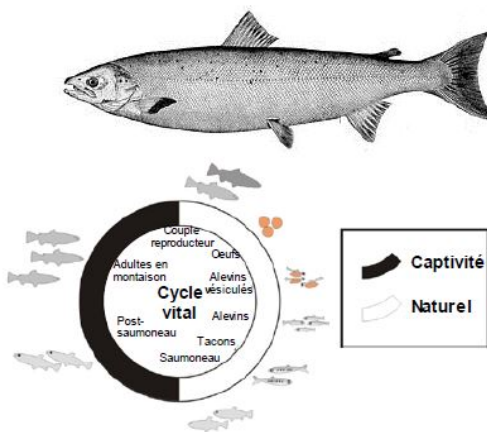
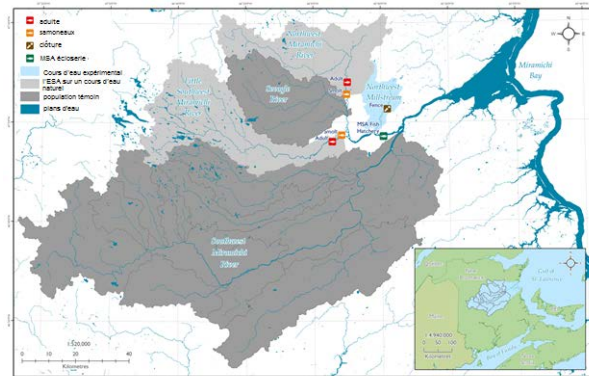




EXAMEN DES RISQUES ET DES AVANTAGES DE LA PROPOSITION D'EXPÉRIENCE D'ENSEMENCEMENT AVEC DES SAUMONEAUX ÉLEVÉS EN CAPTIVITÉ (ESA) JUSQU'À L'ÂGE ADULTE DE COLLABORATION FOR ATLANTIC SALMON TOMORROW (CAST) (PHASE 1 : 2018-2022)



Ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) dans le cycle biologique du saumon de l'Atlantique.



Carte de la rivière Miramichi au Nouveau-Brunswick, Canada, présentant les deux principaux sous-bassins versants associés aux expériences d'ESA. Figure aimablement fournie de la proposition d'expérience d'ESA de CAST : Phase 1 (2018-2022) [Linnansaari et al. 2017]

Contexte :

Les récents déclin à grande échelle de la survie en milieu marin suggèrent que les menaces les plus importantes pour le saumon sauvage de l'Atlantique dans l'est du Canada proviennent du milieu marin, et que la mortalité élevée en milieu marin qui en résulte constitue la principale contrainte au rétablissement de la population de saumon de l'Atlantique (COSEPAC 2010). Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST), un groupe composé d'intervenants multiples, a proposé l'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) afin de contourner la faible survie en milieu marin et accroître le nombre de reproducteurs ainsi que la production de juvéniles en eau douce dans le nord-ouest du bassin de la rivière Miramichi (Nouveau-Brunswick). L'ESA créerait un précédent concernant l'ensemencement des populations de saumon de l'Atlantique dans la Région du Golfe, où les populations affichent un déclin, mais ne sont pas encore en danger immédiat d'extinction. CAST a élaboré une Proposition d'expérience d'ESA dans le but de déterminer s'il constitue une stratégie de conservation fonctionnelle qui peut servir à ensemercer les populations de saumon de l'Atlantique lorsque les objectifs de conservation ne sont pas atteints en raison de la mortalité élevée en milieu marin. Cette proposition d'expérience vise aussi à combler les lacunes connues dans les connaissances scientifiques relativement à la stratégie de conservation d'ESA.

Le présent avis scientifique découle de la réunion de consultation scientifique nationale et d'examen par des pairs de la proposition d'expérience d'ESA de CAST : Phase 1 (2018-2022), tenue les 22 et 23 janvier 2018. Cette réunion d'examen par les pairs avait pour objet l'évaluation des risques et

avantages de la phase 1 du programme d'ESA proposé pour assurer l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi, ainsi que la proposition de mesures d'atténuation pour réduire les risques et accroître les avantages. Cet avis scientifique documentera la Gestion des pêches et de l'aquaculture du MPO, le secteur responsable de la délivrance de permis pour les activités d'ensemencement. Ont participé à cet examen des experts nationaux et internationaux, des organisations autochtones, les Sciences des écosystèmes et des océans du MPO, la Gestion des pêches et de l'aquaculture du MPO, ainsi que des membres du groupe de promoteurs. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

SOMMAIRE

- Dans le cadre de cette réunion d'examen par les pairs, on a passé en revue la phase 1 (2018-2022) de la Proposition d'expérience d'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) de Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST) (version 4, décembre 2017), afin d'évaluer les risques et les avantages de l'expérience proposée d'ESA pour assurer l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi, et de proposer des mesures d'atténuation afin de réduire au minimum les risques et d'accroître les avantages.
- Le Programme 1 : Analyse de la structure génétique des sous-bassins de la proposition d'expérience d'ESA de CAST pose un risque négligeable pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi.
- Malgré des indicateurs d'un faible niveau de différenciation génétique parmi les sous-bassins de la rivière Miramichi, le prélèvement de saumoneaux dans toute la zone expérimentale, la séparation des spécimens des différents sous-bassins tout au long de l'expérience d'ESA de CAST, y compris dans le milieu d'écloserie, et la libération des adultes dans les sous-bassins dans lesquels ils ont été prélevés comme saumoneaux réduiraient les risques génétiques potentiels.
- Le Programme 2 : Expériences en laboratoire de la proposition d'ESA de CAST pose un risque négligeable pour l'intégrité, la survie et le rétablissement de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, le nombre de saumoneaux et de géniteurs prélevés à l'état sauvage aux fins d'expériences en laboratoire étant minime en comparaison à la population totale de la rivière Miramichi.
- La capacité des écloseries peut représenter un risque scientifique pouvant avoir des répercussions sur le succès du programme, car elle peut limiter la flexibilité dans l'ajustement des conditions environnementales dans les bassins, telles que la densité, la luminosité, la température et la qualité de l'eau (système de remplacement et de recirculation d'eau) ainsi qu'avoir des effets sur les poissons d'écloserie relatifs au phénotype, à la sélection génétique et aux maladies.
- Le Programme 3 : Cours d'eau expérimental de la proposition d'expérience d'ESA de CAST pose un faible risque pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, le nombre de poissons issus d'un ESA qu'on propose de libérer dans la rivière Millstream Nord-Ouest étant minime en comparaison à la population totale de la rivière Miramichi.
- L'utilisation de poissons sauvages non locaux (provenant d'autres affluents de la rivière Miramichi) dans le Programme 3 : Cours d'eau expérimental est nécessaire, les poissons endémiques pouvant ne pas être présents dans tout le cours d'eau expérimental. Cela aura pour effet d'augmenter l'incertitude lors de l'interprétation des résultats.
- Le Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel présente plusieurs risques pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi. Une liste approfondie des risques a été présentée à la suite d'un examen précédent (MPO 2016). Les risques propres à la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi déterminés lors de cette réunion d'examen par les pairs sont les suivants :

- Risque de transfert de maladie ou de pathogènes des poissons sauvages aux poissons élevés en captivité et des poissons élevés en captivité aux poissons sauvages;
- Les risques pour la population de poissons sauvages augmentent à mesure que la proportion de poissons issus de l'ESA aux poissons sauvages (ratio) augmente;
- Les risques pour la population de poissons sauvages augmentent à mesure que l'empreinte géographique de l'expérience augmente;
- Risques de ne pas atteindre des résultats pertinents sur le plan scientifique ou de ne pas combler les lacunes dans les connaissances; bien que ces risques ne pèsent pas sur la population sauvage en tant que telle, le fait d'entreprendre l'expérience entraîne un certain niveau de risque pour la population, qui ne sera justifié que si la probabilité que l'expérience atteigne ses objectifs est raisonnable;
- Risque d'obtenir une composante génétique de la population plus petite pour soutenir les libérations de poissons issus de l'ESA si les saumoneaux sont prélevés dans une zone restreinte (si la distribution de l'échantillonnage n'a pas lieu à grande échelle dans le temps et l'espace); la proposition tient compte de ce risque en planifiant des zones de prélèvement multiples réparties dans le temps et l'espace;
- Risque de l'effet Ryman-Laikre : augmentation de la consanguinisation et diminution de la taille totale effective de la population dans un système combiné de poissons élevés en captivité et de poissons sauvages se produisant lorsqu'une grande proportion de la progéniture de quelques parents en captivité fraie dans le milieu naturel; on tient également compte de ce risque dans les protocoles de prélèvement de saumoneaux de la proposition.
- Les avantages du Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique sont les suivants :
 - Possibilité d'obtenir des renseignements sur une approche de recharge à l'ensemencement des populations, en particulier pour aborder les incertitudes déterminées dans un examen antérieur (MPO 2016) de l'ESA par le Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS);
 - Possibilité de valider et d'améliorer les modèles démographiques en obtenant des estimations empiriques pour les paramètres du cycle biologique et les composantes du succès reproducteur des reproducteurs issus de l'ESA et sauvages;
 - Possibilité d'étudier une approche proactive du rétablissement de la population où la population cible a décliné par rapport aux niveaux historiques, mais n'est pas encore en danger immédiat d'extinction;
 - Possibilité d'obtenir des renseignements sur les coûts et avantages des programmes actuels d'ensemencement des stocks de géniteurs et des juvéniles sauvages par rapport à l'ESA.

- Les mesures d'atténuation identifiés lors de cette réunion d'examen par les pairs pouvant permettre de réduire les risques pour la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi comprennent :
 - Instituer un Conseil pour surveiller les résultats de l'expérience et formuler, sur une base annuelle, des recommandations adaptatives sur les activités du programme fondées sur des déclencheurs et des points de décision prédéfinis;
 - Réaliser des examens détaillés à la recherche de maladies ou de pathogènes afin de diminuer le risque de transfert de maladies ou de pathogènes des poissons sauvages aux poissons élevés en captivité et vice versa à partir d'échantillons représentatifs de saumoneaux entrants et de poissons issus de l'ESA prêts à être relâchés;
 - Étudier la génomique de poissons sains, malades et morts, en particulier celle des poissons issus de cohortes en captivité ayant été sujets à une mortalité élevée avant d'être libérés, afin de détecter tout corrélat génétique de la vulnérabilité à la maladie;
 - Ajuster tous les ans le ratio des poissons issus de l'ESA libérés par rapport aux reproducteurs sauvages de sorte que les apports de poissons issus de l'ESA ne dépassent pas les montaisons de poissons sauvages;
 - Mener l'expérience à une plus petite échelle, par exemple, dans un sous-bassin uniquement;
 - Alternier les années de libérations de poissons issus de l'ESA si l'expérience est réalisée dans deux sous-bassins;
 - Poursuivre la modélisation afin d'étudier les risques et d'optimiser les paramètres d'ensemencement;
 - Augmenter les efforts d'échantillonnage pour améliorer l'efficacité statistique des expériences.
- Le séquençage de programmes proposés (Programmes 1 à 4) présente un faible risque pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, étant donné que les activités du Programme 4 ne dépendent pas des activités des Programmes 1 à 3.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Les récents déclin à grande échelle de la survie en milieu marin suggèrent que les menaces les plus importantes pour le saumon sauvage de l'Atlantique dans l'est du Canada proviennent du milieu marin, et que la mortalité élevée en milieu marin qui en résulte constitue la principale contrainte au rétablissement de la population de saumon de l'Atlantique (COSEPAC 2010). Afin de contourner la phase marine du cycle biologique du saumon de l'Atlantique et de maintenir le nombre d'adultes, l'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) a été proposé à titre d'approche de rechange visant à prévenir la disparition de l'espèce, à réduire au minimum la perte de diversité génétique et à conserver les populations de saumon de l'Atlantique jusqu'à ce que les conditions de survie en milieu marin deviennent favorables (MPO 2008; MPO 2016). L'ESA consiste en la capture de saumoneaux sauvages, leur élevage en captivité jusqu'au stade adulte, et la remise en liberté subséquente des poissons adultes élevés en captivité dans leur rivière d'origine pour que ceux-ci complètent leur cycle vital biologique (MPO 2016). Un examen scientifique par les pairs des risques et

avantages de l'ESA sur le succès reproducteur des saumons sauvages de l'Atlantique a été effectué en décembre 2015 (MPO 2016).

Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST), un groupe composé d'intervenants multiples, a élaboré une proposition d'expérience d'ESA (Linnansaari *et al.* 2017) dans le but de déterminer si l'ESA constitue une stratégie de conservation fonctionnelle qui peut servir à ensemercer les populations de saumon de l'Atlantique lorsque les cibles de conservation ne sont pas atteintes en raison de la mortalité élevée en milieu marin, en particulier dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest (Nouveau-Brunswick). Cette proposition d'expérience vise aussi à combler les lacunes connues dans les connaissances scientifiques relativement à la stratégie de conservation d'ESA. L'approche a pour objectif de contourner la faible survie en milieu marin, de manière à augmenter le nombre de reproducteurs et la production de juvéniles en eau douce.

L'ESA a été utilisé avec les populations de saumon de l'Atlantique en voie de disparition de la baie de Fundy, au Canada, et dans le Maine, aux États-Unis, ainsi qu'avec les populations de saumon du Pacifique ayant connu un déclin précipité, mais il n'a été utilisé qu'une seule fois pour l'ensemencement de populations sauvages dont le déclin n'a pas encore atteint ce niveau (voir le sommaire dans Fraser 2016). L'ESA créerait un précédent concernant l'ensemencement des populations de saumon de l'Atlantique dans la Région du Golfe, où les populations affichent un déclin, mais ne sont pas encore en danger immédiat d'extinction. MPO (2016) indique que bien que l'ESA réduise certains des risques connus associés à l'ensemencement traditionnel avec des saumons juvéniles, il entraîne des risques à d'autres moments du cycle de vie anadrome, qui ne sont d'ailleurs pas bien compris.

La proposition d'ESA de CAST adopte une approche en deux phases : la phase 1 consiste à prélever des saumoneaux sauvages, à les élever en captivité et à les relâcher une fois adultes, tandis que la phase 2 est une période de surveillance sans remise en liberté de saumons issus de l'ESA. L'objectif de la réunion d'examen par les pairs était de passer en revue la phase 1 (2018-2022) (Linnansaari *et al.* 2017) de la proposition d'expérience d'ESA de CAST, pour évaluer les risques et les avantages du programme proposé d'ESA sur l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi, et proposer des mesures d'atténuation afin de réduire au minimum les risques et d'accroître les avantages (Chaput *et al.* 2016, MPO 2016, MPO 2018, Fraser 2016 et Pavey 2016 serviront de références principales).

ÉVALUATION

Programme 1 : Structure génétique des sous-bassins de saumon de l'Atlantique dans la rivière Miramichi

Ce premier niveau d'étude de la Proposition d'expérience d'ESA de CAST vise à évaluer la structure génétique des sous-bassins de saumon de l'Atlantique de la rivière Miramichi et la nécessité de maintenir des chaînes d'élevage particulières pour la production par ESA de poissons provenant de différents sous-bassins. La compréhension de la structure génétique des sous-bassins de la rivière Miramichi est fondamentale pour mettre en marche une expérience d'ESA, car elle établit les fondements nécessaires pour s'assurer que les chaînes d'élevage des saumoneaux sont conçues de manière adéquate pour protéger les populations naturelles de certains des risques génétiques potentiels. Cette compréhension définit également le niveau de différenciation génétique de référence entre les affluents. Elle permet en outre de jeter les bases pour la détection des changements génétiques pendant et après une expérience d'ESA.

Jusqu'à récemment, peu de données ont été publiées sur la génétique et le degré d'adaptation locale dans les sous-bassins de la rivière Miramichi (Chaput *et al.* 2016).

Les travaux résumés dans la Proposition sont essentiellement terminés, et les résultats sont en cours d'examen aux fins de publication. Les résultats ont été présentés par l'un des auteurs de l'étude (L. Bernatchez) et ont été examinés lors de la réunion. Sept cent soixante-quatorze (774) tacons âgés de 1+ ont été prélevés en 2016 au moyen de relevés par pêche à l'électricité (voir figure 1). Les sites ont été regroupés en grands bassins hydrographiques (sous-bassins) et des échantillons ont été génotypés à l'aide d'une matrice de SNP 50K. Les résultats indiquent des niveaux de différenciation génétique en moyenne très faibles (dans tous les locus) parmi les sous-bassins de la rivière Miramichi. Les bassins les plus différenciés étaient le ruisseau Rocky, la rivière Taxis et la rivière Millstream Nord-Ouest. À l'exception de ces trois sous-bassins, les résultats indiquent que la différenciation génétique est assez faible pour que les spécimens ne puissent être réassignés à des sous-bassins du réseau.

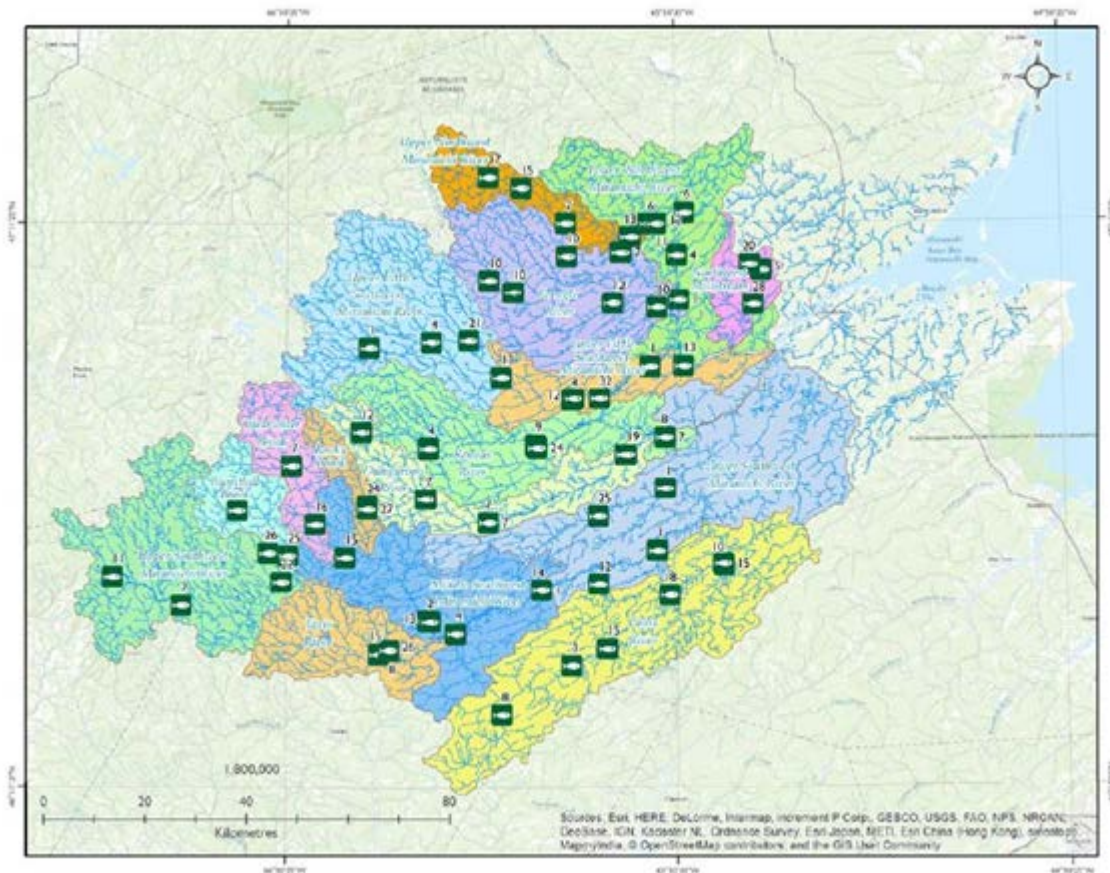


Figure 1 : Sous-bassins de la rivière Miramichi dans lesquels l'échantillonnage de données génétiques de référence a été entrepris à l'automne 2016 avec des tailles d'échantillons proportionnelles à chaque emplacement. Figure aimablement fournie de la Proposition d'expérience d'ESA de CAST : Phase 1 (2018-2022) [Linnansaari *et al.* 2017].

Le niveau de différenciation génétique entre les sous-bassins s'est avéré exceptionnellement bas pour un réseau de cette taille. Les facteurs ayant pu contribuer à ce manque de différenciation dans la structure génétique comprennent le long historique d'ensemencement du réseau et la grande taille effective de sa population. Les trois sites dont les sous-bassins sont le plus différenciés sont ceux dont les tailles effectives de populations sont les plus faibles.

Programme 1 : L'analyse génétique du sous-bassin de la Proposition d'expérience d'ESA de CAST pose un risque négligeable pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi. Des travaux supplémentaires permettant de préciser et de confirmer les résultats de l'analyse ont été recommandés.

Recommandations relatives aux travaux futurs

- Malgré les indicateurs de faible variation génétique mis en évidence dans cette étude, le prélèvement de saumoneaux dans toute la zone expérimentale et la séparation des spécimens des différents sous-bassins tout au long de l'expérience d'ESA de CAST, y compris dans le milieu d'écloserie, réduiraient les risques génétiques potentiels. Les adultes devraient être libérés dans les sous-bassins dans lesquels ils ont été prélevés lorsqu'ils étaient des saumoneaux.
- Reprendre l'analyse génétique des sous-bassins à l'automne 2018 pour évaluer la variation temporelle.
- Si possible, analyser les échantillons historiques des matières biologiques (p. ex., des écailles) provenant de la rivière Miramichi afin de déterminer le niveau historique de différenciation génétique avant l'ensemencement.
- Recommencer l'analyse génétique des sous-bassins dans les mêmes emplacements cinq ans après la mise en marche de l'expérience d'ESA dans l'environnement de cours d'eau naturel, comme indiqué dans la proposition.

Programme 2 : Expériences en laboratoire

Le Programme 2 de la Proposition d'expérience d'ESA de CAST vise à évaluer, dans un environnement entièrement contrôlé, les caractéristiques phénotypiques et génotypiques de poissons sauvages adultes et issus de l'ESA, ainsi que de leur descendance. Des paramètres tels que la fécondité, le succès de la fertilisation, la taille des œufs et la survie des jeunes seraient utilisés pour évaluer le succès reproducteur des poissons sauvages et de ceux issus d'ESA. Ces données permettraient de documenter toute modification ou tout perfectionnement des pratiques d'élevage afin de continuellement améliorer la qualité phénotypique des individus issus d'ESA.

Le Programme 2 : Expériences en laboratoire de la Proposition d'ESA de CAST pose un risque négligeable pour l'intégrité, la survie et le rétablissement de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, le nombre de saumoneaux et de géniteurs prélevés à l'état sauvage aux fins d'expériences en laboratoire étant minime en comparaison à la population totale de la rivière Miramichi.

Facteurs environnementaux

Les facteurs abiotiques (p. ex., température et salinité de l'eau), l'élevage à des densités élevées, ou dans un milieu confiné et les régimes alimentaires sont des exemples des risques associés à l'environnement d'écloserie qui peuvent engendrer des déviations des caractéristiques des spécimens sauvages au moyen d'une plasticité phénotypique et de la sélection de domestication (une liste exhaustive est présentée au tableau A2 dans l'examen du MPO 2016). Dans la proposition à l'étude, les poissons en captivité seraient élevés en eau douce et ne seraient donc plus exposés à l'environnement marin comme la population sauvage. Bien qu'une vaste gamme de facteurs puissent influencer sur le succès reproducteur des poissons

élevés en captivité, le simple fait de se trouver en captivité plutôt qu'en milieu naturel constituera le facteur prédominant ayant une incidence sur le succès reproducteur.

La modification de facteurs environnementaux en captivité, comme limiter l'interaction avec l'homme, élever le poisson dans des conditions de faible densité, nourrir les poissons à une certaine distance ou contrôler la lumière et la température de l'eau peut réduire les risques de changements phénotypiques (par sélection de domestication ou plasticité phénotypique) des poissons d'écloserie (pouvant être utilisés dans des programmes ultérieurs de l'expérience d'ESA de CAST).

Capacité des écloseries

La capacité des écloseries peut représenter un risque scientifique pouvant avoir des répercussions sur le succès du programme, car elle peut limiter la flexibilité dans l'ajustement des conditions environnementales dans les bassins, telles que la densité, la luminosité, la température et la qualité de l'eau (système de remplacement et de recirculation d'eau) ainsi qu'avoir des répercussions sur les poissons d'écloserie. Les installations d'élevage de saumoneaux du Centre de conservation du saumon de la Miramichi fonctionnent actuellement à plein rendement. L'ajout de nouveaux bassins permettrait de mener davantage d'expériences afin d'étudier les répercussions des influences environnementales sur le succès reproducteur des poissons d'écloserie.

Transfert de maladies et de pathogènes

Outre les efforts actuellement déployés pour surveiller et limiter les maladies et les pathogènes dans l'environnement d'écloserie, des échantillons d'individus représentatifs des saumoneaux entrants et des poissons issus de l'ESA (adultes) au moment d'être relâchés devraient faire l'objet d'analyses aux fins de recherche de maladies et de pathogènes. La surveillance des maladies devrait également avoir lieu en captivité et lors du déplacement de poissons d'un bassin à un autre. Un Certificat de transfert est exigé pour réintroduire les poissons des écloseries dans le milieu naturel, ce qui nécessite généralement la nécropsie d'un nombre prédéfini d'individus sacrifiés. Un dépistage des maladies/pathogènes plus complet que celui exigé pour l'obtention du Certificat de transfert devrait être envisagé.

Les recommandations suivantes visant à améliorer la proposition ont été effectuées.

Recommandations

- Analyser un échantillon d'individus représentatifs des groupes de saumoneaux entrants et des adultes issus de l'ESA avant qu'ils soient relâchés afin d'évaluer leur état de santé, ainsi que la présence de maladies et de pathogènes spécifiques. Des tests et le suivi de l'état de santé devraient également être effectués pendant la captivité.
- Consigner tous les poissons morts et euthanasiés avec un minimum de renseignements démographiques et historiques (date, bassin, conditions externes, etc.). Une simple nécropsie macroscopique, faisant à tout le moins des observations macroscopiques externes et internes de la plupart des poissons trouvés morts ou ayant été euthanasiés est recommandée. Des procédures de collecte de tissus devraient être effectuées stratégiquement sur les nécropsies sélectionnées de poissons représentatifs.
- Mettre sur pied un protocole pour le personnel afin que les nécropsies et les rapports soient effectués de manière uniforme et pour que les tissus soient adéquatement collectés pour de potentiels essais moléculaires, la culture ou l'histopathologie.

- Étudier la génomique de poissons sains, malades et morts, en particulier celle des poissons issus de cohortes en captivité ayant été sujettes à une mortalité élevée avant d'être libérées, afin de déceler tout corrélât génétique de la vulnérabilité à la maladie.
- Il faudrait envisager d'ajouter à la liste de paramètres du succès reproducteur présentée dans la proposition les capacités de locomotion (nage) et le moment de l'émergence de la descendance. Le moment de l'émergence de la descendance peut avoir des répercussions importantes sur la survie en milieu naturel. Les capacités de locomotion peuvent être mesurées en variant le débit d'eau dans le bassin d'écloserie afin d'augmenter la vitesse de déplacement et les capacités de nage des poissons issus d'ESA.
- Bien que le fait de continuellement améliorer les conditions d'élevage à la lumière de l'expérience risque de compliquer l'interprétation des résultats finaux, la conception actuelle de l'expérience, qui permet l'amélioration continue des conditions d'élevage, est appropriée pour l'atteinte des objectifs.
- Même si la proposition vise à relâcher dans le milieu naturel des poissons issus d'expériences scientifiques sans suivi ultérieur, il serait préférable soit de les éliminer, soit d'utiliser ces spécimens précieux dans d'autres expériences. Ils pourraient être utilisés, par exemple, dans des expériences sur le terrain en conditions semblables afin d'étudier le rendement relatif des différents croisements et d'en assurer le suivi. La portion supérieure de la rivière Millstream Nord-Ouest a été déterminée comme emplacement possible pour ces types d'expérience en milieu naturel.
- Le poisson des expériences en laboratoire pourrait également être utilisé pour des expériences épigénétiques et d'expression génique qui aideraient à comprendre les mécanismes derrière tout changement phénotypique intergénérationnel observé, en particulier ceux associés à l'élevage en écloserie du stade de saumoneau jusqu'à l'âge adulte. L'approche permettrait de quantifier l'ampleur de la reprogrammation épigénétique causée par l'effet maternel et l'environnement d'écloserie ainsi que les conséquences sur les profils d'expression génétique. L'évaluation des mêmes paramètres pour les descendants de poissons nés de parents issus de l'ESA serait également utile afin de déterminer l'ampleur des effets multigénérationnels.

Cette recommandation dépasse la portée de la proposition, mais sa mise en œuvre serait bénéfique pour l'évaluation des répercussions à long terme de l'ESA sur la population.

Programme 3 : Cours d'eau expérimental

Le Programme 3 : Cours d'eau expérimental consistera en la libération dans un petit cours d'eau naturel d'un nombre restreint d'adultes issus de l'ESA afin de comprendre comment ces poissons réagiront au milieu naturel et interagiront avec le saumon sauvage. On propose que les études contrôlées aient lieu dans le cours supérieur de la rivière Millstream Nord-Ouest (voir figure 2). L'expérience proposée se pencherait sur le comportement, les niveaux d'activité et la survie des adultes issus de l'ESA et des adultes sauvages, ainsi que sur la survie de la descendance des adultes issus de l'ESA et des adultes sauvages, sa croissance et son comportement. Le poisson sauvage nécessaire à l'expérience devra probablement être prélevé dans un autre affluent de la rivière Miramichi, puis transporté au site de cours d'eau expérimental, les adultes sauvages anadromes pouvant ne pas être toujours présents dans la rivière Millstream Nord-Ouest.

Selon le protocole proposé, 20 paires (20 femelles, 20 mâles) de poissons sauvages et 20 paires issues de l'ESA seraient relâchées annuellement pendant trois ans dans le cours d'eau expérimental. Tous les poissons relâchés seraient génotypés, munis de radio-émetteurs

et marqués à l'aide d'un transpondeur passif intégré, et leur comportement, leur survie et leur répartition feraient l'objet d'un suivi. La descendance ferait l'objet d'échantillonnages par pêche à l'électricité dans les années suivantes, la parenté serait assignée par génotypage, et la répartition, la survie et le comportement seraient surveillés.

Le Programme 3 : Cours d'eau expérimental pose un faible risque pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, le nombre de poissons issus de l'ESA qu'on propose de libérer dans la rivière Millstream Nord-Ouest étant minime en comparaison à la population totale de la rivière Miramichi (milliers de reproducteurs dans les dernières années, MPO 2018).

En plus des incertitudes caractéristiques de la tenue d'expériences dans un cours d'eau naturel, l'utilisation de poissons sauvages non locaux (provenant d'autres affluents de la rivière Miramichi) pour comparer le comportement, les niveaux d'activité et la survie des poissons sauvages et issus de l'ESA ajoute une part d'incertitude à l'interprétation des résultats, les poissons sauvages non locaux n'étant pas natifs du cours d'eau expérimental. Des approches de rechange à la composante de cours d'eau expérimental ont été envisagées afin d'améliorer l'intégrité scientifique, et la recommandation suivante a été formulée.

Recommandation

- Le fait d'utiliser la descendance obtenue lors des expériences en laboratoire, d'introduire des croisements connus et un nombre contrôlé de poissons de la progéniture dans une expérience sur le terrain en conditions semblables afin d'étudier et d'effectuer le suivi du rendement relatif de différents croisements, plutôt que de dépendre sur le frai en milieu naturel de poissons issus de l'ESA, pourrait permettre de réduire les incertitudes liées à l'expérience.

Cependant, cette approche (introduction d'individus provenant de croisements connus) ne permettrait pas d'évaluer les interactions en milieu naturel lors du frai entre les poissons sauvages et ceux issus de l'ESA, ce qui constitue l'un des objectifs de l'expérience d'ESA proposée par CAST.

Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel

Le Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel vise à réaliser une expérience afin de surveiller le comportement et la réussite du frai des saumons adultes issus de l'ESA par rapport aux saumons adultes sauvages dans les cours d'eau naturels, et à évaluer les différences subséquentes en matière de densité, de survie et de croissance ainsi que les différences génétiques et phénotypiques de la descendance. Cette partie de l'étude a pour but de favoriser la compréhension de la contribution générationnelle des saumons adultes issus de l'ESA par rapport à celle des saumons adultes sauvages, notamment si les parents issus de l'ESA produisent une descendance qui migre vers l'océan et retourne aux rivières pour frayer avec succès et contribuer à la production de juvéniles sains.

Les sous-bassins proposés pour le quatrième niveau d'étude sont le sous-bassin de la Petite rivière Miramichi du Sud-Ouest (PSO) en amont de Sillikers et le sous-bassin de la rivière Miramichi Nord-Ouest (MNO) en amont de l'embouchure de Trout Brook (voir figure 2). La rivière Sevogle ne verra pas d'interventions et abritera une population témoin au sein du réseau hydrographique. De même, l'ensemble du réseau hydrographique de la rivière Miramichi Sud-Ouest servira de site témoin. On propose de libérer des saumons adultes dans les deux sous-bassins chaque année de 2018 à 2022.

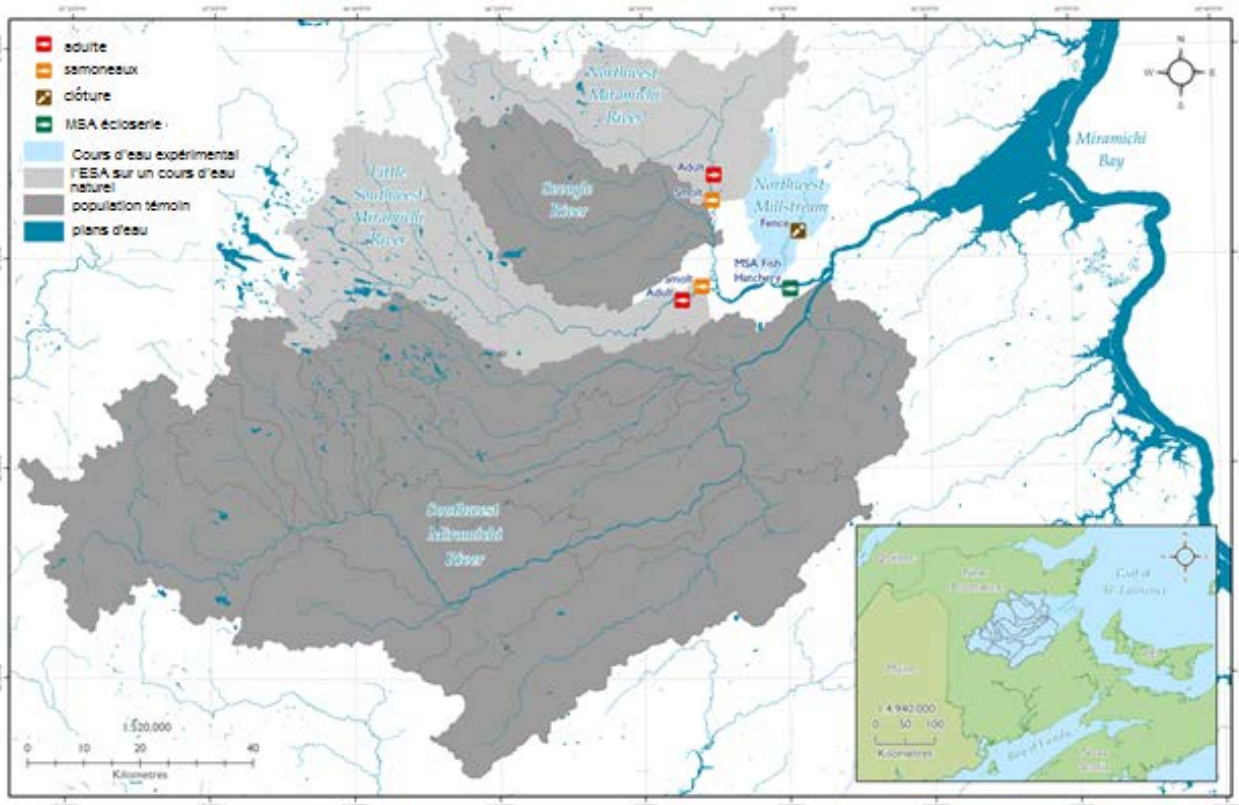


Figure 2 : La rivière Miramichi au Nouveau-Brunswick, Canada, indiquant les deux principaux sous-bassins versants associés aux expériences d'ESA : le cours d'eau expérimental (la rivière Millstream Nord-Ouest), et les deux sous-bassins avec l'intervention proposée d'ESA (la rivière Miramichi Sud-Ouest et la rivière Miramichi Nord-Ouest). Les symboles oranges avec un poisson indiquent les zones de collecte des saumoneaux sauvages et les symboles rouges avec un poisson indiquent les lieux de libération des adultes matures. Le Centre de conservation du saumon de la Miramichi est le lieu d'élevage du saumon jusqu'à maturité. Figure aimablement fournie de la proposition d'expérience d'ESA de CAST : Phase 1 (2018-2022) [Linnansaari et al. 2017].

Risques du Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel

Le Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel présente plusieurs risques pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi.

Une liste approfondie des risques a été présentée dans l'examen du MPO 2016 (voir Tableaux A2 et A3), y compris la perte d'adaptation en mer des saumons adultes issus de l'ESA et l'introduction subséquente de génotypes non sélectionnés dans le réseau hydrographique, la descendance de saumons issus de l'ESA au stade précoce en compétition avec les juvéniles sauvages, la compétition pour trouver des partenaires, la perturbation du frai sauvage et la réduction du succès reproducteur de la descendance de saumons adultes issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages regagnant leur rivière natale. Ceux-ci demeurent pertinents pour évaluer la proposition d'expérience d'ESA de CAST.

Les risques à la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi déterminés lors de cette réunion d'examen par les pairs sont indiqués ci-dessous (certains de ces risques ont été déterminés précédemment dans l'examen du MPO 2016).

- **Risque de transfert de maladies ou de pathogènes des poissons sauvages aux poissons élevés en captivité et des poissons élevés en captivité aux poissons sauvages**

Les poissons élevés en captivité sont souvent vulnérables à une présence accrue de pathogènes et de parasites du fait d'être élevés en captivité à des densités plus élevées que dans la nature, et peuvent subir des modifications génétiques associées à divers régimes ou à diverses charges de pathogènes ou de parasites par la sélection de domestication. Par conséquent, la libération de poissons élevés en captivité pourrait agir comme vecteur de maladies chez les poissons sauvages et pourrait contribuer ainsi à l'appauvrissement des populations sauvages. En plus du le risque de maladie ou de pathogènes développés en captivité, de pathogènes, de parasites ou de maladie pourrait être introduit par le poisson sauvage qui entre dans le milieu d'écloserie.

La libération de poissons élevés en captivité dans le milieu naturel requiert un Certificat de transfert certifiant que les poissons sont exempts de maladie, mais il serait bon d'envisager de réaliser un examen plus approfondi des maladies, des pathogènes et des parasites (voir recommandations du Programme 2 et le paragraphe ci-dessous concernant les mesures d'atténuation).

- **Le risque pour la population de poissons sauvages augmente à mesure que la proportion de poissons issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages (ratio) augmente**

À mesure que la proportion de saumons adultes issus de l'ESA augmente par rapport aux saumons sauvages regagnant leur rivière natale, le risque général pour la population sauvage augmente également (MPO 2016). Le nombre de libérations de saumons adultes issus de l'ESA ne devrait jamais dépasser le nombre de montaisons de saumons adultes sauvages, mais devrait être suffisamment élevé pour permettre une efficacité statistique suffisante pour combler les lacunes dans les connaissances.

À l'heure actuelle, CAST propose de relâcher environ 1 850 et 1 550 saumons issus de l'ESA dans dans les sous-bassins MNO et PSO, respectivement, lors de l'année 1. De l'année 2 à l'année 5, on propose que les libérations annuelles incluent les saumons adultes matures qui survivent à la suite des 2 500 prélèvements de saumoneaux dans chaque sous-bassin, moins les saumons adultes requis pour les Programmes 2 et 3, avec l'objectif de relâcher environ 2 000 poissons dans chaque sous-bassin chaque année. On propose que le ratio maximal de libérations de saumons adultes issus de l'ESA par rapport aux saumons adultes sauvages soit de 1 pour 1 (Linnansaari *et al.* 2017).

Dans le cadre de la proposition d'expérience d'ESA de CAST, on utilisera le sonar d'imagerie ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar, un système de sonar expérimental) pour recenser les montaisons de saumons adultes sauvages dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et la rivière Miramichi Sud-Ouest, ce qui permettra d'ajuster davantage le ratio des poissons sauvages par rapport aux poissons issus de l'ESA dans le réseau hydrographique. Cependant, il y a une incertitude avec les comptes ARIS car, actuellement, il ne peut rapporter que le nombre de poissons et leurs tailles respectives et doit également s'appuyer sur des informations telles que le moment de migration et le comportement des poissons pour déchiffrer la composition des espèces. Comme pour toute évaluation de l'abondance du poisson, cette méthode comporte des incertitudes qui devraient être prises en compte au moment de déterminer l'abondance.

Selon les récentes estimations de l'abondance publiées par le MPO et le nombre proposé de libérations, la proportion des éventuels reproducteurs issus de l'ESA par rapport au nombre total de reproducteurs sauvages serait de 25 % à 50 % dans la sous-bassin PSO et de 40 % à 80 % dans le sous-bassin MNO.

- **Les risques pour la population de poissons sauvages augmentent à mesure que l'empreinte géographique de l'expérience augmente**

Plus l'échelle géographique des expériences d'ESA est grande, plus le risque pour la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi est important. Le sous-bassin PSO représente 47 % de l'habitat fluvial total du saumon de l'Atlantique dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest, et le sous-bassin MNO en amont de la rivière Sevogle en représente 23 %. Tel que CAST le propose actuellement, l'expérience d'ESA couvrirait donc 70 % de l'ensemble de l'aire de croissance dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest. Bien qu'une échelle géographique réduisant au minimum le risque pour la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi n'ait pas été déterminée, il a été convenu que la concentration des interventions d'ESA à une plus petite échelle réduirait le risque général pour la population de saumon sauvage de l'Atlantique.

- **Risque de ne pas obtenir des résultats pertinents sur le plan scientifique ou de ne pas combler les lacunes dans les connaissances**

Il y a des risques de ne pas obtenir des résultats pertinents sur le plan scientifique pour combler les lacunes dans les connaissances sur l'ESA si la conception expérimentale n'est pas suffisamment solide. Même s'il ne s'agit pas de risques directs pour l'intégrité, la survie et le rétablissement de la population sauvage en tant que tels, les risques pour la population encourus dans le cadre de l'expérience proposée devraient être justifiés en réduisant au minimum les risques scientifiques.

Par exemple, si trop peu de saumons adultes regagnant leur rivière natale (en pourcentage) sont capturés, échantillonnés et génotypés, il ne serait pas possible d'obtenir des estimations précises du succès reproducteur avec des adultes moyen (succès reproducteur) de la descendance de poissons issus de l'ESA et des poissons adultes sauvages; ces renseignements sont nécessaires pour évaluer les risques génétiques des activités d'ESA pour le saumon sauvage de la rivière Miramichi. Les quantités proposées (et les proportions attendues) de saumons regagnant leur rivière natale qui devraient être génotypés sont probablement actuellement trop faibles pour permettre d'évaluer les effets génétiques de l'ESA.

D'autres risques menaçant l'atteinte des objectifs scientifiques sont également soulignés dans le présent rapport.

- **Risque d'obtenir une composante génétique de la population plus petite pour appuyer les libérations de poissons issus de l'ESA**

Si les saumoneaux sont récoltés dans une aire localisée et si l'échantillonnage n'est pas réparti dans le temps et l'espace, il y a un risque d'obtenir une représentation génétique de la population plus faible pour appuyer les libérations de poissons issus de l'ESA. Ce risque est pris en compte dans la proposition d'expérience d'ESA de CAST qui répartit les prélèvements de saumoneaux dans le temps et l'espace.

- **Risque de l'effet Ryman-Laikre**

Il y a un risque de l'effet Ryman-Laikre qui se produit lorsque peu de parents en captivité produisent un grand nombre de progénitures qui frayent dans la nature, étant donné que cela entraîne une augmentation de la consanguinité et une diminution de la taille totale effective de la population dans le système combiné de poissons élevés en captivité et de poissons sauvages (Waples *et al.* 2016).

La conception expérimentale proposée devrait être appropriée pour éviter ce risque, mais la mortalité et la sélection au stade d'élevage en captivité pourraient accroître ce risque.

Avantages du Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel

Voici les avantages pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi :

- Possibilité d'obtenir des renseignements sur une autre approche d'ensemencement des populations, et spécifiquement de répondre aux incertitudes déterminées dans l'examen du MPO (2016) en obtenant des renseignements sur le terrain;
- Possibilité de valider et d'améliorer les modèles démographiques en obtenant des estimations empiriques pour les paramètres importants concernant le cycle biologique comme les taux de survie, et les composantes du succès reproducteur relatif des reproducteurs issus de l'ESA et des reproducteurs sauvages et de la descendance;
- Possibilité d'étudier une approche proactive de rétablissement de la population où la population cible, bien que peu abondante par rapport aux niveaux historiques, n'est pas encore en danger immédiat d'extinction;
- Possibilité d'obtenir des renseignements sur les coûts et les avantages des programmes actuels d'ensemencement des stocks de géniteurs et des juvéniles sauvages en comparaison à l'ESA, étant donné que les poissons issus des programmes d'ensemencement des juvéniles en cours seraient également échantillonnés dans l'expérience proposée.

Mesures d'atténuation visant à réduire les risques du Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel

On a considéré dans le cadre de la réunion plusieurs mesures d'atténuation qui pourraient permettre de réduire le risque des activités proposées.

- **Mettre en place un Conseil pour surveiller les résultats de l'expérience et formuler des recommandations adaptatives sur les activités du programme chaque année**

Un plan de gestion adaptative est compris dans la Proposition d'expérience de CAST, une caractéristique importante de la gestion des risques d'un programme expérimental de ce genre. Un Conseil devrait être mis en place pour surveiller les résultats et formuler des recommandations adaptatives sur les activités du programme chaque année. Les points critiques et les points de décision devraient être convenus avant l'expérience, et il devrait être permis d'apporter des ajustements à l'ensemble des éléments, y compris le séquençage du programme, à la suite de l'examen annuel.

Des exemples de mesures qui pourraient être prises si le Conseil déterminait un risque de danger génétique irréversible pour la population comprennent la cryopréservation du sperme du saumon sauvage de l'Atlantique et la libération uniquement de femelles issues

de l'ESA pour réduire les interactions entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages.

- **Réaliser des examens détaillés de la présence de maladies ou de pathogènes pour réduire le risque de transfert de maladies ou de pathogènes des poissons sauvages aux poissons élevés en captivité et des poissons élevés en captivité aux poissons sauvages**

Mettre à l'essai les échantillons représentatifs de saumoneaux entrants et de poissons issus de l'ESA avant leur libération afin de déterminer la présence de maladies ou de pathogènes, pendant la captivité et le transfert. La libération des poissons dans la nature requerra un Certificat de transfert certifiant que les poissons sont exempts de maladies particulières, mais il serait bon d'envisager de réaliser un examen plus approfondi des maladies, des pathogènes et des parasites, afin d'accroître la certitude.

Des détails supplémentaires concernant les mesures de contrôle de la santé des poissons recommandées qui atténueraient le risque sont présentés dans les recommandations du Programme 2.

- **Ajuster le ratio des poissons issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages chaque année de manière à ce que les entrées de poissons issus de l'ESA ne dépassent pas les montaisons de poissons sauvages**

Le nombre de saumons issus de l'ESA relâchés dans un affluent ne devrait pas dépasser le nombre de montaisons de saumons adultes sauvages dans l'affluent au cours d'une année donnée; on a discuté d'un ratio de poissons issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages de 1 pour 1 à la réunion comme représentant un équilibre raisonnable entre l'atténuation des éventuels effets des poissons issus de l'ESA sur la population sauvage et l'optimisation de l'efficacité statistique pour détecter les différences quant au succès reproducteur de la descendance de poissons issus de l'ESA (saumons issus de l'ESA F1) par rapport aux saumons sauvages. Il serait difficile d'ajuster les libérations de poissons issus de l'ESA chaque année en fonction d'un ratio souhaité étant donné qu'il n'est actuellement pas possible de prévoir les montaisons dans les sous-bassins. À l'aide des récentes estimations des montaisons générales, il peut être possible d'obtenir une valeur approximative des montaisons sur lesquelles se fonder pour évaluer le nombre de libérations annuelles de femelles issues de l'ESA.

- **Mener l'expérience à plus petite échelle, par exemple, dans un seul sous-bassin**

La réalisation de l'expérience à plus petite échelle géographique réduirait la portée et le risque potentiel de l'expérience, qui, comme cela a été proposé, couvrirait 70 % de l'habitat fluvial du réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest. On a discuté de trois sous-bassins possibles :

- Le sous-bassin PSO, couvrant 40 % de l'habitat fluvial du réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest, se déverse dans les eaux de marée, ce qui réduit le risque d'égarement de saumons issus de l'ESA dans d'autres sous-bassins.
- Le sous-bassin MNO, couvrant 23 % de l'habitat fluvial du réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest, se situe en amont de l'embouchure de la rivière Sevogle, permettant éventuellement des égarements (y compris de poissons affectés par les poissons issus de l'ESA) dans la rivière Sevogle.
- La rivière Millstream Nord-Ouest ne couvre que 3 % de l'habitat fluvial du réseau hydrographique. Étant donné que les poissons indigènes ne sont pas toujours

présents dans le réseau hydrographique, l'utilisation de poissons sauvages non locaux (provenant d'autres affluents de la rivière Miramichi) serait requise. De plus, les barrages de castors bloquent de façon persistante ce réseau hydrographique.

La diminution de l'échelle de l'expérience pourrait également permettre de capturer et de génotyper une proportion plus importante de montaisons d'adultes (y compris l'éventuelle descendance de poissons issus de l'ESA F1 et F2), ce qui augmenterait l'efficacité statistique permettant de détecter les différences entre les saumons issus de l'ESA et les saumons sauvages.

- **Alterner les années de libérations de poissons issus de l'ESA si l'expérience est réalisée dans deux sous-bassins**

L'alternance des années de libérations de poissons issus de l'ESA, par exemple la libération de saumons adultes issus de l'ESA dans le sous-bassin PSO au cours de l'année 1, dans le sous-bassin MNO au cours de l'année 2, et ainsi de suite, réduirait la portée temporelle de l'expérience dans chaque sous-bassin tout en permettant de comparer les résultats dans d'autres sous-bassins.

- **Poursuivre la modélisation afin d'analyser les risques et d'optimiser les paramètres d'ensemencement**

L'utilisation de la modélisation afin d'analyser les risques et d'optimiser les paramètres d'ensemencement devrait être poursuivie. Les modèles pourraient alors être validés avec des données empiriques issues des expériences d'ESA.

- **Intensifier les efforts d'échantillonnage pour améliorer l'efficacité statistique des expériences**

La proposition prend en charge l'échantillonnage des saumons adultes regagnant leur rivière natale (c.-à-d., échantillons de tissus, taille et sexe) en plus des dénombrements. L'augmentation de la proportion de saumons regagnant leur rivière natale qui sont capturés, génotypés et contrôlés chaque année renforcerait la solidité générale de la conception expérimentale, et améliorerait l'efficacité statistique pour évaluer les conséquences du succès reproducteur à long terme des interventions d'ESA sur la population sauvage. On a suggéré l'échantillonnage de 50 % à 70 % des saumons adultes regagnant leur rivière natale.

Dans le contexte de l'estimation du succès reproducteur, l'intensification de l'échantillonnage sur un plus petit nombre de montaisons dans un milieu plus limité augmenterait l'efficacité statistique. Toutefois, dans le contexte des réponses démographiques, une expérience à plus petite échelle réduirait la capacité de détecter une réponse au niveau démographique.

L'intensification des efforts d'échantillonnage améliorerait le pouvoir explicatif de l'expérience, mais n'atténuerait pas le risque pour la population sauvage.

En plus des mesures d'atténuation mentionnées ci-dessus, des recommandations ont été formulées pour des études supplémentaires qui contribueraient à une meilleure compréhension des répercussions de l'ESA à long terme.

- **Concevoir l'échantillonnage pour renforcer l'analyse multigénérationnelle et pour établir la généalogie des poissons regagnant leur rivière natale**

Pour évaluer entièrement les impacts de l'ESA sur l'intégrité, la survie et le rétablissement de la population, il faudrait examiner les contributions des générations au-delà des F1 (F2,

F3). Il serait important d'échantillonner une grande proportion de saumons adultes regagnant leur rivière natale dans les effluents expérimentaux afin d'établir la généalogie des générations suivantes regagnant leur rivière natale. Il faudrait échantillonner le plus grand nombre possible de saumons adultes regagnant leur rivière natale pouvant être capturés afin de garantir une taille de l'échantillon appropriée pour examiner les contributions des F2+. Le nombre d'échantillons analysés devrait dépendre d'une analyse de puissance de l'ampleur des différences requise afin de déterminer les différences en matière de succès reproducteur (p. ex., 10 %).

La proposition actuelle ne traite pas les générations ultérieures aux F1, et les nombres échantillonnés dans la proposition actuelle ne seraient pas appropriés pour déterminer avec exactitude les contributions génotypiques des poissons issus de l'ESA et des poissons sauvages envers les générations ultérieures aux F1.

- **Examiner la composition épigénétique et génétique des individus dans le milieu naturel**

Des recherches menées récemment sur divers taxons, y compris les poissons, suggèrent que les changements épigénétiques provoqués par l'environnement (comme ceux qui peuvent avoir lieu dans l'élevage en captivité) peuvent être transmis par les parents (mère et père) à des descendants, bien que les connaissances de leurs effets potentiels soient limitées à ce jour et que cela soit un domaine de recherche active.

Pour combler cette lacune dans les connaissances, des individus dans le milieu naturel représentant la descendance de poissons issus de l'ESA et de poissons sauvages (à des stades de développement similaires) pourraient être capturés afin de réaliser des expériences de composition épigénétique et génétique similaires à celles entreprises sur les poissons tirées des expériences en laboratoire (voir les recommandations du Programme 2 : Expériences en laboratoire).

Séquençage du programme

Le séquençage de programmes proposés (Programmes 1 à 4) présente un faible risque pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique, étant donné que les activités du Programme 4 ne dépendent pas des activités des Programmes 1 à 3.

Sources d'incertitude

L'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) n'a été entrepris que récemment comme approche d'ensemencement des populations de saumon de l'Atlantique qui sont considérées comme présentant un danger très sérieux d'extinction. À ce jour, on ne dispose que de peu de renseignements empiriques permettant de quantifier les risques et les avantages de l'ESA pour une population de poissons sauvages et de proposer des mesures d'atténuation.

Les activités proposées dans la Proposition d'expérience d'ESA de CAST ont pour but de fournir des renseignements visant à combler certaines incertitudes déterminées dans un examen précédent (MPO 2016).

CONCLUSION

Cet examen par les pairs visait à apporter l'expertise appropriée, y compris les connaissances écologiques traditionnelles et les connaissances techniques, afin d'évaluer les risques et les avantages de l'expérience proposée d'ESA pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long

terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi, et de proposer des mesures d'atténuation pour réduire au minimum les risques et augmenter les avantages.

L'objectif de la Proposition d'expérience d'ESA de CAST : Phase 1 (2018-2022) est de combler les lacunes dans les connaissances scientifiques et de déterminer si l'ESA est une stratégie de conservation fonctionnelle qui peut servir pour contourner la phase marine du cycle biologique du saumon de l'Atlantique et maintenir les échappées de géniteurs lorsque les populations connaissent une mortalité en mer élevée. CAST propose d'entamer l'ESA dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest (Nouveau-Brunswick), ce qui créerait un précédent concernant l'ensemencement des populations de saumon de l'Atlantique dans la Région du Golfe, où les populations affichent un déclin, mais ne sont pas encore en danger immédiat d'extinction. Bien que l'ESA ait été utilisé comme une mesure de rétablissement pour les populations de saumon en voie de disparition ou fortement en déclin, on a peu d'expérience à ce jour de l'utilisation de cette approche pour les populations dont l'abondance est relativement faible, mais pas encore en danger immédiat d'extinction.

Les Programmes 1 et 2 de la proposition d'expérience d'ESA de CAST posent un risque négligeable pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi. Le Programme 3 : Cours d'eau expérimental pose un faible risque, le nombre de poissons issus de l'ESA qu'on propose de libérer dans la rivière Millstream Nord-Ouest étant minime en comparaison à la population totale de la rivière Miramichi.

Le Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel présente plusieurs risques pour l'intégrité, la survie et le rétablissement à long terme de la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi, y compris ceux déterminés dans l'examen du MPO (2016). Les risques particuliers traités dans cet examen sont les suivants : le risque de transfert de maladies ou de pathogènes des poissons sauvages aux poissons élevés en captivité et des poissons élevés en captivité aux poissons sauvages; l'augmentation du risque pour la population de poissons sauvages à mesure que la proportion (ratio) de poissons issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages augmente; l'augmentation du risque pour la population de poissons sauvages à mesure que l'empreinte géographique augmente; les risques associés à la contribution disproportionnée aux reproducteurs dans la nature des adultes provenant d'un bassin génétique limité de stocks issus d'écloserie.

Les avantages sont les suivants : une occasion d'obtenir des renseignements expérimentaux et sur le terrain en ce qui concerne l'efficacité de l'approche d'ESA pour évaluer sa validité en tant qu'outil de conservation fonctionnel et pour valider les modèles de population; une occasion d'évaluer une approche proactive de la conservation des populations de saumon de l'Atlantique qui sont en déclin, mais pas encore en danger; et une occasion de répondre aux incertitudes déterminées dans un examen antérieur du SCCS (MPO 2016).

Les mesures d'atténuation déterminées pour réduire les risques pour la population de saumon sauvage de l'Atlantique dans la rivière Miramichi sont les suivantes : la prise de mesures pour réduire le risque de transfert de maladies et de pathogènes; l'ajustement du ratio de saumons sauvages par rapport aux saumons issus de l'ESA chaque année; la conduite de l'expérience à plus petite échelle géographique, p. ex., dans un des sous-bassins déterminé dans la proposition; l'alternance des années de libération de poissons issus de l'ESA dans différents sous-bassins; et la réalisation d'une modélisation pour évaluer les risques. L'établissement d'un Conseil ayant pour mandat de surveiller les résultats de l'expérience et de recommander des

mesures adaptatives pour contrer les risques pendant la mise en œuvre constituerait une importante mesure d'atténuation. L'intensification des efforts d'échantillonnage pour accroître la puissance de l'analyse multigénérationnelle et établir la généalogie des générations suivantes regagnant leur rivière natale permettrait d'évaluer les conséquences du succès reproducteur à long terme des interventions d'ESA sur la population sauvage, mais cela constituerait un ajout à la proposition de CAST telle qu'elle a été examinée. L'approche proposée de réalisation de l'expérience sur une période limitée (cinq ans) atténue le risque associé aux répercussions de l'ESA à long terme sur les poissons sauvages.

Certaines incertitudes demeurent sur les répercussions de l'ESA et l'expérience proposée, mais les activités proposées permettraient de répondre à certaines de ces incertitudes. Les incertitudes et les lacunes dans les connaissances pourraient également être traitées en examinant les résultats des programmes d'ESA existants dans d'autres réseaux hydrographiques, qui peuvent se trouver à un stade suffisamment avancé pour fournir des renseignements utiles.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion nationale d'examen par les pairs des 22 et 23 janvier 2018 portant sur l'examen des risques et des avantages de la proposition d'expérience d'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte de Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST) : Phase I (2018-2022). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

- Chaput, G., Douglas, S.G., Hayward, J. 2016. Biological Characteristics and Population Dynamics of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) from the Miramichi River, New Brunswick, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/029. v + 53 p.
- COSEPAC. 2010. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (*Salmo salar*) (Population du Nunavik, Population du Labrador, Population du nord-est de Terre-Neuve, Population du sud de Terre-Neuve, Population du sud-ouest de Terre-Neuve, Population du nord-ouest de Terre-Neuve, Population de l'est de la Côte-Nord du Québec, Population de l'ouest de la Côte-Nord du Québec, Population de l'île d'Anticosti, Population de l'intérieur du Saint-Laurent, Population du lac Ontario, Population de la Gaspésie-sud du golfe Saint-Laurent, Population de l'est du Cap-Breton, Population des hautes terres du sud de la Nouvelle-Écosse, Population de l'intérieur de la baie de Fundy, Population de l'extérieur de la baie de Fundy) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xvii + 162 p.
- MPO. 2008. Évaluation des installations d'élevage en captivité dans le contexte de leur contribution à la conservation de la biodiversité. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2008/027.
- MPO. 2016. Risques et avantages des activités d'ensemencement avec du saumon juvénile élevé en captivité jusqu'à l'âge adulte pour la valeur adaptative du saumon de l'Atlantique sauvage (*Salmo salar*). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/017.
- MPO. 2018. Mise à jour jusqu'en 2017 des indicateurs des adultes du saumon Atlantique de la rivière Miramichi (N.-B.), zone de pêche du saumon 16 de la Région du Golfe du MPO. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2017/043.
- Fraser, D.J. 2016. Risks and benefits of mitigating low marine survival in wild salmon using smolt-to-adult captive-reared supplementation. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/030. v + 31 p.
- Linnansaari, T., Curry, R.A., Wellband, K., Hambrook, M. 2017. Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST) Smolt-to-Adult Supplementation (SAS) Experiment Proposal: Phase 1 (2018-2022). Inédit.
- Pavey, S.A. 2016. Molecular techniques for parentage analysis to assess supplementation effectiveness for Atlantic Salmon (*Salmo salar*) on the Miramichi River. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/031. v + 8 p.
- Waples, R.S., Hindar, K., Karlsson, S., Hard, J.J. 2016. Evaluating the Ryman-Laikre effect for marine stock enhancement and aquaculture. Curr. Zool. 62: 617-627.

ANNEXES



PROPOSITION D'EXPÉRIENCE D'ENSEMENCEMENT AVEC DES SAUMONEAUX ÉLEVÉS EN CAPTIVITÉ JUSQU'À L'ÂGE ADULTE DE COLLABORATION FOR ATLANTIC SALMON TOMORROW (CAST) : PHASE I (2018-2022)

Chercher des réponses aux lacunes relevées dans les connaissances scientifiques concernant la stratégie de conservation de l'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte.

Le 4 décembre 2017

Préparé par :

Tommi Linnansaari ^{1*}, R. Allen Curry ^{2*}, Kyle Wellband ³ et Mark Hambrook ⁴

*Auteurs correspondants

¹ Canadian Rivers Institute, Département de biologie, Université du Nouveau-Brunswick, Nouveau-Brunswick, Canada.

Courriel : tommi.linnansaari@unb.ca; téléphone : 1-506-458-7569

² Canadian Rivers Institute, Département de biologie, et Faculté de foresterie et de gestion de l'environnement, Université du Nouveau-Brunswick, Nouveau-Brunswick, Canada.

Courriel : racurry@unb.ca; téléphone : 1-506-452-6208

³ Canadian Rivers Institute, Département de biologie, Université du Nouveau-Brunswick, Nouveau-Brunswick, Canada.

⁴ Miramichi Salmon Association, South Esk, Nouveau-Brunswick, Canada.

Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Contexte | 24 |
| 2. Description générale de l'expérience d'ESA..... | 25 |
| 2.1. Objectifs du programme d'ESA..... | 25 |
| 2.2. Composantes expérimentales – Description générale | 26 |
| 2.3. Zone d'expérimentation – Rivière Miramichi..... | 27 |
| 3. Capture des saumoneaux, protocoles opérationnels en captivité et statu quo relatif aux prélèvements à ce jour..... | 31 |
| 3.1. Prélèvements de saumoneaux..... | 31 |
| 3.2. Protocoles opérationnels en captivité..... | 31 |
| 3.3. Statu quo (31 octobre 2017) du programme d'ESA de CAST..... | 34 |
| 4. Outils de surveillance génétique du programme, approche générale | 36 |
| 5. Description détaillée des études proposées, cadre d'hypothèse, et lacunes dans les connaissances à traiter | 39 |
| 5.1. Programme 1 : Structure génétique des sous-bassins de saumon de l'Atlantique dans la rivière Miramichi..... | 39 |
| 5.2. Programme 2 : Expériences en laboratoire | 43 |
| 5.3. Programme 3 : Cours d'eau expérimental..... | 45 |
| 5.4. Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel | 48 |
| 6. Considérations relatives aux points de vue des Premières Nations..... | 60 |
| 7. Ouvrages cités :..... | 62 |

1. Contexte

La Politique du Canada pour la conservation du saumon atlantique sauvage (MPO 2009) stipule que l'intervention de gestion doit augmenter lorsque les populations de saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) diminuent en deçà de certaines valeurs de référence sous lesquelles une population n'est plus considérée comme saine. Des déclinés de populations de saumons de l'Atlantique inférieurs aux objectifs de conservation ont été observés dans de nombreuses rivières-repères du Canada atlantique (p. ex. CIEM 2017). L'ensemencement ou l'« empoissonnement » est souvent perçu comme une réponse rationnelle et raisonnable à une situation où une population de saumons est appauvrie ou perçue comme telle (IBIS 2013).

Un consensus scientifique sur l'empoissonnement du saumon suggère que les hypothèses relatives aux avantages nets des programmes d'empoissonnement traditionnels ne sont souvent pas valides (IBIS 2013). En effet, des études contrôlées ont démontré une diminution de la valeur adaptative de la progéniture des poissons d'écloserie en milieu naturel par comparaison à celle des poissons sauvages (p. ex. Reisenbichler et Rubin 1999).

L'intervention de gestion est importante parce que les risques pour la persévérance des populations augmentent à mesure qu'une population tombe en deçà de son objectif de conservation établi (CSCPCA 1991). Ces risques comprennent notamment l'accentuation des fluctuations annuelles de l'effectif de la montaison, la vulnérabilité accrue à l'extinction causée par des catastrophes génétiques, démographiques ou environnementales, la diminution de la productivité et les changements permanents des caractéristiques démographiques de la population reproductrice (CSCPCA 1991).

L'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA; terme inventé par Fraser [2016]) est apparu comme une stratégie de conservation potentielle pour les rivières à saumon de l'Atlantique (et autres salmonidés) où les populations ont diminué en deçà des niveaux de conservation visés (SCCS 2016). Dans le cadre de la stratégie d'ESA, dans sa forme la plus simple, les saumoneaux sauvages de l'Atlantique migrant vers la mer sont capturés pour ensuite être élevés en eau douce ou salée (SCCS 2016). À maturité, les adultes sont retournés dans la rivière d'origine pour frayer en milieu sauvage. L'hypothèse qui est avancée est qu'une telle stratégie est bénéfique dans les populations où le déclin est attribuable à une forte mortalité en mer, c'est-à-dire que l'ESA contourne efficacement cet obstacle lié à la mortalité en mer affectant la population. La stratégie d'ESA présente des avantages par rapport aux méthodes traditionnelles d'empoissonnement des juvéniles fondées sur le prélèvement de géniteurs; toutefois, la stratégie peut également comporter des risques qui ne sont pas bien compris (Fraser 2016).

La stratégie d'ESA n'est pas une idée nouvelle. L'ESA est apparu pour la première fois dans Thomas (1996) comme une stratégie de conservation pour la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Thomas (1996) a décrit les besoins scientifiques, les besoins en matière de surveillance, les risques potentiels et les possibilités en tant qu'outil de conservation. Fraser (2016) a donné un aperçu détaillé des risques et des avantages potentiels liés à la stratégie d'ESA, et récemment, un rapport de 20 ans sur les expériences d'ensemencement avec des adultes en Idaho a été compilé et a considérablement enrichi la base de connaissances scientifiques sur la stratégie (Kozfkay *et al.* 2017).

La stratégie d'ESA a déjà été mise en œuvre lorsque des populations de salmonidés sauvages ont diminué en deçà des objectifs de conservation (Dempson et Furey 1997; Dempson *et al.* 1999; Berejikian *et al.* 2008; Jones *et al.* 2014; Venditti *et al.* 2013; Kozfkay *et al.* 2017) et des programmes d'ESA pour le saumon de l'Atlantique de Pêches et Océans Canada (MPO)

sont en cours dans le fleuve Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick (populations de l'extérieur de la baie de Fundy; libérations variant de 339 à 1 348 reproducteurs adultes issus de l'ESA entre 2003 et 2015 en sympatrie avec le saumon sauvage; Jones *et al.* 2015) et de Parcs Canada, dans la rivière Upper Salmon (populations de l'intérieur de la baie de Fundy; libérations variant de 429 à 965 reproducteurs adultes issus de l'ESA entre 2015 et 2017 en allopatrie; Corey Clarke, Parcs Canada, données non publiées). Au Nouveau-Brunswick, les observations préliminaires et les données anecdotiques donnent à penser que le frai et le maintien des populations ont été efficaces (Jones *et al.* 2015; C. Clarke, Parcs Canada, données non publiées). Il existe néanmoins certaines lacunes importantes dans les connaissances et, en général, les données permettant d'évaluer les individus issus de l'ESA et leur descendance par rapport à leurs homologues vraiment sauvages sont insuffisantes, en particulier dans le milieu naturel (SCCS 2016).

Le groupe Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST) a été créé pour combler les principales lacunes dans notre compréhension des populations de saumon de l'Atlantique de l'est du Canada et, plus particulièrement, des facteurs qui, selon les hypothèses retenues, limitent le succès des populations. L'une des principales composantes de CAST est l'évaluation rigoureuse de la stratégie d'ESA en tant qu'outil d'ensemencement. Les lacunes déterminées dans les connaissances associées à l'utilisation de l'ESA comme outil de gestion sont décrites dans SCCS (2016). Ces questions constituent la prémisse scientifique des études d'ESA proposées dans le cadre du programme de CAST. La façon dont les études proposées combler les lacunes actuelles dans les connaissances est précisée dans le présent document. À cette fin, la prémisse de CAST est que le projet d'ESA proposé dans la rivière Miramichi, au Nouveau-Brunswick, est une expérience scientifique visant à comparer les aspects quantifiables des poissons d'ESA à leurs homologues sauvages dans divers milieux expérimentaux et ainsi à comprendre réellement le bien-fondé de cette stratégie de conservation qui comprend l'évaluation des risques et des avantages possibles pour le rétablissement d'une population de saumon.

Le présent document donne un aperçu des études d'ESA de CAST. Il s'agit d'une expérience novatrice et, par conséquent, elle sera toujours de structure adaptative, c'est-à-dire qu'au fur et à mesure que de nouvelles connaissances seront acquises, des modifications pourraient être apportées aux composantes expérimentales. De plus, l'équipe scientifique de base de CAST est formée du Canadian Rivers Institute de l'Université du Nouveau-Brunswick, de l'Université Laval, de Cooke Aquaculture et de la Miramichi Salmon Association, mais elle comprend également Pêches et Océans Canada (MPO – Région du Golfe) et Mi'gmawe'l Tplu'taqnn Incorporated (MTI). Une fois que toutes les parties seront satisfaites de l'examen du document actuel, la proposition passera d'une version « provisoire » à une version « définitive ».

2. Description générale de l'expérience d'ESA

2.1. Objectifs du programme d'ESA

L'objectif principal du programme d'ESA de CAST est de déterminer si l'ESA est une stratégie de conservation fonctionnelle qui peut servir à ensemercer des populations de saumon de l'Atlantique lorsque les objectifs de conservation (définis par les autorités qui gèrent les populations respectives) ne sont pas atteints en raison d'un taux élevé de mortalité en mer, mais avant que les populations déclinent à un état nécessitant une classification à risque. Un grand nombre de lacunes dans les connaissances relatives à la stratégie d'ESA ont été déterminées (SCCS 2016; Fraser 2016); l'objectif du programme d'ESA de CAST est de combler celles qui sont les plus importantes, notamment la question qui consiste

(conformément au SCCS 2016) : à quantifier et à comparer la valeur adaptative de la descendance des poissons issus de l'ESA par rapport à celle de la descendance sauvage en milieu naturel, afin d'examiner dans quelle mesure l'ESA peut réduire l'adaptation marine.

Le programme d'ESA de CAST est conçu comme une expérience scientifique visant non seulement à fournir des réponses à l'objectif ci-dessus, mais également à mieux comprendre les déviations phénotypiques et génotypiques potentielles entre l'ESA et le saumon sauvage de l'Atlantique ainsi que leurs conséquences. Les hypothèses particulières à examiner dans le cadre des différentes études d'ESA sont détaillées à la section 5. En fin de compte, les études visent à déterminer si les poissons juvéniles (saumoneaux) prélevés dans la nature et élevés jusqu'à l'âge adulte en milieu de captivité (génération F0) produisent une descendance en milieu sauvage. Dans l'affirmative, il faudra alors déterminer si leur descendance (génération F1) est viable et, par conséquent, si la stratégie d'ensemencement atteint les objectifs de production d'une descendance supplémentaire semblable à celle des espèces sauvages dans le système. Plusieurs aspects du cycle biologique peuvent être différents selon qu'il s'agit de poissons d'ESA ou de poissons sauvages et, à cette fin, le projet d'ESA de CAST surveillera le rendement des poissons d'ESA par rapport à celui des poissons sauvages dans quatre niveaux d'études.

Les objectifs de conservation de la population de saumon de l'Atlantique ne sont pas systématiquement atteints dans l'ensemble du bassin de la rivière Miramichi (voir la section 2.3; SCCS 2017a). Selon la politique de gestion du saumon de l'Atlantique du MPO, la stratégie d'ESA est un outil de conservation potentiel dans un avenir rapproché si la trajectoire de la population demeure inchangée dans la rivière Miramichi (CSCPCA 1991; MPO 2009). Par conséquent, il est essentiel d'évaluer d'abord l'efficacité et les risques d'une stratégie de conservation d'ESA avant sa mise en œuvre complète à l'échelle requise pour atteindre un état de conservation adéquat dans ce système (voir la section 5.4, Ampleur de l'expérience). Fait important, le projet d'ESA de CAST est une expérience et non un programme d'ensemencement.

2.2. Composantes expérimentales – Description générale

Le programme d'ESA de CAST est proposé en deux phases à quatre échelles d'étude. Au cours de la phase 1, il est proposé de prélever des saumoneaux sauvages pendant cinq ans (cinq « cohortes » de saumoneaux) au cours de la période 2016-2020. La première remise en liberté des saumons en phase de maturation est proposée à l'automne 2018 et se poursuivra jusqu'en 2023, lorsque les derniers saumons de la cohorte des saumoneaux de 2020 devraient avoir atteint leur pleine maturité (comme des saumons ayant passé plusieurs hivers en captivité) et être prêts pour une remise en liberté. Bien que la phase 1 soit caractérisée par des prélèvements de saumoneaux et des remises en liberté de saumons adultes, la surveillance est déjà entreprise à cette phase. La phase 2 est une période de surveillance sans remise en liberté expérimentale, qui se poursuivra au minimum jusqu'en 2029, lorsque les premiers saumons pluribermarins devraient revenir des dernières cohortes remises en liberté (de 2023).

Le premier niveau d'étude établira la structure génétique parmi les affluents de la rivière Miramichi. Il représente une base et une composante fondamentales en vue des autres expériences, puisqu'il établit les fondements de l'élevage des saumoneaux (pertinence fondée sur les « souches » des affluents) ainsi que le niveau de base de l'unicité génétique entre les affluents et qu'il jette les bases de la planification de la gestion future au moyen de stratégies d'ensemencement. Les données de ces études seront également utilisées comme outil génétique (parenté) pour surveiller la réussite des remises en liberté dans le cadre de l'ESA. **Le**

deuxième niveau d'étude est celui des expériences de laboratoire nécessaires qui fournissent un environnement entièrement contrôlé dans lequel les caractéristiques de base des poissons d'ESA peuvent être évaluées, p. ex. le taux de maturation et la taille à maturité par rapport au rendement des poissons sauvages. Les renseignements fondamentaux sur la fécondité, le succès de la fertilisation, la taille des œufs et la valeur adaptative par rapport au saumon sauvage, définie comme la survie au stade œillé, à l'éclosion (alevin au stade du sac vitellin) et à l'émergence (début de l'alimentation externe) feront l'objet d'une évaluation. Ces paramètres sont essentiels à l'élaboration des pratiques d'élevage pour maximiser la survie et la santé des poissons d'ESA en captivité.

Le troisième niveau d'étude consistera en une expérience contrôlée dans un petit cours d'eau naturel afin de comprendre comment les poissons d'ESA réagiront au milieu naturel et interagiront avec les saumons sauvages. Le cours d'eau proposé, la rivière Millstream Nord-Ouest, se jette directement dans l'estuaire de la rivière Miramichi (figure 1). Chaque année, la Millstream Nord-Ouest est bloquée par de nombreux barrages de castors infranchissables ou presque infranchissables et la migration des saumons vers les sections en amont où l'expérience est proposée est naturellement très entravée. Une barrière, munie d'une trappe pour tenir compte de tout poisson sauvage qui pourrait migrer jusqu'à la barrière, sera installée dans la section amont de la Millstream Nord-Ouest et elle sera maintenue à l'automne de chaque année de l'expérience.

Le quatrième niveau d'étude est une expérience dans les rivières naturelles, avec des contrôles où se dérouleront les évaluations à l'échelle des populations de la stratégie d'ESA. La surveillance du comportement et de la réussite du frai chez les adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages, des différences subséquentes sur le plan de la densité, de la survie et de la croissance, et des différences génotypiques et phénotypiques chez les juvéniles qui suivront demandera l'utilisation d'une variété de méthodes de télémétrie, de génétique et d'autres méthodes sur le terrain.

2.3. Zone d'expérimentation – Rivière Miramichi

La rivière Miramichi comporte deux bras principaux : la Miramichi Sud-Ouest (zone de drainage d'environ 7 700 km²) et la Miramichi Nord-Ouest (zone de drainage d'environ 3 900 km²; figure 1) (Chaput *et al.* 2016). La rivière Miramichi a toujours eu la plus grande montaison du saumon de l'Atlantique en Amérique du Nord (Chaput *et al.* 2016). Toutefois, sa population de saumon de l'Atlantique a connu un déclin de plusieurs décennies et, en 2014, les montaisons d'adultes dans la rivière ont été les plus faibles de l'histoire, atteignant seulement 22 % des quelque 7 300 saumons pluribermarins femelles exigés pour la conservation (Randall 1985; Douglas *et al.* 2015) dans la Miramichi Nord-Ouest (SCCS 2015).

La population de saumon de l'Atlantique dans la rivière Miramichi est gérée comme une population composite, mais le MPO a mis en place une surveillance des stocks propre à chaque bras pour les rivières Miramichi Sud-Ouest et Nord-Ouest depuis 1992 (SCCS 2015). Le MPO (2006) prescrit des lignes directrices en matière de planification de la gestion, y compris des déclencheurs d'intervention lorsqu'un stock passe d'un état « sain » à un état « de prudence », puis à un état « critique ». Le changement d'un état « de prudence » et « critique » se produit à 2,4 œufs/m² d'habitat d'alevinage fluvial (Elson 1957; Gibson et Claytor 2012) et représente un niveau en deçà duquel on pense que le stock subit des dommages graves (CSCPCA 1991). D'après ces seuils de gestion, l'ensemble de la rivière Miramichi n'a atteint le statut « de prudence » que trois fois au cours des 20 dernières années, tout en se situant au niveau « critique » au cours des autres années (SCCS 2017a).

Il existe une disparité dans le rendement des deux principaux bras en ce qui concerne les objectifs de conservation (SCCS 2017a). La Miramichi Nord-Ouest n'a satisfait aux exigences de conservation que trois fois au cours des deux dernières décennies et son rendement est inférieur à celui de la Sud-Ouest (SCCS 2017a). La Miramichi Nord-Ouest répond toujours aux normes générales pour une population viable minimale ou une estimation médiane de 4 169 individus basée sur une méta-analyse de 30 ans d'estimations publiées pour les vertébrés (Traill *et al.* 2007). La diminution de l'état de la population de saumon de l'Atlantique a pour conséquence une vulnérabilité accrue à la dépendance à la densité inverse ou à l'effet d'Allee (Allee *et al.* 1949). Bien que les effets des mécanismes dépendants de la densité inverse ne soient pas largement étudiés et qu'ils soient généralement mal compris pour les populations de saumon, le mécanisme possible de l'effet d'Allee pour le saumon de l'Atlantique dans la Miramichi est un taux de survie relativement plus faible puisque les stratégies antiprédatrices deviennent inefficaces dans les petits groupes de proies (Courchamp *et al.* 1999). Ce mécanisme peut se manifester en particulier si la dynamique prédateur-proie est déséquilibrée, p. ex. la population très abondante de bar rayé dans l'estuaire de la rivière qui dépasserait plus de dix fois son objectif de conservation selon les estimations (SCCS 2017b).

Les activités d'ensemencement dans la rivière Miramichi sont de longue date. Le Centre de conservation du saumon de la Miramichi, où doit se dérouler l'élevage proposé de poissons par ESA, est la plus ancienne écloserie de poissons au Canada (est. 1873). Les méthodes et les quantités d'ensemencement ont varié au fil des ans, notamment l'ensemencement d'alevins en sevrage, d'alevins d'automne, de tacons âgés de 1+ et de saumoneaux (Chaput *et al.* 2016). Des activités d'ensemencement ont lieu chaque année dans les réseaux des rivières Nord-Ouest et Sud-Ouest. Les effectifs d'ensemencement ont varié de 13 000 à 133 000 poissons par année dans la Nord-Ouest (excluant la Petite Miramichi Sud-Ouest, où entre 800 et 106 400 poissons supplémentaires ont été ensemencés chaque année) et de 9 000 à 469 400 poissons dans la Miramichi Sud-Ouest entre 1978 et 2008 (Chaput *et al.* 2016); d'autres programmes et quantités d'ensemencement précèdent ceux compilés dans Chaput *et al.* (2016). Depuis 2010, l'activité d'ensemencement consiste en l'ensemencement d'alevins en sevrage (au début de l'été) et vise généralement les zones où la production naturelle des années précédentes a été jugée faible (MSA 2016). En 2016, environ 91 171 alevins de saumon de l'Atlantique en sevrage ont été ensemencés dans 45 sites; 15 483 et 75 688 alevins ont été ensemencés dans la Miramichi Nord-Ouest et la Miramichi Sud-Ouest, respectivement (MSA 2016). Malheureusement, on a très peu évalué l'efficacité des stratégies d'ensemencement dans le réseau de la Miramichi. Dans une étude récente, Wallace et Curry (2017) ont déterminé que l'efficacité de l'ensemencement de juvéniles était indétectable. Le plan d'ESA de CAST prévoit la surveillance du succès du programme actuel de stock de géniteurs dans les rivières où les activités d'ESA doivent se dérouler à l'aide d'outils génétiques.

Aux fins des études contrôlées, le « cours d'eau expérimental » est un petit cours d'eau où l'histoire de l'activité anthropique passée et la logistique du maintien d'une barrière pendant la période de frai automnale font de la Millstream Nord-Ouest une candidate idéale (figure 1). Un barrage-réservoir sans passe migratoire obstruait cette rivière en 1947 (Moore et Chaput 2007). Le déversoir central du barrage a été ouvert en 1979 pour permettre l'accès aux géniteurs en amont du barrage et la Millstream Nord-Ouest a été ensemencée (source des stocks inconnue) dans les années 1970 et 1980. Le barrage a été enlevé en 2005. Des études portant sur les juvéniles (de 1994 à 2004) en amont du barrage indiquent que ces zones étaient inaccessibles presque tous les ans (Moore et Chaput 2007).

Il est possible de maintenir une clôture de conduit servant de barrière à l'émigration des saumons adultes de la zone expérimentale à 13 km de l'embouchure du cours d'eau

(M. Hambrook, observations personnelles; T. Linnansaari, données de terrain non publiées de 2017). La zone expérimentale en amont fait environ 19 km de longueur linéaire de cours d'eau, qui consistent en des cours d'eau de troisième (10 km) et de quatrième (9 km) ordre et en des cours d'eau connexes de premier et de deuxième ordre.

Les expériences d'ESA à l'échelle de la population dans les rivières naturelles sont proposées pour le réseau de la Miramichi Nord-Ouest. Les sous-bassins sélectionnés aux fins des études d'ESA sont proposés comme suit :

- 1) la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest en amont de Sillikers (Upper Oxbow; figure 1),
- 2) le bras principal de la rivière Miramichi Nord-Ouest en amont de l'embouchure du ruisseau Trout (figure 1).

Les prélèvements des saumoneaux doivent avoir lieu à ces endroits et la remise en liberté des adultes est prévue en amont, dans les premiers bassins de retenue de taille convenable qui sont accessibles par camion pouvant transporter des poissons (figure 1). Ces affluents (et sous-populations) sont de taille appropriée pour évaluer un effet à l'échelle de la population en milieu naturel. En outre, ces sous-bassins fournissent une logistique réalisable pour effectuer la surveillance dans l'expérience d'ESA, p. ex. les prélèvements de saumoneaux, l'automatisation du dénombrement des saumons à l'aide de sonars, la pêche électrique et le déploiement des lecteurs d'étiquettes à transpondeur passif intégré (détails à la section 5.4).

La structure naturelle de l'ensemble du bassin de la rivière Miramichi offre plusieurs systèmes de contrôle pour les expériences d'ESA où l'abondance des juvéniles, par rapport à celle des rivières d'ESA, peut être surveillée. Sur le plan spatial, la rivière Sevogle est une population témoin qui existe dans le réseau de la Nord-Ouest et le bras principal de la Sud-Ouest fournit un sous-bassin versant non traité (figure 1). Des données d'évaluation sur les juvéniles existent depuis les années 1970 pour les rivières faisant l'objet d'expériences et de contrôles (p. ex. Moore et Chaput 2007), et le MPO effectue une surveillance continue qui doit être complétée par le groupe CAST en coordination avec le MPO. Il existe des évaluations du rendement des adultes pour le composite du bras principal de la Sud-Ouest et la Nord-Ouest. Les ensembles de données sur les juvéniles et les adultes sont à long terme, ce qui fournit une évaluation temporelle dans l'ensemble témoin. De même, plus de dix rivières présentent des ensembles de données semblables, ce qui permet d'obtenir davantage d'ensembles témoins aux fins de l'expérience d'ESA pour ce qui est des tendances potentielles de rétablissement de la population. Bien qu'il existe une grande variabilité naturelle dans les données sur la densité et la taille des juvéniles, l'hypothèse est que la densité moyenne dans les rivières d'intervention de l'ESA augmentera au-dessus des niveaux de base en proportion des remises à l'eau des poissons d'ESA, tandis que les densités devraient demeurer aux niveaux de base dans les rivières témoins, en fonction des montaisons de saumons sauvages seulement (en supposant que les trajectoires de population demeurent semblables ou diminuent davantage). La croissance des saumons juvéniles devrait demeurer relativement inchangée par rapport aux cours d'eau témoins, car les effets sur la croissance des juvéniles sont généralement observés par la compétition de l'exploitation dans les populations dont la densité est déjà faible (Grant et Imre 2005; Imre *et al.* 2005).

3. Capture des saumoneaux, protocoles opérationnels en captivité et *statu quo* relatif aux prélèvements à ce jour

3.1. Prélèvements de saumoneaux

Chaque année au mois de mai, le personnel de la Miramichi Salmon Association recueille des saumoneaux sauvages de l'Atlantique à l'aide de pièges à poissons rotatifs standard dans la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest (Sillikers) et la Miramichi Nord-Ouest, en amont du ruisseau Trout (figure 1). Les pièges sont installés dès que le niveau de l'eau baisse à des conditions permettant leur utilisation, généralement au début du mois de mai, avant le début de la migration des saumoneaux. Deux ou trois pièges sont utilisés dans chaque affluent, selon la disponibilité.

Les casiers sont pêchés tous les matins et 25 saumoneaux sont comptés à la main dans un seau muni d'un couvercle perforé et de trous dans la moitié supérieure du seau pour permettre à l'eau de circuler dans le seau lorsque celui-ci est dans le réservoir de transport, tout en conservant la moitié du seau d'eau. Le réservoir de transport peut contenir 9 seaux ou 225 saumoneaux par lot. Le protocole de transport des saumoneaux par seau individuel assure une seule manipulation des saumoneaux (du piège au seau) et ceux-ci sont simplement déversés dans leur réservoir-vivier initial au Centre de conservation du saumon de la Miramichi (sans stress supplémentaire lié à des filets, etc.).

Aux fins des expériences d'ESA, les saumoneaux sont prélevés au hasard et tout au long de leur période de migration afin d'éviter une sélection non intentionnelle selon Fraser (2016). Au début et à la fin de la migration, de plus petites quantités de saumoneaux sont prélevées (moins de 225 par jour), mais plusieurs lots de 225 saumoneaux seront prélevés pendant les jours de migration de pointe. D'après l'expérience de la migration des saumoneaux au cours des années précédentes, on prévoit qu'environ 15 % des prises totales seront prélevées au cours des dix premiers et derniers jours de migration, et que 70 % des prises totales seront prélevées au cours d'une semaine où la migration est la plus intense, habituellement à la mi-mai.

3.2. Protocoles opérationnels en captivité

Installations

Le Centre de conservation du saumon de la Miramichi est une installation du Comité de gestion du bassin hydrographique de la Miramichi que la Miramichi Salmon Association exploite à long terme. Il est situé à South Esk, au Nouveau-Brunswick (figure 1; « Écloserie de la Miramichi Salmon Association »). Au fil des ans, le Centre de conservation du saumon de la Miramichi a été utilisé principalement pour des programmes d'ensemencement de juvéniles, mais également pour de nombreuses autres activités d'élevage. Il fait actuellement l'objet de modifications pour répondre aux besoins particuliers du programme d'ESA. À ce jour (décembre 2017), la construction des nouvelles installations est presque terminée, et le présent document décrit les installations telles qu'elles sont prévues (fin prévue : janvier 2018). Les poissons d'ESA sont pris en charge sous la supervision des experts chevronnés du Centre de conservation du saumon de la Miramichi et de Cooke Aquaculture.

Chaque nouvelle cohorte de saumoneaux sera d'abord conservée cinq mois dans un bâtiment de quarantaine, pour ensuite être déplacée dans une grande serre, où chaque cohorte de saumoneaux propre à un stock sera conservée jusqu'à maturité dans son propre réservoir, sans qu'il soit nécessaire de transférer les poissons entre des réservoirs, minimisant ainsi le transport

et la manutention. Les bâtiments et leurs systèmes de réservoirs sont munis de systèmes de secours sécuritaires qui assurent le bien-être des poissons en cas d'urgence, c.-à-d. pour éviter des mortalités non aléatoires qui pourraient mener à une sélection involontaire dans le milieu d'écloserie (Fraser 2016).

Bâtiment de quarantaine – Le bâtiment abrite dix réservoirs de 2,5 m (de diamètre) où les nouveaux saumoneaux sont gardés chaque année, de mai jusqu'à la fin de l'automne. L'eau qui alimente le bâtiment provient de puits profonds; elle est stérilisée par ultraviolets, dégazée et oxygénée. L'eau des puits est indirectement chauffée au moyen d'un échangeur thermique à plaques qui extrait la chaleur de l'eau du ruisseau pour faire fluctuer la température de l'eau; la plage de température devrait se situer entre 7 et 14 °C (l'installation de l'échangeur thermique est en cours). La lumière naturelle est utilisée dans la zone des réservoirs, mais des lumières fluorescentes au plafond sont allumées lorsque le personnel travaille dans le bâtiment (coïncidant avec les heures diurnes). Le niveau d'oxygène de chaque réservoir est surveillé en permanence et chaque réservoir est muni de diffuseurs à plaques avec bouteilles d'oxygène de secours en cas d'urgence. Ce bâtiment et la pompe de puits adjacente sont dotés d'une génératrice diesel de secours et d'une deuxième génératrice de secours. L'oxygène est produit à l'électricité. Un système d'alarme surveillant les niveaux d'eau et la pression est relié à un service téléphonique. L'accès au bâtiment est contrôlé, et le personnel porte des chaussures adaptées à chaque salle. Pour entrer dans la salle des réservoirs, il faut d'abord passer par une station de désinfection comprenant un bain de pieds et une station de désinfection des mains.

Grande serre – Ce bâtiment fait actuellement l'objet de modifications importantes afin de l'adapter au programme d'ESA. L'espace des réservoirs du bâtiment est protégé par une grande bâche industrielle (blanche) où les poissons reçoivent une lumière diffuse et naturelle. Les rénovations consistent à diviser le bâtiment en deux unités distinctes avec un mur de séparation et une station de désinfection entre les deux sections, de sorte que chacune d'elles abritera une cohorte distincte de poissons d'ESA pendant toute leur période de croissance en captivité. Six nouveaux bassins circulaires en acier vitrifié de 6,8 m (diamètre) sur 2,1 m (profondeur) ont été installés à chaque extrémité à l'intérieur des réservoirs existants. Deux réservoirs supplémentaires de chaque côté sont utilisés pour l'équipement de traitement de l'eau. Chaque réservoir est doté d'un drain central pour les déchets et d'une capsule latérale où l'eau plus claire est retirée pour être traitée et recyclée. L'eau des deux drains passe par des filtres à tambour séparés pour éliminer les solides et, par la suite, une partie de l'eau est pompée par un stérilisateur à ultraviolets vers une installation d'aération où le CO₂ est éliminé et l'oxygène est ajouté avant de retourner dans les réservoirs. La nouvelle eau de puits est stérilisée par ultraviolets, chauffée à l'aide d'un échangeur thermique à plaques pour capter la chaleur de l'eau de ruisseau, puis dégazée et oxygénée pour fournir une température fluctuante. La température de l'eau devrait fluctuer entre 7 et 12 °C en été, tandis que la température sera maintenue à 7 °C en hiver pour maintenir la croissance des poissons. Chaque réservoir est muni d'un équipement de contrôle continu de l'oxygène et si les niveaux d'oxygène baissent, l'oxygène de réserve est automatiquement activé dans chaque réservoir grâce aux diffuseurs à plaques.

Chaque section de la grande serre possède son propre système d'alarme qui surveille les niveaux d'oxygène et d'eau à de nombreux endroits. Les alarmes sont signalées à un système de répondeur téléphonique par des lignes téléphoniques ou par un réseau cellulaire. Chaque réservoir est muni d'une fenêtre latérale amovible pour permettre l'accès à travers la paroi du réservoir et retirer le poisson. Une nouvelle bâche sur le bâtiment comporte des orifices qui permettent le passage d'une canalisation entre le mur et un réservoir-vivier pour faciliter le déplacement du gros saumon à maturité vers le camion de transport (ensemencement). Tous

les équipements de cette installation et deux puits de production adjacents sont alimentés par deux grosses génératrices diesel, l'une d'entre elles étant alimentée par l'autre en cas de panne. Toute personne travaillant dans ce bâtiment utilise également des stations de désinfection, telles qu'elles sont décrites ci-dessus.

Au cours des deux premières années de prélèvements (2016 et 2017), pendant la planification et la construction, les saumoneaux ont été gardés dans des réservoirs existants au Centre de conservation du saumon de la Miramichi. Une cohorte de saumoneaux prélevés en 2015, qui a servi à entreprendre des analyses de laboratoire préliminaires et des études de suivi, se trouve dans de nouveaux réservoirs de la grande serre depuis mars 2017 et la cohorte de 2016 doit être placée dans de nouveaux réservoirs en décembre 2017. La cohorte de 2017 a été placée dans les nouveaux réservoirs modifiés du bâtiment de quarantaine rénové; elle sera déplacée dans les nouveaux grands réservoirs de grossissement de la grande serre une fois les travaux terminés, au cours de l'hiver 2018.

Méthodes d'élevage du poisson (pratiques alimentaires et sanitaires)

Les pratiques alimentaires sont d'une importance cruciale pour amener les saumoneaux sauvages à consommer des moulées commerciales de poisson. À leur arrivée aux installations, les saumoneaux sont d'abord nourris de krill haché pendant une semaine, puis un mélange de nourriture semi-humide (Cooke Aquaculture) est introduit au cours d'une « période de transition ». Le krill s'est avéré essentiel comme nourriture de transition pour s'assurer que les saumoneaux passent des aliments naturels à des aliments commerciaux (M. Hambrook, observations personnelles). La nourriture semi-humide est mélangée au krill pour inciter les saumoneaux à se nourrir. Chaque poisson continu d'être nourri avec du krill haché pendant la « période de transition », après avoir reçu une nourriture semi-humide abondante afin que sa transition ait le plus de chances de réussir. Après deux semaines de mélange semi-humide/krill, des aliments semi-humides ordinaires sont introduits; les poissons sont nourris jusqu'à satiété et reçoivent également un mélange semi-humide/krill de façon à nourrir même les poissons plus lents à faire la transition. Après deux semaines, les saumoneaux sont introduits à la nourriture sèche (Skretting). Ils reçoivent d'abord des granulés secs jusqu'à ce que le taux d'alimentation soit réduit, puis des granulés secs mélangés avec du krill pour réduire davantage ce taux, suivis d'une nourriture semi-humide pour s'assurer que tous les poissons se nourrissent. Les poissons sont nourris lentement et observés attentivement pour juger de la quantité de nourriture consommée, ce qui minimise les déchets alimentaires et leur accumulation dans le réservoir.

À ce jour, on a observé que l'introduction aux aliments secs est la période de transition la plus longue. Les aliments secs sont également placés sur des distributeurs à courroie pour nourrir les poissons le soir. Vers la fin de juillet, les poissons ne consomment que de la nourriture sèche. Une fois qu'ils sont habitués de recevoir leur nourriture sèche avec des distributeurs automatiques, on continue à les nourrir manuellement quatre fois par jour pour observer leur comportement. Cette méthode doit se poursuivre jusqu'à ce que le saumon soit presque prêt à être relâché dans le milieu naturel et qu'il ait cessé de se nourrir.

Les soins donnés aux poissons sont proactifs. Comme traitement préventif, les saumoneaux du bâtiment de quarantaine reçoivent chaque semaine un bain de sel ou un traitement au formaldéhyde. Une fois dans le bâtiment de quarantaine, les poissons reçoivent un bain de sel toutes les deux semaines. Le bain consiste en un mélange de sel à 2 % qui est prémélangé dans une cuve séparée et pompé dans les réservoirs. Le formaldéhyde, mélangé dans un rapport de 1:4 000, est saupoudré dans les réservoirs. Les deux traitements durent une heure et le débit d'eau est coupé, à l'exception d'un filet d'eau très oxygénée qui pénètre dans les réservoirs.

Les rations alimentaires quotidiennes sont consignées, tout comme les traitements, les mortalités et les visiteurs des bâtiments. Les poissons qui meurent sont retirés dès qu'ils sont remarqués et peuvent être conservés pour analyse vétérinaire/laboratoire ou éliminés. Un vétérinaire spécialisé de Cooke Aquaculture est prêt à intervenir à tout moment en priorité en cas d'apparition manifeste d'une maladie.

Un événement de manipulation distinct est prévu pour chaque cohorte de saumoneaux afin d'en faire le dénombrement, de mesurer leur taille, d'étiqueter chaque poisson à l'aide d'une étiquette à transpondeur passif intégré (« balle d'argent » semi-duplex encapsulée en verre de 23 mm fabriquée par OregonRFID) et de prélever du matériel tissulaire pour l'analyse génétique (échantillon de nageoire). L'étiquette à transpondeur passif intégré doit être injectée dans la chair, sous la nageoire dorsale; l'injection verticale est actuellement en phase d'expérimentation pour optimiser la distance de détection pendant la phase de surveillance dans le cours d'eau qui utilise des antennes à transpondeur passif intégré à plat (voir la section 5.4). Le matériel génétique est nécessaire pour établir l'analyse des liens de parenté à des fins de surveillance (voir la section 4). Les poissons sont marqués à l'extérieur à l'aide d'étiquettes en T colorées propres aux affluents et leur nageoire adipeuse est retirée à des fins d'identification externe supplémentaire.

3.3. *Statu quo* (31 octobre 2017) du programme d'ESA de CAST

Les collectes de saumoneaux sauvages de l'Atlantique pour le programme d'ESA de CAST ont commencé en 2015 et se sont poursuivies aux printemps 2016 et 2017. Le but initial était que la cohorte de 2015 soit remise en liberté à l'automne 2017, toutefois, la remise en liberté n'a pas eu lieu en raison d'approbations d'agence en attente. Certaines expériences en laboratoire (voir la section 5.2) et un projet de radio-surveillance de 40 individus issus de l'ESA dans le cours d'eau expérimental (section 5.3) ont été autorisés.

En 2015, une collecte autorisée de 1 100 saumoneaux de la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest (du 17 au 27 mai), de 191 saumoneaux de la rivière Sevogle (du 20 au 24 mai), et de 200 saumoneaux de la rivière Miramichi Nord-Ouest en amont de Trout Brook (du 16 au 27 mai) a eu lieu pour un total de 1 491 poissons introduits dans les installations du Centre de conservation du saumon de la Miramichi. En 2016, 2 500 (du 13 au 27 mai) et 2 132 (du 11 mai au 3 juin) saumoneaux ont été respectivement recueillis dans la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest et dans la rivière Miramichi Nord-Ouest. En 2017, 2 500 saumoneaux ont été recueillis dans les deux rivières (du 16 au 29 mai).

La pratique de collecte de saumoneaux sauvages, et d'élevage jusqu'à leur maturité est récente au Centre de conservation du saumon de la Miramichi. Les premières années d'une nouvelle initiative d'élevage sont forcément difficiles étant donné que les méthodes de manipulation du poisson et les installations doivent être constamment adaptées pour maximiser la réussite de l'élevage. Malheureusement, en 2015, d'importantes mortalités ont été enregistrées en raison d'un « syndrome de faiblesse du saumoneau » dans le cadre duquel les nouveaux saumoneaux n'ont pas accepté la nourriture qui leur était proposée. Les saumoneaux qui ont commencé à se nourrir ont très bien réussi et les mortalités ont été minimales par la suite. Le régime alimentaire a été modifié en 2016 : il y a eu introduction d'un régime à base du krill et d'un régime semi-humide avec des périodes de transition appropriées, tel qu'il est décrit ci-dessus, et les saumoneaux ont tout de suite accepté la nourriture. Toutefois, à la fin de l'été 2016, on a enregistré une importante mortalité en raison d'organismes protozoaires *Costia* (espèce *Ichtyobodo*) présents sur les branchies qui ont pénétré dans l'installation avec les poissons. Encore une fois, en mettant en place des protocoles de traitement et de filtrage appropriés avec

un service vétérinaire prioritaire sur demande, on a enregistré une amélioration de la cohorte de saumoneaux de 2017 par rapport à celle de 2016, puisque celle-ci se nourrit bien avec un régime de traitement préventif régulier en place. Les collectes et la survie des saumons issus de l'ESA (ou % restant) sont indiquées au tableau 1.

Tableau 1 : Nombre de saumoneaux sauvages de l'Atlantique recueillis dans les affluents de la rivière Miramichi par stock et nombre de survivants au 31 octobre (2017) au Centre de conservation du saumon de la Miramichi. L'astérisque signifie que le nombre de poissons dépend également de l'utilisation de poissons matures de 2015 aux fins d'étude en laboratoire et de suivi, et que la survie de cette cohorte de poissons est mieux décrite par le nombre de poissons restants dans l'installation.

| Cohorte de saumoneaux | Stock | Collecte initiale | Survivants (31 octobre 2017) | Survie (%) |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 2015 | Miramichi Nord-Ouest | 200 | 148 | 74 |
| 2015 | Sevogle | 191 | 59* | s. o. |
| 2015 | Petite Miramichi Sud-Ouest | 1 100 | 362* | s. o. |
| 2016 | Miramichi Nord-Ouest | 2 132 | 1 710 | 81,8 |
| 2016 | Petite Miramichi Sud-Ouest | 2 500 | 1 205 | 48,3 |
| 2017 | Miramichi Nord-Ouest | 2 500 | 2 255 | 90,3 |
| 2017 | Petite Miramichi Sud-Ouest | 2 500 | 2 092 | 83,5 |

Il convient également de noter que la collecte de 5 000 saumoneaux par an représente un très faible risque pour la population de saumons sauvages de l'Atlantique de la rivière Miramichi étant donné le très fort taux de mortalité en mer présumé. Si on présume un ratio grilse:saumon pluribermarin de 80:20 (Chaput *et al.* 2016) ainsi que 1 % de survie pour le grilse et 0,2 % de survie pour le saumon pluribermarin (Chaput *et al.* 2016), pour 5 000 saumoneaux, cela revient à environ quarante grilses et deux saumons pluribermarins perdus dans le cadre des collectes de saumoneaux.

La cohorte de saumons de 2015 était prête pour la remise en liberté dans les affluents d'origine (Petite Miramichi Sud-Ouest et Miramichi Nord-Ouest) à l'automne 2017; toutefois, la remise en liberté a été retardée en raison d'autorisations en attente. Certains poissons matures de la cohorte de 2015 ont été utilisés dans le cadre d'expériences en laboratoire (N=20) et d'un projet de radio-surveillance (N=40; des poissons supplémentaires ont été utilisés étant donné que le groupe initialement muni de radio-émetteurs est devenu trop mature en attendant les autorisations et que, à deux reprises, un nouveau groupe de poissons a dû être équipé de

radio-émetteurs). Tel qu'il est indiqué dans le tableau 1, les poissons matures restants ont été manipulés pour retirer les œufs et la laitance; ils sont retenus au Centre de conservation du saumon de la Miramichi et sont reconditionnés aux fins de remise en liberté en 2018.

En raison du programme en développement, de la construction et des mises à niveau des systèmes au Centre de conservation du saumon de la Miramichi, tous les saumons de l'Atlantique matures sont des saumons ayant passé plusieurs hivers en captivité pour le moment; la cohorte de saumoneaux de 2016 ne devrait pas être mature en tant que grilse en raison du programme en développement. Une composante de remise en liberté du grilse devrait être produite à partir de la cohorte de saumoneaux de 2017.

4. Outils de surveillance génétique du programme, approche générale

Le principal objectif du programme d'ESA de CAST est d'examiner la contribution générationnelle des adultes issus de l'ESA par rapport à celle des adultes sauvages. Simultanément, le programme de collectes de géniteurs et de stocks de juvéniles actuellement utilisé peut être évalué en utilisant les mêmes méthodes. Il est préférable de procéder à cette évaluation en utilisant des approches d'analyse de la parenté fondées sur des marqueurs génétiques, approches dans lesquelles les échantillons prélevés de la descendance peuvent être attribués à des parents précis et, par conséquent, à un type de parent (SCCS 2016). De plus, la surveillance des marqueurs génétiques permet la détection des altérations de la fréquence des allèles au fil du temps dans les populations issues de l'ESA et du cours d'eau témoin.

Les analyses de la parenté génétique sont basées sur les principes de l'hérédité mendélienne selon lesquels les individus d'une espèce diploïde se reproduisant par voie sexuée reçoivent une copie génétique (allèle) de chacun de leurs parents. En examinant les descendants et leurs parents potentiels pour déterminer les variations des loci génétiques moléculaires, des déductions peuvent être faites concernant les parents d'un individu donné. Il existe diverses approches analytiques (p. ex. l'exclusion, l'allocation par catégories, la reconstruction de la fratrie) et divers cadres statistiques (p. ex. analyse bayésienne, maximum de ressemblance) pour effectuer des analyses de la parenté génétique (pour voir un examen, consulter Jones *et al.* 2010). Chacune de ces approches est adaptée à différents types de questions sur la parenté, aux marqueurs génétiques utilisés, aux renseignements disponibles sur les systèmes de reproduction, à l'échantillonnage des individus, ainsi qu'à la puissance informatique et au temps disponible (Jones *et al.* 2010). Le marquage en fonction des parents (Anderson and Garza 2006), contrairement à l'identification génétique des stocks, ne repose pas sur les différences génétiques entre les populations pour affecter les individus. Il repose plutôt sur la capacité à attribuer sans ambiguïté la parenté à des adultes dont l'identité est connue.

L'utilisation de l'analyse de la parenté aux fins de surveillance de la stratégie d'ESA proposée dans la rivière Miramichi Nord-Ouest a été examinée, et des travaux de simulation laissent entendre qu'une approche de marquage en fonction des parents serait efficace (Pavey 2016). Pavey (2016) a recommandé l'utilisation de marqueurs génétiques à polymorphisme touchant un nucléotide unique (SNP), à condition qu'un panel de marqueurs suffisamment variables soit disponible, en raison de leur flexibilité et de leur extensibilité. L'analyse préliminaire d'environ 50 000 marqueurs SNP caractérisés dans le saumon de l'Atlantique juvénile de 16 populations de sous-bassin de la rivière Miramichi indique qu'il y a plus de 14 000 SNP avec une fréquence des allèles mineurs supérieure à 0,3 (le niveau de variation utilisé par Pavey [2016] dans les simulations), ce qui laisse entendre qu'il n'y a pas de limites à l'utilisation des SNP pour la

parenté dans ce réseau hydrographique. Les données relatives aux SNP proviennent de relevés de 2016 sur les juvéniles (voir la section 5.1). Nous avons l'intention de sélectionner un panel d'environ 500 de ces SNP hautement variables pour concevoir une matrice de SNP à faible densité qui fournira le pouvoir de discrimination permettant d'attribuer sans ambiguïté la parenté des poissons issus de l'ESA. Une matrice de 500 SNP ayant le niveau de variation indiqué fournira en théorie un pouvoir de discrimination de 100 % pour affecter les individus (Pavey 2016) étant donné que nous avons l'intention d'utiliser plus de SNP ayant une plus grande variation que l'étude de simulation de Pavey (2016), pour laquelle le pouvoir de discrimination était de 100 %. Les chances de ne pas affecter un individu si le véritable parent se trouve dans l'ensemble de données (p. ex. ne pas affecter un descendant issu de l'ESA, faux négatif) sont négligeables à nulles (Pavey 2016).

Les programmes actuels de marquage en fonction des parents aux fins de surveillance des populationsensemencées (p. ex. Steele *et al.* 2013; Beacham *et al.* 2017) ont démontré une bonne réussite en matière d'attribution de la parenté à l'aide de panels de 100 à 300 marqueurs SNP (beaucoup moins que ce nous avons proposé). Par exemple, Beacham *et al.* (2017) ont affecté 92 % des 1 599 saumons coho d'origine connue de 15 populations d'écloserie à la classe d'âge appropriée au sein du stock de géniteurs à l'aide du logiciel SNPPIT (Anderson 2010), avec une exactitude de 100 %. La plus faible proportion affectée pour une population d'écloserie était de 72,4 %; toutefois seulement 90 % environ du stock de géniteurs de cette population était génotypé et le logiciel SNPPIT n'est pas capable d'attribuer un seul parent. Cela met en évidence l'importance du génotypage de chaque poisson issu de l'ESA pour obtenir la plus forte probabilité d'affecter correctement les descendants issus de l'ESA. De plus, lorsque le logiciel qui peut affecter un seul parent (COLONY; Jones et Wang 2010) a été utilisé, le taux de succès général d'affectation des descendants d'origine connue à la bonne classe d'âge au sein du stock de géniteurs était de 99,9 % (1 597/1 599). Des résultats similaires ont été observés par Steele *et al.* (2013) avec des taux d'affectation de la truite arc-en-ciel d'origine connue généralement supérieurs à 95 % sans faux positifs. Il est important de noter que ces deux études comprenaient dans leurs procédures d'affectation un grand nombre de parents potentiels qui ne pouvaient pas être biologiquement les parents des descendants visés. Malgré leur inclusion, aucun faux positif n'a été obtenu. Ceci est cohérent avec les simulations de modélisation qui laissent entendre qu'il y a peu ou pas d'affectations fausses avec le nombre de marqueurs SNP proposé (p. ex. Pavey 2016).

Pour surveiller les poissons dont les parents sont issus de l'ESA, le tissu de tous les poissons issus de l'ESA fera l'objet d'un échantillonnage pendant que ces poissons se trouvent en captivité, l'ADN sera extrait des échantillons de tissus et les génotypes seront caractérisés à l'aide d'une matrice de SNP à faible densité (un échantillonnage similaire sera effectué sur tous les saumons adultes utilisés pour le programme de stock de géniteurs continu). Ces échantillons fournissent des parents de référence aux fins de comparaison des génotypes des collectes de juvéniles et des éventuelles montaisons d'adultes à la rivière. À partir de l'année suivant la remise en liberté des premiers adultes issus de l'ESA et ensuite pendant six ans après les dernières remises en liberté d'adultes issus de l'ESA, les poissons qui pourraient être des descendants biologiques de poissons issus de l'ESA seront recueillis pour étudier leurs stades biologiques et des échantillons de tissus non létaux seront prélevés en utilisant la pêche à l'électricité à grande échelle et des relevés de collecte de saumoneaux (voir la section 5.4 pour connaître la taille des échantillons). De l'ADN sera extrait de ces échantillons par l'ablation de nageoire non létale (Dietrick et Cunjak 2006) et tous les individus seront analysés pour déterminer leur génotype à l'aide de la matrice de SNP à faible densité.

Une approche hiérarchique d'attribution de la parenté telle que celle présentée par Beacham *et al.* (2017), qui utiliserait d'abord le logiciel SNPPIT pour déterminer rapidement des paires de parents pour les individus dont les parents se trouvent tous deux dans la base de données, puis une approche plus intensive sur le plan informatique (COLONY) pour faire correspondre des individus non affectés à un seul parent issu de l'ESA. Ce type d'approche facilitera l'identification des descendants de deux parents issus de l'ESA ainsi que d'un parent issu de l'ESA et d'un parent sauvage dans un ensemble d'échantillons donné tout en réduisant potentiellement le temps de traitement. Un autre nouveau logiciel utilisant une approche hiérarchique d'attribution tout aussi efficace (Huisman 2017) pourrait être utilisé pour vérifier la parenté et fournir un indice de confiance pour les affectations, tel qu'il est recommandé par Pavey (2016). Le but de cette analyse de la parenté est de déterminer le nombre de descendants issus de l'ESA par rapport au nombre de descendants sauvages et de faire un suivi du ratio ESA:sauvage à chaque stade biologique pour évaluer la survie relative des descendants issus de l'ESA jusqu'à ce qu'ils effectuent leur montaison en tant qu'adultes. Nous nous attendons à ce que l'échantillonnage au stade biologique de saumoneau soit le moins biaisé en faveur de l'échantillonnage d'individus liés ou mélangés de façon non aléatoire et puisse fournir l'évaluation la plus précise de la proportion de survie des descendants issus de l'ESA pendant la phase en eau douce des juvéniles.

En plus de fournir un suivi du rendement en fonction des parents, ces données sur le génotype nous permettront d'évaluer tout changement relatif à la fréquence des allèles dans les échantillons de référence à l'échelle du bassin afin d'évaluer les répercussions potentielles de la remise en liberté de poissons issus de l'ESA (p. ex. effets de domestication). Même si nous nous attendons à ce que ces effets soient négligeables, tout changement détecté peut faire l'objet d'un suivi grâce aux échantillons de génotypage avec une matrice de SNP à plus forte densité (50 000) pour évaluer l'ampleur de ces différences et les risques qu'elles représentent. Des échantillons génétiques seront également recueillis dans les cours d'eau témoins (figure 1), toutefois, les échantillons des cours d'eau témoins seront soumis à une analyse génétique uniquement si on observe des différences de la fréquence des allèles dans les cours d'eau d'intervention de l'ESA entre la descendance issue de l'ESA et la descendance sauvage. Étant donné que les changements relatifs à la fréquence des allèles dans les cours d'eau d'intervention peuvent être dus à la variabilité temporelle, les échantillons des cours d'eau témoins peuvent être analysés (à l'aide de la matrice de 50 000 SNP) pour évaluer le degré de variabilité temporelle dans les cours d'eau témoins de référence en l'absence d'intervention de l'ESA, et pouvoir comparer le degré de variabilité temporelle des cours d'eau témoins et celui des cours d'eau d'intervention de l'ESA.

Des méthodes basées sur la parenté seront également utilisées dans le cours d'eau expérimental (rivière Millstream Nord-Ouest). Dans la rivière Millstream Nord-Ouest, tous les saumons adultes font également l'objet d'un échantillonnage génétique avant la remise en liberté dans la zone expérimentale fermée. L'analyse basée sur la parenté dans le cours d'eau expérimental devrait donc entraîner un fort degré de pouvoir analytique pour combler les lacunes dans les connaissances concernant les différences génétiques et phénotypiques entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages jusqu'au paramètre de migration des saumoneaux. Toutefois, l'expérience dans la rivière Millstream Nord-Ouest n'est pas assez importante pour pouvoir évaluer la stratégie d'ESA relativement à son principal objectif, à savoir produire des saumons adultes regagnant leur rivière natale à partir de l'océan (voir la section 5.3).

5. Description détaillée des études proposées, cadre d'hypothèse, et lacunes dans les connaissances à traiter

Les sections suivantes décrivent les quatre niveaux de recherche portant sur les postulats scientifiques, les hypothèses à mettre à l'essai, les méthodes générales (notamment la taille des échantillons et la durée, le cas échéant), les lacunes dans les connaissances à traiter (tel qu'il est défini dans SCCS 2016) et les paramètres à mesurer (selon Fraser 2016). Les éléments déclencheurs et les règles de décision concernant le moment où l'expérience sera modifiée, poursuivie ou arrêtée font l'objet de discussions concernant les études dans les cours d'eau naturels, où le risque pour la population de saumon sauvage de l'atlantique doit être étudié. À l'heure actuelle, il n'existe pas de mécanisme de risque perçu pouvant toucher le saumon sauvage de l'Atlantique dans le cadre de l'étude génétique du sous-bassin, des expériences en laboratoire ou de l'étude du cours d'eau expérimental; par conséquent, les éléments déclencheurs et les règles de décision concernant l'arrêt de ces études ne sont pas étudiés.

5.1. Programme 1 : Structure génétique des sous-bassins de saumon de l'Atlantique dans la rivière Miramichi

Postulat scientifique :

Avant tout, pour toute évaluation d'un programme de rétablissement, il faut comprendre la structure génétique de la population pour l'espèce préoccupante (Jonsson *et al.* 1999). Les connaissances concernant la structure génétique, c.-à-d. le caractère unique de chaque sous-bassin de la rivière Miramichi, sont nécessaires en tant que renseignements de référence pour s'assurer que les chaînes de production par ESA, c.-à-d. la gestion des cohortes de saumoneaux, sont créées comme il se doit pour protéger les populations naturelles des risques génétiques potentiels des expériences d'ESA (et au besoin pour l'utilisation de l'ESA en tant que stratégie d'intervention). De plus, la compréhension de la structure génétique avant le lancement de l'expérience d'ESA permettra de déterminer les changements génétiques potentiels pendant et après l'arrêt de l'expérience d'ESA.

Hypothèse : La structuration génétique de la population du saumon de l'Atlantique a lieu dans les sous-bassins du réseau hydrographique de la rivière Miramichi et est définie par ceux-ci.

Études réalisées et activités continues :

- En 2016, 16 sous-bassins (figure 2) ont fait l'objet d'un échantillonnage par pêche à l'électricité en collaboration avec le MPO et la MSA (taille d'échantillon cible de N=50 âge 1+, tacons de saumon de l'Atlantique dans chaque sous-bassin); un total N=774 a été recueilli (tableau 2).
- Les échantillons ont été génotypés en utilisant une puce de 50 000 SNP à l'hiver 2017 (Wellband *et al.*, données inédites); le génotypage a été réalisé pour 743 individus.
- D'après l'analyse préliminaire, les statistiques génétiques de population traditionnelles ont permis de déterminer une divergence génétique importante sur le plan statistique pour la plupart des comparaisons par paires des sous-bassins. Toutefois, l'ampleur générale de la divergence par pair au sein des cours d'eau était très faible étant donné ce qu'on attendait d'un réseau hydrographique de cette taille ($FST = 0,0006 - 0,0147$) (K. Wellband *et al.*, Laval/UNB, données inédites). Les routines de regroupement génétique simplistes (c.-à-d. celles sans connaissances préalables du regroupement d'échantillons) n'ont pas permis de séparer les grappes d'individus significatives au sein de la rivière Miramichi; toutefois, ce

résultat n'est pas inattendu étant donné le pouvoir réduit de ces techniques pour détecter la structure de la population lorsque l'ampleur de la divergence est faible ($F_{ST} < 0,05$).

- L'élaboration d'une puce SNP à plus faible densité (environ 500) pour la réalisation de l'analyse de la parenté (voir la section 4) dans les études de l'ESA ultérieures est en cours (UNB/Laval avec Cooke Aquaculture).
- L'étude génétique à l'échelle du sous-bassin fournit les renseignements de base nécessaires pour évaluer les répercussions de l'ESA sur les cours d'eau naturels (section 5.4).
- Une deuxième évaluation complète de la structuration génétique sur cinq ans sera utilisée pour évaluer la stabilité génotypique temporelle, qui fournit également une vérification supplémentaire des effets génétiques de l'errance et de la reproduction potentielles des poissons issus de l'ESA.

Lacunes dans les connaissances (SCCS 2016) à traiter :

- La structure génétique dans les sous-bassins du réseau hydrographique de la rivière Miramichi est inconnue à l'heure actuelle. Cette étude évaluera la structure génétique et vérifiera la nécessité de maintenir des chaînes d'élevage particulières pour la production par ESA de poissons provenant de différents sous-bassins (hypothèse de travail permanente).
- Fournir une référence génétique pour évaluer le changement génétique potentiel résultant des expériences d'ESA dans les cours d'eau naturels.

Tableau 2. Nombre d'échantillons de tissu génétique recueillis dans 16 sous-bassins de la rivière Miramichi à l'automne 2016 (voir également la figure 2)

| Sous-bassin | N | Remarques |
|---------------------------------------|----------|---|
| Miramichi Nord-Ouest supérieure | 52 | - |
| Miramichi Nord-Ouest inférieure | 63 | 13 échantillons d'un affluent (Sutherland Brook) s'écoulant dans des parties de la rivière Miramichi Nord-Ouest soumises à l'effet des marées |
| Sevogle | 49 | - |
| Petite Miramichi Sud-Ouest supérieure | 40 | - |
| Petite Miramichi Sud-Ouest inférieure | 49 | - |
| Miramichi Sud-Ouest inférieure | 54 | - |
| Miramichi Sud-Ouest moyenne | 49 | - |
| Miramichi Sud-Ouest supérieure | 52 | - |
| Renous | 52 | - |
| Dungarvon | 52 | - |
| Cains | 59 | - |
| Taxis | 49 | - |
| Burnthill | 27 | - |

| Sous-bassin | N | Remarques |
|-----------------------|----------|------------------|
| Clearwater | 23 | - |
| Rocky Bk | 51 | - |
| Millstream Nord-Ouest | 53 | - |
| Total | 774 | - |

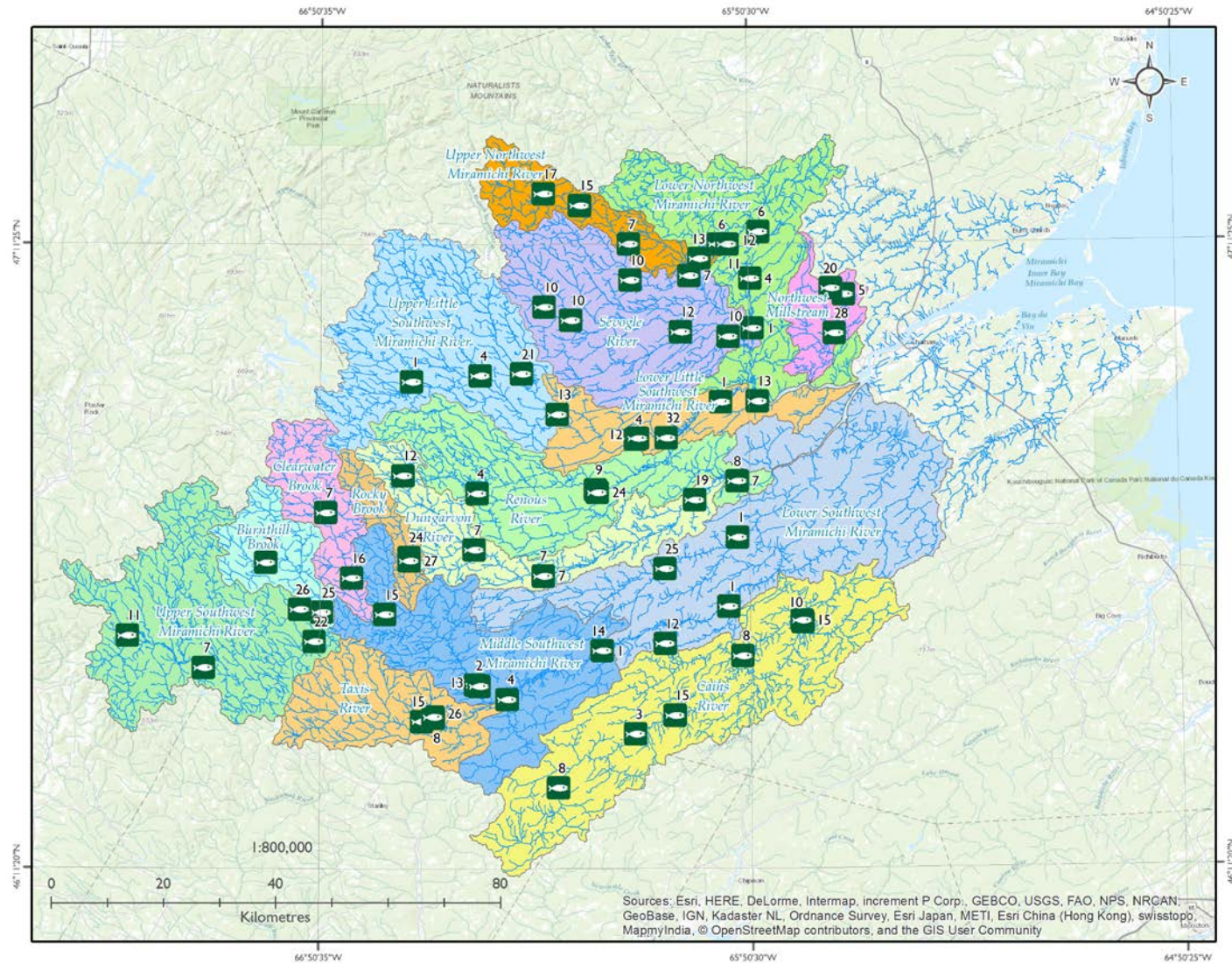


Figure 2. Sous-bassins (N=16) de la rivière Miramichi dans lesquels l'échantillonnage de données génétiques de référence a été entrepris à l'automne 2016 avec des tailles d'échantillons proportionnelles à chaque emplacement (Total = 774 échantillons de poissons).

5.2. Programme 2 : Expériences en laboratoire

Postulat scientifique :

Les expériences en laboratoire fournissent un milieu complètement contrôlé où les données fondamentales sur les caractéristiques phénotypiques comme génotypiques des poissons issus de l'ESA (p. ex. taux de maturation, taille à maturité, période de maturation) peuvent être évaluées pour la descendance et les adultes, notamment en ce qui concerne les différences relatives entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages. Des renseignements fondamentaux sont recueillis sur la fécondité, la taille des œufs et la valeur adaptative qui est définie ici comme la survie au stade œillé, à l'éclosion (alevin au stade du sac vitellin) et à l'émergence (début de l'alimentation externe). De plus, ces constatations devraient mener à des modifications ou au perfectionnement des pratiques d'élevage afin de continuellement améliorer la qualité phénotypique des saumons issus de l'ESA. Il est important de noter qu'il s'agit de situations contrôlées où les comparaisons entre les groupes, c.-à-d. entre poissons issus de l'ESA et poissons sauvages, constituent une évaluation relative. Ces résultats nous aident à comprendre les mécanismes des différences entre les groupes (le cas échéant) qui : 1) aideront à définir les paramètres du modèle pour les programmes d'ESA à production complète à l'avenir, c.-à-d. la production cumulative de descendance pour un adulte issu de l'ESA et la survie de sa descendance au frai (1 adulte issu de l'ESA = X pontes futures); et 2) nous aidera à modéliser la contribution de l'ESA prédite à la population totale (chiffres), c.-à-d. aux reproducteurs, aux juvéniles et aux saumoneaux d'un sous-bassin.

Hypothèse : Un poisson issu de l'ESA aura des caractères biologiques fondamentaux (phénotypiques) différents d'un poisson sauvage au stade adulte. La survie aux paramètres décrits devrait être plus faible chez les poissons issus de l'ESA que chez les poissons sauvages, toutefois, aucune différence génotypique ou phénotypique n'est prédite *a priori* pour la descendance survivante.

Études proposées, méthodes générales :

[Adultes]

- Le taux de maturation des poissons adultes issus de l'ESA (par sexe) est mesuré pendant les cinq années de l'expérience.
- La taille à maturité par sexe est mesurée.
- La période de maturation par sexe est évaluée.
- La fécondité et la taille des œufs sont comparées tous les ans; N=20 (ciblé) femelles adultes (pour les poissons sauvages et pour les poissons issus de l'ESA, seulement 10 femelles et mâles sauvages étaient disponibles en 2017; 10 + 10 saumons issus de l'ESA ont été utilisés de façon similaire en 2017)
- Succès de la fécondation par les mâles; N=10 mâles sauvages et issus de l'ESA (N=8 utilisés en 2017 en raison de la disponibilité de poissons sauvages)
 - Répété pendant deux ans
 - Fécondation de sous-échantillons d'œufs (N=100) de femelles sauvages sélectionnées (N=3) par des mâles sauvages (N=10; N=8 en 2017) et issus de l'ESA (N=10; N=8 en 2017); œufs de chaque femelle sélectionnés de façon aléatoire pour former deux lots de taille égale (N=100) et fécondés par la laitance de mâles issus de l'ESA et sauvages.
 - Total 1 000 œufs/femelle/traitement
- Études de la survie

- 10 femelles et 10 mâles pour les poissons sauvages et pour les poissons issus de l'ESA pour générer des croisements sauvage x sauvage, ESA x ESA, sauvage x ESA et ESA x sauvage pour une expérience sur le terrain donnant 40 croisements, trois répétitions pour chaque croisement
 - (pour 2017, les croisements ont été fécondés du 20 au 27 octobre)
 - Survie du stade d'œuf au stade œillé
 - Survie du stade d'œuf à l'éclosion
 - Survie du stade d'œuf à l'émergence
 - Survie de l'émergence au stade d'alevin en sevrage et croissance
 - Alevins en sevrage survivants croisés ESA x ESA, ESA x sauvage, sauvage x ESA à répartir dans les sections inférieures de la rivière Millstream Nord-Ouest sous la barrière (section de 13 km) sauf indication contraire, tous les génotypes sont connus
 - Croisements sauvage x sauvage des survivants répartis dans les affluents d'origine dans le cadre du programme d'ensemencement normal de la MSA (identité génétique des parents connue, et succès du poisson survivant déterminé dans le cadre du programme de surveillance de l'ESA)
- Potentiellement examiner l'expression génique et les différences épigénétiques entre les groupes expérimentaux au stade d'alevin en émergence (subordonné à un financement supplémentaire futur).

Lacunes dans les connaissances (SCCS 2016) à traiter :

- Caractéristiques des adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages
- Caractéristiques des œufs issus de l'ESA par rapport aux œufs sauvages
- Survie (valeur adaptative) de la descendance issue de l'ESA par rapport à la descendance sauvage dans le milieu d'écloserie contrôlé jusqu'au stade d'alevin en sevrage (il convient de noter que le frai des adultes et donc le choix du partenaire n'est pas libre contrairement à la stratégie d'ESA en milieu sauvage. De même, l'éclosion se fera en milieu d'écloserie où la sélection peut avoir lieu. Par conséquent, l'expérience n'est pas une vraie mise à l'essai de la stratégie d'ESA comme elle aurait lieu en milieu sauvage).

Mesures (Fraser 2016, tableau 2)

- [Adulte] : Croissance et taille, forme du corps (un projet de thèse de baccalauréat distinct a été entrepris à l'automne 2017 à l'UNB), taux de maturation, période de reproduction, taille des œufs et fécondité
- [Juvénile] : Survie aux paramètres décrits et taille au paramètre final par rapport au poisson sauvage

Les écarts types par rapport à la moyenne et la variance des mesures ci-dessus entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages seront évalués et comparés sur le plan statistique (Fraser 2016).

Planification adaptative - Évaluation des risques : Le taux de survie inférieur des croisements (femelle) sauvage x (mâle) ESA aux paramètres décrits pourrait indiquer un risque pour le saumon sauvage de l'Atlantique si des résultats similaires étaient applicables dans le milieu naturel (c.-à-d. que les œufs sauvages auraient un taux de survie inférieur s'ils étaient fécondés par un mâle issu de l'ESA). Le taux de survie inférieur des croisements ESA x ESA et des croisements (femelle) ESA x (mâle) sauvage ne représente pas un risque critique étant donné que la production d'œufs sauvages n'est pas touchée par le taux de survie inférieur de la descendance issue de l'ESA (le sperme de poisson sauvage n'est pas un facteur limitatif; l'intervention d'ESA a lieu dans des zones bien en dessous de la capacité de charge de la

production de juvénile; voir MPO [2017a]). Les études en laboratoire contiennent une mise en garde : contrairement au programme d'ESA réel en milieu sauvage, le choix du partenaire n'est pas naturel, et les différences en laboratoire peuvent ne pas refléter le programme d'ESA en milieu naturel.

5.3. Programme 3 : Cours d'eau expérimental

Postulat scientifique : Pour mieux comprendre comment le saumon issu de l'ESA réagira en milieu naturel par rapport au saumon sauvage de l'Atlantique, une expérience contrôlée est conçue pour avoir lieu dans un petit cours d'eau naturel. Le cours d'eau proposé, la rivière Millstream Nord-Ouest s'écoule directement dans l'estuaire de la rivière Miramichi (figure 1) et a un historique d'ensemencement de diverses souches de saumon de l'Atlantique dans le réseau hydrographique. La rivière Millstream Nord-Ouest est bloquée par de nombreux barrages de castors et la migration des saumons vers la section en amont est naturellement entravée. L'absence de connectivité naturelle dans le cours d'eau et les introductions répétées de stocks mixtes sont de bonnes garanties que les effets potentiels des introductions de poissons issus de l'ESA sur les stocks sauvages sont minimales dans la rivière Millstream Nord-Ouest. Chaque année, à l'automne, une barrière (conduit) sera érigée dans la section en aval de la rivière Millstream Nord-Ouest et sera maintenue pendant la période de frai, et ce, chaque année de l'expérience (proposition de trois années d'introductions de poissons issus de l'ESA). La section en aval de la barrière servira de section expérimentale pour les comparaisons entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages. L'expérience portera sur 1) le comportement, les niveaux d'activité et la survie des adultes issus de l'ESA et des adultes sauvages, et sur 2) la survie, la croissance et le comportement de la descendance des adultes issus de l'ESA et des adultes sauvages. Il est proposé de recueillir les poissons sauvages requis pour l'expérience dans le casier d'index du MPO, et d'utiliser la pêche à la senne et la pêche à la ligne pour recueillir les poissons sauvages supplémentaires requis. La première remise en liberté de 20 femelles issues de l'ESA et de 20 mâles issus de l'ESA a eu lieu à la fin du mois d'octobre 2017. Aucun poisson sauvage ne pouvait être capturé en 2017 en raison du retard lié à l'obtention de l'autorisation de collecte de poissons sauvages à cette fin (permis reçu le 26 octobre)

Hypothèses :

Les expériences porteront sur les écarts types du phénotype et du génotype des poissons issus de l'ESA par rapport à ceux des poissons sauvages dans un milieu naturel contrôlé.

Pour le stade adulte, l'hypothèse suivante est examinée :

1. Le comportement des adultes issus de l'ESA est similaire au comportement des poissons sauvages.

Les prévisions sont les suivantes :

- Les poissons issus de l'ESA vont frayer dans des zones similaires au milieu sauvage;
- La période de frai des adultes issus de l'ESA est similaire à celle des adultes sauvages;
- Les adultes issus de l'ESA trouvent un partenaire et fraient avec succès;
- La survie des reproducteurs issus de l'ESA après le frai est similaire à celle des adultes sauvages.

Pour le stade biologique de juvénile, l'hypothèse suivante est avancée :

2. Les adultes issus de l'ESA produisent une descendance qui n'est pas différente de la descendance produite par les poissons sauvages sur le plan phénotypique et génotypique.

Les prévisions sont les suivantes :

- Les œufs d'adultes issus de l'ESA émergent avec succès en termes de ratio par rapport aux œufs d'adultes sauvages, comme cela a été prédit à partir des études de la survie relative en laboratoire (c.-à-d. que la fécondité et la viabilité des œufs pourraient être inférieures, ou supérieures, à celles en milieu sauvage).
- Les juvéniles issus de l'ESA survivent avec succès en milieu sauvage, à un taux similaire à celui des juvéniles sauvages.
- La croissance des juvéniles issus de l'ESA en milieu sauvage est similaire à celle des juvéniles sauvages.
- Le comportement des juvéniles issus de l'ESA en milieu sauvage est similaire à celui des juvéniles sauvages.
- La fréquence des allèles dans les loci examinés n'est pas différente entre les juvéniles issus de l'ESA et les juvéniles sauvages.

Études proposées : Le suivi des déplacements et du comportement de frai des adultes issus de l'ESA et des adultes sauvages s'appuiera sur la radiotélémétrie; la surveillance sera répétée pendant trois ans. Tous les saumons, qu'ils soient issus de l'ESA ou sauvages, font l'objet d'un échantillonnage génétique (aux fins d'attribution de la parenté à la descendance). Les juvéniles seront évalués à l'aide de relevés par pêche à l'électricité; des relevés annuels par pêche à l'électricité visant à recueillir des échantillons de nageoire (matériel génétique) de la descendance aux fins d'analyse de la parenté seront menés pendant cinq ans. Un sous-groupe des juvéniles capturés feront l'objet d'un suivi à l'aide d'étiquettes à transpondeurs intégrés passifs pour surveiller le comportement, la survie et la croissance des juvéniles connus des deux groupes différents.

Études prévues dans la rivière Millstream Nord-Ouest (d'autres pourraient être ajoutées dans notre approche adaptative d'après les nouvelles connaissances acquises)

- Remise en liberté de 20 paires (20 femelles et 20 mâles) de saumons issus de l'ESA et de saumons sauvages de l'Atlantique dans la rivière Millstream Nord-Ouest, en amont de la barrière.
 - Tous les poissons remis en liberté feront l'objet d'un génotypage et seront munis de radio-émetteurs (Lotek MCFT2) et de transpondeurs intégrés passifs.
 - Tous les poissons remis en liberté seront marqués de façon externe (étiquettes à ancrage en T), code couleur différent pour les adultes issus de l'ESA et pour les adultes sauvages afin de faciliter les observations du comportement à l'aide des observations riveraines directes
 - Répété pendant trois ans
- Projet 1 – Surveillance du déplacement et du comportement des adultes
 - Évaluer la répartition et la survie des reproducteurs, le comportement de frai, les emplacements des frayères
 - Surveillance active (radio-émetteurs) dans les relevés riverains
 - Deux stations de (radio)surveillance passive installées pour surveiller les déplacements pendant le frai; un certain nombre de stations de suivi passif par transpondeur passif intégré seront également utilisées pour surveiller les déplacements.
 - Une station de surveillance passive retenue pour surveiller l'émigration des reproducteurs après le frai une fois la barrière retirée à la fin de l'automne
 - Répété pendant trois ans

- Surveillance de la survie des reproducteurs après le frai au frai multiple potentiel pour les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages (radio-émetteurs dont la durée de vie de la batterie est de plusieurs années)
- Projet 2 – Répartition et survie de la descendance issue de l'ESA
 - Relevés annuels par pêche à l'électricité visant à recueillir des échantillons de nageoire (matériel génétique) de la descendance aux fins d'analyse de la parenté (SNP); surveillance annuelle pendant cinq ans (en supposant qu'une majorité des saumons migrent à l'âge de deux ou trois ans)
 - Parenté résolue à l'aide d'une puce SNP à faible densité conçue d'après l'étude du sous-bassin (voir la section 4 et la section 5.1)
 - Survie et croissance entre les stades surveillés d'après des relevés répétés par pêche à l'électricité, et analyse génétique
 - Dix sites de pêche à l'électricité annuels, N=50/groupe d'âge/site (d'une année sur l'autre et tacons); taille de l'échantillon génétique annuel total N=500 pour cinq ans
- Projet 3 – Déplacements et comportement des juvéniles
 - Surveiller le comportement et les déplacements des individus munis d'étiquettes à transpondeur passif intégré
 - Utilisation de la génétique pour résoudre la parenté (après le marquage; parenté inconnue au moment du marquage, mais des représentants du groupe sauvage et du groupe issu de l'ESA sont susceptibles d'être marqués en randomisant les efforts de marquage et le ratio 1:1 de parents remis en liberté dans le réseau hydrographique).
 - Installer des antennes réseau passives à transpondeur passif intégré dans des endroits stratégiques pour surveiller les mouvements et l'émigration des juvéniles munis d'étiquettes à transpondeur passif intégré dans leur résidence dans la rivière Millstream Nord-Ouest (permettra également de surveiller les mouvements des adultes à l'automne)
 - Survie et croissance entre les stades d'individus connus de parenté connue
 - Méthodes avec transpondeur passif intégré qui seront utilisées sont des systèmes d'étiquette d'identification par radiofréquence semi-duplex d'Oregon avec des étiquettes « balle d'argent » de 12 mm et de 23 mm avec distance de détection améliorée. Les systèmes de lecture seront des nouveaux systèmes multiplexes synchronisés par satellite pour maximiser la distance de détection (non disponibles sur le marché à l'heure actuelle, mais seront disponibles pour les études d'ESA de CAST).
- Projet 4 – Études du comportement dans les petits enclos de cours d'eau
 - Observation directe des individus munis d'étiquettes à transpondeur passif intégré pour évaluer l'agressivité et l'audace
 - Les poissons seront munis d'étiquettes à transpondeur passif intégré et feront l'objet d'une analyse génétique à l'âge 0+ pour déterminer la parenté; lors d'une année ultérieure (tacons 1+ ou 2+, les recaptures seront obtenues et équilibrées, les croisements ESA x ESA, sauvage x sauvage seront sélectionnés pour les études en enclos de cours d'eau afin d'étudier les différences relatives aux mesures comportementales.

Taille de l'expérience

La composante relative au cours d'eau expérimental du programme d'ESA est conçue pour permettre un niveau élevé de contrôle dans le milieu naturel nécessairement de petite échelle. Cela permet à celui qui mène l'expérience de contrôler le ratio poissons issus de l'ESA:poissons

sauvages dans une zone semi-fermée. Avoir un niveau plus élevé de contrôle signifie toutefois que la section expérimentale est un cours d'eau relativement petit où des aspects relatifs au rendement générationnel d'un programme d'ESA réel ne sont pas faisables, c.-à-d. que trop peu de montaisons d'adultes issus de l'ESA peuvent être générées pour avoir une efficacité statistique permettant d'examiner la contribution générationnelle des adultes issus de l'ESA par rapport à celle des adultes sauvages quant à la production d'adultes regagnant leur rivière natale.

Lacunes dans les connaissances (SCCS 2016) à traiter :

- Comportement (vigueur de la migration, capacité d'appariement, comportement de frai, comportement après le frai) et interactions des adultes issus de l'ESA remis en liberté par rapport à leurs homologues sauvages dans le milieu naturel
- Compétition pour trouver des partenaires et perturbation du frai sauvage
- Période de frai par rapport aux poissons sauvages
- Valeur adaptative (individu et groupe) des adultes issus de l'ESA par rapport à leurs homologues sauvages pendant le stade de juvénile
 - *Valeur adaptative individuelle* relative des saumons issus de l'ESA et des saumons sauvages de l'Atlantique (production relative de juvéniles par des parents issus de l'ESA et sauvages connus; tous les parents faisant l'objet d'un échantillonnage génétique) pendant les stades de juvénile à saumoneau
 - *Valeur adaptative de groupe* relative des adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages (ratio de descendance issue de l'ESA:sauvage au fil des années au sein de la cohorte) pendant les stades de juvénile à saumoneau
- Comportement et croissance ainsi que morphologie des juvéniles issus de l'ESA par rapport aux juvéniles sauvages

Mesures (Fraser 2016, tableau 2)

- Adultes – Forme du corps, période de reproduction, vigueur de la migration, niveaux d'activité
- Juvéniles – Survie entre les stades (valeur adaptative), croissance, forme du corps, niveaux d'activité, comportement en matière de déplacement, agressivité/audace

Les écarts types par rapport à la moyenne et la variance des mesures ci-dessus entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages seront évalués et comparés sur le plan statistique (Fraser 2016).

5.4. Programme 4 : Impacts de l'ESA sur un cours d'eau naturel

Postulat scientifique : pour assurer la réussite du programme d'ESA (soit sa valeur en tant que stratégie de conservation possible), il faut bien comprendre la **contribution générationnelle des adultes issus de l'ESA par rapport à celle des adultes sauvages** (à savoir si les parents issus de l'ESA produisent une descendance qui migre vers l'océan **et retourne** aux rivières pour frayer avec succès et contribuer à la production de juvéniles sains. Cet objectif peut seulement être atteint à l'échelle de la population et dans un réseau hydrographique (rivière) où les introductions d'adultes issus de l'ESA suffisent à produire une descendance qui : 1) peut faire l'objet d'une évaluation quantitative en rivière (dénombrement à chaque classe d'âge); 2) peut devenir des adultes qui retourneront aux rivières pour frayer et faire l'objet d'une évaluation quantitative. Le nombre d'adultes issus de l'ESA ayant effectué une montaison vers leur rivière d'origine doit être suffisant pour instaurer un changement dans la production de juvéniles

sauvages et qui puisse faire l'objet d'une évaluation quantitative. Il est surtout important que l'étude soit reproduite (c.-à-d. dans au moins deux réseaux hydrographiques).

Hypothèses :

- 1) Les expériences porteront sur les écarts types du phénotype et du génotype des poissons issus de l'ESA par rapport à ceux des poissons sauvages dans un milieu naturel.

Pour le stade adulte, l'hypothèse suivante est examinée :

- 1 Le comportement des adultes issus de l'ESA est similaire au comportement des poissons sauvages.

Les prévisions sont les suivantes :

- Les poissons issus de l'ESA vont frayer dans des zones similaires au milieu sauvage;
- La période de frai des adultes issus de l'ESA est similaire à celle des adultes sauvages.
- Les adultes issus de l'ESA trouvent un partenaire et fraient avec succès.
- La survie des reproducteurs issus de l'ESA après le frai est similaire à celle des adultes sauvages.

Pour la descendance issue de l'ESA, l'hypothèse suivante est avancée :

- 2 Les adultes issus de l'ESA produisent une descendance qui n'est pas différente de la descendance produite par les poissons sauvages sur le plan phénotypique et génotypique.

Les prévisions sont les suivantes :

- Les œufs d'adultes issus de l'ESA émergent avec succès en termes de ratio par rapport aux œufs d'adultes sauvages, comme cela a été prédit à partir des études de la survie relative en laboratoire (c.-à-d. que la fécondité et la viabilité des œufs pourraient être inférieures, ou supérieures, à celles en milieu sauvage).
 - Les juvéniles issus de l'ESA survivent avec succès en milieu sauvage au stade de saumoneau, à un taux similaire à celui des juvéniles sauvages.
 - La croissance des juvéniles issus de l'ESA en milieu sauvage est similaire à celle des juvéniles sauvages.
 - La fréquence des allèles dans les loci examinés n'est pas différente entre les juvéniles issus de l'ESA et les juvéniles sauvages.
 - Les saumoneaux issus de l'ESA survivent jusqu'à l'âge adulte et retournent vers leur rivière d'origine de façon semblable à celle des spécimens sauvages, ce qui signifie que l'ESA n'entraîne pas de perte d'adaptation en mer.
- 2) Les expériences d'ESA généreront une augmentation démographique de la densité de juvéniles dans les rivières où il y a eu une intervention d'ESA comparativement au niveau de référence indiqué dans l'ensemble de données pluriannuelles recueillies au moyen des relevés par pêche à l'électricité, tandis qu'il n'y aura pas d'augmentation semblable dans les rivières témoins.

Études proposées : le plan actuel est de remettre en liberté des adultes matures issus de l'ESA dans deux rivières proposées aux fins d'intervention (voir la section 2.3). Une première remise en liberté est prévue à l'automne 2018. Dans l'ensemble, les remises en liberté se font 15 mois après la capture pour la majorité des mâles (petits saumons ou grises) et 27 mois pour la majorité des femelles (saumons ayant passé plusieurs hivers en captivité). La maturité peut être

détectée à la fin de la saison, c'est pourquoi on a seulement prévu une remise en liberté à ce moment. Une méthode de diagnostic précoce de la maturité au moyen d'ultrasons sera envisagée afin de permettre des remises en liberté au milieu de l'été. On prévoit que ce ne seront pas tous les saumons issus de l'ESA qui arriveront à maturité durant cette période, et les spécimens non matures seront gardés pendant une autre année au Centre de conservation du saumon de la Miramichi. Les femelles de la cohorte de saumoneaux recueillies en 2015 (qui devaient initialement être remises en liberté à l'automne 2017) devraient être complètement matures en 2018 et seront remises en liberté au milieu de l'été 2018, ce qui coïncide avec la montaison des saumons sauvages. Le sort des mâles de la cohorte de 2015 doit faire l'objet d'une discussion dans le cadre de l'examen par les experts du SCCS en janvier 2018 puisque faute d'espace, il se pourrait qu'ils ne puissent pas être gardés au Centre de conservation du saumon de Miramichi après le printemps 2018 (remise en liberté possible pendant la migration des charognards en avril 2018).

La proposition actuelle est que les saumons issus de l'ESA seront remis en liberté en amont des secteurs de prélèvement de saumoneaux (figure 1 – Sillikers dans la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest et le pont Wayerton Bridge, au niveau de la rivière Miramichi Nord-Ouest). Le plan de remise en liberté pourrait évoluer au fur et à mesure que de la nouvelle information est accessible au sujet de leur comportement et de la génétique des sous-populations pendant l'expérience. La période de remise en liberté s'étend du 15 septembre au 15 octobre, ce qui correspond à la période de pointe de la migration naturelle dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (Chaput et coll. 2016). Des remises en liberté effectuées au milieu de l'été auront lieu seulement si le niveau de maturité peut être prédit de façon fiable au moyen de la méthode à ultrasons. Les remises en liberté auront initialement lieu en lots d'environ 75 à 100 spécimens par rivière, selon les conditions de l'eau (température de l'eau et niveaux appropriés pour les saumons adultes).

En tout, 50 saumons adultes issus de l'ESA et 50 saumons sauvages adultes seront dotés de radio-émetteurs afin de surveiller annuellement leurs déplacements et leur comportement, pendant trois années, dans chaque affluent.

Le nombre de saumons issus de l'ESA remis en liberté sera clairement déterminé chaque année. Tous les saumons issus de l'ESA seront dotés d'une étiquette à transpondeur passif intégré, et les rivières où les poissons sont remis en liberté seront surveillées à des endroits précis au moyen de plusieurs antennes à transpondeur passif intégré à plat détecteront tout saumon issu de l'ESA qui quitter le réseau hydrographique (des antennes doubles seront installées dans le lit des cours d'eau pour assurer une détection bidirectionnelle des mouvements; figure 3). Le nombre et la taille des saumons sauvages de l'Atlantique qui entrent dans les rivières où il y a eu une intervention d'ESA seront surveillés au moyen de sonars ARIS (figure 3), en parallèle du projet de CAST (l'étude complète est décrite dans un autre document). Cette façon de faire permettra de calculer un *ratio* de saumons sauvages:saumons issus de l'ESA dans le réseau hydrographique. Ce ratio pourra être utilisé pour surveiller le niveau de réussite de la production de juvéniles (voir la section sur les paramètres dans les prochains paragraphes).

La production de juvéniles fera l'objet d'un suivi dans le cadre d'un programme à grande échelle de relevés par pêche à électricité, qui commencera en 2019. Le suivi se poursuivra au cours de la phase 1 de l'ESA de CAST pendant au moins cinq ans (elle continuera aussi pendant la phase 2 du programme de surveillance). La parenté des juvéniles sera déterminée au moyen de marqueurs génétiques SNP (voir la section 4). Nous partons du principe que nous connaîtrons l'ADN de tous les poissons issus de l'ESA et que par conséquent, nous serons en mesure d'identifier les juvéniles produits par les parents issus de l'ESA (ESAxESA et

ESAxSauvage). L'objectif de la surveillance des juvéniles est de consigner si le ratio de saumons sauvages:saumons issus de l'ESA est le même que celui des saumons sauvages:saumons issus de l'ESA à la phase adulte. Elle a également pour but de déterminer si le ratio reste semblable au fur et à mesure que les saumons vieillissent (ce qui indiquerait un taux de survie intercohorte similaire entre la descendance sauvage et issue de l'ESA). De plus, nous prélèverons des échantillons dans le stock de géniteurs adultes dans le cadre du programme d'ensemencement continu de juvéniles afin d'encore mieux évaluer la réussite du programme dans l'optique de la production de juvéniles et de saumoneaux sauvages et issus de l'ESA.

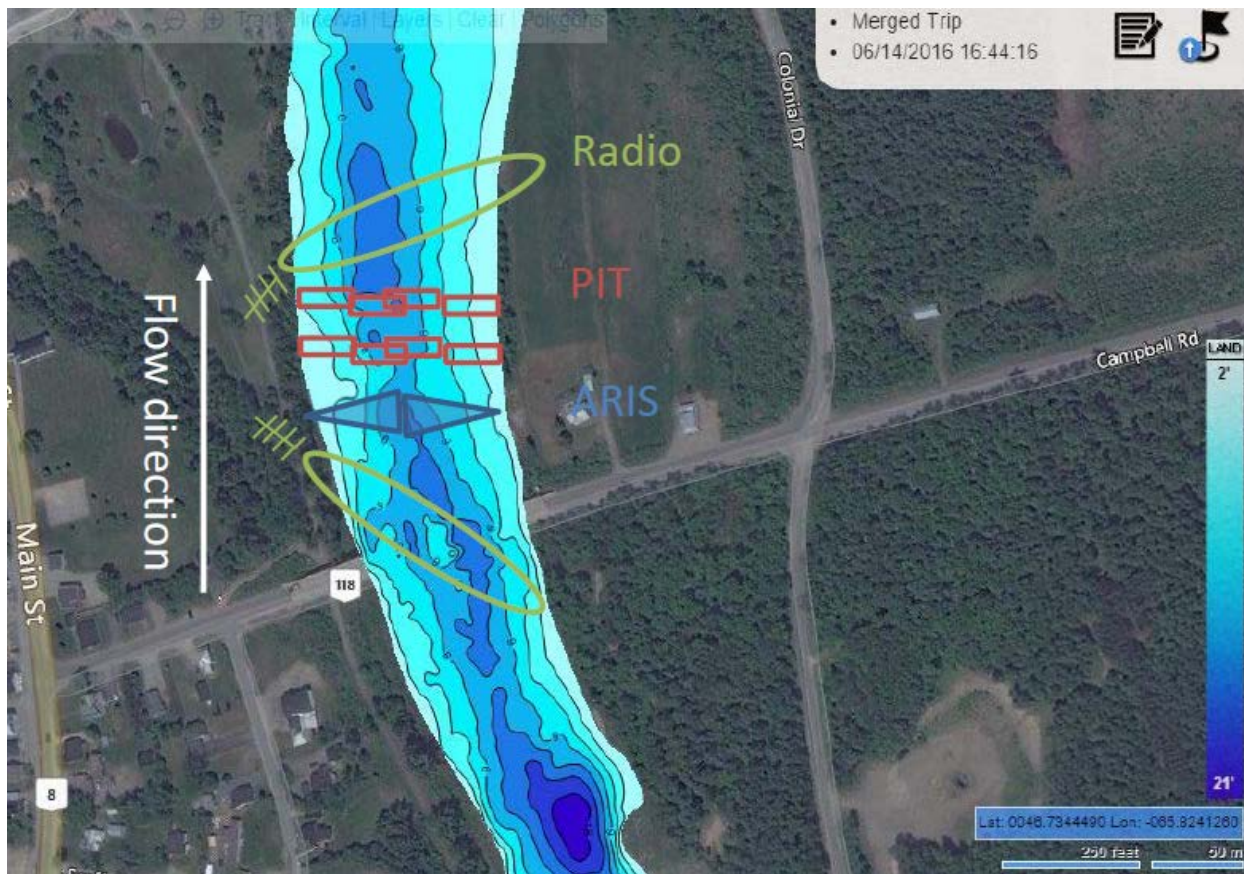


Figure 3. Représentation schématique des méthodes visant à établir le nombre de saumons adultes (sauvages ou issus de l'ESA) en amont des lieux de prélèvement initiaux de saumoneaux issus de l'ESA. Les saumons sauvages seront dénombrés avec des unités de sonar ARIS, alors que les saumons issus de l'ESA seront détectés par des sonars ARIS et les antennes à transpondeur passif intégré afférentes. De plus, une sous-population des saumons issus de l'ESA et des saumons sauvages sera aussi détectée par radiotélémétrie, ce qui permettra de vérifier l'efficacité des sonars ARIS et des antennes à transpondeur passif intégré. (Le schéma n'est fourni qu'à titre indicatif et ne représente pas de façon précise les sites proposés pour l'étude.)

Études prévues (d'autres pourraient être ajoutées dans notre approche adaptative d'après les nouvelles connaissances acquises) :

- Un échantillon sera prélevé sur tous les saumons adultes issus de l'ESA avec des outils génétiques (outil SNP à faible densité). Ils seront aussi munis d'une étiquette à transpondeur passif intégré (« balle d'argent » semi-duplex de 23 mm). Tous les poissons

issus de l'ESA porteront aussi une marque externe, soit une étiquette à ancrage en T, afin que les membres des communautés autochtones locales puissent facilement les identifier s'ils les pêchent (voir la section 6).

- **Projet 1 – Suivi des mouvements et du comportement des adultes après leur remise en liberté**
 - 50 des saumons adultes sauvages et issus de l'ESA munis d'un radio-émetteur, par affluent, pendant trois ans
 - Saumons sauvages pêchés à la senne, à la pêche au filet piège ou à la pêche à la ligne dans les affluents où il y a eu une intervention; d'autres saumons sauvages, issus d'une éventuelle étude parallèle de radiosurveillance du MPO, pourraient aussi être pêchés
 - Postes de suivi actif et de surveillance passive à des endroits stratégiques (quatre sites dans la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest, soit Upper Oxbow, ruisseau Catamaran, jonction avec le bras nord gauche de la rivière et jonction avec le ruisseau North Pole; trois sites dans rivière Miramichi Nord-Ouest, soit la zone du pont Wayerton, la jonction avec la rivière Petite Miramichi et un dernier site à déterminer)
 - Systèmes de radiotélémétrie Lotek : étiquettes MCFT2 munies de piles efficaces pendant environ deux ans
 - Suivi continu des poissons pendant la saison du frai, à l'occasion pendant l'hiver si les conditions de glace le permettent (objectif : deux occurrences) et chaque semaine pendant la dévalaison des charognards afin de déterminer le comportement des saumons adultes issus de l'ESA par rapport aux saumons sauvages. Le suivi se fera au moyen de diverses méthodes, en fonction du secteur (par véhicule, par véhicule tout-terrain, à pied, par aéronef). Les données recueillies comprennent :
 - Frai – (1) Déterminer si les saumons issus de l'ESA se reproduisent et (2) servir de guide si des spécimens de la descendance issue de l'ESA sont prélevés dans le cadre des efforts de surveillance de la descendance.
 - Comportement en hiver, survie et déplacement pendant la migration des charognards – Établir si les saumons issus de l'ESA peuvent devenir des reproducteurs pluriannuels.
 - Survie en mer (saumons issus de l'ESA après le frai) et errance dans les affluents
 - Frai multiple – Collecte de données sur le taux de retour des saumons issus de l'ESA comparativement aux saumons sauvages, sous forme de pourcentage des poissons munis d'un radio-émetteur qui retournent pour le frai (étiquettes pluriannuelles)
- **Projet 2 – Surveillance après la remise en liberté au moyen de la télémétrie par transpondeur passif intégré**
 - Antennes à transpondeur passif intégré à plat pour surveiller l'émigration possible des adultes issus de l'ESA (ces derniers sont introduits dans des secteurs en amont des antennes)
 - Systèmes semi-duplex et multiplexes avec synchronisation satellite et étiquettes aux fins de mise à l'essai de la fonctionnalité
 - Nécessité d'établir combien de saumons issus de l'ESA se trouvent dans chaque affluent pendant la période de frai (il faut déterminer le ratio entre les saumons adultes issus de l'ESA:saumons sauvages dans chaque affluent pendant le frai)

- Projet 3 – Dénombrement des adultes sauvages qui retournent à leur rivière d'origine
 - Dénombrement de saumons sauvages et évaluation de la répartition de la taille des adultes qui reviennent à l'aide d'unités ARIS 1800 (l'étude ARIS est détaillée dans un autre document; les unités ont été utilisées en 2016 et 2017, et des dénombrements quotidiens de poissons par catégorie de taille se trouvent à l'adresse www.castsalmon.com)
 - Des antennes à transpondeur passif intégré sont associées aux unités ARIS afin de déterminer si les poissons migrants sont sauvages ou issus de l'ESA (tous les saumons issus de l'ESA munis d'une étiquette de transpondeur passif intégré et toute détection par une antenne indique un poisson issu de l'ESA; la synchronisation des antennes se fera au moyen de nouveaux systèmes satellites; les méthodes d'installation des antennes ont été mises à l'essai dans le cadre d'un autre projet [programme d'ESA dans le cours supérieur de la rivière Salmon] réalisé en 2016 et 2017, et se sont avérées efficaces)
- Projet 4 – Évaluation de la contribution de la descendance issue de l'ESA
 - Relevés annuels par pêche à l'électricité dans 20 sites et affluents, comprenant un prélèvement de 25 jeunes de l'année et 25 tacons par site, aux fins d'analyse de la parenté (donc 1 000 juvéniles, par affluent, par année, pendant au moins cinq ans)
 - Tous les échantillons génétiques prélevés seront petits et sans gravité (bout de nageoire); on prévoit que les juvéniles s'en remettront rapidement (Dietrick et Cunjak 2006). Dans la mesure du possible, on peut utiliser des échantillons prélevés dans le cadre de programmes de relevés par pêche à l'électricité parallèles (p. ex. ceux du MPO réalisé en collaboration avec la MSA)
 - Prélèvement de matériel génétique dans les rivières témoins, par l'intermédiaire des programmes de relevés par pêche à l'électricité du MPO et de la MSA
 - Les échantillons serviront de référence et seront analysés si des différences génétiques sont observées entre la descendance de saumons sauvages et de saumons issus de l'ESA dans les affluents où il y a eu une intervention
 - Résolution des questions de parenté au moyen des outils génétiques SNP (voir la section 4)
 - Établissement du taux de survie moyen entre les stades et surveillance de la croissance selon la rivière d'origine (saumons issus de l'ESA, saumons sauvages ou saumons hybrides, notamment ceux provenant de l'ensemencement de géniteurs)
 - Évaluation des modifications dans la fréquence des allèles
 - Comparaison annuelle des échantillons prélevés chez des juvéniles de saumon de l'Atlantique sauvage, comme établi grâce à l'analyse de parenté (soit les saumons qui ne sont pas issus de l'ESA ou du stock de géniteurs), dans les secteurs où il y a eu des interventions d'ESA (sous-bassins des cours inférieur et supérieur de la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest, et le cours supérieur de la rivière Miramichi Nord-Ouest) avec l'information génétique de référence (2016) sur les saumons sauvages, pour les mêmes secteurs afin de déterminer toute différence génétique. La fréquence des allèles change-t-elle chez les juvéniles sauvages avant et après l'intervention d'ESA?
 - Des échantillons génétiques prélevés sur la descendance issue de l'ESA seront aussi comparés aux données de référence sur le saumon sauvage (avant l'intervention ou en 2016), ainsi qu'aux données sur la descendance sauvage

recueillies pendant l'intervention. La fréquence des allèles est-elle différente entre les juvéniles issus de l'ESA et les juvéniles sauvages avant ou après l'intervention d'ESA?

- Si des différences sont observées entre les saumons issus de l'ESA et les données de référence sur le saumon sauvage, les échantillons de tissu prélevés dans les rivières témoins (rivière Sevogle et zones précises dans la rivière Miramichi Sud-Ouest) seront analysés avec les outils SNP. Ces données seront comparées avec les données de référence recueillies aux mêmes sites témoins avant l'intervention d'ESA. La fréquence des allèles change-t-elle chez les juvéniles sauvages dans les rivières témoins avant et après l'intervention d'ESA?
- Si des différences sont relevées entre les sites témoins et les zones d'intervention, les données indiquent donc une variabilité temporelle naturelle dans la fréquence des allèles dans chaque affluent, indépendamment des interventions d'ESA. S'il y a des différences dans la fréquence des allèles avant et après une intervention seulement dans les rivières où il y a eu une intervention d'ESA (donc pas dans les rivières témoins), il faut donc envisager d'interrompre les remises en liberté faites dans le cadre de l'ESA en milieu naturel, jusqu'à ce que des analyses approfondies soient réalisées. Les résultats feront l'objet d'une discussion par l'équipe scientifique (CAST/MPO/MTI) pour déterminer si les preuves génétiques suffisent pour prendre des mesures de planification adaptative comme la modification des études (voir les prochains paragraphes).
- **Projet 5 – Évaluation de la contribution de l'ESA à la migration des saumoneaux**
 - Prise de saumoneaux chaque année au moyen de pièges rotatifs (responsabilité de la MSA)
 - Prélèvement des petits échantillons de nageoire (1 000 par affluent) aux fins d'analyse génétique pour déterminer la parenté (on présume que la population de saumons issus de l'ESA et la population de saumons sauvages se seront mélangées pendant la migration des saumoneaux; l'échantillonnage se fera pendant la montaison)
- **Projet 6 – Surveillance des adultes revenant dans leur rivière d'origine (descendance possible des adultes issus de l'ESA)**
 - Prélèvement d'échantillons de tissu (petit morceau de la nageoire caudale) sur 250 adultes non issus de l'ESA (sans étiquette à transpondeur passif intégré) capturés dans les filets-trappes du MPO à Cassilis (rivière Miramichi Nord-Ouest; branche où il y a eu une intervention d'ESA) et à Millerton (rivière Miramichi Sud-Ouest; branche témoin; figure 1). Les échantillons seront analysés pour évaluer : 1) les caractéristiques génétiques temporelles des saumons sauvages revenant dans leur rivière d'origine; 2) pourcentage de saumons adultes issus de l'ESA (on devrait commencer à les détecter cinq ans après la première remise en liberté).
 - La proportion de saumons échantillonnés entre les filets-pièges témoins situés à Millerton et Cassilis pourrait changer au fil du temps si les résultats indiquent que les poissons issus de l'ESA retournent presque exclusivement dans la branche de la rivière Miramichi Nord-Ouest (comme présumé, bien qu'il y ait de l'errance naturelle entre les deux branches). Par conséquent, nous privilégions un échantillonnage visant à détecter « l'effet » (ratio de saumons issus de l'ESA retournant dans sa rivière d'origine par rapport aux saumons sauvages qui font de même) plutôt que de consigner le « risque » (surveillance de la possibilité d'occurrence, soit l'errance des poissons issus de l'ESA

dans une branche qui n'est pas celle d'origine). Le programme d'échantillonnage reposera, à première vue, sur un concept équilibré.

- Des échantillons seront prélevés sur d'autres adultes aux obstacles de conservation (p. ex. eaux d'amont de la rivière Miramichi Nord-Ouest) et aux camps de pêche situés le long de la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest et la rivière Miramichi Nord-Ouest. La cible est de 100 par affluent.

Échelle de l'expérience

Les principaux objectifs des expériences *in-situ* sont les suivants : 1) combler la plus importante lacune dans les connaissances scientifiques sur la stratégie d'ESA, soit comparer le succès de reproduction des descendants par rapport à celui des adultes sauvages en milieu naturel; 2) déterminer si le programme d'ESA augmentera la production de juvéniles dans les rivières où il a eu une intervention comparativement aux rivières témoins. Pour être concluante, l'expérience doit être assez grande pour que nous ayons un échantillon approprié d'*adultes retournant dans leur rivière d'origine* et dont les parents sont issus de l'ESA et que les quantités produites de juvéniles ne sont pas masquées par la variation interannuelle naturelle dans les densités de juvéniles.

La principale méthode pour évaluer ce résultat est de comparer le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages (et leurs hybrides) au moyen d'échantillons prélevés aléatoirement dans les cohortes de saumoneaux en dévalaison dans les deux rivières où il y a eu des interventions d'ESA au ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages (et leurs hybrides) d'adultes retournant dans leur rivière d'origine (une à trois années suivant la migration de la cohorte de saumoneaux vers l'océan). La majorité des saumoneaux migrent vers les milieux d'eau douce à l'âge de deux ou trois ans, alors que < 3 % migrent à l'âge de quatre ans (Chaput et coll. 2016). L'évaluation complète de la réussite de chaque classe d'âge nécessite la vérification de la production de saumoneaux pendant les trois saisons de dévalaison et les périodes de retour subséquentes (au stade de saumon pluribermarin).

Les quantités nécessaires exactes de « semences » issues de l'ESA peuvent seulement être estimées, en fonction de l'information accessible, puisque le taux de réussite de la production de descendance par les poissons issus de l'ESA est inconnu à l'heure actuelle et que le taux de survie des juvéniles en eau douce ou le taux de survie des adultes dans l'océan (sauvages ou issus de l'ESA) ne sont pas connus non plus. On estime que 2 500 saumoneaux provenant de chaque affluent où il y a eu une intervention d'ESA peuvent produire 2 000 adultes issus de l'ESA (selon un taux de survie de 80 % après la remise en liberté), dont la moitié devraient être des femelles (le nombre exact sera connu au moment de la remise en liberté).

Une remise en liberté de 1 000 femelles issues de l'ESA par affluent est considérée comme étant un minimum absolu pour que la probabilité d'avoir un échantillon adéquat d'adultes retournant dans leur rivière d'origine et dont les parents étaient issus de l'ESA soit suffisamment élevée. Bien qu'il ne s'agisse que d'une très grossière estimation, on prévoit que 1 000 femelles produiront une ponte d'environ 6,2 millions d'œufs. Hypothèses : 80 % des femelles mûrent vers le stade de saumon pluribermarin à un poids moyen de 5 kg, 20 % des femelles mûrent vers le stade de grilse à un poids moyen de 2,5 kg et la fécondité moyenne est de 1 385 œufs/kg (Chaput et coll. 2016; Cunjak et Therrien 1998). Le taux de survie d'un œuf vers le stade de saumoneau est de 2,5 % (une estimation moyenne tirée d'études réalisées sur des saumons juvéniles; Cunjak et Therrien 1998) donnerait une production d'environ 156 000 saumoneaux. En estimant le taux de survie en mer à 1 % entre le stade de saumoneau et celui de grilse, un taux de survie de 0,2 % entre le stade de saumoneau et de saumon pluribermarin (série chronologique d'estimations pour le cours inférieur de la rivière Miramichi

de 1998 à 2006; Chaput et coll. 2016) et un taux de retour de 80 % des saumoneaux devenus grilses (Chaput et coll. 2016), un nombre approximatif de 1 246 grilses et 62 saumons pluribermarins pourraient revenir dans la rivière d'origine (par tranche de 1 000 femelles issues de l'ESA). Pour avoir un échantillon de matériel génétique afin de confirmer si le ratio saumons issus de l'ESA:saumons sauvages est semblable à celui établi pendant la migration des saumoneaux, il faut capturer un nombre représentatif de spécimens issus de l'ESA qui retournent dans leur rivière d'origine. En présumant que 10 % des saumons adultes retournant dans leur rivière d'origine peuvent être échantillonnés au moyen des filets-trappes (du MPO ou non), dans les pavillons et les pourvoiries, dans le cadre de la pêche à la ligne et à la senne dans les bassins de saumons, un échantillon de 120 à 130 poissons issus de l'ESA par affluent pourrait donc être obtenu pour la cohorte d'adultes retournant dans leur rivière d'origine (selon l'hypothèse de « l'ensemencement » de 1 000 femelles). Encore une fois, ce calcul est basé sur une estimation grossière, mais il justifie la taille de l'ESA dans les cours d'eau naturels (en l'absence de toute autre façon significative de prédire le taux de survie à divers stades ou le taux de capture des saumons qui retournent dans leur rivière d'origine). Il est aussi important de souligner que la taille de production des femelles (2,5 kg et 5 kg) ainsi que le taux de survie de 2,5 % des œufs vers le stade de saumoneau peuvent être « libérés », c'est-à-dire que le retour *de facto* pourrait être *inférieur* à la prévision, ce qui nécessiterait un « ensemencement » plus important d'adultes issus de l'ESA. Par contre, il y a un risque que le nombre de saumons sauvages de l'Atlantique augmente si le nombre de saumons ensemencés issus de l'ESA augmente. Ainsi, jusqu'à ce que de plus amples renseignements soient accessibles sur les risques associés à l'expérience, la proposition est de faire un compromis (prélèvement de 2 500 saumoneaux par affluent).

De plus, afin de vérifier la possibilité qu'une intervention d'ESA fasse augmenter la production de juvéniles dans un réseau hydrographique où la moyenne de variation interannuelle à des densités moyennes d'environ 80 % avec un mode de 35 % (données tirées des relevés par pêche à l'électricité du MPO), l'augmentation modélisée du recrutement des adultes doit être au moins de l'ordre de 2 000 adultes par affluent afin d'être en mesure de détecter un « effet » (soit une augmentation de la densité de juvéniles au-delà du niveau de référence; R. A. Curry, non publié).

À l'heure actuelle, le programme de CAST prévoit commencer avec une remise en liberté d'environ 1 850 et 1 550 saumons issus de l'ESA dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest, respectivement (tableau 1; cohortes de 2015 et 2016 avec une faible mortalité et hypothèse que la moitié sont des femelles). La prévision actuelle pour les années 2 à 5 (poursuite jusqu'à l'année 6 afin de relâcher les saumons ayant passé plusieurs hivers en captivité) est de remettre en liberté les adultes matures ayant survécu chaque année (moins les adultes nécessaires aux fins d'expériences en laboratoire, d'études expérimentales en cours d'eau et d'analyses vétérinaires) à partir des 2 500 saumoneaux prélevés dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest (les années 2 à 5 représentent la période 2019-2022/2023). Afin de mettre le tout en contexte, l'exigence de conservation pour le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest a été estimée à 7 300 femelles adultes (saumons pluribermarins) et à un nombre correspondant de mâles adultes (Randall 1985).

Le taux de retour du saumon de l'Atlantique adulte sauvage vers la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest ou la rivière Miramichi Nord-Ouest, en amont du ruisseau Brook, sont inconnus (SCCS 2017a). Le programme de dénombrement des saumons de CAST (programme ARIS) comprend une évaluation du taux de retour des adultes dans ces deux cours d'eau. Afin de mettre en contexte encore une fois, la moyenne du taux de retour des adultes dans le réseau

hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest (comprend les zones où il y a eu une intervention d'ESA et la rivière Sevogle [témoin] ainsi que d'autres petits cours d'eau) est d'environ 5 000 saumons pluribermarins et 12 000 grilises (SCCS 2017a). En fonction du projet ARIS de CAST, le retour dans la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest à la fin octobre 2017 était de 4 287 grilises et 1 576 saumons pluribermarins.

Dans le cadre de l'ESA ou de tout autre programme d'ensemencement, les risques pourraient augmenter si les remises en liberté de saumons issus de l'ESA représentent un pourcentage accru du nombre total de saumons sauvages adultes dans la population au moment du frai (SCCS 2016). Les remises en liberté d'environ 1 000 femelles adultes par affluent, dans le cadre du programme d'ESA de CAST (à partir de 2019), compromettraient une petite quantité (voire faible) comparativement au nombre de femelles adultes nécessaires pour atteindre l'état de conservation visé. Bien que le taux de retour ne puisse être prédit avec certitude pour les prochaines années, le nombre maximal de remises en liberté dans le cadre de l'ESA comparativement au nombre d'adultes sauvages qui retournent dans leur rivière d'origine sera de 1:1 jusqu'à ce que de nouvelles données soient accessibles pour évaluer ce ratio et son incidence potentielle sur le saumon sauvage. Le ratio réel sera déterminé au moment des remises en liberté dans le cadre de l'ESA, en fonction du programme ARIS de CAST. De façon similaire, si le programme ARIS indique que le taux de retour du saumon sauvage est suffisamment élevé pour dépasser les cibles de conservation en raison des remises en liberté supplémentaires dans le cadre de l'ESA, il faudra de nouveau discuter des quantités de saumons issus de l'ESA remis en liberté.

Lacunes dans les connaissances (SCCS 2016) à traiter :

- Comportement (vigueur de la migration, errance entre les affluents, capacité d'appariement, comportement et moment de frai, comportement après le frai et survie) et interactions des adultes issus de l'ESA remis en liberté par rapport à leurs homologues sauvages dans le milieu naturel.
- Information sur le taux de survie en mer des adultes reproducteurs issus de l'ESA par rapport à celui des adultes multifrai en fonction des adultes détectés de nouveau au moyen des radioémetteurs et des étiquettes à transpondeur passif intégré dans les années suivant le frai.
- Valeur adaptative à divers stades du cycle biologique, notamment la première génération d'adultes anadromes qui retournent dans leur rivière d'origine (contribution générationnelle des adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages).
 - Valeur adaptative de groupe relative des adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages (ratio de descendance issue de l'ESA:sauvage au fil des années au sein de la cohorte) pendant les stades de juvénile à saumoneau.
 - Valeur adaptative de groupe relative de la première génération (F1) d'adultes issus de l'ESA qui retournent dans leur rivière d'origine par rapport aux adultes sauvages (ratio d'adultes issus de l'ESA:d'adultes sauvages F1 dans chaque affluent où il y a eu une intervention d'ESA par rapport au ratio dans ce même affluent pendant la phase de migration des saumoneaux).
- Taux de survie entre les stades et croissance des juvéniles issus de l'ESA et des juvéniles hybrides (croisement entre un spécimen issu de l'ESA et un spécimen sauvage) par rapport à celui des saumons sauvages en milieu naturel.
- Caractéristique de la migration des saumoneaux (moment, taille, âge à la smoltification) des saumons issus de l'ESA et des saumons hybrides par rapport au saumon sauvage.

- Caractéristiques de la descendance des adultes anadromes issus de l'ESA et des adultes hybrides afin d'évaluer les différences intergénérationnelles dans le génotype ou le phénotype par rapport au saumon sauvage (évaluation de la perte d'adaptation en mer).

Mesures (Fraser 2016, tableau 2)

- Adultes – Morphologie, période de reproduction, vigueur de la migration, niveaux d'activité
- Juvéniles – Survie entre les stades (valeur adaptative), croissance, forme du corps, différences génétiques

Les écarts types par rapport à la moyenne et la variance des mesures ci-dessus entre les poissons issus de l'ESA et les poissons sauvages seront évalués et comparés sur le plan statistique (Fraser 2016).

Planification adaptative – Éléments déclencheurs et règles de décision pour modifier, continuer ou arrêter les études d'ESA

- L'évaluation du programme d'ESA dans les rivières naturelles, dans l'optique des poissons sauvages, est axée sur le respect du ratio saumons issus de l'ESA:saumons sauvages établi. Ce ratio est déterminé en prenant le nombre d'échappées de reproducteurs, 1) sachant combien d'adultes issus de l'ESA sont remis en liberté au cours de chaque intervention en rivière, 2) en surveillant l'émigration possible de saumons issus de l'ESA des rivières grâce aux antennes à transpondeur passif intégré et 3) en établissant le nombre et la taille des saumons sauvages en fonction des dénombrements réalisés par les sonars ARIS.
 - Si le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages diminue en faveur des saumons sauvages (ratio évalué chez les jeunes de l'année), il pourrait s'agir d'une indication que les saumons issus de l'ESA ne sont pas aussi efficaces pour se propager que les saumons sauvages. Un tel résultat ne pose pas de risque pour le saumon sauvage de l'Atlantique, mais est un indicateur de l'inefficacité du programme d'ESA (p. ex. faible fécondité, survie des œufs inférieure).
 - Si le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages augmente en faveur des saumons sauvages (ratio évalué chez les jeunes de l'année), il pourrait s'agir d'une indication que les saumons issus de l'ESA supplantent les saumons sauvages ou entraînent toute autre incidence négative sur la population de saumons sauvages. La poursuite du programme d'ESA devrait alors être réévaluée.
 - Si le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages continue de considérablement changer par rapport au ratio observé chez les jeunes de l'année, il pourrait s'agir d'une indication que certains traits (phénotypiques ou génotypiques) ont été transférés aux juvéniles. Dans ce cas, les changements quant aux ratios devraient être attentivement évalués, et l'uniformité des deux interventions d'ESA devrait être comparée pour éliminer les effets possibles attribuables au biais d'échantillonnage. La poursuite du programme d'ESA devrait alors faire l'objet d'une nouvelle évaluation.
 - Si le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages change du stade de saumoneau au stade d'adulte retournant dans sa rivière d'origine et qu'il a pour résultat de donner un taux de retour faussement plus élevé de saumons sauvages, il peut s'agir de l'indication d'une perte d'adaptation en mer. La poursuite du programme d'ESA devrait être réévaluée. Par contre, il faut aussi envisager que les saumons issus de l'ESA ne retournant pas à leur rivière d'origine pourraient avoir été éliminés par sélection naturelle (et non en raison de la perte d'adaptation en mer), ce qui expliquerait pourquoi ils ne se propagent plus dans le réseau hydrographique. Conséquemment, le problème

possible de perte d'adaptation en mer pourrait être considéré comme étant « autorésolu ».

- Il est important de souligner qu'il est préférable d'évaluer le ratio de saumons issus de l'ESA:saumons sauvages pendant la migration des saumoneaux, lorsque la population est bien mélangée. La surveillance du ratio au stade de juvénile est assujettie à la répartition spatiale initiale, qui est dictée par la répartition des reproducteurs. L'échantillonnage aléatoire dans l'ensemble des 20 sites de pêche par électricité pourrait éliminer le risque de prélever des échantillons seulement à des endroits où il n'y a que des saumons issus de l'ESA (ou que du saumon sauvage) qui se sont reproduits. Par contre, les saumoneaux représentent le meilleur stade pour évaluer la partie du cycle biologique en eau douce (juvénile).
- Si les paramètres de croissance (taille moyenne selon l'âge mesurée en longueur ou en poids) chez les juvéniles de saumon sauvage descendent sous les valeurs consignées dans la base de données à long terme du MPO dans les rivières où il y a eu une intervention d'ESA, mais pas dans les rivières témoins, le programme d'ESA pourrait avoir une incidence sur la croissance du saumon sauvage de l'Atlantique. La poursuite du programme d'ESA devrait alors être réévaluée.
- Si des changements importants sont observés dans la fréquence des allèles chez les juvéniles issus de l'ESA par rapport aux juvéniles sauvages dans les rivières où il y a eu une intervention d'ESA, mais qu'il n'y a pas de changement chez les juvéniles sauvages dans les rivières témoins comparativement aux données de référence pour le saumon sauvage, la poursuite du programme d'ESA devrait être réévaluée, voire arrêtée.
- Si l'état du stock de saumon de l'Atlantique s'améliore dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest jusqu'à un point où le taux de retour des adultes atteint non seulement les cibles de conservation établies par le MPO (SCCS 2017a), mais qu'il augmente à un niveau où l'état de la population peut être considéré comme étant « sain » (voir la section 2.3), les densités de juvéniles dans l'ensemble du réseau hydrographique pourraient augmenter à un point où les facteurs liés à la densité pourraient commencer à limiter la production de juvéniles en raison de la compétition (les répercussions sur la croissance associées à la densité se font déjà principalement sentir à de faibles densités; Grant et Imre 2005; Imre et coll. 2005). L'ajout de juvéniles dans de telles conditions pourraient être considéré comme une pratique risquée pour le saumon sauvage de l'Atlantique, dans l'éventualité où les juvéniles issus de l'ESA supplantent les juvéniles sauvages. Si de telles conditions sont observées en raison de l'augmentation naturelle du taux de retour des adultes, la poursuite du programme d'ESA doit être réévaluée. Par contre, pour le moment, l'augmentation des échappées de géniteurs a entraîné une augmentation simultanée des densités de juvéniles (comme anticipé si la population suit un modèle Beverton-Holt portant sur la relation stock-recrutement; Chaput et coll. 2016), ce qui indique que la production de juvéniles est bien inférieure à la capacité biotique (partie autre qu'un plateau du modèle Beverton-Holt). Un bon exemple de la prévision relative aux densités de juvéniles à la suite d'une échappée de géniteurs adultes inférieure à la cible de conservation a été observé en 2011 dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi, lorsque les branches Nord-Ouest et Sud-Ouest dépassaient l'exigence minimale en matière de conservation et que les indices relatifs aux alevins et aux tacons ont aussi augmenté au cours des années suivant la cohorte de géniteurs de 2011 (Chaput et coll. 2016). De telles augmentations ne seraient pas évidentes dans un réseau hydrographique où la production de juvéniles est limitée par les interventions excessives afférentes à la densité, qui se manifestent par une modification du taux de survie.

6. Considérations relatives aux points de vue des Premières Nations

Le saumon de l'Atlantique joue un rôle essentiel pour la subsistance et la culture des communautés autochtones qui vivent le long de la rivière Miramichi depuis le début des temps. Trois Premières Nations Mi'kmaq vivent à proximité de la rivière Miramichi : Eel Ground, Metepenagiag et Esgenoôpetitj. Les trois communautés, qui sont titulaires de droits, ont souligné l'importance et la résilience continue du saumon de l'Atlantique pour leurs membres. Elles ont aussi indiqué qu'il est primordial que toute activité portant sur le saumon de l'Atlantique menée dans leur secteur soit portée à leur attention afin que les préoccupations et les commentaires de leurs membres soient pris en considération puisqu'ils concernent directement les intérêts des Premières Nations.

À cette fin, les membres de CAST ont rencontré un groupe de représentants de ces trois communautés (Mi'gmawel Tplu'taqnn Inc; MTI) à plusieurs reprises. Dans le cadre de ces rencontres, on a déterminé que l'échange de connaissances et la participation directe aux activités sur le terrain étaient d'une importance capitale pour veiller à ce que les intérêts des Autochtones soient pris en considération. L'échange de connaissances se fera en plusieurs formats et sera mutuel : il comprendra les « sciences occidentales » (comme décrites dans la présente proposition, à l'égard des études d'ESA) et le savoir autochtone sur le saumon de l'Atlantique dans le secteur préoccupant. Bien que CAST collabore directement avec MTI afin de mieux comprendre la portée d'une possible étude du savoir autochtones, on sait aussi que l'échange mutuel de connaissances est un élément essentiel des travaux proposés par CAST pour l'ESA afin de bien tenir compte des préoccupations et des commentaires des communautés titulaires de droits. Chaque mois, CAST, MTI et le MPO discutent de la portée des travaux de CAST (tous les projets, mais aussi les activités d'ESA le cas échéant), par téléconférence. Bien que ces téléconférences permettent d'informer le personnel de la gestion des pêches de MTI, elles ne suffisent pas à informer tous les membres des communautés. Par conséquent, il faut faire des séances de sensibilisation communautaires, qui auront lieu dans les communautés Mi'kmaq susmentionnées et seront organisées de concert avec MTI. Ces séances seront tenues avant la remise en liberté des poissons dans les rivières afin de divulguer l'information importante sur le programme d'ESA de CAST aux membres des communautés. De plus, il pourrait être nécessaires d'organiser des séances semblables au fur et à mesure des données du programme sont accessibles afin d'informer les membres des communautés sur la réussite du projet. Ces séances seront organisées, le cas échéant, par le personnel de MTI.

En ce qui concerne les aspects techniques des travaux proposés, des éléments sont déjà en place afin de directement tenir compte des préoccupations des Autochtones. Il est primordial que les adultes issus de l'ESA soient identifiables après leur remise en liberté afin que les membres des communautés puissent les reconnaître s'ils en pêchent. Les adultes issus de l'ESA sont facilement reconnaissables grâce à l'ablation de la nageoire adipeuse et des étiquettes à ancrage en T. De plus, comme expliqué précédemment, les saumons issus de l'ESA peuvent aussi être identifiés par leur étiquette interne à transpondeur passif intégré, au moyen d'un lecteur manuel qui peut être fourni à chaque communauté, au besoin. Comme les adultes issus de l'ESA seront identifiables, les membres des communautés peuvent décider de relâcher les saumons issus de l'ESA qu'ils pêcheront (option privilégiée) ou le garder pour le manger. La qualité de la viande de saumon issu de l'ESA, comparativement à celle d'un saumon sauvage, n'a pas été évaluée, mais elle pourrait faire l'objet d'une évaluation si les communautés titulaires de droits en font la demande (l'objectif du programme d'ESA est de

produire des géniteurs afin d'augmenter la production de juvéniles, pas celle de poissons aux fins de consommation humaine).

On a aussi déterminé que le retrait de jusqu'à 5 000 saumoneaux sauvages par année (proposition) entraînerait une légère diminution de la capacité des Autochtones à pêcher des adultes qui retournent dans leur rivière d'origine au cours des années suivantes. Cette hypothèse repose sur la mortalité élevée en mer (taux de survie estimé des saumoneaux jusqu'au stade adulte variant entre 0,3 % et 3,3 % pour les grilses, et entre 0,2 % et 2,2 % pour les saumons pluribermarins de 2006 à 2010 [Chaput et coll. 2016], mais on ne dispose que d'une approximation du déclin subséquent du taux de survie en mer pour les dernières années) et sur l'efficacité de faible à modérée des filets-pièges dans le cadre des pêches autochtones (de 4,1 % à 17,5 % pour les grilses; de 4,5 % à 14,2 % pour les saumons pluribermarins; Chaput et coll. 2001).

7. Ouvrages cités :

- Allee, W.C., Park, O., Emerson, A.E., Park, T., Schmidt, K.P. 1949. Principles of Animal Ecology. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Anderson, E.C. 2010. Computational algorithms and user-friendly software for parentage-based tagging of Pacific salmonids. Final report submitted to the Pacific Salmon Commission's Chinook Technical Committee, 1-46.
- Anderson, E.C., Garza, J.C. 2006. The power of single-nucleotide polymorphisms for large-scale parentage inference. *Genetics* 172, 2567-2582.
- Beacham, T.D., Wallace, C., MacConnachie, C., Jonsen, K., McIntosh, B., Candy, J.R., Devlin, R.H., Withler, R.E. 2017. Population and individual identification of coho salmon in British Columbia through parentage-based tagging and genetic stock identification: an alternative to coded-wire tags. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Accès : <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0452>
- Berejikian, B.A., Johnson, T., Endicott, R.S., Lee-Waltermire, J. 2008. Increases in steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) redd abundance resulting from two conservation hatchery strategies in the Hamma Hamma River, Washington. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 754-764.
- CSCPCA [Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique]. 1991. Définition de la conservation du saumon de l'Atlantique. Doc. cons. 91/15, CSCPCA.
- Chaput, G., Moore, D., Hayward, J., Sheasgreen, J., Dubee, B. 2001. Stock status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Miramichi River, 2000. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2001/008.
- Chaput, G., Douglas, S., Hayward, J. 2016. Biological characteristics and freshwater population dynamics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from the Miramichi River, New Brunswick, Canada. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2016/029.
- Courchamp, F., Clutton-Brock, T., Grenfell, B. 1999. Inverse density dependence and the Allee effect. *Tree* 14, 405-410.
- SCCS [Secrétariat canadien de consultation scientifique]. 2017a. Mise à jour des indicateurs du saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) dans la région du Golfe du MPO (zones de pêche du saumon 15 à 18) pour 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2017/013.
- SCCS [Secrétariat canadien de consultation scientifique]. 2017b. Abondance de reproducteurs et caractéristiques biologiques du bar rayé (*Morone saxatilis*) du sud du golfe du Saint-Laurent en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2017/012.
- SCCS [Secrétariat canadien de consultation scientifique]. 2016. Risques et avantages des activités d'ensemencement avec du saumon juvénile élevé en captivité jusqu'à l'âge adulte pour la valeur adaptative du saumon de l'Atlantique sauvage (*Salmo salar*). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/017.
- SCCS [Secrétariat canadien de consultation scientifique]. 2015. Mise à jour de l'état des stocks de saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) dans la région du Golfe du MPO (zones de pêche du saumon 15 et 16 du Nouveau-Brunswick) pour 2014. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2015/008.
- Cunjak, R.A., Therrien, J. 1998. Inter-stage survival of wild juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Fish. Manag. Ecol.* 5, 209-223.

- Dempson, J.B., Furey, G. 1997. Stock status of Atlantic salmon from Conner River, SFA 11, Newfoundland, 1996. Department of Fisheries and Oceans Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 97/34.
- Dempson, J.B., Pepper, V.A., Furey, G., Bloom, M., Nicholls, T., Hoskins, G. 1999. Evaluation of an alternative strategy to enhance salmon populations: Cage rearing wild smolts from Conne River, Newfoundland. ICES J. Mar. Sci. 56, 422-432.
- MPO [Pêches et Océans Canada]. 2009. Politique du Canada pour la conservation du saumon atlantique sauvage. Accès : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/policies-politiques/wasp-pss/wasp-psas-2009-fra.htm>
- Dietrich, J.P., Cunjak, R.A. 2006. Evaluation of the impacts of Carlin-tags, fin-clips and Panjet tattoos on juvenile Atlantic salmon. N. Am. J. Fish. Manage. 26, 163-169.
- Douglas, S.G., Chapat, G., Hayward, J., Sheasgreen, J. 2015. Assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in salmon fishing areas 16 of the southern Gulf of St Lawrence to 2013. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2015/049.
- Elson, P.F. 1957. Number of salmon needed to maintain stocks. Can. Fish Cult. 21, 19-23.
- Fraser, D.J. 2016. Risks and benefits of mitigating low marine survival in wild salmon using smolt-to-adult captive-reared supplementation. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2016/030.
- Gibson, A.J.F, Claytor, R.R. 2012. What is 2.4? Placing Atlantic salmon conservation requirements in the context of the precautionary approach to fisheries management in the Maritimes region. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2012/043.
- Grant, J.W.A, Imre, I. Patterns of density-dependent growth in juvenile stream-dwelling salmonids. J. Fish Biol. 67 (Supplement B), 100-110.
- Huisman, J. 2017. Pedigree reconstruction from SNP data: Parentage assignment, sibship clustering, and beyond. Mol. Ecol. Resour. 38, 42-49.
- IBIS [Integrated Aquatic Resources Management between Ireland, Northern Ireland and Scotland]. 2013. To Stock or Not to Stock? Support documentation arising from the IBIS / AST Conference on Restocking. Boosting salmon numbers: is stocking the answer or the problem? 27-28 November 2013, Glasgow, Scotland.
- CIEM [Conseil international pour l'exploration de la mer]. 2017. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 29 March–7 April 2017, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2017/ACOM:20. 296 pp.
- Imre, I., Grant, J.W.A., Cunjak R.A. 2005. Density-dependent growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar* in Catamaran Brook, New Brunswick. J. Anim. Ecol. 74, 508-516.
- Jones, A.G., Small, C.M., Paczolt, K.A., Ratterman, N.L. 2010. A practical guide to methods of parentage analysis. Mol. Ecol. Resour. 10, 6-30.
- Jones, O.R., Wang, J. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. Mol. Ecol. Resour. 10, 551-555.
- Jones, R.A., Ratelle, S., Anderson, L., Whitelaw, J. 2015. Captive-reared adult release program upriver of Mactaquac Dam with an emphasis on Tobique River. A presentation delivered in

- Canadian Science Advisory Secretariat meeting to review Miramichi Captive-rearing proposal, December 14-16, 2015. Moncton, NB, Canada.
- Jones, R.A., Anderson, L., Clarke, C.N. 2014. Assessment of the Recovery Potential for the Outer Bay of Fundy Population of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Status, Trends, Distribution, Life History Characteristics and Recovery Targets. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2014/008.
- Jonsson, B., Waples, R.S., Friedland, K.D. 1999. Extinction considerations for diadromous fishes. ICES J. Mar. Sci. 56, 405-409.
- Kozfkay, C.C., Stark, E.J., Baker, D.J., Ayers, B.S., Venditti, D.A., McCormick, J., Kline, P. 2017. Captive rearing program for Salmon River Chinook salmon. Completion Report January 1, 1995—December 31, 2014. Idaho Department of Fish and Game Report Number 16-11. Xiii + 119 p.
- Moore, D., Chaput, G. 2007. Juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) surveys in the Miramichi River Watershed from 1970-2004. Canadian Data. Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1188. 117 p.
- MSA [Miramichi Salmon Association]. 2016. Miramichi salmon and trout restoration – Stocking 2016. Accès : <http://www.miramichisalmon.ca/wp-content/uploads/2016/02/Stocking-Report-2016-1.pdf> (consulté le 1^{er} juillet 2017).
- Pavey, S.A. 2016. Molecular techniques for parentage analysis to assess supplementation effectiveness for Atlantic Salmon (*Salmo salar*) on the Miramichi River. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2016/031.
- Randall, R.G. 1985. Spawning potential and spawning requirements of Atlantic salmon in the Miramichi River, New Brunswick. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee Research Document 85/68.
- Reisenbichler, R. R., Rubin, S. P. 1999. Genetic changes from artificial propagation of Pacific salmon affect the productivity and viability of supplemented populations. ICES J. Mar. Sci. 56, 459-466.
- Steele, C.A., Anderson, E.C., Ackerman, M.W., *et al.* 2013. A validation of parentage-based tagging using hatchery steelhead in the Snake River basin. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70, 1046-1054.
- Thomas, R.L. 1996. Enhancing threatened salmonid populations: a better way. Fisheries, 21, 12-14.
- Trall, L.W., Bradshaw, J.A., Brook, B.W. 2007. Minimum viable population size: A meta-analysis of 30 years of published estimates. Biol. Conserv. 139, 159-166.
- Venditti, D.A., James, C., Kline, P. 2013. Reproductive behavior and success of captive-reared Chinook salmon spawning under natural conditions. N. Am. J. Fish. Manage. 33, 97-107.
- Wallace, B., Curry, R.A. 2017. Assessing the outcomes of stocking hatchery juveniles in the presence of wild Atlantic Salmon. Environmental Biology of Fishes. [pagination not final] DOI 10.1007/s10641-017-0613-2

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de la capitale nationale
Pêches et Océans Canada
200, rue Kent, Ottawa (Ontario) K1A 0E6

Téléphone : 613-990-0293

Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>

ISSN 1919-5087

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2018. Examen des risques et des avantages de la proposition d'expérience d'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité (ESA) jusqu'à l'âge adulte de collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow (CAST) (PHASE 1 : 2018-2022). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/014.

Also available in English :

DFO. 2018. Review of Risks and Benefits of Collaboration for Atlantic Salmon Tomorrow's (CAST) Smolt-to-Adult Supplementation (SAS) Experiment Proposal (Phase 1: 2018-2022). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2018/014.