



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/030

Région du Golfe

Considérations plurispécifiques pour l'établissement de points de référence en matière de pêche du bar rayé (*Morone saxatilis*) dans le sud du golfe du Saint-Laurent

Gérald Chaput

Pêches et Océans Canada
Direction des Sciences
Centre des Pêches du Golfe
343 avenue Université
Moncton, NB E1C 9B6

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022
ISSN 2292-4272
ISBN 978-0-660-43303-5 Cat. No. Fs70-5/2022-030F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Chaput, G. 2022. Considérations plurispécifiques pour l'établissement de points de référence en matière de pêche du bar rayé (*Morone saxatilis*) dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/030. viii + 53 p.

Also available in English :

Chaput, G. 2022. Multi-species Considerations for Defining Fisheries Reference Points for Striped Bass (*Morone saxatilis*) from the Southern Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/030. vii + 50 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	viii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE DE L'ÉCOSYSTÈME OCCUPÉ PAR LE BAR RAYÉ	1
INTERACTIONS PRÉDATEUR-PROIE ENTRE LE BAR RAYÉ ET LES ESPÈCES DIADROMES CIBLÉES PAR LES PÊCHES	3
RÉGIME ALIMENTAIRE DU BAR RAYÉ DANS LE SUD DU GOLFE DU SAINT-LAURENT. 3	
Mai et juin dans la Miramichi.....	3
Été et automne dans le sud du golfe du Saint-Laurent.....	4
SIGNES DE L'INCIDENCE DU BAR RAYÉ SUR LES ESPÈCES DIADROMES CIBLÉES PAR LES PÊCHES	4
INDICATEURS DE L'ÉVOLUTION DE L'ABONDANCE EN FONCTION DES DÉBARQUEMENTS.....	5
INDICATEURS DE L'ÉVOLUTION DE L'ABONDANCE EN FONCTION DES CAPTURES ISSUES DE FILETS-TRAPPES REPÈRES.....	6
SYNTHÈSE DES INDICATEURS DE CHANGEMENTS DE L'ABONDANCE DES POISSONS DIADROMES.....	8
INTERACTIONS AVEC LE SAUMON ATLANTIQUE.....	9
PREUVES DIRECTES DE LA PRÉDATION EXERCÉE PAR LE BAR RAYÉ SUR LE SAUMON ATLANTIQUE.....	10
PREUVES INDIRECTES DE PRÉDATION PAR LE BAR RAYÉ FONDÉES SUR LE MARQUAGE ET LE SUIVI ACOUSTIQUES.....	10
Classification fondée sur le suivi des déplacements.....	10
Inférence de la prédation fondée sur des étiquettes de prédateur.....	11
Estimations des séries chronologiques de la survie relative des rivières repères	11
ESTIMATIONS DE LA SURVIE RELATIVE DU SAUMON ATLANTIQUE À L'ÉCHELLE DE LA POPULATION.....	13
Données.....	14
Équations dynamiques et modèle des cohortes	15
Probabilités et distributions <i>a priori</i>	15
Résultats	16
Discussions.....	17
CONCLUSIONS.....	18
RÉFÉRENCES CITÉES	19
TABLEAUX	23
FIGURES	30
ANNEXES.....	46
ANNEXE 1. CODE OPENBUGS DU MODÈLE DES COHORTES EXÉCUTANT DES ESTIMATIONS INDÉPENDANTES PAR RIVIÈRE.....	46
ANNEXE 2. DIAGNOSTIC DU MODÈLE DES COHORTES VERSION 1.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des caractéristiques des espèces de poissons, y compris le stade du cycle vital, la taille et l'emplacement le plus probable de l'interaction avec le bar rayé adulte (âge 3+) dans la rivière Miramichi.	23
Tableau 2. Résumé des activités d'échantillonnage pour l'étude du régime alimentaire du bar rayé entre 2013 et 2015. Les échantillons sont résumés par saison (printemps = mai et juin dans la Miramichi uniquement; autre = tous les autres échantillons que ceux prélevés dans la Miramichi au printemps), lieu de capture, plage de dates de capture et méthode de capture (pêche à la ligne ou filet-trappe). GNÉ = Golfe Nouvelle-Écosse, NNB = Nord du Nouveau-Brunswick, et SENB = Sud-est du Nouveau-Brunswick. L'expression « Striper Cup » fait référence à des échantillons d'estomac extraits de poissons morts accidentellement pendant le derby de pêche au bar rayé avec remise à l'eau des poissons vivants qui a eu lieu dans la Miramichi les 30 et 31 mai 2015. Le tableau récapitulatif provient du MPO (2016).....	24
Tableau 3. Régime alimentaire, représenté en pourcentage des espèces-proies ou des catégories de proies présentes, des bars rayés (longueur à la fourche entre 21 et 73 cm) capturés à différents endroits dans le sud du golfe du Saint-Laurent de 2013 à 2015 et ne se trouvant pas dans l'estuaire de la Miramichi en mai et juin. Le pourcentage de présence a été arrondi au pourcentage entier le plus proche et le total peut être supérieur à 100 %, car certains estomacs contenaient plus d'un type de proies.	25
Tableau 4. Nombre de saumoneaux du saumon atlantique dans les échantillons d'estomac de bars rayés prélevés dans la rivière Miramichi en mai et juin, de 2013 à 2015. La date, le lieu et la méthode de capture des bars rayés ayant consommé des saumoneaux sont indiqués. L'emplacement fait référence à l'endroit où les individus échantillonnés dont l'estomac contenait des saumoneaux ont été prélevés. L'expression « Striper Cup » fait référence à des échantillons d'estomac extraits de poissons morts accidentellement pendant le derby de pêche au bar rayé avec remise à l'eau des poissons vivants qui a eu lieu dans la Miramichi les 30 et 31 mai 2015. Les autres dates et emplacements sont tous détaillés dans le tableau 1. Les données proviennent du document du MPO (2016).	26
Tableau 5. Résumé du nombre de saumoneaux du saumon atlantique munis d'étiquettes acoustiques et remis à l'eau dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et la rivière Miramichi Sud-Ouest entre 2013 et 2016, et pourcentages inférés des saumoneaux marqués, par rivière et par année, qui présentaient des tendances de déplacement semblables à celles des bars rayés dans les estuaires de la rivière Miramichi. Les données proviennent du document de Daniels et al. (2018).....	27
Tableau 6. Équations du modèle pour la dynamique des cohortes de saumon atlantique, du stade de juvénile à celui d'adulte en montaison. Les caractères gras identifient les données. ...	28
Tableau 7. Paramètres et les distributions a priori dans le modèle de cohortes du saumon atlantique.	29
Tableau 8. Sommaire de la structure et diagnostics des modèles de cohorte du saumon atlantique.	29

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Résumé des pourcentages de proportions d'espèces-proies ou de catégories de proies (à gauche) et poids en pourcentage correspondant (à droite) dans les estomacs de bars rayés prélevés dans la rivière Miramichi en mai et juin, de 2013 à 2015. La figure est copiée directement à partir du document du MPO (2016).....30
- Figure 2. Proportion d'estomacs de bars rayés qui, à chacune des dates, étaient vides, contenaient de l'éperlan arc-en-ciel, contenaient du saumon atlantique et/ou contenaient du gaspateau en mai et juin dans la rivière Miramichi de 2013 à 2015. Seules les dates pour lesquelles ≥ 3 échantillons d'estomacs ont été prélevés sont indiquées. La somme des proportions peut ne pas correspondre à 100, car tous les groupes de proies ne sont pas représentés, ou plusieurs groupes de proies peuvent être présents dans un seul échantillon . La figure est copiée directement à partir du document du MPO (2016).31
- Figure 3. Résumé des débarquements déclarés (tonnes) de trois espèces de poissons diadromes (gaspateau = gaspateau et alose d'été, éperlan = éperlan arc-en-ciel; anguille = anguille d'Amérique) par province dans la région du golfe du MPO, de 1990 à 2018. Certaines données sont manquantes pour des raisons de confidentialité. Une valeur de 0 représente des débarquements déclarés $< 0,5$ t. La ligne bleue dans chaque graphique est une courbe lissée à l'aide de l'algorithme de régression LOESS avec une valeur d'intervalle de 0,8. Les débarquements moyens pour les périodes de 1995 à 2000 et de 2011 à 2018 sont indiqués sous forme de lignes horizontales noires et le pourcentage de changement de la période de 2011 à 2018 par rapport à la période de 1995 à 2000 est indiqué dans le coin supérieur droit au-dessus de chaque image.....32
- Figure 4. Résumé des captures totales (en milliers d'individus) d'espèces de poissons diadromes (gaspateau = *Alosa pseudoharengus* et *A. aestivalis*, première rangée; alose = *A. sapidissima*, deuxième rangée; saumon = *Salmo salar* (adultes), troisième rangée; bar rayé = *Morone saxatilis*, quatrième rangée) provenant des filets-trappes repères du MPO situés dans les estuaires de la rivière Miramichi Nord-Ouest (colonne de gauche) et de la rivière Miramichi Sud-Ouest (colonne de droite), de 1994 (1998 pour la Miramichi Nord-Ouest) à 2019. Le total des captures n'est pas corrigé pour les dates d'opération des engins, qui peuvent varier d'une année à l'autre et entre les filets-trappes. La ligne bleue de chaque tracé représente une courbe lissée au moyen de l'algorithme LOESS avec une valeur d'intervalle de 0,8. Les captures moyennes pour les périodes de 1998 à 2012 et de 2015 à 2019 sont indiquées sous forme de lignes horizontales noires et le pourcentage de changement de la période de 2015 à 2019 par rapport à la période de 1998 à 2002 est indiqué dans le coin supérieur gauche de chaque image.33
- Figure 5. Références géographiques de l'étude de marquage et de suivi de saumoneaux du saumon atlantique menée par la Fédération du Saumon Atlantique dans quatre rivières du sud du golfe du Saint-Laurent. Les emplacements de remise à l'eau par rivière d'étude, l'emplacement des récepteurs de lignes de marée et les lignes de réception respectives des baies sont indiqués. L'image de droite montre les embouchures des baies et le réseau des récepteurs du détroit de Belle-Isle. La figure provient du document de Chaput et al. (2018).....34
- Figure 6. Résumé du nombre de poissons marqués et remis à l'eau et du nombre d'étiquettes détectées sur les lignes de récepteurs respectives de quatre rivières entre 2003 et 2016. La figure provient du document de Chaput et al. (2018). Dans la figure, 'Number of tags' signifie le nombre d'étiquettes, 'Released' représente le nombre de poissons relâché, 'Head of tide' représente le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à l'endroit de la tête de marée, 'Bay » représente le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à l'embouchure de la baie, 'Primary SoBI' le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à la ligne principale du détroit de

Belle Isle, et ‘Twinned SoBI’ le nombre d’étiquettes repérées aux récepteurs à la ligne secondaire jumelée du détroit de Belle Isle. Les rivières sont la Miramichi Sud-Ouest (SWMiramichi), Miramichi Nord-Ouest (NWMiramichi), Restigouche, et Cascapédia (Cascapedia).....	35
Figure 7. Distributions a posteriori (médiane, plage du 5 ^e au 95 ^e centiles) des taux de survie estimés à travers la baie (depuis la ligne de marée jusqu’à l’embouchure de la baie; la baie Miramichi est présentée dans la ligne supérieure et la baie des Chaleurs, dans la ligne inférieure) de saumoneaux portant une étiquette acoustique provenant de quatre rivières du sud du golfe du Saint-Laurent. Les taux de survie concernent un saumoneau d’une longueur à la fourche d’environ 14,6 cm. Les données sont résumées à partir de l’étude décrite par Chaput et al. (2018).....	36
Figure 8. Corrélations entre les taux de survie, estimés depuis la ligne de marée jusqu’à l’embouchure de la baie, des saumoneaux portant une étiquette acoustique (image de gauche : rivière Miramichi Sud-Ouest, image de droite : rivière Miramichi Nord-Ouest) et estimations de l’abondance des bars rayés (échelle logarithmique) dans la rivière Miramichi, de 2003 à 2016. Pour les taux de survie et les valeurs d’abondance des reproducteurs, le symbole correspond à la médiane et les lignes noires représentent la plage respective du 5 ^e au 95 ^e centiles des estimations. La relation linéaire (ligne rouge) et la valeur p de la pente de la régression = 0 figurent dans le coin inférieur gauche de chaque image. Les données sur le taux de survie proviennent des résultats de l’étude sur la longueur à la fourche de Chaput et al. (2018). Les taux de survie sont standardisés pour un saumoneau d’une longueur à la fourche moyenne de 14,6 cm. Les données sont résumées à partir de l’étude décrite par Chaput et al. (2018).	37
Figure 9. Estimations ponctuelles du taux de retour (%) par année de migration du saumoneau de saumon atlantique unibermarin vers quatre rivières repères de l’est du Canada. La ligne rouge montre l’ajustement linéaire à la série chronologique (de 1996 à aujourd’hui), et la valeur p pour l’hypothèse nulle de la pente = 0 est indiquée dans le coin inférieur gauche de chaque image.	38
Figure 10. Série chronologique des indices du saumon atlantique juvénile (individus par 100 m ² ; moyenne et barre d’erreur d’un écart-type) par stade du cycle vital (colonnes) dans les quatre principaux affluents (lignes; S-O = Rivière Miramichi Sud-Ouest; REN = Renous; Petite S-O = Petite rivière Miramichi Sud-Ouest; N-O = Rivière Miramichi Nord-Ouest) pour les années 1970 à 2019. Seules les années au cours desquelles au moins quatre sites ont été échantillonnés dans un affluent sont indiquées. La figure est disponible dans le document du MPO (2020 b). 39	
Figure 11. Indices d’abondance du saumon atlantique juvénile pondéré selon l’habitat (individus par 100 m ² ; moyenne et barre d’erreur d’un écart-type) par stade du cycle vital (lignes) dans les deux bras principaux de la rivière Miramichi (colonnes), de 1970 à 2019. Les écarts-types pour les bras principaux sont calculés comme la moyenne des écarts-types provenant des estimations des affluents présentées à la figure 10.	40
Figure 12. Estimations des remontes (avant les pêches intérieures; médiane et plage du 5 ^e au 95 ^e centiles) du saumon atlantique par durée du séjour en mer (rangée supérieure – 1SW = individus unibermarins, rangée inférieure – 2SW = individus dibermarins) dans la rivière Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (colonne de droite) pour la période d’évaluation de 1993 à 2019.....	41
Figure 14. Distributions a posteriori des proportions annuelles de petits tacons qui deviennent des saumoneaux à l’âge 2, par cours d’eau (rangée supérieure), et production relative estimée de saumoneaux à l’âge 2 et à l’âge 3, et total de saumoneaux par année et par cours d’eau (de la deuxième à la quatrième rangées) pour la Miramichi Sud-Ouest et la Miramichi Nord-Ouest.	

Les symboles rouges et les polygones ombragés représentent la médiane et la plage du 5e au 95e centiles de la distribution a posteriori. La ligne horizontale pleine correspond à la régression linéaire des médianes et la valeur de p pour l'hypothèse nulle de la pente = 0 figure dans le coin inférieur gauche de chaque image.....43

Figure 15. Distributions a posteriori des taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin plus âgé qui remonte dans les rivières Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et Nord-Ouest (colonne de droite) pour les années de migration de saumoneaux 1996 à 2018 (première rangée). La dernière rangée montre les taux de survie relative des individus du stade saumoneau à celui de saumon unibermarin par rivière, représentés par rapport aux abondances estimées (échelle logarithmique) des bars rayés reproducteurs dans la rivière Miramichi pour les années de fraie de bars rayés de 1996 à 2018. La ligne bleue pleine représente la régression linéaire des taux de survie relative par rapport à l'abondance des bars rayés reproducteurs pour les années de 2003 à 2016 correspondant à la série chronologique de la survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique de la rivière Miramichi (voir les figures 7 et 8).44

Figure 16. Diagramme de dispersion de la distribution a posteriori (médianes) des taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin qui remonte et des taux de survie estimés de saumoneaux portant une étiquette acoustique, à l'échelle des baies, pour la Miramichi Sud-Ouest (image de gauche; années de 2003 à 2016 pour les smolts) et la Miramichi Nord-Ouest (image de droite; 2003 à 2008, années de 2013 à 2016 pour les saumoneaux). Les barres d'erreur correspondent à la plage du 25^e au 75^e centiles des distributions a posteriori. La ligne bleue correspond à la relation linéaire et la valeur p de l'hypothèse nulle de pente = 0 est affichée dans le coin supérieur gauche de chaque image. ..45

RÉSUMÉ

Les points de référence et les stratégies de gestion fondées sur des approches de gestion monospécifiques visant à optimiser les fonctions propres au bar rayé ne tiennent pas compte des interactions entre diverses espèces ayant des valeurs de conservation et de pêche tout aussi importantes. Pour modifier les points de référence monospécifiques du bar rayé en tenant compte des interactions avec d'autres espèces, des preuves doivent indiquer que le bar rayé interagit avec ces espèces. Il semble que l'interaction la plus directe soit la prédation d'autres espèces, notamment le saumon atlantique, par le bar rayé. Entre autres source de données décrites, on compte les débarquements commerciaux déclarés de nombreuses espèces diadromes, les indices fondés sur les captures dans les filets-trappes repères des estuaires gérés par les Sciences du MPO et les études directement liées aux taux de prédation et de survie des smolts de saumons atlantiques pendant la dévalaison. Un modèle des cohortes établissant des liens entre l'indice d'abondance des saumons juvéniles et les remontes d'adultes pour une population précise est également présenté. Il existe des preuves contradictoires de diminution concernant quelques indicateurs d'abondance d'espèces de poissons anadromes qui seraient liés à une abondance accrue du bar rayé dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Il existe des preuves directes de la prédation de gaspareau, d'éperlan arc-en-ciel et de saumoneaux du saumon atlantique par le bar rayé. Plusieurs études réalisées avec des technologies d'étiquettes acoustiques ont permis de déduire qu'il y aurait des cas de prédation de saumons et des changements dans les estimations de leurs taux de survie lors de la première phase de migration des saumoneaux à travers la baie de Miramichi. La prédation par le bar rayé est un facteur soupçonné associé à ces variations. D'après les séries chronologiques de données étudiées, on ne sait pas si le fait de réduire l'abondance des bars rayés reproducteurs pour revenir au niveau d'abondance du milieu des années 2000, c'est-à-dire 100 000 reproducteurs ou moins, améliorerait les estimations de survie des saumoneaux marqués d'étiquettes acoustiques, les taux de survie relative de la population de saumons dérivés du modèle des cohortes, ou les débarquements de gaspareau et d'éperlan arc-en-ciel issus des pêches commerciales.

INTRODUCTION

L'abondance de la population de bars rayés dans le sud du golfe du Saint-Laurent ayant augmenté, les défenseurs de la pêche du saumon atlantique et certains groupes d'intérêt de la pêche commerciale du gaspateau (deux espèces) et de l'éperlan arc-en-ciel ont exprimé leur inquiétude quant au fait que le rétablissement du stock de bars rayés dans le sud du golfe ait entraîné une baisse de l'abondance du saumon atlantique et d'autres espèces diadromes. L'incidence du bar rayé sur ces autres espèces semble être liée à des taux élevés de prédation par le bar rayé. Il est facile de trouver des publications qui analysent les corrélations entre les indices d'abondance du bar rayé et ceux des espèces ayant été définies comme des proies du bar rayé. Les conclusions de ces publications indiquent que quand le bar rayé est abondant, la survie et la productivité de ces autres espèces sont touchées (voir le document de Grout 2006, par exemple). Des préoccupations semblables ont été soulevées à propos de l'incidence du rétablissement du bar rayé de la côte de l'Atlantique sur ses proies, et le NEFSC (2019) a synthétisé plusieurs analyses ayant étudié la capacité du bar rayé à appauvrir les populations de proies présentes le long de la côte de l'Atlantique. À ce jour, aucun point de référence ni plan de gestion plurispécifique n'a été proposé pour régler la situation aux États-Unis.

En vertu de l'approche de précaution, le MPO (2019) a élaboré une politique visant à soutenir des plans de rétablissement pour les stocks occupant la zone critique. Le MPO (2019) indique que si le rétablissement d'un stock peut éventuellement avoir des conséquences négatives sur l'état d'une autre espèce, comme cela est le cas lors du rétablissement d'une espèce prédatrice susceptible d'entraîner le déclin d'une espèce-proie, on doit définir minutieusement les objectifs de rétablissement en suivant une approche équilibrée, afin de s'assurer qu'aucune des deux espèces ne sera appauvrie au point de subir un grave préjudice. Plus important encore, le MPO (2019) reconnaît qu'il est impossible d'atteindre simultanément des rendements conformes au rendement maximal durable (RMD) prévu par les évaluations monospécifiques pour un système regroupant de multiples espèces en interaction, et que les activités de rétablissement doivent donc être abordées dans un contexte aussi écosystémique que possible.

Les points de référence et les stratégies de gestion évoqués dans les travaux antérieurs (MPO 2021; Chaput et Douglas 2022) sont fondés sur des approches de gestion monospécifiques dans le but d'optimiser les fonctions utilitaires spécifiques au bar rayé. Pour modifier les points de référence monospécifiques du bar rayé en tenant compte des interactions avec d'autres espèces, des preuves doivent indiquer que le bar rayé interagit avec d'autres espèces. Le présent document rassemble les renseignements disponibles sur l'état des espèces diadromes qui sont des proies potentielles du bar rayé pour qu'on puisse déterminer s'il existe des éléments qui justifieraient la modification des valeurs de référence monospécifiques établies auparavant (MPO 2021).

CONTEXTE DE L'ÉCOSYSTÈME OCCUPÉ PAR LE BAR RAYÉ

Le sud du golfe du Saint-Laurent abrite diverses espèces de poissons diadromes; bon nombre de celles-ci se trouvent à la limite nord de leur aire de répartition. Située dans le sud du golfe du Saint-Laurent, la rivière Miramichi présente la plus grande abondance de ces espèces diadromes, y compris (Chaput 1995) :

- la seule population reproductrice confirmée d'aloses savoureuses (*Alosa sapidissima*) dans le sud du golfe (Chaput et Bradford 2003);

-
- deux espèces de gaspateau (le gaspateau *Alosa pseudoharengus*; et l'alose d'été *A. aestivalis*), qui fraient dans la Miramichi et sont ciblées par la pêche commerciale (Chaput et Atkinson 2001);
 - l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), qui est ciblé par la pêche commerciale à la fin de l'automne et pendant l'hiver, sous la glace (Chaput et LeBlanc 1996);
 - le poulamon (*Microgadus poulamon*), qui fraie près de la limite de marée en hiver, sous la glace (Bradford *et al.* 1997);
 - le saumon atlantique (*Salmo salar*), pour lequel l'abondance de la remonte annuelle était autrefois la plus élevée parmi les rivières de l'est du Canada (Moore *et al.* 1995);
 - la seule frayère confirmée et prévisible chaque année de la population de bar rayé (*Morone saxatilis*) dans le sud du golfe du Saint-Laurent (Douglas *et al.* 2011);
 - l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*), qui migre dans les zones d'eau douce et estuariennes de la rivière Miramichi et qui est ciblée par la pêche commerciale (Cairns *et al.* 2014);
 - la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), une lamproie anadrome qui fraie dans toute la rivière Miramichi (Chaput 1995).

Des évaluations et des mises à jour de l'état des stocks ont été fournies chaque année pour le bar rayé (MPO 2020a) et le saumon atlantique (MPO 2020b), mais seulement de manière irrégulière pour les autres espèces. On a étudié le cycle vital et les renseignements sur l'état de certaines espèces, à savoir l'alose savoureuse et l'anguille d'Amérique, afin d'appuyer l'élaboration de rapports de situation du COSEPAC, ou pour les évaluations du potentiel de rétablissement réalisées après une évaluation de la situation du COSEPAC. Le poulamon n'a jamais été évalué, même s'il s'agit d'une espèce faisant l'objet de prises accessoires importantes dans la pêche de l'éperlan arc-en-ciel dans le sud du golfe (Chaput et LeBlanc 1991; Bradford *et al.* 1997). La lamproie marine n'a jamais été évaluée et n'est pas ciblée par la pêche commerciale (Chaput 1995).

Chaput (1995) a indiqué que les débarquements commerciaux d'espèces diadromes dans la région de la rivière Miramichi représentaient environ 50 % du total des débarquements dans le sud du golfe avant 1940, mais que les débarquements de la rivière Miramichi avaient baissés à un peu plus de 30 % au début des années 1990.

Chaput (1995) fournit un résumé des caractéristiques du cycle vital de ces espèces présentes dans la rivière Miramichi, y compris des renseignements généraux sur l'habitat, l'âge à la première maturité, la fécondité, la saison de fraie, la proportion du temps passé en eau douce, en estuaire et en milieu marin, les variations de taille à la maturité et la pêche. On a également tenté d'estimer la taille relative, en nombre d'individus et en biomasse, de la remonte annuelle dans la rivière Miramichi pour les espèces ciblées par la pêche commerciale d'après les débarquements des pêches, ou les captures issues des filets-trappes repères en les rapportant aux estimations des taux d'exploitation ou à l'efficacité supposée des filets-trappes. Au moment de la publication, Chaput (1995) indiquait que la biomasse d'adultes totale des poissons diadromes migrant dans l'estuaire de la Miramichi dépassait 16 000 tonnes, l'éperlan arc-en-ciel représentant 50 % de la biomasse, et le gaspateau (deux espèces) représentant un peu plus de 40 % de la biomasse totale. Au moment de la publication, on estimait que le bar rayé représentait une toute petite part de la biomasse totale, soit moins de 0,1 %. D'après les estimations du poids moyen et de l'abondance des reproducteurs selon l'âge du bar rayé entre 1996 et 2000, on estime que la biomasse des reproducteurs de l'espèce était de l'ordre de 5 à 7 tonnes pendant cette période. Depuis 2015, on estime que la biomasse des reproducteurs a

augmenté de 400 à 1 500 tonnes. Compte tenu de l'abondance accrue du bar rayé, et toutes choses égales par ailleurs pour les autres espèces, la proportion de la biomasse de poissons diadromes constituée de bars rayés serait passée d'une quantité négligeable au milieu des années 1990 (< 0,1 %) à environ de 3 % à 10 % depuis 2015.

La question de l'incidence de l'abondance accrue du bar rayé sur les autres espèces diadromes est importante dans le cadre de la définition de points de référence visant à orienter la gestion des pêches du bar rayé. Dans le reste du présent document, on étudie les indications de l'incidence possible d'une population accrue de bars rayés sur d'autres espèces, et on aborde les différentes options possibles qui tiendraient compte de ces interactions pour les points de référence du bar rayé.

INTERACTIONS PRÉDATEUR-PROIE ENTRE LE BAR RAYÉ ET LES ESPÈCES DIADROMES CIBLÉES PAR LES PÊCHES

Le bar rayé est un prédateur piscivore de grande taille, connu pour se nourrir d'espèces de poissons anadromes prisées par les pêches. On considère que l'interaction la plus importante est la prédation de ces espèces exercée par le bar rayé. Le NEFSC (2019) a synthétisé les études sur le bar rayé présent le long de la côte est des États-Unis, et donne la même description générale du bar rayé adulte, soit un poisson généraliste en matière d'alimentation qui se nourrit de divers poissons et invertébrés, la composition des proies dépendant de la taille du prédateur (un individu plus grand mange plus de poissons), de la période de l'année et de l'habitat d'alimentation. La littérature scientifique n'indique pas que le bar rayé est une espèce spécialiste en matière d'alimentation qui dépend d'une proie particulière; le bar rayé semble facilement passer d'une proie à une autre en fonction de la disponibilité. Andrews *et al.* (2017) fournissent des renseignements sur le régime alimentaire du bar rayé ayant fait l'objet d'un échantillonnage dans le fleuve Saint-Jean (Nouveau-Brunswick), dans une zone située en aval d'un grand barrage hydroélectrique. La plage des différentes tailles de bars rayés échantillonnés par Andrews *et al.* (2017) était très grande, puisque quasiment tous les bars rayés avaient une longueur totale de plus de 70 cm, et la proie la plus répandue parmi tous les échantillons était le gaspareau juvénile.

La vulnérabilité à la prédation exercée par le bar rayé dépendrait ainsi de deux facteurs principaux : la taille du corps de la proie par rapport à la taille de l'ouverture buccale du prédateur (Scharf *et al.* 2000), et le chevauchement de la répartition spatiale de la proie et du prédateur. En fonction de ces deux aspects, le tableau 1 présente les espèces de poissons diadromes et leur âge, ainsi que leur vulnérabilité à la prédation par le bar rayé.

RÉGIME ALIMENTAIRE DU BAR RAYÉ DANS LE SUD DU GOLFE DU SAINT-LAURENT

Les meilleurs renseignements disponibles sur l'alimentation du bar rayé dans le sud du golfe proviennent de l'étude de faible envergure menée de 2013 à 2105 par le MPO (2016) et résumée par Hanson (2020). Pendant la période de fraie (mai et juin) dans la rivière Miramichi, et pendant l'été et le début de l'automne dans différentes zones côtières du sud du golfe du Saint-Laurent, des bars rayés issus de la pêche à la ligne et de filets-trappes ont été euthanasiés à des fins d'échantillonnage (tableau 2).

Mai et juin dans la Miramichi

Le régime alimentaire des bars rayés échantillonnés dans l'estuaire de la Miramichi en mai et juin a été très stable au fil des années, la majorité (en moyenne 68 %, variation entre 63 % et 77 %) des estomacs de bars rayés étant vides (figure 1). La plus grande proportion d'estomacs

vides a été observée à la fin de mai et début de juin, soit la période correspondant au pic de fraie du bar rayé, et coïncide avec une plus faible abondance de l'éperlan arc-en-ciel et du gaspareau pendant cette période (figure 2). Ces données indiquent que les bars rayés se nourrissent principalement dans l'estuaire de la Miramichi au printemps, c'est-à-dire avant et après le pic de fraie de l'espèce.

L'éperlan arc-en-ciel et le gaspareau étaient les proies les plus répandues dans les estomacs des échantillons. Malgré sa faible occurrence dans les estomacs de bars rayés, le gaspareau était l'espèce-proie la plus importante en matière de poids (figure 1). Le gaspareau était absent des échantillons issus de la pêche à la ligne, ce qui indique que le gaspareau était particulièrement vulnérable au bar rayé lorsque les deux étaient capturés dans des filets-trappes.

Au printemps, les bars rayés de la rivière Miramichi se sont alimentés de façon opportuniste et ont changé d'espèces-proies selon leur disponibilité (ou indisponibilité) au cours des différentes périodes de migration (figure 2). L'éperlan arc-en-ciel était présent lorsque le bar rayé a commencé à se nourrir au printemps et fut le premier poisson consommé, tandis que le gaspareau étant le dernier arrivé dans l'estuaire, fut le dernier à être consommé. Au cours des trois années, on a observé peu de saumoneaux de saumon atlantique, qui ne représentaient qu'une faible proportion des proies dans les estomacs d'individus échantillonnés. On a identifié ces saumoneaux dans des échantillons prélevés au cours d'une période relativement courte allant de la fin de mai et début de juin pendant les trois années d'échantillonnage, et la présence de saumoneaux correspond à la migration de ces individus dans la rivière Miramichi. La plus forte proportion de saumoneaux présents dans les estomacs des individus échantillonnés était d'environ 30 % à la fin de mai 2014; à toutes les autres dates d'échantillonnage où des saumoneaux ont été identifiés, ils étaient présents dans des proportions inférieures à 10 % dans les estomacs des individus échantillonnés ce jour-là (figure 2).

Pour toutes les années et les méthodes de capture, les autres espèces-proies ou catégories de proies étaient présentes dans des proportions $\leq 2\%$ dans les estomacs des bars rayés échantillonnés, et représentaient en moyenne $\leq 3\%$ de la biomasse des proies consommées en mai et juin dans l'estuaire de la Miramichi (figure 1).

Été et automne dans le sud du golfe du Saint-Laurent

Des bars rayés ont également fait l'objet d'un échantillonnage opportuniste au cours des mois de juin à octobre, de 2013 à 2015, dans le sud du golfe du Saint-Laurent, soit la zone depuis le sud de la baie des Chaleurs jusqu'au Cap-Breton (tableau 2). Des bars rayés ont été capturés dans divers milieux, y compris dans les rivières en eau douce et des eaux côtières salines. La longueur moyenne à la fourche des bars rayés échantillonnés était de 38,4 cm (plage de 21,3 cm à 73,1 cm). Le régime alimentaire du bar rayé dans le sud du golfe du Saint-Laurent est varié et cohérent avec les espèces qui occupent les milieux estuariens et côtiers (Hanson 2020). Dix-huit espèces de poissons, huit groupes de crustacés, trois groupes d'insectes, des vers marins et un gastéropode ont été retrouvés dans les estomacs de ces individus (tableau 3).

SIGNES DE L'INCIDENCE DU BAR RAYÉ SUR LES ESPÈCES DIADROMES CIBLÉES PAR LES PÊCHES

Comme indiqué précédemment, les évaluations et la détermination de l'état des stocks n'ont été réalisées chaque année que pour le bar rayé (MPO 2020a) et le saumon atlantique (MPO 2020b). Toutefois, il n'existe à ce jour aucune évaluation du saumon atlantique avec des

estimations des taux de survie annuels ou qui tiennent compte du rôle que le bar rayé peut jouer concernant l'état de la ressource. Une nouvelle évaluation des pêches et de l'état des stocks de gaspateau est prévue pour le début de 2021. Aucune mise à jour de l'état des autres espèces n'est actuellement prévue dans le calendrier des évaluations. Concernant le saumon atlantique, des études ont été menées sur les taux de survie des saumoneaux marqués d'étiquettes acoustiques migrant dans la rivière Miramichi (Chaput *et al.* 2018; Daniels *et al.* 2018, 2019).

Les conséquences potentielles d'une abondance accrue du bar rayé sur les autres espèces diadromes peuvent éventuellement être signalées par des corrélations entre les indicateurs d'abondance du bar rayé et les séries chronologiques des prises commerciales déclarées et par rapport aux indicateurs d'abondance fondés sur les captures d'autres espèces issues des filets-trappes repères estuariens.

INDICATEURS DE L'ÉVOLUTION DE L'ABONDANCE EN FONCTION DES DÉBARQUEMENTS

Les données annuelles sur les débarquements d'espèces diadromes par province dans la région du Golfe du MPO ont été tirées du [site Web du MPO](#) pour les années 1990 à 2018. Pour certaines années et espèces, les données sur les débarquements sont supprimées conformément aux exigences de confidentialité. Les débarquements (t) enregistrés par espèce/groupe d'espèces (gaspateau, éperlan arc-en-ciel, anguille d'Amérique) pour les années 1990 à 2018 sont résumés dans la figure 3.

Les données sur les débarquements de gaspateau provenant du site Web du MPO pour les années civiles 1990 à 1999 sont essentiellement comparables aux données sur les débarquements de gaspateau pour le golfe du Nouveau-Brunswick rapportées par Chaput et Atkinson (2001), ce qui donne un certain degré de confiance quant à l'exhaustivité des données regroupées. Les variations annuelles des débarquements pour les trois espèces sont probablement dues en partie aux différences d'effort de pêche, aux changements du nombre de permis actifs et à certaines différences dans les ventes aux acheteurs par rapport aux ventes locales (pour les appâts) au fil du temps.

Les débarquements de gaspateau dans le golfe du Nouveau-Brunswick ont toujours été dominés par les districts statistiques qui comprennent la rivière Miramichi (Chaput 1995; Chaput et Atkinson 2001). Il y a une forte baisse des débarquements déclarés de gaspateau dans la partie sud du golfe du Nouveau-Brunswick qui commence en 2010 et se poursuit en 2017. Les données sur les débarquements de 2015 ont été supprimées (figure 3). En Nouvelle-Écosse, les débarquements de gaspateau montrent une forte baisse entre 1990 et 2000. Depuis 2000, les débarquements restent faibles, affichant toutefois une légère augmentation jusqu'en 2018. Les débarquements de gaspateau à l'Île-du-Prince-Édouard sont très variables, mais les plus faibles débarquements ont été enregistrés de façon constante de 2013 à 2018. Le pourcentage de diminution de la moyenne des débarquements pour la période récente, de 2011 à 2018, par rapport à la moyenne d'une période antérieure caractérisée par une faible abondance de bars rayés, soit de 1995 à 2000, était le plus élevé au Nouveau-Brunswick (74 %) et le plus faible à l'Île-du-Prince-Édouard (12 %) (figure 3).

Pour la région de la Nouvelle-Écosse, les débarquements d'éperlan arc-en-ciel présentent une tendance à la baisse semblable à celle du gaspateau, caractérisée par des débarquements très faibles au cours de la période récente de 2011 à 2018 (figure 3). Les débarquements d'éperlan au Nouveau-Brunswick affichent une forte baisse à partir de 2008, atteignant le niveau le plus bas de la série chronologique en 2015. À l'Île-du-Prince-Édouard, les débarquements d'éperlan ont également diminué depuis 2006, atteignant les niveaux les plus bas des séries chronologiques au cours des cinq dernières années. On a observé une baisse importante du

pourcentage des débarquements moyens au cours de la période récente par rapport à la valeur moyenne de la période antérieure dans les trois provinces, soit de 70 % au Nouveau-Brunswick à 96 % en Nouvelle-Écosse (figure 3).

Les débarquements d'anguille d'Amérique affiche de grandes variations annuelles, caractérisées par une diminution observable des débarquements uniquement en Nouvelle-Écosse (figure 3). À l'Île-du-Prince-Édouard, les débarquements déclarés d'anguille d'Amérique dépassent actuellement ceux de l'éperlan arc-en-ciel ou du gaspareau. Dans les deux autres provinces, les prises de gaspareau dépassent celles de l'éperlan arc-en-ciel et de l'anguille d'Amérique. Les variations des débarquements moyens de la dernière période par rapport à la période précédente allaient d'une diminution de 58 % en Nouvelle-Écosse à une augmentation de 133 % à l'Île-du-Prince-Édouard (figure 3).

Les seuls renseignements sur la taille des populations et la mortalité par pêche de ces espèces concernent les stocks de gaspareau de la rivière Miramichi (Nouveau-Brunswick) et de la rivière Margaree (Nouvelle-Écosse) jusqu'à l'année de pêche 1996 (Chaput et Atkinson 2001; Chaput *et al.* 2001). Dans la Miramichi, les montaisons de gaspareau et d'alose d'été étaient en baisse et la mortalité par pêche estimée était élevée (supérieure à la valeur de référence $F = 0,4$ à $0,5$) et en hausse. Les taux estimés de mortalité par pêche concernant la pêche au gaspareau de la rivière Margaree étaient également supérieurs à la valeur de référence $F = 0,5$ (Chaput *et al.* 2001).

Si on présume que la diminution des débarquements de gaspareau dans le golfe du Nouveau-Brunswick est attribuable à l'abondance accrue du bar rayé, alors le lien de cohorte entre les espèces n'est pas clair. Si le bar rayé exerçait une prédation surtout sur les reproducteurs adultes ou sur les jeunes de l'année, le décalage entre la prédation et le recrutement serait de 3 à 4 ans, soit les âges de maturité dominants du gaspareau dans cette région. Par conséquent, la diminution des débarquements qui a débuté en 2010 aurait été associée à la plus faible abondance de reproducteurs de gaspareau en 2006 et 2007, ce qui correspond aux années où l'on a estimé que l'abondance des reproducteurs de bar rayé se situait aux faibles niveaux de 25 000 à 50 000 reproducteurs.

L'éperlan arc-en-ciel a une espérance de vie relativement courte, les âges dominants dans les prises de la pêche étant de 2 et 3 ans (Chaput et LeBlanc 1996). Si on part du même principe que pour le gaspareau, à savoir l'association de la baisse des débarquements d'éperlan arc-en-ciel à l'augmentation de la prédation par le bar rayé, le lien devrait être établi avec le recrutement des jeunes de l'année plutôt qu'avec les poissons ayant frayé (tableau 1). Par conséquent, la première année de faibles captures d'éperlans au Nouveau-Brunswick enregistrées en 2011 aurait été le résultat logique de la prédation sur les jeunes éperlans de l'année des classes d'âge 2009 et 2010, lorsque l'abondance du bar rayé était estimée entre 50 000 et 60 000 poissons.

INDICATEURS DE L'ÉVOLUTION DE L'ABONDANCE EN FONCTION DES CAPTURES ISSUES DE FILETS-TRAPPES REPÈRES

Le MPO a utilisé des filets-trappes repères dans l'estuaire des rivières Miramichi Nord-Ouest (depuis 1998) et Miramichi Sud-Ouest (depuis 1994) dans le but de surveiller les migrations annuelles et les caractéristiques des poissons diadromes et d'autres espèces de la rivière Miramichi. L'information détaillée sur l'utilisation de ces engins et le type de renseignements obtenus à partir des prises connexes sont décrits par Hayward *et al.* (2014).

En bref, des filets-trappes estuariens pour la capture de poissons vivants sont installés dans la partie à marée de l'estuaire supérieur du fleuve de la mi-mai à la fin mai et sont relevés une fois par jour, jusqu'à la mi-octobre. Tous les poissons capturés sont identifiés selon une espèce ou

un groupe d'espèces (gaspareau), puis comptés individuellement ou estimés par lots lorsque les captures quotidiennes sont importantes. Un sous-ensemble ou l'ensemble des individus sont mesurés, et des données supplémentaires sont recueillies en fonction de l'espèce et de l'objectif du programme. La majorité des poissons sont remis à l'eau vivants après l'échantillonnage. Il est important de noter que ces filets-trappes ont été installés au même endroit et surveillés selon des procédures et des protocoles comparables pendant l'ensemble de la série chronologique (Hayward et al. 2014). Les dates de début et de fin peuvent varier quelque peu d'une année à l'autre. Il y a des périodes occasionnelles, généralement de courtes durées, pendant lesquelles les engins ne fonctionnent pas. Ces périodes peuvent être attribuables à d'importantes crues d'eau pouvant endommager les engins ou encore, au cours des dernières années, aux températures élevées de l'eau qui entraîneraient un stress et une surmortalité pour les prises si les activités de relevé étaient menées.

Les données associées aux filets-trappes et aux prises supplémentaires provenant d'autres engins de pêche dans la Miramichi sont utilisées dans une expérience de marquage et de recapture pour qu'on puisse estimer les remontes annuelles de saumon atlantique par groupe de taille dans chacune des rivières Miramichi Nord-Ouest et Miramichi Sud-Ouest (MPO 2020b). Le modèle d'évaluation du saumon atlantique fournit également des estimations des taux de capturabilité annuelle de chaque filet-trappe pour cette espèce. Ces valeurs varient annuellement, mais n'affichent aucune tendance (MPO 2020c). Les captures de bar rayé au printemps et à l'automne ont également été présentées comme un indice supplémentaire des tendances de l'abondance du bar rayé (MPO 2020a).

La figure 4 résume les captures annuelles totales de gaspareau (gaspareau et alose d'été combinés), d'alose savoureuse, de saumon atlantique (groupes de taille des adultes anadromes combinés) et de bar rayé pour chaque filet-trappe dans les rivières Miramichi Nord-Ouest et Sud-Ouest. Voici les tendances fortes et constantes qui ont été observées pour ces séries chronologiques de données.

- Les captures de bar rayé étaient faibles, généralement inférieures à 500 individus par année, jusqu'en 2010 où une augmentation rapide des captures annuelles a été enregistrée dans les deux installations. Le pourcentage d'augmentation de l'abondance moyenne entre 2015 et 2019 par rapport à l'abondance moyenne entre 1998 et 2002 était d'environ 13 000 % dans la Miramichi Nord-Ouest et de 7 300 % dans la Miramichi Sud-Ouest (figure 4). Les captures annuelles atteignent un sommet en juin, puis en octobre, et sont particulièrement faibles en août et septembre (Claytor 1996; Hayward 2001).
- Les captures annuelles d'alose savoureuse montrent également une augmentation au cours de la période de surveillance, de 47 % à l'installation de la Miramichi Nord-Ouest et de 259 % à l'installation de la Miramichi Sud-Ouest (figure 4). La majorité de ces poissons sont des reproducteurs, le plus grand nombre de captures ayant lieu au mois de juin et au début de juillet (Hayward 2001). Les prises accessoires d'alose issues de la pêche commerciale du gaspareau peuvent être conservées et débarquées par les pêcheurs.
- Les captures de gaspareau sont très variables dans le filet-trappe de la Miramichi Nord-Ouest; on a observé avec une baisse estimée à 27 % des captures moyennes de la période de 2015 à 2019 par rapport à celles de la période de 1998 à 2002 (figure 4). La diminution est plus importante dans la Miramichi Sud-Ouest, à 86 %, et la baisse est généralement continue à partir d'environ 2005 (figure 4). Alors que les captures annuelles estimées de gaspareau dans le filet-trappe de la Miramichi Sud-Ouest dépassaient 150 000 poissons par an au milieu et à la fin des années 1990, les captures annuelles estimées entre 2011 et 2019 varient entre 11 000 et 35 000 poissons. Il est à noter que les filets-trappes utilisés pour la pêche commerciale du gaspareau sont situés dans le bras

principal de la Miramichi et dans la Miramichi Nord-Ouest. Certaines années, un ou deux filets-trappes de la pêche commerciale du gaspareau ont été installés dans la Miramichi Sud-Ouest, mais le taux de capture connexe était faible. En outre, les bars rayés reproducteurs se regroupent dans l'aire de repos située en aval du confluent des rivières Miramichi Nord-Ouest et Sud-Ouest, et dans la rivière Miramichi Nord-Ouest. Des bars rayés se déplacent entre la Miramichi Sud-Ouest et la Miramichi Nord-Ouest en mai et en juin, mais la majorité des reproducteurs sont présents dans la Miramichi Nord-Ouest et en aval de celle-ci (Douglas *et al.* 2009).

- Les captures de saumon atlantique (adultes anadromes de différentes tailles combinées) montrent également une baisse aux deux installations, mais la baisse était encore une fois plus importante au filet-trappe de la Miramichi Sud-Ouest (baisse de 43 %) qu'à celui de la Miramichi Nord-Ouest (baisse de 27 %) (figure 4). La pêche commerciale du gaspareau est une pêche commerciale dans laquelle de nombreuses prises accessoires de saumons atlantiques anadromes adultes dans la Miramichi sont indiquées. Toutefois, dans toutes les pêches de la région du golfe du MPO, les prises accessoires de saumons atlantiques doivent être remises à l'eau le plus rapidement possible et de manière à causer le moins de dommages possible aux individus. En ce qui concerne les activités de pêche des peuples autochtones, la pêche la plus importante a lieu dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, en aval du filet-trappe repère de la Miramichi Nord-Ouest, tandis que les activités de pêche autochtones sont minimales dans les eaux à marée de la Miramichi Sud-Ouest.

Dans l'ensemble, on s'attendrait à ce que la prédation du bar rayé et les prélèvements de poissons diadromes par les pêches commerciales soient les plus importants dans la Miramichi Nord-Ouest, mais les baisses des indices de captures de gaspareau et de saumon sont plus importantes dans la Miramichi Sud-Ouest. Une augmentation plus importante des captures de bar rayé dans la Miramichi Nord-Ouest est attendue compte tenu de l'augmentation estimée de la taille du stock reproducteur qui est surtout présent dans la Miramichi Nord-Ouest. Les indices d'abondance de l'aloise savoureuse ont augmenté dans les deux installations, mais l'augmentation est plus importante dans la Miramichi Sud-Ouest. On sait qu'il y a une zone de fraie de l'aloise connue dans la Miramichi Sud-Ouest, ce qui n'est pas le cas pour la Miramichi Nord-Ouest (Chaput et Bradford 2003).

SYNTHÈSE DES INDICATEURS DE CHANGEMENTS DE L'ABONDANCE DES POISSONS DIADROMES

Le gaspareau et l'éperlan arc-en-ciel étaient des proies importantes (occurrence) identifiées dans les estomacs de bars rayés prélevés en mai et en juin dans la rivière Miramichi (figures 1 et 2). Il a été avancé que les baisses des débarquements commerciaux de gaspareau et d'éperlan arc-en-ciel dans la région de la Miramichi sont directement associées à la pression de prédation accrue d'un stock de bars rayés rétabli et, sur le plan visuel, les tendances à la baisse sont convaincantes. Cependant, les prises de la pêche commerciale ne sont généralement pas proportionnelles à l'abondance, à moins que l'effort de pêche et la capturabilité soient similaires au fil du temps, ce qui n'est presque jamais le cas. Pour la pêche au gaspareau de la rivière Miramichi, on a apporté d'importants changements touchant les détenteurs de permis et l'effort de pêche au cours de la dernière décennie; on a notamment modifié la date d'ouverture de la pêche et les pratiques de pêche afin de réduire au minimum les prises accessoires et les rejets de bar rayé ainsi que la manipulation des individus de l'espèce. On a apporté des changements tout aussi importants concernant les détenteurs de permis de pêche commerciale à l'éperlan; les pêcheurs vieillissent et il y a moins d'intérêt à continuer de pêcher en utilisant d'anciennes méthodes de pêche qui sont exigeantes en main-d'œuvre.

Les indices d'abondance du gaspateau, qu'il s'agisse des débarquements commerciaux déclarés ou des prises annuelles issues des filets-trappes repères dans les estuaires de la Miramichi, montrent les plus forts déclinés observés après 2010, qui se rapprochent d'une tendance inverse d'augmentation de l'abondance du bar rayé. Cependant, la baisse des indices liés aux captures de gaspateau dans les filets-trappes est plus importante dans la rivière Miramichi Sud-Ouest, dans laquelle la pression exercée par la pêche commerciale est moins grande que dans la rivière Miramichi Nord-Ouest. Il y aurait un chevauchement temporel moins important entre les gaspareaux de la rivière Miramichi Sud-Ouest et les bars rayés regroupés dans les frayères de la Miramichi Nord-Ouest.

De manière très simplifiée, les débarquements en Nouvelle-Écosse avant les fortes baisses observées après 2005 ont été maintenus à des niveaux approximatifs de 3 000 t pour le gaspateau et de 600 à 800 t pour l'éperlan arc-en-ciel. Avant 2005, l'abondance de bars rayés reproducteurs était inférieure à 25 000 individus, ce qui n'offrait aucune possibilité de pêche de cette espèce. Quant au saumon atlantique, les faibles indices d'abondance enregistrés après 2010, en particulier dans la rivière Miramichi Sud-Ouest, correspondent à la période où l'abondance du bar rayé dépassait 100 000 reproducteurs. Ce n'est qu'après 2010 que la réouverture de la pêche au bar rayé a été envisagée.

En l'absence d'évaluation de la taille de la population, du taux de mortalité par pêche et d'estimation de recrutement pour le gaspateau et l'éperlan arc-en-ciel, on ne dispose pas de renseignements suffisants pour fournir des preuves appropriées en vue d'établir des points de référence pour le bar rayé qui tiennent compte des effets possibles de ce prédateur sur ces espèces-proies. Il y a beaucoup plus de renseignements concernant les répercussions possibles de la prédation du bar rayé sur la survie des saumoneaux du saumon atlantique. Cette question est abordée de façon plus détaillée dans la section suivante.

INTERACTIONS AVEC LE SAUMON ATLANTIQUE

Le saumon atlantique anadrome adulte qui remonte les rivières de la région du golfe du MPO, y compris la rivière Miramichi, présente une longueur à la fourche approximative de 50 cm à plus de 100 cm. Par conséquent, les saumons adultes sont assurément hors de la plage de tailles des proies possibles du bar rayé. On s'attend donc à ce que l'interaction la plus probable entre l'espèce et le bar rayé se produise au stade de saumoneau (saumon atlantique juvénile), lors de la dévalaison vers la mer. La longueur à la fourche des saumoneaux varie d'un peu plus de 10 cm à généralement moins de 18 cm (Chaput *et al.* 2016), ce qui correspond à une taille de proie adéquate pour la plupart des bars rayés adultes qui dépassent 40 cm en longueur à la fourche, d'après les observations selon lesquelles le régime alimentaire de nombreux poissons marins est dominé par des proies dont la longueur représente de 10 à 20 % celle du prédateur (Scharf *et al.* 2000).

Le moment de la dévalaison des saumoneaux et la voie reliant l'eau douce à la mer font en sorte que les saumoneaux arrivant notamment de la rivière Miramichi Nord-Ouest doivent traverser la zone de fraie et les zones de halte migratoire des bars rayés à peu près au moment où ces derniers se regroupent et fraient dans cette rivière. Comme la frayère du bar rayé est située dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, on s'attend à ce que les saumoneaux de ce secteur soient les plus vulnérables à la prédation. Heureusement, il y a de plus en plus de recherches permettant de comprendre les interactions possibles entre le bar rayé et le saumon atlantique dans la rivière Miramichi. Dans les sections suivantes, on examine plusieurs études décrivant les possibles interactions prédateurs-proies entre les saumoneaux du saumon atlantique et le bar rayé, ainsi que les signes, à l'échelle de la population, des effets de la

prédation du bar rayé sur l'abondance du saumon atlantique anadrome adulte dans la rivière Miramichi.

PREUVES DIRECTES DE LA PRÉDATION EXERCÉE PAR LE BAR RAYÉ SUR LE SAUMON ATLANTIQUE

Andrews *et al.* (2019) fournissent un examen de la littérature disponible concernant la prédation du saumon atlantique par le bar rayé, qui est essentiellement très rare.

Le MPO (2016) fournit une preuve directe de la prédation de saumoneaux du saumon atlantique par des bars rayés dans la rivière Miramichi. Au total, 48 saumoneaux ont été identifiés dans 28 estomacs de bars rayés échantillonnés sur trois ans au cours de l'étude du régime alimentaire du bar rayé dans la rivière Miramichi (tableau 4). De nombreux saumoneaux ont seulement pu être identifiés à partir d'otolithes. La majorité des échantillons d'estomac de bar rayé contenant des saumoneaux proviennent d'activités de pêche à la ligne réalisées sur une période d'une semaine (2015) ou de deux semaines (2013, 2014) à la fin de mai (figure 2). La courte durée de prédation des saumoneaux par le bar rayé concorde avec la période typique d'une à deux semaines correspondant à la période de migration maximale des saumoneaux (Chaput *et al.* 2002, 2016). La dévalaison des saumoneaux chevauche généralement la migration de l'éperlan arc-en-ciel vers la mer suivant la fraie (Chaput *et al.* 2002). La présence de saumoneaux dans les estomacs de bars rayés échantillonnés a généralement été constatée alors que les éperlans arc-en-ciel étaient de moins en moins présents dans les échantillons d'estomac, voire absents de ces derniers (figure 2). De plus, un saumon atlantique, classé comme tacon (juvénile non migrateur) a été identifié à partir de l'estomac d'un bar rayé capturé dans la rivière Margaree au printemps de 2014 (tableau 3; MPO 2016).

PREUVES INDIRECTES DE PRÉDATION PAR LE BAR RAYÉ FONDÉES SUR LE MARQUAGE ET LE SUIVI ACOUSTIQUES

Classification fondée sur le suivi des déplacements

L'utilisation d'étiquettes acoustiques et le suivi des déplacements des poissons étiquetés servent à inférer les possibles épisodes de prédation, par les bars rayés, des saumoneaux du saumon atlantique portant une étiquette acoustique (Gibson *et al.* 2015; Daniels *et al.* 2018). On a détecté des déplacements de saumoneaux dotés d'étiquettes acoustiques en dévalaison et de bars rayés reproducteurs dans la rivière Miramichi lors du déploiement de récepteurs acoustiques communs dans l'estuaire de la rivière Miramichi entre 2013 et 2016. Huit variables caractérisant les tendances de déplacement ont été compilées, notamment la vitesse moyenne dans le système, le temps entre la première et la dernière détection au cours de la période d'étude, ainsi que le nombre de changements de direction en amont et en aval. Des tendances de déplacement concordant avec un saumoneau qui n'avait pas fait l'objet de prédation (ensemble d'étalonnage) ont été décrites d'après les déplacements de saumoneaux détectés depuis le détroit de Belle-Isle jusqu'à la mer du Labrador. On a élaboré un modèle de classification fondé sur la méthode de forêt d'arbres décisionnels et on a estimé les proportions des saumoneaux du saumon atlantique munis d'étiquettes acoustiques qui présentaient des tendances de déplacement plus semblables à celles des bars rayés qu'à celles des saumoneaux détectés par le réseau de récepteurs du détroit de Belle-Isle (Daniels *et al.* 2018). Les saumoneaux ayant survécu à la dévalaison jusqu'à la mer du Labrador présentaient des tendances de déplacement généralement caractérisées par des déplacements unidirectionnels en aval, contrairement aux tendances de déplacement des bars rayés, caractérisées par des changements de direction plus fréquents en amont et en aval (Daniels *et al.* 2018). D'après le modèle de classification, on a conclu que les saumoneaux affichant des tendances de

déplacement semblables à celles des bars rayés auraient été consommés par des individus de cette espèce alors qu'ils portaient une étiquette, laquelle continuait d'émettre son signal depuis l'intérieur du corps des bars rayés. Les pourcentages de ces saumoneaux étaient très variables, allant de 2,6 % à 19,9 % d'une année à l'autre et d'un lieu de remise à l'eau après étiquetage dans la rivière Miramichi. Les pourcentages de prédation inférés étaient plus élevés pour les saumoneaux étiquetés et remis à l'eau de la rivière Miramichi Nord-Ouest (de 9,2 à 19,9 %; contre 2,6 à 16,5 % pour la rivière Miramichi Sud-Ouest), ce qui concorde avec les chevauchements spatial et temporel entre les deux espèces estimés plus élevés dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (tableau 5; Daniels *et al.* 2018).

Inférence de la prédation fondée sur des étiquettes de prédateur

Daniels *et al.* (2019) ont marqué des saumoneaux du saumon atlantique dans la rivière Miramichi Nord-Ouest avec de nouvelles étiquettes acoustiques, appelées étiquettes de prédation, qui servent à détecter directement la survenue d'un épisode de prédation. Ces étiquettes changent de code d'identification lorsqu'elles détectent un changement de pH associé au tube digestif. Les étiquettes utilisées (étiquettes de prédation Amirix/Vemco V5, diamètre de 5,6 mm et longueur de 12,7 mm, 0,68 g dans l'air) étaient petites et programmées pour émettre un signal à des intervalles de temps aléatoires se situant entre 15 et 25 s, à une fréquence de 180 kHz. Au total, on a sélectionné et marqué 50 saumoneaux d'une longueur à la fourche allant de 11,0 à 16,5 cm (catégories de 0,5 cm), puis on les a remis à l'eau entre le 17 et le 29 mai 2017 (Daniels *et al.* 2019). Les saumoneaux ont été remis à l'eau après une courte période de récupération, généralement un minimum d'une heure; les groupes quotidiens d'individus marqués et remis à l'eau étaient relativement peu nombreux, variant de trois à huit individus sur une période de 13 jours. Sur les 50 saumoneaux marqués et remis à l'eau, 41 ont ensuite été détectés par des récepteurs en aval, dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et dans l'estuaire. Parmi les 41 étiquettes détectées, 24 (59 %) ont changé de code d'identification, indiquant un épisode de prédation. Les étiquettes n'indiquent pas quel type de prédateur aurait consommé le saumoneau marqué. Le taux élevé de prédation inféré concordait avec la forte abondance du bar rayé dans la rivière Miramichi en 2017, mais les auteurs indiquent qu'il faut faire preuve de prudence à propos des taux de mortalité de saumoneaux sauvages et non manipulés inférés à partir des données d'individus marqués et suivis (Daniels *et al.* 2019).

Estimations des séries chronologiques de la survie relative des rivières repères

La Fédération du Saumon Atlantique (FSA) mène une étude de marquage et de suivi acoustique à long terme depuis 2003 dans quatre rivières du sud du golfe du Saint-Laurent. Chaput *et al.* (2018) ont analysé une grande partie des données du programme de la FSA. Les analyses comprenaient les données de marquage annuelles relatives à la rivière Miramichi Sud-Ouest entre 2003 et 2016, les données de marquage issues de la rivière Miramichi Nord-Ouest entre 2003 et 2008, ainsi que 2013 et 2016, les données de marquage provenant de la rivière Restigouche (baie des Chaleurs) entre 2004 et 2016, ainsi que les données de marquage issues de la rivière Cascapédia (baie des Chaleurs) entre 2006 et 2016 (figures 5 et 6). La valeur de cette étude provient de la série chronologique des taux de survie relative que l'on peut dériver de ces données ainsi que des comparaisons entre deux baies voisines (baie de Miramichi et baie des Chaleurs) caractérisées par différents écosystèmes; le bar rayé est abondant dans la baie de Miramichi, mais l'est moins dans la baie des Chaleurs.

Durant les années 2003 et 2016, un total de 2 862 saumoneaux du saumon atlantique provenant de quatre populations fluviales et de deux baies voisines de l'est du Canada ont été interceptés lors de leur dévalaison printanière et marqués avec des émetteurs acoustiques. On a estimé leurs déplacements, leurs taux de détection et leurs taux de survie apparents, depuis

la limite de marée jusqu'à l'embouchure vers le golfe du Saint-Laurent ou l'embouchure vers la mer du Labrador, pendant une dévalaison couvrant une période allant jusqu'à deux mois en mer et des distances maritimes extracôtières de 800 km (figure 5).

Voici un résumé des résultats de l'étude (Chaput *et al.* 2018) :

- Les taux de survie des « saumoneaux marqués » dans la baie des Chaleurs (Restigouche, Cascapedia) étaient relativement élevés (de 67 % à 95 %), et n'ont pas changé au fil du temps (figure 7).
- Les taux de survie des « saumoneaux marqués » dans la baie de Miramichi étaient plus faibles (de 28 % à 82 %) et affichaient un déclin à partir de 2010 (figure 7).
- Les taux de survie estimés dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, à travers la baie, montrent en fait deux groupes de taux de survie correspondant à deux périodes expérimentales caractérisées par des conditions différentes (figure 7). Entre 2003 et 2008, on a capturé et marqué des saumoneaux dans la Petite rivière Miramichi Sud-Ouest, puis on les a remis à l'eau au même endroit (figure 5). Entre 2013 et 2016, des smolts ont été capturés dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, puis transportés en amont sur une distance inférieure à 20 km avant d'être marqués et remis à l'eau au site en amont.
- On a supposé que les différences entre les taux de survie apparents dans les deux baies côtières voisines étaient en partie attribuables au fait qu'une pression de prédation est exercée sur les saumoneaux migrateurs par les bars rayés dans la baie de Miramichi pendant la période de migration des saumoneaux, mais pas dans la baie des Chaleurs (Chaput *et al.* 2018; Daniels *et al.* 2018).

Les activités de marquage et de suivi se sont poursuivies en 2020, mais les résultats n'ont pas été communiqués ni examinés par des pairs. Les aspects pluriannuels et plurifluviaux de l'étude de la FSA fournissent des avantages particuliers pour la description et la modélisation des migrations de saumoneaux et l'estimation des taux de survie, ce qui ne serait autrement pas possible à partir d'activités menées pendant une seule année et dans une seule rivière. De manière plus précise, il est possible d'utiliser les estimations des séries chronologiques sur les taux de survie pour examiner les associations possibles entre les changements de l'abondance et d'autres composantes de l'écosystème, comme les prédateurs des saumoneaux.

La figure 8 montre le diagramme de dispersion des estimations de l'abondance des bars rayés reproducteurs et des taux de survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique de la rivière Miramichi Nord-Ouest et de la rivière Miramichi Sud-Ouest. Pour les saumoneaux marqués de la rivière Miramichi Sud-Ouest et de la rivière Miramichi Nord-Ouest, les taux de survie les plus faibles durant la dévalaison dans l'estuaire et dans la baie ont été estimés au cours de la période récente (de 2013 à 2016), lorsque l'abondance estimée des bars rayés était supérieure à 100 000 reproducteurs. La relation linéaire entre l'abondance des bars et la survie est forte pour les saumoneaux de la rivière Miramichi Nord-Ouest, mais plus faible pour ceux de la rivière Miramichi Sud-Ouest, qui montrent une plus grande variation au chapitre de la survie estimée pendant la série chronologique (figure 8). En montrant ces relations, on suppose que les séries chronologiques d'estimations de la survie et les estimations de l'abondance des bars rayés sont interchangeable. C'est le cas pour les estimations de l'abondance des bars rayés et les estimations de la survie des smolts de la rivière Miramichi Sud-Ouest, mais pas pour les estimations de la survie des smolts de la rivière Miramichi Nord-Ouest. Comme indiqué précédemment, de 2003 à 2008, des saumoneaux ont été capturés dans la Petite rivière Miramichi Sud-Ouest, marqués et remis à l'eau au point de capture, tandis que de 2013 à 2016, des saumoneaux ont été capturés dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, puis transportés en amont avant d'être marqués et remis à l'eau.

En raison des effets du marquage et de la manipulation sur les estimations de la survie d'individus marqués, il existe une préoccupation importante concernant l'utilisation de tels individus pour tirer des conclusions sur la survie d'individus non marqués/non manipulés. Il est extrêmement difficile d'affirmer qu'un saumoneau marqué aurait la même probabilité de survie moyenne qu'un saumoneau non marqué, étant donné que les procédures de capture, de manipulation et de marquage, en plus du stress et des blessures subis par les individus marqués (Amman *et al.* 2013), interrompent la migration pendant une période particulièrement sensible (Riley *et al.* 2007). Le retrait de ces individus des bancs de poissons présentant des caractéristiques conspécifiques peut entraîner une vulnérabilité accrue à la prédation (Furey *et al.* 2016).

Si on normalise les conditions expérimentales des études à long terme pour garantir que les observations reflètent, dans la mesure du possible, les variations du phénomène d'intérêt, plutôt que les différences relatives aux méthodologies expérimentales (conception, technologie), alors les tendances des séries chronologiques des individus munis d'une étiquette acoustique pourraient bien refléter les tendances des séries chronologiques des individus non manipulés. On pourrait avancer que les données issues des activités menées dans la Miramichi Sud-Ouest répondent aux critères des conditions expérimentales normalisées. Si c'était le cas, les tendances estimées des taux de survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique et l'association avec l'abondance des bars rayés pourraient effectivement correspondre aux tendances des taux de survie des saumoneaux non manipulés de la rivière Miramichi.

La section suivante présente la modélisation de la dynamique de la population de saumons atlantiques dans la rivière Miramichi, effectuée au moyen des indices annuels d'abondance du saumon juvénile et des estimations de la remonte des saumons adultes unibermarins et dibermarins. Le point d'intérêt de cette modélisation est l'estimation des taux de survie relative au cours de la première année en mer et l'examen des corrélations entre ceux-ci et les estimations de l'abondance des bars rayés. L'objectif est donc d'étudier les effets à l'échelle des populations.

ESTIMATIONS DE LA SURVIE RELATIVE DU SAUMON ATLANTIQUE À L'ÉCHELLE DE LA POPULATION

Il a été démontré que le bar rayé consommera des saumoneaux du saumon atlantique dans la rivière Miramichi (MPO 2016). Dans certains rapports, on a également inféré la prédation exercée par le bar rayé sur les saumoneaux à partir des comportements de saumoneaux portant une étiquette acoustique et de technologies fondées sur des étiquettes de prédation (Gibson *et al.* 2015; Daniels *et al.* 2018, 2019), et de la modélisation des séries chronologiques des taux de survie corrélés à des séries chronologiques de l'abondance de bars rayés reproducteurs (Chaput *et al.* 2018; présent document).

D'après les estimations de la survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique dans la rivière Miramichi, la tendance indique une diminution de la survie au début de la migration dans la rivière Miramichi, mais aucun changement n'est observé pour les rivières de la baie des Chaleurs. On ne sait pas si ces diminutions ou l'absence de changement dans les taux de survie des saumoneaux marqués se reflètent dans les taux de remonte des saumons unibermarins et dibermarins pendant toute la période de la vie marine. Les taux de remonte par rapport au nombre de saumons atlantiques adultes dans de nombreuses rivières surveillées de l'est du Canada ont diminué au cours des quatre dernières décennies (CIEM 2020). Cependant, depuis 1996, les taux de remonte des saumons unibermarins pour quatre rivières surveillées dans les provinces maritimes et au Québec montrent des tendances linéaires variables, mais pas statistiquement significatives (figure 9).

Il existe très peu d'estimations fiables des taux de production de saumoneaux du saumon atlantique et de dévalaison de ces derniers dans la rivière Miramichi (Chaput *et al.* 2016). En outre, il n'y a pas assez d'estimations de l'abondance des bars rayés reproducteurs effectuées pendant la série chronologique pour qu'on puisse examiner la prédation exercée par les bars rayés sur les saumoneaux du saumon atlantique, à l'échelle de la population.

On a modélisé la dynamique de la population de saumons atlantiques dans la rivière Miramichi en utilisant les indices annuels de l'abondance des saumons juvéniles et de l'estimation des remontes de saumons adultes unibermarins et dibermarins évaluées. Le point d'intérêt de cette modélisation consiste à estimer les taux de survie relative au cours de la première année en mer pour voir s'il y a eu une tendance dans ces taux et déterminer comment ces tendances peuvent être corrélées avec les estimations de l'abondance des bars rayés. Si la prédation exercée par les bars rayés sur les saumoneaux du saumon atlantique est suffisamment intense pendant la phase post-saumoneau précoce, on devrait voir un signal dans les taux de remonte relative des saumons adultes.

Données

On a obtenu les indices annuels de saumons atlantiques juvéniles, par groupe de taille/d'âge (alevins = jeunes de l'année, petits tacons = jeunes de 1 an; grands tacons = jeunes de 2 ans et plus), en menant des activités d'électro-pêche dans des sites fixes de la rivière Miramichi. Les méthodes d'échantillonnage et les modèles d'estimation des densités utilisés (nombre de poissons par 100 m²) par groupe de taille/d'âge sont décrits dans les documents de Chaput *et al.* (2005) et de Moore et Chaput (2007). Le nouveau modèle bayésien développé par Dauphin *et al.* (2019) n'a pas encore été appliqué aux séries chronologiques d'observations utilisées dans la présente analyse. Les séries chronologiques de l'abondance des juvéniles pour les quatre bras principaux (rivières dont la confluence se situe dans les eaux de marée) de la rivière Miramichi jusqu'en 2019 ont été présentées par MPO (2020 b; figure 10). On a obtenu les indices de l'abondance des juvéniles par groupe de taille pour le système de la rivière Miramichi Nord-Ouest (superficie d'habitat de la Petite rivière Miramichi Sud-Ouest = 807 ha; superficie d'habitat de la Miramichi Nord-Ouest = 823 ha) et pour le système de la rivière Miramichi Sud-Ouest (superficie d'habitat de la rivière Renous = 582 ha; superficie d'habitat de la rivière Miramichi Sud-Ouest = 2 953 ha) à titre de moyenne pondérée par l'habitat des densités moyennes dans les affluents appropriés (figure 11).

Depuis 1992, on estime la remonte de saumons atlantiques adultes dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et dans la rivière Miramichi Sud-Ouest. Les séries chronologiques des estimations pour les saumons de petite taille (< 63 cm de longueur à la fourche, principalement le saumon unibermarin) et les saumons de grande taille (>= 63 cm de longueur à la fourche, principalement le saumon dibermarin et les reproducteurs) jusqu'en 2019 sont présentées dans le document du MPO (2020 b, 2020c). La composition des saumons adultes selon la durée du séjour en mer est déterminée à partir de l'interprétation d'échantillons d'écaillés provenant de saumons adultes en montaison capturés dans les filets-trappes repères du MPO situés dans les estuaires de la Miramichi Nord-Ouest et de la Miramichi Sud-Ouest. À partir de ces données et des estimations des remontes des gros saumons, on a estimé les remontes de saumons dibermarins; les saumons dibermarins représentaient chaque année des proportions variables des remontes des gros saumons, soit entre 0,41 et 0,85 au cours de la période de 1992 à 2019. La figure 12 illustre les séries chronologiques des estimations des saumons unibermarins (petits saumons) et dibermarins pour les deux bras principaux de la rivière Miramichi.

Les séries chronologiques des indices propres aux juvéniles et des remontes d'adultes dans un bras précis de la rivière par durée du séjour en mer utilisées dans le modèle de population commencent en 1993 et s'étendent jusqu'en 2019.

Équations dynamiques et modèle des cohortes

On a codé un modèle des cohortes qui suit une cohorte de saumons à partir du stade d'alevin (de 1993 à 2018), pendant les stades de petit tacon (de 1994 à 2018) et de grand tacon (de 1995 à 2018), jusqu'à la montaison au stade de saumons adultes unibermarins (de 1997 à 2019) et d'ibermarins (de 1998 à 2019) évalués dans les deux bras principaux de la rivière Miramichi. Les saumoneaux d'âge 2 correspondent à un stade intermédiaire calculé à partir de l'abondance des petits tacons de l'année précédente et les saumoneaux d'âge 3 correspondent à un stade intermédiaire calculé à partir de l'abondance des grands tacons de l'année précédente. Le total des saumoneaux en dévalaison correspond à la somme des saumoneaux d'âge 2 et 3 ans lors de l'année y , et l'abondance de la remonte de saumons unibermarins lors de l'année $y+1$ est calculée à partir du total des saumoneaux en dévalaison pendant l'année, qui est ajustée pour tenir compte de la survie en mer pendant l'année et de la proportion de la cohorte de saumoneaux arrivant à maturité après un an en mer (unibermarins). Les équations pour le modèle sont résumées dans le tableau 6.

Voici les trois variantes du modèle examinées.

1. Modèle indépendant des rivières dans lequel les paramètres ont été estimés de manière indépendante pour la dynamique de la Miramichi Sud-Ouest et de la Miramichi Nord-Ouest, sans aucun lien entre les dynamiques des deux bras (annexe 1).
2. Modèle qui supposait une tendance commune pour la survie des saumoneaux au stade unibermarin pour les deux bras de la rivière, mais qui affichait un changement d'ordonnée à l'origine constant pour l'un des bras. Tous les autres paramètres ont été définis indépendamment pour les deux bras.
3. Modèle qui supposait une seule tendance commune au fil du temps pour les deux bras de la rivière concernant la proportion de petits tacons qui deviennent des saumoneaux d'âge 2 et une seule tendance commune pour la survie des saumoneaux au stade unibermarin dans les deux bras. Tous les autres paramètres ont été définis de manière indépendante pour les deux bras.

Probabilités et distributions *a priori*

Le modèle a été codé dans OpenBugs (annexe 1) et les distributions *a posteriori* des paramètres ont été obtenues par échantillonnage de MCMC (Lunn *et al.* 2013).

On a utilisé des probabilités log-normales pour l'abondance des alevins, des petits tacons, des grands tacons ainsi que des individus unibermarins et d'ibermarins en montaison.

On a établi des distributions *a priori* non informatives sur les précisions (variance inverse) pour chacun des stades du cycle vital, sauf celui d'alevin. Les alevins représentaient le stade du cycle vital initial. On a présumé que la probabilité associée à l'indice des alevins moyen provenant de l'échantillonnage pour la rivière r et l'année t était log-normale; $\log(u.\text{alevin}_{y,r})$, a été tiré d'une distribution *a priori* pour l'année et la rivière, et la précision par rivière pour toutes les années a été fixée au coefficient de variation moyen des indices d'abondance des alevins au fil des années par rivière (CV = 0,14 pour la Miramichi Sud-Ouest et 0,22 pour la Miramichi Nord-Ouest).

Les distributions *a priori* pour les autres paramètres ont été fixées de manière variable à l'aide de distributions conjuguées ou censurées (Tableau 7).

Résultats

Tous les modèles ont convergé rapidement. Au total, on a utilisé 100 000 itérations à partir de 2 chaînes au début suivit de 25 000 itérations avec un amincissement de 10 pour extraire 5 000 échantillons de MCMC dans le but de caractériser la distribution *a posteriori*. Toutes les distributions *a posteriori* de paramètres étaient unimodales. Les diagnostics du modèle sont résumés à l'annexe 2 et les indicateurs d'adéquation du modèle aux données sont résumés dans le tableau 8.

On a conservé le modèle qui était ajusté aux séries chronologiques des juvéniles et des adultes en montaison, indépendamment des bras de la rivière (modèle 1) (annexe 2).

En fonction de la structure et des hypothèses du modèle, les estimations des taux de survie des alevins et des tacons sont plus élevées dans la rivière Miramichi Nord-Ouest que dans la rivière Miramichi Sud-Ouest (figure 13). L'estimation de la proportion des saumoneaux qui deviennent mature au stade unibermarin est également plus élevée dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (figure 13); cela concorde avec d'autres caractéristiques du cycle vital qui indiquent une proportion plus élevée de femelles parmi la remonte d'individus unibermarins dans la rivière Miramichi Nord-Ouest que parmi la remonte de ces individus dans la rivière Miramichi Sud-Ouest (Chaput *et al.* 2016).

Les proportions de petits tacons qui, selon les estimations deviendront des smolts à l'âge 2, ont diminué dans les bras Nord-Ouest et Sud-Ouest de la rivière Miramichi (figure 14). En ce qui concerne la production relative de smolts aux âges 2 et 3, il y a eu une diminution du nombre relatif estimé de smolts à l'âge 2, mais aucun changement relatif à la production estimée de smolts à l'âge 3 (figure 14). Ces proportions correspondent également aux données; généralement, les indices de petits tacons ont diminué à un rythme plus rapide que les indices de grands tacons (figure 10).

Les taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin affichent de grandes variations dans la rivière Miramichi Sud-Ouest et la rivière Miramichi Nord-Ouest, mais aucune tendance linéaire statistiquement significative au cours des séries chronologiques de 1996 à 2018 (figure 15). Le terme « taux de survie relative » est utilisé parce que la production de saumoneaux estimée est augmentée au moyen de la superficie totale de l'habitat des rivières, ce qui entraîne une surestimation de la production de saumoneaux à partir d'indices propres aux juvéniles; ces derniers sont calculés pour des composantes particulières de l'habitat, soit l'habitat de grossissement type des juvéniles. Les taux de remonte relative sont généralement plus élevés dans la rivière Miramichi Sud-Ouest que dans la rivière Miramichi Nord-Ouest. Les taux de survie des saumoneaux pour l'année de migration 2009 ont été élevés pour les deux rivières.

Lorsque les taux de survie relative sont représentés par rapport à l'abondance des bars rayés reproducteurs correspondante pour l'année de migration des saumoneaux (et l'année de prédation potentielle par le bar rayé), il y a une baisse apparente des taux de survie relative des saumoneaux de la rivière Miramichi Sud-Ouest, en particulier pour les années de migration 2006 à 2018 (les taux de survie relative les plus élevés ont été estimés pour l'année de migration des saumoneaux 2009) associée à l'augmentation de l'abondance de bars rayés (figure 15). Cependant, des taux de survie relative faibles pour la rivière Miramichi Sud-Ouest ont été estimés à la fin des années 1990, lorsque les abondances de bars rayés étaient faibles. La relation négative entre les taux de survie relative et les abondances de bars rayés reproducteurs varie de moins évidente à inexistante pour les saumoneaux de la rivière Miramichi Nord-Ouest (figure 15). En fait, les taux de survie relative estimés ont été variables pendant toute la série chronologique; des taux de survie relative élevés et faibles ont été

observés à la fin des années 1990, lorsque les abondances de bars rayés étaient faibles, et à nouveau dans les années 2010, lorsque ces abondances étaient élevées.

Les taux de survie relative du stade saumoneau à celui de saumon unibermarin sont représentés par rapport aux taux de survie dans les baies des saumoneaux portant une étiquette acoustique pour les années de migration des saumoneaux 2003 à 2016 dans la rivière Miramichi Sud-Ouest, et pour les années de migration des saumoneaux 2003 à 2008 et 2013 à 2016 dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (figure 16). Les taux de survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique dans la rivière Miramichi Sud-Ouest sont très variables pour de faibles taux de survie relative correspondants, mais généralement, les taux de survie relative modélisés du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin correspondent aux années où les taux de survie des saumoneaux à l'échelle de la baie étaient plus élevés, présentant une relation linéaire statistiquement faible ($p = 0,045$; figure 16). Pour la rivière Miramichi Nord-Ouest, il n'y a pas d'association entre les estimations du taux de survie dans la baie et les taux de survie relative estimés du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin (figure 16).

Discussions

La modélisation par cohorte des indices de survie du stade de juvénile à celui d'adulte en montaison pour la rivière Miramichi indique, au moins pour la rivière Miramichi Sud-Ouest, que les taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin peuvent être corrélés négativement aux abondances de bar rayé, au moins pour la période de 2006 à 2018. Cette tendance correspond en partie à l'association entre les taux de survie indiqués par les saumoneaux portant une étiquette acoustique dans la baie de Miramichi et les abondances de bars rayés pour la rivière Miramichi Sud-Ouest, et indique que la survie au stade de post-saumoneau précoce, qui dépend peut-être de la prédation, peut définir les tendances du taux de survie annuel total de la remonte d'adultes unibermarins. D'autre part, les taux de survie relative des individus du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin pour la série chronologique de la rivière Miramichi Nord-Ouest ne correspondent pas aux taux de survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique, ni sont-ils associés aux variations des abondances de bars rayés reproducteurs, ce qui ne fournit donc aucune preuve d'une variation de la survie découlant de la prédation des saumoneau par les bars rayés.

Si l'on devait accepter qu'il existe un effet, à l'échelle de la population, de la prédation des saumoneau par les bars rayés, on ne sait pas trop quelle serait l'abondance appropriée de bars rayés reproducteurs qui n'entraînerait pas de mortalité précoce excessive chez les saumoneaux. Pour la rivière Miramichi Sud-Ouest, il y a eu des taux de survie relative tout aussi faibles lorsque les abondances de bars rayés reproducteurs étaient très faibles et très élevées; on a observé des taux de survie relative plus élevés chez les saumons lorsqu'il y avait de 20 000 à 100 000 bars rayés reproducteurs. Le taux de survie relative estimé pour la cohorte de saumoneaux de 2009 est anormalement élevé (figure 15). Cependant, des taux de survie tout aussi élevés de la cohorte de saumoneaux de 2009 par rapport à la série chronologique propre à la rivière ont été observés pour la rivière Nashwaak (N-B), la rivière LaHave (N-É) ainsi que les deux rivières repères du Québec (figure 9), ce qui indique que certaines années, ce sont des facteurs importants à l'échelle océanique qui dominent la dynamique de la survie marine du saumon atlantique, plutôt que les conditions de survie peu après le stade de saumoneau ou à proximité des côtes.

CONCLUSIONS

Les analyses d'information présentées dans ce document fournissent des preuves contradictoires de la diminution de quelques indicateurs de l'abondance d'espèces de poissons anadromes associée à une abondance accrue des bars rayés dans le sud du golfe. Les débarquements commerciaux déclarés de gaspareau et d'éperlan arc-en-ciel ont considérablement diminué dans la partie du Nouveau-Brunswick du sud du golfe du Saint-Laurent, en particulier depuis 2010. Des débarquements plus élevés pendant la période antérieure à 2010 ont été associés à des abondances de bars rayés reproducteurs de moins de 5 000 à plus de 50 000 reproducteurs.

Les indices d'abondance fondés sur les captures dans les filets-trappes repères situés dans les estuaires des deux bras principaux de la Miramichi montrent une baisse des captures annuelles totales de gaspareau et de saumon atlantique adulte, les déclinés étant plus importants dans la rivière Miramichi Sud-Ouest que dans la rivière Miramichi Nord-Ouest. Les déclinés dans la rivière Miramichi Sud-Ouest pour ces deux espèces auraient commencé en 2005, et ont été moins brusques que l'indiquent les débarquements commerciaux de gaspareau. En revanche, les prises d'aloose savoureuse ont augmenté dans la Miramichi Nord-Ouest et la Miramichi Sud-Ouest, malgré l'augmentation des prises et les estimations de l'abondance des bars rayés reproducteurs.

Il existe des preuves directes de la prédation exercée par les bars rayés sur les saumoneaux du saumon atlantique. Plusieurs études utilisant des technologies d'étiquetage acoustique ont inféré des épisodes de prédation, et des changements dans les taux de survie estimés lors de la première phase de migration dans la baie de Miramichi indiquent que la prédation par le bar rayé est un facteur probable de ces variations des taux de survie estimés. D'après les estimations de la survie des individus munis d'une étiquette acoustique dans la baie de Miramichi, les années où l'abondance des bars rayés dépassait environ 100 000 reproducteurs correspondaient aux années où les taux de survie estimés étaient visiblement plus faibles.

Les effets à l'échelle de la population, décrits par les estimations des taux de survie relative des saumoneaux lors de la première année en mer d'après d'indices propres aux juvéniles utilisés comme indicateurs de la production de saumoneaux, sont contradictoires entre les deux bras de la Miramichi. Les taux de survie relative des saumoneaux de la rivière Miramichi Sud-Ouest sont associés à des variations des indices de l'abondance des bars rayés, mais ce n'est pas le cas pour les taux de survie dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, où les saumoneaux devraient être davantage touchés par la prédation compte tenu des chevauchements spatial et temporel des regroupements de bars rayés reproducteurs et de la période de migration des saumoneaux. Ces analyses ne permettent pas de conclure la présence ou l'absence d'effets de la prédation par le bar rayé sur la survie du stade de saumoneau à celui d'adulte qui remonte. Elles soulignent la nécessité de mener des expériences écologiques soigneusement conçues en vue de résoudre directement les mécanismes et la relation de cause à effet des interactions entre le bar rayé et d'autres espèces anadromes dans la rivière Miramichi.

Par le passé, les abondances de bars rayés de l'ordre de 100 000 reproducteurs correspondaient à des débarquements élevés de gaspareau et d'éperlan, et aux taux de survie les plus élevés des saumoneaux munis d'une étiquette acoustique dans la baie de Miramichi. L'établissement d'un objectif de gestion pour le bar rayé à environ 100 000 reproducteurs, qui pourrait être qualifié de point de référence cible (plutôt que de point de référence supérieure du stock), entraînera de grandes réductions du rendement potentiel des pêches du bar rayé. D'après les modèles de populations et les estimations de l'abondance à l'état d'équilibre présentées dans Chaput et Douglas (2022), le maintien de l'abondance du bar rayé à 100 000 reproducteurs équivaldrait à un taux de pêche supérieur à $F = 0,50$, ce qui correspond

à des rendements nettement inférieurs à ce qui pourrait être réalisé au rendement maximal durable, et à une abondance inférieure aux points de référence limites de bar rayé, quel que soit le modèle de population sélectionné.

Les séries chronologiques de données utilisées ne permettent pas de déterminer avec certitude si la réduction de l'abondance des bars rayés reproducteurs au niveau du début des années 2000, c'est-à-dire moins de 100 000 reproducteurs, améliorerait les estimations du taux de survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique, les taux de survie relative à l'échelle de la population dérivés du modèle des cohortes, ou encore les débarquements de gaspateau et d'éperlan arc-en-ciel issus des pêches commerciales. En fin de compte, la décision d'utiliser un autre point de référence « cible » pour le bar rayé, qui tiendrait compte des interactions plurispécifiques, sera prise par les gestionnaires des pêches. Il n'est pas possible de proposer un niveau de référence pour répondre aux préoccupations concernant la plurispécificité en fonction des renseignements et analyses présentées dans le présent document. On pourrait envisager de mener une expérience écologique soigneusement conçue et surveillée pour résoudre la question des interactions entre les espèces. Une telle expérience nécessiterait un suivi pendant une longue série chronologique et devrait inclure un site de référence, comme la rivière Restigouche, où aucune prédation moindre serait exercée par le bar rayé sur les saumoneaux du saumon atlantique et d'autres espèces au printemps. Ce site devrait aussi être situé à proximité de la rivière Miramichi sur le plan géographique, de sorte que les facteurs climatiques et d'autres paramètres de la dynamique dans la rivière ressemblent étroitement aux conditions de la rivière Miramichi.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Ammann, A.J., Michel, C.J., and MacFarlane, R.B. 2013. The effects of surgically implanted acoustic transmitters on laboratory growth, survival and tag retention in hatchery yearling Chinook salmon. *Environ. Biol. Fish* 96: 135-143.
- Andrews, S.N., Hirtle, S.V., Linnansaari, T., and Curry, R.A. 2019 Consumption of Atlantic Salmon Smolt by Striped Bass: A Review of the Predator–Prey Encounter and Implications for the Design of Effective Sampling Strategies. *Fishes* 2019, 4, 50.
- Bradford, R.G., Chaput, G., Hurlbut, T., and Morin, R. 1997. Bycatch of striped bass, white hake, winter flounder, and Atlantic tomcod in the autumn “open water” smelt fishery of the Miramichi River estuary. Canadian Technical Report Fisheries and Aquatic Sciences No. 2195.
- Cairns, D.K., Chaput, G., Poirier, L.A., Avery, T.S., Castonguay, M., Mathers, A., Casselman, J.M., Bradford, R.G., Pratt, T., Verreault, G., Clarke, K., Veinott, G., and Bernatchez, L. 2014. [Recovery Potential Assessment for the American Eel \(*Anquilla rostrata*\) for eastern Canada: life history, distribution, reported landings, status indicators, and demographic parameters](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/134. xiv + 157 p.
- Chaput, G.J. 1995. Temporal Distribution, Spatial Distribution, and Abundance of Diadromous Fish in the Miramichi River Watershed, p. 121-139. *In* E.M.P. Chadwick [editor]. *Water, science, and the public: the Miramichi ecosystem*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 123.
- Chaput, G., et Atkinson, G. 2001. [The gaspereau fisheries \(*Alosa pseudoharengus* and *A. aestivalis*\) of the Miramichi River with updates on the fishery of Richibucto River of Gulf New Brunswick, 1997 to 2000](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2001/047: 39 p.
- Chaput, G., et Bradford, R.G. 2003. [American shad \(*Alosa sapidissima*\) in Atlantic Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2003/009. iv + 71 p.t

-
- Chaput, G. et Douglas, S. 2022. [Points de Référence de la Pêche du Bar Rayé \(*Morone saxatilis*\) du Sud du Golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/029. xv + 159 p.
- Chaput, G., et LeBlanc, C. 1996. [Anadromous rainbow smelt \(*Osmerus mordax* Mitchill\) from the Gulf of St. Lawrence – update of fishery and preliminary status of stocks](#). DFO Atl. Fish. Res. Doc. 96/109.
- Chaput, G., LeBlanc, P., and Crawford, R. 2001. [Assessment of the Margaree River gaspereau fishery, 1997 to 2000](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2001/046: 35 p.
- Chaput, G., Moore, D., and Peterson, D. 2005. Predicting Atlantic salmon (*Salmo salar*) juvenile densities using catch per unit effort open site electrofishing. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2600. v + 25 p.
- Chaput, G., Hardie, P., Hayward, J., Moore, D., Sheasgreen, J., and NSPA. 2002. Migrations and biological characteristics of Atlantic salmon (*Salmo Salar*) smolts from the Northwest Miramichi River, 1998 to 2000. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2415. 70p.
- Chaput, G., Douglas, S.G., and 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.
- Chaput, G., Carr, J., Daniels, J., Tinker, S., Jonsen, I., and Whoriskey, F. 2018. Atlantic Salmon (*Salmo salar*) smolt and early post-smolt migration and survival inferred from multi-year and multi-stock acoustic telemetry studies in the Gulf of St. Lawrence, northwest Atlantic. ICES J. Mar. Sci. 76: 1107-1121.
- CIEM. 2020. [Working Group on North Atlantic Salmon \(WGNAS\)](#). ICES Scientific Reports. 2:21. 357 pp.
- Clayton, R.R. 1996. Weekly Fish Counts from In-River Traps, Counting Fences, Barrier Pools, and Fishways in Southern Gulf of St. Lawrence Rivers, From 1952 – 1993. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 982.
- Daniels, J., Chaput, G., and Carr, J. 2018. Estimating consumption rate of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*) by striped bass (*Morone saxatilis*) in the Miramichi River estuary using acoustic telemetry. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 75: 1811–1822.
- Daniels, J., Sutton, S., Webber, D., and Carr, J. 2019. Extent of predation bias present in migration survival and timing of Atlantic salmon smolt (*Salmo salar*) as suggested by a novel acoustic tag. Anim. Biotelemetry 7:16. <https://doi.org/10.1186/s40317-019-0178-2>.
- Dauphin, G.J.R., Chaput, G., Breau, C., and Cunjak, R.A. 2019. Hierarchical model detects decadal changes in calibration relationships of single-pass electrofishing indices of abundance of Atlantic salmon in two large Canadian catchments. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 76: 523-542.
- Douglas, S.G., and G. Chaput. 2011. [Information on the Striped Bass \(*Morone saxatilis*\) population of the southern Gulf of St. Lawrence relevant to the development of a 2nd COSEWIC status report for the species](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/098. iv + 16 p.
- Douglas, S.G., Chaput, G., Hayward, J., and Sheasgreen, J. 2009. Prespawning, spawning, and postspawning behavior of striped bass in the Miramichi River. Trans. Am. Fish. Soc. 138: 121-134.

-
- Furey, N.B., Hinch, S.G., Bass, A.L., Middleton, C.T., Minke-Martin, V., and Lotto, A.G. 2016. Predator swamping reduces predation risk during nocturnal migration of juvenile salmon in a high-mortality landscape. *J. Anim. Ecol.* 85: 948–959.
- Gibson, A.J., Halfyard, E.A., Bradford, R.G., Stokesbury, M.J., and Redden, A.M. 2015. Effects of predation on telemetry-based survival estimates: insights from a study on endangered Atlantic salmon smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 728–741.
- Grout, D.E. 2006. Interactions between striped bass (*Morone saxatilis*) rebuilding programmes and the conservation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and other anadromous fish species in the USA. *ICES J. Mar. Sci.* 63: 1346-1352.
- Hanson, J.M. 2020. Diet of Striped Bass in the Southern Gulf of St. Lawrence (Canada) with Emphasis on the Spring Spawning Aggregation. *Northeastern Naturalist* 27(3): 381-400.
- Hayward, J. 2001. Weekly Fish Counts from In-River Traps and Barrier Pools in the Miramichi River, New Brunswick, 1994 to 1999. *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1080: 104 p.
- Hayward, J., Sheasgreen, J., Douglas, S., and Reid, J. 2014. Diadromous fish monitoring programs in the Miramichi River system in 2011. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* No. 3042: xiii + 102 p.
- Lunn, D., Jackson, C., Best, N., Thomas, A., and Spiegelhalter, D. 2013. The BUGS Book a Practical Introduction to Bayesian Analysis. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, Florida. 381 pp.
- MPO. 2016. [Abondance de reproducteurs et caractéristiques biologiques du bar rayé \(*Morone saxatilis*\) du sud du golfe du Saint-Laurent en 2015](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2016/017.
- MPO. 2019. [Directives d'élaboration d'un plan de rétablissement conforme à la Politique Cadre de l'approche de précaution : Assurer la croissance d'un stock pour le faire sortir de la zone critique](#).
- MPO. 2020a. [Mise à jour de 2019 sur l'abondance de reproducteurs et les caractéristiques biologiques du bar rayé \(*Morone saxatilis*\) du sud du golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/009.
- MPO. 2020b. [Mise à jour en 2019 des indicateurs pour le saumon atlantique \(*Salmo salar*\) dans les zones de pêche du saumon 15 à 18 de la région du Golfe du MPO](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/028.
- MPO. 2020c. [Mise à jour pour 2019 des indicateurs du saumon Atlantique adulte 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. 2020/010.
- MPO. 2021. [Points de référence pour la population de bar rayé \(*Morone saxatilis*\) du sud du golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. de consult. Sci. du MPO. Avis sci. 2021/018.
- Moore, D., et Chaput, G. 2007. Juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) surveys in the Miramichi River Watershed from 1970-2004. *Can. Data. Rep. Fish. Aquat. Sci.* No. 1188. 117p.
- Moore, D.S., G.J. Chaput, and P.R. Pickard. 1995. The effect of fisheries on the biological characteristics and survival of mature Atlantic salmon (*Salmo salar*) from the Miramichi River, p. 229-247. . In E.M.P. Chadwick [editor]. *Water, science, and the public: the Miramichi ecosystem*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 123.

-
- Northeast Fisheries Science Center (NEFSC). 2019. [66th Northeast Regional Stock Assessment Workshop \(66th SAW\) Assessment Report](#). US Dept Commer, Northeast Fish Sci Cent Ref Doc. 19-08; 1170 p.
- Riley, W.D., Ibbotson, A.T., Gregory, S.D., Russell, I.C., Lauridsen, R.B., Beaumont, W.R.C., Cook, A.C., and Maxwell, D.L. 2018. Under what circumstances does the capture and tagging of wild Atlantic salmon *Salmo salar* smolts affect probability of return as adults?. J. Fish Biol. 93: 477-489.
- Scharf, F. S., Juanes, F., and Rountree, R. A. 2000. Predator size–prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. Mar. Ecol. Prog. Ser. 208: 229–248.

TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des caractéristiques des espèces de poissons, y compris le stade du cycle vital, la taille et l'emplacement le plus probable de l'interaction avec le bar rayé adulte (âge 3+) dans la rivière Miramichi.

Espèce	Stade du cycle vital	Taille approximative (cm)	Emplacement et moment du chevauchement avec le bar rayé
Éperlan arc-en-ciel	Reproducteurs/ post-reproducteurs	13 à 21	Estuaire Avril à juin
	Juveniles	< 10	Estuaire et baie Automne
Gaspareau	Reproducteurs/ post-reproducteurs	22 à 30	Estuaire Mi-mai à début juillet
	Jeune de l'année	< 8 cm	Cours inférieur de rivières, estuaires À la fin de l'été
Alose savoureuse	Jeune de l'année	< 8 cm	Cours inférieur de rivières, estuaires À la fin de l'été
Saumon atlantique	Saumoneau	10 à 18 cm	Estuaire Mi-mai à début juin; période de 3 à 4 semaines
Anguille d'Amérique	Phase jaune	15 à 50	Estuaires Avril à octobre
Lamproie marine	Ammocètes	10 à 15	Estuaires Mai et juin associé à la métamorphose et au passage au stade parasitaire et à la migration vers la mer
Poulamon	Adulte	14 à 25	Pas de chevauchement avec le bar rayé; migre vers les estuaires à la fin de l'automne, fraie en hiver, revient vers la baie de Miramichi et le sud du golfe vers avril

Tableau 2. Résumé des activités d'échantillonnage pour l'étude du régime alimentaire du bar rayé entre 2013 et 2015. Les échantillons sont résumés par saison (printemps = mai et juin dans la Miramichi uniquement; autre = tous les autres échantillons que ceux prélevés dans la Miramichi au printemps), lieu de capture, plage de dates de capture et méthode de capture (pêche à la ligne ou filet-trappe). GNE = Golfe Nouvelle-Écosse, NNB = Nord du Nouveau-Brunswick, et SENB = Sud-est du Nouveau-Brunswick. L'expression « Striper Cup » fait référence à des échantillons d'estomac extraits de poissons morts accidentellement pendant le derby de pêche au bar rayé avec remise à l'eau des poissons vivants qui a eu lieu dans la Miramichi les 30 et 31 mai 2015. Le tableau récapitulatif provient du MPO (2016).

Année	Saison	Région	Lieu de capture	Plage de dates de capture		Méthode de capture		
				Min	Max	pêche à la ligne	filet-trappe	
2013	printemps	Miramichi	Nord-Ouest	5-mai	26-juin	153	320	
			Sud-Ouest	25-juin	26-juin	0	30	
			Miramichi principale	1-mai	17-mai	77	0	
	autre	Miramichi	Nord-Ouest	24-sept	30-sept	0	9	
			Sud-Ouest	23-sept	10-oct	0	76	
Sous-total 2013						230	435	
2014	printemps	Miramichi	Nord-Ouest	9-mai	25-juin	178	295	
			Sud-Ouest	15-mai	20-juin	34	30	
			Miramichi principale	22-mai	29-mai	78	0	
	autre	GNE	Margaree	6-juin	6-juin	0	23	
			Miramichi	Miramichi principale	6-oct	22-oct	18	0
			NNB	Shippagan	6-oct	6-oct	1	0
		SENB	Burnt Church	7-oct	16-oct	3	0	
			Inkerman	16-oct	16-oct	3	0	
			Cocagne	10-juil	11-juil	11	0	
	Cote-Ste-Anne	28-sept	28-sept	13	0			
Sous-total 2014						339	348	
2015	printemps	Miramichi	Nord-Ouest	15-mai	29-juin	162	299	
			Sud-Ouest	12-mai	2-juin	8	12	
			Miramichi principale	20-mai	22-mai	143	0	
			Striper cup	30-mai	31-mai	25	0	
	autre	GNE	Margaree	6-juin	20-oct	81	9	
			Antigonish	22-juin	22-juin	4	0	
			Pictou	23-juin	30-juil	34	0	
			Grand Etang	24-août	24-août	8	0	
			Miramichi	Miramichi principale	5-août	14-sept	10	0
		NNB	Burnt Church	16-juin	7-oct	26	0	
			Tracadie	14-août	14-août	1	0	
			Inkerman	4-oct	14-oct	8	0	
		SENB	Little Bouctouche	25-juil	27-sept	73	0	
			Bouctouche	27-sept	11-oct	23	0	
		Cocagne	28-sept	13-oct	26	0		
St. Edouard	15-oct	20-oct	7	0				
Sous-total 2015						639	320	
Total 2013-2015						1208	1103	

Tableau 3. Régime alimentaire, représenté en pourcentage des espèces-proies ou des catégories de proies présentes, des bars rayés (longueur à la fourche entre 21 et 73 cm) capturés à différents endroits dans le sud du golfe du Saint-Laurent de 2013 à 2015 et ne se trouvant pas dans l'estuaire de la Miramichi en mai et juin. Le pourcentage de présence a été arrondi au pourcentage entier le plus proche et le total peut être supérieur à 100 %, car certains estomacs contenaient plus d'un type de proies.

Proie	% occurrence			
	2013	2014	2015	Toutes les années
Decapoda (<i>Crangon septemspinosa</i> , <i>Neomysis</i> spp., <i>Palaemonetes vulgaris</i>)	1	38	39	32
Crustacés (Crabe vert, Crabe commun)	1	0	1	1
Insecte (Anisoptera, Ephemeroptera, Plecoptera)	1	1	2	1
Gastéropode (Pervenche mineure)	0	0	1	0
Autres invertébrés (gammaridés, isopodes, mysides, polychètes)	0	3	6	4
Capucette	0	1	12	8
Épinoche (3-épines, 4-épines, <i>Gasterosteus</i> spp.)	0	13	9	8
Choquemort	0	1	5	3
Truite moucheté	0	0	5	3
Poissons plats (Plie lisse, Plie rouge)	2	0	4	3
De forme d'anguille (Anguille d'Amérique, ammocète de lamproie)	1	0	4	3
Éperlan arc-en-ciel	0	0	3	2
Poulamon	1	6	0	1
Lançon d'Amérique	0	4	1	1
Merluche	1	6	0	1
Saumon atlantique (tacon)	0	1	0	0
Autres poissons (Hareng atlantique, tanche-tautogue, morue ogac, syngnathe brun)	0	3	1	1
Restes de poissons non-identifiés	5	3	7	6
Total des estomacs analysés	85	72	310	467
% des estomacs vides	86	53	35	47

Tableau 4. Nombre de saumoneaux du saumon atlantique dans les échantillons d'estomac de bars rayés prélevés dans la rivière Miramichi en mai et juin, de 2013 à 2015. La date, le lieu et la méthode de capture des bars rayés ayant consommé des saumoneaux sont indiqués. L'emplacement fait référence à l'endroit où les individus échantillonnés dont l'estomac contenait des saumoneaux ont été prélevés. L'expression « Striper Cup » fait référence à des échantillons d'estomac extraits de poissons morts accidentellement pendant le derby de pêche au bar rayé avec remise à l'eau des poissons vivants qui a eu lieu dans la Miramichi les 30 et 31 mai 2015. Les autres dates et emplacements sont tous détaillés dans le tableau 1. Les données proviennent du document du MPO (2016).

Année	Date	Lieu de capture	Nombre d'estomacs	Nombre d'estomacs avec saumoneau x	Nombre total de saumoneaux identifiés	
					Pêche à la ligne	Filet-trappe
2013	10-mai	Cassilis	15	1	0	1
	14-mai	Isle Beaubear	25	1	1	0
	16-mai	Isle Beaubear	20	1	1	0
	27-mai	N-O filet commercial à gaspareau	32	1	0	3
	28-mai	Millstream	30	4	13	0
	29-mai	N-O filet commercial à gaspareau	30	1	0	1
	Toutes autres dates	Tous autres lieux	428	0	0	0
Sous-total			580	9	15	5
2014	23-mai	Isle Beaubear	21	2	2	0
	26- mai	Hackett's Beach	13	4	4	0
	28- mai	Strawberry Marsh	30	3	3	0
	2-juin	Cassilis	64	2	3	0
	4-juin	Cassilis	14	1	0	1
	5-juin	Cassilis	31	1	1	0
	Toutes autres dates	Tous autres lieux	442	0	0	0
Sous-total			615	13	13	1
2015	26-mai	N-O filet commercial à gaspareau	31	2	0	3
	28-mai	Millstream	32	1	1	0
	28-mai	N-O filet commercial à gaspareau	30	2	0	8
	30-mai	Striper cup	25	1	2	0
	Toutes autres dates	Tous autres lieux	531	0	0	0
Sous-total			649	6	3	11
Total			1844	28	31	17

Tableau 5. Résumé du nombre de saumoneaux du saumon atlantique munis d'étiquettes acoustiques et remis à l'eau dans la rivière Miramichi Nord-Ouest et la rivière Miramichi Sud-Ouest entre 2013 et 2016, et pourcentages inférés des saumoneaux marqués, par rivière et par année, qui présentaient des tendances de déplacement semblables à celles des bars rayés dans les estuaires de la rivière Miramichi. Les données proviennent du document de Daniels et al. (2018).

Année	Rivière	Nombres de saumoneaux marqués et relâchés	Inférences du % de saumoneaux marqués démontrant des déplacements similaires à ceux de bars rayés	Estimations de l'abondance de reproducteurs de bar rayé (médiane, 5ème au 95ème percentile; milles)
2013	Miramichi N-O	40	19,4%	255
	Miramichi S-O	65	16,5%	(67 à 864)
2014	Miramichi N-O	50	19,9%	138
	Miramichi S-O	80	9,0%	(79 à 250)
2015	Miramichi N-O	80	9,2%	299
	Miramichi S-O	80	2,6%	(146 à 675)
2016	Miramichi N-O	60	17,6%	318
	Miramichi S-O	59	8,2%	(160 à 633)

Tableau 6. Équations du modèle pour la dynamique des cohortes de saumon atlantique, du stade de juvénile à celui d'adulte en montaison. Les caractères gras identifient les données.

- $Psm_{r,t+1} \sim Fry_{r,t} * S_r^{fry}$
 avec $Fry_{r,t}$ indice d'abondance d'alevin à la fin été / automne (poissons par 100 m²) pour la rivière r de l'année t,
 S_r^{fry} le taux de survie [0,1] de l'alevin au stade de petit tacon pour la rivière r (présupposé similaire sur les années mais différent entre rivières),
 $Psm_{r,t+1}$ indice d'abondance de petit tacon à la fin été / automne (poissons par 100 m²) pour la rivière r de l'année t+1
- $Sm_{r,t+1}^{a,2} \sim Psm_{r,t} * S_r^{psm} * pSm_{r,t}^{a,2} * Hab_r$
 avec $Sm_{r,t+1}^{a,2}$ le nombre total de saumoneau d'âge 2 ans en dévalaison pour la rivière r de l'année t+1,
 $Psm_{r,t}$ indice d'abondance de petit tacon à la fin été / automne (poissons par 100 m²) pour la rivière r de l'année t,
 S_r^{psm} le taux de survie [0,1] de petit tacon au stade saumoneau pour la période fin d'été / automne jusqu'au printemps, exprimé comme $e^{-Z/2}$ avec $e^{-Z} = S_r^{psm}$ la survie annuelle de petit tacon à grand tacon,
 $pSm_{r,t}^{a,2}$ la proportion relative de petit tacon survivant au printemps et devenant saumoneau d'âge 2 ans pour la rivière r de l'année t,
 Hab_r est la surface d'habitat à juvénile pour la rivière r (en 100 m²).
- $Plg_{r,t+1} \sim Psm_{r,t} * S_r^{psm} * (1 - pSm_{r,t}^{a,2})$
 $Plg_{r,t+1}$ indice d'abondance de grand tacon à la fin été / automne (poissons par 100 m²) pour la rivière r de l'année t+1, survivants des petits tacons de la rivière r et l'année t qui ne sont pas devenus saumoneau d'âge 2, et
 autres paramètres comme ci-haut.
- $Sm_{r,t+1}^{a,3} \sim Plg_{r,t} * S_r^{psm} * Hab_r$
 avec $Sm_{r,t+1}^{a,3}$ le nombre total de saumoneau d'âge 3 ans en dévalaison pour la rivière r de l'année t+1, et
 autres paramètres comme ci-haut.
- $Sm_{r,t} = Sm_{r,t}^{a,2} + Sm_{r,t}^{a,3}$
 avec $Sm_{r,t}$ le nombre total de saumoneaux (âges 2, 3) qui quitte la rivière r dans l'année t
- A.1** $1sw_{r,t+1} \sim Sm_{r,t} * S1sw_{r,t} * p1sw_r$
 avec $A, 1sw_{r,t+1}$ l'abondance de saumon unibermarin pour la rivière r et l'année t+1;
 $Sm_{r,t}$ le nombre total de saumoneaux (âges 2, 3) qui quitte la rivière r dans l'année t;
 $S1sw_{r,t}$ le taux de survie en mer du stade saumoneau au retour de saumon unibermarin de la rivière r pour l'année de dévalaison des saumoneaux t (selon le modèle)
 $p1sw_r$ la probabilité de maturation au stade unibermarin de saumoneaux de la rivière r, similaire selon les années.
- A.2** $2sw_{r,t+2} \sim Sm_{r,t} * S1sw_{r,t} * (1 - p1sw_r) * S2sw$
 avec $A, 2sw_{r,t+2}$ l'abondance de saumon dibermarin pour la rivière r et l'année t+2;
 $S2sw$ taux de survie de saumon unibermarin non-murant durant la deuxième année de migration en mer, et autres paramètres comme ci-haut.

Hypothèses de simplification

- S_r^{psm} varie selon la rivière r mais est similaire selon les années;
- S_r^{psm} la survie de grand tacon à saumoneau d'âge 3 est similaire à la survie de petit tacon, mais pour la moitié de l'année;
- $pSm_{r,t}^{a,2}$, la proportion relative de petit tacon qui devienne saumoneau d'âge 2 ans est soit similaire pour les rivières mais variable selon les années, soit différente entre rivière et selon les années (selon le modèle) ;
- $S2sw$ le taux de survie durant la deuxième année en mer est supposé connue et similaire entre rivières et selon les années. Puisqu'il y a trois paramètres de dynamique en mer ($S1sw$ $p1sw$ $S2sw$) mais seulement deux observations (abondances de saumons unibermarins et dibermarins), un de ces paramètres doit être fixé. En se fondant sur les approches de modélisation du CIEM (2020), le taux de survie en mer durant la deuxième année est fixé à 0.70 ($e^{-0,03*12}$), selon la supposition d'un taux de mortalité instantané mensuel de 0,03 par mois pour 12 mois de vie en mer.

Indices:

- $r = 1:2$ (Miramichi Sud-Ouest, Miramichi Nord-Ouest)
- $y = 1993$ à 2019

Tableau 7. Paramètres et les distributions a priori dans les modèles de cohortes du saumon atlantique.

Paramètre	Distribution a priori
S_r^{fry}	Beta(2,3)
S_r^{psm}	Beta(3,2)
$pSm_{r,t}^{a,2}$	Beta(5,5)
$Log(u.fry_{y,r})$	$N(2,10) C(1,)$
$S1sw_{y,r} = e^{-Z_{r,t}}$	$Z \sim N(1,10) C(0.1,)$
$p1sw_r$	Beta(5,5)
$S2sw$	Beta(72,28)
Précision ($1/\sigma^2$)	$\sigma \sim U(0,5)$

Tableau 8. Sommaire de la structure et diagnostics des modèles des cohortes du saumon atlantique.

Modèle	Nombre effectif de paramètres	Valeur de DIC	Commentaire
1	67	2719	Valeur de DIC du modèle n'est pas comparable avec celles des modèles 2 et 3 car les estimations entre rivières sont complètement indépendantes. Les ajustements des indicateurs des juvéniles et des montaisons d'adultes sont meilleurs que pour les modèles 2 et 3. Tendances temporelles dans les résidus des indicateurs de juvéniles et d'adultes
2	80	2700	Des ajustements moins bien des indicateurs de juvéniles, Tendances temporelles dans les résidus des indicateurs de juvéniles et d'adultes. Mauvais ajustement systématique des montaisons des adultes unibermarins pour les deux rivières mais moins sévère que pour le modèle 3.
3	73	2677	Ajustement raisonnable aux indicateurs de juvéniles. Des tendances temporelles dans les résidus des indicateurs de juvéniles et d'adultes unibermarins mais inférieures à celles du modèle 2. Mauvais ajustement systématique des montaisons des adultes unibermarins pour la rivière Miramichi Sud-Ouest.

FIGURES

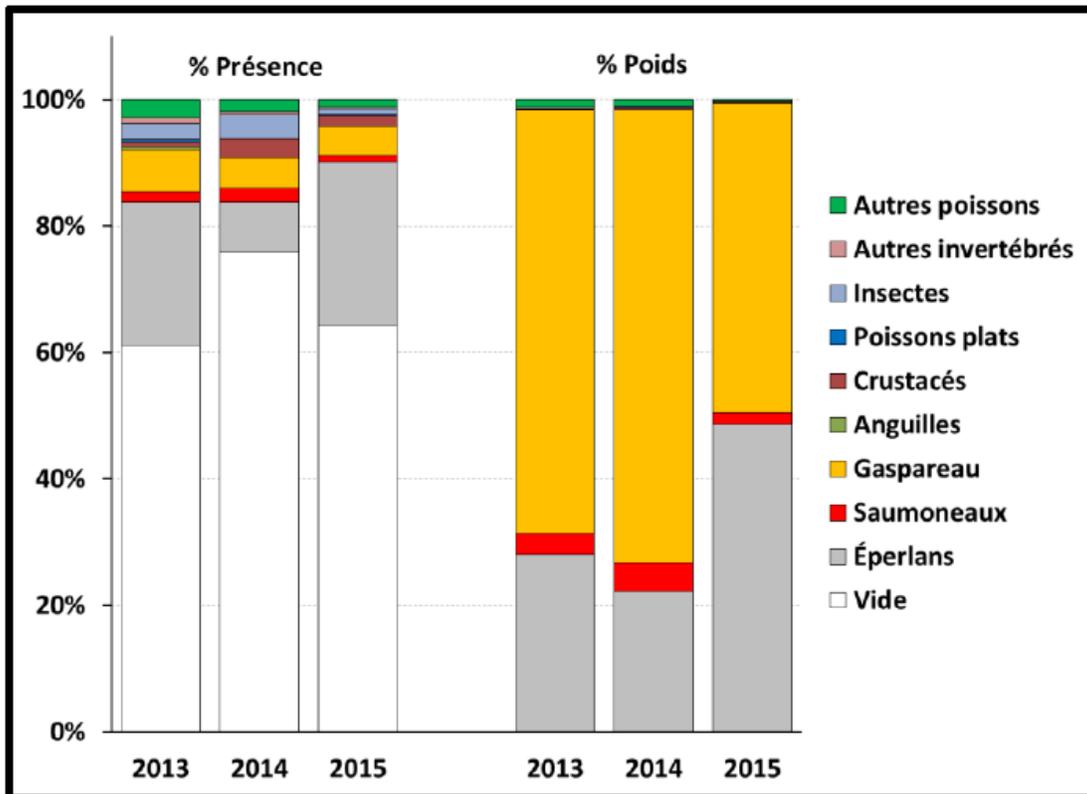


Figure 1. Résumé des pourcentages de proportions d'espèces-proies ou de catégories de proies (à gauche) et poids en pourcentage correspondant (à droite) dans les estomacs de bars rayés prélevés dans la rivière Miramichi en mai et juin, de 2013 à 2015. La figure est copiée directement à partir du document du MPO (2016).

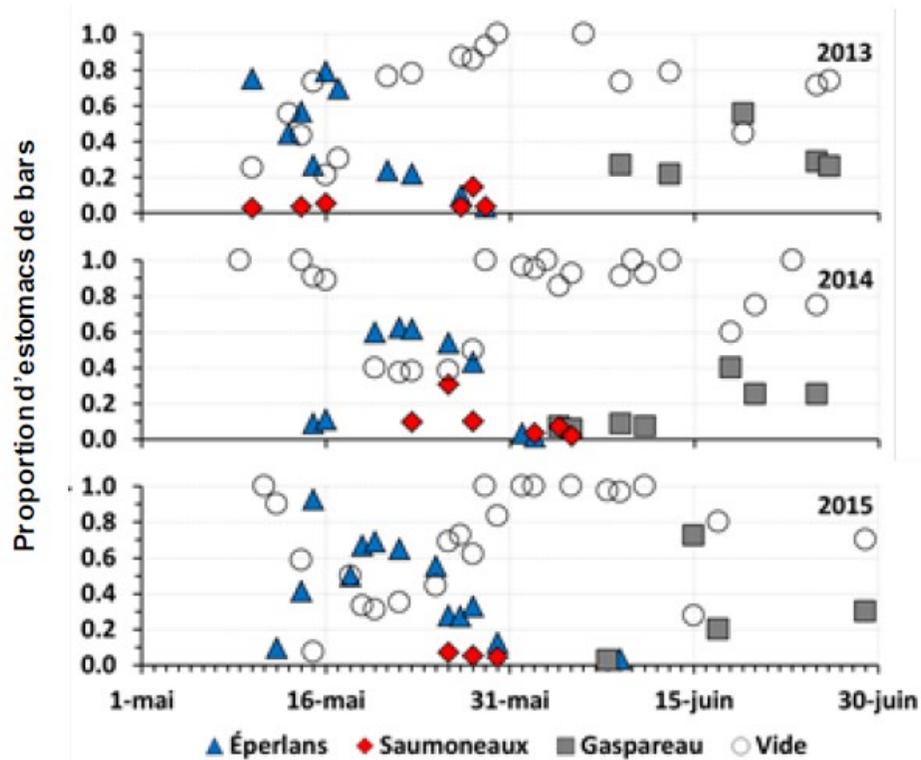


Figure 2. Proportion d'estomacs de bars rayés qui, à chacune des dates, étaient vides, contenaient de l'éperlan arc-en-ciel, contenaient du saumon atlantique et/ou contenaient du gaspateau en mai et juin dans la rivière Miramichi de 2013 à 2015. Seules les dates pour lesquelles ≥ 3 échantillons d'estomacs ont été prélevés sont indiquées. La somme des proportions peut ne pas correspondre à 100, car tous les groupes de proies ne sont pas représentés, ou plusieurs groupes de proies peuvent être présents dans un seul échantillon. La figure est copiée directement à partir du document du MPO (2016).

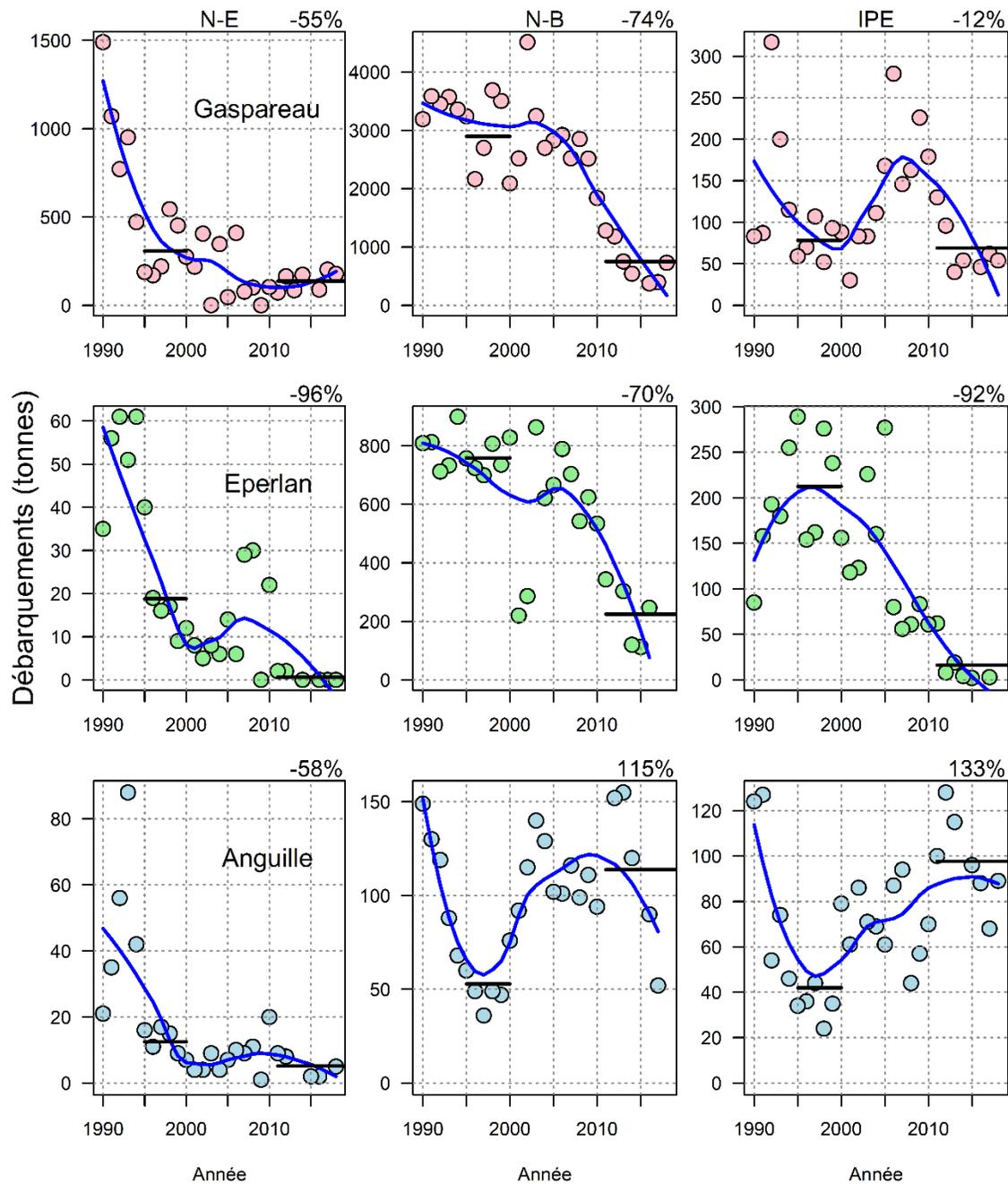


Figure 3. Résumé des débarquements déclarés (tonnes) de trois espèces de poissons diadromes (gaspereau = gaspareau et alose d'été, éperlan = éperlan arc-en-ciel; anguille = anguille d'Amérique) par province dans la région du golfe du MPO, de 1990 à 2018. Certaines données sont manquantes pour des raisons de confidentialité. Une valeur de 0 représente des débarquements déclarés < 0,5 t. La ligne bleue dans chaque graphique est une courbe lissée à l'aide de l'algorithme de régression LOESS avec une valeur d'intervalle de 0,8. Les débarquements moyens pour les périodes de 1995 à 2000 et de 2011 à 2018 sont indiqués sous forme de lignes horizontales noires et le pourcentage de changement de la période de 2011 à 2018 par rapport à la période de 1995 à 2000 est indiqué dans le coin supérieur droit au-dessus de chaque image.

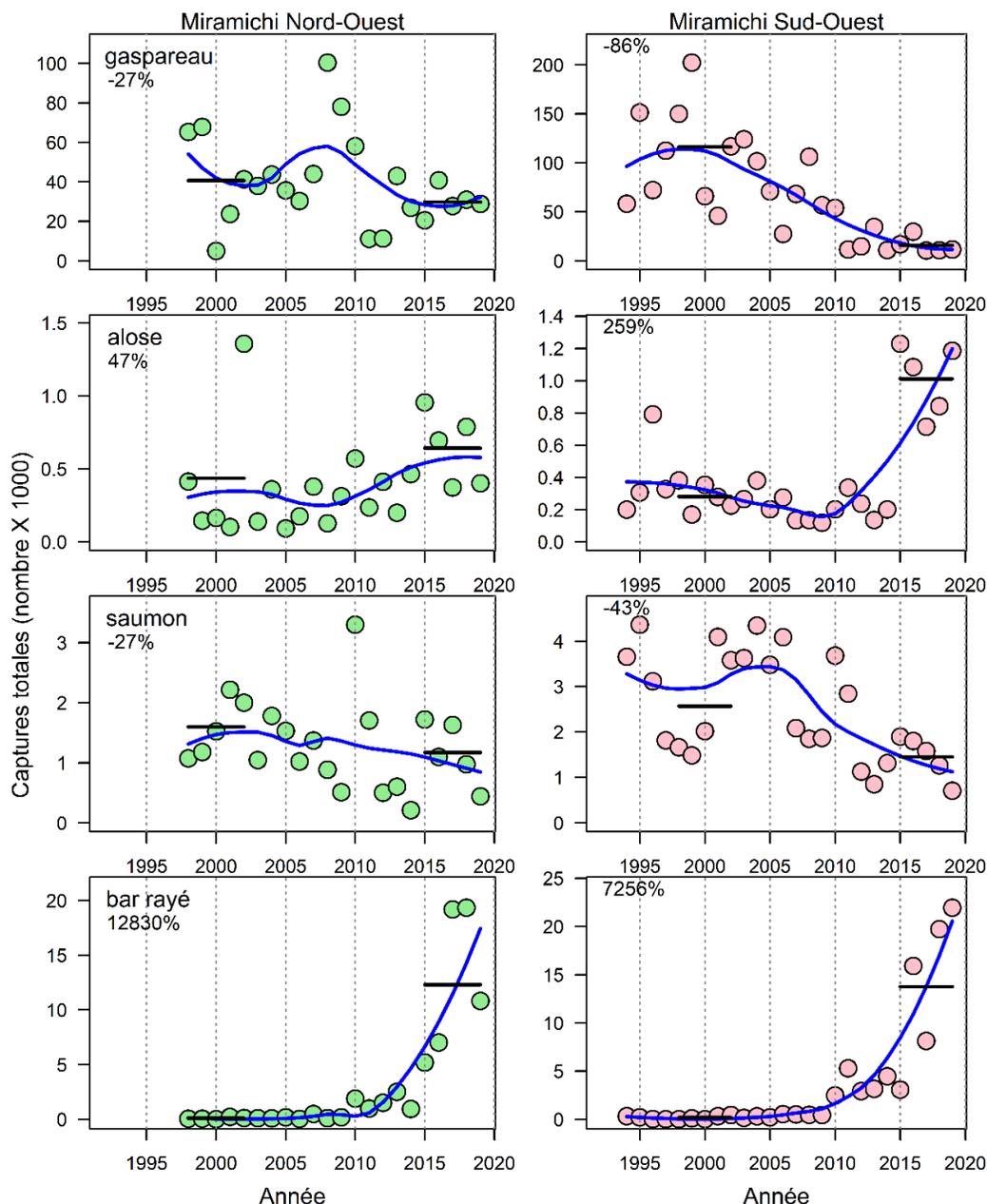


Figure 4. Résumé des captures totales (en milliers d'individus) d'espèces de poissons diadromes (gaspereau = *Alosa pseudoharengus* et *A. aestivalis*, première rangée; alose = *A. sapidissima*, deuxième rangée; saumon = *Salmo salar* (adultes), troisième rangée; bar rayé = *Morone saxatilis*, quatrième rangée) provenant des filets-trappes repères du MPO situés dans les estuaires de la rivière Miramichi Nord-Ouest (colonne de gauche) et de la rivière Miramichi Sud-Ouest (colonne de droite), de 1994 (1998 pour la Miramichi Nord-Ouest) à 2019. Le total des captures n'est pas corrigé pour les dates d'opération des engins, qui peuvent varier d'une année à l'autre et entre les filets-trappes. La ligne bleue de chaque tracé représente une courbe lissée au moyen de l'algorithme LOESS avec une valeur d'intervalle de 0,8. Les captures moyennes pour les périodes de 1998 à 2012 et de 2015 à 2019 sont indiquées sous forme de lignes horizontales noires et le pourcentage de changement de la période de 2015 à 2019 par rapport à la période de 1998 à 2002 est indiqué dans le coin supérieur gauche de chaque image.

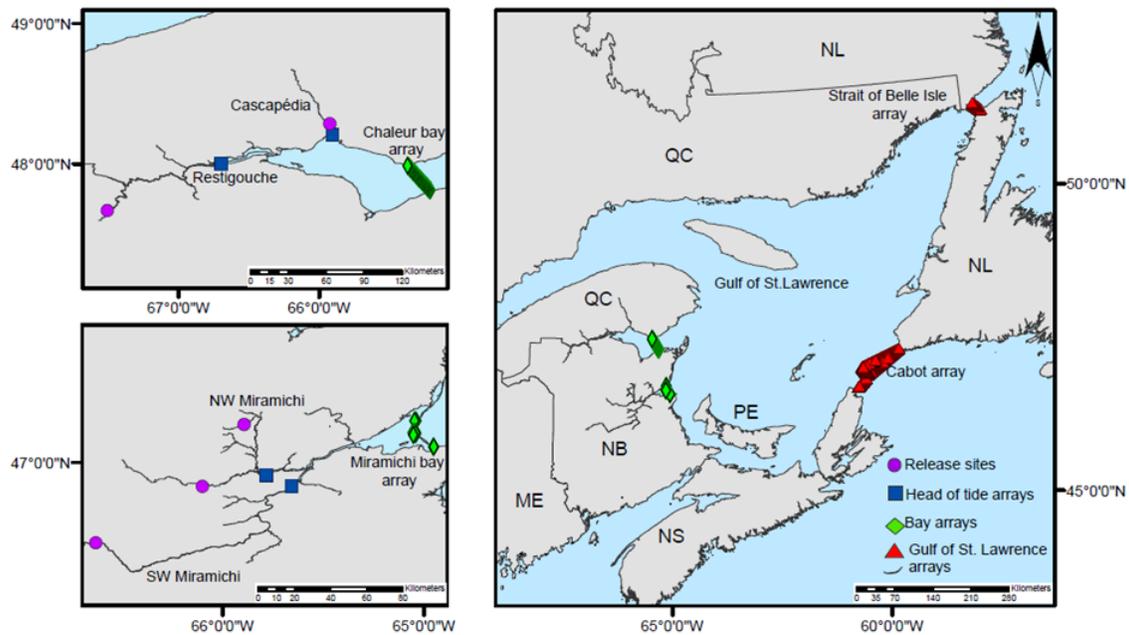


Figure 5. Références géographiques de l'étude de marquage et de suivi de saumoneaux du saumon atlantique menée par la Fédération du Saumon Atlantique dans quatre rivières du sud du golfe du Saint-Laurent. Les emplacements de remise à l'eau par rivière d'étude, l'emplacement des récepteurs de lignes de marée et les lignes de réception respectives des baies sont indiqués. L'image de droite montre les embouchures des baies et le réseau des récepteurs du détroit de Belle-Isle. La figure provient du document de Chaput et al. (2018).

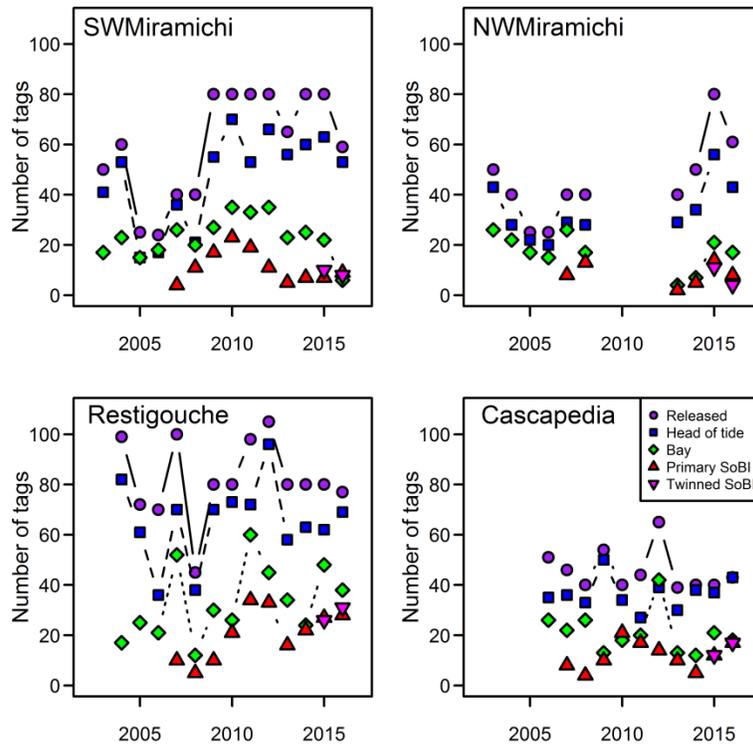


Figure 6. Résumé du nombre de poissons marqués et remis à l'eau et du nombre d'étiquettes détectées sur les lignes de récepteurs respectives de quatre rivières entre 2003 et 2016. La figure provient du document de Chaput et al. (2018). Dans la figure, 'Number of tags' signifie le nombre d'étiquettes, 'Released' représente le nombre de poissons relâché, 'Head of tide' représente le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à l'endroit de la tête de marée, 'Bay » représente le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à l'embouchure de la baie, 'Primary SoBI' le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à la ligne principale du détroit de Belle Isle, et 'Twinned SoBI' le nombre d'étiquettes repérées aux récepteurs à la ligne secondaire jumelée du détroit de Belle Isle. Les rivières sont la Miramichi Sud-Ouest (SWMiramichi), Miramichi Nord-Ouest (NWMiramichi), Restigouche, et Cascapédia (Cascapedia).

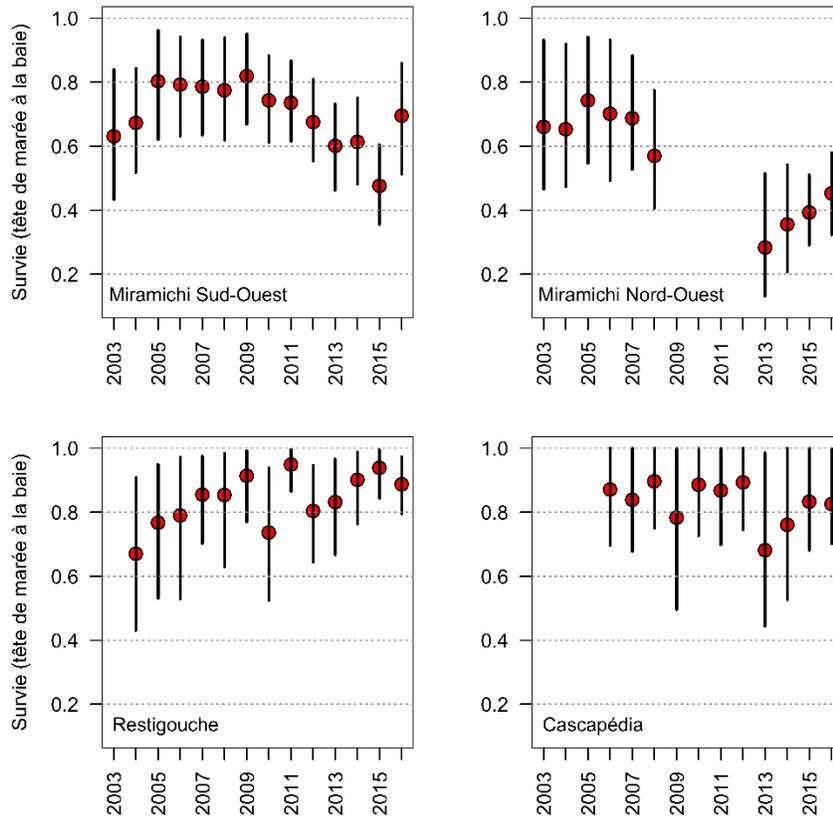


Figure 7. Distributions a posteriori (médiane, plage du 5^e au 95^e centiles) des taux de survie estimés à travers la baie (depuis la ligne de marée jusqu'à l'embouchure de la baie; la baie Miramichi est présentée dans la ligne supérieure et la baie des Chaleurs, dans la ligne inférieure) de saumoneaux portant une étiquette acoustique provenant de quatre rivières du sud du golfe du Saint-Laurent. Les taux de survie concernent un saumoneau d'une longueur à la fourche d'environ 14,6 cm. Les données sont résumées à partir de l'étude décrite par Chaput et al. (2018).

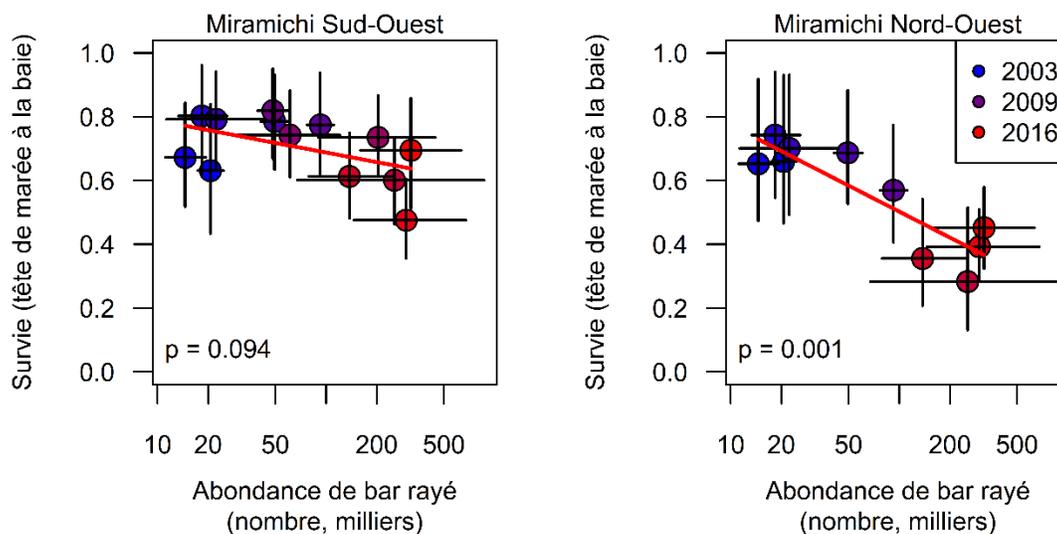


Figure 8. Corrélations entre les taux de survie, estimés depuis la ligne de marée jusqu'à l'embouchure de la baie, des saumoneaux portant une étiquette acoustique (image de gauche : rivière Miramichi Sud-Ouest, image de droite : rivière Miramichi Nord-Ouest) et estimations de l'abondance des bars rayés (échelle logarithmique) dans la rivière Miramichi, de 2003 à 2016. Pour les taux de survie et les valeurs d'abondance des reproducteurs, le symbole correspond à la médiane et les lignes noires représentent la plage respective du 5^e au 95^e centiles des estimations. La relation linéaire (ligne rouge) et la valeur p de la pente de la régression = 0 figurent dans le coin inférieur gauche de chaque image. Les données sur le taux de survie proviennent des résultats de l'étude sur la longueur à la fourche de Chaput et al. (2018). Les taux de survie sont standardisés pour un saumoneau d'une longueur à la fourche moyenne de 14,6 cm. Les données sont résumées à partir de l'étude décrite par Chaput et al. (2018).

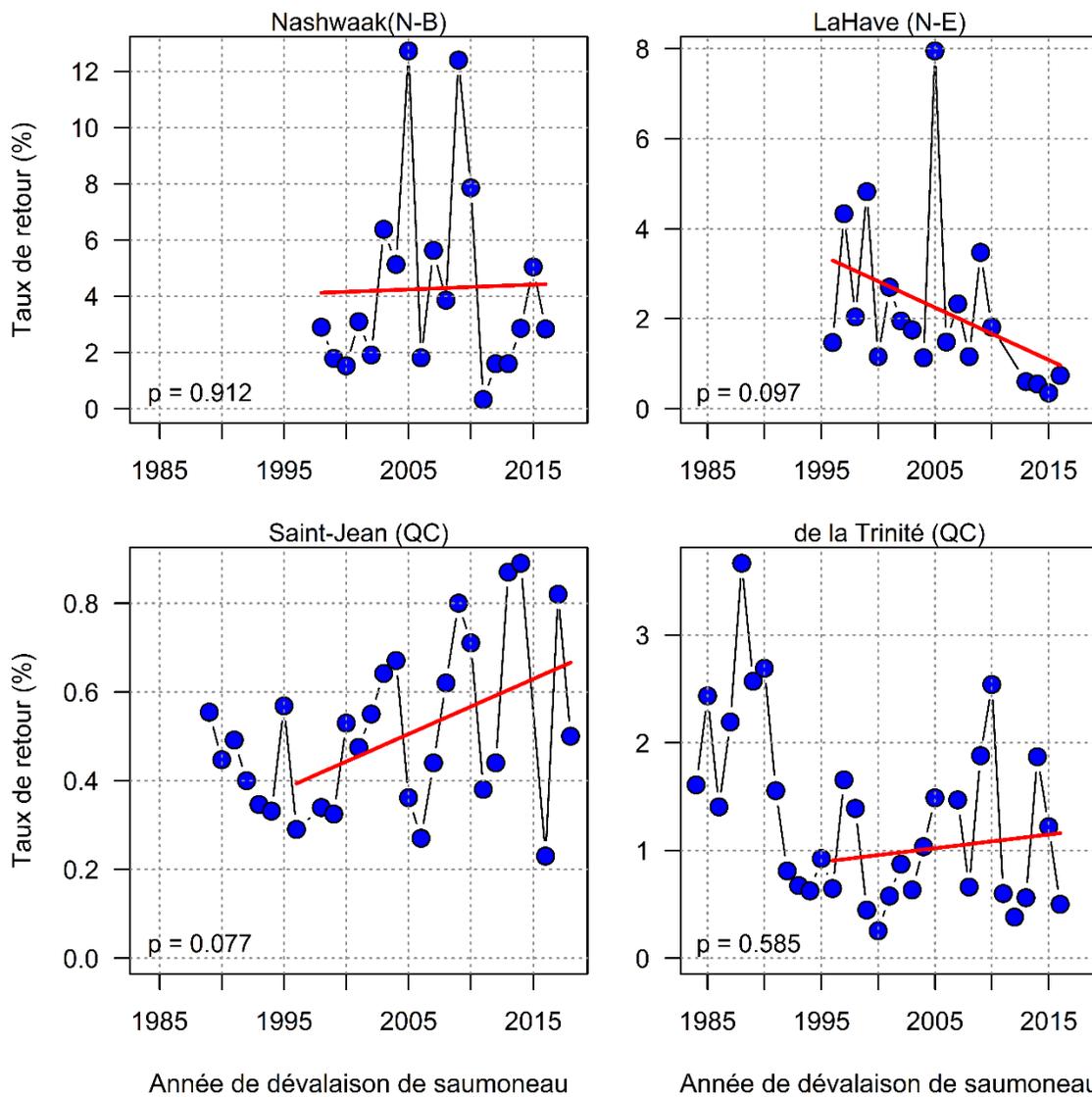


Figure 9. Estimations ponctuelles du taux de retour (%) par année de migration du saumoneau de saumon atlantique unibermarin vers quatre rivières repères de l'est du Canada. La ligne rouge montre l'ajustement linéaire à la série chronologique (de 1996 à aujourd'hui), et la valeur p pour l'hypothèse nulle de la pente = 0 est indiquée dans le coin inférieur gauche de chaque image.

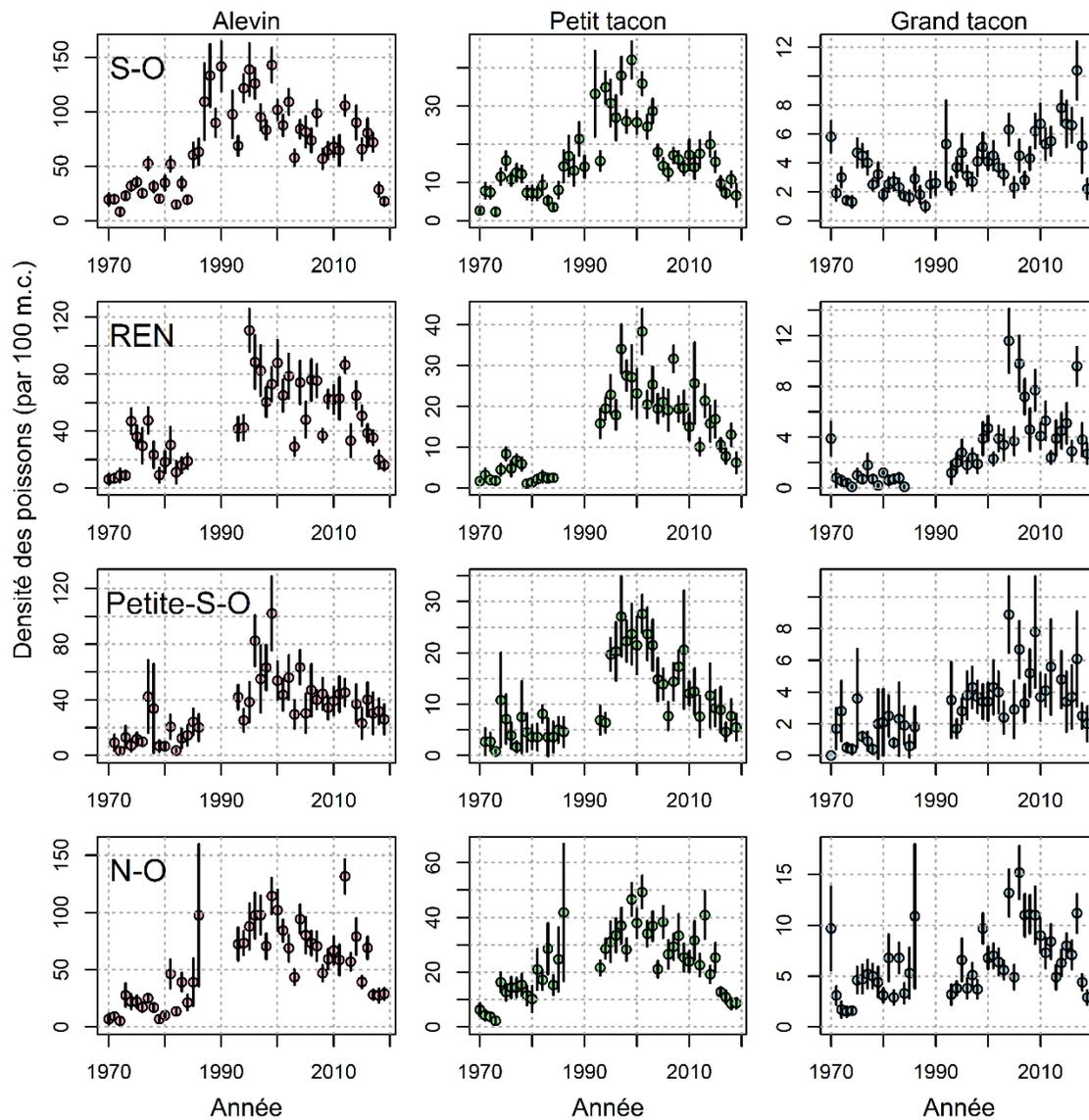


Figure 10. Série chronologique des indices du saumon atlantique juvénile (individus par 100 m²; moyenne et barre d'erreur d'un écart-type) par stade du cycle vital (colonnes) dans les quatre principaux affluents (lignes; S-O = Rivière Miramichi Sud-Ouest; REN = Renous; Petite S-O = Petite rivière Miramichi Sud-Ouest; N-O = Rivière Miramichi Nord-Ouest) pour les années 1970 à 2019. Seules les années au cours desquelles au moins quatre sites ont été échantillonnées dans un affluent sont indiquées. La figure est disponible dans le document du MPO (2020 b).

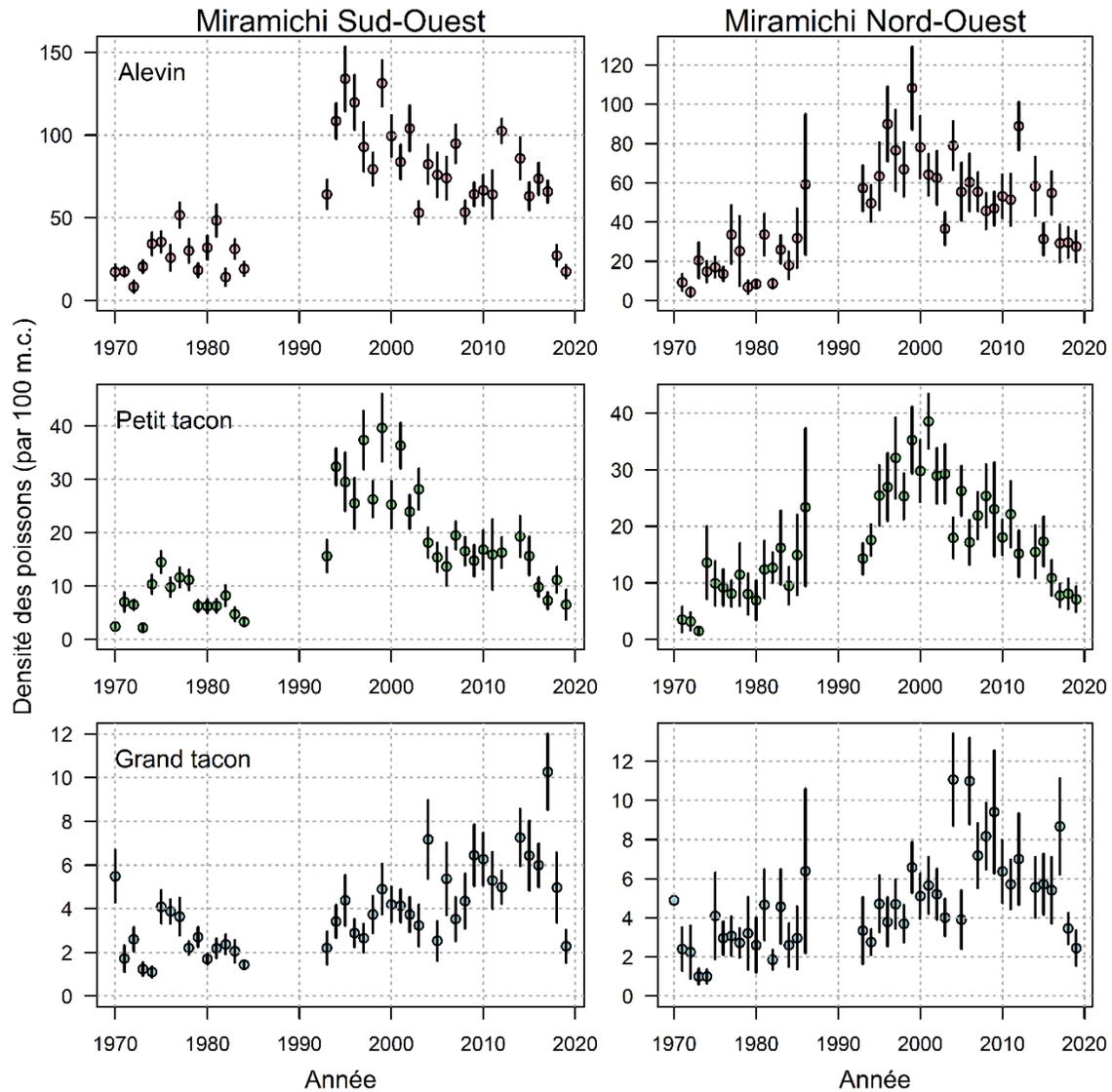


Figure 11. Indices d'abondance du saumon atlantique juvénile pondéré selon l'habitat (individus par 100 m²; moyenne et barre d'erreur d'un écart-type) par stade du cycle vital (lignes) dans les deux bras principaux de la rivière Miramichi (colonnes), de 1970 à 2019. Les écarts-types pour les bras principaux sont calculés comme la moyenne des écarts-types provenant des estimations des affluents présentées à la figure 10.

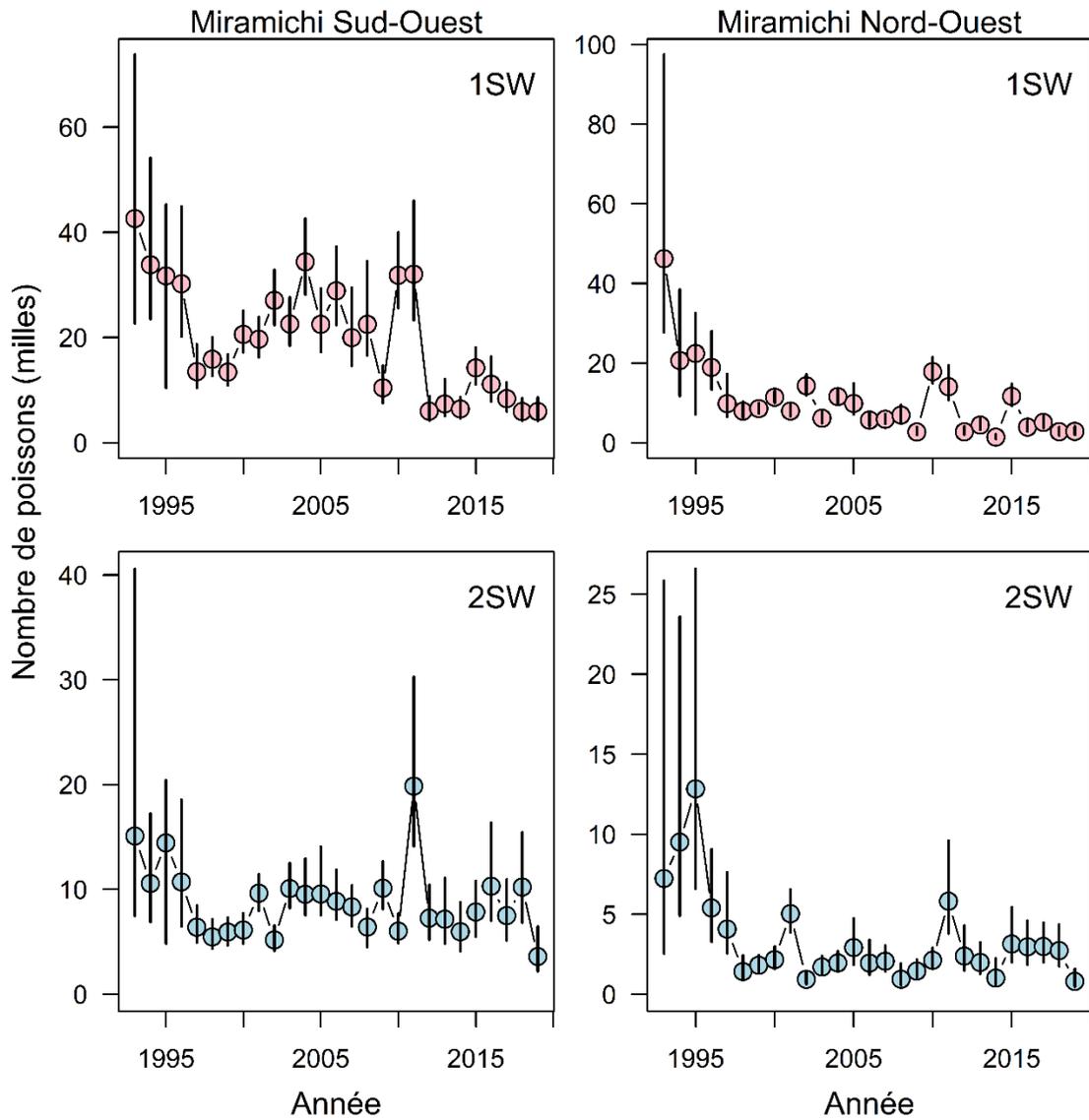


Figure 12. Estimations des remontes (avant les pêches intérieures; médiane et plage du 5^e au 95^e centiles) du saumon atlantique par durée du séjour en mer (rangée supérieure – 1SW = individus unibermarins, rangée inférieure – 2SW = individus dibermarins) dans la rivière Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (colonne de droite) pour la période d'évaluation de 1993 à 2019.

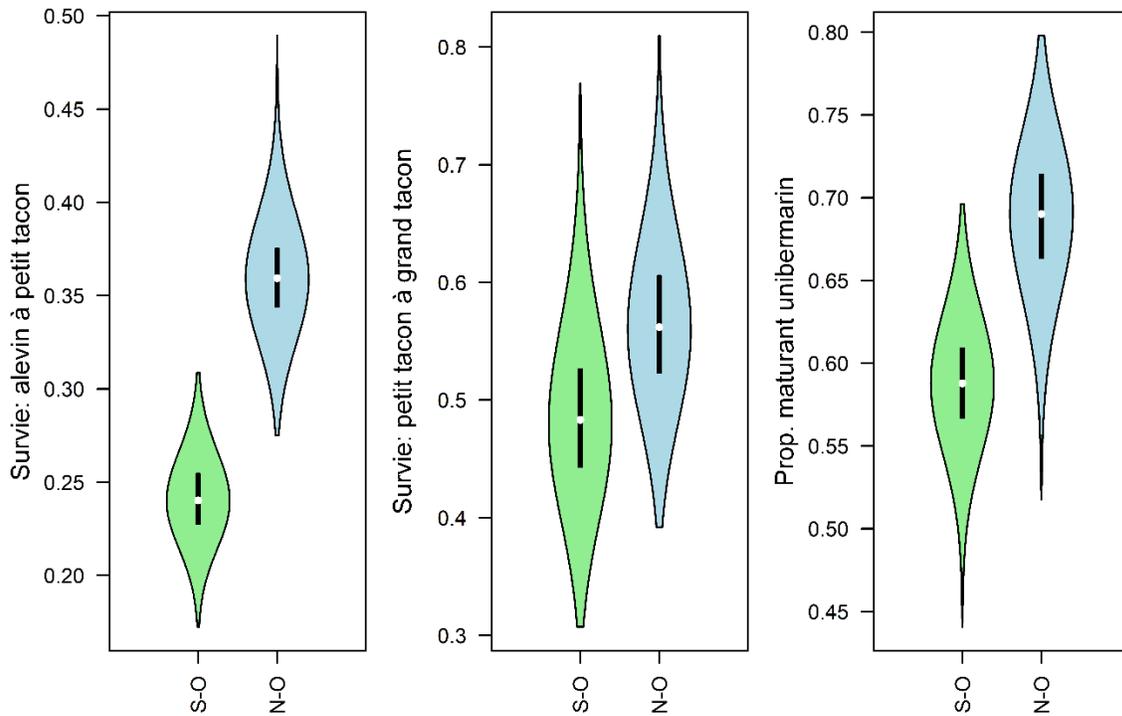


Figure 13. Distributions a posteriori propres aux cours d'eau des paramètres qui étaient communs entre les années, mais différaient entre les cours d'eau.

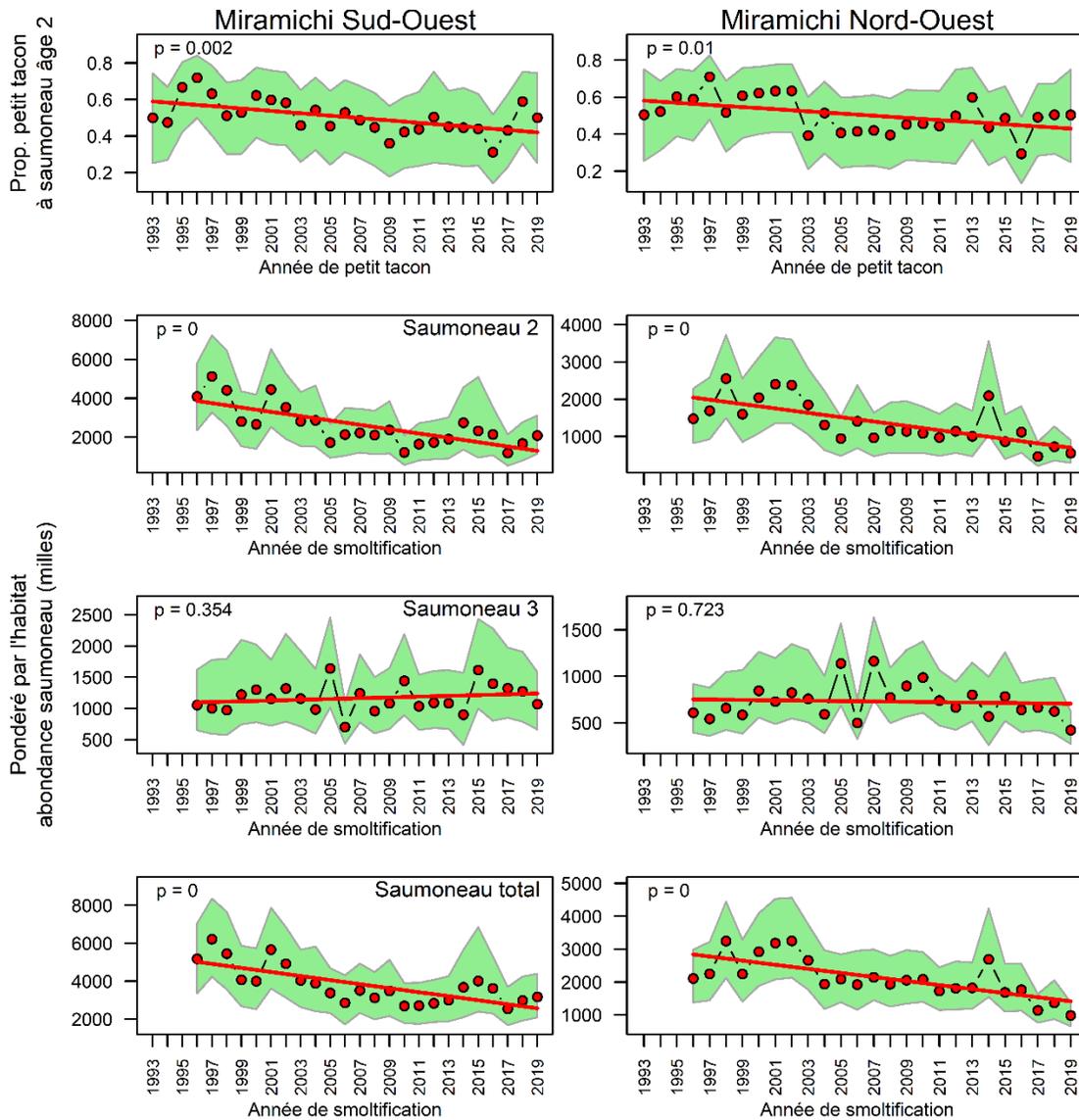


Figure 14. Distributions a posteriori des proportions annuelles de petits tacons qui deviennent des saumoneaux à l'âge 2, par cours d'eau (rangée supérieure), et production relative estimée de saumoneaux à l'âge 2 et à l'âge 3, et total de saumoneaux par année et par cours d'eau (de la deuxième à la quatrième rangées) pour la Miramichi Sud-Ouest et la Miramichi Nord-Ouest. Les symboles rouges et les polygones ombragés représentent la médiane et la plage du 5e au 95e centiles de la distribution a posteriori. La ligne horizontale pleine correspond à la régression linéaire des médianes et la valeur de p pour l'hypothèse de la pente = 0 figure dans le coin inférieur gauche de chaque image.

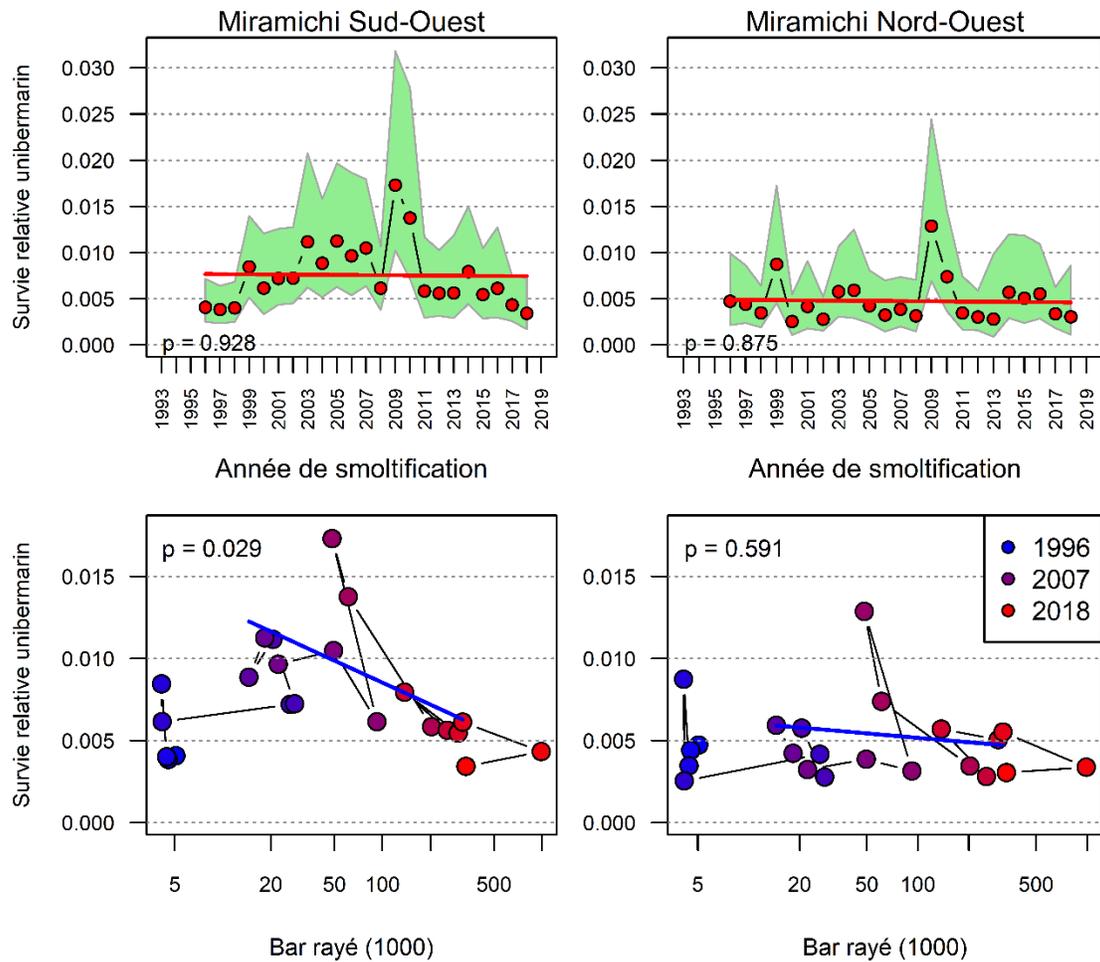


Figure 15. Distributions a posteriori des taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin plus âgé qui remonte dans les rivières Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et Nord-Ouest (colonne de droite) pour les années de migration de saumoneaux 1996 à 2018 (première rangée). La dernière rangée montre les taux de survie relative des individus du stade saumoneau à celui de saumon unibermarin par rivière, représentés par rapport aux abondances estimées (échelle logarithmique) des bars rayés reproducteurs dans la rivière Miramichi pour les années de fraie de bars rayés de 1996 à 2018. La ligne bleue pleine représente la régression linéaire des taux de survie relative par rapport à l'abondance des bars rayés reproducteurs pour les années de 2003 à 2016 correspondant à la série chronologique de la survie des saumoneaux portant une étiquette acoustique de la rivière Miramichi (voir les figures 7 et 8).

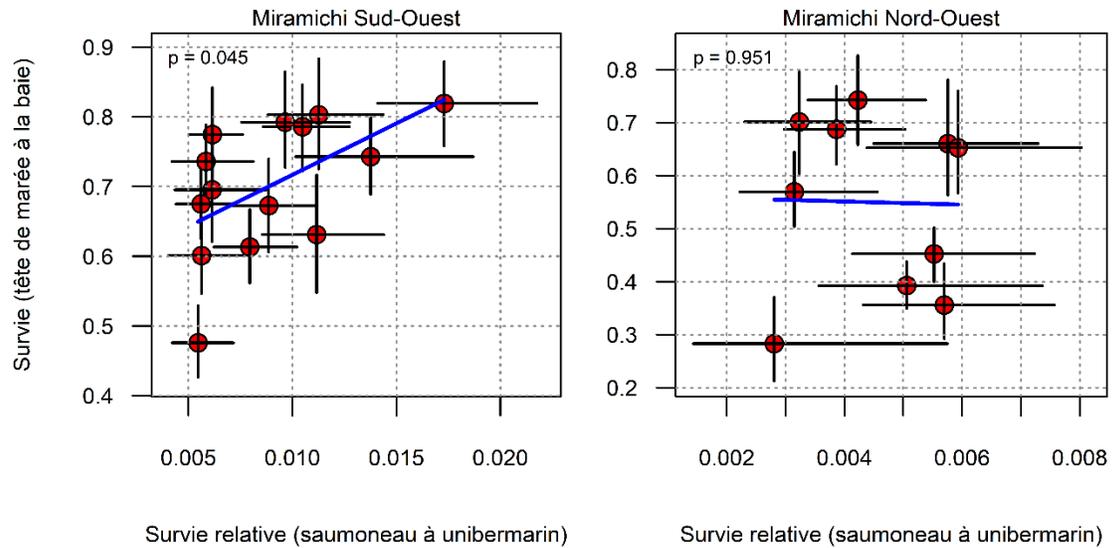


Figure 16. Diagramme de dispersion de la distribution a posteriori (médianes) des taux de survie relative du stade de saumoneau à celui de saumon unibermarin qui remonte et des taux de survie estimés de saumoneaux portant une étiquette acoustique, à l'échelle des baies, pour la Miramichi Sud-Ouest (image de gauche; années de 2003 à 2016 pour les smolts) et la Miramichi Nord-Ouest (image de droite; 2003 à 2008, années de 2013 à 2016 pour les saumoneaux). Les barres d'erreur correspondent à la plage du 25^e au 75^e centiles des distributions a posteriori. La ligne bleue correspond à la relation linéaire et la valeur p de l'hypothèse nulle de pente = 0 est affichée dans le coin supérieur gauche de chaque image.

ANNEXES

ANNEXE 1. CODE OPENBUGS DU MODÈLE DES COHORTES EXÉCUTANT DES ESTIMATIONS INDÉPENDANTES PAR RIVIÈRE

```
# surface d'habitat en unité de 100 mètres carrés pour traduire les abondances de tacons à celles des adultes
# noms des variables données
# Parr.sm = indice de petits tacons (poissons par 100 m. c.)
# Parr.lg = indice de grands tacons (poissons par 100 m. c.)
# N.1sw = abondance (nombre) de saumon unibermarin adulte à la rivières
# N.2sw = abondance (nombre) de saumon dibermarin adulte à la rivières
# cv.fry est le coefficient de variation des indices d'abondance d'alevins selon l'échantillonnage de la rivière
# S.fry est le taux de survie de l'alevin au petit tacon
# S.psm est le taux de survie de petit tacon à grand tacon
# p.Sm2 est la probabilité qu'un petit tacon devienne saumoneau d'âge 2
# p.1sw est la probabilité qu'un saumoneau devienne mature au stade adulte unibermarin
# S.1sw est le taux de survie durant la première année en mer
# S.2sw est le taux de survie durant la deuxième année en mer = exp(-0.03*12)
model {
# priors pour les paramètres du cycle de vie
for (r in 1:2){
  tau.fry[r] <- pow(cv.fry[r],-2)
  S.fry[r] ~ dbeta(2,3)
  Z.fry[r] <- -log(S.fry[r])
  S.psm[r] ~ dbeta(3,2)
  Z.psm[r] <- -log(S.psm[r])
  p.1sw[r] ~ dbeta(5,5) # prob de maturation au stade unibermarin
  S.2sw[r] ~ dbeta(72,28) # valeur fixe
  tau.parr.sm[r] <- pow(sig.psm[r],-2)
  sig.psm[r] ~ dunif(0,5)
  tau.parr.lg[r] <- pow(sig.plg[r],-2)
  sig.plg[r] ~ dunif(0,5)
  tau.1sw[r] <- pow(sig.1sw[r],-2)
  sig.1sw[r] ~ dunif(0,5)
  tau.2sw[r] <- pow(sig.2sw[r],-2)
  sig.2sw[r] ~ dunif(0,5)
} # fin de la boucle rivière
for (y in 1:Y){
  for (r in 1:2){
    log.u.fry[y,r] ~ dnorm(2,0.01) C(1, )
    p.Sm2[y,r] ~ dbeta(5,5) # prop de petit tacon qui devienne saumoneau d'âge 2, par rivière
    Z.1sw[y,r] ~ dnorm(0.1,0.01) C(0.1, )
    S.1sw[y,r] <- exp(-Z.1sw[y,r])
  } # fin de la boucle rivière
} # fin de la boucle année
# équations du cycle de vie pour alevins et tacons
for (r in 1:2){ # début de la boucle année
# boucle année pour alevins
for (y in 1:Y){
  fry[y,r] ~ dlnorm(log.u.fry[y,r], tau.fry[r])
  log(u.fry[y,r]) <- log.u.fry[y,r]
  res.fry[y,r] <- log(fry[y,r]/u.fry[y,r])
} # fin de la boucle année pour alevins
# boucle année pour petits tacons
for (y in 2:Y){
  parr.sm[y,r] ~ dlnorm(log.u.psm[y,r], tau.parr.sm[r])
  log(u.parr.sm[y,r]) <- log.u.psm[y,r]
  log.u.psm[y,r] <- log.u.fry[y-1,r] + log(S.fry[r])
  res.parr.sm[y,r] <- log(parr.sm[y,r]/u.parr.sm[y,r])
  tot.parr.sm[y,r] <- u.parr.sm[y,r] * hab[r]
} # fin de la boucle année pour petits tacons
```

```

# boucle année pour grands tacons
for (y in 3:Y){
  parr.lg[y,r] ~ dlnorm(log.u.plg[y,r], tau.parr.lg[r])
  log(u.parr.lg[y,r]) <- log.u.plg[y,r]
  log.u.plg[y,r] <- log.u.psm[y-1,r] + log(S.psm[r] * (1-p.Sm2[y-1,r]))
  res.parr.lg[y,r] <- log(parr.lg[y,r]/u.parr.lg[y,r])
  tot.parr.lg[y,r] <- u.parr.lg[y,r] * hab[r]
} # fin de la boucle année pour grands tacons
# boucle saumoneaux
for (y in 4:Y){
  Sm.2[y,r] <- tot.parr.sm[y-1,r] * exp(-Z.psm[r]/2) * p.Sm2[y-1,r]
  Sm.3[y,r] <- tot.parr.lg[y-1,r] * exp(-Z.psm[r]/2)
  Sm[y,r] <- Sm.2[y,r] + Sm.3[y,r]
} # fin de la boucle année
# boucle unibermarin
for (y in 5:Y){
  N.1sw[y,r] ~ dlnorm(log.u.1sw[y,r], tau.1sw[r])
  log(u.1sw[y,r]) <- log.u.1sw[y,r]
  log.u.1sw[y,r] <- log(Sm[y-1,r]) + log(S.1sw[y-1,r]) + log(p.1sw[r])
  res.1sw[y,r] <- log(N.1sw[y,r]/u.1sw[y,r])
} # fin de la boucle année
# boucle dibermarin
for (y in 6:Y){
  N.2sw[y,r] ~ dlnorm(log.u.2sw[y,r], tau.2sw[r])
  log(u.2sw[y,r]) <- log.u.2sw[y,r]
  log.u.2sw[y,r] <- log(Sm[y-2,r]) + log(S.1sw[y-2,r]) + log(1-p.1sw[r]) + log(S.2sw[r])
  res.2sw[y,r] <- log(N.2sw[y,r]/u.2sw[y,r])
} # fin de la boucle année
} # fin de la boucle rivière
} # fin du modèle

```

ANNEXE 2. DIAGNOSTIC DU MODÈLE DES COHORTES VERSION 1

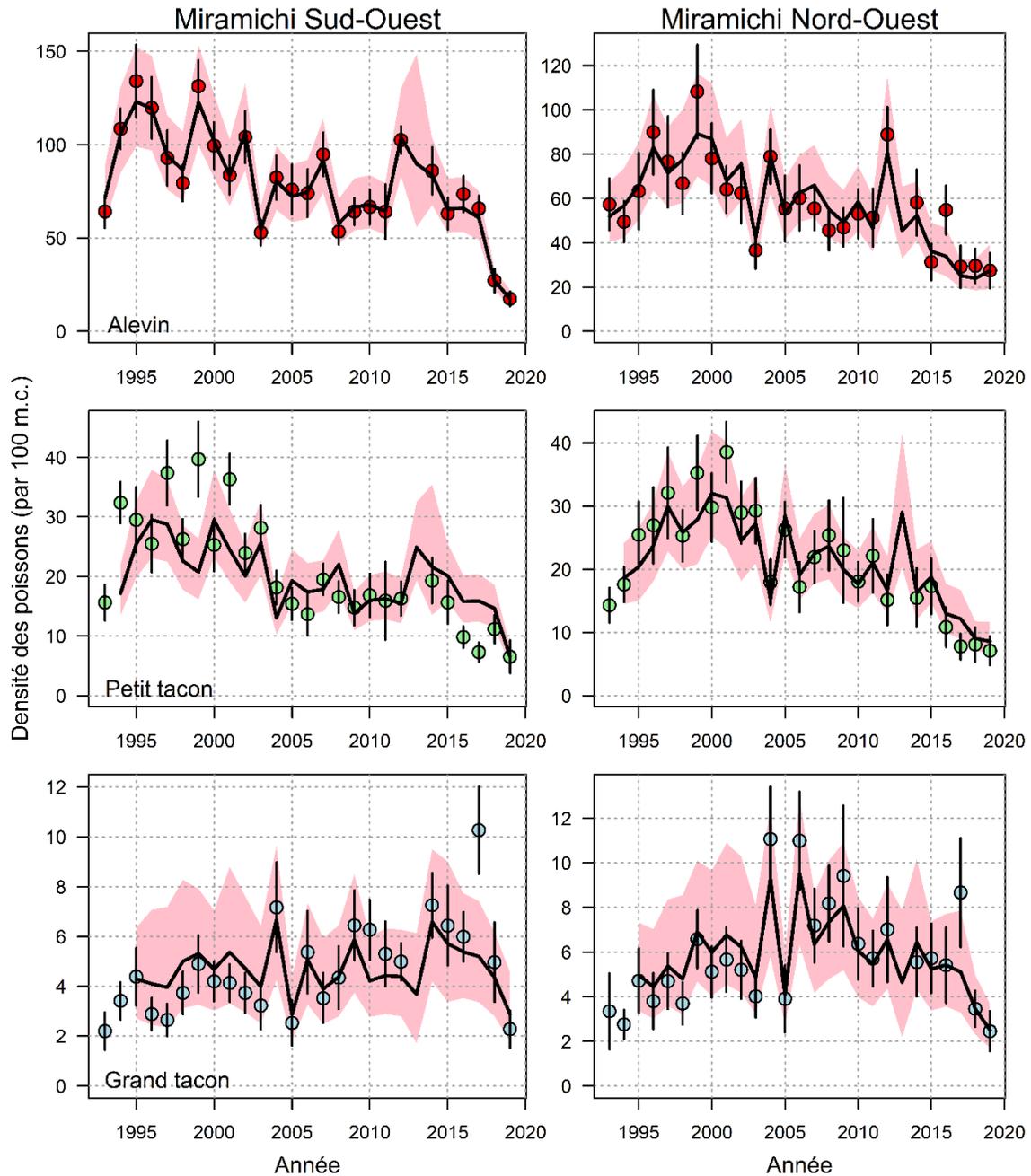


Figure A2.1. Ajustements aux indices propres aux juvéniles. Les symboles et les barres verticales représentent la moyenne et les distributions correspondant à un écart type provenant de l'échantillonnage. La ligne noire et le polygone ombragé représentent la médiane et la plage du 5^e au 95^e centiles des distributions a posteriori.

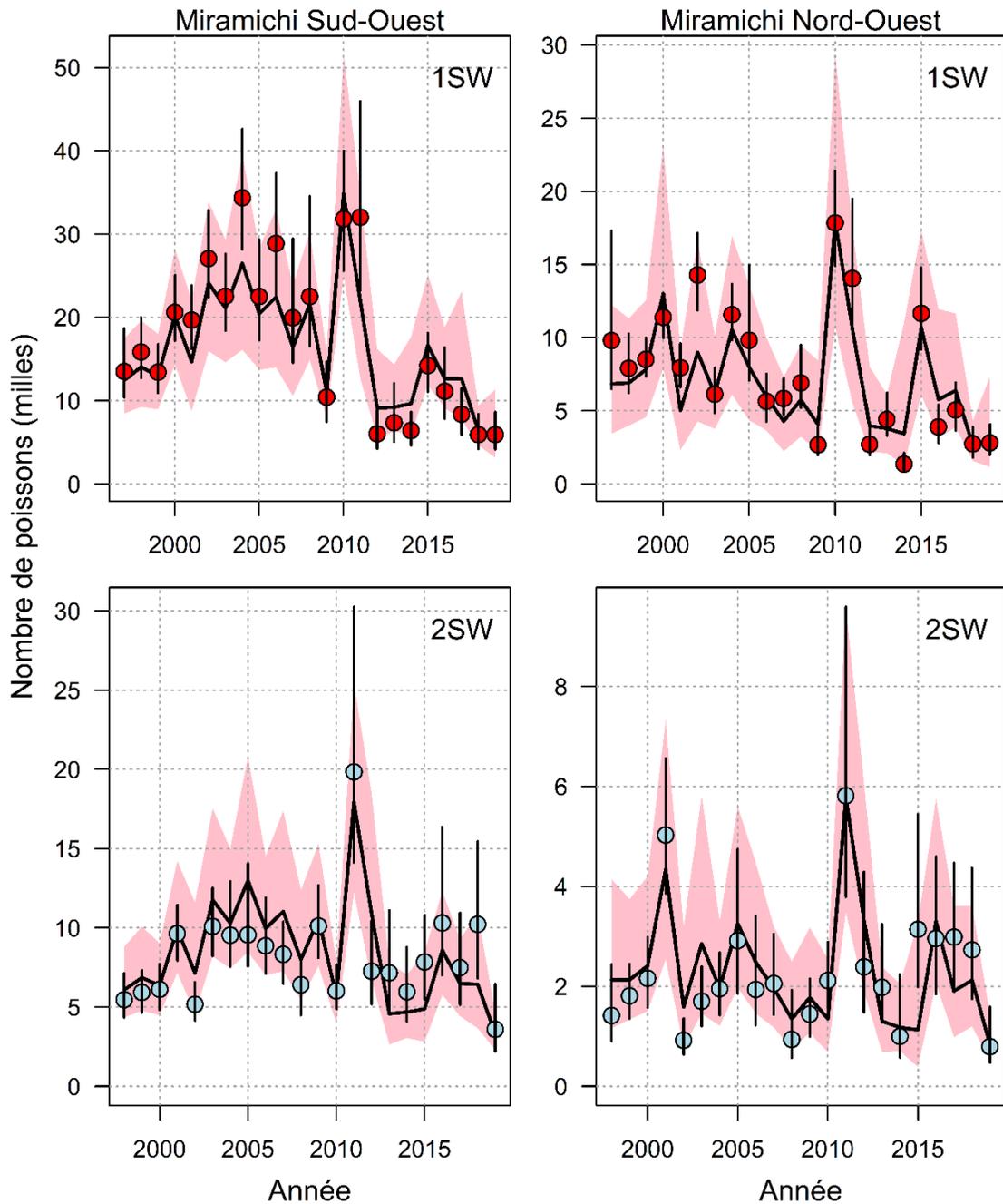


Figure A2.2. Ajustements aux estimations des remontes des individus unibermarins (1SW) et dibermarins (2SW) de la rivière Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et de la rivière Miramichi Nord-Ouest (colonne de droite). Les symboles et les barres verticales représentent la moyenne et les distributions correspondant à un écart type provenant de l'échantillonnage. La ligne noire et le polygone ombragé représentent la médiane et la plage du 5^e au 95^e centiles des distributions a posteriori.

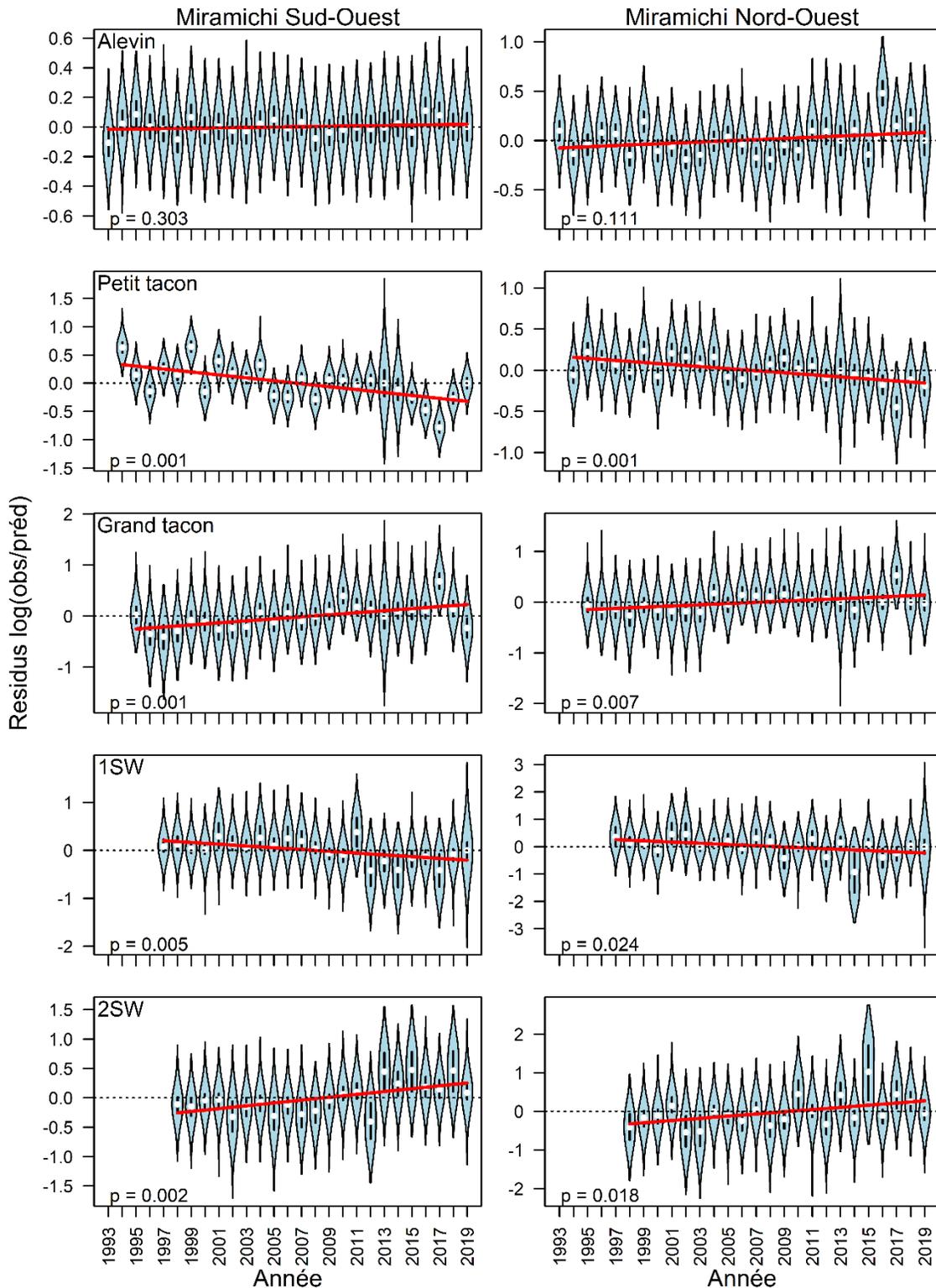


Figure A2.3. Résidus des ajustements du modèle 1. La ligne rouge pleine représente la tendance linéaire de la médiane de la distribution a posteriori du résidu annuel, et la valeur p pour l'hypothèse nulle de la pente = 0 est indiquée dans le coin inférieur gauche de chaque image.

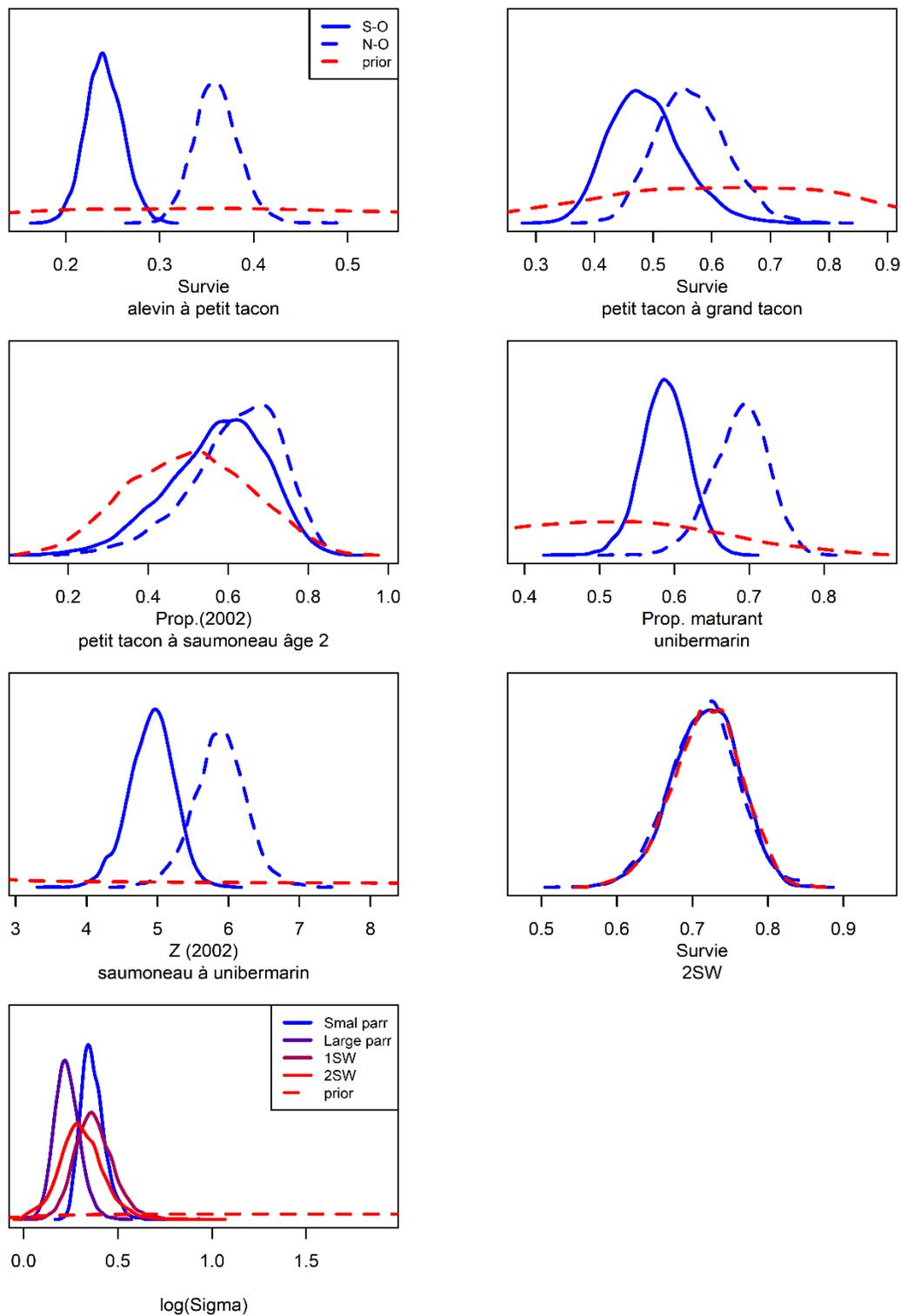


Figure A2.4. Distributions a priori et a posteriori des paramètres du modèle.

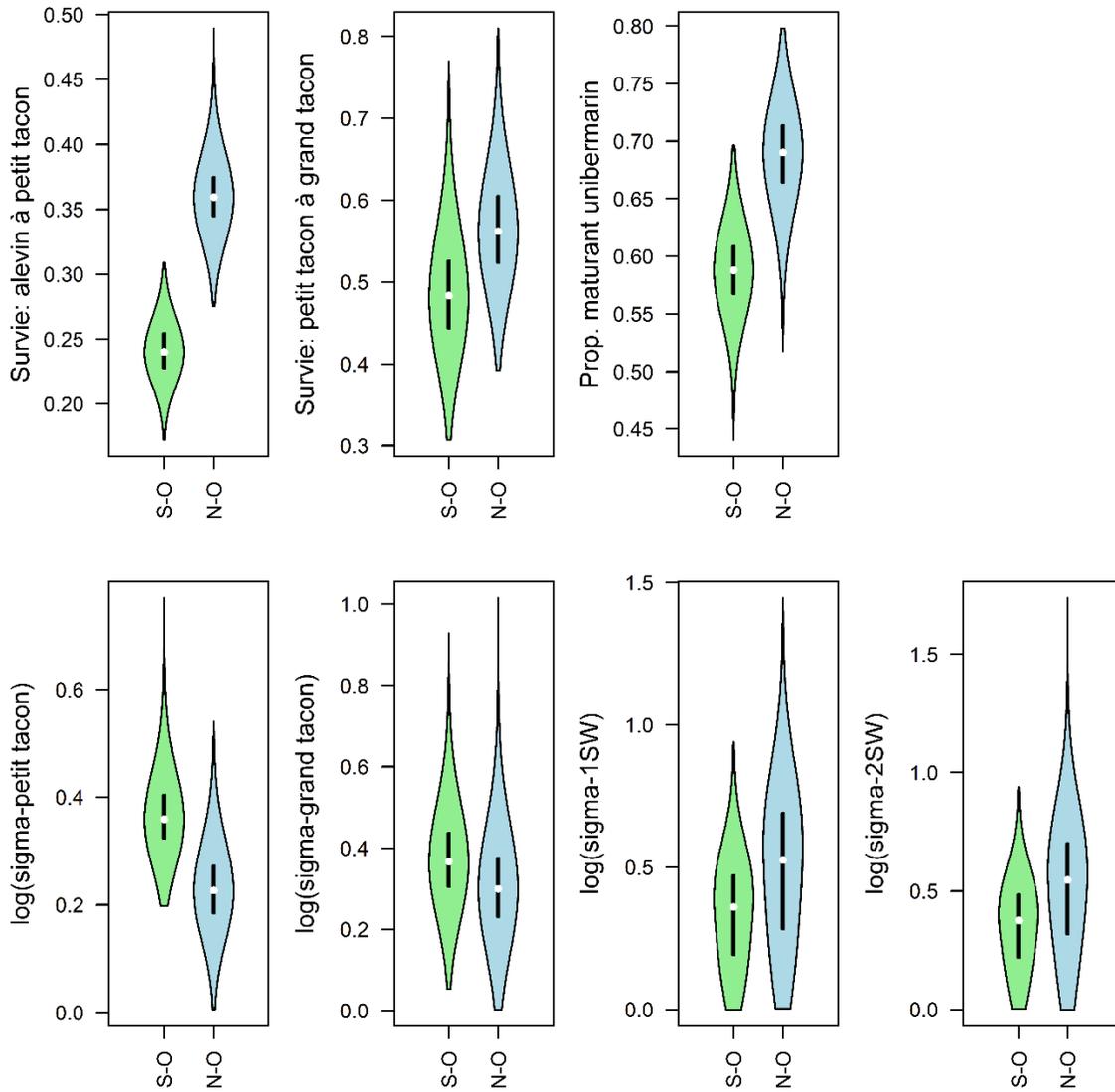


Figure A2.5. Distributions a posteriori des paramètres communs au fil des années, mais propres à une rivière.

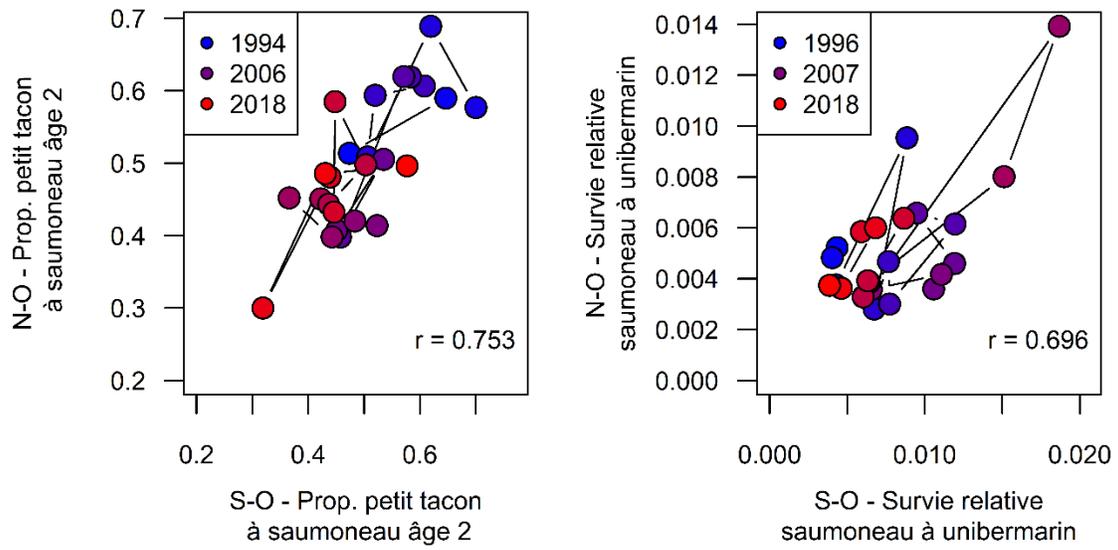


Figure A2.6. Corrélations des estimations des paramètres entre les rivières.