles et superficies inventoriées en 2019

Sources :
 Ortho-image (Pliades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, septembre 2008

Inventaires : WSP, 2017
 Cartographie : WSP, 2018
 Fichier : 0344_suca18_3_geq_1733_sp_pk43_49_200903.mxd

0 100 200 m
 MTM, fuseau 5, NAD83

Septembre 2020

Carte A18-3



ANNEXE 19 Résultats détaillés de l'inventaire des poissons échoués le long du cours principal de la Romaine en 2019

Annexe 19 Résultats détaillés de l'inventaire des poissons échoués le long du cours principal de la Romaine en 2019

Date	Site	Localisation par rapport aux chutes à Charlie	Débit horaire au moment approximatif de la visite (m ³ /s)		Cuvettes inspectées ¹		Cuvettes pêchées (pêche électrique)			Nombre de poissons aperçus selon l'espèce					Notes particulières
			PK 5 (ROMA0665)	PK 46 (ROMA0944)	Nombre de cuvettes	Superficie (m ²) ²	Nombre de cuvettes	Superficie (m ²) ²	Temps de pêche électrique (s)	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>) SASA	Épinoche à trois épines (<i>Gasterosteus aculeatus</i>) GAAC	Meunier noir (<i>Catostomus commersonii</i>) CACO	Meunier rouge (<i>Catostomus catostomus</i>) CACA	Omble de fontaine (<i>Salvelinus fontinalis</i>) SAFO	
2019-07-09	10a	Aval	214	205	7	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	10b	Aval	214	205	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	16a	Aval	215	204	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	16b	Aval	215	204	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	16c	Aval	215	204	14	119	5	94	240	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	16d	Aval	215	204	4	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	16e	Aval	215	204	6	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	20	Aval	217	206	30	650	-	-	-	-	4	-	-	-	-
2019-07-09	21	Aval	217	206	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	22	Aval	217	206	1	200	1	200	212	-	100	-	-	-	3
2019-07-09	26b	Aval	219	205	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	31a	Aval	221	205	112	19	69	4	120	-	1	-	-	-	-
2019-07-09	31b	Aval	221	205	208	58	137	27	262	-	1	-	6	1	-
2019-07-09	32a	Aval	224	206	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-09	32b	Aval	224	206	11	70	1	25	313	-	-	-	7	2	-
2019-07-09	33a	Aval	227	205	14	100	9	89	170	-	-	-	-	-	4
2019-07-09	33b	Aval	227	205	43	135	43	135	509	1	-	1	-	-	5
2019-07-08	35a	Aval	341	226	17	196	2	44	105	-	-	-	-	-	-
2019-07-08	35b	Vis-à-vis	341	226	7	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-08	36	Amont	352	229	3	250	-	-	-	-	4	150	-	-	6
2019-07-08	43a	Amont	363	231	3	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-08	43b	Amont	363	231	1	5	-	-	-	-	-	5	-	-	-
2019-07-08	43c	Amont	363	231	8	60	5	45	238	-	-	10	-	-	-
2019-07-08	44b	Amont	372	237	9	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-08	45c	Amont	372	237	23	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019-07-08	49b	Amont	381	243	2	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	26 sites	PK 10 à 49	-	-	537	2 145	272	663	2 169	1	110	166	13	3	-

1 Les totaux présentés incluent les superficies pêchées.

2 La superficie présentée est approximative et vise à donner un ordre de grandeur.



3 Nombre estimé étant donné la grandeur de la cuvette et le fait que les épinoches se cachent sous la vase.

4 Deux cuvettes étaient trop profondes pour effectuer la pêche (> 1,5 m).

5 Alevin de saumon 0+ mesurant 32 mm de longueur.

6 Nombre d'alevins de meuniers approximatif (ces alevins pourraient inclure aussi des alevins de meunier rouge).

ANNEXE 20 Évaluation de la survie des embryons de saumon – Protocole de fraie 2018

	<p align="center">PROTOCOLE DE SUIVI DU DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE 2018 (FRAIE ARTIFICIELLE ET IMPLANTATION DES EMBRYONS)</p>		
Préparé par : Bernard Aubé-Maurice / Louis Belzile		Date : 2018-10-15	Page 1 de 5
Destinataires : Délégués scientifiques et équipe de terrain			
Projet : Suivi de la population de saumon atlantique – Développement embryonnaire des œufs de saumons juvéniles			
Organismes : Hydro-Québec et WSP		No de projet : 171-04567-01	

1 – OBJECTIFS

L'objectif du suivi du développement embryonnaire est d'évaluer, dans les conditions les plus représentatives possibles des conditions naturelles, la survie des embryons de saumon entre la fécondation des œufs et leur éclosion dans les quatre principales frayères de la Romaine (naturelles et aménagées). Pour ce faire, les embryons issus de la fraie artificielle sont divisés en 12 lignées parentales distinctes (4 femelles x 3 mâles), puis insérés dans des capsules d'incubation. Les embryons sont ensuite disposés dans les quatre frayères étudiées et leur éclosion est vérifiée au printemps. Les données recueillies en 2019 pourront être comparées avec celles des suivis précédents (2010-2011, 2012-2013 et 2016-2017).

2 – FRAIE ARTIFICIELLE

En 2018, la fraie artificielle sera à nouveau réalisée au Laboratoire de Recherche en Sciences Aquatiques (LARSA) de l'Université Laval. La semaine de la fécondation, les produits sexuels sont prélevés le mercredi (14 novembre selon la planification actuelle). La fécondation sera réalisée le jeudi (15 novembre). Elle sera faite de façon à créer 12 lignées parentales distinctes (4 femelles x 3 mâles). Les œufs fécondés seront conservés séparément, selon leur affiliation parentale (12 groupes d'œufs correspondant aux 12 lignées parentales). Ensuite, ils seront transportés par avion de Québec au Havre-saint-Pierre (arrivée prévue à 14h30), puis en camion jusqu'à la pisciculture du SSRR. C'est là que WSP récupérera les œufs.



Des extraits des fascicules 3 et 9 du MAPAQ (1996) quant à la reproduction, l'incubation et l'alevinage ainsi qu'au transport des œufs et poissons vivants sont annexés au protocole. Toutes les procédures devront suivre ces guides.

3 – ENCAPSULATION

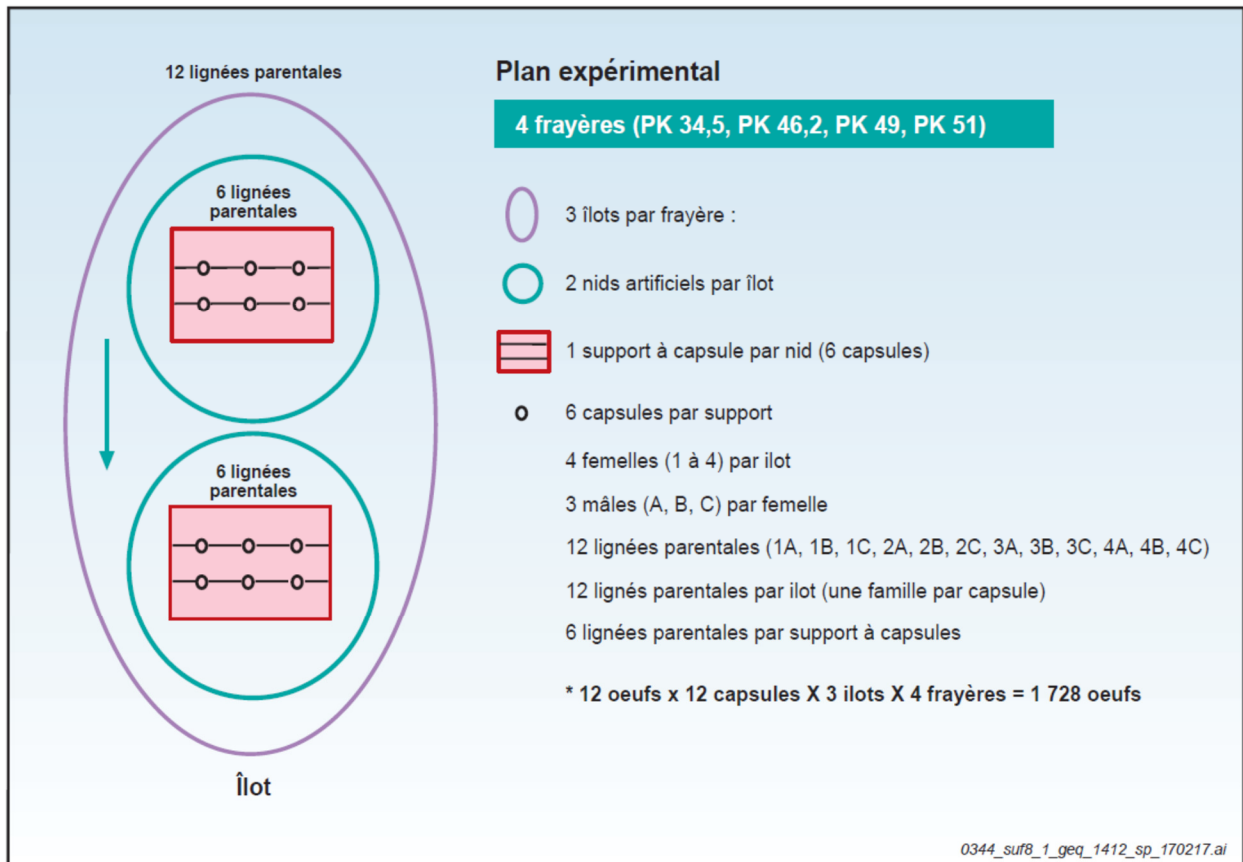
À la pisciculture de Havre-Saint-Pierre, les œufs et le matériel (puisette, capsules) pourront être désinfectés dans de l'ovadine. Les installations du SSRR seront utilisées à cette fin. Ensuite, 12 œufs seront disposés dans chaque capsule en notant sur la fiche de donnée le numéro de la capsule et la famille correspondante. Chaque famille doit être représentée de façon égale dans le total des capsules. À noter que chaque capsule contient des œufs appartenant à une seule famille.

Pour chaque numéro de capsule, la famille correspondante sera identifiée sur la fiche de données. Une fois l'encapsulation terminée, on regroupe les capsules par nid et îlot c'est-à-dire :

Îlot X : Nid 1 : 6 capsules : F1A, F1B, F1C, F2A, F2B et F2C.
Nid 2 : 6 capsules : F3A, F3B, F3C, F4A, F4B et F4C.

	<p align="center">PROTOCOLE DE SUIVI DU DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE 2018 (FRAIE ARTIFICIELLE ET IMPLANTATION DES EMBRYONS)</p>		
Préparé par : Bernard Aubé-Maurice / Louis Belzile		Date : 2018-10-15	Page 2 de 5
Destinataires : Délégués scientifiques et équipe de terrain			
Projet : Suivi de la population de saumon atlantique - Développement embryonnaire des œufs de saumons juvéniles			
Organismes : Hydro-Québec et WSP		No de projet : 171-04567-01	

Pour chaque nid, les six capsules correspondant à des familles distinctes seront regroupées sur un support à capsules (voir plus loin). Un deuxième support à capsules contenant six capsules correspondant aux six autres familles sera utilisé pour le deuxième nid du même îlot. Ce patron est répété 3 fois (3 îlots) pour chacune des 4 frayères étudiées (PK 34, PK 46, PK 49 et PK 51) selon le plan expérimental montré à la figure 1.



Document d'information destiné aux publics concernés par le projet. Pour tout autre usage, communiquer avec : Géomatique, Hydro-Québec Innovation, équipement et services partagés.

Figure 1 Plan expérimental pour l'étude de la survie des embryons

	<p align="center">PROTOCOLE DE SUIVI DU DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE 2018 (FRAIE ARTIFICIELLE ET IMPLANTATION DES EMBRYONS)</p>		
Préparé par : Bernard Aubé-Maurice / Louis Belzile		Date : 2018-10-15	Page 3 de 5
Destinataires : Délégués scientifiques et équipe de terrain			
Projet : Suivi de la population de saumon atlantique - Développement embryonnaire des œufs de saumons juvéniles			
Organismes : Hydro-Québec et WSP		No de projet : 171-04567-01	

4 – TRANSPORT

Après l'encapsulation, les œufs seront transportés de la pisciculture vers l'hôtel dans une boîte munie de glace pour fournir un milieu humide et de l'oxygène. Les capsules doivent être disposées dans les casiers protégés de coton à fromage (la boîte de transport est fournie par le LARSA). Un thermomètre digital doit être inséré dans la boîte de transport. À noter qu'entre la fécondation et l'insertion des capsules dans les frayères de la Romaine, un délai maximal de 48 heures doit être respecté.



Un second transport se fera dans un deuxième temps entre l'hôtel et la rivière ou encore entre l'hôtel et l'aéroport (frayère du PK 34 accessible en hélicoptère).

5 – ACCLIMATATION DES ŒUFS

Les œufs devront être acclimatés à la température de la Romaine avant leur immersion. Ce processus peut être long. Pour cette raison, le soir de l'arrivée des œufs au Havre, une équipe rapportera du terrain deux glacières remplies d'eau de la Romaine à l'hôtel. La glacière sera laissée à l'extérieur pour la nuit. Le matin du départ vers les frayères, il faudra commencer tôt à ajuster l'eau de la glacière pour atteindre une température plus élevée de 1 à 2 °C qu'à l'intérieur des boîtes d'expédition (qui sera probablement près de 0 °C). Pour refroidir l'eau de la glacière, des bouteilles remplies d'eau gelée doivent être utilisées plutôt que de la glace. Lorsque la température de l'eau de la glacière aura atteint la température recherchée, les capsules contenant les œufs fécondés pourront y être déposées. Suite à cette première augmentation de la température des œufs, la température de l'eau des glacières pourra graduellement être augmentée à raison de 2 °C par heure. L'implantation en rivière peut être faite lorsque la température de l'eau des glacières aura un écart de 1 °C ou moins par rapport à l'eau de la Romaine.

6 – SUPPORT À CAPSULES ET MORTALITÉ POST-FÉCONDATION

Juste avant l'implantation des œufs dans les frayères, les capsules seront regroupées par groupe de 6 sur des supports à capsules (différentes sur chaque support) tel que montré à la figure 1. Les supports à capsules seront numérotés. Une autre glacière est remplie d'eau de la Romaine à cette étape et est utilisée pour contenir le support à capsules (écart maximal de 1 °C par rapport à la température de l'eau des glacières contenant les capsules). À cette étape, les capsules doivent être examinées et les mortalités post-fécondation (œufs blancs) doivent être retirées. Le nombre d'œufs morts retirés pour chacune des capsules sera noté, afin que le nombre d'œufs vivants dans chacune des capsules au moment de l'implantation soit connu et qu'il soit également possible de calculer le taux de mortalité post-fécondation pour chacune des capsules.

	PROTOCOLE DE SUIVI DU DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE 2018 (FRAIE ARTIFICIELLE ET IMPLANTATION DES EMBRYONS)		
Préparé par : Bernard Aubé-Maurice / Louis Belzile		Date : 2018-10-15	Page 4 de 5
Destinataires : Délégués scientifiques et équipe de terrain			
Projet : Suivi de la population de saumon atlantique - Développement embryonnaire des œufs de saumons juvéniles			
Organismes : Hydro-Québec et WSP		No de projet : 171-04567-01	

7 – ENFOUISSEMENT DES ŒUFS



Deux supports à capsules doivent être enfouis sur chacun des douze îlots répartis dans les quatre frayères à l'étude selon le plan expérimental montré à la figure 1. Chaque support à capsules est enfoui dans un nid artificiel aménagé par le plongeur juste avant l'insertion des embryons dans les frayères.

Un nid artificiel est une dépression d'environ 30 cm de profondeur sur 75 cm de largeur creusée à la main dans le substrat de la frayère. Les matériaux excavés sont disposés légèrement en aval de la dépression. Une fois creusée, les supports à capsules doivent être enfouis à environ 20 cm sous la surface des frayères. La dépression est ensuite remplie à l'aide d'une pelle à main en imitant les mouvements de queue que ferait une femelle saumon lors de l'aménagement de son nid, afin de favoriser le nettoyage du substrat. La plus grande partie des matériaux utilisés provient de l'amont de la dépression, bien qu'une partie du substrat préalablement déplacé vers l'aval lors du creusement ait été récupérée pour uniformiser la surface. Une fois l'aménagement complété, chaque nid artificiel est caractérisé par une dépression en amont et un bourrelet en aval comme un nid naturel de saumon. Les supports à capsules doivent être en place moins de 48 heures après la fécondation artificielle. L'accès aux frayères des PK 46, 49 et 51 se fera en embarcation à partir du débarcadère de la centrale de la Romaine-1, alors que l'accès à la frayère du PK 34 se fera en hélicoptère.

L'emplacement de chaque nid artificiel sera géoréférencé puis marqué d'un galet traceur numéroté et d'une couleur distinctive disposé à l'amont. De plus, des pit tags (2) seront fixés sur chaque support (à chaque extrémité) afin de faciliter leur repérage advenant qu'ils soient déplacés durant l'hiver. Le n° des pit tags sera noté en fonction des n° des supports à capsules. À chaque nid, des photographies sous-marines, la vitesse du courant et la profondeur d'eau seront prises. Dans chacune des frayères, les six supports sont reliés par un câble. De plus, En raison de la plus grande profondeur de la frayère du PK 34, les supports à capsules doivent y être reliés à un réseau de câbles afin de faciliter leur récupération pendant la crue printanière. Ce réseau de câbles a été mis en place à l'été 2018.

En résumé, les données suivantes doivent être recueillies lors de l'enfouissement des œufs dans les frayères :

- Date [REDACTED]
- Température de l'eau (thermomètre de surface)
- Nombre d'œufs retirés (mortalités post-fécondation) et nombre d'œufs vivants pour chaque capsule
- Point GPS du site d'enfouissement de chacun des supports à capsules
- Vitesse du courant et profondeur d'eau pour chaque nid
- Dans la saisie de données, s'assurer de pouvoir faire simplement le lien entre : le n° des lignées parentales, le n° des capsules, le n° des supports à capsules, le n° des pit tag et la localisation (frayère et îlot) tout en respectant le plan expérimental montré à la figure 1
- Photos et vidéos

	PROTOCOLE DE SUIVI DU DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE 2018 (FRAIE ARTIFICIELLE ET IMPLANTATION DES EMBRYONS)		
Préparé par : Bernard Aubé-Maurice / Louis Belzile		Date : 2018-10-15	Page 5 de 5
Destinataires : Délégués scientifiques et équipe de terrain			
Projet : Suivi de la population de saumon atlantique – Développement embryonnaire des œufs de saumons juvéniles			
Organismes : Hydro-Québec et WSP		No de projet : 171-04567-01	

8 – ASPECTS ADMINISTRATIFS

Pour la facturation :

Numéro de projet : 171-04567-01

Phases et sous-phases :

- 600-1 : préparatifs (bureau)
- 600-2 : temps de déplacement
- 600-3 : temps terrain régulier
- 600-4 : temps plongée régulier
- 600-5 : temps plongée supplémentaire
- 600-6 : dépenses

Note : Toutes les dépenses doivent aller dans la phase 600-6 (repas, hébergement, essence, achat, quincaillerie, etc.).

9 – CONTACTS

Aspects scientifiques – Louis Belzile ou Bernard Aubé-Maurice

Cell. [REDACTED] (Louis) ou [REDACTED] (Bernard)

Bureau : 581-814-5879 (Louis) ou 581 814-5874 (Bernard)

Aspects techniques et logistiques – Frédéric Tremblay

Cell. [REDACTED]

Bureau : 581-823-0132

Contact LARSA (approvisionnement en œufs et fraie artificielle) :

Émilie Proulx : [REDACTED]

Contact Uanan (pisciculture de la SSRR en rive de la rivière Romaine) :

Marie-Philip Leclerc : cell. [REDACTED]

Contact client :

Hydro-Québec :

Jean-Christophe Guay : 514-289-2211, poste 4282

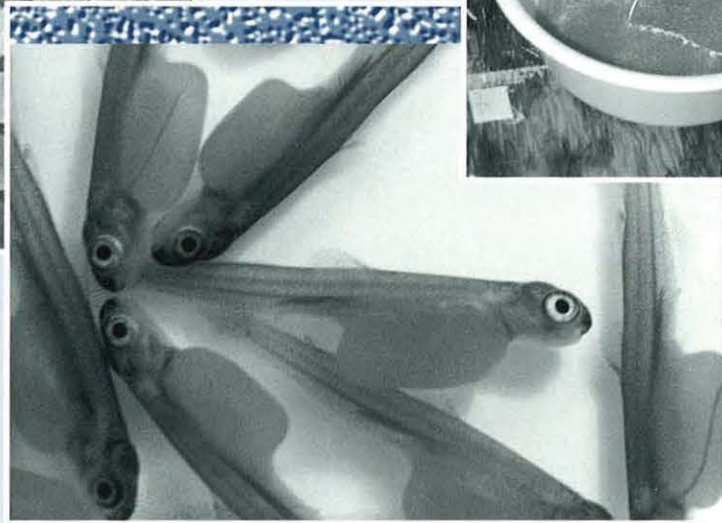
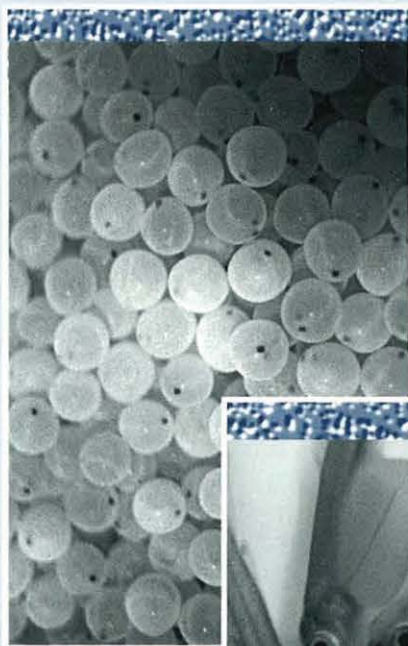
Maude Richard-St-Vincent : cell. [REDACTED]

REPRODUCTION, INCUBATION ET AVELINAGE

ÉLEVAGE DES SALMONIDÉS

FASCICULE

3



Québec 

3.3 LA REPRODUCTION

3.3.1 DÉFINITION

La reproduction est la fonction physiologique permettant de produire les poissons juvéniles qui assurent la pérennité de l'espèce. En pisciculture, la reproduction diffère de celle qui a lieu en milieu naturel, parce que l'intervention de l'homme est nécessaire pour extraire les produits sexuels et réaliser la fécondation des oeufs. Un ensemble de pratiques piscicoles est nécessaire à la réalisation de cette fonction physiologique en milieu contrôlé.

3.3.2 SUIVI DE MATURATION ET PRÉPARATION DES GÉNITEURS

Il est important que le pisciculteur suive l'évolution du processus de maturation des géniteurs et les prépare adéquatement pour la reproduction.

3.3.2.1 Changements morphologiques et comportementaux

Certains signes morphologiques et comportementaux indiquent que la période de reproduction est arrivée. Ils permettent d'identifier facilement les poissons matures sexuellement et de différencier les mâles des femelles. Les principales caractéristiques sont le profil du corps, arrondi chez la femelle et aplati chez le mâle, la présence d'un crochet mandibulaire chez le mâle et la prééminence de l'orifice urogénital chez la femelle.

Chez l'omble de fontaine, les mâles présentent une coloration noire et orangée à rouge vif de l'abdomen et des nageoires, une forme comprimée latéralement de l'abdomen, un profil longitudinal du dos arrondi pouvant être très élevé en forme de bosse, et une excroissance en forme de crochet à l'extrémité du mandibule inférieur (figure 6). La femelle montre une coloration rosée et une forme fortement gonflée de l'abdomen, lui donnant un profil transversal arrondi. Les nageoires sont également teintées de rose à orangé et il n'y a que peu de modifications du mandibule inférieur et du profil du dos. L'orifice urogénital est proéminent et de coloration rouge, en raison d'une vascularisation importante. Le comportement du mâle devient très agressif envers les autres mâles et ces derniers peuvent à l'occasion s'infliger des blessures.

Les mâles de truites arc-en-ciel perdent leur livrée argentée et deviennent d'une teinte sombre, de brune à noire. Les femelles sont argentées avec des reflets bleu-vert. Les autres transformations morphologiques

et comportementales s'apparentent à celles de l'omble de fontaine, bien que moins accentuées.

Le saumon atlantique, en période de reproduction, ressemble à la truite arc-en-ciel et devient brun. Le mâle a un crochet mandibulaire assez prononcé. Certains poissons gardent leur livrée argentée mais sont quand même matures.

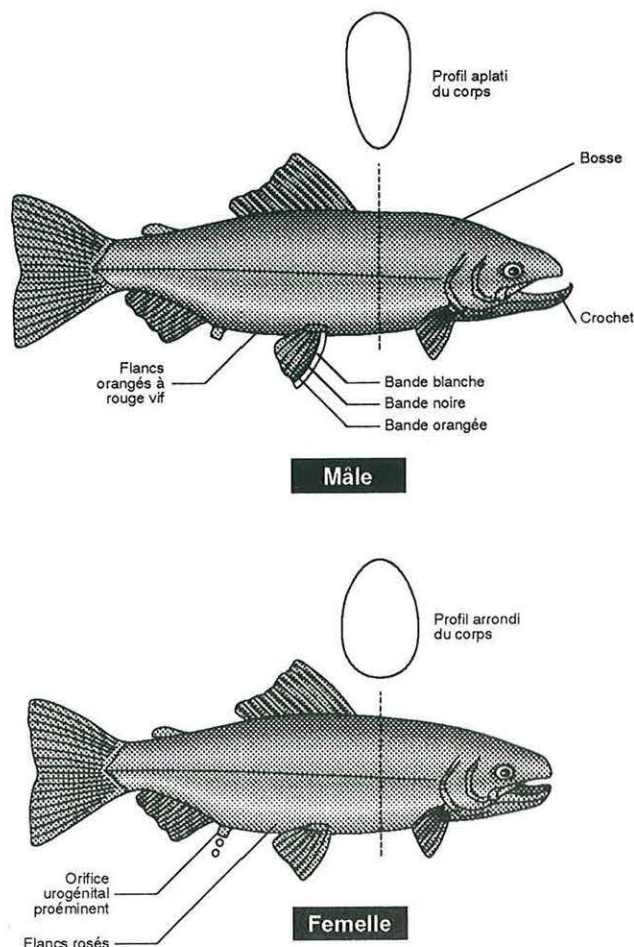


Figure 6 Caractéristiques morphologiques de l'omble de fontaine en période de reproduction

3.3.2.2 Stabulation

La période de la reproduction est très critique dans la vie du poisson et il faut manipuler les géniteurs avec grand soin. Les manipulations trop brusques des femelles peuvent amener la rupture des oeufs et un taux de mortalité élevé chez ces derniers. À l'approche de la reproduction, les géniteurs sont placés dans des

bassins aux dimensions réduites pour une période de stabulation.

Les mâles doivent être séparés des femelles pour la période de stabulation chez la truite arc-en-ciel et l'omble de fontaine. Cette pratique minimise les combats entre les mâles et facilite la vérification des femelles. Des études récentes ont démontré que des odeurs sexuelles, ou des phéromones, émises par les individus de l'autre sexe aident à stimuler l'ovulation et la libération du sperme (Liley et al. 1987). En conséquence, il est recommandé de garder les mâles et les femelles séparés par une barrière dans un même bassin, de préférence à des bassins indépendants. Il n'est pas nécessaire de séparer les mâles des femelles chez le saumon.

Les bassins doivent être recouverts d'un grillage pour empêcher que des géniteurs ne sautent à l'extérieur. L'utilisation d'un débit d'eau convenable selon les charges de poissons est conseillé afin d'assurer des conditions environnementales adéquates. Les taux de renouvellement de l'eau doivent être environ d'une heure, de deux heures et de trois à cinq heures, respectivement dans les bassins rectangulaires, circulaires et dans les étangs.

3.3.2.3 Test de fécondité

Les géniteurs doivent être vérifiés de façon régulière pendant la période de stabulation. Les mâles sont prêts pour la reproduction avant les femelles. Cela peut se vérifier facilement par une légère pression exercée sur les côtés de l'abdomen du mâle qui laisse échapper facilement de la laitance. À partir de ce moment, on doit vérifier les femelles une fois par semaine, afin d'identifier celles qui sont prêtes à pondre. L'orifice urogénital est rouge et protubérant quand la femelle est prête à expulser ses oeufs. L'ovulation est complétée lorsque tous les oeufs sont libres dans la cavité abdominale. Ceux-ci s'échappent alors facilement à la suite d'une légère pression exercée sur la partie ventrale et distale de l'abdomen. Les oeufs mûrs sont opaques et de coloration jaune pâle à orange foncé. Ces femelles sont mises à part en prévision de l'extraction des oeufs.

Il y a un risque élevé de récolter des oeufs dont le stade de maturité est dépassé et qui sont infertiles, si les femelles ne sont pas examinées une à une de façon régulière. La **figure 7** illustre le taux de fertilisation obtenu selon le niveau de maturité des ovules. À une température d'élevage de 10 °C, les oeufs de truite arc-en-ciel extraits de l'abdomen de la femelle de 0 à 8 jours après l'ovulation donnent un taux de fertilisation de 85 % et plus. Le taux de fertilisation est encore acceptable entre le 8^e et le 10^e jour après l'ovulation, où il diminue à 70 %. À la même température, 10 jours après l'ovulation il y a une réduction significative du taux de fertilisation des oeufs et ces derniers sont considérés comme inutilisables (Billard, 1982). Les

oeufs dont la maturité est dépassée de plusieurs jours sont reconnaissables à la présence d'un gros point jaune à orangé, très visible à l'intérieur. Dans certains cas, ils éclatent lorsqu'on les fait chuter à la surface de l'eau.

La vérification des mâles est moins nécessaire, parce que leur période de fécondité concorde avec celle des femelles et est plus étalée dans le temps. En effet, la gonade mâle produit des spermatozoïdes de façon continue sur toute la période de la reproduction. La laitance du mâle doit être abondante, blanche et crémeuse comme du lait. Les mâles dont la laitance est claire ne doivent pas être utilisés. Il est possible de faire un test de motilité des spermatozoïdes afin d'évaluer la qualité de la laitance. La méthodologie est décrite à la section 3.3.3.5. Cependant, cette pratique s'avère peu utile dans les conditions normales d'opération, puisqu'il a été démontré que la concentration en spermatozoïdes non motiles doit être plus grande que 90 % pour réduire substantiellement la fertilité (Levanduski et Cloud, 1988). La laitance des mâles devient granuleuse et liquide après la période de fertilité.

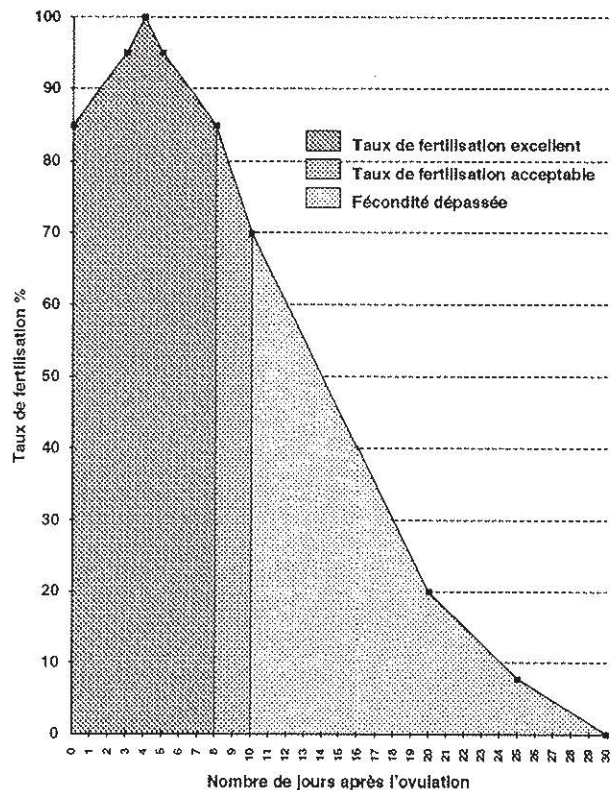


Figure 7 Taux de fertilisation attendu en fonction du nombre de jours après l'ovulation où les oeufs sont extraits, à une température de 10 °C

3.3.3 PRINCIPES ET MODES OPÉRATOIRES

3.3.3.1 Manipulations et anesthésie des géniteurs

Préalablement aux opérations de la reproduction artificielle, il est recommandé de concentrer les géniteurs qui sont prêts pour l'extraction des produits sexuels, de manière à faciliter leur capture au moyen d'une épousette.

L'extraction des produits sexuels peut être faite chez des sujets anesthésiés ou pas, dépendant de leur taille et de l'expérience des manipulateurs. L'utilisation d'un anesthésiant est fortement recommandée sinon essentielle pour manipuler le saumon atlantique. Le MS-222 (tricaïne méthanesulfonate) est un produit anesthésique bien connu au Canada. Cependant, une ordonnance vétérinaire est requise pour l'achat de ce produit et son utilisation.

La dose recommandée de MS-222 pour les salmonidés est de 40 à 80 mg/l (Turgeon, 1985). Ce produit peut être dissous directement dans l'eau. Il faut en ajouter au besoin, selon la biomasse de poissons à anesthésier, parce que l'anesthésique est absorbé par les poissons. Un gramme de MS-222 est requis pour 10 à 16 kg d'omble de fontaine et 16 à 39 kg de saumon atlantique. En général, on recommande d'ajuster la concentration pour que l'anesthésie des poissons ne se fasse pas en moins de trois minutes. Un dosage de 40 mg/l est utilisé au départ, lequel peut être augmenté à 60 ou 80 mg/l au maximum. Le **tableau 3** présente les quantités de MS-222 à utiliser, pour préparer des solutions anesthésiantes à différentes concentrations, et les quantités de poissons pouvant être anesthésiées. Le volume de la solution anesthésiante doit être suffisamment important pour ne pas avoir à réajuster la concentration d'anesthésiant fréquemment. Il ne faut pas anesthésier trop de poissons à la fois, de manière à ce qu'ils ne restent pas trop longtemps dans le bassin d'anesthésiant.

La température de l'eau dans le bassin d'anesthésie doit être la même que celle des bassins contenant les poissons reproducteurs. Plus la température est élevée, plus les poissons sont anesthésiés rapidement. Du sel non iodé peut être ajouté, à raison de 0,3 %, pour aider à diminuer le stress chez le poisson. Un bon système d'aération doit maintenir la concentration en oxygène de l'eau près du niveau de la saturation. Une sursaturation en oxygène augmente le temps nécessaire à l'anesthésie.

La solution anesthésique ne doit jamais entrer en contact avec les produits sexuels. En effet, il a été démontré qu'une concentration aussi faible que 18,9 mg/l de MS-222 réduit l'activité des spermatozoïdes (Piper et al. 1982). Il est donc préférable d'éponger légèrement les poissons anesthésiés avant de procéder à l'extraction des produits sexuels.

Les poissons moins gros, qui ne requièrent pas d'être anesthésiés, peuvent être placés sur un égouttoir pendant quelques dizaines de secondes, le temps qu'ils arrêtent de se débattre. Cela facilite leur manipulation par la suite. Une bonne pratique consiste à éponger l'eau sur l'abdomen du géniteur au moyen d'une serviette, immédiatement avant de procéder à l'extraction des oeufs, de manière à éviter que cette eau ne se retrouve dans le récipient qui recueille les oeufs et le sperme. Il est important de procéder délicatement afin de ne pas enlever le mucus.

3.3.3.2 Extraction des produits sexuels

Les opérations d'extraction des produits sexuels et de la fécondation doivent être effectuées à l'ombre, à l'intérieur d'un bâtiment, de manière à éviter que les oeufs ne soient exposés à la lumière solaire intense. Les oeufs et le sperme sont recueillis dans des récipients. L'opérateur peut travailler en position assise, en utilisant un banc spécialement conçu à cette fin, ou debout, en déposant sur une table les récipients qui recueillent les oeufs. Deux éléments de l'équipement de base, soit un banc pour la fraye et un égouttoir, sont illustrés à la **figure 8**.

Tableau 3 Dosage du MS-222 pour l'anesthésie des poissons

Concentration d'anesthésique désirée (mg/l)	Quantité de MS-222 (g) pour un volume de solution anesthésiante de :		Quantité de poisson (kg) pouvant être anesthésiée dans une solution d'un volume de :			
	50 litres	100 litres	50 litres		100 litres	
			Truite et omble	Saumon	Truite et omble	Saumon
40	2	4	20 - 32	32 - 78	40 - 64	64 - 156
60	3	6	30 - 48	48 - 117	60 - 96	96 - 234
80	4	8	40 - 64	64 - 156	80 - 128	128 - 312

L'extraction des oeufs se fait en maintenant fermement la femelle d'une main par le pédoncule caudal. L'autre main applique une légère pression sur l'abdomen du poisson en se déplaçant de l'avant vers l'arrière. Le premier mouvement doit être commencé près de l'orifice urogénital pour libérer une partie importante des oeufs, qui sont fortement concentrés dans cette région (figure 9). Ensuite, les mouvements sont allongés en partant des nageoires ventrales d'abord et pectorales ensuite. Il est important de faire sortir tous les oeufs de l'abdomen de la femelle. Le nombre de mouvements à exécuter pour extraire tous les oeufs dépend de la facilité avec laquelle ces derniers sortent de la femelle. De huit à douze mouvements sont généralement suffisants, mais il en faut plus dans les cas difficiles. Il est préférable d'exécuter un plus grand nombre de mouvements de préférence à augmenter la pression pour faire sortir les

oeufs. Deux opérateurs peuvent être nécessaires pour manipuler des gros poissons tels que le saumon.

L'extraction du sperme chez le mâle se fait en maintenant ce dernier d'une main, de la même manière que la femelle. L'anatomie du mâle diffère de celle de la femelle et requiert d'exercer une pression latérale plutôt que ventrale. L'autre main effectue deux ou trois mouvements avec une légère pression des deux côtés de l'abdomen du mâle.

Les précautions suivantes doivent être prises lors de l'extraction des produits sexuel des reproducteurs :

- 1- Causer le moins de stress possible aux poissons.
- 2- Extraire le plus d'oeufs possible de la cavité abdominale des femelles.

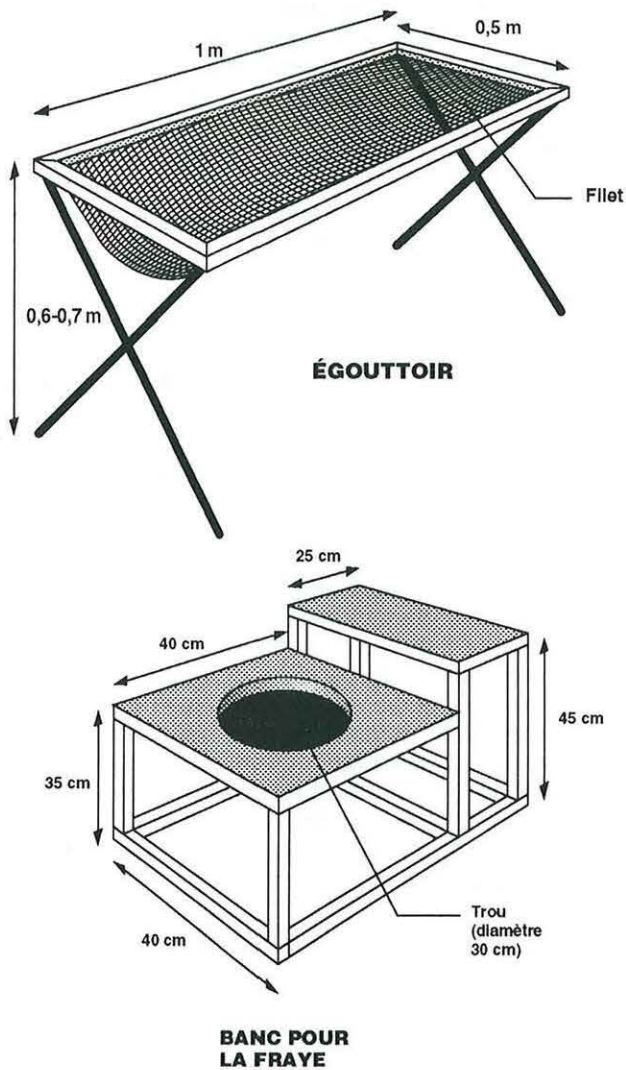


Figure 8 Égouttoir et banc utilisés pour réaliser la reproduction artificielle des salmonidés

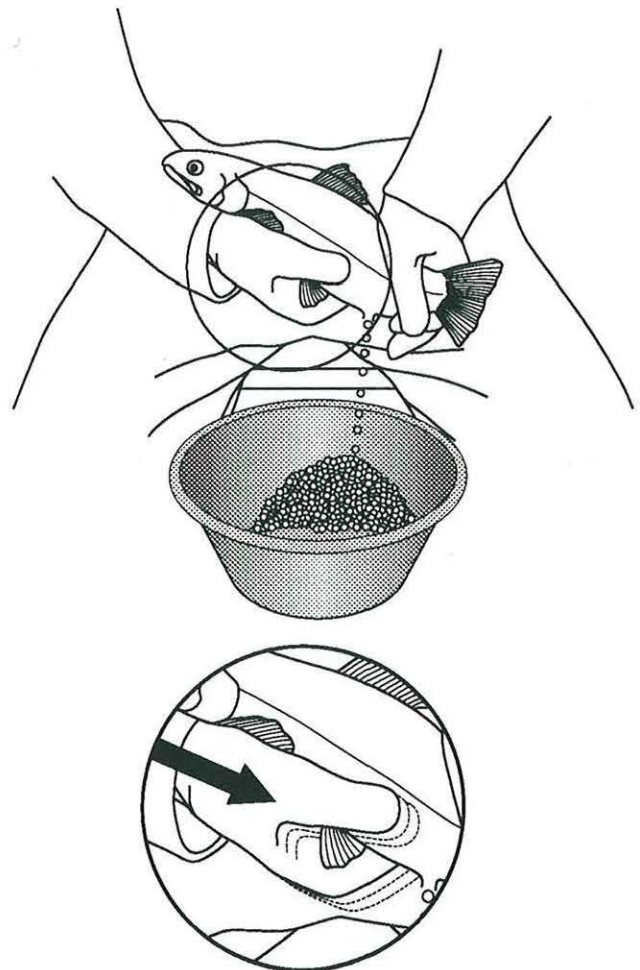


Figure 9 Méthode utilisée pour extraire les oeufs et la laitance des reproducteurs

- 3- Enlever le moins de mucus protecteur aux poissons, afin de prévenir les infections de champignons.
- 4- Ne pas endommager les organes internes des poissons par des pressions trop fortes.
- 5- Planifier les opérations à la chaîne, de manière à permettre une récupération rapide des poissons après l'extraction.

On peut procéder à une deuxième extraction des oeufs, de manière à s'assurer qu'ils ont tous été récoltés. Cela permet d'éviter que les oeufs restants après la première extraction ne résorbent dans la cavité abdominale. Ce phénomène de résorption provoque à l'occasion la formation d'un bouchon, qui est constitué d'un amas d'oeufs morts et de tissus, qui se colmatent ensemble, et vient entraver l'extraction des nouveaux oeufs lors de la prochaine fraye. Cette pratique est aussi recommandée pour récolter la totalité des produits sexuels chez les sujets de grande valeur, tels que les saumons sauvages. La deuxième extraction des oeufs est effectuée quelques jours après la première, ce qui permet aux oeufs restants d'avoir migré vers l'extrémité distale de la cavité abdominale. La plupart des pisciculteurs ne font qu'une seule extraction d'oeufs.

3.3.3.3 Conservation prolongée des produits sexuels

Il est possible de prolonger la durée de vie des produits sexuels pour réaliser la fécondation ultérieurement. Les oeufs non fécondés peuvent demeurer plus de 8 heures dans un récipient sec et donner sensiblement le même résultat à la fécondation. Cependant, il est important de maintenir constante la température de ces ovules, en laissant flotter le récipient qui contient les oeufs sur l'eau d'un bassin, ou en plaçant les oeufs dans un récipient isothermique. On doit protéger de la dessiccation les ovules gardés dans un récipient ouvert en recouvrant le récipient d'une membrane de cellophane. Les ovules peuvent être conservés jusqu'à 5 jours à une température de 0 °C (Billard, 1982).

Le sperme d'omble de fontaine non dilué peut être préservé avec succès pendant une période de 5 jours. Il doit être été récolté dans des conditions stériles et refroidi immédiatement à 2 °C jusqu'à son utilisation. Cette méthode a aussi été utilisée avec succès chez la truite arc-en-ciel, pour une durée de 7 jours de conservation (Piper et al. 1982). Les conditions d'oxygène et de température pendant le stockage exercent une grande influence sur la survie des spermatozoïdes (Billard, 1982). On a testé la conservation du sperme de salmonidés à des températures inférieures à 0 °C, en ajoutant un cryoprotecteur (ex. : éthylène-glycol à 5 % - 10 %) au dilueur. Des survies de plusieurs semaines ont ainsi été rapportées à -4 °C et à -2 °C en présence d'oxygène (Billard, 1982).

3.3.3.4 Dilueur de sperme

La pratique de l'insémination artificielle avec dilueur de sperme permet de faire une meilleure utilisation des gamètes mâles, en fertilisant une plus grande quantité d'oeufs avec moins de laitance (Billard, 1982). Elle n'est pas utilisée couramment dans les opérations de reproduction standards, en raison de la grande disponibilité de laitance chez les mâles. Cependant, cette pratique s'avère utile dans la production de salmonidés monosexes femelles, qui requiert l'utilisation de sperme de néomâles², dont la production est onéreuse. Elle est aussi utilisée pour le transport et la mise en marché de sperme, prélevé chez des géniteurs de grande valeur, ou pour l'hybridation entre géniteurs dont les périodes de reproduction ne coïncident pas.

La formulation utilisée pour préparer un dilueur de sperme est donnée au **tableau 4**. Les deux solutions doivent être préparées avec de l'eau distillée et mélangées à raison de 4 parties de solution A et de 1 partie de solution B. Cependant, elles ne doivent être combinées qu'au moment de l'utilisation. Il est recommandé d'utiliser le dilueur de sperme à raison d'un volume de dilueur égal à celui du sperme. Le dilueur de sperme est un liquide physiologique qui doit être conservé au réfrigérateur, de manière à éviter une contamination bactérienne.

3.3.3.5 Test de motilité des spermatozoïdes

Un test de motilité des spermatozoïdes peut être effectué afin de déterminer si la laitance est bonne pour féconder des oeufs. Il suffit de prélever quelques gouttes de la laitance du mâle à tester dans un petit récipient. Du fluide ovarien est aussi prélevé d'une femelle. Une goutte de sperme est déposée sur une lame de verre, à laquelle est ajoutée une goutte de fluide ovarien pour diluer le sperme et activer les spermatozoïdes. Une lamelle est déposée sur la préparation et l'observation est faite immédiatement au microscope à un grossissement de 100X. La motilité des spermatozoïdes doit alors être visible par des petits points noirs qui se déplacent rapidement dans tous les sens. Si aucune motilité n'est perceptible, le sperme n'est pas bon pour réaliser la fécondation. Il est important de faire la mise au point du microscope au préalable, parce que l'intensité lumineuse et la chaleur dégagées par la lampe inhibent les spermatozoïdes en quelques secondes.

3.3.3.6 Période de récupération

Les géniteurs sont placés dans un bassin de recouvrement pour une surveillance une fois la

² Néomâle: poisson femelle génétique transformé en mâle physiologique par l'absorption d'hormone masculinisante, lequel possède des gonades mâles qui produisent des spermatozoïdes.

Tableau 4 Formulation utilisée pour préparer un dilueur de sperme

Produits	Formule chimique	Concentration (g/l)
Solution A (4 volumes)		
Chlorure de potassium	KCl	9,0
Chlorure de sodium	NaCl	2,35
Phosphate de sodium monobasique	NaH ₂ PO ₄	0,51
Sulfate de magnésium	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,29
Chlorure de calcium	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,29
Solution B (1 volume)		
Bicarbonate de sodium	NaHCO ₃	5,0
Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	5,0

reproduction terminée. Des traitements au vert de malachite doivent leur être administrés de façon préventive, de manière à éviter la prolifération des champignons. Les pertes de mucus occasionnées par les manipulations sont responsables de cette contamination. Le traitement recommandé est au dosage de 1 mg/l pendant une heure, tous les trois jours pendant 9 à 15 jours (Turgeon, 1982). Dans certains cas, il peut être nécessaire de traiter chaque jour pendant les 3 à 4 premiers jours après la fraye.

Les poissons reproducteurs perdent normalement de 10 % à 20 % de leur poids pendant la saison de reproduction. Cela est dû principalement à un arrêt de l'alimentation et à la libération des oeufs et du sperme. La perte de poids est encore plus importante chez la femelle à cause du poids important de la masse d'oeufs pondue.

3.3.4 FÉCONDATION ARTIFICIELLE

3.3.4.1 Méthodes sèche et humide

La méthode la plus couramment utilisée pour la fécondation artificielle des salmonidés est la méthode sèche. Elle consiste à recueillir les oeufs dans un récipient sec. La méthode humide utilisée autrefois, qui consistait à recueillir les oeufs dans un récipient contenant de l'eau, n'est plus utilisée aujourd'hui. Les taux de fécondation obtenus étaient moins élevés qu'avec la méthode sèche, où le récipient ne contient que les oeufs et le liquide coelomique. En effet, il a été démontré que les spermatozoïdes avaient une durée de vie plus longue dans des conditions "sèches" que dans l'eau, où ils ne vivent que 90 secondes environ. Par ailleurs, le micropyle, l'ouverture qui permet l'entrée d'un spermatozoïde dans l'oeuf, se referme plus

rapidement dans l'eau que dans les conditions "sèches", laissant ainsi moins de temps pour la fécondation.

3.3.4.2 Mélange des produits sexuels

Il est nécessaire d'utiliser la laitance de plus d'un mâle pour un lot d'oeufs, afin d'augmenter les chances de fécondation. Plusieurs séquences peuvent être utilisées, dont l'une consiste à introduire en premier les oeufs de deux ou trois femelles dans un récipient et à y ajouter la laitance d'un mâle. Les oeufs et la laitance sont mélangés ensemble immédiatement. Ensuite, les oeufs d'une ou de deux femelles supplémentaires sont recueillis dans le même récipient et la laitance d'un deuxième mâle est ajoutée. Le tout est mélangé à nouveau.

Les oeufs de saumons sont en général recueillis dans des récipients individuels pour chaque femelle et sont fécondés avec plus d'un mâle. Une seule femelle produisant un grand nombre d'oeufs, souvent au delà de 15 000, ces derniers sont gardés séparément dans l'équipement d'incubation. Cela permet d'effectuer un suivi individuel des performances de la progéniture de chaque femelle, et de garder comme reproducteurs seulement les sujets qui donnent des résultats satisfaisants.

Bien qu'il soit plus pratique de mélanger dans un même récipient les oeufs de plusieurs femelles pour la fécondation chez la truite, il est important de vérifier la qualité des oeufs de chaque femelle au préalable. Il suffit d'extraire les oeufs de chaque femelle, ou à tout le moins quelques-uns, dans un récipient individuel, afin d'en examiner la qualité avant de les mélanger avec ceux des autres femelles dans un récipient commun. Cette pratique évite bien des désagréments, par exemple d'avoir à trier les oeufs impropres d'une femelle à travers un lot important d'oeufs de bonne qualité, provenant de plusieurs autres femelles.

Les pontes de bonne qualité sont constituées d'oeufs complètement opaques, d'une coloration jaune à orangée, et de diamètres égaux. Les oeufs translucides, avec la présence d'un point jaune à orangé à l'intérieur, ou ceux qui comportent la présence de plusieurs oeufs blancs opaques dans une ponte, ou qui sont de diamètres très inégaux, ou agglutinés, ou qui baignent dans un liquide séminal fortement contaminé par du sang sont impropres à la fécondation.

Le mélange des oeufs et du sperme peut s'effectuer à la main immédiatement après avoir introduit le sperme. La main doit être propre, particulièrement lors de l'utilisation de l'anesthésique MS-222. Il faut mélanger délicatement mais suffisamment les produits sexuels pour obtenir un contenu homogène dans le récipient. Ensuite, on laisse reposer de deux à quatre minutes, le temps que la fécondation se produise. On ajoute ensuite un peu d'eau jusqu'à ce que les oeufs soient submergés et on attend encore de 2 à 10 minutes, après quoi la fécondation est définitivement terminée. La **figure 10** représente la séquence des opérations relatives à la reproduction artificielle des salmonidés.

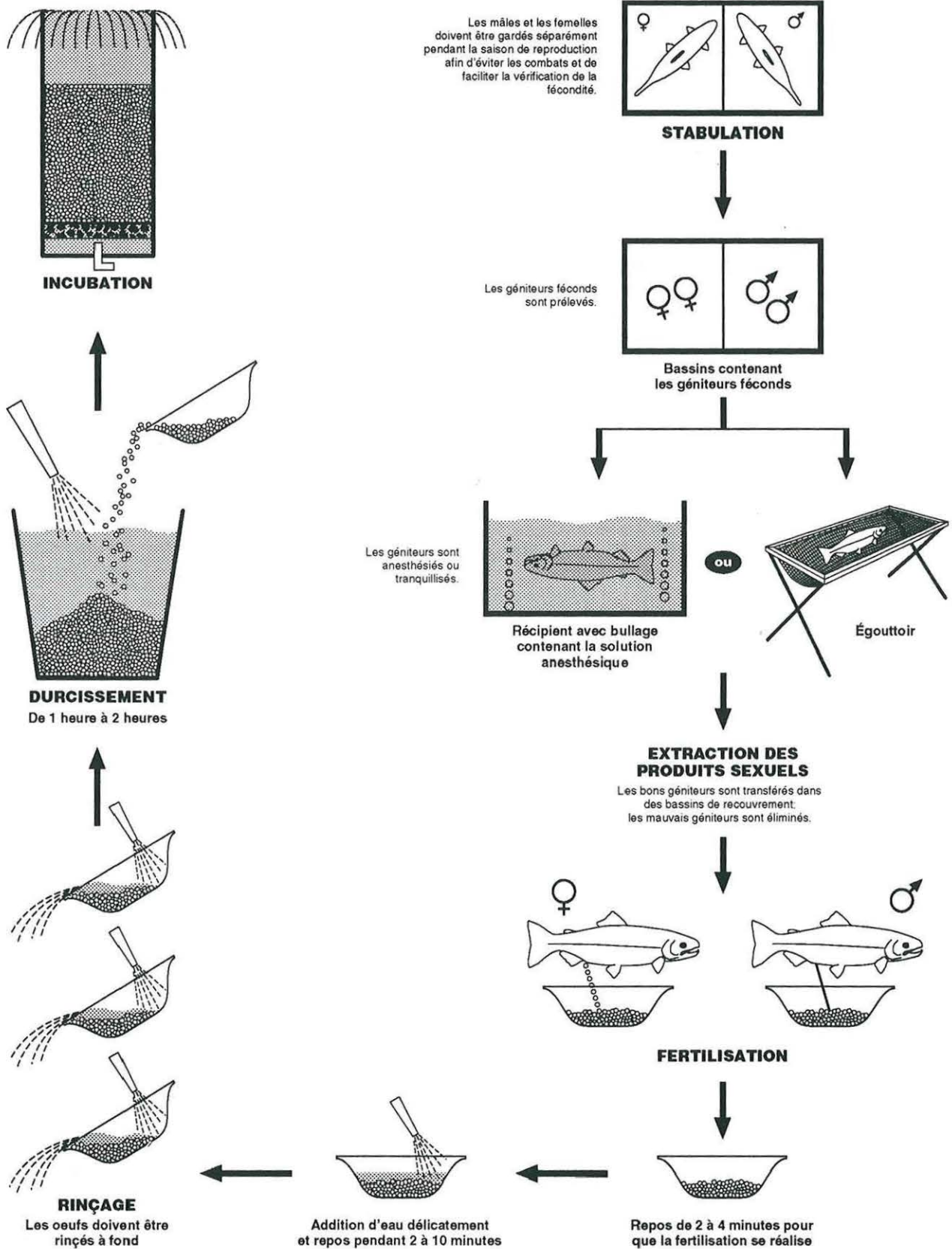


Figure 10 Séquence des opérations relatives à la reproduction artificielle des salmonidés

3.4 MANIPULATION DES OEUFS FÉCONDÉS

3.4 MANIPULATION DES OEUFS FÉCONDÉS

3.4.1 NETTOYAGE ET TRI

Les récipients contenant les oeufs fécondés renferment certaines impuretés telles que l'excès de sperme, des excréments et parfois des traces de sang et quelques oeufs morts. On doit rincer le contenu à plusieurs reprises afin d'éliminer le plus possible ces détrit. Une plume ou une spatule peuvent être utilisées pour effectuer ce nettoyage.

3.4.2 PÉRIODE DE DURCISSEMENT

Une fois rincés, les oeufs sont déversés dans un récipient irrigué pour la période du durcissement. La température de l'eau doit être à peu près la même que celle où se trouvaient les géniteurs. Il est important que les oeufs ne soient pas en mouvement pendant le durcissement. Le jet d'eau qui alimente le récipient doit être ajusté en conséquence.

Pendant cette période, les oeufs absorbent de l'eau qui vient combler l'espace périvitellin, situé entre la coquille de l'oeuf et la membrane vitelline. Les oeufs fraîchement extraits sont adhésifs en raison de ce phénomène d'absorption d'eau. Une fois la période de durcissement complétée, les oeufs sont très sphériques, plus durs et ne seront plus jamais adhésifs jusqu'à la fin de leur développement. Cette période dure de une à deux heures, selon la température de l'eau. Elle est d'au moins deux heures chez le saumon. Elle est critique pour les oeufs, qui ne doivent pas être manipulés avant qu'elle ne soit complétée.

Après le durcissement, les oeufs sont beaucoup moins fragiles pour une période de 36 à 48 heures. On parle alors d'oeufs verts, c'est-à-dire fraîchement pondus. C'est pendant ce temps que les opérations de tri, de comptage, de nettoyage et d'élimination des oeufs morts, de décontamination et de transport peuvent être effectuées. C'est aussi à ce moment que débute l'incubation.

3.4.3 COMPTAGE

Le dénombrement des oeufs est nécessaire pour déterminer le succès obtenu à l'incubation, démarrer le suivi de l'inventaire et effectuer s'il y a lieu des ventes d'oeufs. Il existe quelques méthodes éprouvées pour dénombrer les oeufs de salmonidés. Elles doivent être

précises, pratiques et ne pas endommager les oeufs par des manipulations requises.

3.4.3.1 Méthode Von Bayer

La méthode Von Bayer détermine la quantité d'oeufs contenus dans un volume donné à partir du diamètre des oeufs, lequel est mesuré sur une règle dite de "Von Bayer". Il s'agit d'une goulotte de longueur précise, soit 30 centimètres, dont on garnit le fond avec une rangée d'oeufs accolés les uns aux autres, afin d'en déterminer le nombre (figure 11). Un abaque (tableau 5) permet ensuite de connaître le nombre d'oeufs contenu dans un litre, à partir du nombre d'oeufs déterminé sur la règle. Cette opération doit être répétée au moins trois fois pour augmenter la précision. Il suffit ensuite de mesurer le volume total des oeufs à dénombrer, au moyen d'un récipient gradué, et de multiplier ce volume par le nombre d'oeufs au litre indiqué au tableau 5.

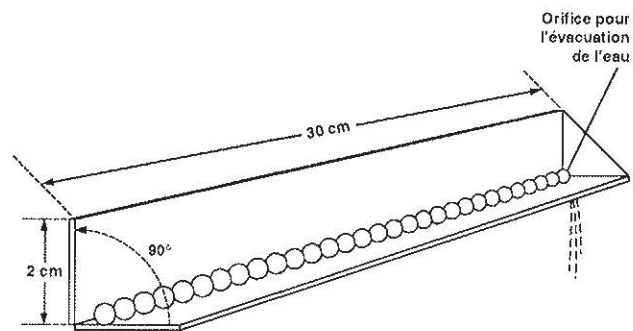


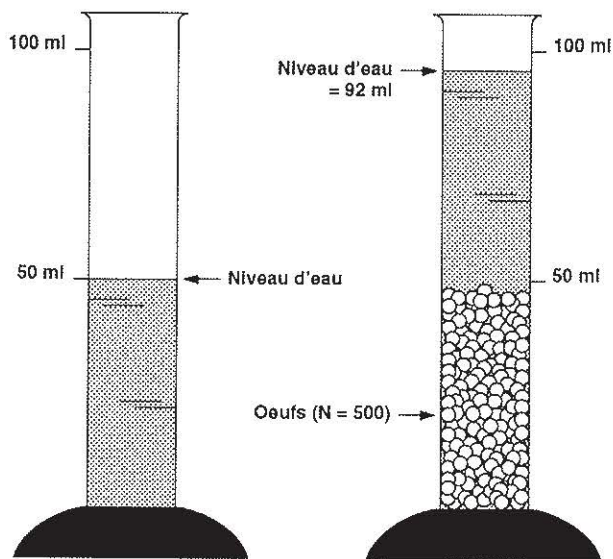
Figure 11 Règle utilisée pour le dénombrement des oeufs selon la méthode « Von Bayer »

3.4.3.2 Méthode du déplacement d'eau

La méthode du déplacement d'eau consiste à remplir à demi, avec de l'eau, un récipient gradué d'environ 100 millilitres et à en noter le volume (figure 12). Ensuite, un échantillon d'oeufs d'un nombre connu, par exemple 500, y est introduit et le volume est mesuré à nouveau. La différence entre les deux mesures correspond au volume d'eau déplacé par les 500 oeufs. Par la suite, les oeufs à mesurer sont introduits, lot par lot, dans un grand cylindre gradué de 1 ou 2 litres et les volumes d'eau déplacés par chaque lot sont enregistrés. Une simple règle de trois permet enfin de déterminer le nombre d'oeufs. À titre d'exemple,

Tableau 5 Estimation du nombre d'oeufs par litre, selon la méthode « Von Bayer », à partir du nombre d'oeufs contenu dans une règle de 30 cm.

Nombre oeufs /30 cm	Diamètre oeufs (mm)	Nombre oeufs /litre	Nombre oeufs /30 cm	Diamètre oeufs (mm)	Nombre oeufs /litre
43	6,98	3 450	67	4,48	13 053
44	6,82	3 697	68	4,41	13 646
45	6,67	3 955	69	4,35	14 257
46	6,52	4 224	70	4,29	14 886
47	6,38	4 506	71	4,23	15 533
48	6,25	4 799	72	4,17	16 198
49	6,12	5 106	73	4,11	16 883
50	6,00	5 425	74	4,05	17 586
51	5,88	5 757	75	4,00	18 309
52	5,77	6 102	76	3,95	19 051
53	5,66	6 461	77	3,90	19 813
54	5,56	6 834	78	3,85	20 595
55	5,45	7 220	79	3,80	21 397
56	5,36	7 621	80	3,75	22 220
57	5,26	8 037	81	3,70	23 064
58	5,17	8 467	82	3,66	23 928
59	5,08	8 913	83	3,61	24 814
60	5,00	9 374	84	3,57	25 722
61	4,92	9 851	85	3,53	26 652
62	4,84	10 343	86	3,49	27 604
63	4,76	10 852	87	3,45	28 578
64	4,69	11 377	88	3,41	29 575
65	4,62	11 918	89	3,37	30 594
66	4,55	12 477	90	3,33	31 637



Volume total (92 ml) – volume d'eau (50 ml)
= volume des oeufs (42 ml)

Figure 12 Méthode du dénombrement des oeufs par déplacement d'eau

si le volume déplacé par l'échantillon de 500 oeufs est de 42 ml et que le volume déplacé par la totalité des oeufs est de 420 ml, leur nombre est de 5 000 tel que déterminé ci-dessous.

$$\begin{aligned}
 \text{Exemple : } 42 \text{ ml d'eau déplacés} &= 500 \text{ oeufs} \\
 420 \text{ ml d'eau déplacés} &= x \\
 420 \text{ ml} \times 500 \text{ oeufs} &= 5\,000 \text{ oeufs} \\
 \hline
 42 \text{ ml} &
 \end{aligned}$$

3.4.3.3 Méthode de la pesée

La méthode de la pesée requiert l'utilisation d'une balance de précision pesant au dixième de gramme (0,1 g). Elle consiste simplement à déterminer précisément le poids d'un nombre connu d'oeufs, une centaine par exemple, et ensuite à calculer le poids moyen d'un oeuf. Cette opération doit être effectuée au moins trois fois pour donner une précision acceptable. Il ne restera plus qu'à peser tous les oeufs et à diviser par le poids moyen d'un oeuf pour en déterminer le nombre.

Il est important de bien égoutter les oeufs pour augmenter la précision des méthodes du déplacement d'eau et de la pesée. Une passoire est utilisée à cette fin. Les oeufs y sont déversés, égouttés et une éponge est passée sous la passoire pour absorber le reste d'eau.

3.4.4 DÉSINFECTION

Il peut être nécessaire, sinon essentiel, de désinfecter les oeufs, avant de les placer en incubation. Cela doit être fait systématiquement quand les oeufs proviennent d'une autre station piscicole. Il est important de préciser que la désinfection n'est efficace que contre les bactéries qui se tiennent à la surface de l'oeuf, telles que *Aeromonas salmonicida* (Furonculose) et *Aeromonas hydrophyla*. Pour les autres maladies infectieuses des salmonidés à transmission verticale (de parent à enfant) présentes au Québec, soit la maladie bactérienne du rein et la nécrose pancréatique infectieuse, où la bactérie et le virus respectivement sont situés à l'intérieur de l'oeuf, la désinfection n'est d'aucune efficacité.

Les produits couramment utilisés sont des iodophores qui se présentent sous la forme d'un liquide de couleur brune et dont la concentration en iode actif est variable selon le fabricant. Les plus connus sont la Wescodyne (1,6 %; West Chemical Company), l'Argentyne (1 %; Argent) et l'Ovadine (1 %; Syndel).

La désinfection des oeufs s'effectue par une baignade de 10 minutes dans une solution à 100 mg/l d'iode actif (ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, 1982). On obtient une solution à cette concentration en introduisant 10 ml de désinfectant par litre d'eau avec l'Argentyne et l'Ovadine, ou 6,25 ml de Wescodyne par litre d'eau. Il faut utiliser un ratio d'environ dix volumes de solution désinfectante pour 1 volume d'oeufs, ou 1 litre de solution pour environ 2 000 oeufs. La solution désinfectante fraîchement préparée est brunâtre. Elle

pâlit avec l'utilisation et devient inefficace quand sa coloration a changé de brun à jaune.

Dans les eaux douces, il est recommandé d'ajouter du bicarbonate de soude, à raison de 0,8 gramme par litre de solution désinfectante, afin d'éviter l'acidification brutale. La survie des oeufs et l'activité désinfectante sont maximales à pH 7. Il est important que la température de la solution désinfectante soit la même que celle des oeufs pour ne pas provoquer de choc thermique.

Après le traitement, les oeufs doivent être rincés à fond pour éliminer le désinfectant. Les iodophores sont très toxiques pour le poisson et, par conséquent, ne doivent pas être drainés dans les bassins ou étangs situés en aval dans la station piscicole.

3.4.5 ACCLIMATATION

L'acclimatation consiste à adapter progressivement les oeufs, qui proviennent d'un transport, à la température de l'eau d'incubation. Il est important de prendre assez de temps pour réaliser cette acclimatation afin d'éviter un choc thermique aux oeufs, soit pas plus de 2 °C d'élévation de température par heure. À titre d'exemple, les oeufs qui sont transportés normalement dans des contenants avec glace sont à une température voisine de 0 °C à 2 °C et doivent être amenés à des températures de 6 °C à 8 °C pour l'incubation. Les oeufs, après l'opération de désinfection, peuvent être placés sur des claies ou dans des paniers d'incubation dans une auge remplie d'eau et de glace dont la circulation d'eau a été interrompue. Après avoir introduit tous les oeufs dans l'auge, on rétablit progressivement la circulation de l'eau sur une période de quelques heures en commençant par un très petit débit, de telle sorte que l'acclimatation est graduelle sur plusieurs heures jusqu'à ce que la glace soit complètement fondue.

3.5 L'INCUBATION

3.5 L'INCUBATION

3.5.1 DÉFINITION

L'incubation est la période pendant laquelle l'embryon se développe dans l'oeuf. Les oeufs sont alors placés dans un courant d'eau continu, nécessaire à l'alimentation en oxygène. L'incubation se termine avec l'éclosion des oeufs.

3.5.2 ANATOMIE ET STADES DE DÉVELOPPEMENT DE L'OEUF

3.5.2.1 Anatomie

L'oeuf de salmonidé est composé de 5 parties principales (**figure 13**). La **coquille** enveloppe l'oeuf et lui sert de couche protectrice. Elle est munie de pores minuscules qui laissent passer les petites molécules telles que l'oxygène, mais ne laissent pas pénétrer l'eau. L'**espace périvitellin** est rempli par un fluide qui sert à transporter l'oxygène de la surface intérieure de la coquille jusqu'au disque germinal. La **membrane vitelline** sépare le fluide périvitellin du vitellus. Le **vitellus** contient des gouttelettes lipidiques et les substances nutritives pour l'embryon en développement. Le **disque germinal** est le début de la formation de l'embryon.

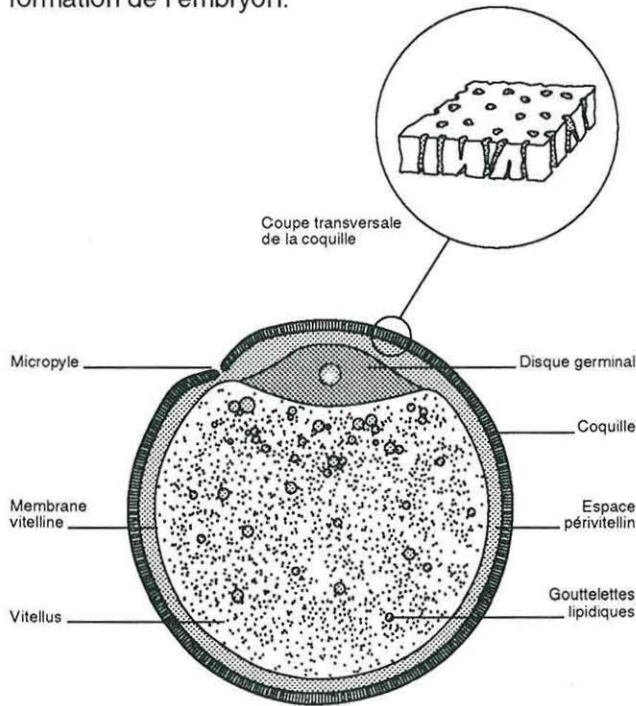


Figure 13 Anatomie de l'oeuf de salmonidés

3.5.2.2 Stades de développement

Le développement de l'oeuf de salmonidés, ou l'embryogénèse, comprend plusieurs stades distincts, de la première division cellulaire jusqu'à l'éclosion, lesquels sont regroupés en trois grandes étapes. Le **tableau 6** présente ces stades de développement en fonction du temps à une température de 10 °C pour la truite arc-en-ciel. La première est la **segmentation** (stades 1 à 10) pendant laquelle s'effectuent les premières divisions cellulaires. Dans la deuxième étape, la **gastrulation** (stades 11 à 17), l'embryon commence à se former. Les cellules apparues pendant la segmentation commencent à se spécialiser en tissus et l'embryon se forme. Pendant la troisième étape, l'**organogénèse** (stades 18 à 29), l'embryon est caractérisé par l'apparition des nageoires et la formation des organes internes et du système circulatoire. La **figure 14** (P. 39 à 41) représente schématiquement la structure interne de l'oeuf de truite arc-en-ciel à différents stades de son développement à une température d'incubation de 10 °C.

En pratique pour le pisciculteur, les trois étapes suivantes sont à retenir, soit celle de l'oeuf vert, suivie d'une étape intermédiaire de fragilité et, en dernier lieu, celle de l'oeuf embryonné (**figure 15**). L'oeuf vert est un oeuf fraîchement fécondé. Cette étape correspond à la segmentation et se termine environ 48 heures après la fécondation à une température d'incubation de 10 °C. Les oeufs fraîchement fécondés et ayant complété le temps de durcissement, d'environ une à deux heures, sont résistants et peuvent être manipulés. Les premières divisions cellulaires s'effectuent pen-

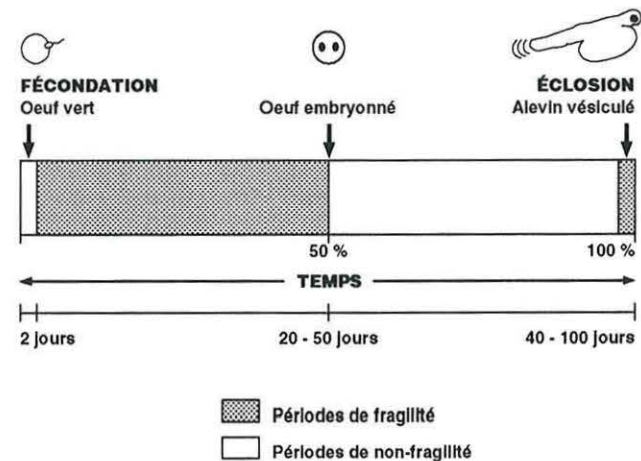


Figure 15 Périodes de fragilité et de non-fragilité de l'oeuf de salmonidés pendant l'incubation selon les stades de son développement

Tableau 6 Stades de développement de l'oeuf de truite arc-en-ciel en fonction du temps à une température d'incubation de 10 °C

Étapes	Stades	Âge (heures-jours)	Caractéristiques
Segmentation	2	24 h	2 cellules
	3	28 h	4 cellules
	4	32 h	8 cellules
	7	2 j	Morula ¹
	10	3,5 j	Blastula ²
Gastrulation	14	7 j	Embryon apparent
	17	9 j	Vésicules optiques formées
Organogénèse	22	16 j	Membrane interne de l'oeil entièrement pigmentée (oeuf embryonné)
Alevin	29	31 j	Éclosion
	31	39 j	Alevin vésiculé

¹ Morula : Segmentation de l'oeuf fécondé sous la forme d'une petite sphère, constituée de l'amas des cellules issues des divisions cellulaires et ayant l'apparence d'un mamelon à la surface de l'oeuf.

² Blastula : Formation d'une cavité au sein de l'amas de cellules.

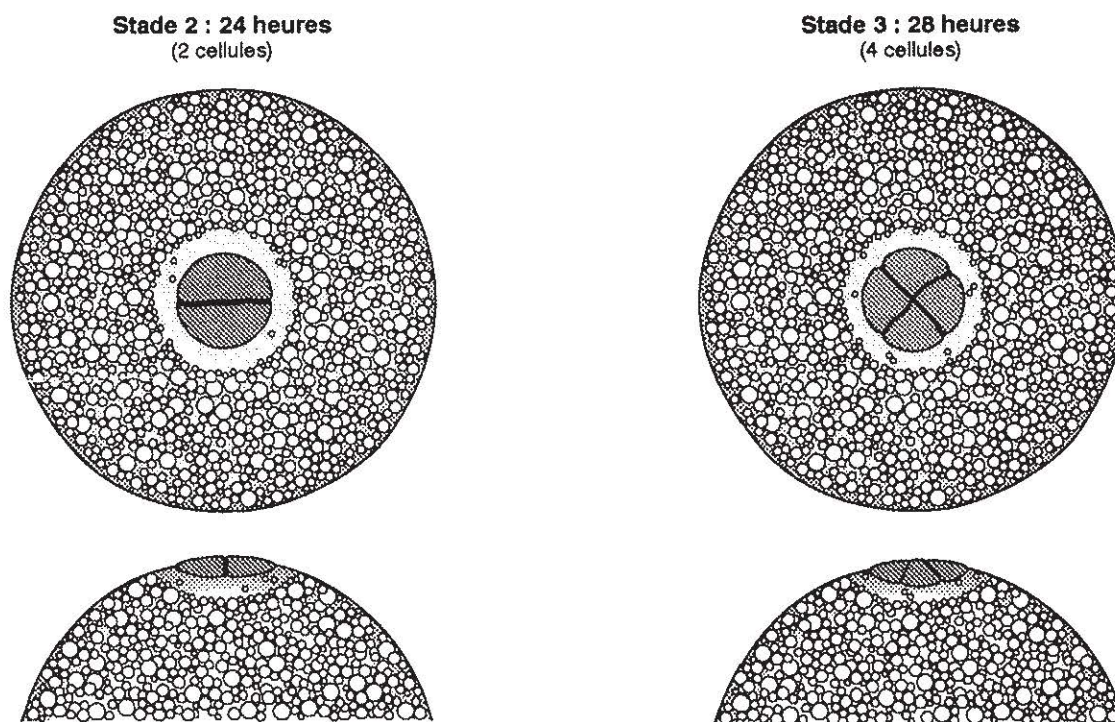


Figure 14 Structure interne de l'oeuf de truite arc-en-ciel à différents stades de son développement après la fécondation (température d'incubation = 10 °C; tirée de Vernier, 1969)

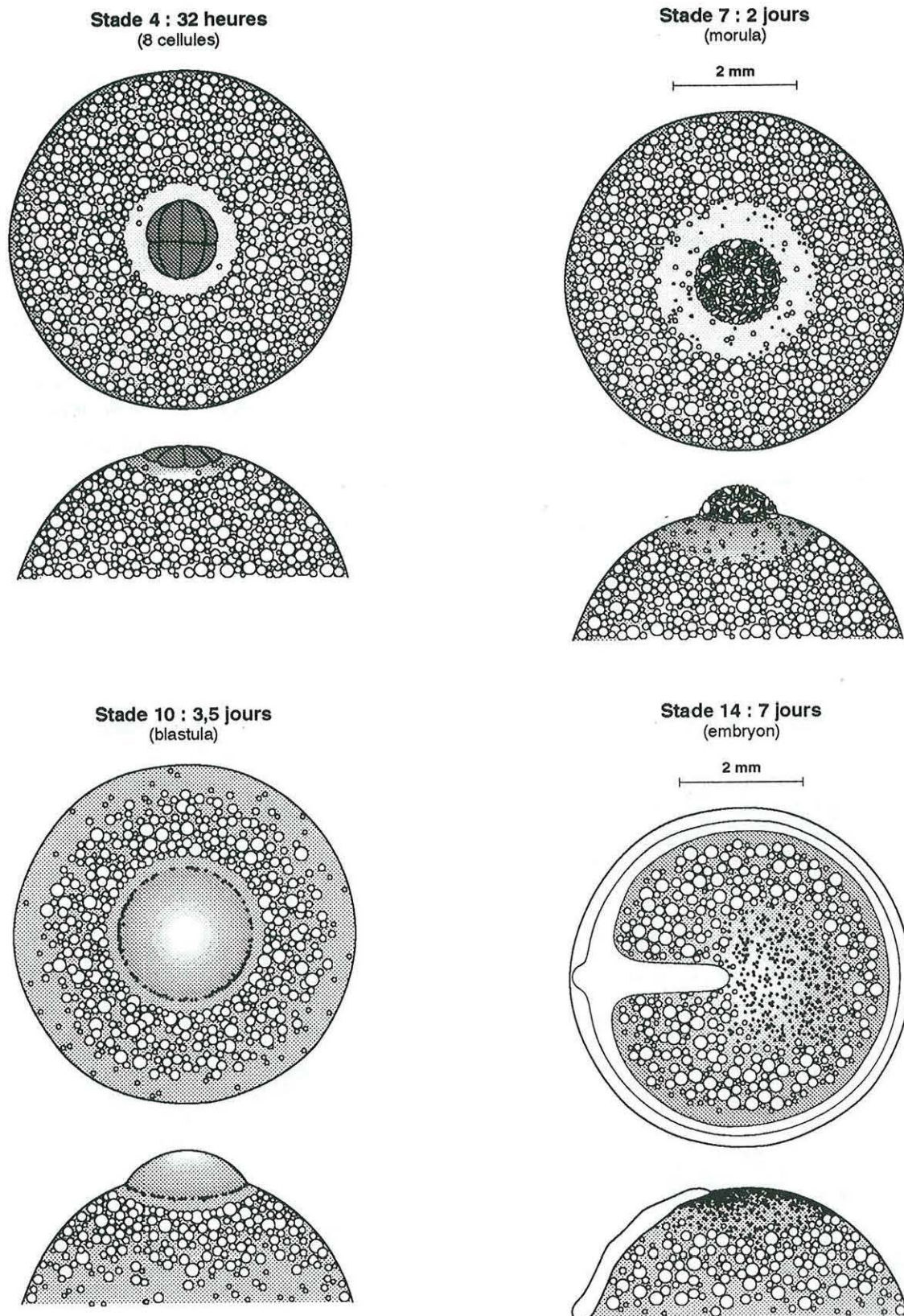


Figure 14 Structure interne de l'oeuf de truite arc-en-ciel à différents stades de son développement après la fécondation (température d'incubation = 10 °C; tirée de Vernier, 1969) (Suite)

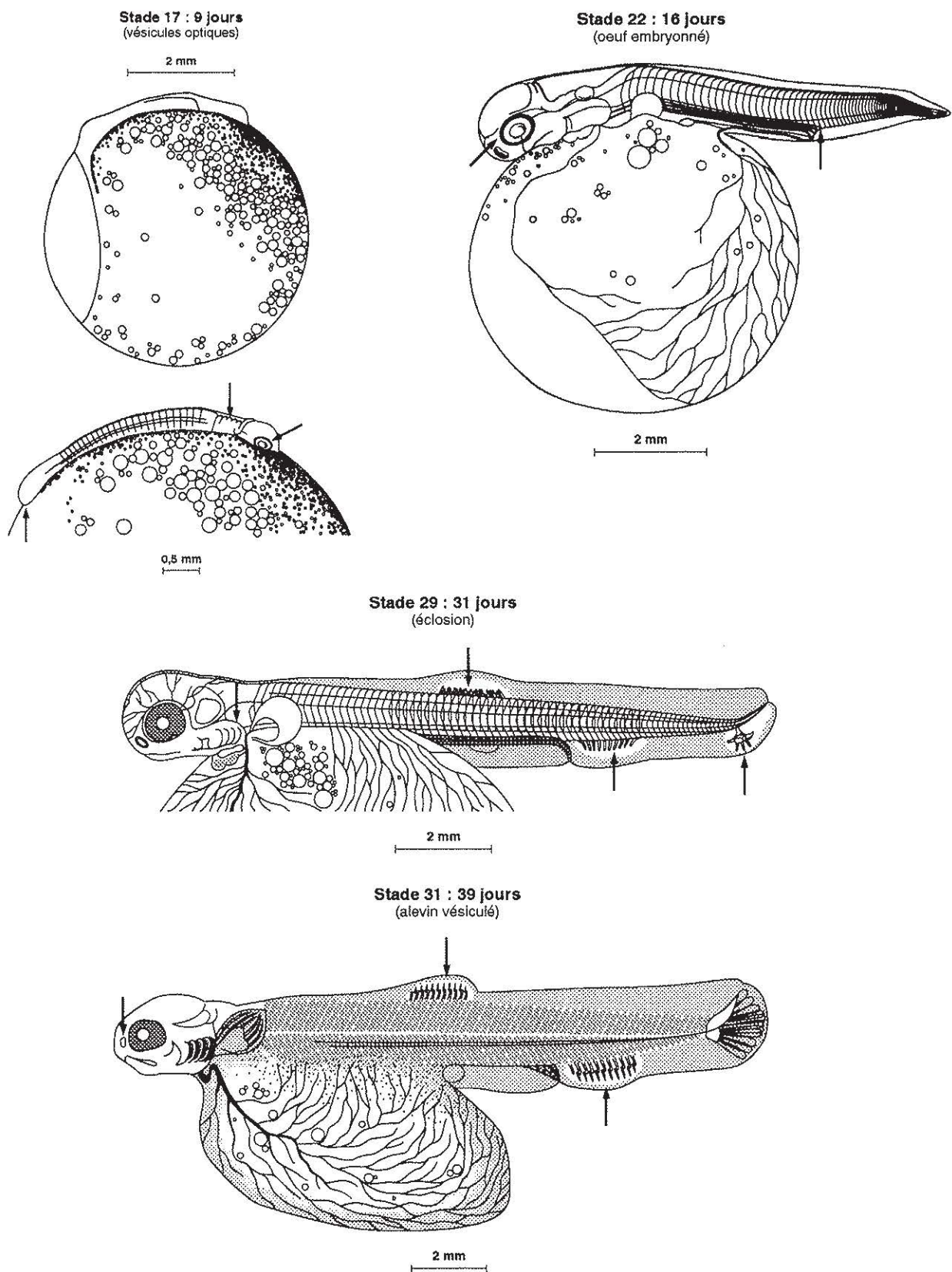


Figure 14 Structure interne de l'oeuf de truite arc-en-ciel à différents stades de son développement après la fécondation (température d'incubation = 10 °C; tirée de Vernier, 1969) (Suite)

dant ce temps. Après ces 48 heures, l'oeuf devient extrêmement fragile aux chocs mécaniques pendant les plusieurs jours que dure la période de la gastrulation. De simples mouvements de l'oeuf pendant cette période, où l'embryon commence à se former, peuvent endommager le délicat embryon qui peut développer des anomalies et mourir plus tard. Il est impératif que les oeufs demeurent immobiles pendant cette étape et qu'aucune manipulation ne soit effectuée avant que la pigmentation des yeux de l'embryon ne soit visible. C'est à ce moment que commence la troisième étape, celle de l'oeuf embryonné, pendant laquelle les oeufs sont résistants et peuvent être manipulés. Pendant les quelques jours avant l'éclosion, il est préférable de ne pas manipuler les oeufs pour ne pas provoquer prématurément l'éclosion.

Une méthode a été mise au point pour déterminer le stade de développement des oeufs du saumon atlantique anadrome (Kane, 1985). Nous l'avons adaptée également à la truite arc-en-ciel et à l'omble de fontaine. Elle est basée sur le pourcentage de développement quotidien de l'oeuf en fonction de la température de l'eau d'incubation. Elle présente l'avantage de prévoir assez précisément le temps requis pour l'incubation des oeufs, dans les conditions d'une température variable d'incubation. Il suffit de cumuler chaque jour, depuis la fertilisation, les valeurs du développement de l'oeuf en % correspondant aux températures d'eau journalières (tableaux 7.1, 7.2 et 7.3) pour connaître le niveau de développement atteint et prévoir l'éclosion. Selon cette méthode, les yeux de l'embryon commencent à être visibles quand 50 % du développement est atteint, les oeufs peuvent être choqués à 70 % - 75 % de développement et l'éclosion a lieu à 100 % de développement. La période de fragilité des oeufs, où aucune manipulation ne doit être effectuée, se situe entre 14 % et 40 % du développement.

3.5.2.3 Test de fécondation

Un test diagnostique peut être réalisé pour vérifier le taux de fécondation des oeufs. On peut calculer le taux d'oeufs fécondés de 10 à 12 heures après la fertilisation ou déterminer si des oeufs morts pendant l'incubation avaient ou non été fécondés. La méthode consiste à clarifier les oeufs et à examiner au binoculaire à faible grossissement (20X-40X), ou à l'aide d'une simple loupe, si des cellules ou un commencement d'embryon apparaissent à l'intérieur de l'oeuf. Cet examen permet de déterminer approximativement le stade de développement de l'oeuf qui a été fécondé (figure 14). Les oeufs non fécondés sont facilement identifiables parce qu'aucun amas de cellules ni début d'embryon ne sont visibles.

Une solution peut être préparée facilement pour clarifier les oeufs et révéler les détails internes invisibles autrement. Il suffit de mélanger en volume égal de l'alcool de bois (CH₃OH) ou du formol, du vinaigre

glacial et de l'eau. Les oeufs sont ensuite immergés dans cette solution le temps qu'ils deviennent translucides.

3.5.3 FACTEURS INFLUENÇANT LE DÉVELOPPEMENT DE L'OEUF

3.5.3.1 Température

La température est le facteur déterminant la durée de l'incubation des oeufs de salmonidés. Ces derniers requièrent des températures spécifiques pour assurer le développement normal de l'embryon. Le temps d'incubation est inversement proportionnel à la température de l'eau. Plus cette dernière est élevée et plus tôt sera l'éclosion, et inversement le temps d'incubation s'allonge avec des températures de plus en plus froides. La figure 16 présente les durées d'incubation en jours, à des températures constantes de 4 °C à 10 °C, pour le saumon atlantique, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel. Les tableaux 7.1, 7.2 et 7.3 sont à utiliser pour prévoir les temps d'incubation dans les conditions de températures variables.

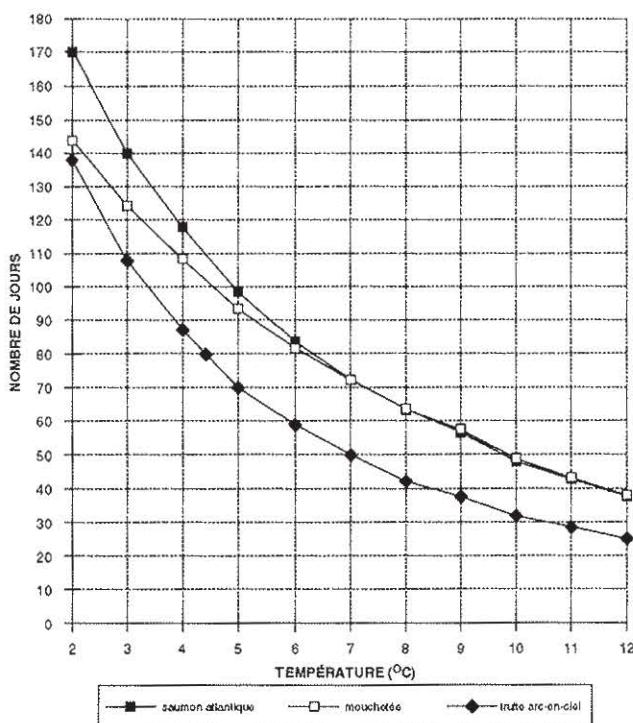


Figure 16 Nombre de jours nécessaire pour obtenir 50 % d'éclosion, à des températures constantes d'incubation, chez le saumon atlantique, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel (adaptée de Crisp, 1981)

La durée de l'incubation est aussi différente selon les espèces. Le saumon atlantique requiert le plus grand nombre de jours et la truite arc-en-ciel le moins à toutes les températures. L'omble de fontaine se situe entre les deux aux températures de 2 °C à 6 °C et est identique au saumon atlantique pour les températures supérieures à 6 °C.

La **figure 17** donne le nombre de degrés-jours³ nécessaires à l'éclosion des oeufs à différentes températures pour le saumon atlantique, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel. Les températures qui présentent le maximum de degrés-jours correspondraient aux températures optimales d'incubation pour chacune des espèces. Elles se situent de 6 °C à 8 °C pour le saumon atlantique et de 7 °C à 8 °C pour l'omble de fontaine, avec un minimum de 500 degrés-jours pour ces deux espèces. Les températures de 5 °C

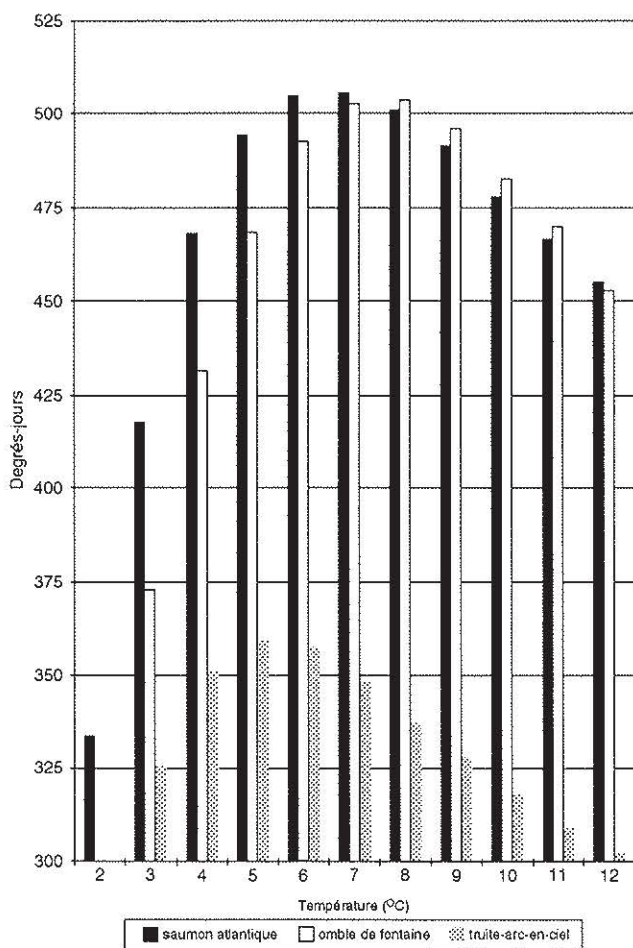


Figure 17 Nombre de degrés-jours nécessaire pour obtenir 50 % d'éclosion, à différentes températures d'incubation, chez le saumon atlantique, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel

³ Degrés-jours: le nombre de degrés-jours est le total des températures moyennes journalières

à 6 °C seraient optimales pour la truite arc-en-ciel avec environ 360 degrés-jours.

Les températures inférieures à 4 °C entraînent un taux de mortalité supérieur à 20 % des oeufs chez le saumon atlantique (Peterson et al. 1977). La température optimale entre la fécondation et la pigmentation de l'oeil se rapproche de 6 °C pour cette espèce. Les températures de 8 °C et plus au stade d'oeuf embryonné produisent à l'éclosion des alevins progressivement plus petits à des températures de plus en plus élevées.

L'omble de fontaine peut utiliser la plus grande étendue de températures, soit entre 0 °C et 13 °C.

La durée de l'éclosion est elle aussi fonction de la température de l'eau d'incubation. Elle peut durer de 3 à 4 jours aux températures élevées (10 °C) et de 15 à 20 jours aux basses températures (2 °C - 3 °C).

3.5.3.2 Oxygène

L'oeuf n'a pas la capacité de capter activement l'oxygène comme peut le faire le poisson au moyen de ses branchies. La respiration de l'oeuf est passive, l'oxygène pénètre par diffusion, et son approvisionnement est ainsi dépendant de la concentration présente dans l'eau. La vitesse de développement de l'oeuf est retardée proportionnellement à la diminution de la concentration en oxygène présente dans l'eau d'incubation (Garside, 1966).

Un gradient de concentration en oxygène doit être maintenu entre l'intérieur de l'oeuf et le milieu extérieur. C'est la circulation de l'eau dans les incubateurs qui assure le renouvellement du milieu ambiant en périphérie de l'oeuf. La **figure 18** illustre l'effet de la

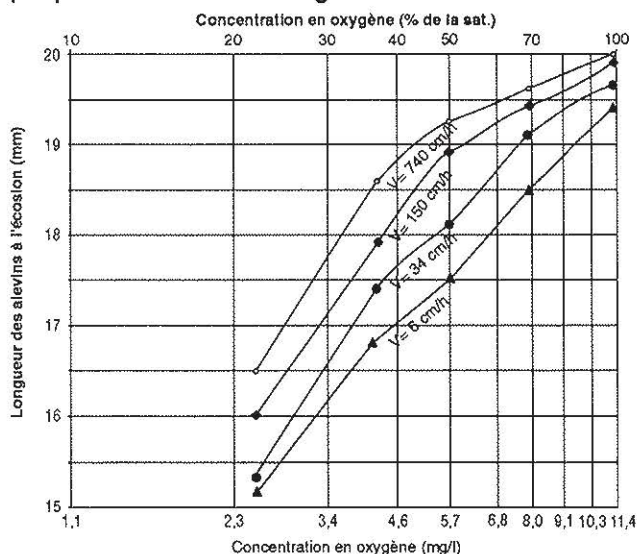


Figure 18 Effet de la concentration en oxygène dissous et de la vitesse du courant d'eau pendant l'incubation sur la longueur des alevins de truite arc-en-ciel à l'éclosion (tirée de Silver et al. 1963)

Tableau 7.1 Pourcentages de développement journaliers des oeufs d'omble de fontaine pendant l'incubation en fonction de la température de l'eau

Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)
2.0	0.70	5.0	1.06	8.0	1.59
2.1	0.71	5.1	1.08	8.1	1.61
2.2	0.72	5.2	1.09	8.2	1.63
2.3	0.73	5.3	1.11	8.3	1.66
2.4	0.74	5.4	1.12	8.4	1.68
2.5	0.75	5.5	1.14	8.5	1.70
2.6	0.76	5.6	1.15	8.6	1.72
2.7	0.77	5.7	1.17	8.7	1.74
2.8	0.78	5.8	1.19	8.8	1.77
2.9	0.79	5.9	1.20	8.9	1.79
3.0	0.81	6.0	1.22	9.0	1.81
3.1	0.82	6.1	1.24	9.1	1.84
3.2	0.83	6.2	1.25	9.2	1.86
3.3	0.84	6.3	1.27	9.3	1.88
3.4	0.85	6.4	1.29	9.4	1.91
3.5	0.86	6.5	1.30	9.5	1.93
3.6	0.88	6.6	1.32	9.6	1.96
3.7	0.89	6.7	1.34	9.7	1.98
3.8	0.90	6.8	1.36	9.8	2.01
3.9	0.91	6.9	1.38	9.9	2.04
4.0	0.93	7.0	1.39	10.0	2.06
4.1	0.94	7.1	1.41	10.1	2.09
4.2	0.95	7.2	1.43	10.2	2.12
4.3	0.97	7.3	1.45	10.3	2.14
4.4	0.98	7.4	1.47	10.4	2.17
4.5	0.99	7.5	1.49	10.5	2.20
4.6	1.01	7.6	1.51	10.6	2.23
4.7	1.02	7.7	1.53	10.7	2.25
4.8	1.03	7.8	1.55	10.8	2.28
4.9	1.05	7.9	1.57	10.9	2.31

concentration en oxygène dans l'eau et de la vélocité du courant sur la taille des alevins obtenus à l'éclosion. Elle fait ressortir que la taille des alevins obtenus à l'éclosion est croissante avec le taux de saturation en oxygène de l'eau et avec la vélocité du courant. En pratique, on recherche la saturation en oxygène de l'eau qui sert à l'incubation. En aucun cas, elle ne doit être inférieure à 80 % de la concentration à la saturation. La vélocité du courant est assurée par les débits d'eau utilisés pour alimenter les incubateurs, lesquels sont dépendants des différents types d'équipement.

Un manque en oxygène des oeufs se manifeste par un raccourcissement de la période d'incubation, des alevins de plus petite taille à l'éclosion et la présence de nombreux alevins avec des malformations.

3.5.3.3 Lumière

Comme en nature, les oeufs et les alevins doivent être maintenus à la noirceur jusqu'à leur premier nourrissage. L'effet de la lumière est un stress constant pour les embryons et les alevins. L'exposition des

oeufs et des alevins vésiculés à la lumière du jour entraîne une éclosion plus rapide, des taux de mortalité plus élevés et une vigueur des alevins moins grande que ceux qui ont été maintenus dans l'obscurité. Les alevins vésiculés, exposés à la lumière du jour, sont plus actifs et développent une réaction d'évitement à la lumière en recherchant constamment les aires d'obscurité s'il y en a. Les réserves de vitellus sont alors utilisées pour le mouvement plutôt que pour la croissance, résultant en une taille plus faible de ces alevins.

Des expériences ont démontré que les rayons infrarouges de la lumière du jour sont un facteur important de la susceptibilité des oeufs de salmonidés. Les tubes fluorescents sont également néfastes aux oeufs et aux alevins.

En tout temps, ces derniers doivent être protégés des rayons directs de la lumière. En pratique, les auges et autres équipements d'incubation sont recouverts de matériaux ou de membranes opaques qui obstruent la lumière pendant la durée complète de l'incubation et

Tableau 7.2 Pourcentages de développement journaliers des oeufs de truite-arc-en-ciel pendant l'incubation en fonction de la température de l'eau

Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)
2.0	0.73	5.0	1.39	8.0	2.36
2.1	0.75	5.1	1.42	8.1	2.40
2.2	0.77	5.2	1.45	8.2	2.43
2.3	0.79	5.3	1.48	8.3	2.47
2.4	0.81	5.4	1.51	8.4	2.51
2.5	0.82	5.5	1.53	8.5	2.55
2.6	0.84	5.6	1.56	8.6	2.59
2.7	0.86	5.7	1.59	8.7	2.62
2.8	0.88	5.8	1.62	8.8	2.66
2.9	0.90	5.9	1.65	8.9	2.70
3.0	0.92	6.0	1.68	9.0	2.74
3.1	0.94	6.1	1.71	9.1	2.78
3.2	0.96	6.2	1.75	9.2	2.82
3.3	0.98	6.3	1.78	9.3	2.86
3.4	1.01	6.4	1.81	9.4	2.90
3.5	1.03	6.5	1.84	9.5	2.94
3.6	1.05	6.6	1.87	9.6	2.98
3.7	1.07	6.7	1.91	9.7	3.02
3.8	1.09	6.8	1.94	9.8	3.06
3.9	1.12	6.9	1.97	9.9	3.10
4.0	1.14	7.0	2.01	10.0	3.14
4.1	1.16	7.1	2.04	10.1	3.19
4.2	1.19	7.2	2.07	10.2	3.23
4.3	1.21	7.3	2.11	10.3	3.27
4.4	1.24	7.4	2.14	10.4	3.31
4.5	1.26	7.5	2.18	10.5	3.35
4.6	1.29	7.6	2.22	10.6	3.39
4.7	1.31	7.7	2.25	10.7	3.43
4.8	1.34	7.8	2.29	10.8	3.48
4.9	1.37	7.9	2.32	10.9	3.52

de l'alevinage, jusqu'au début de l'alimentation. On recommande l'utilisation d'ampoules incandescentes, préférablement rouges ou jaunes, pour l'observation des oeufs et des alevins vésiculés.

3.5.4 TRAITEMENTS CONTRE LES CHAMPIGNONS

On peut administrer des traitements antifongiques afin d'éviter la prolifération des champignons de type *Saprolegnia*. La nécessité d'effectuer ces traitements et leur fréquence est variable d'une entreprise à l'autre, dépendant des caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau utilisée pour l'incubation des oeufs, et aussi des conditions d'incubation. Les champignons se développent sur les oeufs morts en premier et prolifèrent rapidement. Ils peuvent entraîner un colmatage de tous les oeufs, même vivants, si aucun traitement n'est administré. Beaucoup d'entreprises le font de manière préventive afin d'éviter cette situation.

Le vert de malachite est une teinture organique, reconnue pour ses propriétés antifongiques, très utilisée pour le traitement des oeufs. Il est administré en traitement de type dilution, à un dosage de 2 mg/litre, pendant 60 minutes. La fréquence des traitements peut être de 2 à 3 fois par semaine dans les eaux où les champignons prolifèrent facilement.

3.5.5 CHOQUAGE

Le choquage des oeufs est le procédé utilisé pour faire blanchir les oeufs morts ou infertiles, de manière à pouvoir les trier des oeufs qui contiennent un embryon vivant. Il consiste simplement à faire chuter tous les oeufs en incubation sur une surface d'eau, de manière à rompre la membrane vitelline des oeufs morts ou infertiles, ce qui les fait blanchir.

Cette opération peut être effectuée à l'aide d'un siphon ou en déversant directement un panier d'incubation à la surface d'un récipient rempli d'eau. Un boyau

Tableau 7.3 Pourcentages de développement journaliers des oeufs de saumon pendant l'incubation en fonction de la température de l'eau

Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)	Température (C)	Développement (%)
2.0	0.60	5.0	1.01	8.0	1.60
2.1	0.61	5.1	1.03	8.1	1.62
2.2	0.62	5.2	1.04	8.2	1.64
2.3	0.63	5.3	1.06	8.3	1.67
2.4	0.64	5.4	1.08	8.4	1.69
2.5	0.66	5.5	1.10	8.5	1.71
2.6	0.67	5.6	1.11	8.6	1.74
2.7	0.68	5.7	1.13	8.7	1.76
2.8	0.69	5.8	1.15	8.8	1.78
2.9	0.71	5.9	1.17	8.9	1.81
3.0	0.72	6.0	1.19	9.0	1.83
3.1	0.73	6.1	1.21	9.1	1.86
3.2	0.74	6.2	1.22	9.2	1.88
3.3	0.76	6.3	1.24	9.3	1.91
3.4	0.77	6.4	1.26	9.4	1.93
3.5	0.78	6.5	1.28	9.5	1.96
3.6	0.80	6.6	1.30	9.6	1.98
3.7	0.81	6.7	1.32	9.7	2.01
3.8	0.83	6.8	1.34	9.8	2.03
3.9	0.84	6.9	1.36	9.9	2.06
4.0	0.86	7.0	1.38	10.0	2.08
4.1	0.87	7.1	1.40	10.1	2.11
4.2	0.89	7.2	1.42	10.2	2.14
4.3	0.90	7.3	1.44	10.3	2.16
4.4	0.92	7.4	1.47	10.4	2.19
4.5	0.93	7.5	1.49	10.5	2.22
4.6	0.95	7.6	1.51	10.6	2.24
4.7	0.96	7.7	1.53	10.7	2.27
4.8	0.98	7.8	1.55	10.8	2.30
4.9	0.99	7.9	1.57	10.9	2.33

d'arrosage de 0,5 cm de diamètre et d'environ 1 m de longueur fait un excellent siphon. La **figure 19** illustre ces deux méthodes. La hauteur de chute détermine l'intensité du choc appliqué aux oeufs. Des hauteurs comprises entre 30 cm et 60 cm donnent un choc efficace. La méthode plus rapide consistant à déverser d'un coup le contenu d'un panier, tiroir ou autre équipement d'incubation peut faire blanchir certains oeufs fertiles. Les oeufs de salmonidés ne doivent pas être choqués avant que les yeux de l'embryon ne soient bien visibles chez tous les oeufs.

3.5.6 ÉLIMINATION DES OEUFS MORTS

Il est nécessaire d'éliminer les oeufs morts de l'équipement d'incubation, afin d'éviter qu'ils ne contaminent les oeufs fertiles de champignons (*Saprolegnia*), lesquels se développent inévitablement sur la matière organique inerte. L'opération qui consiste

à extraire les oeufs morts d'un lot d'oeufs en incubation, au moyen d'une pipette ou d'un siphon, s'appelle le piquage des oeufs. Elle peut être effectuée pendant que les oeufs sont verts, dans les deux premiers jours de l'incubation, et après qu'ils sont embryonnés. Cependant, le piquage ne doit pas être effectué pendant la période de fragilité, soit entre 48 heures après la fertilisation jusqu'au stade embryonné (**figure 15**). Différentes méthodes ont été développées pour séparer les oeufs blancs des oeufs fertiles.

3.5.6.1 Pipette

La pipette est constituée d'un tube de verre, d'un diamètre approprié à la taille des oeufs à trier, accouplé à une poire de caoutchouc servant à aspirer les oeufs. Ces derniers doivent être étalés sur une claie ou dans un panier d'incubation, de manière à ce que les oeufs blancs soient tous visibles. Ils sont enlevés un à un au moyen de la pipette. Le **tableau 8** donne les diamètres appropriés des tubes de verre à utiliser selon les espèces de salmonidés.

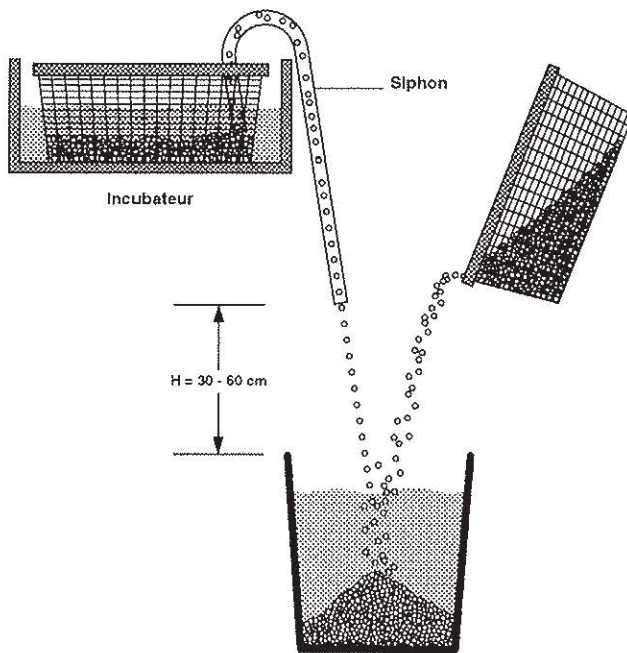


Figure 19 Méthode de choquage des oeufs par déversement dans un contenant rempli d'eau (la hauteur de chute (H) détermine l'intensité du choc)

Cette méthode, bien que très efficace quand elle est exécutée par un pisciculteur expérimenté, ne convient pas pour trier de grandes quantités d'oeufs parce qu'elle exige beaucoup de temps.

Tableau 8 Diamètres appropriés des tubes de verre à utiliser pour le piquage des oeufs d'omble de fontaine, de truite arc-en-ciel et de saumon atlantique

Espèce	Diamètre (mm)
Omble de fontaine	5
Truite arc-en-ciel	7-8
Saumon atlantique	8-10

3.5.6.2 Siphon

Le siphon est une pipette améliorée parce qu'il fonctionne en continu, tel un aspirateur, et ne requiert pas d'être vidé régulièrement de son contenu en oeufs morts comme la pipette. Le réservoir peut contenir beaucoup d'oeufs morts et permet de trier tout un panier d'incubation par exemple. Une fois que le vide a été créé à l'intérieur du siphon, on contrôle le débit d'aspiration simplement en pressant avec les doigts le tube de caoutchouc mince relié au tube de verre. La construction d'un siphon est illustrée à la **figure 20**.

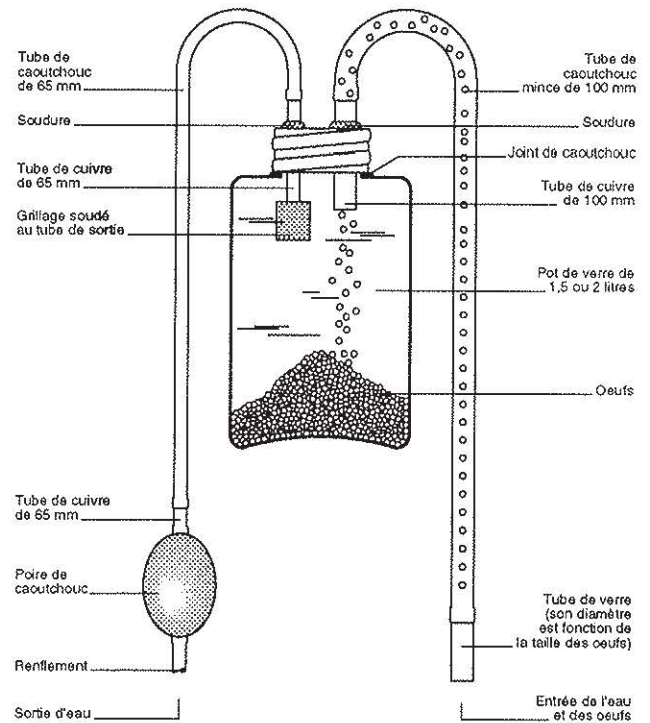


Figure 20 Modèle de construction d'un siphon pour le pipettage des oeufs

3.5.6.3 Flottaison

Une méthode très utile pour trier de grandes quantités d'oeufs consiste à faire flotter les oeufs morts (blancs) à la surface d'une solution concentrée de sel (Anderson, 1962; Mighell, 1977). Elle exploite la différence de densité qui existe entre les oeufs fertiles et blancs, les premiers étant légèrement plus lourds que les derniers. En introduisant un lot complet d'oeufs dans un récipient contenant une solution hypertonique à la bonne concentration, les oeufs fertiles demeurent au fond du récipient alors que les oeufs blancs flottent à la surface de la solution, d'où ils peuvent être éliminés facilement. Il est important que les oeufs aient été choqués 24 heures avant d'effectuer le tri pour donner le temps aux oeufs morts et infertiles de blanchir.

La concentration de sel à dissoudre dans l'eau pour séparer les oeufs morts des vivants dépend de plusieurs facteurs, qui ne peuvent être déterminés d'avance. Il faut donc procéder par des essais avec des échantillons de quelques oeufs. L'écart étant minime entre la densité des oeufs morts et des vivants, il faut effectuer plusieurs essais pour atteindre la concentration idéale de la solution. Cependant, une fois au point, cette méthode permet de trier des oeufs beaucoup plus rapidement qu'avec les méthodes décrites précédemment. Le

tableau 9 donne un aperçu des résultats obtenus à différentes concentrations de sel, utilisées dans de l'eau à une température de 7 °C, pour trier des oeufs d'omble de fontaine. Il est important que la température de la solution soit voisine de la température d'incubation de manière à éviter un choc thermique.

Tableau 9 Flottabilité des oeufs d'omble de fontaine obtenue à des concentrations en sel de 110 à 120 g/litre dans de l'eau à 7 °C.

Concentrations (g/l)	Flottabilité
110	Aucune flottaison
115	Les oeufs blancs flottent
120	Tous les oeufs flottent

La **figure 21** illustre ce procédé et l'équipement nécessaire. Un panier d'incubation peut simplement être immergé dans la solution concentrée de sel et les oeufs morts sont enlevés avec une petite passoire utilisée à la façon d'un écumoir. Ou bien, un séparateur peut être construit. Il consiste en un bac muni de 2 grillages perforés, dont le premier constitue le fond du séparateur et retient les oeufs fertiles, alors que le second est coulissant et se glisse en dessous des oeufs blancs. Le séparateur est immergé suffisamment profondément dans la solution pour permettre de glisser le grillage amovible en dessous des oeufs blancs flottant à la surface.

En cours d'opération, il est nécessaire d'égoutter le plus possible chacun des lots d'oeufs avant de les

immerger dans la solution de sel, de manière à diluer cette dernière le moins possible. Du sel doit être ajouté régulièrement pour maintenir la concentration idéale de la solution. On doit procéder rapidement parce que les oeufs blancs absorbent le sel, ce qui diminue leur flottabilité. Il est aussi important de replacer les oeufs fertiles dans l'eau douce aussi rapidement que possible après le tri.

3.5.6.4 Trieur photoélectrique

Le trieur mécanique est un appareil muni d'un senseur photoélectrique qui différencie les oeufs blancs des oeufs fertiles. Cette machine peut trier jusqu'à 100 000 oeufs à l'heure, dépendant du modèle, et ne requiert comme travail que de l'alimenter en oeufs. Les oeufs morts sont évacués dans une direction et les oeufs fertiles dans l'autre. Cette machine fait en même temps le dénombrement. Son coût est supérieur à 5 000 \$. L'achat n'est donc justifié que pour les entreprises produisant de grandes quantités d'oeufs.

3.5.7 ÉQUIPEMENTS D'INCUBATION

L'incubation des oeufs de salmonidés peut être faite dans différents types d'appareils, dont les claies (clayettes) et les paniers, qui sont disposés dans des bassins rectangulaires (auges) ou circulaires (combi-tanks), dans des seaux (jarres ou cylindres) et des incubateurs à tiroirs. Le **tableau 10** donne les caractéristiques des différents types d'incubateurs.

Tableau 10 Caractéristiques des différents types d'incubateurs

Type	Espèce	Nombre d'oeufs incubés	Débit d'eau utilisé (L/min)	Nombre d'oeufs incubés par L/min d'eau utilisé
Auges + claies (5 - 10 claies)	Traites et ombles	25 000 - 50 000 (5 000/claie)	27 - 32	1 000 - 2 000
Auges + paniers (4 paniers)	Traites et ombles	200 000	45 - 55	3 500 - 4 500
	Saumon	40 000		700 - 900
Seau (cylindre ou jarre)	Traites et ombles	50 000 - 150 000	3 - 10	15 000 - 25 000
Californiens à tiroirs (8 tiroirs)	Traites et ombles Saumon	120 000	11 - 30	10 000
Combi-tank	Traites et ombles	30 000 - 50 000	15 - 18	2 000 - 3 500
	Saumon	25 000 - 30 000		1 500 - 2 000

Les claies et les paniers, sont disposés dans des auges conventionnelles ou des bassins, de manière à ce que le courant d'eau passe à travers les oeufs. La circulation de l'eau à travers les différents supports est illustrée à la **figure 22**. Les oeufs sont disposés en une seule rangée sur les claies ou en vrac dans les paniers. Ce système utilise un espace important pour l'incubation, mais les auges ou bassins sont utilisés après l'incubation pour l'alevinage. L'utilisation de claies permet un accès facile aux oeufs tout au long de la période d'incubation. Après l'éclosion, l'alevin se dépose directement au fond de l'auge. Il est préférable de ramasser les coquilles vides pendant qu'il reste des alevins sur les claies.

Dans les cylindres (seaux ou jarres), les oeufs sont disposés dans une colonne d'eau ascendante. L'alimentation en eau de chaque cylindre est individuelle et le débit est facilement ajustable au moyen d'une

valve. Le cylindre est l'appareil le plus performant pour ce qui est du nombre d'oeufs incubés par unité de débit d'eau utilisé et il occupe peu d'espace. Bien que les oeufs n'y soient pas aussi facilement observables que sur une claie ou dans un tiroir, si l'hydraulique du système est adéquate, les oeufs morts devraient remonter à la surface, d'où ils peuvent être retirés. Les oeufs peuvent éclore dans l'incubateur ou être déversés dans un vivier peu avant l'éclosion.

Les incubateurs à tiroirs utilisent également un courant d'eau ascendant. Les tiroirs sont superposés et groupés par blocs de 8 ou 16. Les oeufs sont disposés sur une seule rangée et l'éclosion peut avoir lieu dans l'incubateur. Comparativement aux autres types d'incubateurs qui sont utilisés à l'intérieur des bassins d'alevinage, ces appareils requièrent un espace spécifique dans l'écloserie.

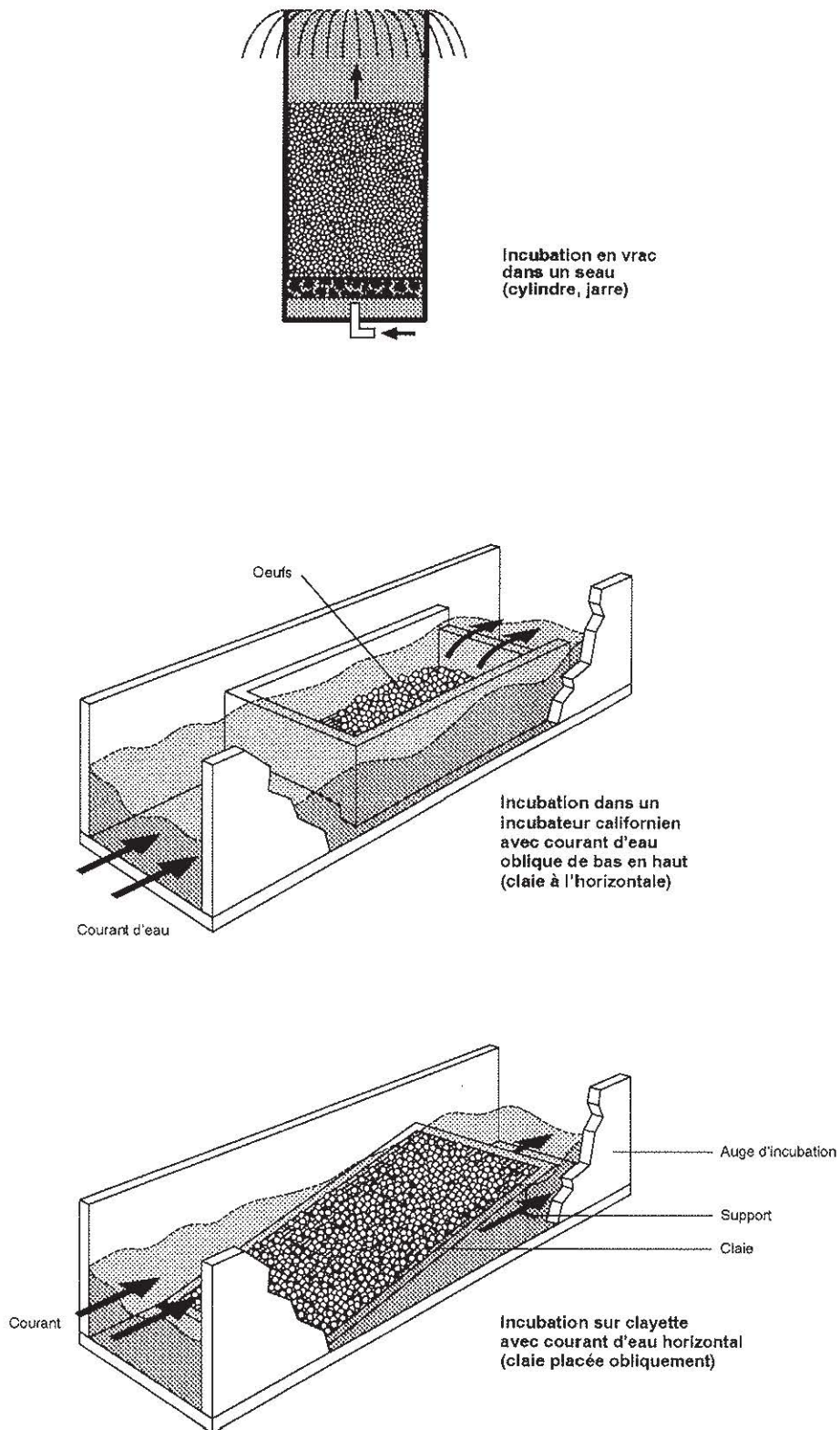


Figure 22 Trois types d'appareils destinés à l'incubation des oeufs: seau, panier californien et clayette

TRANSPORT DES OEUFS ET DES POISSONS VIVANTS

ÉLEVAGE DES SALMONIDÉS

FASCICULE

9



Québec 

TRANSPORT DES OEUFS ET DES POISSONS VIVANTS

Fascicule 9

RÉDACTION

Richard Morin, biologiste

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
Direction générale des pêches et de l'aquiculture commerciales

RÉVISION

Robert Champagne, ingénieur et agronome

Guy Ouellet, biologiste

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
Direction générale des pêches et de l'aquiculture commerciales

TABLE DES MATIÈRES

9.1	INTRODUCTION	12
9.2	TRANSPORT DES OEUFS	13
9.2.1	Facteurs et principes fondamentaux	13
9.2.1.1	Stades de développement de l'œuf	13
9.2.1.2	Température, humidité et oxygène	13
9.2.1.3	Dénombrement et désinfection	14
9.2.2	Équipement et méthodes	15
9.2.3	Réception des œufs	18
9.3	TRANSPORT DES POISSONS	21
9.3.1	Facteurs et principes fondamentaux	21
9.3.1.1	État physiologique des poissons	21
9.3.1.2	Température	22
9.3.1.3	Oxygène	22
9.3.1.4	Gaz carbonique	23
9.3.1.5	pH et alcalinité	24
9.3.1.6	Azote ammoniacal	24
9.3.1.7	Populations bactériennes	26
9.3.1.8	Sursaturations gazeuses	26
9.3.1.9	Manipulations	26
9.3.2	Systèmes fermés	26
9.3.2.1	Technique de mise en sac	26
9.3.2.2	Charges admissibles	26
9.3.2.3	Transport des sacs	27
9.3.3	Systèmes ouverts	27
9.3.3.1	Bassins de transport	27
9.3.3.2	Système d'oxygénation et d'aération	31
9.3.3.3	Systèmes de refroidissement de l'eau	31
9.3.3.4	Charges admissibles	32
9.4	PRODUITS CHIMIQUES	35
9.4.1	Anesthésiques	35
9.4.2	Sel	35
9.4.3	Tampon	36
9.4.4	Anti-écume	36
9.4.5	Zéolite	37
9.4.6	Antibactériens et antibiotiques	37
9.5	DÉCHARGEMENT ET ACCLIMATATION DES POISSONS	38
9.5.1	Facteurs et principes fondamentaux	38
9.5.2	Acclimatation à l'eau d'accueil	38
9.5.3	Ensemencement en période chaude	38
9.5.4	Ensemencement de saumoneaux	39

9.6	DÉSINFECTION DU MATÉRIEL DE TRANSPORT	41
9.6.1	Sources de contamination	41
9.6.2	Mesures pour éviter la contamination	41
9.6.3	Méthodes de désinfection	41
9.6.4	Solution désinfectante	41
9.7	VÉHICULES MOTORISÉS ET REMORQUES	43
9.7.1	Masses transportées	43
9.7.2	Types de véhicules	43
9.7.3	Remorques	45
9.7.4	Bacs et bonbonnes d'oxygène	45
9.7.5	Entretien	45
9.8	RÉFÉRENCES	46

9.2 TRANSPORT DES OEUFS

9.2.1 FACTEURS ET PRINCIPES FONDAMENTAUX

9.2.1.1 Stades de développement de l'œuf

Les œufs de salmonidés ne peuvent pas être transportés à n'importe quel stade de leur développement. Ils sont trop fragiles aux manipulations pendant une bonne période, soit de 24 à 48 heures après leur fécondation, jusqu'au stade œillé (figure 1). Les œufs œillés sont facilement identifiables à la présence de deux points noirs dans l'œuf, qui sont la pigmentation des yeux du futur alevin.

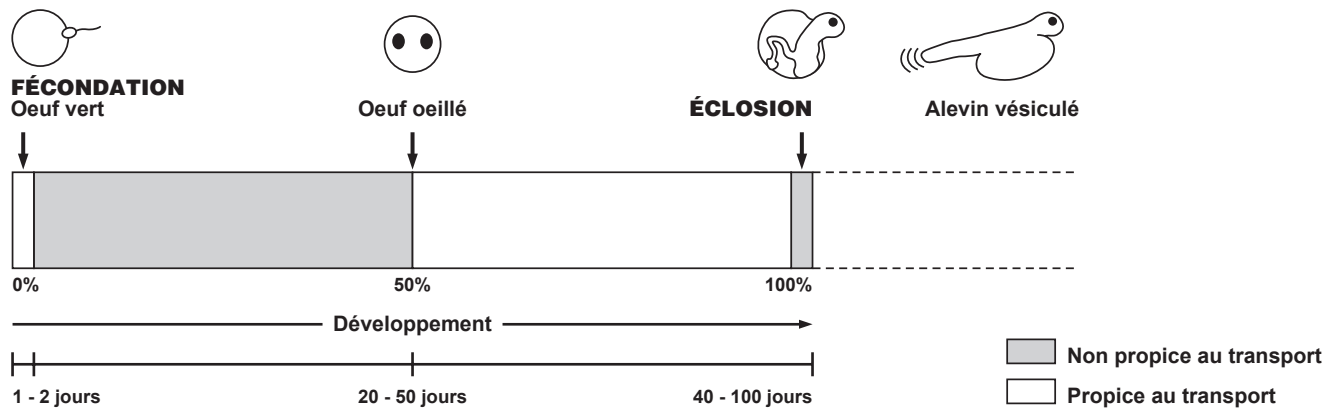


Figure 1 Périodes propices au transport des œufs

Les œufs peuvent être transportés quand ils sont verts (fraîchement fécondés), soit dans les premières 24 à 48 heures après la fécondation. Pendant cette période, où ont lieu les premières divisions cellulaires, l'œuf n'est pas fragile (Morin, 1996). Il devient ensuite très fragile aux chocs, pendant la période où l'embryon commence à se former, soit de 20 à 50 jours selon l'espèce de salmonidé et la température de l'eau. Plus tard, à partir du moment où les œufs sont œillés, ils peuvent de nouveau être transportés sans danger, et en principe jusqu'à l'éclosion. Cette période dure également de 20 à 50 jours selon l'espèce de salmonidé et la température de l'eau. Cependant, il est préférable de ne pas transporter les œufs trop près de l'éclosion pour ne pas provoquer celle-ci prématurément. Une fois l'éclosion complétée, les alevins vésiculés peuvent être transportés sans danger. Les œufs œillés se prêtent mieux aux transports de longue durée que les œufs verts pour deux raisons. Les œufs œillés, après avoir été choqués et triés, présentent un taux de mortalité moins élevé que les œufs verts, qui ne

comportent aucun tri. Les œufs verts limitent la durée du transport à cause du risque d'empiètement sur la période de fragilité, qui commence de 24 à 48 heures après la fécondation selon la température de l'eau.

9.2.1.2 Température, humidité et oxygène

Le transport des œufs de salmonidés peut se faire dans l'air humide ou dans l'eau. Le transport dans l'air humide s'effectue dans des contenants étanches et

isolés qui permettent de maintenir un milieu aérien saturé d'humidité (100 %) et à basse température, soit de 0,5 °C à 5 °C (figure 2). La glace introduite à l'intérieur du contenant qui renferme les œufs maintient la température basse et produit l'humidité nécessaire. La basse température réduit la consommation d'oxygène des œufs. L'eau qui s'égoutte de la glace fondante dans le récipient hermétique produit un milieu humide qui empêche le dessèchement des œufs.

La vapeur d'eau en suspension est saturée complètement en oxygène par l'air environnant, qui en contient 20 fois plus que l'eau à une température de 4 °C à 5 °C. L'eau qui s'égoutte et la vapeur d'eau qui se dépose sur les œufs et les enrobe est complètement saturée en oxygène. En conséquence, il est beaucoup plus efficace de transporter les œufs dans l'air humide que dans l'eau pour leur assurer un apport en oxygène suffisant sur une longue période. Les œufs transportés dans un contenant hermétique à l'air humide, et dont la température est maintenue par une bonne isolation et

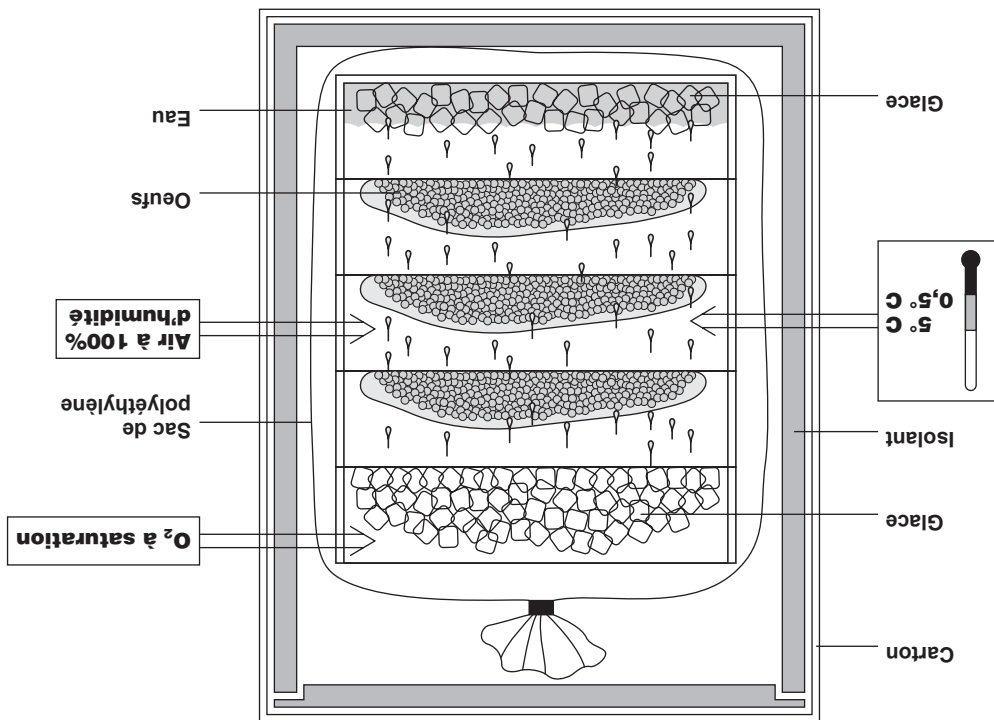
Le dénombrement et la désinfection des œufs doivent être réalisés préalablement au transport. Il est recommandé de désinfecter les œufs avant le transport, à l'aide d'une solution d'iode, afin d'éviter la transmission de maladies, comme la furunculose, à un autre établissement piscicole. Le dénombrement doit être précis parce que l'opération commerciale de la vente des œufs est réalisée au nombre. Le dénombrement et la désinfection des œufs s'effectuent au moyen des méthodes décrites au fascicule 3 du présent guide (Morin, 1996). La **figure 3** illustre la méthode de désinfection des œufs dans une solution d'iode.

9.2.1.3 Dénombrement et désinfection

maximales de 4 à 6 heures et pour des déplacements qui comportent peu de manutentions risquant d'endommager les œufs. Cette méthode n'est évidemment pas applicable aux transports par courrier ou par avion à cause du poids de l'eau et du peu de protection des œufs contre les chocs mécaniques.

Le transport des œufs dans l'eau se fait de la même manière que pour les alevins, soit à l'aide de sacs en polyéthylène (voir section 9.3.2.1). Il existait autrefois des bouteilles thermos spécialement conçues à cette fin. Les œufs sont alors placés dans l'eau, qui occupe le premier tiers ou la moitié du sac ou du thermos, et de l'oxygène pur est introduit dans l'espace libre. Cette pratique est valable pour les transports de courte durée. Elle présente l'inconvénient de moins bien protéger les œufs contre les chocs mécaniques. Par contre, la préparation des sacs de transport ou des thermos est beaucoup plus simple et plus rapide que celle des boîtes pour le transport des œufs dans l'air humide. Elle évite aussi d'avoir à acclimater les œufs à leur arrivée à la nouvelle pisciculture, parce que la température de l'eau de transport peut être choisie en fonction de celle de destination. La méthode de transport des œufs dans l'eau est valable pour des périodes une réserve suffisante de glace, peuvent y demeurer jusqu'à 48 heures sans aucun problème.

Figure 2 Conditions environnementales à l'intérieur d'une boîte de transport d'œufs



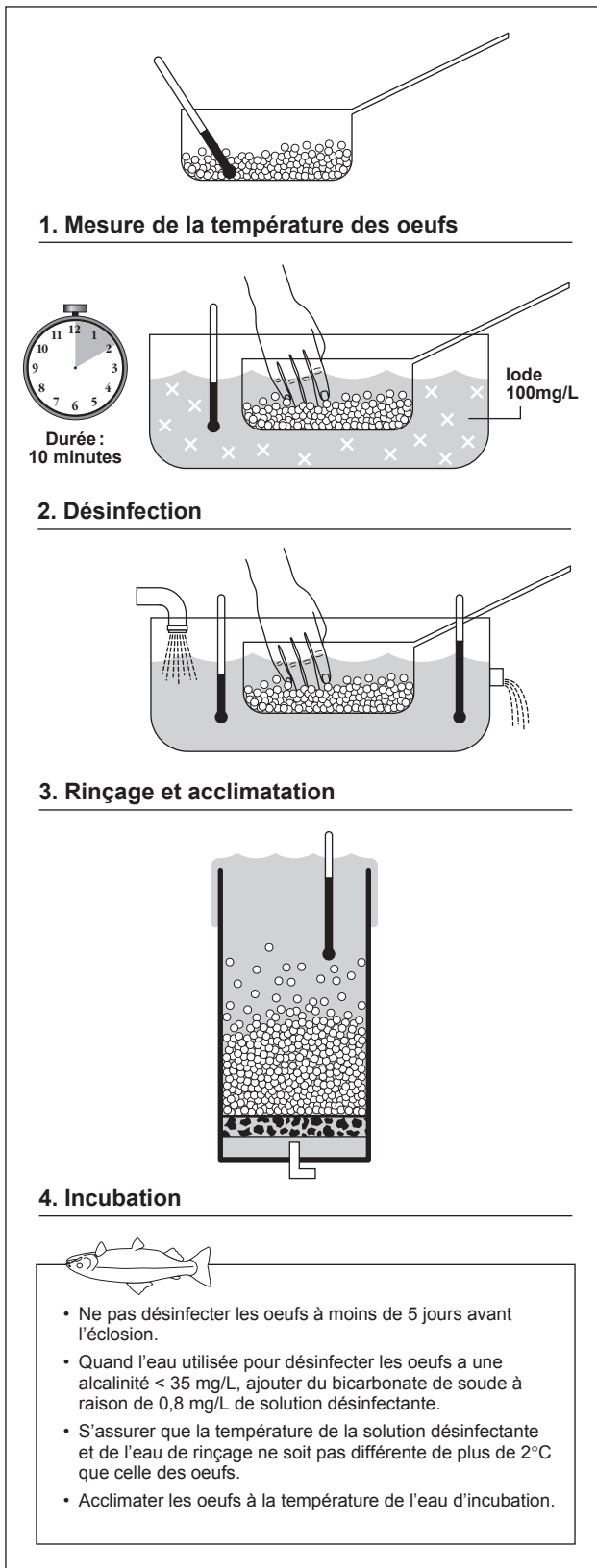


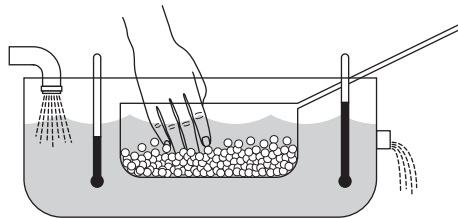
Figure 3 Méthode de désinfection des œufs dans une solution d'iode

1. Mesure de la température des oeufs

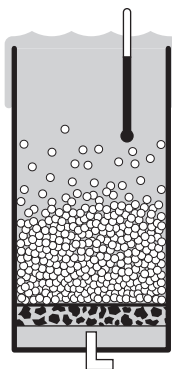


Durée :
10 minutes

2. Désinfection



3. Rinçage et acclimatation



4. Incubation



- Ne pas désinfecter les oeufs à moins de 5 jours avant l'éclosion.
- Quand l'eau utilisée pour désinfecter les oeufs a une alcalinité < 35 mg/L, ajouter du bicarbonate de soude à raison de 0,8 mg/L de solution désinfectante.
- S'assurer que la température de la solution désinfectante et de l'eau de rinçage ne soit pas différente de plus de 2°C que celle des oeufs.
- Acclimater les oeufs à la température de l'eau d'incubation.

9.2.2 ÉQUIPEMENT ET MÉTHODES

Le système de transport des œufs dans l'air humide proposé est relativement simple; il a cours depuis nombre d'années. Les œufs sont déposés dans des casiers en bois de fabrication artisanale ou en styromousse, qui sont empilés dans une boîte étanche et isolée, dont l'air est maintenu humide et froid par la présence de glace. Le matériel requis pour la préparation d'une boîte de transport est le suivant :

- ① Casiers en bois avec fond en moustiquaire et fond en polyéthylène;
- ② Coton à fromage;
- ③ Glace concassée;
- ④ Boîte de carton et isolant;
- ⑤ Ruban adhésif et étiquettes;
- ⑥ Sac en plastique étanche.

Les casiers en bois sont généralement de 20 à 30 cm de côté pour s'adapter aux dimensions intérieures de la boîte. Des lattes de bois de 4 à 8 cm de largeur et de moins de 1 cm d'épaisseur sont utilisées pour bâtir le cadre. Le fond des casiers est constitué d'un treillis en nylon « moustiquaire » fixé au cadre en bois par des agrafes (figure 4). Un des casiers est muni d'une membrane en polyéthylène qui sert à retenir l'eau et la glace au fond de la boîte de transport. Des boîtes spécialement conçues pour le transport des œufs, munies de casiers en styromousse, sont aussi disponibles sur le marché. Cependant, leur prix est relativement élevé, soit près de 100 \$ pour une boîte et huit casiers.

La préparation d'une boîte de transport se fait de la façon suivante. Les casiers en bois sont mis à tremper le jour qui précède la livraison pour qu'ils soient imbibés d'eau. Les casiers ayant déjà servi au transport d'œufs doivent être décontaminés dans une solution désinfectante avant d'être réutilisés. L'intérieur des casiers est tapissé de quelques épaisseurs de coton à fromage imbibé d'eau. Les œufs, préalablement désinfectés et dénombrés, sont déposés dans les casiers et le coton à fromage est replié dessus, de manière à les envelopper complètement (figure 5).

Ensuite, les casiers sont empilés dans l'ordre suivant. En premier, le casier muni de la membrane de polyéthylène est rempli de glace et déposé à la base (figure 6). Les casiers remplis d'œufs sont empilés par-dessus, à raison de trois à cinq niveaux. Un dernier casier, muni d'un fond en moustiquaire, est rempli de glace et déposé sur le dessus de la pile. Les casiers sont solidement ficelés et introduits dans un sac de polyéthylène que l'on ferme hermétiquement (figure 7). Le tout est placé dans une boîte dont le fond, les parois et le dessus sont isolés avec des feuilles de styromousse. La boîte est ensuite scellée avec du

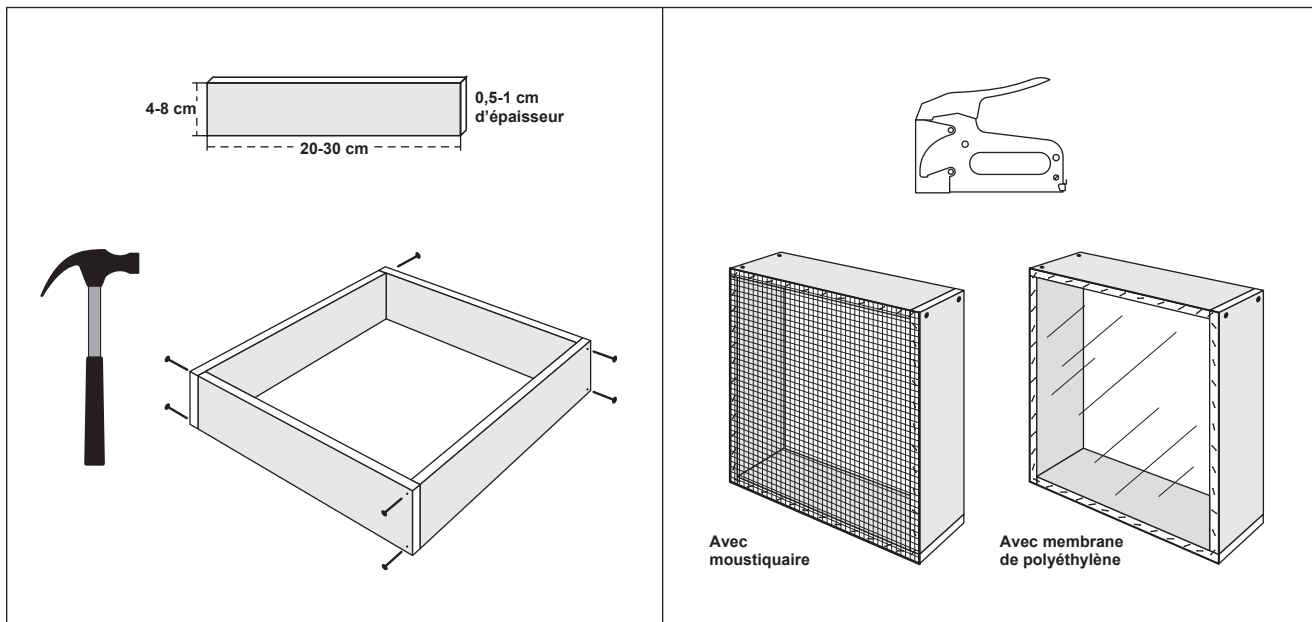


Figure 4 Modèle de construction des casiers pour le transport des œufs

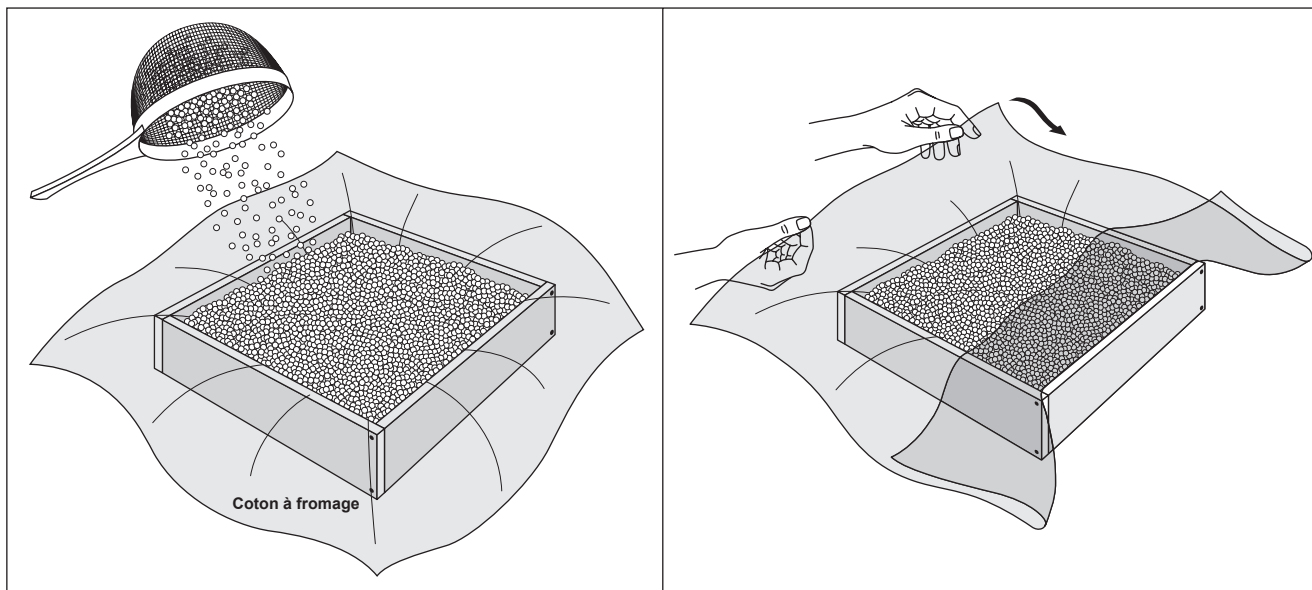


Figure 5 Méthode de remplissage d'un casier pour le transport des oeufs

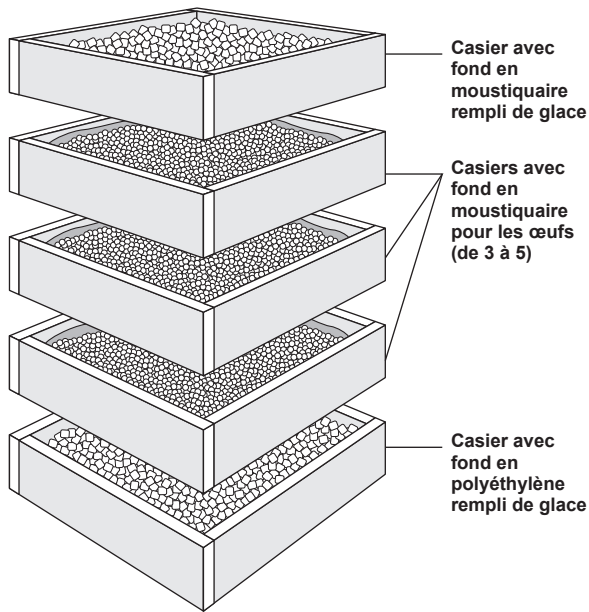
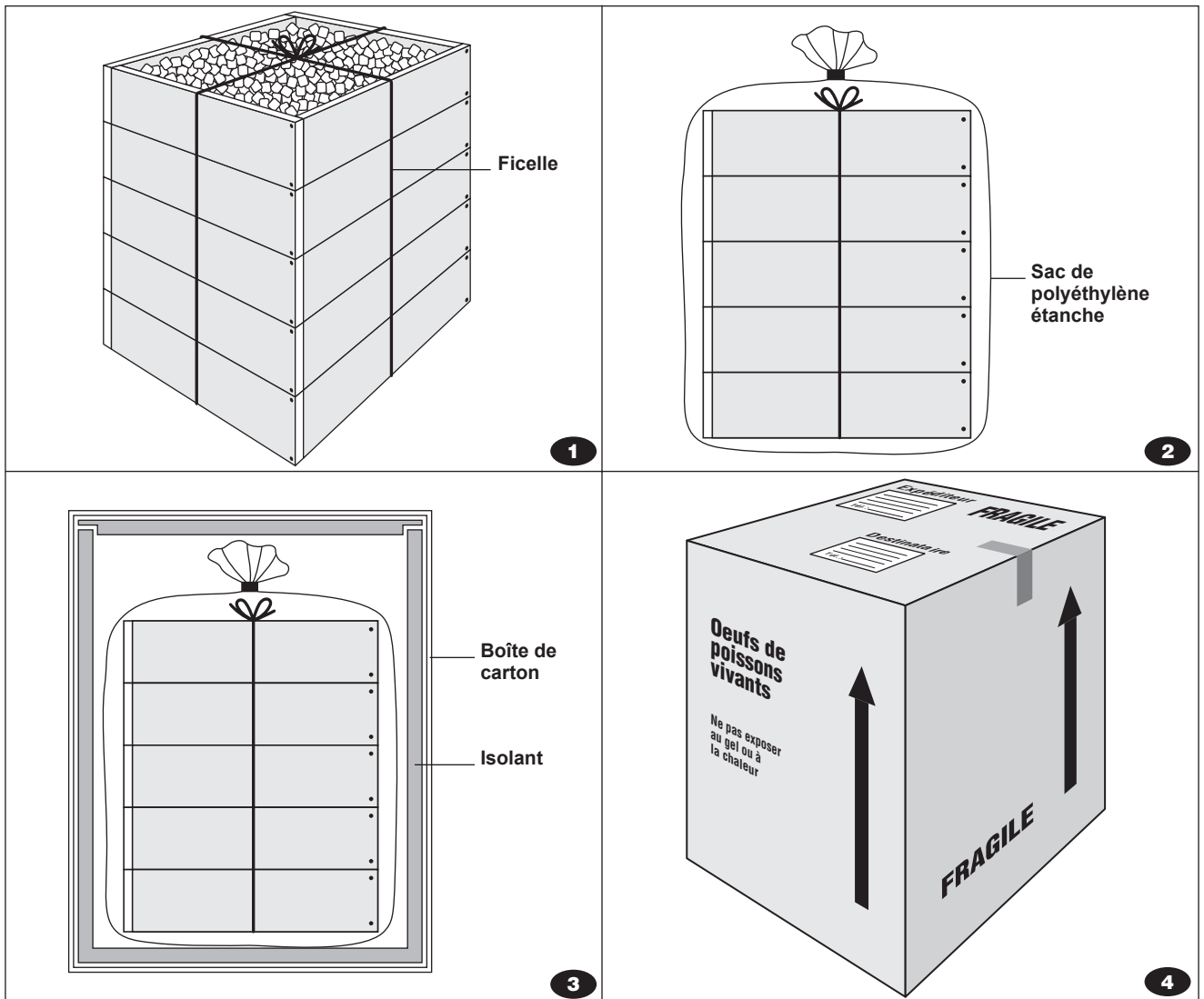


Figure 6 Méthode d'empilement des casiers pour le transport des œufs

Figure 7 Méthode d'emballage des casiers dans une boîte pour le transport des œufs



ruban adhésif. Des flèches ou autres marques doivent indiquer le sens vertical dans lequel la boîte doit être maintenue pendant le transport, de manière à ne pas renverser le contenu à l'intérieur de la boîte. En plus des adresses et numéros de téléphone de l'expéditeur et du destinataire, les indications « Oeufs de poissons vivants - Fragile - Ne pas exposer au gel ou à la chaleur » doivent figurer.

Pour les dimensions mentionnées, un casier peut contenir entre 15 000 et 20 000 œufs d'omble de fontaine, selon la taille des œufs. Comme les œufs de la truite arc-en-ciel et du saumon sont généralement plus gros, les quantités respectives sont réduites à 12 000 et 8 000 œufs. Une boîte de transport peut contenir de 50 000 à 100 000 œufs.

Les œufs doivent être transportés de préférence par le vendeur ou l'acheteur. Dans l'éventualité où il est nécessaire d'utiliser un transport public, les services de messagerie rapide sont à privilégier et il est important de prévenir le destinataire de l'expédition.

9.2.3 RÉCEPTION DES ŒUFS

Les œufs peuvent de nouveau être désinfectés par l'acheteur à la réception. Cependant, il est important de mesurer leur température dans le contenant d'expédition pour éviter de leur donner un choc thermique à la désinfection. Celle-ci est le plus souvent voisine de 0 °C dans la boîte de transport, soit la

température de la glace fondante, et il faut ajuster en conséquence la température de la solution désinfectante. La différence de température entre les œufs et la solution désinfectante ne devrait pas excéder de 1 °C à 2 °C.

De même, avant la mise en incubation, il est important de procéder à une acclimatation graduelle des œufs à la température de l'eau d'incubation. Deux méthodes sont illustrées à la **figure 8**. La première consiste à introduire de la glace dans un bassin rempli d'eau, de manière à ce que l'eau refroidisse jusqu'à ce qu'elle atteigne la température des œufs. Les casiers d'œufs préalablement désinfectés sont ensuite introduits dans le bassin d'eau refroidie. Puis, l'entrée d'eau est réactivée progressivement et ajustée de manière à ce que la température de l'eau dans le bassin s'élève lentement à raison de 2 °C à l'heure au maximum, jusqu'à ce qu'elle atteigne la température de l'eau d'incubation. L'autre méthode d'acclimatation consiste à déposer les casiers d'œufs sur le rebord de bassins dans lesquels circule l'eau d'incubation. Un thermomètre est placé en permanence dans une des masses d'œufs. Il suffit d'humecter celles-ci aux 15 minutes avec un peu d'eau prise dans le bassin, jusqu'à ce que les œufs atteignent la température de l'eau. Cette opération peut durer quelques heures, selon la différence de température initiale entre les œufs et l'eau d'incubation. Quand la température des œufs est environ la même que celle de l'eau, soit une différence de moins de 0,5 °C à 1,0 °C, ils peuvent être transférés dans les incubateurs.

9.5 DÉCHARGEMENT ET ACCLIMATATION DES POISSONS

9.5.1 FACTEURS ET PRINCIPES FONDAMENTAUX

Le déversement des poissons une fois arrivés à destination est une phase critique. Dans l'unité de transport, les poissons sont quelque peu stressés et l'immersion soudaine dans une eau dont les écarts de température et de pH sont importants, diminue le taux de survie. Les poissons doivent être acclimatés progressivement à l'eau d'accueil. Le principal facteur à considérer est l'écart de température entre l'eau de transport et l'eau d'accueil. La sensibilité des poissons est aussi importante et dépend de leur état de santé et de leur taille, les plus gros étant moins sensibles que les truitelles.

Lors de l'arrivée à destination, on doit vérifier l'état des poissons avant de les déverser dans un nouveau milieu. Un transport réussi est caractérisé par peu ou pas de mortalités à l'arrivée. La présence de plusieurs poissons morts ou moribonds indique qu'un problème est survenu. Les poissons survivants ont quand même subi un stress important qui ne garantit pas le succès de l'empoisonnement.

9.5.2 ACCLIMATATION À L'EAU D'ACCUEIL

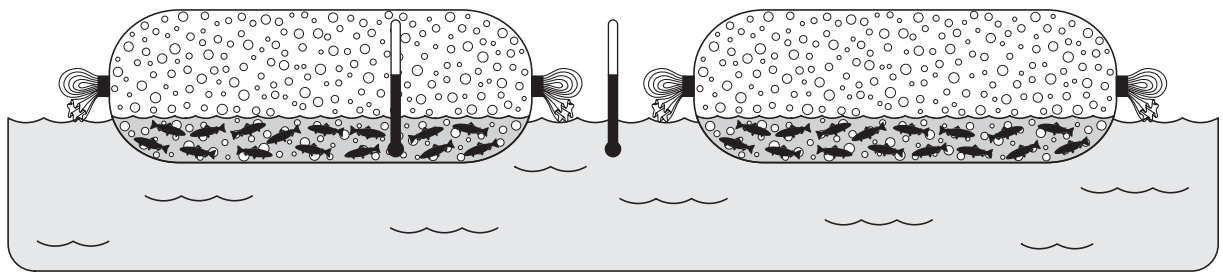
Les petits poissons sont plus sensibles aux écarts de températures que les gros. Les alevins provenant d'un sac de transport de poissons ne doivent être déversés que lorsque l'eau contenue dans le sac a atteint la même température que l'eau du milieu d'accueil. L'écart de température ne doit pas dépasser 1 °C pour les alevins (de 2,5 à 6 cm) et 2 °C pour les truitelles (de 6 à 15 cm). Pour équilibrer les températures, le mieux est de laisser flotter les sacs fermés à la surface de l'eau du milieu d'accueil jusqu'au moment où l'écart est réduit à 2-3 °C (**figure19**). Il faut alors ouvrir les sacs et ajouter progressivement l'eau du nouveau milieu à celle du sac. Cela complète l'équilibre des températures entre les deux milieux et permet l'acclimatation progressive des poissons aux conditions physico-chimiques du milieu d'accueil. Le déversement des

poissons peut commencer lorsque près de 50 % de l'eau du milieu d'accueil a été ajoutée à l'intérieur du sac de transport.

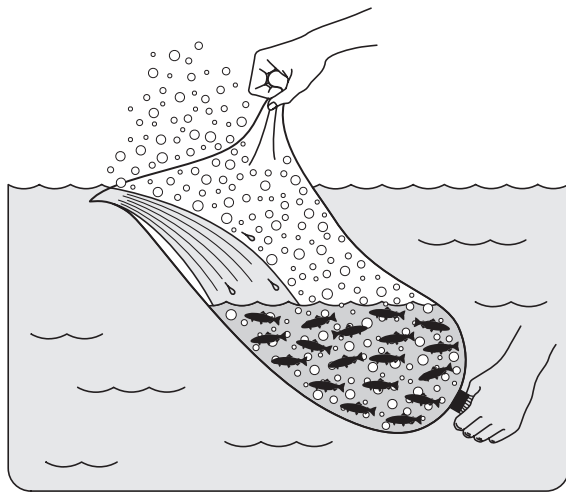
L'acclimatation des poissons doit être réduite au minimum de temps dans les opérations commerciales pour des raisons pratiques. Les pisciculteurs et leurs clients disposent de peu de temps dans les périodes intensives d'ensemencement. On peut donc prendre certaines précautions pour diminuer la période d'acclimatation tout en faisant un ensemencement adéquat. La première est d'utiliser une température d'eau pour le transport, bien que convenable pour les poissons, visant à présenter un écart de température moins important avec l'eau de destination. Lors des ensemencements au printemps, la température de l'eau des lacs est souvent plus basse ou voisine de celle de l'eau du transport et les poissons peuvent être déversés directement au bord du lac avec un minimum d'acclimatation.

9.5.3 ENSEMENCEMENT EN PÉRIODE CHAUDE

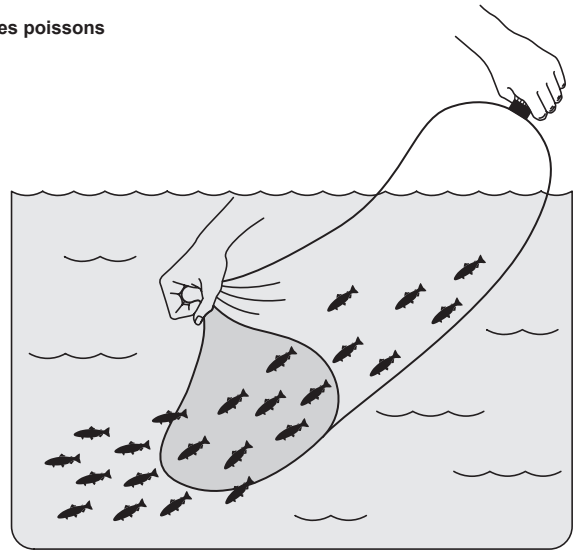
Lors de la période chaude à l'été, alors que la thermocline s'est installée dans les lacs, le déversement des poissons directement au bord du lac dans la couche d'eau chaude en surface est à proscrire. Par ailleurs, l'acclimatation des poissons à cette température d'eau par la circulation d'eau du lac dans le récipient de transport prend trop de temps et s'avère peu efficace. Une bonne pratique en période chaude l'été consiste à aller déverser les poissons à un endroit du lac où ils pourront accéder rapidement à l'eau froide en profondeur. Il suffit pour cela de les transférer dans des contenants remplis avec l'eau du bac de transport et de les y amener au moyen d'une embarcation. Une fois rendu au lieu choisi sur le lac, le contenant rempli de poissons est passé par-dessus bord et maintenu à la surface de manière à y laisser pénétrer lentement l'eau du lac et y maintenir les poissons pendant quelques minutes. Une fois libérés, ceux-ci se déplaceront rapidement en profondeur dans le lac pour chercher l'eau froide. La **figure20** illustre cette méthode d'ensemencement des poissons.



1 Acclimation : égaliser la température avant de laisser sortir les poissons



2 Ouvrir partiellement les sacs pour introduire l'eau du milieu d'accueil



3 Libérer les poissons dans le bassin ou le lac

Figure 19 Méthode d'ensemencement des poissons transportés dans des sacs

9.5.4 ENSEMENCEMENT DE SAUMONEAUX

Les saumoneaux doivent être transportés et ensemencés avant la smoltification. Une fois que cette dernière a débuté, les poissons sont vulnérables aux manipulations et perdent facilement des écailles, ce qui a pour effet de diminuer leur protection naturelle contre les infections.

Les endroits à rechercher pour l'ensemencement des saumoneaux sont la proximité de frayères connues, de manière à favoriser le retour des adultes vers ces frayères. En effet, il appert que les adultes au retour de la mer ne dépasseraient pas de beaucoup en amont

sur le cours d'eau le lieu de leur ensemencement au stade de saumoneau. Il n'est pas nécessaire de disperser les saumoneaux lors d'un ensemencement, comme pour la truite, parce que ces derniers n'habitent pas le cours d'eau et le quittent pour la mer. Idéalement, les saumoneaux ne doivent pas être déversés à la surface de l'eau, mais bien sous celle-ci.

L'ensemencement des saumoneaux doit être effectué après la crue printanière des cours d'eau et avant le début de la smoltification. Il en résulte que la période propice à l'ensemencement est souvent de courte durée, parce qu'il faut attendre que le débit des cours d'eau diminue à un niveau convenable tout en ne dépassant pas le début de la smoltification chez le poisson, laquelle progresse inévitablement.

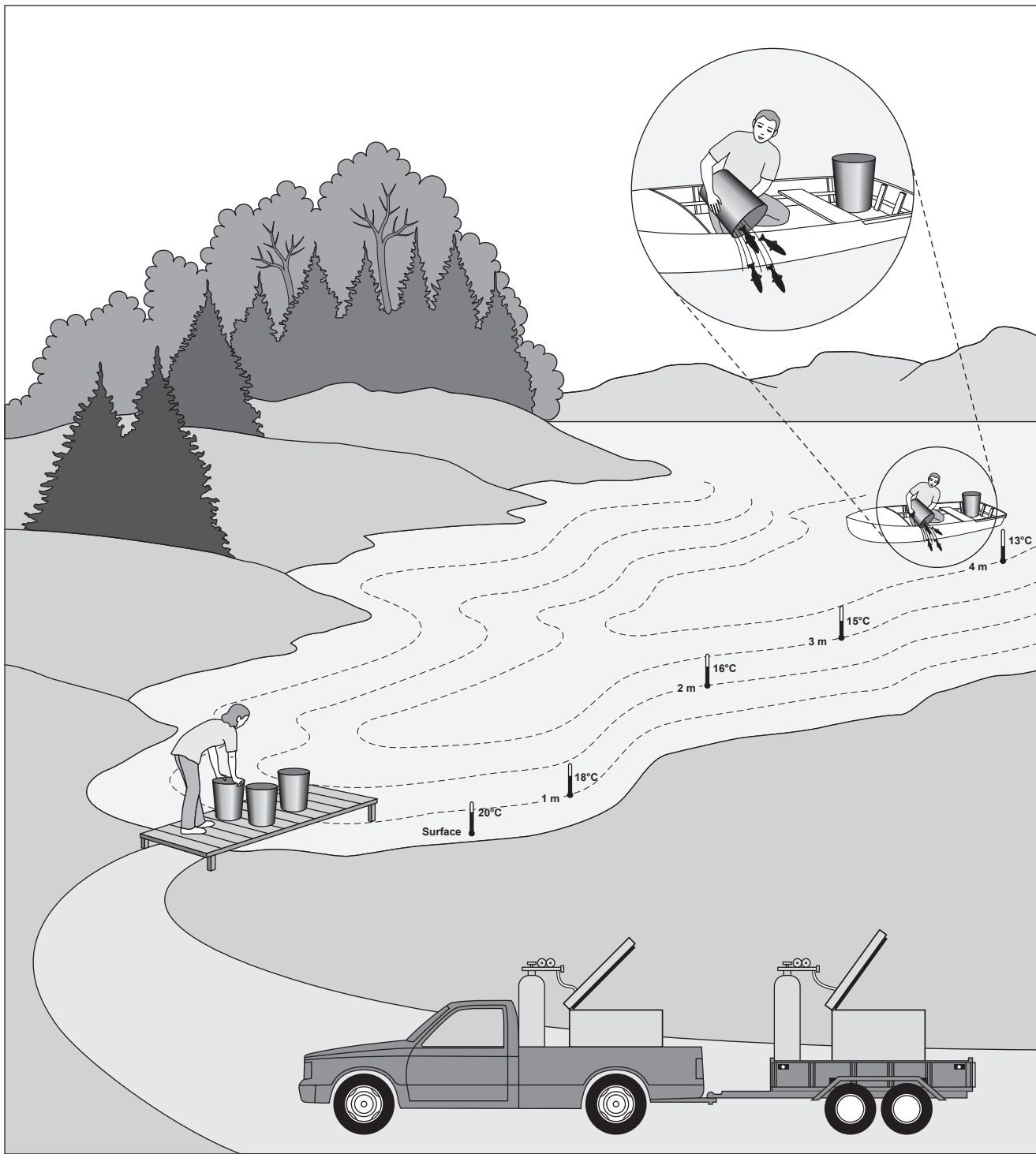


Figure 20 Méthode d'ensemencement des poissons en lac pendant la période chaude de l'été

ANNEXE 21 Mortalité post-fécondation et taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine

Annexe 21

Mortalité post-fécondation et taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine

Frayerie	Îlot	n° Support	n° Transpondeur	n° Capsule	Lignée parentale	Œuf inséré dans la capsule	Mortalité retiré	Œuf vivant après piquage	Mortalité observée dans la capsule (non retiré)	Mortalité totale	Embryon vivant au moment de l'implantation des capsules	Taux de mortalité post-fécondation (MPF)	Nombre retrouvé lors du retrait en 2019	Non retrouvé	Œuf opaque	Œuf translucide	Embryon mort	Embryon vivant	Alevin mort	Alevin vivant	Embryon vivant ou éclos	Taux de survie (sans MPF) (%)
PK 46,2	A	7	542 351	9	1A	12	1	11	0	1	11	8,3	7	4	5	-	2	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	62	1A	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	16	1A	12	1	11	1	2	10	16,7	11	-	11	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	18	1A	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	7	542 351	69	1B	12	2	10	0	2	10	16,7	10	-	10	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	8	1B	12	1	11	0	1	11	8,3	9	2	8	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	136	1B	12	4	8	1	5	7	41,7	6	2	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	76	1B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	7	542 351	13	1C	12	2	10	0	2	10	16,7	10	-	6	3	1	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	28	1C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	144	1C	12	3	9	0	3	9	25,0	6	3	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	61	1C	12	3	9	1	4	8	33,3	9	-	9	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	8	542 349	15	2A	12	5	7	0	5	7	41,7	4	3	3	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	37	2A	12	5	7	0	5	7	41,7	6	1	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	122	2A	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	57	2A	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	6	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	7	542 351	106	2B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	46	2B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	19	2B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	4	542 340	43	2B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	8	542 349	31	2C	12	6	6	0	6	6	50,0	5	1	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	17	2C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	3	1	1	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	132	2C	12	1	11	1	2	10	16,7	10	1	8	-	-	-	-	2	2	20,0
PK 46,2	D	4	542 340	97	2C	12	6	6	0	6	6	50,0	4	2	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	8	542 349	38	3A	12	11	1	0	11	1	91,7	1	-	1	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	142	3A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	91	3A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	4	542 340	116	3A	12	11	1	0	11	1	91,7	1	-	1	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	7	542 351	10	3B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	83	3B	12	6	6	0	6	6	50,0	5	1	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	2	3B	12	4	8	0	4	8	33,3	7	1	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	74	3B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	7	542 351	11	3C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	94	3C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	12	542 357	121	3C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	4	542 340	30	3C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	8	542 349	120	4A	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	1	4A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	125	4A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	3	542 353	45	4A	12	12	0	0	12	0	100,0	0	-	0	-	-	-	-	-	0	-
PK 46,2	A	8	542 349	12	4B	12	4	8	0	4	8	33,3	7	1	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	9	542 346	109	4B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	73	4B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	5	-	-	-	-	1	1	16,7
PK 46,2	D	4	542 340	85	4B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	A	8	542 349	128	4C	12	7	5	0	7	5	58,3	2	3	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	B	10	542 359	90	4C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	6	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	C	11	542 358	99	4C	12	10	2	0	10	2	83,3	2	-	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 46,2	D	4	542 340	101	4C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0

Annexe 21 (suite) Mortalité post-fécondation et taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine

Frayère	Îlot	n° Support	n° Transpondeur	n° Capsule	Lignée parentale	Œuf inséré dans la capsule	Mortalité retiré	Œuf vivant après piquage	Mortalité observée dans la capsule (non retiré)	Mortalité totale	Embryon vivant au moment de l'implantation des capsules	Taux de mortalité post-fécondation (MPF)	Nombre retrouvé lors du retrait en 2019	Non retrouvé	Œuf opaque	Œuf translucide	Embryon mort	Embryon vivant	Alevin mort	Alevin vivant	Embryon vivant ou éclos	Taux de survie (sans MPF) (%)
PK 49	A	13	542 360	32	1A	12	2	10	0	2	10	16,7	10	-	7	-	-	-	-	3	3	30,0
PK 49	B	15	542 356	51	1A	12	1	11	0	1	11	8,3	7	4	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	87	1A	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	2	1	3	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	5	542 347	119	1A	12	5	7	4	9	3	75,0	6	1	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	14	542 355	44	1B	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	15	542 356	137	1B	12	2	10	0	2	10	16,7	10	-	8	-	2	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	4	1B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	3	-	-	-	-	2	2	40,0
PK 49	D	6	542 352	54	1B	12	9	3	2	11	1	91,7	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	14	542 355	6	1C	12	7	5	0	7	5	58,3	2	3	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	16	542 354	14	1C	12	4	8	0	4	8	33,3	6	2	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	17	542 350	143	1C	12	2	10	1	3	9	25,0	10	-	7	-	-	-	-	3	3	33,3
PK 49	D	5	542 347	108	1C	12	5	7	3	8	4	66,7	6	1	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	14	542 355	96	2A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	3	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	15	542 356	102	2A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	47	2A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	5	542 347	56	2A	12	8	4	3	11	1	91,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	13	542 360	114	2B	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	15	542 356	23	2B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	67	2B	12	9	3	0	9	3	75,0	2	1	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	5	542 347	140	2B	12	12	0	0	12	0	100,0	0	-	0	-	-	-	-	-	0	-
PK 49	A	14	542 355	34	2C	12	10	2	0	10	2	83,3	2	-	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	16	542 354	39	2C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	17	542 350	79	2C	12	7	5	0	7	5	58,3	4	1	3	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	5	542 347	118	2C	12	7	5	1	8	4	66,7	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	13	542 360	107	3A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	2	-	-	-	1	1	2	50,0
PK 49	B	16	542 354	49	3A	12	6	6	3	9	3	75,0	6	-	5	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	84	3A	12	6	6	0	6	6	50,0	2	4	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	6	542 352	41	3A	12	6	6	2	8	4	66,7	4	2	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	13	542 360	100	3B	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	16	542 354	115	3B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	3	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	18	542 361	40	3B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	5	542 347	124	3B	12	9	3	1	10	2	83,3	3	-	2	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	14	542 355	5	3C	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	16	542 354	98	3C	12	3	9	0	3	9	25,0	8	1	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	17	542 350	29	3C	12	8	4	0	8	4	66,7	3	1	1	1	1	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	6	542 352	77	3C	12	5	7	2	7	5	58,3	5	2	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	A	14	542 355	105	4A	12	7	5	0	7	5	58,3	3	2	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	15	542 356	138	4A	12	5	7	0	5	7	41,7	6	1	3	-	1	-	-	-	2	28,6
PK 49	C	17	542 350	68	4A	12	10	2	0	10	2	83,3	2	-	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	6	542 352	88	4A	12	6	6	1	7	5	58,3	5	1	2	-	-	-	-	3	3	60,0
PK 49	A	13	542 360	65	4B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	B	16	542 354	21	4B	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	17	542 350	66	4B	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	6	542 352	93	4B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	3	-	1	-	-	1	1	20,0
PK 49	A	13	542 360	111	4C	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	3	-	-	-	-	1	1	25,0
PK 49	B	15	542 356	129	4C	12	4	8	0	4	8	33,3	6	2	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	C	17	542 350	86	4C	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 49	D	6	542 352	52	4C	12	11	1	0	11	1	91,7	1	-	1	-	-	-	-	-	0	0,0

Annexe 21 (suite) Mortalité post-fécondation et taux de survie des embryons implantés dans les frayères de la Romaine

Frayerie	Îlot	n° Support	n° Transpondeur	n° Capsule	Lignée parentale	Œuf inséré dans la capsule	Mortalité retiré	Œuf vivant après piquage	Mortalité observée dans la capsule (non retiré)	Mortalité totale	Embryon vivant au moment de l'implantation des capsules	Taux de mortalité post-fécondation (MPF)	Nombre retrouvé lors du retrait en 2019	Non retrouvé	Œuf opaque	Œuf translucide	Embryon mort	Embryon vivant	Alevin mort	Alevin vivant	Embryon vivant ou éclos	Taux de survie (sans MPF) (%)
PK 51	A	20	542 342	27	1A	12	7	5	0	7	5	58,3	4	1	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	59	1A	12	1	11	0	1	11	8,3	9	2	9	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	23	542 345	70	1A	12	1	11	1	2	10	16,7	11	-	10	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	2	542 343	139	1A	12	0	12	1	1	11	8,3	12	-	7	-	-	-	-	5	5	45,5
PK 51	A	20	542 342	20	1B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	71	1B	12	3	9	0	3	9	25,0	9	-	9	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	23	542 345	36	1B	12	2	10	0	2	10	16,7	9	1	6	1	-	-	-	2	2	20,0
PK 51	D	25	542 338	112	1B	12	3	9	0	3	9	25,0	8	1	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	19	542 362	72	1C	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	21	542 341	130	1C	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	75	1C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	-	-	-	-	1	1	20,0
PK 51	D	2	542 343	63	1C	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	5	-	-	-	1	-	1	16,7
PK 51	A	20	542 342	134	2A	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	1	-	-	-	-	2	2	66,7
PK 51	B	21	542 341	7	2A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	60	2A	12	4	8	0	4	8	33,3	8	-	8	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	25	542 338	25	2A	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	2	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	20	542 342	141	2B	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	35	2B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	5	-	-	-	1	-	1	16,7
PK 51	C	23	542 345	48	2B	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	2	542 343	50	2B	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	2	-	-	-	-	1	1	33,3
PK 51	A	19	542 362	92	2C	12	6	6	0	6	6	50,0	4	2	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	21	542 341	89	2C	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	23	542 345	55	2C	12	6	6	0	6	6	50,0	4	2	2	1	-	-	1	-	1	16,7
PK 51	D	2	542 343	123	2C	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	19	542 362	133	3A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	22	3A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	23	542 345	82	3A	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	7	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	25	542 338	58	3A	12	2	10	0	2	10	16,7	10	-	6	-	-	-	1	3	4	40,0
PK 51	A	19	542 362	117	3B	12	7	5	0	7	5	58,3	4	1	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	42	3B	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	53	3B	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	-	-	-	-	1	1	20,0
PK 51	D	2	542 343	26	3B	12	10	2	0	10	2	83,3	2	-	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	19	542 362	78	3C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	21	542 341	33	3C	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	113	3C	12	6	6	0	6	6	50,0	5	1	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	25	542 338	81	3C	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	20	542 342	110	4A	12	7	5	0	7	5	58,3	4	1	3	1	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	22	542 363	95	4A	12	8	4	0	8	4	66,7	4	-	4	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	23	542 345	103	4A	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	5	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	25	542 338	135	4A	12	7	5	0	7	5	58,3	2	3	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	20	542 342	24	4B	12	10	2	0	10	2	83,3	2	-	2	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	21	542 341	126	4B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	6	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	127	4B	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	4	-	-	-	-	3	3	42,9
PK 51	D	2	542 343	131	4B	12	6	6	0	6	6	50,0	6	-	5	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 51	A	19	542 362	64	4C	12	9	3	1	10	2	83,3	3	-	2	-	1	-	-	-	0	0,0
PK 51	B	21	542 341	80	4C	12	5	7	0	5	7	41,7	7	-	5	2	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	C	24	542 348	104	4C	12	9	3	0	9	3	75,0	3	-	3	-	-	-	-	-	0	0,0
PK 51	D	25	542 338	3	4C	12	7	5	0	7	5	58,3	5	-	4	-	-	-	-	1	1	20,0

**ANNEXE 22 Calcul du développement embryonnaire théorique en
fonction de l'évolution de la température moyenne
journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 ou au
PK 34**

Calcul du développement embryonnaire théorique en fonction de l'évolution de la température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 ou au PK 34

Date	Année	PK	Température moyenne journalière de l'eau (°C)	LogD	D	Taux de développement		% cumulatif
						1/D	%	
16-nov	2018	PK 46	3,68	2,09	123,46	0,0081	0,81	0,81
17-nov	2018	PK 46	3,40	2,11	129,94	0,0077	0,77	1,58
18-nov	2018	PK 46	3,24	2,13	133,82	0,0075	0,75	2,33
19-nov	2018	PK 46	3,10	2,14	137,54	0,0073	0,73	3,05
20-nov	2018	PK 46	2,43	2,19	156,40	0,0064	0,64	3,69
21-nov	2018	PK 46	2,02	2,23	169,84	0,0059	0,59	4,28
22-nov	2018	PK 46	1,67	2,26	182,79	0,0055	0,55	4,83
23-nov	2018	PK 46	1,35	2,29	195,35	0,0051	0,51	5,34
24-nov	2018	PK 46	1,31	2,30	197,30	0,0051	0,51	5,85
25-nov	2018	PK 46	0,99	2,33	211,47	0,0047	0,47	6,32
26-nov	2018	PK 46	1,08	2,32	207,29	0,0048	0,48	6,80
27-nov	2018	PK 46	1,16	2,31	203,69	0,0049	0,49	7,29
28-nov	2018	PK 46	1,16	2,31	203,87	0,0049	0,49	7,78
29-nov	2018	PK 46	1,26	2,30	199,43	0,0050	0,50	8,29
30-nov	2018	PK 46	1,05	2,32	208,64	0,0048	0,48	8,77
1-déc	2018	PK 46	0,92	2,33	215,00	0,0047	0,47	9,23
2-déc	2018	PK 46	1,02	2,32	210,30	0,0048	0,48	9,71
3-déc	2018	PK 46	1,08	2,32	207,52	0,0048	0,48	10,19
4-déc	2018	PK 46	0,92	2,33	215,02	0,0047	0,47	10,65
5-déc	2018	PK 46	0,92	2,33	214,60	0,0047	0,47	11,12
6-déc	2018	PK 46	1,03	2,32	209,64	0,0048	0,48	11,60
7-déc	2018	PK 46	1,26	2,30	199,45	0,0050	0,50	12,10
8-déc	2018	PK 46	1,23	2,30	200,41	0,0050	0,50	12,60
9-déc	2018	PK 46	1,33	2,29	196,35	0,0051	0,51	13,11
10-déc	2018	PK 46	1,25	2,30	199,66	0,0050	0,50	13,61
11-déc	2018	PK 46	1,17	2,31	203,26	0,0049	0,49	14,10
12-déc	2018	PK 46	0,72	2,35	224,42	0,0045	0,45	14,54
13-déc	2018	PK 46	0,62	2,36	229,98	0,0043	0,43	14,98
14-déc	2018	PK 46	0,69	2,35	226,15	0,0044	0,44	15,42
15-déc	2018	PK 46	0,77	2,35	222,07	0,0045	0,45	15,87
16-déc	2018	PK 46	0,47	2,38	237,80	0,0042	0,42	16,29
17-déc	2018	PK 46	0,48	2,38	237,32	0,0042	0,42	16,71
18-déc	2018	PK 46	0,49	2,37	237,00	0,0042	0,42	17,14
19-déc	2018	PK 46	0,42	2,38	240,58	0,0042	0,42	17,55
20-déc	2018	PK 46	0,64	2,36	228,93	0,0044	0,44	17,99
21-déc	2018	PK 46	0,76	2,35	222,50	0,0045	0,45	18,44
22-déc	2018	PK 46	0,91	2,33	215,14	0,0046	0,46	18,90
23-déc	2018	PK 46	0,48	2,38	237,44	0,0042	0,42	19,32
24-déc	2018	PK 46	0,20	2,40	253,19	0,0039	0,39	19,72
25-déc	2018	PK 46	0,30	2,39	247,38	0,0040	0,40	20,12
26-déc	2018	PK 46	0,34	2,39	245,07	0,0041	0,41	20,53
27-déc	2018	PK 46	0,36	2,39	244,09	0,0041	0,41	20,94
28-déc	2018	PK 46	0,26	2,40	249,62	0,0040	0,40	21,34
29-déc	2018	PK 46	0,26	2,40	249,59	0,0040	0,40	21,74
30-déc	2018	PK 46	0,11	2,41	259,23	0,0039	0,39	22,13
31-déc	2018	PK 46	0,05	2,42	262,62	0,0038	0,38	22,51
1-janv	2019	PK 46	0,19	2,40	253,94	0,0039	0,39	22,90
2-janv	2019	PK 46	0,19	2,41	254,28	0,0039	0,39	23,29
3-janv	2019	PK 46	0,24	2,40	251,11	0,0040	0,40	23,69
4-janv	2019	PK 46	0,26	2,40	249,83	0,0040	0,40	24,09
5-janv	2019	PK 46	0,29	2,40	248,34	0,0040	0,40	24,50
6-janv	2019	PK 46	0,24	2,40	251,22	0,0040	0,40	24,89
7-janv	2019	PK 46	0,16	2,41	256,09	0,0039	0,39	25,28
8-janv	2019	PK 46	0,34	2,39	245,29	0,0041	0,41	25,69
9-janv	2019	PK 46	0,39	2,38	242,50	0,0041	0,41	26,10
10-janv	2019	PK 46	0,28	2,40	248,86	0,0040	0,40	26,51
11-janv	2019	PK 46	0,55	2,37	233,39	0,0043	0,43	26,94
12-janv	2019	PK 46	0,69	2,35	225,96	0,0044	0,44	27,38
13-janv	2019	PK 46	0,79	2,34	221,11	0,0045	0,45	27,83
14-janv	2019	PK 46	1,00	2,32	210,88	0,0047	0,47	28,30
15-janv	2019	PK 46	1,05	2,32	208,90	0,0048	0,48	28,78
16-janv	2019	PK 46	0,87	2,34	216,98	0,0046	0,46	29,24
17-janv	2019	PK 46	0,99	2,33	211,49	0,0047	0,47	29,72
18-janv	2019	PK 46	0,92	2,33	214,91	0,0047	0,47	30,18
19-janv	2019	PK 46	0,75	2,35	223,26	0,0045	0,45	30,63
20-janv	2019	PK 46	0,64	2,36	228,54	0,0044	0,44	31,07
21-janv	2019	PK 46	0,52	2,37	234,96	0,0043	0,43	31,49
22-janv	2019	PK 46	0,63	2,36	229,14	0,0044	0,44	31,93
23-janv	2019	PK 46	0,53	2,37	234,42	0,0043	0,43	32,36
24-janv	2019	PK 46	0,70	2,35	225,79	0,0044	0,44	32,80

Date	Année	PK	Température moyenne journalière de l'eau (°C)	LogD	D	Taux de développement		% cumulatif
						1/D	%	
25-janv	2019	PK 46	0,79	2,34	221,25	0,0045	0,45	33,25
26-janv	2019	PK 46	0,71	2,35	225,21	0,0044	0,44	33,69
27-janv	2019	PK 46	0,95	2,33	213,18	0,0047	0,47	34,16
28-janv	2019	PK 46	0,88	2,34	216,68	0,0046	0,46	34,63
29-janv	2019	PK 46	0,79	2,35	221,37	0,0045	0,45	35,08
30-janv	2019	PK 46	0,84	2,34	218,62	0,0046	0,46	35,53
31-janv	2019	PK 46	0,76	2,35	222,73	0,0045	0,45	35,98
1-févr	2019	PK 46	0,81	2,34	220,30	0,0045	0,45	36,44
2-févr	2019	PK 46	0,72	2,35	224,64	0,0045	0,45	36,88
3-févr	2019	PK 46	0,72	2,35	224,79	0,0044	0,44	37,33
4-févr	2019	PK 46	0,75	2,35	223,05	0,0045	0,45	37,78
5-févr	2019	PK 46	0,53	2,37	234,62	0,0043	0,43	38,20
6-févr	2019	PK 46	0,64	2,36	228,93	0,0044	0,44	38,64
7-févr	2019	PK 46	0,77	2,35	221,93	0,0045	0,45	39,09
8-févr	2019	PK 46	0,63	2,36	229,11	0,0044	0,44	39,53
9-févr	2019	PK 46	0,45	2,38	239,20	0,0042	0,42	39,94
10-févr	2019	PK 46	0,52	2,37	235,05	0,0043	0,43	40,37
11-févr	2019	PK 46	0,67	2,36	227,33	0,0044	0,44	40,81
12-févr	2019	PK 46	0,67	2,36	227,34	0,0044	0,44	41,25
13-févr	2019	PK 46	0,40	2,38	242,03	0,0041	0,41	41,66
14-févr	2019	PK 46	0,32	2,39	246,60	0,0041	0,41	42,07
15-févr	2019	PK 46	0,47	2,38	237,85	0,0042	0,42	42,49
16-févr	2019	PK 46	0,53	2,37	234,50	0,0043	0,43	42,91
17-févr	2019	PK 46	0,56	2,37	233,27	0,0043	0,43	43,34
18-févr	2019	PK 46	0,52	2,37	235,30	0,0042	0,42	43,77
19-févr	2019	PK 46	0,61	2,36	230,35	0,0043	0,43	44,20
20-févr	2019	PK 46	0,59	2,36	231,18	0,0043	0,43	44,64
21-févr	2019	PK 46	0,67	2,36	227,36	0,0044	0,44	45,07
22-févr	2019	PK 46	0,69	2,35	226,39	0,0044	0,44	45,52
23-févr	2019	PK 46	0,63	2,36	229,38	0,0044	0,44	45,95
24-févr	2019	PK 46	0,67	2,36	227,20	0,0044	0,44	46,39
25-févr	2019	PK 46	0,51	2,37	235,72	0,0042	0,42	46,82
26-févr	2019	PK 46	0,70	2,35	225,68	0,0044	0,44	47,26
27-févr	2019	PK 46	0,59	2,36	231,46	0,0043	0,43	47,69
28-févr	2019	PK 46	0,55	2,37	233,31	0,0043	0,43	48,12
1-mars	2019	PK 46	0,45	2,38	238,82	0,0042	0,42	48,54
2-mars	2019	PK 46	0,57	2,37	232,51	0,0043	0,43	48,97
3-mars	2019	PK 46	0,60	2,36	231,12	0,0043	0,43	49,40
4-mars	2019	PK 46	0,54	2,37	234,12	0,0043	0,43	49,83
5-mars	2019	PK 46	0,57	2,37	232,36	0,0043	0,43	50,26
6-mars	2019	PK 46	0,53	2,37	234,64	0,0043	0,43	50,69
7-mars	2019	PK 46	0,44	2,38	239,67	0,0042	0,42	51,10
8-mars	2019	PK 46	0,56	2,37	232,96	0,0043	0,43	51,53
9-mars	2019	PK 46	0,62	2,36	229,79	0,0044	0,44	51,97
10-mars	2019	PK 46	0,69	2,35	226,04	0,0044	0,44	52,41
11-mars	2019	PK 46	0,63	2,36	229,19	0,0044	0,44	52,85
12-mars	2019	PK 46	0,74	2,35	223,89	0,0045	0,45	53,29
13-mars	2019	PK 46	0,64	2,36	228,81	0,0044	0,44	53,73
14-mars	2019	PK 46	0,79	2,35	221,32	0,0045	0,45	54,18
15-mars	2019	PK 46	0,71	2,35	225,39	0,0044	0,44	54,63
16-mars	2019	PK 46	0,86	2,34	217,70	0,0046	0,46	55,08
17-mars	2019	PK 46	0,70	2,35	225,65	0,0044	0,44	55,53
18-mars	2019	PK 46	0,80	2,34	220,48	0,0045	0,45	55,98
19-mars	2019	PK 46	0,91	2,33	215,25	0,0046	0,46	56,45
20-mars	2019	PK 46	0,99	2,32	211,34	0,0047	0,47	56,92
21-mars	2019	PK 46	1,05	2,32	208,50	0,0048	0,48	57,40
22-mars	2019	PK 46	1,15	2,31	204,17	0,0049	0,49	57,89
23-mars	2019	PK 46	1,10	2,31	206,18	0,0049	0,49	58,37
24-mars	2019	PK 46	1,09	2,32	206,80	0,0048	0,48	58,86
25-mars	2019	PK 46	0,85	2,34	218,17	0,0046	0,46	59,32
26-mars	2019	PK 46	0,64	2,36	228,70	0,0044	0,44	59,75
27-mars	2019	PK 34	0,65	2,36	228,36	0,0044	0,44	60,19
28-mars	2019	PK 34	1,23	2,30	200,72	0,0050	0,50	60,69
29-mars	2019	PK 34	1,43	2,28	192,20	0,0052	0,52	61,21
30-mars	2019	PK 34	1,06	2,32	208,15	0,0048	0,48	61,69
31-mars	2019	PK 34	0,94	2,33	213,99	0,0047	0,47	62,16
1-avr	2019	PK 34	1,27	2,30	198,99	0,0050	0,50	62,66
2-avr	2019	PK 34	1,01	2,32	210,69	0,0047	0,47	63,13
3-avr	2019	PK 34	1,17	2,31	203,09	0,0049	0,49	63,63
4-avr	2019	PK 34	0,62	2,36	229,59	0,0044	0,44	64,06

Annexe 22 (suite)

Calcul du développement embryonnaire théorique en fonction de l'évolution de la température moyenne journalière de l'eau de la Romaine au PK 46 ou au PK 34

Date	Année	PK	Température moyenne journalière de l'eau (°C)	LogD	D	Taux de développement		% cumulatif
						1/D	%	
5-avr	2019	PK 34	0,97	2,33	212,33	0,0047	0,47	64,53
6-avr	2019	PK 34	1,51	2,28	188,82	0,0053	0,53	65,06
7-avr	2019	PK 34	1,65	2,26	183,59	0,0054	0,54	65,61
8-avr	2019	PK 34	1,16	2,31	203,66	0,0049	0,49	66,10
9-avr	2019	PK 34	1,30	2,30	197,65	0,0051	0,51	66,60
10-avr	2019	PK 34	1,70	2,26	181,49	0,0055	0,55	67,16
11-avr	2019	PK 34	1,97	2,23	171,49	0,0058	0,58	67,74
12-avr	2019	PK 34	2,03	2,23	169,48	0,0059	0,59	68,33
13-avr	2019	PK 34	1,89	2,24	174,41	0,0057	0,57	68,90
14-avr	2019	PK 34	2,15	2,22	165,53	0,0060	0,60	69,51
15-avr	2019	PK 34	1,87	2,24	175,09	0,0057	0,57	70,08
16-avr	2019	PK 34	1,26	2,30	199,41	0,0050	0,50	70,58
17-avr	2019	PK 34	2,03	2,23	169,39	0,0059	0,59	71,17
18-avr	2019	PK 34	2,45	2,19	155,92	0,0064	0,64	71,81
19-avr	2019	PK 34	2,09	2,22	167,47	0,0060	0,60	72,41
20-avr	2019	PK 34	2,27	2,21	161,53	0,0062	0,62	73,03
21-avr	2019	PK 34	2,16	2,22	165,08	0,0061	0,61	73,63
22-avr	2019	PK 34	2,54	2,19	153,21	0,0065	0,65	74,28
23-avr	2019	PK 34	2,39	2,20	157,73	0,0063	0,63	74,92
24-avr	2019	PK 34	2,53	2,19	153,50	0,0065	0,65	75,57
25-avr	2019	PK 34	2,33	2,20	159,54	0,0063	0,63	76,20
26-avr	2019	PK 34	2,56	2,18	152,51	0,0066	0,66	76,85
27-avr	2019	PK 34	2,38	2,20	157,87	0,0063	0,63	77,49
28-avr	2019	PK 34	2,09	2,22	167,60	0,0060	0,60	78,08
29-avr	2019	PK 34	2,24	2,21	162,60	0,0061	0,61	78,70
30-avr	2019	PK 34	2,27	2,21	161,62	0,0062	0,62	79,32
1-mai	2019	PK 34	2,51	2,19	153,89	0,0065	0,65	79,97
2-mai	2019	PK 34	2,73	2,17	147,41	0,0068	0,68	80,64
3-mai	2019	PK 34	2,74	2,17	147,29	0,0068	0,68	81,32
4-mai	2019	PK 34	2,62	2,18	150,83	0,0066	0,66	81,99
5-mai	2019	PK 34	2,76	2,17	146,58	0,0068	0,68	82,67
6-mai	2019	PK 34	3,11	2,14	137,35	0,0073	0,73	83,40
7-mai	2019	PK 34	2,85	2,16	144,24	0,0069	0,69	84,09
8-mai	2019	PK 34	2,46	2,19	155,69	0,0064	0,64	84,73
9-mai	2019	PK 34	2,91	2,15	142,46	0,0070	0,70	85,43
10-mai	2019	PK 34	2,95	2,15	141,43	0,0071	0,71	86,14
11-mai	2019	PK 34	2,44	2,19	156,06	0,0064	0,64	86,78
12-mai	2019	PK 34	2,40	2,20	157,32	0,0064	0,64	87,42
13-mai	2019	PK 34	2,57	2,18	152,17	0,0066	0,66	88,08
14-mai	2019	PK 34	2,39	2,20	157,85	0,0063	0,63	88,71
15-mai	2019	PK 34	2,43	2,19	156,49	0,0064	0,64	89,35
16-mai	2019	PK 34	2,43	2,19	156,60	0,0064	0,64	89,99
17-mai	2019	PK 34	2,51	2,19	154,03	0,0065	0,65	90,64
18-mai	2019	PK 34	2,68	2,17	149,11	0,0067	0,67	91,31
19-mai	2019	PK 34	2,80	2,16	145,62	0,0069	0,69	91,99
20-mai	2019	PK 34	2,72	2,17	147,91	0,0068	0,68	92,67
21-mai	2019	PK 34	2,86	2,16	143,81	0,0070	0,70	93,36
22-mai	2019	PK 34	3,18	2,13	135,35	0,0074	0,74	94,10
23-mai	2019	PK 34	3,27	2,12	133,30	0,0075	0,75	94,85
24-mai	2019	PK 34	3,38	2,12	130,52	0,0077	0,77	95,62
25-mai	2019	PK 34	3,69	2,09	123,31	0,0081	0,81	96,43
26-mai	2019	PK 34	3,67	2,09	123,72	0,0081	0,81	97,24
27-mai	2019	PK 34	3,73	2,09	122,47	0,0082	0,82	98,06
28-mai	2019	PK 34	3,95	2,07	117,71	0,0085	0,85	98,91
29-mai	2019	PK 34	3,97	2,07	117,24	0,0085	0,85	99,76
30-mai	2019	PK 34	3,90	2,07	118,74	0,0084	0,84	100,60
31-mai	2019	PK 34	3,88	2,08	119,16	0,0084	0,84	101,44
1-juin	2019	PK 34	3,74	2,09	122,11	0,0082	0,82	102,26
2-juin	2019	PK 34	3,80	2,08	120,79	0,0083	0,83	103,09
3-juin	2019	PK 34	3,94	2,07	117,85	0,0085	0,85	103,93
4-juin	2019	PK 34	4,10	2,06	114,65	0,0087	0,87	104,81
5-juin	2019	PK 34	4,15	2,06	113,61	0,0088	0,88	105,69
6-juin	2019	PK 34	4,24	2,05	111,85	0,0089	0,89	106,58
7-juin	2019	PK 34	4,32	2,04	110,38	0,0091	0,91	107,49
8-juin	2019	PK 34	4,56	2,02	105,81	0,0095	0,95	108,43
9-juin	2019	PK 34	4,61	2,02	105,00	0,0095	0,95	109,38
10-juin	2019	PK 34	4,72	2,01	102,95	0,0097	0,97	110,36
11-juin	2019	PK 34	4,84	2,00	100,91	0,0099	0,99	111,35
12-juin	2019	PK 34	4,92	2,00	99,64	0,0100	1,00	112,35
13-juin	2019	PK 34	5,15	1,98	95,91	0,0104	1,04	113,39

