



#### Centre Eau Terre Environnement

# UTILISATION PAR LE SAUMON ATLANTIQUE (SALMO SALAR) JUVENILE DES TRIBUTAIRES DES RIVIERES DARTMOUTH, YORK ET SAINT-JEAN

# Par

## Hippolyte Derruau

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître Sciences (M.Sc.) en sciences de l'eau

#### Jury d'évaluation

Examinateur interne et Eva Enders

Présidente de jury INRS Centre Eau Terre Environnement

Examinateur externe Thomas Buffin-Bélanger

UQAR Département de biologie, chimie

et géographie

Directeur de recherche Normand Bergeron

INRS Centre Eau Terre Environnement

#### REMERCIEMENTS

Au terme de cette maîtrise recherche, je souhaite remercier l'ensemble des personnes sans qui ce travail n'aurait pas pu être possible :

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche, Normand Bergeron, pour m'avoir fait confiance et m'avoir accueilli au sein de l'équipe de son laboratoire, ainsi que pour le temps qu'il a consacré au suivi de mon projet de recherche, pour sa pédagogie et l'ensemble des connaissances qu'il a sues me transmettre.

Je souhaite également remercier, Charles Gignac, pour les conseils et l'aide précieuse qu'il m'a apporté sur l'ensemble de la partie géomatique de ce projet de recherche.

Je remercie également Sabrina Gagnon et Benjamin Gilbert, pour l'aide qu'ils ont pu m'apporter, aussi bien dans la démarche générale de ce projet de recherche, que sur le terrain pour la prise de données.

Enfin, merci à toute l'équipe du laboratoire du professeur Normand Bergeron, pour son accueil, son aide, son partage et sa bonne humeur, lors de ces années de maîtrise recherche.

Et j'oubliais, un grand merci à mes colocs Alex, JuJu et Oraure pour les bons moments passés ensemble.... Que les limoiloulous bourdonnent encore et toujours !!!

### **RÉSUMÉ**

L'accessibilité et la limite de dispersion des juvéniles de saumon atlantique (Salmo salar) vers l'amont au sein des tributaires, ainsi que le potentiel de ces parties de cours d'eau, restent peu décrits et étudiés. Afin de répondre à ces questions, la Société de Gestion des Rivières de Gaspé, en charge des bassins versant de la Dartmouth, la York et la Saint-Jean, a proposé en 2018, un appel à projet portant sur l'estimation de la quantité et de la qualité des habitats utilisés par le saumon atlantique juvénile dans les tributaires de ces trois rivières de Gaspésie. Des campagnes de terrain menées en 2018, 2019 et 2020, ont permis de montrer que les tributaires étaient abondamment utilisés par les juvéniles de saumon atlantique ainsi que par les adultes pour la reproduction. Ce projet de recherche a également mis en évidence les caractéristiques d'habitats des juvéniles sur les tributaires à travers un modèle prédictif d'habitat, et les critères limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont via l'application d'un critère de pente et de l'identification des principaux obstacles au déplacement. Au terme de ce projet nous recommandons qu'une protection ou le statut de rivière à saumon soit accordé à toutes les sections de tributaires utilisées ou susceptibles de l'être par le saumon atlantique à quelque stade de vie que ce soit.

Mots-clés : Salmo salar, Gaspésie, qualité habitat, limite de dispersion vers l'amont

#### **ABSTRACT**

The accessibility and upstream dispersal limit of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) within tributaries as well as their potential to access upstream habitat in watercourses, remain poorly described and studied. In order to answer these questions, the Société de Gestion des Rivières de Gaspé, in charge of the Dartmouth, York and Saint-Jean watersheds, proposed in 2018 a call for projects to estimate the quantity and the quality of habitat used by juvenile Atlantic salmon in the tributaries of these three Gaspésie rivers. Field campaigns carried out in 2018, 2019 and 2020 indicated that the tributaries were used extensively by juvenile Atlantic salmon as well as by adults for reproduction. This research project also highlighted the habitat characteristics for juveniles in the tributaries by applying a predictive habitat model and identified the limitations of upstream dispersal for juveniles using a slope criterion and the main obstacles to movement. In conclusion, we recommend that all sections of the tributaries used or likely to be used by Atlantic salmon at any life stage should be protected as critical habitat to conserve and restore the species.

Keywords: Salmo salar, Gaspésie, habitat quality, upstream dispersion limit

# **TABLE DES MATIÈRES**

RE	MERC	IEM	ENTS	III
RÉ	SUMÉ			V
ΑE	STRA	СТ		VII
TA	BLE D	ES N	//ATIÈRES	IX
LIS	STE DE	S FI	GURES	XI
LIS	STE DE	S T	ABLEAUX	XV
LIS	STE DE	S É	QUATIONS	XVII
1	INTR	ODU	CTION	1
	1.1	Со	NTEXTE DE L'ETUDE ET PROBLEMATIQUE	1
	1.2	Ов	JECTIF DE L'ETUDE	4
2	REVU	JE D	E LITTÉRATURE	5
	2.1	LE	SAUMON ATLANTIQUE ET SON CYCLE DE VIE	5
	2.2	LA	NOTION D'HABITAT CHEZ LE SAUMON ATLANTIQUE	6
	2.3	L'H	ABITAT DU SAUMON ATLANTIQUE JUVENILE	8
3	MATE	ÉRIE	LS ET MÉTHODES	11
	3.1	SIT	ES D'ETUDES	11
	3.2	Éc	HANTILLONNAGE DES JUVENILES ET CARACTERISATION DES SITES DE PECHE	12
	3.3	VA	RIABLES MESUREES PAR ANALYSE GEOMATIQUE	15
	3.3	3.1	Pente en %	15
	3.3	3.2	Superficie Drainée	15
	3.4	FAG	CTEURS DE CONTROLE DE LA LIMITE DE DISPERSION DES JUVENILES VERS L'AMONT	16
	3.4	4.1	Sélection des tributaires à prospecter	16
	3.4	4.2	Obstacles au déplacement des juvéniles	17
	3.5	CR	ITERE DE PENTE LIMITANT LA DISPERSION DES JUVENILES VERS L'AMONT	19
	3.6	DE	SCRIPTION DES ANALYSES	20
	3.6	6.1	Comparaisons présence/absence	20
	3.6	6.2	Modélisation par forêts d'arbres décisionnels	20
	3.6	6.3	Modèle de préférence d'habitat	24
4	RÉSU	JLTA	TS	26
	4.	1.1	Pêche électrique et ADNe	26

	4.2	GRO	DUPES D'AGES	31
	4.3	PRE	SENCE/ABSENCE DES JUVENILES A L'ECHELLE DU TRIBUTAIRE	32
	4.3	3.1	Alevins	32
	4.3	3.2	Tacons	37
	4.4	Ana	LYSE DES OBSTACLES LES PLUS COMMUNS AU DEPLACEMENT	43
	4.5	CRIT	TERE DE PENTE LIMITANT LA DISPERSION DES JUVENILES VERS L'AMONT	48
	4.6	LIMI	TE DE DISPERSION DES SAUMONS JUVENILES VERS L'AMONT	49
	4.6	6.1	Alevins	49
	4.6	6.2	Tacons	51
	4.7	PRE	SENCE/ABSENCE DES SAUMONS JUVENILES A L'ECHELLE DU SITE	54
	4.8	Mod	DELISATION DE LA PRESENCE/ABSENCE DES JUVENILES A L'ECHELLE DU SITE	56
	4.8	3.1	Élimination des variables redondantes	56
	4.8	3.2	Modélisation de la présence/absence des alevins	57
	4.8	3.3	Modélisation de la présence/absence des tacons	60
	4.9	Mod	DELE DE PREFERENCE D'HABITAT	64
5	DISC	JSSI	ONS ET RECOMMANDATIONS	71
	5.1	LES	TRIBUTAIRES SONT ABONDAMMENT UTILISES PAR LE SAUMON ATLANTIQUE	71
	5.2	LIMI	TE DE DISPERSION VERS L'AMONT ET GESTION DES OBSTACLES AU DEPLACEMENT	74
6	BIBLI	OGR	APHIE	77

# LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 SCHEMA DES DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES DECRIVANT L'HABITAT DU SAUMON ATLANTIQUE (FQSA-DGR 2012)
FIGURE 2 EXEMPLE DE MICRO-HABITATS CHEZ LE SAUMON ATLANTIQUE JUVENILE (FQSA-DGR 2012)9
FIGURE 3 LOCALISATION DES SITES D'ETUDES
Figure 4 Disposition des parcelles pour l'echantillonnage des saumons juveniles par peche a l'electricite
FIGURE 5 ARBRE DECISIONNEL POUR LA PROSPECTION DES TRIBUTAIRES REALISEE EN 2019
FIGURE 6 SCHEMA METHODOLOGIQUE POUR LA SELECTION DES VARIABLES PREDICTIVES ET LA CALIBRATION DES MODELES PAR FORETS D'ARBRES DECISIONNELS
FIGURE 7 SITES DE PECHES ELECTRIQUES ET PRISES D'ECHANTILLON D'ADNE SUR LA RIVIERE DARTMOUTH27
FIGURE 8 SITES DE PECHES ELECTRIQUES ET PRISES D'ECHANTILLON D'ADNE SUR LA RIVIERE YORK28
FIGURE 9 SITES DE PECHES ELECTRIQUES ET PRISES D'ECHANTILLON D'ADNE SUR LA RIVIERE SAINT-JEAN29
FIGURE 10 HISTOGRAMME DES CLASSES DE TAILLE ISSUS DES JUVENILES PECHES
FIGURE 11 NOMBRE DE TRIBUTAIRES UTILISES PAR LES ALEVINS DE SAUMON DANS LES RIVIERES DARTMOUTH,  YORK ET ST-JEAN
FIGURE 12 UTILISATION PAR LES ALEVINS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA RIVIERE DARTMOUTH
FIGURE 13 UTILISATION PAR LES ALEVINS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA RIVIERE YORK
FIGURE 14 UTILISATION PAR LES ALEVINS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA RIVIERE SAINT-JEAN
FIGURE 15 NOMBRE DE TRIBUTAIRES UTILISES PAR LES TACONS DE SAUMON DANS LES RIVIERES DARTMOUTH,  YORK ET ST-JEAN
FIGURE 16 UTILISATION PAR LES TACONS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA RIVIERE DARTMOUTH
FIGURE 17 UTILISATION PAR LES TACONS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA RIVIERE YORK
FIGURE 18 UTILISATION PAR LES TACONS DE SAUMON ATLANTIQUE DES TRIBUTAIRES ECHANTILLONNES DE LA

LA RIVIERE DARTMOUTH45
FIGURE 20 LOCALISATION DES OBSTACLES AU DEPLACEMENT IDENTIFIES SUR LES TRIBUTAIRES PROSPECTEES DI
FIGURE 21 LOCALISATION DES OBSTACLES AU DEPLACEMENT IDENTIFIES SUR LES TRIBUTAIRES PROSPECTEES DI LA RIVIERE SAINT-JEAN
FIGURE 22 LONGUEUR DES SECTIONS DE TRIBUTAIRES JUSQU'A LA « LIMITE AMONT DE PRESENCE CONFIRMEE : D'ALEVINS (LES TRIBUTAIRES SONT CLASSES DE L'AMONT VERS L'AVANT/DE HAUT EN BAS)
FIGURE 23 LONGUEUR DES SECTIONS DE TRIBUTAIRES JUSQU'A LA « LIMITE AMONT DE PRESENCE CONFIRMEE : DE TACONS (LES TRIBUTAIRES SONT CLASSES DE L'AMONT VERS L'AVANT/DE HAUT EN BAS)
FIGURE 24 EFFET DES CARACTERISTIQUES DES SITES DE PECHE SUR LA PRESENCE/ABSENCE (VERT/ROUGE D'ALEVINS ET DE TACONS, SUPERFICIE DRAINEE ET LARGEUR MOUILLEE
FIGURE 25 EFFET DES CARACTERISTIQUES DES SITES DE PECHE SUR LA PRESENCE/ABSENCE (VERT/ROUGE D'ALEVINS ET DE TACONS, DISTANCE A LA PRINCIPALE ET ÉLEVATION
FIGURE 26 EFFET DES CARACTERISTIQUES DES SITES DE PECHE SUR LA PRESENCE/ABSENCE (VERT/ROUGE D'ALEVINS ET DE TACONS, PENTE MAXIMUM 100 M ET TEMPERATURE
FIGURE 27 MATRICE DE CORRELATION DES VARIABLES NUMERIQUES CANDIDATES PREDICTIVES. EN ROUGE, LES CORRELATIONS NEGATIVES, EN BLEU, LES CORRELATIONS POSITIVES. LA TAILLE DU POINT TEMOIGNE DI L'INTENSITE (R) DE LA CORRELATION. LES POINTS NOIRS INDIQUENT LES VARIABLES FORTEMENT CORRELEES (F. >0.75)
FIGURE 28 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES VARIABLES ET DU NOMBRE OPTIMAL DI VARIABLES ESTIMEES POUR LES ALEVINS EN MODE COMPLET
FIGURE 29 SYNTHESE DE L'AJUSTEMENT DU MODELE DE FORET D'ARBRES DECISIONNELS POUR LES ALEVINS DI MODELE COMPLET
FIGURE 30 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES VARIABLES ET DU NOMBRE OPTIMAL DI VARIABLES ESTIMEES POUR LES ALEVINS EN MODE GEOMATIQUE
FIGURE 31 SYNTHESE DE L'AJUSTEMENT DU MODELE DE FORET D'ARBRES DECISIONNELS GEOMATIQUE POUR LES ALEVINS
FIGURE 32 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES VARIABLES ET DU NOMBRE OPTIMAL DI VARIABLES ESTIMEES POUR LES TACONS EN MODE COMPLET
FIGURE 33 SYNTHESE DE L'AJUSTEMENT DU MODELE DE FORET D'ARBRES DECISIONNELS COMPLET POUR LES

FIGURE 34 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES VARIABLES ET DU NOMBRE OPTIMAL D
VARIABLES POUR LES TACONS EN MODE COMPLET
FIGURE 35 SYNTHESE DE L'AJUSTEMENT DU MODELE DE FORET D'ARBRES DECISIONNELS GEOMATIQUE POUR LE TACONS
FIGURE 36 COURBES D'UTILISATION/DISPONIBILITE ET DE PREFERENCE POUR LES ALEVINS ET LES TACONS D SAUMON ATLANTIQUE, VARIABLE : PROFONDEUR6
Figure 37 Courbes d'utilisation/disponibilite et de preference pour les alevins et les tacons d Saumon atlantique, variable : Vitesse6
Figure 38 Courbes d'utilisation/disponibilite et de preference pour les alevins et les tacons d Saumon atlantique, variable : Temperature6
FIGURE 39 COURBES D'UTILISATION/DISPONIBILITE ET DE PREFERENCE POUR LES ALEVINS ET LES TACONS D SAUMON ATLANTIQUE, VARIABLE : CLASSE GRANULOMETRIQUE6
FIGURE 40 COURBES D'UTILISATION/DISPONIBILITE ET DE PREFERENCE POUR LES ALEVINS ET LES TACONS D SAUMON ATLANTIQUE, VARIABLE : LARGEUR MOUILLEE6
FIGURE 41 COURBES D'UTILISATION/DISPONIBILITE ET DE PREFERENCE POUR LES ALEVINS ET LES TACONS D

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Échelle granulometrique de Wentworth (1922) modifiee dans Mala (2002)	
TABLEAU 2 LISTE DES TRIBUTAIRES OU DES ALEVINS ONT ETE PECHES ET LOCALISATION AMONT OU UNE PRESENCE D'ALEVIN A ETE DETECTEE POUR CHACUN TRIBUTAIRE	
TABLEAU 3 LISTE DES TRIBUTAIRES OU DES TACONS ONT ETE PECHES ET LOCALISATION AMONT OU UNE PRESENCE DE TACON A ETE DETECTEE POUR CHACUN TRIBUTAIRE	
TABLEAU 4 SYNTHESE DES OBSTACLES AU DEPLACEMENT INVENTORIES (EN VERT LES OBSTACLES AU DEPLACEMENT INVENTORIES AU DEPLACEMENT INVENTORIES (EN VERT LES OBSTACLES AU DEPLACEMENT INVENTORIES (EN VERT LES OBSTACLES AU DEPLACEMENT INVENTORIES (EN VERT LES OBSTACLES AU DEPLACEMENT INVENTORIES (EN VERT LES OBSTACLES AU DEPLACEMENT AU DEPLA	
TABLEAU 5 NOMBRE ET PROPORTION DE TRIBUTAIRE EN FONCTION DES COMBINAISONS DE CALA « LIMITE AMONT D'ABSENCE DETECTEE » D'ALEVIN	
TABLEAU 6 NOMBRE ET PROPORTION DE TRIBUTAIRE EN FONCTION DES COMBINAISONS DE CALA « LIMITE AMONT D'ABSENCE DETECTEE » DE TACONS	

# LISTE DES ÉQUATIONS

<b>ÉQUATION 1</b> I	INDICE DE SELECTIVITE DE	JACOBS D (JACOBS	1974)	24
			. • ,	

#### 1 INTRODUCTION

#### 1.1 Contexte de l'étude et problématique

Depuis de nombreuses années, le saumon atlantique confère un rôle clef en termes de service écosystémique dans l'histoire de l'Amérique du Nord et plus particulièrement dans celle du Québec (MFFP 2016). D'abord reconnu comme une véritable ressource alimentaire par les peuples amérindiens, puis par les premiers colons d'Amérique, le saumon atlantique s'identifie aujourd'hui comme un atout économique important dans le secteur de l'écotourisme du Québec (MFFP 2016). A travers sa pêche sportive, le saumon atlantique engendre des retombées économiques considérables s'élevant à 50 millions de dollars canadiens par an au sein de la province (MFFP 2016). Depuis les années 1980-1990, une baisse de l'abondance de cette espèce a pu être enregistrée sur l'ensemble de son aire de répartition (MFFP 2016).

Le saumon atlantique, de par sa phénologie particulière, (espèce anadrome, qui effectue son stade de vie adulte dans l'océan atlantique et se reproduit dans les rivières) est sujet à de nombreuses problématiques au cours de son cycle de vie. Parmi celles identifiées, nous retrouvons : le faible taux de survie en mer comme première cause. Viennent ensuite : le changement climatique et son impact sur les océans et les rivières, la surpêche, les problèmes de continuité écologique liés aux obstacles infranchissables, la dégradation de son habitat causée par l'agriculture et l'urbanisation, l'aquaculture et enfin les espèces envahissantes (MPO 2018).

Afin de ne pas voir cette espèce disparaître, plusieurs mesures ont été prises et mises en place. A l'échelle mondiale, nous retrouvons l'Organisation pour la Conservation du saumon de l'Atlantique Nord (OCSAN), qui a pour mission de contribuer à la conservation, au rétablissement et à la gestion des stocks de saumon de l'Atlantique Nord (AMEO-FQSA 2011). A l'échelle du Canada, 16 populations de saumon atlantique ont pu être identifiées. 5 d'entre elles ont le statut « en voie de disparition » et 4 autres le statut « Préoccupante » au vu du Comité sur la situation des espèces en péril du Canada (COSEPAC) (MPO 2019). L'utilisation de cette ressource ayant de nos jours évoluée, passant d'un intérêt alimentaire à un intérêt récréatif, la gestion du saumon atlantique a elle aussi dû évoluer. Selon la loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, une exploitation en fonction du niveau de conservation des stocks de reproducteurs est autorisée avec les priorités suivantes : pêche à des fins alimentaires, rituelles et sociales, pêche sportive et pêche commerciale (MPO 2019). Au vu des stocks de saumons en Amérique du Nord, la pêche commerciale a été fermée

définitivement en 2000 au Québec (MPO 2018). Des mesures de gestion restrictive sont actuellement mises en place de manière individuelle pour chacun des 114 cours d'eau du Québec, possédant le statut légal de rivière à saumon en vertu du règlement de pêche du Québec (RPQ) (MFFP 2019). Ces mesures visent à favoriser la restauration des populations à travers par exemples : des limites de prise, une obligation de remise à l'eau ou encore une fermeture de certains cours d'eau (MPO 2018). Elles ont également pour but d'optimiser les retombées économiques durables de cette pêche sportive, permettant ainsi de financer de nombreux programme de recherche, de restauration et de suivi du saumon atlantique, comme notamment le Plan de gestion du saumon atlantique 2016-2026, actuellement en vigueur (MFFP 2016). Les « rivières à saumon » sont également protégées à travers des mesures portant sur la protection de l'habitat du poisson, au travers de la Loi sur les pêches et de la Loi sur l'aménagement durable des forêts (MPO 2018).

Malgré ces réglementations et ces mesures de gestion, l'état de l'habitat d'eau douce du saumon atlantique, indispensable pour la reproduction et la croissance des juvéniles, est dégradé (MPO 2018). La répartition et l'abondance du saumon atlantique, qui sont deux paramètres indispensables pour sa gestion, sont aujourd'hui très bien étudiés et connus sur les 114 « rivières à saumon » du Québec (MFFP 2016). En revanche, il est actuellement difficile de connaitre le potentiel des tributaires de ces rivières, qui représentent pourtant un habitat nonnégligeable à certains stades de développement du saumon atlantique. Rarement utilisés comme zone de frayère par les adultes (Bardonnet and Baglinière 2000), les tributaires sont davantage convoités par les juvéniles puisqu'ils leur offrent à la fois une zone d'alimentation et une zone de refuge (FQSA 2017). Une étude réalisée en Finlande a mis en évidence qu'une croissance plus importante en faveur des juvéniles des tributaires était observée, par rapport aux juvéniles du lit principal de la rivière étudiée (Erkinaro and Niemelä 1995). De plus, cette même étude a montré que la proportion de reproducteurs hivernaux en mer était plus importante chez les individus issus des tributaires, que chez ceux issus de la rivière principale (Erkinaro and Niemelä 1995). Les tributaires sont également de véritables zones de refuge face aux températures élevées, aux épisodes de crue ou encore face aux prédateurs (Erkinaro and Niemelä 1995). En effet, la température est un facteur qui affecte la physiologie et le comportement chez les poissons. Elle caractérise leur habitat et constitue un axe clé pour identifier leur niche écologique (Magnuson, Crowder, and Medvick 1979). Une étude a notamment montré l'importance des apports d'eau froide issus des tributaires au niveau des embouchures, comme zone de refuge thermique pendant les mois d'été chez des juvéniles de salmonidés (Belchik 2003). De par leur température inférieure à celle des rivières principales

pendant les périodes de stress thermique (Erkinaro 1995), les tributaires se révèlent être de véritables refuges d'eau froide pour les saumons atlantiques avec comme critères déterminants : la position au sein du bassin versant, la pente et la couverture terrestre (Monk et al. 2013).

Dans le contexte mondial actuel où les changements climatiques se font de plus en plus ressentir (augmentation de la température de l'eau et diminution du débit estival), les tributaires constituent des éléments clés à conserver et à protéger pour le maintien de l'espèce au stade juvénile comme au stade adulte (FQSA 2017). Un questionnement subsiste cependant quant à la protection de ces derniers, puisque très peu de mesures leur sont dédiées dans les textes de loi s'appliquant aux 114 rivières officiellement désignées rivières à saumon (FQSA-DGR 2012). C'est pourquoi la Fédération québécoise pour le saumon atlantique (FQSA) revendique que soit reconnu à titre de rivière à saumon :

- 1) tout cours d'eau colonisé ou potentiellement colonisé par le saumon atlantique, quel que soit son stade de vie ;
- 2) tout cours d'eau drainant un sous-bassin versant, dont la superficie est supérieure à 20 km², constitue une zone salmonicole potentiellement productive, sauf si s'interpose sur son parcours, un obstacle infranchissable au saumon (adulte ou juvénile selon le cas) (FQSA-DGR 2012).

Ces critères demandés par la FQSA protégeraient davantage les petits tributaires en forçant l'application sur ceux-ci d'une bande riveraine de largeur identique à celle mise en place sur le tronçon principal et sur quelques tributaires des rivières à saumon, soit 60 m au lieu des 20 m obligatoires sur tous les cours d'eau à débit permanent (FQSA-DGR 2012). Cette mesure permettrait ainsi de protéger indirectement le saumon atlantique, puisque les bandes riveraines jouent un rôle important dans la structure physique des habitats du poisson, dans le conditionnement et la régulation des paramètres physico-chimiques du cours d'eau, ainsi que dans la production de la faune benthique indispensable à la croissance et à la survie des juvéniles (FQSA-DGR 2012; OBV-Saguenay 2013).

#### 1.2 Objectif de l'étude

Le but du présent projet était de mener une étude de terrain permettant de déterminer l'utilisation des tributaires (toute superficie drainée confondue) par les juvéniles de saumon atlantique des rivières Dartmouth, York et Saint-Jean en Gaspésie.

Plus spécifiquement, les objectifs étaient de :

- 1. Déterminer les caractéristiques physiques des sections de tributaires utilisés et non utilisés par les juvéniles.
- 2. Identifier les principaux obstacles au déplacement des juvéniles vers l'amont.
- 3. Identifier et prédire la limite de dispersion des juvéniles vers l'amont.
- 4. Construire des courbes d'utilisation et de préférence d'habitat permettant d'établir les bases d'un modèle de qualité d'habitat spécifique aux juvéniles présents dans les tributaires.

## 2 REVUE DE LITTÉRATURE

#### 2.1 Le saumon atlantique et son cycle de vie

Le saumon atlantique est un téléostéen sténotherme d'eau froide anadrome appartenant à la famille des salmonidés. Il s'agit de la seule espèce de saumon vivant dans l'océan Atlantique (MFFP 2016). Indigène du bassin de l'Atlantique Nord, son aire de répartition s'étend à l'Est : du Portugal, au Nord de la péninsule scandinave, en passant par l'Islande ; et à l'Ouest : de la rivière Connecticut (Etats-Unis), jusqu'au Sud du Groenland, en passant par la région de l'Ungava (Nunavik) (Keith et al. 2011; MFFP 2016). Lors de la migration en vue de la reproduction, entre les mois de juin et septembre, le saumon atlantique développe un comportement de « homing », en utilisant son odorat et sa mémoire afin de retourner vers sa rivière natale (MFFP 2016). Une fois arrivée, le saumon cesse de s'alimenter et consacre l'ensemble de son énergie à la reproduction (Fey, Corolla, and Maliet 2018). Celle-ci se nomme la fraie, et s'effectue pendant les mois d'octobre et novembre (MFFP 2016). Vers la mi-mai, a lieu l'éclosion des œufs, puis l'émergence des alevins au mois de juin, suite à l'épuisement de leur réserve vitelline (Bergeron and Bérubé 2016; FQSA 2017). Mesurant une taille moyenne de 6 cm, les juvéniles deviennent très territoriaux afin de maximiser leur croissance et leur survie (Bergeron and Bérubé 2016; Fey, Corolla, and Maliet 2018; MFFP 2016). Les tacons passeront alors de 2 à 4 ans en rivière, puis subiront durant leur dernier hiver en eau douce une métamorphose, appelée « smoltification », avant de migrer en mer pour une durée de 1 à 3 ans (MFFP 2016).

#### 2.2 La notion d'habitat chez le saumon atlantique

Un habitat se définit comme un milieu géographique organisé, dans l'espace et dans le temps, d'un ou plusieurs individus d'une même espèce ou non, caractérisé par des conditions physiques et biologiques optimales pour le bon déroulement du cycle de vie de celle(s)-ci (Bouchard 2006). Selon Malavoi (1989), une hiérarchisation à travers cinq échelles spatiales est perceptible pour décrire l'habitat du saumon atlantique : le tronçon de rivière, le segment et la séquence (macro-habitat), le faciès d'écoulement (méso-habitat) et le site d'occupation (micro-habitat) (figure 1).

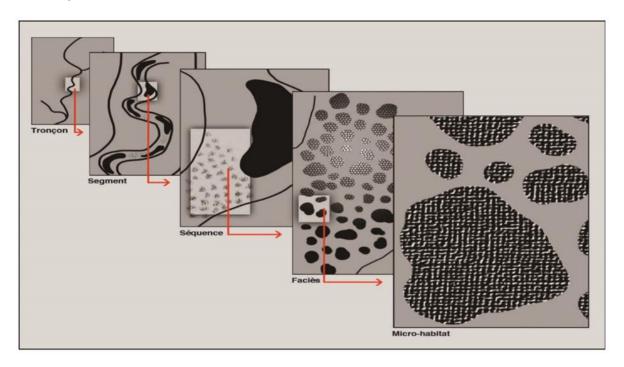


Figure 1 Schéma des différentes échelles spatiales décrivant l'habitat du saumon atlantique (FQSA-DGR 2012)

La plus grande entité pouvant d'écrire l'habitat du saumon atlantique est le bassin versant. Ce dernier se définit comme l'espace géographique délimité par une ligne de partage des eaux, dans lequel toute goutte d'eau convergent vers un même et unique point appelé exutoire. Le bassin versant se sectorise ensuite d'amont en aval en 4 parties nommées « tronçon » : les tributaires, le cours supérieur, le cours moyen et le cours inférieur (FQSA-DGR 2012). Cette sectorisation se caractérise notamment par une pente décroissante, une vitesse d'écoulement décroissante, une granulométrie décroissante, une profondeur de colonne d'eau croissante, une érosion du substrat décroissante et un dépôt de sédiments croissant (FQSA-DGR 2012).

La seconde échelle spatiale décrite est le macro-habitat (Malavoi 1989). Il s'identifie comme une section de tronçon homogène appelée segment et séquence à une échelle inférieure,

variant d'une centaine de mètres à plusieurs kilomètres (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998). Il résulte de l'enchaînement de plusieurs faciès d'écoulement et son organisation spatiale peut être modifiée lors d'épisode de forte augmentation du débit, comme par exemple lors d'une crue (FQSA-DGR 2012).

Au fil d'une rivière, plusieurs méso-habitats se succèdent, s'alternent et s'entremêlent. Nommés faciès d'écoulement ou unités morphologiques, ils sont le résultat d'un bassin versant façonné dans le temps par l'évolution du profil géologique, du relief, du climat et de la couverture végétale (Beschta and Platts 1986). Ils se définissent d'après Malavoi and Souchon (2002) comme étant « des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle générale sur le plan : des vitesses, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat, de la pente du lit et de la ligne d'eau et des profils en travers ». Ordonnée suivant un gradient hydrodynamique, il est possible de distinguer 10 classes de faciès d'écoulement : chenal lentique, fosse de dissipation, mouille de concavité, fosse d'affouillement, chenal lotique, plat lentique, plant courant, radier, rapide, cascade, chute (Malavoi and Souchon 2002). De superficie variable, leur présence, leur diversité et leur connectivité sont indispensables pour la réussite du cycle de vie (migration, reproduction, recrutement, nutrition) de certaines espèces floristiques ou faunistiques aquatiques (Malavoi and Souchon 2002). C'est le cas notamment du saumon atlantique, qui a besoin de zone de radier pour se reproduire (Johnston 2002), ou encore de fosse de dissipation pour se reposer lors de la montaison (Øklamd et al. 2001). Ces unités morphologiques, une fois définies, sont également la base de nombreux protocoles d'échantillonnage, d'études de recherche ou encore de critères pour la mise en place de mesure de gestion (Baran et al. 1995; Malavoi and Souchon 2002). Dans le cadre de la mise en place de mesures de gestion sur les « rivières à saumon », l'identification des faciès d'écoulement est une étape capitale, puisqu'elle est à la base de l'indice de qualité d'habitat (IQH) (Roy and Bergeron 2016). Le faciès d'écoulement s'identifie comme une entité de référence dans le cadre de l'étude des relations habitat-poisson (Delacoste et al. 1995).

Pour finir, l'échelle spatiale la plus petite, pouvant décrire l'habitat du saumon atlantique et plus particulièrement l'habitat des juvéniles, est le micro-habitat (Malavoi 1989). Il est généralement propre à un seul individu et correspond à l'aire occupée et nécessaire pour effectuer l'ensemble de son cycle vital (alimentation et repos) (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998). D'une superficie de l'ordre du m², les micro-habitats se caractérisent par des conditions liées au débit, c'est-à-dire : la vitesse du courant, la profondeur de la colonne d'eau et la granulométrie du substrat (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998).

#### 2.3 L'habitat du saumon atlantique juvénile

Plusieurs catégories de facteurs sont déterminantes pour connaître la répartition, ainsi que l'abondance du saumon atlantique : les facteurs « hydro-climatiques » liés à la physico-chimie du cours d'eau : conductivité, matières en suspension, pH, température, turbidité, oxygène dissous, azote ammoniacal, nitrites/nitrates, phosphore et potassium (MDDELCC 2017) ; les facteurs « morpho-dynamiques » tels que : la vitesse du courant, la profondeur de la colonne d'eau et la granulométrie du substrat ; les facteurs « trophiques » en lien avec la disponibilité en nourriture du milieu ; et enfin les facteurs « biotiques » liés aux interactions avec les autres espèces du milieu, comme la prédation ou encore la compétition intra-spécifique et interspécifique (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998).

Le stade juvénile chez le saumon atlantique exige des critères stricts et spécifiques quant à leurs besoins vitaux (FQSA-DGR 2012). Les facteurs physico-chimiques de l'eau s'identifient comme les premiers paramètres déterminants pour la survie des juvéniles (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998). Une température estivale de croissance située entre 15 °C et 19 °C (Dwyer and Piper 1987) (température létale 28 °C (Elliott 1991)) et un minimum de 6 mg/l O2 sont requis pour assurer leur croissance optimale (Johnston 2002). Pour la survie des juvéniles, le pH de l'eau ne doit pas être en dessous de 4.7 et se situer idéalement autour de 5.3 (Watt, Scott, and White 1983). Les juvéniles ont également besoin d'une turbidité de l'eau nulle à faible (Newcombe and MacDonald 1991), ainsi qu'une concentration en matière en suspension comprise entre 25-80 mg/l et inférieure à 90 mg/l, pour ne pas affecter leur comportement d'alimentation et leur taux de survie (Sorensen et al. 1977). A l'échelle du méso-habitat, les juvéniles ont des préférences pour des portions de cours d'eau hétérogènes, mêlant des radiers, des plats lotiques et des rapides de faible vitesse (Coulombe-Pontbriand and Lapointe 2004; Enders et al. 2007).

Lors du passage du stade alevin à tacon, le saumon change de comportement en passant d'une interaction biotique dite « effet de groupe » grégaire, à une interaction biotique dite « compétition intra/inter-spécifique ». Il développe alors un comportement territorial (FQSA-DGR 2012). De fait, les juvéniles exigent des conditions particulières quant aux facteurs morphodynamiques liés au débit, et la vitesse du courant s'identifie comme le facteur principal pour délimiter leur domaine vital quotidien, dans les différents micro-habitats (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998). Les travaux portant sur les courbes de préférence des juvéniles de saumon atlantique au sein des tronçons principaux des rivière évoquent les préférences d'habitat suivantes : vitesse du courant pour les alevins 10 à 30 cm/s, pour les tacons 10 à 40 cm/s ;

profondeur de la colonne d'eau pour les alevins 10 à 30 cm, pour les tacons 30 à 50 cm; granulométrie pour les alevins graviers fins à cailloux fins, pour les tacons cailloux grossiers à pierres grossières; largeur mouillée inférieures à 15 m (Caron, Fontaine, and Picard 1999; Picard 1998; Stanley and Trial 1995).

Deux grandes catégories de micro-habitats se distinguent : les aires de repos et les aires d'activité (Wasson, Malavoi, and Maridet 1998) (figure 2).

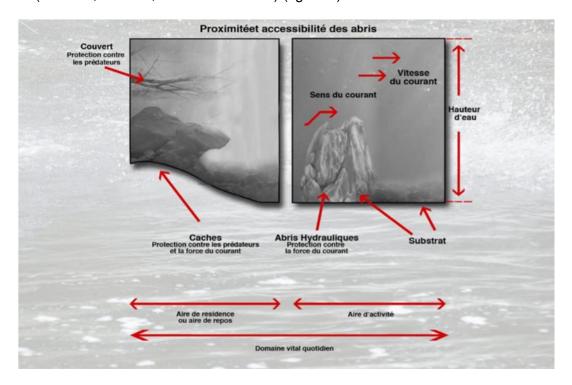


Figure 2 Exemple de micro-habitats chez le saumon atlantique juvénile (FQSA-DGR 2012)

Dans le but d'optimiser leur croissance, les juvéniles de saumon atlantique vont donc chercher à coloniser l'ensemble du cours principal de la rivière qui les a vu naître, ainsi que l'ensemble des tributaires sur plusieurs kilomètres (FQSA-DGR 2012). Pomerleau, Côté, and Migneault (1980), ont notamment pu observer que des tacons pouvaient remonter les tributaires sur 5 à 10 km. Une distribution spatiale est observable en fonction de l'âge des saumons atlantiques juvéniles. Les alevins de l'année (0+) sont davantage présents sur les radiers, alors que les tacons d'un an et plus (1+) se localisent surtout dans les rapides (Bardonnet and Baglinière 2000). De par leur plus grande mobilité, il a également été observé que les tacons plus âgés utilisent une plus grande variété d'habitats (Heggenes 1990).

Les « rivières à saumon » du Québec présentent de fortes variations liés à leurs facteurs hydroclimatiques et morpho-dynamiques en fonction des saisons, c'est pourquoi les saumons atlantiques juvéniles présentent une périodicité et une saisonnalité en termes de préférence d'habitat (FQSA-DGR 2012). Pendant l'été, en période de forte température, les tacons quittent les radiers pour coloniser les fosses (Gibson and Cutting 1993). Pendant l'hiver, où l'activité est réduite par les faibles températures et la diminution de la recherche alimentaire, les tacons économisent leur énergie en trouvant refuge entre les blocs et sur le fond des fosses (FQSA-DGR 2012; Gibson and Cutting 1993).

Plusieurs études ont mis en évidence le rôle de la canopée comme élément favorable à la croissance et limitant le stress chronique, dans l'habitat du saumon atlantique juvénile (Heggenes and Traaen 1988; Pickering, Griffiths, and Pottinger 1987). Ces couvertures aériennes sont notamment utilisées comme zone de refuge face aux prédateurs (Huntingford, Metcalfe, and Thorpe 1988).

L'accessibilité et la limite de dispersion amont par les juvéniles de saumon atlantique au sein des tributaires est une question difficile à traiter à l'échelle de l'ensemble d'un bassin versant. Une revue de littérature réalisée par le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a mis en évidence deux catégories de critères permettant d'évaluer la limite de dispersion des juvéniles de salmonidés vers l'amont : des critères visuels (une chute infranchissable, un barrage, etc.) et des critères nécessitant une analyse de la pente du tributaire (MFFP 2013). Trois valeurs critiques de pentes de tributaires ont été identifiées dans la littérature. DeVries and Reiser (2007) ont trouvé une valeur de 12% sur 100 m comme limite de migration amont des saumons chinooks (*Oncorhynchus tshawytscha*), des saumons coho (*Oncorhynchus kisutch*) et de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Bryant, Zymonas, and Wright (2004) suggèrent quant à eux qu'une pente de 16% ou plus maintenue sur un minimum de 100 m constitue un obstacle infranchissable pour les juvéniles de saumon coho et de truite arc-en-ciel. Finalement, le WDFW (2009) a documenté une valeur de 20% sur 160 m comme limite de migration amont du saumon atlantique adulte.

# 3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### 3.1 Sites d'études

Cette étude a été menée sur trois rivières de la Gaspésie : la Dartmouth, la York et la Saint-Jean (figure 3).

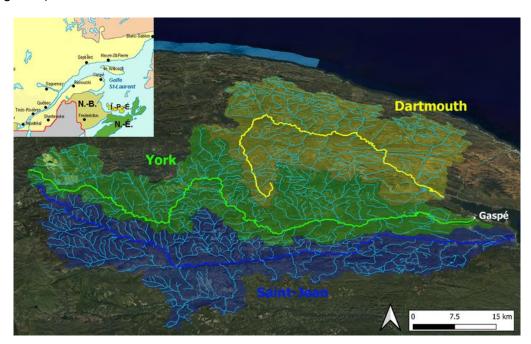


Figure 3 Localisation des sites d'études

Les bassins versants de ces trois rivières s'étendent des monts Chics-Chocs à l'Ouest, où elles prennent leur source, à la baie de Gaspé à l'Est, où elles se jettent toutes les trois. Situées dans un territoire relativement peu développé, à l'exception des embouchures où se situe la ville de Gaspé, ces trois rivières à saumon en vertu du règlement de pêche du Québec, sont réputées et populaires auprès des amateurs de pêche sportive du saumon atlantique. Située la plus au Nord, la rivière Dartmouth prend sa source à l'embouchure du Lac Dartmouth à une altitude de 411 m (48° 52′ 44″ N, 64° 59′ 29″ O) et présente un linéaire de 81 km de long. D'une longueur de 90 km, la rivière Saint-Jean prend sa source à une altitude de 747 m, à 5 km au Sud de Murdochville (48° 54′ 27″ N, 65° 33′ 13″ O). La rivière Saint-Jean présente également deux tributaires majeurs qui possèdent le statut de rivière à saumon en vertu du règlement de pêche du Québec : la rivière Saint-Jean Ouest (29.7 km de linéaire) et la rivière Saint-Jean Sud (30.1 km de linéaire). Située entre la Dartmouth et la St-Jean, la York prend sa source à une altitude de 557 m, au niveau du lac York près de Murdochville (49° 00′ 38″ N, 65° 26′ 07″ O), et coule sur un linéaire de 124.1 km de long.

# 3.2 Échantillonnage des juvéniles et caractérisation des sites de pêche

L'utilisation des tributaires par le saumon juvénile a été déterminée à partir d'un échantillonnage par pêche à l'électricité de tous les tributaires qu'il était possible d'accéder sur les trois rivières étudiées. Un tributaire utilisé correspondait à un tributaire où au moins un juvénile de saumon était pêché. Deux campagnes de terrain ont été nécessaires, une première à l'été 2018 et une seconde à l'été 2019.

En 2018, seule la rivière Dartmouth a été échantillonnée. Le protocole consistait à effectuer des sites de pêches tous les 50 m sur les 500 premiers mètres à partir de l'embouchure ou de l'accès le plus en aval, avant d'effectuer d'autres sites de pêche sur les accès disponibles plus en amont. Chaque site de pêche était composé d'un groupe de 6 parcelles ouvertes de 4 m², pêchées une seule fois (figure 4). Dans le cas où le tributaire n'était pas assez large, les 6 parcelles de pêches étaient effectuées au centre du tributaire.

En 2019, par souci d'efficacité, le protocole utilisé en 2018 a été modifié. À partir du nouveau protocole basé sur un arbre décisionnel, l'échantillonnage sur la Dartmouth a été complété et celui sur la York et la Saint-Jean a été effectué (figure 5). Tout comme le protocole utilisé en 2018 : chaque site de pêche était composé d'un groupe de 6 parcelles ouvertes de 4 m², pêchées une seule fois (figure 4) ; et dans le cas où le tributaire n'était pas assez large, les 6 parcelles de pêches étaient effectuées au centre du tributaire.

Le protocole de validation par test ADN environnemental (ADNe), technique d'identification d'espèce à partir de l'ADN qu'elle laisse dans leur environnent, n'est pas présenté dans ce mémoire. Ce protocole est rédigé dans le mémoire en cours de rédaction de Sabrina Gagnon portant sur la détermination de la présence et de l'abondance de juvénile de saumon atlantique au sein des tributaires des trois rivières étudiées.

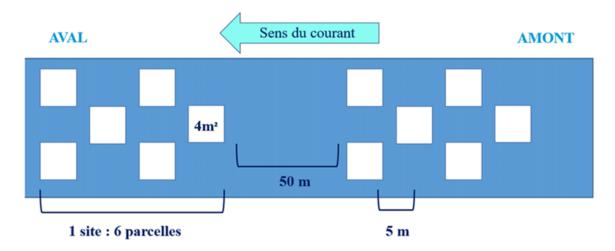


Figure 4 Disposition des parcelles pour l'échantillonnage des saumons juvéniles par pêche à l'électricité

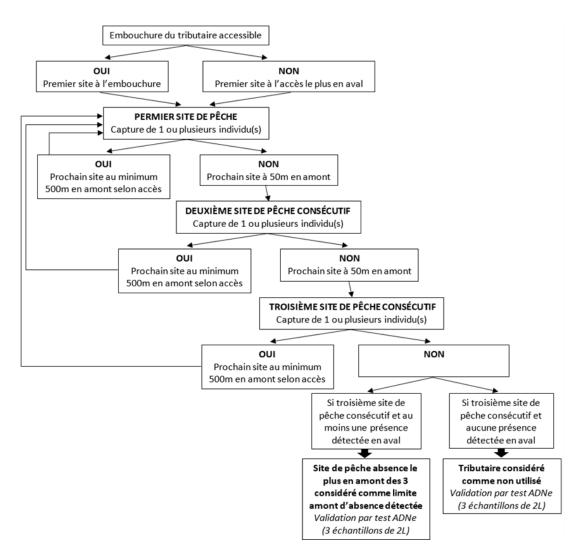


Figure 5 Arbre décisionnel pour la prospection des tributaires réalisée en 2019

À chacune des parcelles pêchées, les saumons juvéniles capturés ont été dénombrés, mesurés et pesés. Chaque parcelle a été caractérisée en mesurant la profondeur d'eau, la vitesse d'écoulement moyenne (vélocimètre à 0.4 m du fond), la granulométrie (D50) et la température de l'eau (au milieu de la colonne d'eau) au centre de la parcelle. À chaque site, la largeur mouillée a été mesurée aux 5 m, puis la moyenne était calculée. Le pourcentage de canopée a été estimé visuellement (0 pour 0% ; 1 pour 1-25% ; 2 pour 26-50% ; 3 pour 51-75% et 4 pour 76-100%). Enfin, chaque parcelle de pêche et chaque échantillon d'eau pour analyse ADNe ont été positionnés à l'aide d'un GPS (modèle Garmin eTrex 20, précision ±3 m).

La granulométrie a été estimée à partir d'une méthode visuelle de caractérisation du D50, méthode fiable et réalisable comme a pu le montrer Latulippe, Lapointe, and Talbot (2001). Sur chaque parcelle, la particule qui semblait le mieux correspondre au 50e percentile de la distribution en taille des particules a été identifiée et mesurée en son axe b (correspond au 2ème axe le plus long de la particule), à l'aide d'une règle graduée.

Afin d'étalonner cette méthode de mesure granulométrique, une journée d'entraînement a été nécessaire afin de comparer les mesures des différents observateurs avec la mesure réelle du D50. Une classe granulométrique a ensuite été attribuée à chacune des valeurs de D50, en utilisant l'échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi and Souchon (2002) (tableau 1).

Tableau 1 Échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi and Souchon (2002)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argile)	>1024	D
Rochers	>1024	R
Blocs	256 - 1024	В
Pierres grossières	128 - 256	PG
Pierres fines	64 - 128	PF
Cailloux grossiers	32 - 64	CG
Cailloux fins	16 - 32	CF
Graviers grossiers	8 - 16	GG
Graviers fins	2 - 8	GF
Sables	0,0625 - 2	S
Limons	0,0039 - 0,0625	L
Argiles	< 0,0039	Α
Vase	sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins	V
Terre végétale	points hors d'eau très végétalisés	TV

Une base de données a été réalisée à partir de la compilation des données de terrain récoltées lors des campagnes de pêche électrique de 2018 et 2019.

#### 3.3 Variables mesurées par analyse géomatique

Plusieurs variables ont été obtenues à partir des données laser imaging detection and ranging (LIDAR) (1 m de résolution horizontale) et des limites du bassin versant considéré. Les données ont été gérées sur QGIS (version 3.10) et le logiciel JupiterNote a été utilisé pour l'exécution de scripts codés en langage Python.

#### 3.3.1 Pente en %

La pente locale des tributaires a été mesurée sur tous les tributaires des trois rivières à l'étude. Cette mesure de pente s'est faite en deux étapes :

- Extraction, à tous les 5 m le long du tracé d'écoulement des valeurs d'élévation (en mètre) à partir des données LIDAR;
- 2. Calcul, à partir des données d'élévations aux 5 m, de la valeur de la pente en % tous les 100 m.

#### 3.3.2 Superficie Drainée

Une procédure de Flow Accumulation (FA) avec application d'une correction par hydrocohérence a été utilisée pour déterminer le nombre de pixels drainés en amont de chacun des points d'analyses espacés à tous les 5 m le long du cours d'eau analysé. La surface drainée a par la suite été exprimée en km² à partir du calcul suivant : FA\*20\*20/1000000, où FA correspond au nombre de pixels drainé en un point et 20\*20 correspond à l'aire d'un pixel en mètres carré.

# 3.4 Facteurs de contrôle de la limite de dispersion des juvéniles vers l'amont

Cette partie traite de la méthodologie mise en place afin d'identifier les éléments limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont au sein des tributaires. Pour ce faire, des sections de tributaires ont été prospectées en portant une attention particulière aux obstacles aux déplacements des juvéniles, ainsi qu'aux changements de caractéristiques d'habitat qui pourraient le rendre peu propice aux juvéniles de saumon.

#### 3.4.1 Sélection des tributaires à prospecter

La sélection des tributaires à prospecter sur le terrain a été effectuée en deux étapes. Premièrement, les données de pêches électriques et d'ADNe ont été utilisées afin d'identifier les tributaires avec une « Limite amont d'absence détectée ». Une « Limite amont d'absence détectée » correspond à une des trois conditions suivantes :

- Un point de mesure d'ADNe « Absence » : les 3 échantillons de 2 l. d'eau n'ont révélé aucune trace d'ADN de saumon atlantique ;
- Trois sites consécutifs de pêche électrique « Absence » : aucun juvénile de saumon atlantique n'a été capturé sur trois sites consécutifs de pêche électrique ;
- La présence connue d'un infranchissable permanent : un ponceau, une chute naturelle verticale ou un écoulement souterrain lié à une rupture de pente.

Deuxièmement, une analyse de photos aériennes et de cartes des chemins forestiers a été réalisée afin de déterminer la faisabilité de la prospection des tributaires sélectionnés à l'étape 1. Deux critères ont été utilisés :

- La distance entre la « Limite amont d'absence détectée » et le site de pêche « Présence le plus en amont », ou l'embouchure dans les cas où il n'y avait pas de site de pêche « Présence » sur le tributaire. Pour des raisons de faisabilité sur une journée de travail, le tributaire était retenu si la distance entre ces deux points était inférieure à 2.5 km;
- L'accessibilité de la section du tributaire à prospecter (présence de route ou chemin à proximité).

Les deux phases de traitement ont permis d'identifier 35 sections de tributaire à prospecter durant les 18 jours de terrain planifiés.

#### 3.4.2 Obstacles au déplacement des juvéniles

Lors de la prospection des tributaires sur le terrain, les obstacles au déplacement des juvéniles ont été identifiés et mesurés. Sept types d'obstacles au déplacement ont été définies : ponceau, barrage artificiel, chute verticale naturelle, barrage de castor, embâcle, écoulement souterraine, rupture de pente. Le caractère infranchissable des obstacles était ensuite évalué selon des critères propres à chacun des types d'obstacles au déplacement :

- « Infranchissable permanent » : L'obstacle est infranchissable quelques soit les conditions hydrologiques.
- « Infranchissable temporaire » : L'obstacle est infranchissable lors de l'inventaire terrain mais susceptible d'être franchissable en conditions hydrologique de haute eau (débit élevé, crue).

La possibilité de franchissement des ponceaux a été définie à partir d'une application simplifiée du protocole de Pirolley (2020) permettant de déterminer la valeur de l'indice de continuité écologique (ICE) d'un ponceau. Selon cet indice, un ponceau était considéré comme un « Infranchissable permanent » si sa classe ICE est de 0, ou comme un « Infranchissable temporaire » pour des valeurs d'ICE de 0.33 ; de 0.66 ou de 1. La valeur d'ICE a été déterminée à partir de mesures concernant la hauteur d'eau, la profondeur de la fosse, la hauteur de chute, la hauteur du ressaut, la largeur mouillée en aval de la zone de dissipation, la largeur plein bord en aval de la zone de dissipation, la longueur du ponceau et la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un ruban d'arpentage et d'un mètre pour les mesures de largeur, longueur et hauteur, et d'un chronomètre et d'une balle de tennis pour la mesure de la vitesse d'écoulement dans le ponceau. Une fois les données récoltées, un filtre était utilisé pour déterminer la valeur d'ICE du ponceau.

Les chutes naturelles verticales ont également été caractérisées à partir du protocole simplifié de Pirolley (2020). Une mesure de hauteur d'eau, de profondeur de la fosse, et de hauteur de chute était réalisée. De la même manière que pour les ponceaux, un processus décisionnel a été appliqué pour déterminer si la chute naturelle verticale était considérée comme un « Infranchissable permanent » ou comme un « Infranchissable temporaire ».

Un barrage artificiel était considéré comme un « Infranchissable permanent » si sa hauteur de chute était supérieure à la capacité de saut des juvéniles de saumon atlantique, soit 0.10 m (Baudoin et al. 2014; Katopodis and Gervais 2016) et si aucun aménagement permettant le franchissement du barrage artificiel par les poissons n'était présent.

Lorsqu'un barrage de castor était présent, 5 mesures étaient prises : la hauteur du barrage, la présence d'écoulement interstitiel, la présence d'une chute verticale, l'obstruction partielle ou totale du cours d'eau et la présence d'un recoupement en berge. Si une chute verticale était présente, des données supplémentaires étaient saisies et la clé de détermination était utilisée conformément à la catégorie chute naturelle verticale. Si la hauteur était supérieure à la capacité de saut des juvéniles de saumon atlantique, ou si l'obstruction du cours d'eau était totale, le barrage de castor était systématiquement classé comme « Infranchissable temporaire » en raison des voies de passages qui se créent régulièrement en présentent de conditions hydrologique de haute eau.

Les embâcles ont été caractérisés de la même manière que les barrages de castor.

Compte tenu de la difficulté à définir quantitativement la franchissabilité liée à une rupture de pente (chronophage et besoin en matériel supplémentaire non transportable), celle-ci a été déterminée visuellement selon l'appréciation de la pente et selon l'existence ou non d'une voie de passage potentielle pour les poissons. Les ruptures de pentes ont systématiquement été considérées comme « Infranchissable temporaire » à l'exception des cas où une pente supérieure à 12% sur 100 m était estimée (DeVries and Reiser 2007; MFFP 2013).

Les écoulements souterrains, où l'écoulement du tributaire disparaissait sous la surface du lit mineur pour réapparaitre plus en aval, ont systématiquement été considérés comme « Infranchissable temporaire » à l'exception des cas où l'écoulement souterrain était associé à une rupture de pente classée comme « Infranchissable permanent ».

#### 3.5 Critère de pente limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont

Pour chacun des tributaires, la pente locale du cours d'eau a été analysée afin d'identifier la présence possible d'une pente locale trop forte pour permettre la dispersion des juvéniles vers l'amont. Le critère de pente le plus restrictif de la revue de littérature réalisée par le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a été retenu soit, 12% maintenu sur une distance de 100 m (DeVries and Reiser 2007; MFFP 2013). En suivant le tributaire depuis son embouchure, dès qu'un point atteignait ce critère minimum, le reste du tracé d'écoulement situé en amont de ce point était considéré inaccessible pour les juvéniles.

#### 3.6 Description des analyses

#### 3.6.1 Comparaisons présence/absence

Dans un premier temps, les données de pêches électriques ont été analysées à l'échelle du site de pêche afin d'identifier des différences significatives possibles dans les caractéristiques d'habitats et de connectivité au tronçon principal de la rivière, entre les sites utilisés et non-utilisés. Les conditions de normalité et d'égalité des variances n'étant pas respectées, le test de comparaison non paramétrique de Mann-Whitney a été employé. En raison de leurs capacités de nages différentes, les alevins et les tacons ont été traités séparément pour les analyses subséquentes. Les variables qui ont fait l'objet de ces comparaisons étaient :

- **Distance à la rivière principale** (variable géomatique) : Distance le long du cours d'eau entre le site et l'embouchure du tributaire au niveau du tronçon principal de la rivière (m);
- **Élévation** (variable géomatique) : Élévation au site (m) ;
- Largeur mouillée (variable terrain) : Largeur mouillée moyenne au site (m) ;
- Pente maximum sur 100 m (variable géomatique) : Pente maximum sur 100 m détectée entre le site et l'embouchure du tributaire au niveau du tronçon principal de la rivière ;
- Superficie drainée (variable géomatique) : Superficie drainée au site (km²) ;
- **Température** (variable terrain) : Température de l'eau au site (°C).

#### 3.6.2 Modélisation par forêts d'arbres décisionnels

Les données de présence/absence à l'échelle du site ont fait l'objet d'une modélisation par forêts d'arbres décisionnels. Approche sœur de l'arbre de décision, la forêt d'arbres décisionnels est une approche de type « sagesse des foules ». Un nombre important d'arbres de décision sont générés pour un jeu d'entraînement (c.-à-d. une forêt) et, contrairement à l'arbre de décision qui fournit un résultat individuel, la forêt d'arbre obtient son résultat final en validant le vote majoritaire ressortant de l'ensemble des arbres d'une forêt. Il en résulte un résultat plus stable avec un meilleur niveau de confiance que pour un arbre individuel.

L'approche comporte des avantages particulièrement intéressants tels qu'une indépendance vis-à-vis des données aberrantes ainsi qu'insensibilité à la normalisation des données, contrairement à de nombreuses autres approches prédictives qui demandent des prétraitements importants avant même le début de la modélisation.

Pour établir les modèles les plus performants possibles, l'approche présentée à la figure 6 a été appliquée. D'abord, l'approche vise à retirer une variable parmi les paires de variables redondantes qui présentent une forte corrélation (r >0.75). Elles sont identifiées grâce à la matrice de corrélation.

Puisque le nombre de présences et d'absences sont souvent inégaux, l'entrainement des modèles est effectué en sous-échantillonnant dans la classe la plus fréquente un nombre de cas égal au nombre de cas total de la classe là moins fréquente, ceci afin d'éviter un biais dans le modèle final. Par la suite, une approche itérative pour laquelle une forêt d'arbre est ajustée aux données d'entrainement permet d'identifier les variables les plus importantes ainsi que le nombre idéal de variables à conserver pour respecter une certaine parcimonie (c.-à-d. éviter de complexifier le modèle par un trop grand nombre de variables). Enfin, en utilisant le nombre idéal de variables idéal et les prédicteurs les plus importants, la forêt d'arbres finale est établie en mode « Leave-One-Out ».

La méthode « Leave-One-Out » est une approche de validation croisée qui, à chacune de ses itérations, retire un enregistrement de la table de données d'entraînement, génère un modèle, et valide sa prédiction sur cette variable retirée. En utilisant un tel processus, on s'assure de la robustesse du modèle final aux changements dans la base de données et on obtient une valeur de précision représentative.

Parmi les métriques de validation, la valeur Kappa compare la précision observée à la précision qui pourrait être attendue si les prédictions étaient réalisées au hasard. Elle ne doit pas être interprétée comme un coefficient de corrélation. Pour simplifier, plus la valeur Kappa s'éloigne de 0, plus on a affaire à un modèle qui se distingue d'un classificateur aléatoire. Landis and Koch (1977) indiquent les seuils arbitraires suivants pour les valeurs Kappa afin de qualifier comment se distingue un modèle d'un classificateur aléatoire : 0.0 – Faible, 0.0 - 0.20 – Léger, 0.20 - 0.40 – Passable, 0.40 - 0.60 – Modéré, 0.60 - 0.80 – Substantiel, 0.80 - 1.0 – Excellent.

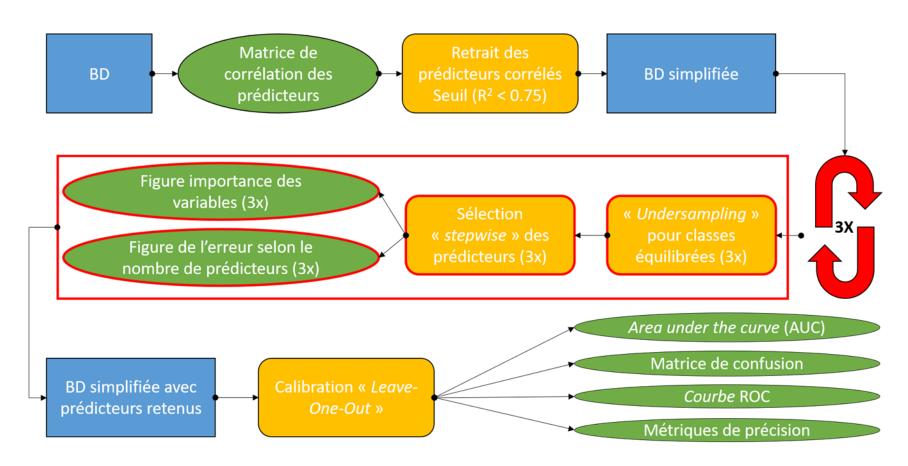


Figure 6 Schéma méthodologique pour la sélection des variables prédictives et la calibration des modèles par forêts d'arbres décisionnels

Deux types de modèles ont été créés pour chaque stade de croissance soit un modèle complet combinant les variables géomatiques et les variables mesurées sur le terrain et un modèle géomatique reposant uniquement sur les variables géomatiques.

Les modèles géomatiques ont comme principal avantage de permettre une prédiction, sans qu'une équipe doive se rendre sur le terrain pour y relever des données. Leurs précisions sont toutefois, et c'est compréhensible, moindre que pour les modèles « combinés ». Les modèles géomatiques pourraient donc vraisemblablement constituer d'excellents outils pour guider les équipes de terrain.

Les variables qui ont été utilisées pour construire ces modèles étaient (dénominations utilisées dans les modèles) :

- *Elevation* (variable géomatique) : Élévation au site (m) ;
- Surf\_Drai (variable géomatique) : Superficie drainée au site (km²) ;
- **Degre** (variable géomatique) : Degré du tributaire sur lequel se trouve le site (1 se jette dans la rivière principale, 2 se jette dans un tributaire de degré 1, etc...);
- Nb\_Nids (Variable terrain): Nombre de nids détecté dans le tributaire ou sur le tronçon principal de la rivière sur une distance de 400 m en amont et de 100 m en aval de l'embouchure du tributaire;
- Dist\_PRIN (variable géomatique) : Distance le long du cours d'eau entre le site et l'embouchure du tributaire au niveau du tronçon principal de la rivière (m);
- **Dist\_EMBEX** (variable géomatique) : Distance le long du cours d'eau entre l'embouchure du tributaire où se trouve le site et l'exutoire de la rivière (m) ;
- Dist\_EXU (variable géomatique) : Distance le long du cours d'eau entre le site et l'exutoire de la rivière (m);
- Pente\_max (variable géomatique) : Pente maximum sur 100 m détectée entre le site et l'embouchure du tributaire au niveau du tronçon principal de la rivière ;
- Largeur\_Terrain (variable terrain) : Largeur mouillée moyenne au site (m) ;
- Vitesse (variable terrain): Vitesse moyenne du courant au site (m/s);
- Profondeur (variable terrain): Profondeur moyenne de l'eau au site (m);
- **Temp** (variable terrain) : Température de l'eau au site (°C) ;
- Canopee (variable terrain): Code du recouvrement de la canopée 0=0%; 1=1-25%; 2=26-50%; 3=51-75%; 4=76-100%;
- **D50\_Terrain** (variable terrain): D50 au site (mm);

- Code\_D50\_Terrain (variable terrain): Code de la classe D50 au site 1=Argiles;
   2=Limons; 3=Sables; 4=Graviers fins; 5=Graviers grossiers; 6=Cailloux fins;
   7=Cailloux grossier; 8=Pierres fines; 9=Pierres grossières; 10=Blocs; 11=Rochers;
   12=Dalles;
- Infran\_Permanent (variable terrain): Infranchissable permanent entre le site et le tronçon principal de la rivière (0=absent ou inconnu, 1=présent);
- *Infran\_Temporaire* (variable terrain) : Infranchissable temporaire entre le site et le tronçon principal de la rivière (0=absent ou inconnu, 1=présent).

#### 3.6.3 Modèle de préférence d'habitat

Des courbes d'utilisation/disponibilité de l'habitat et des courbes de préférence d'habitat ont été construites à partir des données de pêche électrique des juvéniles et des caractéristiques des variables d'habitat moyennées pour chaque site : profondeur d'eau, vitesse d'écoulement, température de l'eau, classe granulométrique, largeur mouillée et classe de canopée. Ces modèles ont été effectués pour chacun des groupes d'âge analysé, soit les alevins et les tacons.

Les courbes d'utilisations ont été obtenues pour chaque variable d'habitat en divisant le nombre de poissons pêché dans chacune des classes de la variable étudiée par le nombre de poissons pêchés dans la classe où le plus grand nombre d'individus a été pêché. Les courbes de disponibilité d'habitat ont été calculées en divisant le nombre de parcelles pêchés dans chacune des classes de la variable étudiée, par le nombre de parcelles de la classe de la variable étudiée ayant le plus grand nombre de parcelles.

Les courbes de préférence ont été obtenues en calculant pour chaque classe d'une variable la valeur de l'indice de sélectivité de Jacobs D (Jacobs 1974) (équation 1) :

Éguation 1 Indice de sélectivité de Jacobs D (Jacobs 1974)

$$D = \frac{(r-p)}{(r+p-2rp)}$$

Où r est la proportion de poisson pêchée dans la classe de variable analysée, et p est la proportion d'habitat que représente cette classe de variable sur l'ensemble de l'habitat disponible. Dans le contexte du projet, p correspondait donc au nombre de parcelles pêchées dans une classe de la variable étudiée divisé par le nombre total de parcelles.

L'indice varie de –1 (évitement complet) à +1 (utilisation exclusive). Une valeur de 0 indique que l'habitat a été utilisé proportionnellement à sa disponibilité et qu'il n'y a donc pas de préférence. Des intervalles de confiance à 95%, ont été appliqués aux valeurs d'indice de Jacobs de chaque classe selon la méthode de Strauss (1979). À ces intervalles de confiances l'analyse suivante était effectuée : si l'intervalle de confiance n'inclue pas la valeur zéro, alors la sélectivité de la valeur de la classe est considérée comme significative (p < 0.05).

# **4 RÉSULTATS**

#### 4.1.1 Pêche électrique et ADNe

Au total, 72 tributaires ont fait l'objet d'un échantillonnage par pêche électrique lors des campagnes de terrain de 2018 et 2019 : 23 sur la Dartmouth (figure 7), 30 sur la York (figure 8) et 19 sur la Saint-Jean (figure 9). À l'échelle des trois bassins versants cet échantillonnage représente 2% des tributaires d'ordre de Strahler 1 ; 16% des tributaires d'ordre de Strahler 2 ; 42% des tributaires d'ordre de Strahler 3 et 50% des tributaires d'ordre de Strahler 4. Le nombre de sites pêchés s'élève à 358 représentant au total 2 148 parcelles : Dartmouth (245 sites, 1470 parcelles), York (75 sites, 450 parcelles), Saint-Jean (38 sites, 228 parcelles). Ces pêches ont permis d'échantillonner un total de 767 saumons juvéniles, soit 672 sur la Dartmouth, 63 sur la York et 32 sur la Saint-Jean. 35 échantillons d'ADNe ont été récoltés au total, 16 sur la Dartmouth (figure 7), 12 sur la York (figure 8) et 7 sur la Saint-Jean (figure 9).

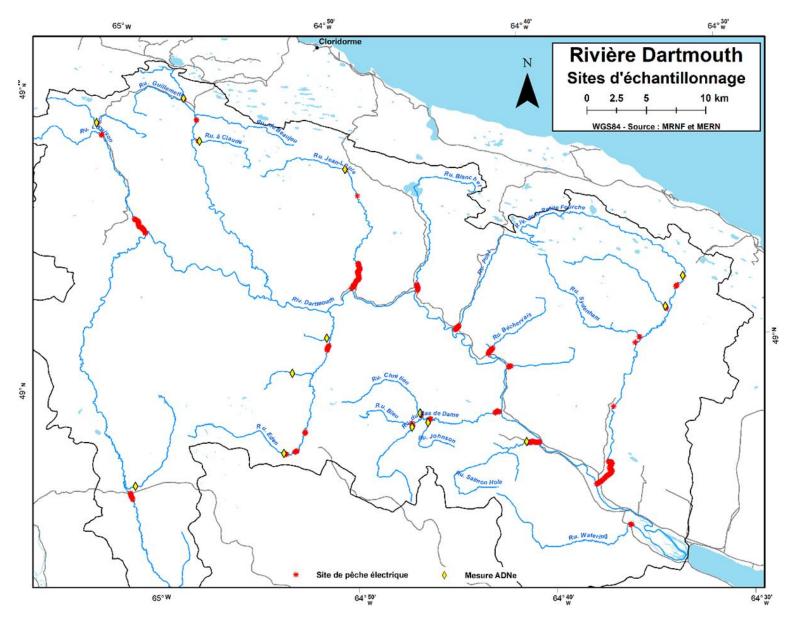


Figure 7 Sites de pêches électriques et prises d'échantillon d'ADNe sur la rivière Dartmouth

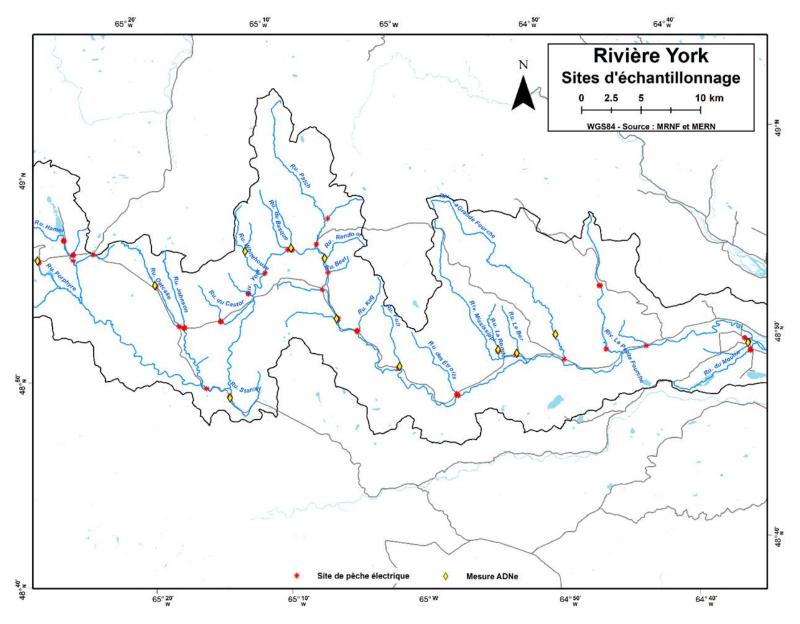


Figure 8 Sites de pêches électriques et prises d'échantillon d'ADNe sur la rivière York

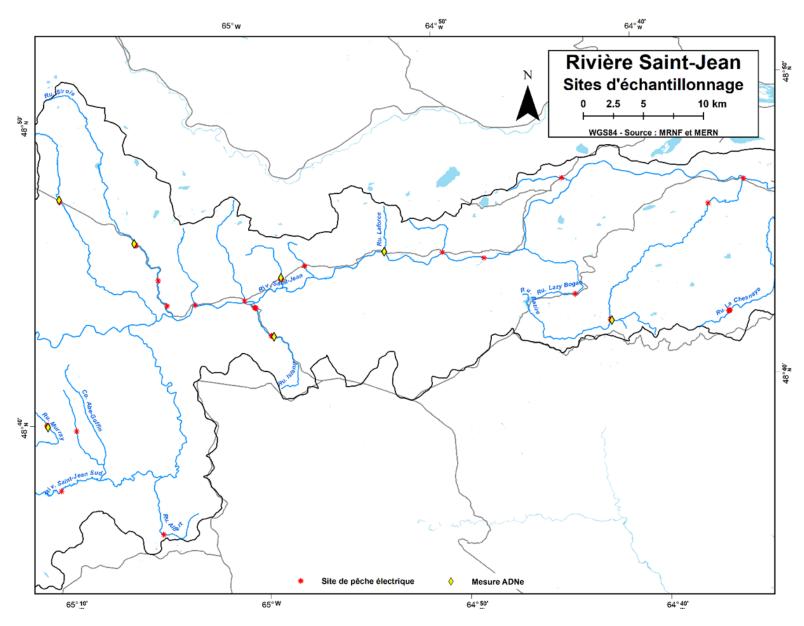


Figure 9 Sites de pêches électriques et prises d'échantillon d'ADNe sur la rivière Saint-Jean

# 4.2 Groupes d'âges

À partir des données biométriques de longueur à la fourche prises sur chacun des juvéniles pêchés, un histogramme représentant le nombre d'individus par classes de taille a pu être réalisé (figure 10). Cette figure permet de distinguer deux groupes d'individus :

- Les poissons ayant une longueur à la fourche inférieure à la classe de taille « 5.05-5.55
   », considérés comment étant des 0+ ;
- Les poissons ayant une longueur à la fourche supérieure à la classe de taille « 5.05-5.55
   » considérés comment étant des tacons âgés de 1+, 2+ ou 3+.

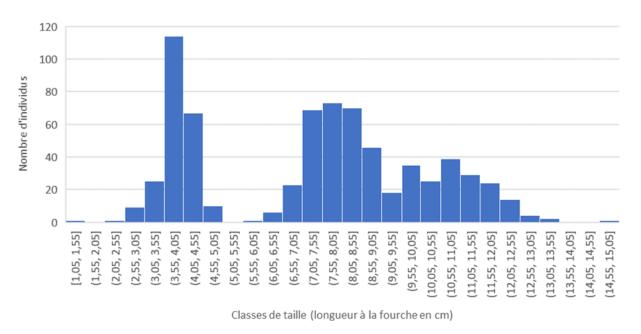


Figure 10 Histogramme des classes de taille issus des juvéniles pêchés

# 4.3 Présence/absence des juvéniles à l'échelle du tributaire

#### 4.3.1 Alevins

Sur les 72 tributaires échantillonnés, la présence d'alevins de saumon a été détectée sur 14 d'entre eux, soit 7 tributaires sur 23 pour la Dartmouth, 5 sur 30 pour la York et 2 sur 19 pour la Saint-Jean (figure 11). Sur les 14 tributaires où une présence d'alevins de saumon a été détectée, aucuns ne présentaient une présence exclusive d'alevin. Le tableau 2, récapitule la liste des tributaires où des alevins ont été pêchés et la localisation du site le plus en amont où une présence d'alevin a été détectée pour chacun de ces tributaires.

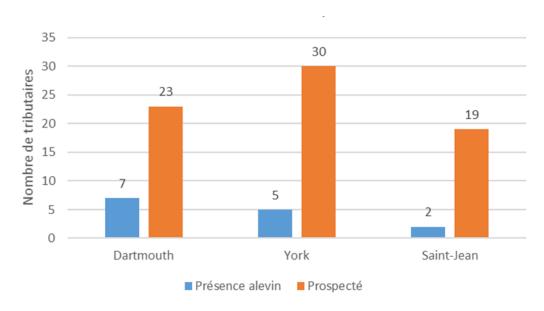


Figure 11 Nombre de tributaires utilisés par les alevins de saumon dans les rivières Dartmouth, York et St-Jean

Tableau 2 Liste des tributaires où des alevins ont été pêchés et localisation du site le plus en amont où une présence d'alevin a été détectée pour chacun tributaire

Rivière	Tributaire	Site présence le plus en amont	xcoord	ycoord
Dartmouth	Rivière de la Petite Fourche	DMT_PETITE_FOURCHE41	-64.6079355579629	48.9655050060154
Dartmouth	Ruisseau du Pas de Dame	DMT_PAS_DAME10A	-64.7081948492889	48.9670763008827
Dartmouth	DMT Sans Nom B	DMT_SNB2	-64.6932668553486	48.9921026946558
Dartmouth	Ruisseau Béchervais	DMT_BECHERVAIS4	-64.7090210319102	49.0013379485784
Dartmouth	Ruisseau Post	DMT_POST1	-64.7366959961684	49.0150886204793
Dartmouth	Ruisseau Jean Louis	DMT_JEAN_LOUIS40	-64.8143348546207	49.0556409960632
Dartmouth	Ruisseau Louison	DMT_LOUISON30	-65.0004248778422	49.0896515911747
York	La Grande Fourche	YRK_GRANDE_FOURCHE1	-64.8127495741711	48.82215922466
York	Ruisseau des Étroits	YRK_ETROITS1	-64.9463551717689	48.799011379942
York	Ruisseau Patch	YRK_PATCH1	-65.1080333894775	48.9301571559764
York	YRK Sans Nom G	YRK_SNG1	-65.138427573032	48.9268003685633
York	Ruisseau Oatcake	YRK_OATCAKE1	-65.2555417298581	48.8191182605633
Saint-Jean	Ruisseau Bazire	STJ_BAZIRE1	-64.5803401002977	48.7747654141107
Saint-Jean	STJ Sans Nom F	STJ_SNF1	-65.0047362235197	48.7278221111028

Les figures 12, 13 et 14 présentent les sections de tributaires ayant une **présence confirmée** (VERT), celles ayant une **absence détectée** (ROUGE) et celles qui correspondent à une **absence potentielle** (ORANGE) liée à la présence d'un obstacle « Infranchissable temporaire ».

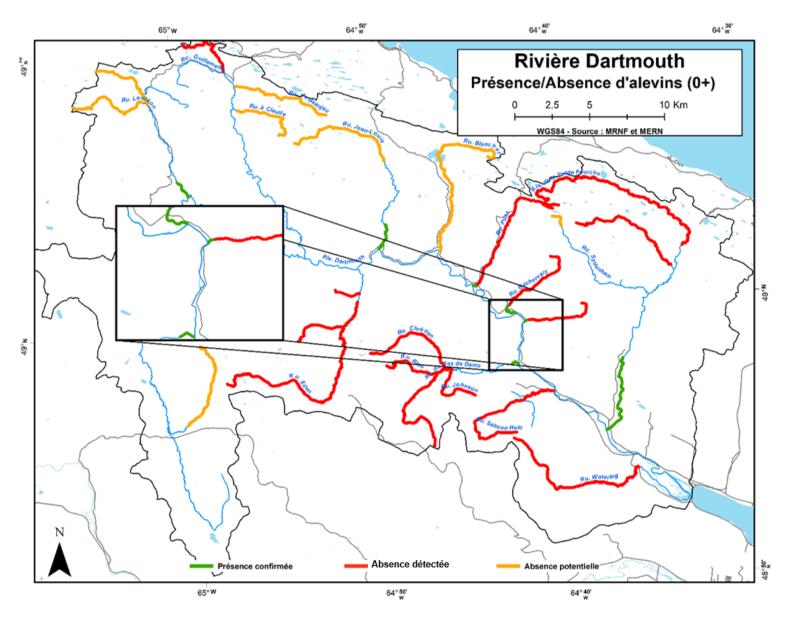


Figure 12 Utilisation par les alevins de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière Dartmouth

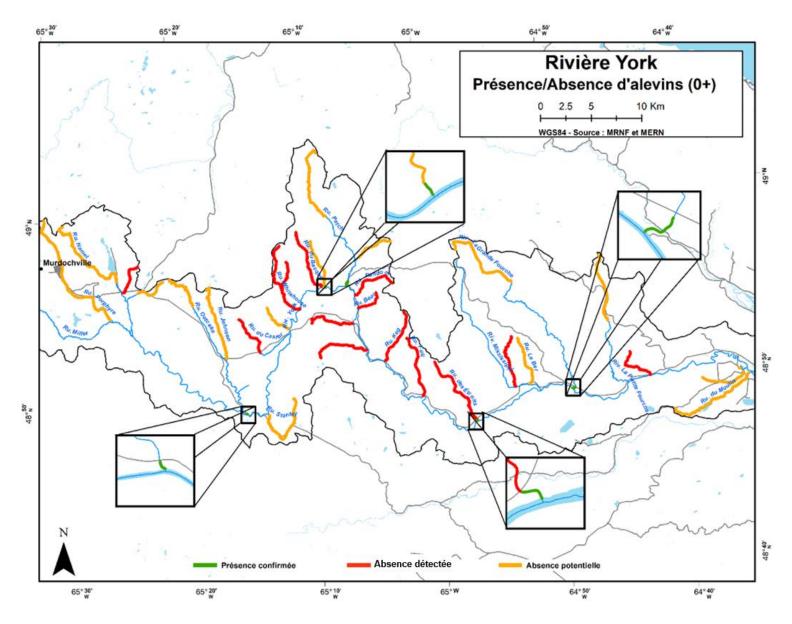


Figure 13 Utilisation par les alevins de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière York

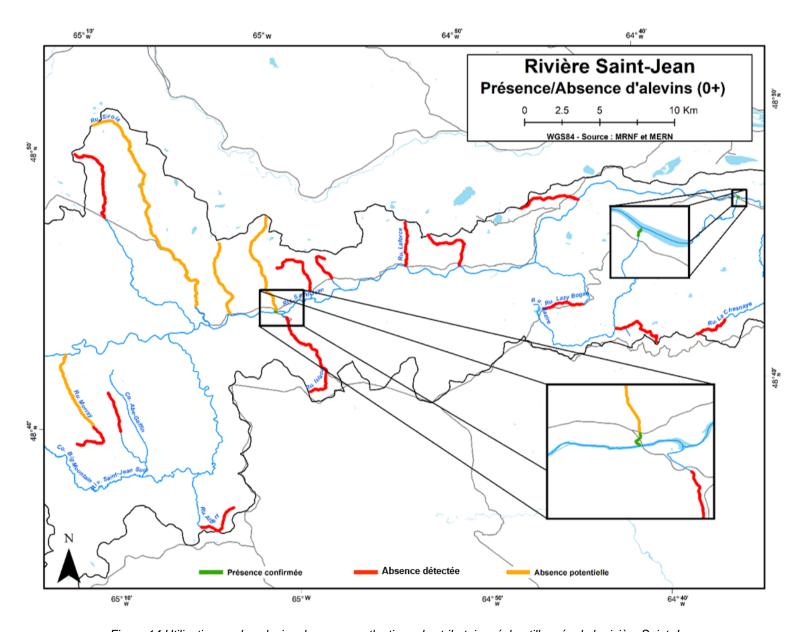


Figure 14 Utilisation par les alevins de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière Saint-Jean

#### 4.3.2 Tacons

Sur les 72 tributaires échantillonnés, la présence de tacon de saumon atlantique a été détectée sur 38 d'entre eux (16 sur 23 sur la Dartmouth, 15 sur 30 sur la York et 7 sur 19 sur la Saint-Jean) (figure 15). Le tableau 3, récapitule la liste des tributaires où des tacons ont été pêchés et la localisation du site le plus en amont où une présence de tacon a été détectée pour chacun de ces tributaires.

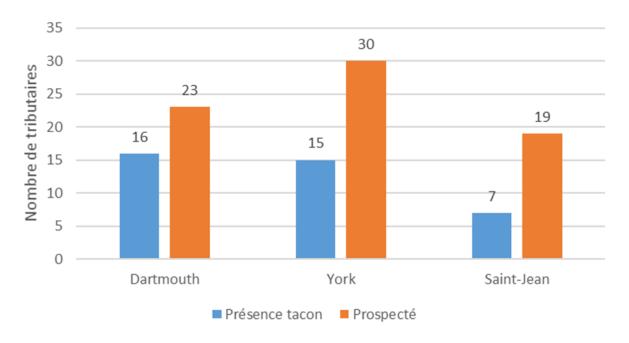


Figure 15 Nombre de tributaires utilisés par les tacons de saumon dans les rivières Dartmouth, York et St-Jean

Tableau 3 Liste des tributaires où des tacons ont été pêchés et localisation du site le plus en amont où une présence de tacon a été détectée pour chacun tributaire

Rivière	Tributaire	Site présence le plus en amont	xcoord	ycoord
Dartmouth	Ruisseau Watering	DTM_WATERING3	-64.6013136277626	48.8992324137766
Dartmouth	Rivière de la Petite Fourche	DMT_PETITE_FOURCHE42	-64.5854581638945	49.0000117942887
Dartmouth	Ruisseau Sydenham	DMT_SYDENHAM2	-64.5819093223509	49.002937066036
Dartmouth	Ruisseau Salmon Hole	DMT_SALMON_HOLE13	-64.6794472397749	48.9492285510029
Dartmouth	Ruisseau du Pas de Dame	DMT_PAS_DAME4B	-64.7783817501201	48.9635559145477
Dartmouth	Ruisseau Johnson	DMT_JOHNSON_ADNe	-64.765138525512839	48.964486410771670
Dartmouth	Ruisseau Chrétien	DMT_CHRETIENA_ADNe	-64.771246077165529	48.969957931443233
Dartmouth	DMT Sans Nom B	DMT_SNB4	-64.6920374700162	48.9922396414714
Dartmouth	Ruisseau Béchervais	DMT_BECHERVAIS9	-64.7062933522341	49.0027817252141
Dartmouth	Ruisseau Post	DMT_POSTO10	-64.7328758479233	49.0168050448716
Dartmouth	Ruisseau Jean Louis	DMT_JEAN_LOUIS41	-64.8104630308417	49.0930616060095
Dartmouth	Ruisseau Éden	DMT_EDEN3B	-64.8784199127404	48.9537385426928
Dartmouth	Ruisseau De Beaujeu	DMT_BEAUJEU2	-64.9416690216445	49.1419595171598
Dartmouth	Ruisseau à Claude	DMT_CLAUDE_ADNe	-64.940397607667151	49.129959062202730
Dartmouth	Ruisseau Louison	DMT_LOUISON32	-65.0230423261421	49.1376178016299
Dartmouth	DMT Sans Nom F	DMT_SNF_ADNe	-65.015660666973446	48.941021099283553
York	YRK Sans Nom A	YRK_SNA_ADNe	-64.584832059355534	48.824260950701316
York	YRK Sans Nom C	YRK_SNC1	-64.7105604503074	48.8280568795449
York	La Petite Fourche	YRK_PETITE_FOURCHE2	-64.7603450048511	48.828000167754
York	La Grande Fourche	YRK_GRANDE_FOURCHE_ADNe	-64.821121351388285	48.842820565933351
York	Ruisseau des Étroits	YRK_ETROITS1	-64.9463551717689	48.799011379942
York	YRK Sans Nom D	YRK_SND2	-65.087723680711	48.8684795705673
York	YRK Sans Nom E	YRK_SNE1	-65.1047881870878	48.8931225487742
York	Ruisseau Random Hill	YRK_RANDOM_HILL1	-65.0997008178634	48.9181949894374
York	Ruisseau Patch	EMBOUCHURE YRK SANS NOM F	-65.0952865	48.9487024
York	YRK Sans Nom F	YRK_SNF1	-65.0916906976445	48.950521539046

York	YRK Sans Nom G	YRK_SNG1	-65.138427573032	48.9268003685633
York	Ruisseau du Basque	YRK_BASQUE1	-65.1438938832295	48.9273545330821
York	Ruisseau Whitehouse	YRK_WHITEHOUSE1	-65.1738880196294	48.9097814775647
York	Ruisseau Oatcake	YRK_OATCAKE_ADNe	-65.310599061035191	48.905843905287121
York	YRK Sans Nom J	YRK_SNJ1	-65.4094714634644	48.9302425274741
Saint-Jean	Ruisseau Bazire	STJ_BAZIRE2	-64.6114726556956	48.7627784427647
Saint-Jean	Ruisseau Burnt Jam	STJ_BURNT_JAM1	-64.8021342412387	48.7418416102976
Saint-Jean	Ruisseau Island	STJ_ISLAND3	-64.99565109349	48.7232299524399
Saint-Jean	STJ Sans Nom F	STJ_SNF1	-65.0047362235197	48.7278221111028
Saint-Jean	STJ Sans Nom G	STJ_SNG1	-65.0461924416687	48.7273182920006
Saint-Jean	Ruisseau Sirois	STJ_SIROIS_ADNe	-65.093519418228738	48.763687287968359
Saint-Jean	Rivière Saint-Jean Sud	STJ_SAINT-JEAN_SUD1	-65.1686717088671	48.6297226944107

Les figures 16, 17 et 18 présentent les sections de tributaires ayant une **présence confirmée** (VERT), celles ayant une **absence détectée** (ROUGE) et celles qui correspondent à une **absence potentielle** (ORANGE) liée à la présence d'un obstacle « Infranchissable temporaire ».

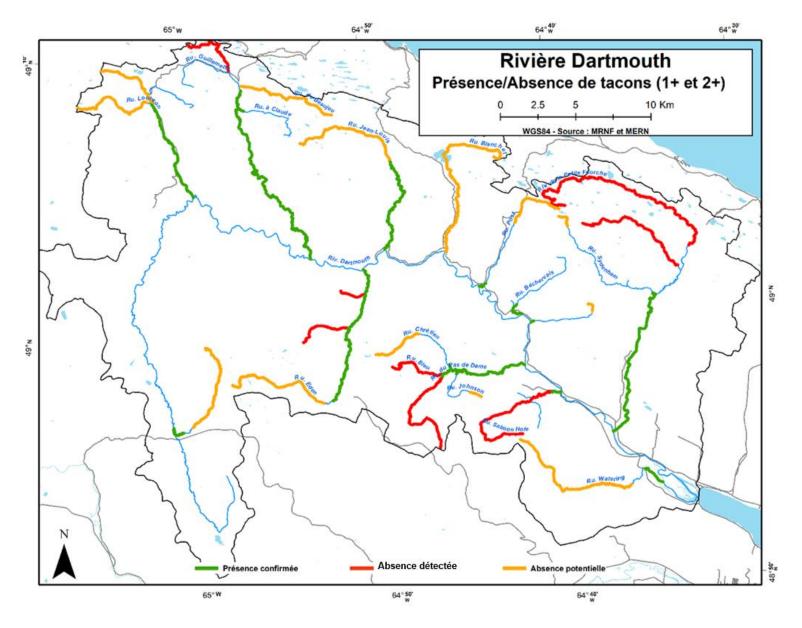


Figure 16 Utilisation par les tacons de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière Dartmouth

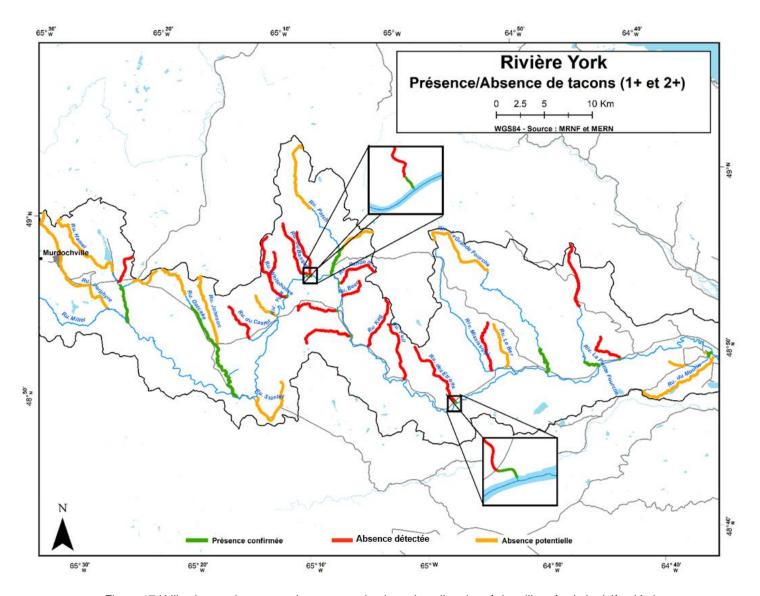


Figure 17 Utilisation par les tacons de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière York

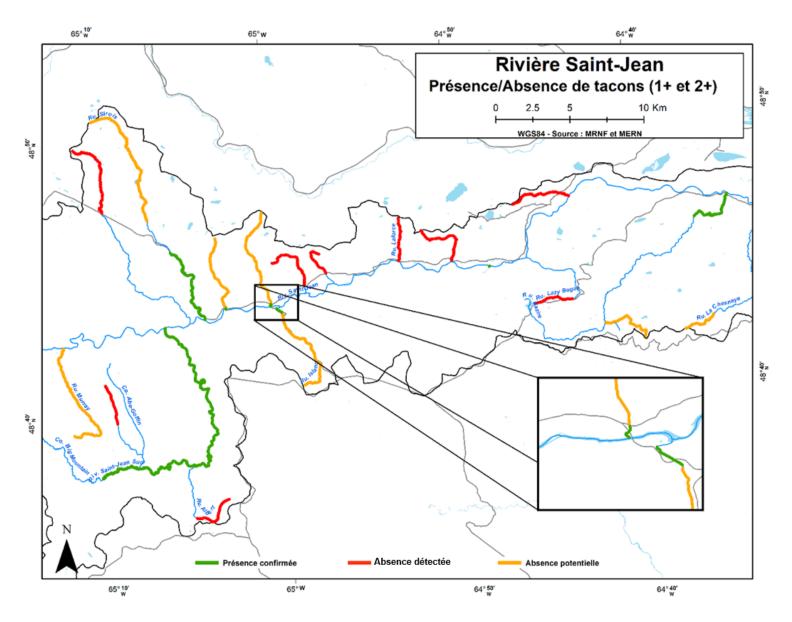


Figure 18 Utilisation par les tacons de saumon atlantique des tributaires échantillonnés de la rivière St-Jean

#### 4.4 Analyse des obstacles les plus communs au déplacement

Sur les sections de tributaires prospectés, 64 éléments ont été définis comme étant des obstacles au déplacement des juvéniles de saumon atlantique (16 sur la Dartmouth, 32 sur le York et 16 sur la Saint-Jean). De ces obstacles, 81% ont été identifiés comme appartenant à une cause dite « Naturelle » et 19% une cause dite « Artificielle » (tableau 4).

Au sein de la catégorie dite « Naturelle » 5 types d'obstacle ont été identifiés : barrage de castor, chute verticale naturelle, écoulement souterrain, embâcle et rupture de pente). Au sein de la catégorie dite « Artificielle » 3 types d'obstacle ont été identifiés : barrage artificiel, ponceau et rupture de pente. Les types « Ponceau » et « Rupture de pente » sont les obstacles « Infranchissables permanents » les plus représentés (tableau 4).

Tableau 4 Synthèse des obstacles au déplacement inventoriés (en vert les obstacles où une intervention possible)

Catégorie	Infranchissable	Туре	Nombre d'obstacle	Proportion d'obstacle
A	Permanent	Barrage artificiel	1	2%
		Ponceau	8	13%
Artificielle	Temporaire	Ponceau	2	3%
		Rupture de pente	1	2%
Naturelle	Permanent	Chute verticale naturelle	1	2%
		Ecoulement souterrain	1	2%
		Rupture de pente	5	8%
	Temporaire	Barrage de castor	9	14%
		Chute verticale naturelle	7	11%
		Ecoulement souterrain	8	13%
		Embâcle	13	20%
		Rupture de pente	8	13%

Dans l'objectif de supprimer les éléments limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont, les types d'obstacle au déplacement des deux catégories ont été classés selon la possibilité ou non d'y effectuer une intervention. Ceux présentant une intervention possible sont les ponceaux, barrages artificiels, les barrages de castor, les embâcles, et les ruptures de pente artificielles. Après application de ce filtre, 53% des obstacles au déplacement observés présentent une intervention possible (tableau 4).

La localisation des différents obstacles au déplacement identifiés dans cette présente étude est présentée aux figures 19, 20 et 21 pour les rivières Dartmouth, York et Saint-Jean respectivement.

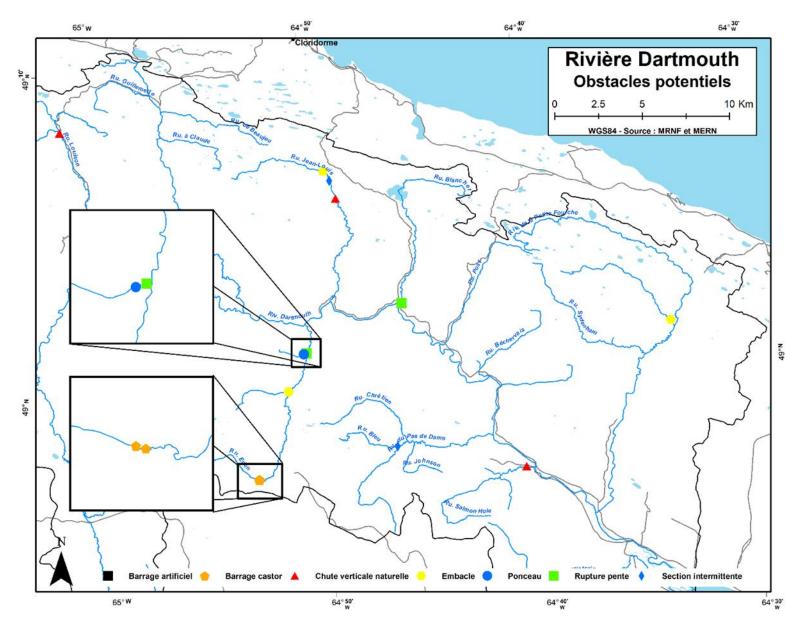


Figure 19 Localisation des obstacles au déplacement identifiés sur les tributaires prospectées de la rivière Dartmouth

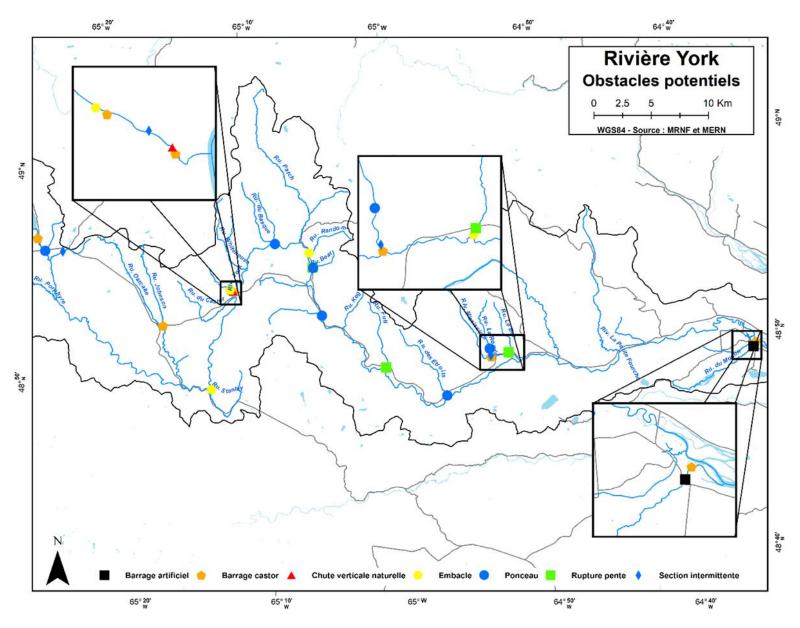


Figure 20 Localisation des obstacles au déplacement identifiés sur les tributaires prospectées de la rivière York

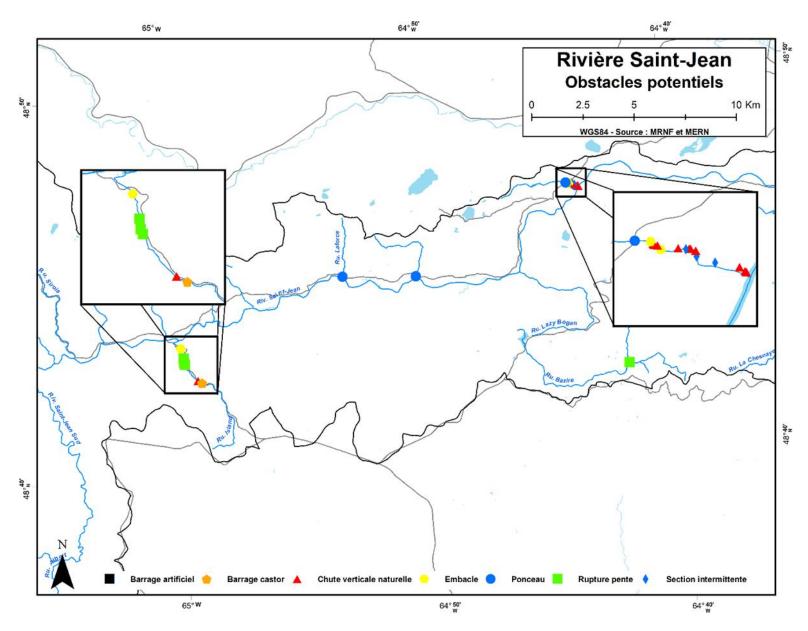


Figure 21 Localisation des obstacles au déplacement identifiés sur les tributaires prospectées de la rivière Saint-Jean

# 4.5 Critère de pente limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont

Nous avons testé l'efficacité du critère de limite supérieure d'habitat du saumon atlantique utilisé par le MFFP à partir des données LIDAR. Selon ce filtre, une pente de 12% sur 100 m constitue un obstacle qui limite la dispersion des juvéniles de saumon atlantique vers l'amont. Il a donc été ici question regarder si en amont d'une pente supérieure ou égale à 12% sur 100 m, sur chaque tributaire, une présence de juvénile de saumon atlantique avait été détectée. L'application de ce filtre aux données de la présente étude a montré une efficacité de 100% à prédire correctement l'absence de juvéniles en amont de cette valeur seuil. Plus exactement, aucune présence de juvénile de saumon atlantique n'a été remarquée en amont d'une pente supérieure ou égale à 12% sur 100 m, sur chaque tributaire prospecté.

#### 4.6 Limite de dispersion des saumons juvéniles vers l'amont

Dans cette section, nous nous sommes intéressés aux limites de dispersion des juvéniles de saumon atlantique sur chacun des tributaires prospectés. Deux types de limites ont été définis :

- La « Limite amont de présence confirmée » qui correspond à la dernière détection de juvénile de saumon atlantique : un site de pêche électrique « Présence le plus en amont » ou un point de mesure d'ADNe « Présence le plus en amont » ;
- La « Limite amont d'absence détectée » qui correspond à une des trois conditions suivantes : un point de mesure d'ADNe « Absence », trois sites consécutifs de pêche électrique « Absence », ou la présence d'un obstacle « Infranchissable permanent ».

#### 4.6.1 Alevins

La figure 22 illustre la valeur des limites amont de présence confirmée des alevins mesurées sur les 14 sections de tributaires où des alevins ont été pêchés. Il est probable que ces limites de présence amont correspondent à deux cas de figure différents. Un, des alevins provenant de frayères situées sur le tronçon principal de la rivière et qui ont par la suite colonisés un tributaire à proximité de la frayère. Deux, des alevins qui proviennent de sites de reproduction de saumons adultes ayant remontés un tributaire pour s'y reproduire. Ce deuxième cas de figure explique par exemple les résultats de distance le long du cours d'eau entre le site et l'embouchure du tributaire au niveau du tronçon principal de la rivière, observés sur les tributaires: Rivière de la Petite Fourche (5 455 m), Ruisseau Jean-Louis (1 975 m) de la rivière Dartmouth, car il est impossible que des alevins aient pu nager de telles distances depuis une frayère située sur le tronçon principal de la rivière. En effet, des trayaux de terrain ont démontré que les alevins ne sont pas en mesure de se disperser plus loin qu'environ 300-400 m en aval et 50-100 m en amont de la frayère (Eisenhauer et al. 2021). Au regard de la distance entre le site présence alevin le plus en amont et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, et de la localisation des frayères les plus proches, il est fort probable que des frayères soient présentes sur l'ensemble des tributaires énuméré dans la figure 22 à l'exception des tributaires : DMT Sans Nom B, Ruisseau Post et STJ Sans Nom F (résultats à vérifier et valider par le biais d'observations supplémentaires).

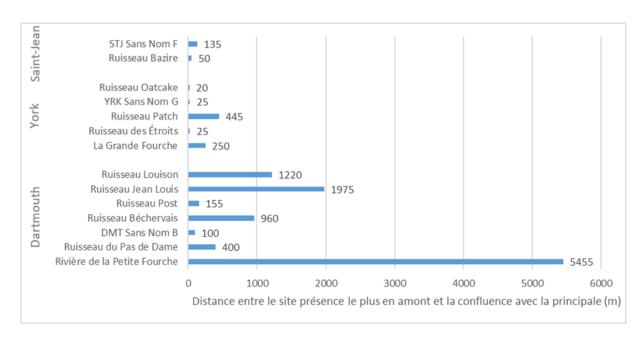


Figure 22 Longueur des sections de tributaires jusqu'à la « Limite amont de présence confirmée » d'alevins (les tributaires sont classés de l'amont vers l'avant/de haut en bas)

En ce qui concerne les limites amont d'absence détectée d'alevins, 43 ont été identifiées sur les 72 tributaires prospectés (15 sur 23 pour la Dartmouth, 19 sur 30 pour la York, 9 sur 19 pour la Saint-Jean). Pour chacune des limites amont d'absence détectée, les critères suivants ont été évalués :

- Distance: la distance entre le site et la frayère la plus proche est trop grande pour être franchit par un alevin. Une valeur seuil de 100 m vers l'amont et 400 m vers l'aval a été choisie en se basant sur la littérature concernant la distance maximum que peut parcourir un alevin pendant un été (Eisenhauer et al. 2021).
- Accès: l'absence d'alevin est attribuée à la présence d'un infranchissable permanent ou d'une pente maximum sur 100 m trop élevée entre le site d'absence et le tronçon principal de la rivière. Une valeur de pente maximum de 8.5% ayant été mesurée en aval d'un site où des juvéniles de saumon atlantique (alevin et tacon) ont été pêchés, cette valeur a été choisie comme valeur seuil de franchissabilité.
- Taille : la taille du chenal au site analysé est trop faible pour soutenir l'utilisation par les alevins. La superficie drainée a été choisie comme variable représentative de la taille du chenal. Le plus petit bassin versant où des alevins ont été pêchés dans cette étude avait une superficie drainée de 6 km². À noter que cette valeur est tirée d'un tributaire où la présence d'alevin est liée à la présence d'une frayère au sein même de ce tributaire. Nous avons utilisé cette valeur de superficie drainée comme la superficie de drainage

minimum pouvant supporter la présence d'alevins et par conséquent la présence de frayères.

- Température : une trop faible ou trop haute température de l'eau est jugée responsable de l'absence d'alevins. La température d'eau la plus basse à laquelle des juvéniles de saumon atlantique (alevin et tacon) ont été pêchés dans cette étude était de 7.9 °C et la plus haute était de 19.2 °C. Nous avons utilisé ces valeurs comme étant la température minimum et maximum requise pour être utilisée par les alevins lors de la période d'échantillonnage.
- Inconnue : ne correspond à aucune des causes possibles précédemment exposées.

Ces critères ont été utilisés afin de déterminer, pour chacune des limites amont d'absence détectée, la ou les causes les plus plausibles expliquant l'absence d'alevins.

Le nombre de chacune des combinaisons des cinq catégories présentées ci-dessus ont été dénombrées (tableau 5). Les combinaisons où le critère « Distance » est présent constituent les principales causes d'absence possible avec une proportion cumulée de 63%.

Tableau 5 Nombre et proportion de tributaire en fonction des combinaisons de causes possibles de la « Limite amont d'absence détectée » d'alevin

Combinaison	Nombre de tributaire	Proportion de tributaire
Accès	3	7%
Accès+Taille	2	5%
Accès+Taille+Température	1	2%
Distance	9	21%
Distance+Accès	6	14%
Distance+Accès+Taille	6	14%
Distance+Taille	5	12%
Distance+Température	1	2%
Température	1	2%
Inconnue	9	21%

#### 4.6.2 Tacons

La figure 23 illustre la valeur des limites amont de présence confirmée des tacons sur les 38 sections de tributaires où des tacons ont été pêchés. La longueur moyenne des sections avec présence de tacon confirmée est de 4 316 m, avec une valeur maximum observée de 21 775 m sur le tributaire Rivière Saint-Jean Sud de la rivière Saint-Jean et une valeur minimum de 10 m sur le tributaire Ruisseau Whitehouse de la rivière York. Enfin, ces longueurs avec présence de

tacon confirmée représentent au totale 164 km de linéaire de tributaire (102 km sur la Dartmouth, 29.6 km sur la York et 32.4 km sur le Saint-Jean).

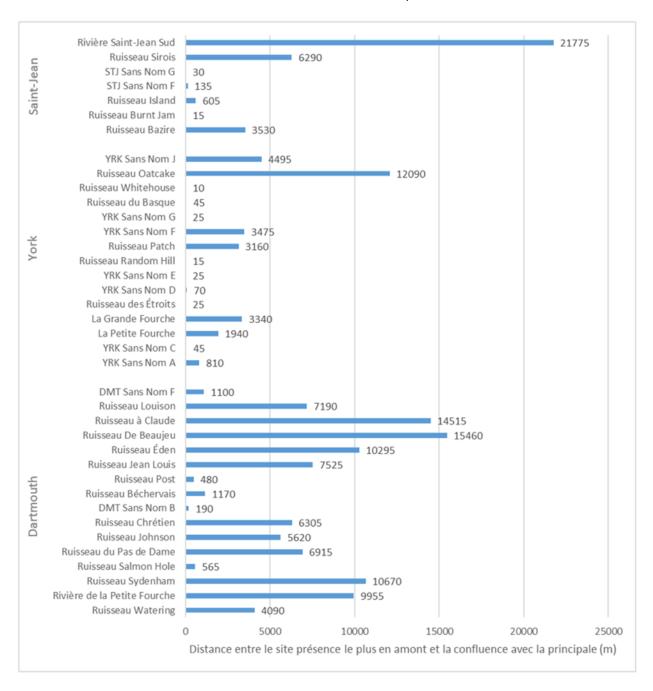


Figure 23 Longueur des sections de tributaires jusqu'à la « Limite amont de présence confirmée » de tacons (les tributaires sont classés de l'amont vers l'avant/de haut en bas)

Au total, 39 limites amont d'absence détectée de tacons ont été identifiées sur les 72 tributaires prospectés (11 sur 23 pour la Dartmouth, 19 sur 30 pour la York, 9 sur 19 pour la Saint-Jean). Pour chacune de ces limites amont d'absence de tacon détectée, des hypothèses de la cause

possible ont été renseignées pour quatre des cinq catégories utilisées dans la partie sur les alevins. Les tacons ayant la capacité de se déplacer sur de grandes distances, la variable distance n'a pas été inclues dans l'analyse car jugée non-limitante. Seuils utilisés pour la classe d'âges Tacon :

- Accès: l'absence de tacon est attribuée à la présence d'un infranchissable permanent ou d'une pente maximum sur 100 m trop élevée entre le site d'absence et le tronçon principal de la rivière. Une valeur de pente maximum de 8.5% ayant été mesurée en aval d'un site où des juvéniles de saumon atlantique (alevin et tacon) ont été pêchés, cette valeur a été choisie comme valeur seuil de franchissabilité.
- Taille : la taille du chenal au site analysé est trop faible pour soutenir l'utilisation par les tacons. La superficie drainée a été choisie comme variable représentative de la taille du chenal. Le plus petit bassin versant où des tacons ont été pêchés dans cette étude avait une superficie drainée de 4 km². Nous avons utilisé cette valeur de superficie drainée comme la superficie de drainage minimum pouvant supporter la présence de tacons.
- Température : une trop faible ou trop haute température de l'eau est jugée responsable de l'absence de tacons. La température d'eau la plus basse à laquelle des juvéniles de saumon atlantique (alevin et tacon) ont été pêchés dans cette étude était de 7.9 °C et la plus haute était de 19.2 °C. Nous avons utilisé ces valeurs comme étant la température minimum et maximum requise pour être utilisée par les tacons lors de la période d'échantillonnage.
- Inconnue: ne correspond à aucune des causes possibles précédemment exposées.

La combinaison « Taille » a été identifiée comme étant la plus limitante avec une proportion de 44%, suivie de la combinaison « Accès » avec 28% et « Accès+Taille » 18% (tableau 6).

Tableau 6 Nombre et proportion de tributaire en fonction des combinaisons de causes possibles de la « Limite amont d'absence détectée » de tacons

Combinaison	Nombre de tributaire	Proportion de tributaire
Accès	11	28%
Accès+Taille	7	18%
Accès+Température	1	3%
Taille	17	44%
Température	1	3%
Inconnue	2	5%

# 4.7 Présence/absence des saumons juvéniles à l'échelle du site

Les caractéristiques des sites (groupe de 6 parcelles) de pêches échantillonnés ont été analysées afin de comparer ceux avec ou sans présences de saumons juvéniles. Les résultats indiquent que les sites avec présence sont significativement plus proches du tronçon principal de la rivière, plus bas en élévation, et qu'ils drainent un bassin versant de plus grande superficie que ceux où les juvéniles sont absents. La largeur mouillée est aussi significativement plus grande et la température de l'eau plus chaude aux sites où les juvéniles sont présents que ceux où ils sont absents. Finalement, la pente maximum mesurée entre le site et le tronçon principal de la rivière est significativement plus faible pour les sites avec présence de juvéniles (figure 24 ; 25 et 26). À noter que pour les alevins, les valeurs minimales de présence de superficie drainée et de largeur mouillée sont supérieures à celles des tacons (figure 24).

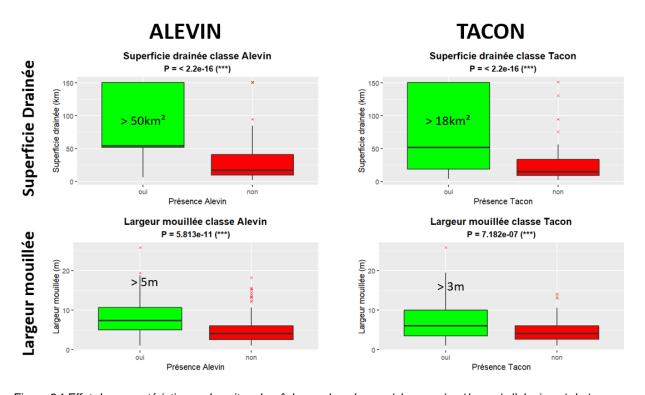


Figure 24 Effet des caractéristiques des sites de pêche sur la présence/absence (vert/rouge) d'alevins et de tacons, Superficie drainée et Largeur mouillée

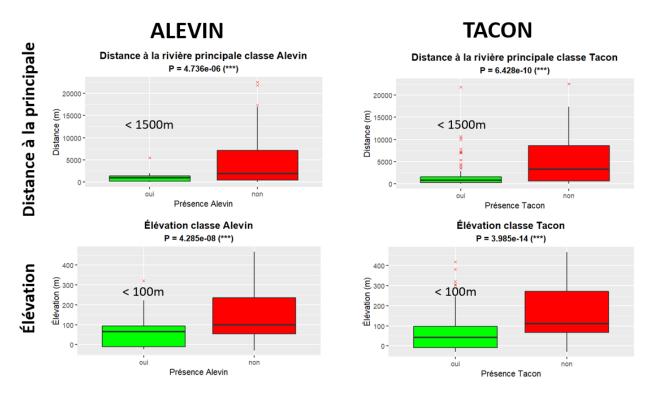


Figure 25 Effet des caractéristiques des sites de pêche sur la présence/absence (vert/rouge) d'alevins et de tacons, Distance à la principale et Élévation

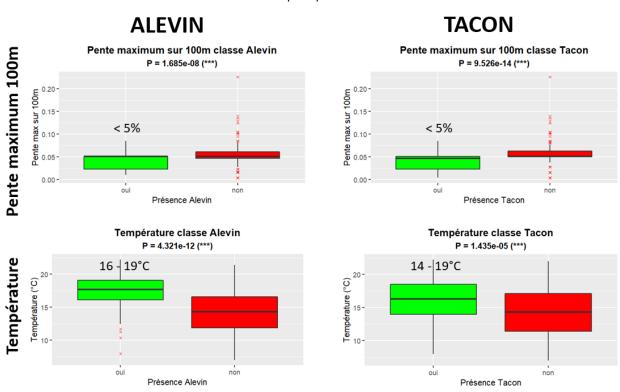


Figure 26 Effet des caractéristiques des sites de pêche sur la présence/absence (vert/rouge) d'alevins et de tacons, Pente maximum 100 m et Température

# 4.8 Modélisation de la présence/absence des juvéniles à l'échelle du site

#### 4.8.1 Élimination des variables redondantes

La base de données comprend plusieurs variables explicatives (i.e. prédicteurs) possiblement corrélés. La corrélation forte entre ces prédicteurs, appelé multicolinéarité, influence le choix de la sélection finale des variables. Le modèle accordera la même importance aux deux variables corrélées puisqu'elles présentent la même information. Ces variables redondantes n'ajoutent cependant pas d'informations pertinentes au modèle et ralentissent en même temps sa phase d'entrainement. L'élimination de ces paires de variables corrélées permet d'obtenir un modèle plus performant avec une meilleure combinaison de prédicteurs. La figure 27 présente la matrice de corrélation des prédicteurs utilisés (variables numériques).

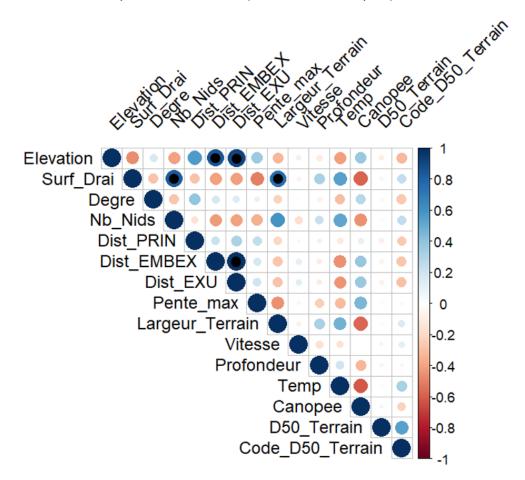


Figure 27 Matrice de corrélation des variables numériques candidates prédictives. En rouge, les corrélations négatives, en bleu, les corrélations positives. La taille du point témoigne de l'intensité (r) de la corrélation. Les points noirs indiquent les variables fortement corrélées (r >0.75)

L'élévation (Elevation) étant fortement corrélée avec la distance à l'exutoire (Dist\_EXU; r=0.91) ainsi qu'avec la distance tributaire/exutoire (Dist\_EMBEX; r=0.86), il a été décidé de ne conserver que la variable élévation (Elévation) car elle nous est apparue porteuse d'une information pertinente pour la prédiction de la présence des alevins et tacons. Ce choix s'est vu également approprié car la distance à l'exutoire (Dist\_EXU) et la distance tributaire/exutoire (Dist\_EMBEX) sont corrélées l'une avec l'autre (r=0.99).

La largeur (Largeur\_Terrain) et le nombre de nids à l'embouchure (Nb\_Nids) étant tout deux fortement corrélés avec la surface drainée (Surf\_Drai) (Surf\_Drai/Largeur\_Terrain ; r=0.77 - Surf\_Drai/Nb\_Nids ; r=0.83), nous avons choisi de conserver la variable superficie drainée (Surf\_Drai) car celle-ci peut être mesurée à partir des données LIDAR, contrairement aux deux autres variables qui sont issues de données terrain.

Pour identifier si des corrélations étant présentes entre les variables numériques et les deux variables binaires (présence d'un infranchissable permanent (Infran\_Permanent) et présence d'un infranchissable temporaire (Infran\_Temporaire)) des T-test ont été effectués. Les résultats de ces T-test entre les variables numériques et les deux variables binaires se sont révélées pour la majorité d'entre elles significatives (seuil alpha de 0.05). De part ces fortes corrélations, la présence d'un infranchissable permanent (Infran\_Permanent) et présence d'un infranchissable temporaire (Infran\_Temporaire) n'ont pas été retenues comme prédicteurs pour la modélisation de la présence/absence des alevins et des tacons à l'échelle du site.

#### 4.8.2 Modélisation de la présence/absence des alevins

Préalablement à la détermination du nombre et des variables à utiliser, la proportion de cas de présences et d'absences a été équilibrée par sous-échantillonnage. Pour les alevins, la proportion des données montrait initialement un débalancement puisque les présences ne constituaient que 24% du jeu de données total dans le cas du modèle complet et 26% du jeu de données dans le cas du modèle géomatique.

Pour l'élaboration du **modèle complet**, l'analyse de la contribution relative de chaque variable à la précision du modèle montre que le nombre de variables idéal est de 3, et que les variables les plus importantes sont : la **superficie drainée**, la **température** de l'eau et la **distance** séparant le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière (figure 28).

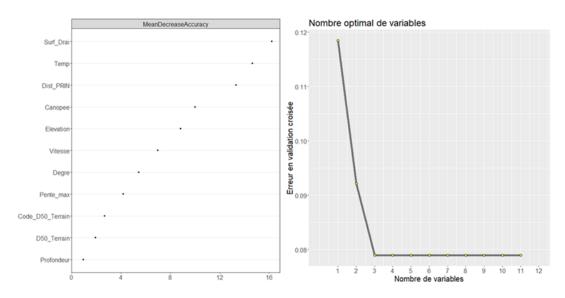


Figure 28 Représentation graphique de l'importance relative des variables et du nombre optimal de variables estimées pour les alevins en mode complet

Comme à l'étape précédente, le jeu de données d'entraînement a été balancé par souséchantillonnage préalablement à l'établissement du modèle. Fortement significatif, le modèle complet final pour les alevins permet d'atteindre une précision moyenne de 87%. Le modèle a permis d'obtenir une valeur d'aire sous la courbe ROC de 0.93, ce qui témoigne d'une excellente capacité prédictive du modèle. Cette bonne performance est également appuyée par la valeur de Kappa qui atteint 0.62.

Les matrices de confusion obtenues en entrainement et en validation, ainsi que la fonction d'efficacité du récepteur (ROC) sont présentées en figure 29.

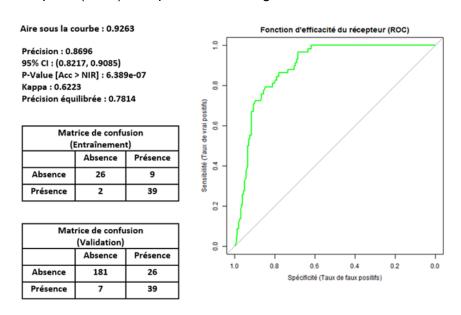


Figure 29 Synthèse de l'ajustement du modèle de forêt d'arbres décisionnels pour les alevins du modèle complet

Pour le **modèle géomatique**, l'analyse de la contribution de chacune des variables montre que le nombre de variables idéal est de 4, et que les variables les plus importantes sont : la **superficie drainée**, la **distance** séparant le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, la **pente maximale** sur 100 m entre le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, et l'**élévation** (figure 30).

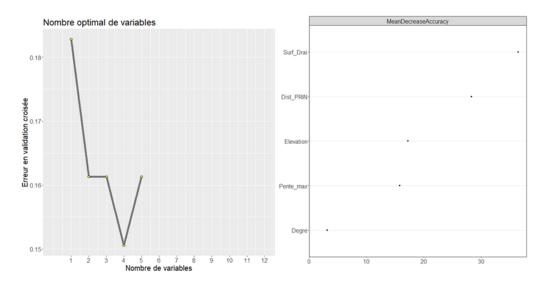


Figure 30 Représentation graphique de l'importance relative des variables et du nombre optimal de variables estimées pour les alevins en mode géomatique

Fortement significatif, le modèle géomatique pour les alevins permet d'atteindre une précision moyenne de 86%. Il performe donc légèrement moins bien que le modèle complet.

Le modèle a permis d'obtenir une valeur d'aire sous la courbe ROC de 0.91, ce qui témoigne d'une bonne capacité prédictive du modèle. La valeur Kappa de 0.61 se veut également témoin de la qualité du modèle.

Les matrices de confusion obtenues en entrainement et en validation, ainsi que la fonction d'efficacité du récepteur (ROC) sont présentées en figure 31.

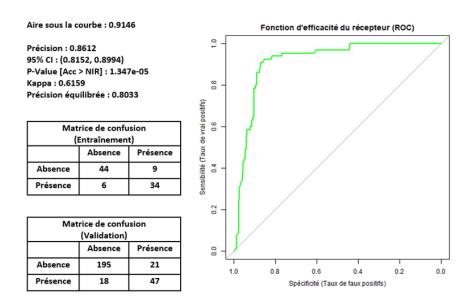


Figure 31 Synthèse de l'ajustement du modèle de forêt d'arbres décisionnels géomatique pour les alevins

#### 4.8.3 Modélisation de la présence/absence des tacons

Préalablement à la détermination du nombre et des variables à utiliser, le poids de chaque classe dans le jeu de données d'entraînement a été équilibré par sous-échantillonnage. Pour les tacons, la proportion des données montrait initialement un léger débalancement puisque les présences ne constituaient que 41% du jeu de données total dans le cas du modèle complet et modèle géomatique.

Pour le **modèle complet**, l'analyse de la contribution de chaque prédicteur à la précision du modèle indique que le nombre de variables idéal est de 5, et que les variables les plus importantes sont : la **superficie drainée**, la **distance** séparant le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, l'**élévation**, le **D50** donnée terrain et la **pente maximale** sur 100 m entre le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière (figure 32).

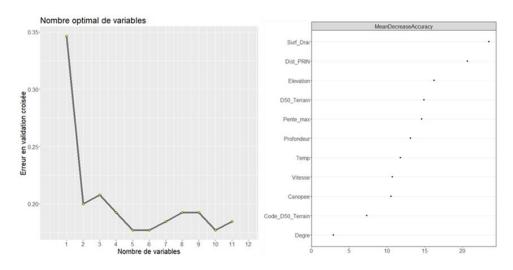


Figure 32 Représentation graphique de l'importance relative des variables et du nombre optimal de variables estimées pour les tacons en mode complet

Fortement significatif, le modèle final complet pour les tacons permet d'atteindre une précision de 78%. Le modèle a permis d'obtenir une valeur d'aire sous la courbe ROC de 0.84, ce qui témoigne d'une forte capacité prédictive du modèle. Cette excellente performance est également démontrée par la valeur Kappa qui atteint 0.54.

Les matrices de confusion obtenues en entrainement et en validation, ainsi que la fonction d'efficacité du récepteur (ROC) sont présentées à la figure 33.

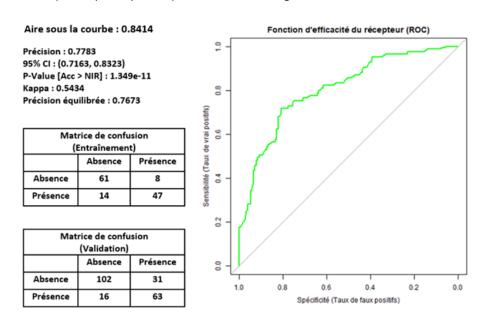


Figure 33 Synthèse de l'ajustement du modèle de forêt d'arbres décisionnels complet pour les tacons

Pour le **modèle géomatique**, l'analyse de la contribution des variables à la précision du modèle indique que le nombre de variables idéal est de 4, et que les variables les plus importantes sont

: la **superficie drainée**, la **distance** séparant le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, la **pente maximale** sur 100 m entre le site de pêche et la confluence avec le tronçon principal de la rivière, et l'**élévation** (figure 34). Le modèle géomatique est identique au modèle complet à l'exception de la variable de terrain D50 qui n'est plus présente.

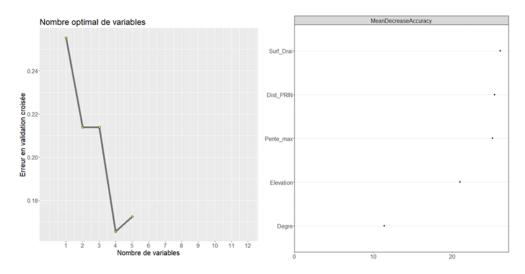


Figure 34 Représentation graphique de l'importance relative des variables et du nombre optimal de variables pour les tacons en mode complet

Fortement significatif, le modèle géomatique final pour les tacons permet d'atteindre une précision moyenne de 78%. Le modèle a permis d'obtenir une valeur d'aire sous la courbe ROC de 0.81, ce qui témoigne d'une bonne capacité prédictive du modèle. Cette bonne performance est également appuyée par la valeur Kappa qui atteint 0.52. Malgré l'absence de données de terrain, ce modèle offre une performance comparable à la version complète qui utilise des données in-situ.

Les matrices de confusion obtenues en entrainement et en validation, ainsi que la fonction d'efficacité du récepteur (ROC) sont présentées en figure 35.

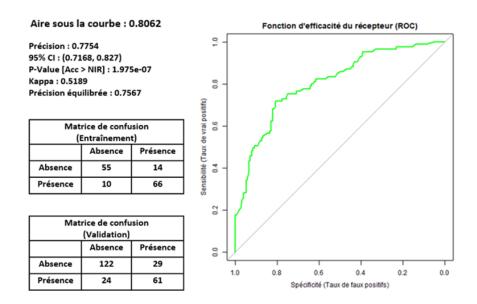


Figure 35 Synthèse de l'ajustement du modèle de forêt d'arbres décisionnels géomatique pour les tacons

## 4.9 Modèle de préférence d'habitat

Des courbes d'utilisation/disponibilité et des courbes de préférence ont été élaborées pour chacune des deux classes d'âge présentes (figure 36 à 41).

Concernant la variable profondeur d'eau, une préférence pour des profondeurs d'eau comprises entre 0.2 à 0.3 m est présente pour les alevins (figure 36). Des profondeurs d'eau comprises entre 0.3 et 0.5 m sont quant à elles préférées pour les tacons (figure 36).

Des préférences pour des faibles vitesses d'écoulement sont présentes pour les alevins (0 à 0.2 m/s) (figure 37). Les tacons quant à eux, présentent des préférences pour des vitesses d'écoulement légèrement supérieures comprises entre 0.1 et 0.5 m/s, à l'exception de la classe 0.2-0.3 m/s pour laquelle on observe un évitement significatif de la part des tacons (figure 37).

Des températures comprises entre 16 °C et 20 °C sont identifiées comme étant préférées par les alevins (figure 38). Concernant la classe d'âge tacon, on observe des préférences pour des températures comprises entre 14 °C et 20 °C (figure 38).

A propos des classes granulométriques, aucune réelle tendance n'est détectable sur les courbes de préférence (figure 39). On observe tout de même pour les alevins et les tacons une préférence significative pour la classe granulométrique Pierres grossières (128-256 mm) (figure 39).

Pour les courbes liées à la largeur mouillée, les juvéniles de saumon atlantique présentent de l'intérêt pour les largeurs mouillées au sein des tributaires supérieures à 4 m (figure 40). Le manque de données pour chaque classe de valeurs rend les résultats peu précis.

Enfin, les alevins comme les tacons montrent des préférences pour la classe de canopée 0 correspondant à des linéaires de cours d'eau n'ayant aucune couverture végétale (figure 41).

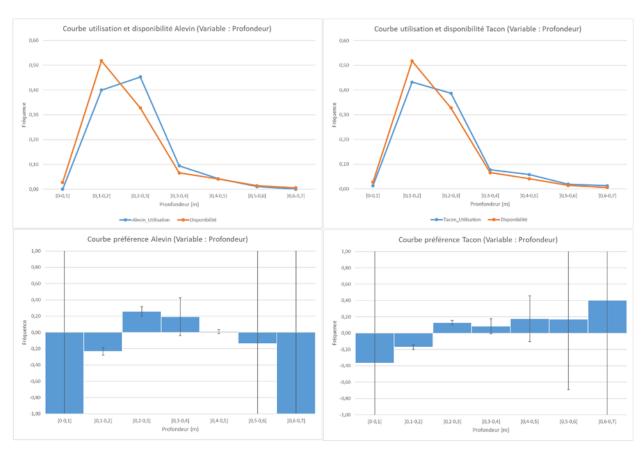


Figure 36 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Profondeur

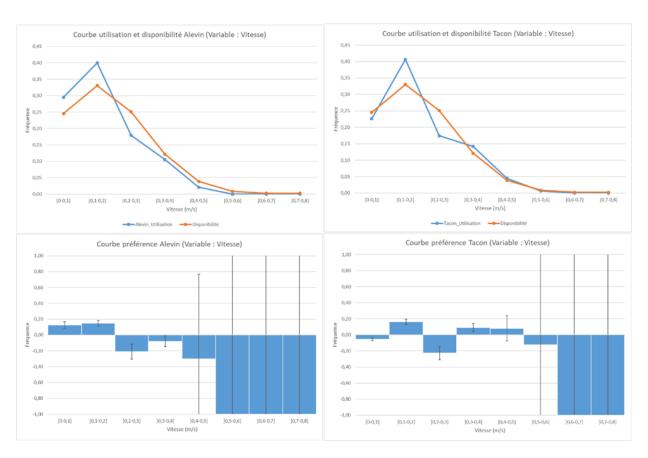


Figure 37 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Vitesse

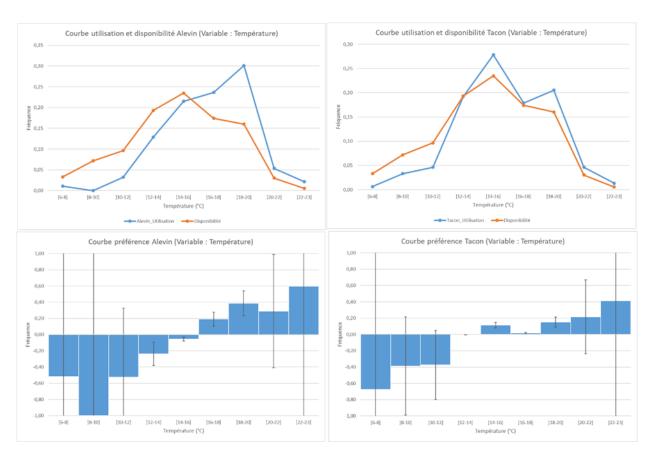


Figure 38 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Température

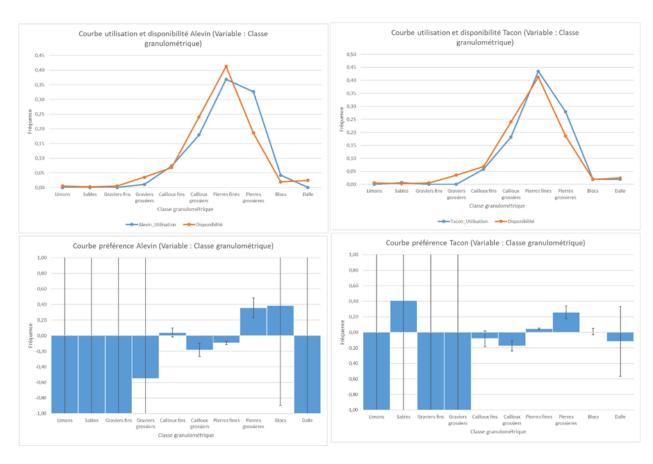


Figure 39 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Classe granulométrique

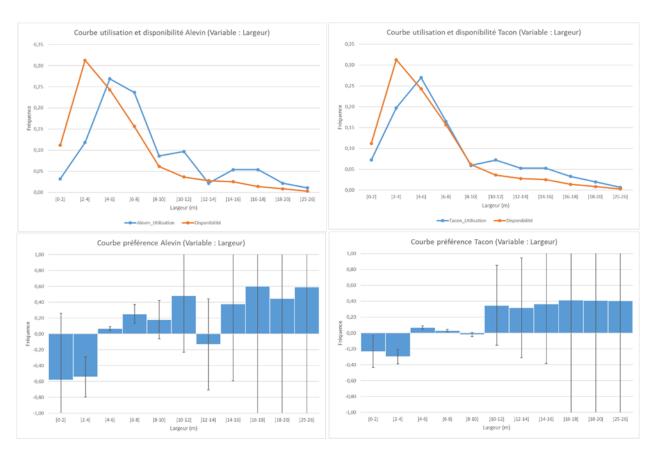


Figure 40 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Largeur mouillée

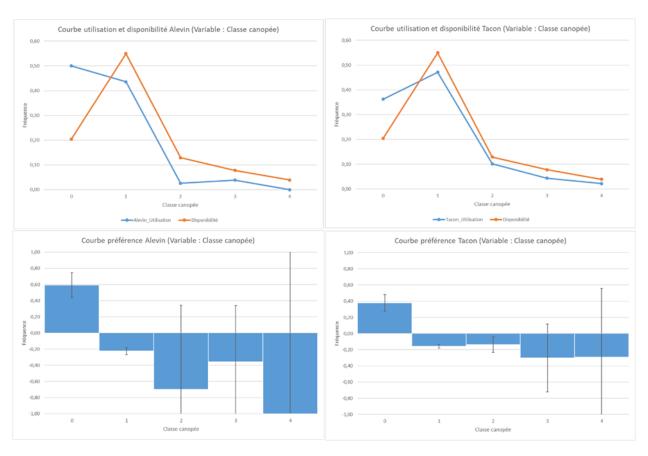


Figure 41 Courbes d'utilisation/disponibilité et de préférence pour les alevins et les tacons de saumon atlantique, variable : Canopée

## 5 DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

# 5.1 Les tributaires sont abondamment utilisés par le saumon atlantique

Les relevés de pêches électriques et les analyses d'ADNe effectués de 2018 à 2020 sur les tributaire des rivières Dartmouth, York et St-Jean ont mis en évidence une utilisation très importante des tributaires par les saumons juvéniles (alevin 14/72 (20%) et tacon 38/72 (50%) des tributaires prospectés) et une utilisation plus importante que décrite par les gestionnaires par les adultes pour la reproduction. C'est au stade alevin que l'utilisation des tributaires par les juvéniles est la plus restreinte. En raison de leur capacité de nage réduite lors de la première année de vie, les alevins ne sont habituellement retrouvés que sur les quelques premières centaines de mètres d'un tributaire se jetant dans le tronçon principal de la rivière à proximité d'une zone de fraie. Il est alors évident que la colonisation du tributaire s'est effectuée depuis le tronçon principal de la rivière par des alevins à la recherche des conditions de croissances favorables de ceux-ci. Cependant, la capture d'alevins très haut en amont sur 6 tributaires constitue une preuve irréfutable d'une reproduction active des saumons adultes sur ces cours d'eau. Bien qu'il soit connu que des activités de fraie se produisent de façon récurrente sur de gros tributaires comme la Petite Fourche sur la Dartmouth (ordre de Strahler 4) ou encore la Saint-Jean Ouest et la Saint-Jean Sud (ordre de Strahler 3), il apparait que de plus petits tributaires sont également utilisés (comme les ruisseaux Pas de Dame, Béchervrais, Jean-Louis et Louison sur le bassin de la Dartmouth, ou le ruisseau Patch sur la York) puisqu'on y retrouve des alevins à une distance plus grande que 100 m du tronçon principal de la rivière. La capture de tacons à plus de 5 km du tronçon principal de la rivière sur 13 des tributaires échantillonnés montre le fort intérêt des tacons pour les tributaires et laisse également présumer que de la reproduction pourrait se produire de façon sporadique sur certains tributaires. Bien qu'il soit possible que ces tacons aient migré depuis le tronçon principal de la rivière, il est également envisageable que ceux-ci résultent d'une fraie locale antérieur de 1 à 3 années. Les données ne permettent cependant pas de départager ces deux hypothèses.

En utilisant la distribution spatiale des présences confirmées de tacons sur les tributaires prospectés, les résultats indiquent qu'un minimum de 164 km de linéaire de tributaire (102 km sur la Dartmouth, 29.6 km sur la York et 32.4 km sur le Saint-Jean) est utilisée par le saumon sur l'ensemble des trois rivières à l'étude. Compte tenu que tous les tributaires n'ont pas pu être échantillonnés pour des questions d'accès et de temps, on peut supposer que la longueur de

tributaires utilisés est en fait beaucoup plus grande et qu'elle excède pour le moins la longueur totale du tronçon principal des rivières étudiées.

L'utilisation des données LIDAR a permis de construite des modèles de forêts d'arbres décisionnels géomatiques aussi compétitifs et précis que les modèles complets basés sur des données de terrain et des données géomatiques. Ce basant uniquement sur des données géomatiques issues des données LIDAR, ces modèles de forêts d'arbres décisionnels géomatiques sont donc dès à présent applicables sur l'ensemble des tributaires des trois bassins versants étudiés.

Sur les 35 échantillons d'ADNe, 25 ont été effectués en amont de trois sites consécutifs de pêche électrique, et sur ces 25 échantillons d'ADNe, 6 ont déclaré une présence de juvéniles de saumon atlantique. Ce résultat remet en cause la fiabilité du protocole pour déterminer la non utilisation d'un tributaire par les juvéniles de saumon atlantique ou la « Limite amont de présence confirmée » de juvénile de saumon sur un tributaire à partir de la méthode de pêche électrique. La validation du protocole par échantillonnage ADNe s'identifie comme la méthode la plus fiable pour décréter une absence certifiée. Celle-ci reste tout de même à utiliser en complément de la méthode par pêche électrique qui permet quant à elle de connaître la densité d'individus et les groupes d'âges présents.

En conséquence, nous formulons les recommandations suivantes :

- Revendiquer, auprès des autorités concernées, qu'une protection ou le statut de rivière à saumon soit accordé à toutes les sections de tributaires utilisées ou susceptibles de l'être par le saumon atlantique à quelque stade de vie que ce soit. Ceci permettrait d'appuyer la demande du maintien d'une bande riveraine de 60 m de large de part et d'autre de l'ensemble des cours d'eau nécessaire au saumon pour la réalisation de son cycle de vie.
- Effectuer les acquisitions de connaissances nécessaires à une meilleure évaluation de la reproduction sur les tributaires des trois rivières. Ceci pourrait être effectué par un inventaire de frayères ou par la capture et le dénombrement des géniteurs en montaison sur les tributaires à l'aide de filet trappes. De façon additionnelle, un suivi télémétrique des géniteurs permettrait l'identification de sites de fraie sur ces tributaires et la mise en place de mesures de protection de ces habitats de fraie.
- Utiliser les modèles de forêts d'arbres décisionnels géomatiques développés dans la présente étude afin de prédire la présence/absence des alevins et tacons sur les tributaires non-échantillonnés. Combinés aux relevés de pêche électrique et d'ADNe, les

résultats de cette modélisation compléteraient le portrait de la distribution spatiale des saumons juvéniles sur les trois rivières.

## 5.2 Limite de dispersion vers l'amont et gestion des obstacles au déplacement

L'analyse des sections de cours d'eau situées entre la « Limite amont de présence confirmée » et la « Limite amont d'absence détectée » a permis d'identifier la cause probable de limitation de la dispersion des saumons juvéniles vers l'amont sur chaque tributaire. Cette analyse repose sur l'identification visuelle sur le terrain des obstacles ou contraintes ainsi que sur le calcul géomatique de variables d'habitats et d'accès.

Concernant les causes possibles de la limite de dispersion des juvéniles de saumon vers l'amont, des résultats cohérents mais différents ont été obtenues pour les deux groupes d'âges analysés. Pour les alevins, la cause possible la plus présente est la distance, liée encore une fois à la capacité de nage de cette classe d'âge. Pour les tacons, les causes possibles prédominantes sont la taille du tributaire en lien avec la superficie drainée ainsi que l'accès lié à la présence d'un obstacle « Infranchissable permanent » ou d'une pente trop importante. Dans le cas des tacons, il est donc possible d'imaginer que la faible capacité de saut de ces derniers (échec de franchissement pour une chute supérieure à 0.10 m) soit l'élément altérant fortement sa dispersion vers l'amont au sein des tributaires (Baudoin et al. 2014; Katopodis and Gervais 2016).

La modélisation de la limite de dispersion des juvéniles de saumon atlantique vers l'amont à partir du filtre « pente 12% sur 100 m » issu des données LIDAR, présente des résultats très satisfaisants. Cette approche est applicable pour les trois bassins versants étudiés mais reste tout de même à valider à plus grande échelle avant de pouvoir être appliquée de manière systématique. En revanche, la récente acquisition des données LIDAR a permis d'avoir des résultats considérablement plus précis en termes d'évaluation de pente du cours d'eau. Les résultats basés sur les données LIDAR présentés dans cette étude sont encore à approfondir mais sont tout de même très prometteurs pour développer un outil de géomatique complet et robuste afin d'aider la gestion et la protection du saumon atlantique sur les rivières du Québec. En complément du critère de pente limitant la dispersion des juvéniles vers l'amont, les données LIDAR pourraient être utilisées pour identifier les autres types d'obstacles au déplacement des juvéniles vers l'amont (notamment ponceau et chute verticale). Un travail récent mené par le Gespe'gewaq Mi'gmaq Resource Council (GMRC), a notamment montrer l'efficacité et la fiabilité des données LIDAR et des outils SIG pour réaliser ce type d'analyse à l'échelle d'un bassin versant.

L'analyse des obstacles au déplacement a permis d'identifier les critères limitant la dispersion des juvéniles de saumons atlantiques vers l'amont et de les classer selon la possibilité d'y effectuer des interventions de gestion. Ceux où une gestion est à prioriser sont les ponceaux, ces derniers sont très nombreux et très souvent considérés comme « Infranchissable permanent ».

Les courbes de préférence d'habitat obtenues dans la présente étude sont globalement similaires à celles des études réalisées sur le sujet (Caron, Fontaine, and Picard 1999; Picard 1998; Stanley and Trial 1995). Il serait donc possible de compléter les courbes de préférence réalisées dans cette étude avec celles présentes dans la littérature pour construire un modèle de qualité d'habitat spécifique aux juvéniles présents dans les tributaires et ainsi détecter les linéaires à fort intérêt et ceux à faible intérêt pour les juvéniles de saumon atlantique. Ce modèle pourrait être utilisé sur les valeurs des différentes variables d'habitat, tirent des données LIDAR, du fait de leurs récentes acquisitions sur la zone d'études.

En conséquence, nous formulons les recommandations suivantes :

- Compléter les modèles de forêts d'arbres décisionnels géomatiques en appliquant le filtre « pente 12% sur 100 m » pour définir les limites des potentielles zones salmonicoles à protéger.
- Localiser et réaménager les ponceaux classés infranchissables, si possible en utilisant une approche de simulation de cours d'eau, afin de retrouver une libre circulation de l'eau et une libre circulation des poissons.
- Utiliser les courbes de préférences de cette étude et de la littérature ainsi que les données LIDAR pour calculer à partir des modèles de forêts d'arbres décisionnels géomatique les unités de productions en donnant une qualité de 0 à 1 pour chaque unité d'habitat.

### **6 BIBLIOGRAPHIE**

- AMEO-FQSA. 2011. "Diagnostic sectoriel sur la pêche sportive du saumon au Québec." In, 127. Québec: Fédération Québécoise du Saumon Atlantique pour le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.
- Baran, P, F Dauba, M Delacoste, and JM Lascaux. 1995. 'Essais d'évaluation quantitative du potentiel halieutique d'une rivière à Salmonidés à partir des données de l'habitat physique'.
- Bardonnet, Agnès, and Jean-Luc Baglinière. 2000. 'Freshwater habitat of Atlantic salmon (Salmo salar)', Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57: 497-506.
- Baudoin, Jean-Marc, Vincent Burgun, Matthieu Chanseau, Michel Larinier, Michaël Ovidio, William Sremski, Pierre Steinbach, and Bruno Voegtle. 2014. *Informations sur la Continuité Ecologique-ICE-Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes* (Onema, Paris, France).
- Belchik, MR. 2003. 'Use of thermal refugial areas on the Klamath River by juvenile salmonids; Summer 1998', *Yurok Tribal Fisheries Program Technical Report*, 36.
- Bergeron, Normand, and Francis Bérubé. 2016. "Jusqu'à la mer." In, https://vimeo.com/165436492.
- Beschta, Robert L, and William S Platts. 1986. 'Morphological Features Of Small Streams: Significance And Function 1', *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 22: 369-79.
- Bouchard, Judith. 2006. 'Modélisation de la qualité d'habitat estival des juvéniles de saumons atlantiques (Salmo salar) à l'échelle d'une rivière'.
- Bryant, MD, ND Zymonas, and BE Wright. 2004. 'Salmonids on the fringe: abundance, species composition, and habitat use of salmonids in high-gradient headwater streams, southeast Alaska', *Transactions of the American Fisheries Society*, 133: 1529-38.
- Caron, F., P.M. Fontaine, and S.É. Picard. 1999. "Seuil de conservation et cible de gestion pour les rivières à saumon (Salmo salar) du Québec." In, 48. Faune et Parcs Québec, Direction de la faune et des habitats.
- Coulombe-Pontbriand, M, and Michel Lapointe. 2004. 'Landscape controls on boulder-rich, winter habitat availability and their effects on Atlantic salmon (Salmo salar) parr abundance in two fifth-order mountain streams', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 648-58.
- Delacoste, M, P Baran, S Lek, and JM Lascaux. 1995. 'Classification et clé de détermination des faciès d'écoulements en rivières de montagne', *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*: 149-56.
- DeVries, P., and D. Reiser. 2007. "GIS-Analysis Criteria for Upstream Distribution Limit of Steelhead." In *SWRCB Instream Flow Policy*, edited by Technical Memorandum, 3. R2 resource consultants.
- Dwyer, William P, and Robert G Piper. 1987. 'Atlantic salmon growth efficiency as affected by temperature', *The Progressive Fish-Culturist*, 49: 57-59.
- Eisenhauer, Zachary J, Paul M Christman, Jean-Michel Matte, William R Ardren, Dylan J Fraser, and James WA Grant. 2021. 'Revisiting the restricted movement paradigm: the

- dispersal of Atlantic salmon fry from artificial redds', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78: 493-503.
- Elliott, JM. 1991. 'Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, Salmo salar', *Freshwater Biology*, 25: 61-70.
- Enders, Eva C, Morten Stickler, Curtis J Pennell, David Cote, Knut Alfredsen, and David A Scruton. 2007. 'Habitat use of Atlantic salmon parr (Salmo salar L.) during winter', *Proc.* 14th Wksp. on River Ice: 20-22.
- Erkinaro, J. 1995. 'The age structure and distribution of Atlantic salmon parr, Salmo salar L., in small tributaries and main stems of the subarctic River Teno, northern Finland', *Ecology of freshwater fish*, 4: 53-61.
- Erkinaro, Jaakko, and Eero Niemelä. 1995. 'Growth differences between the Atlantic salmon parr, Salmo salar, of nursery brooks and natal rivers in the River Teno watercourse in northern Finland', *Environmental Biology of Fishes*, 42: 277-87.
- Fey, L., J.P. Corolla, and V. Maliet. 2018. 'Salmo salar Linnaeus', DORIS, Accessed 15 mai 2020. https://doris.ffessm.fr/ref/specie/769.
- FQSA-DGR. 2012. "Développement de stratégies et de modalités de protection de l'habitat du saumon atlantique dans un contexte de gestion intégrée faune-forêt." In, 142. Québec: Fédération Québécoise pour le Saumon Atlantique
- FQSA. 2017. "La conservation du saumon et la gestion intégrée des ressources en forêt Comprendre pour mieux participer à la planification forestière." In, 21. Québec: Fédération Québécoise pour le Saumon Atlantique
- Gibson, R John, and Richard E Cutting. 1993. *Production of Juvenile Atlantic Salmon, Salmo salar, in Natural Waters Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences No. 118* (NRC Research Press).
- Heggenes, Jan. 1990. 'Habitat utilization and preferences in juvenile Atlantic salmon (Salmo salar) in streams', *Regulated Rivers: Research & Management*, 5: 341-54.
- Heggenes, Jan, and Tor Traaen. 1988. 'Daylight responses to overhead cover in stream channels for fry of four salmonid species', *Ecography*, 11: 194-201.
- Huntingford, FA, NB Metcalfe, and JE Thorpe. 1988. 'Choice of feeding station in Atlantic salmon, Salmo salar, parr: effects of predation risk, season and life history strategy', *Journal of Fish Biology*, 33: 917-24.
- Jacobs, Jürgen. 1974. 'Quantitative measurement of food selection', Oecologia, 14: 413-17.
- Johnston, Patricia. 2002. 'Facteurs de l'habitat physique influençant le comportement et la croissance des saumons atlantiques juvéniles (Salmo salar) des rivières Petite rivière Cascapédia et Bonaventure (Gaspésie, Québec)', Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- Katopodis, C, and R Gervais. 2016. Fish swimming performance database and analyses (Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS)).
- Keith, Philippe, Henri Persat, Éric Feunteun, and Jean Allardi. 2011. Les poissons d'eau douce de France (Biotope).
- Landis, J Richard, and Gary G Koch. 1977. 'The measurement of observer agreement for categorical data', *biometrics*: 159-74.

- Latulippe, Christian, Michel F Lapointe, and Tracey Talbot. 2001. 'Visual characterization technique for gravel-cobble river bed surface sediments; validation and environmental applications Contribution to the programme of CIRSA (Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Saumon Atlantique)', *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26: 307-18.
- Magnuson, John J, Larry B Crowder, and Patricia A Medvick. 1979. 'Temperature as an ecological resource', *American Zoologist*, 19: 331-43.
- Malavoi, Jean-René. 1989. 'Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie', *Bull. fr. pêche piscic*, 315: 189-210.
- Malavoi, JR, and Yves Souchon. 2002. 'Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière: clé de détermination qualitative et mesures physiques', *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*: 357-72.
- MDDELCC. 2017. "Guide de caractérisation physicochimique de l'état initial du milieu aquatique avant l'implantation d'un projet industriel." In, 12. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement.
- MFFP. 2013. "Détermination de la limite supérieure de l'habitat utilisé par le saumon atlantique dans les cours d'eau." In, 19. Jonquière: Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Ministère des Ressources Naturelles, Direction de l'Expertise 02.
- 2016. "Plan de gestion du saumon atlantique 2016-2026." In, 40. Québec: Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique.
- ——. 2019. "Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2018." In, 302. Québec: Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur de la faune.
- Monk, Wendy A, Nathan M Wilbur, R Allen Curry, Rolland Gagnon, and Russell N Faux. 2013. 'Linking landscape variables to cold water refugia in rivers', *Journal of environmental management*, 118: 170-76.
- MPO. 2018. 'Saumon de l'Atlantique (population de la Gaspésie et du sud du Golfe Saint-Laurent UD12)', Pêches et Océans Canada, Accessed 15 mai 2020. <a href="https://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profiles-profiles-grofiles-profiles-profiles-grofile
- 2019. 'Rechercher les espèces aquatiques en péril', Pêches et Océans Canada Accessed 15 mai 2020. <a href="https://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/sara-lep/identify-fra.html">https://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/sara-lep/identify-fra.html</a>.
- Newcombe, Charles P, and D Donald MacDonald. 1991. 'Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems', *North American journal of fisheries management*, 11: 72-82.
- OBV-Saguenay. 2013. "Caractérisation des bandes riveraines de la rivière à Mars." In, 46. Saguenay: Organisme de Bassin Versant du Saguenay pour la ville de Saguenay.
- Øklamd, F, J Erkinaro, K Moen, E Niemelä, P Fiske, RS McKinley, and EB Thorstab. 2001. 'Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: phases of migratory behaviour', *Journal of Fish Biology*, 59: 862-74.
- Picard, Serge-Eric. 1998. "Elaboration d'un indice de qualité d'habitat (IQH) caractérisant les aires de croissance des juvéniles de saumon atlantique (*Salmo Salar*) pour les rivières du Québec." In, 42. Rimouski: Université du Québec

- Pickering, AD, R Griffiths, and TG Pottinger. 1987. 'A comparison of the effects of overhead cover on the growth, survival and haematology of juvenile Atlantic salmon, Salmo salar L., brown trout, Salmo trutta L., and rainbow trout, Salmo gairdneri Richardson', *Aquaculture*, 66: 109-24.
- Pirolley, Alexandre. 2020. "Méthodologie état des lieux et diagnostic des ponceaux dans le Nunavik." In, 20. Québec: Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement.
- Pomerleau, C, Y Côté, and JG Migneault. 1980. 'Repertoire des données relatives aux populations de saumon atlantique Salmo salar des rivières de la région du Bas Saint-Laurent et de la Gaspésie', *Canada: Ministère du Loisir, Chasse et Pêche Québec*.
- Roy, M., and N. Bergeron. 2016. "Caractérisation de l'habitat physique des rivières pour la gestion du saumon atlantique." In, 87. Québec: Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement pour le Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs Direction de l'expertise sur la faune aquatique.
- Sorensen, Darwin L, Margaret Mary McCarthy, E Joe Middlebrooks, and Donald B Porcella. 1977. 'Suspended and dissolved solids effects on freshwater biota: a review'.
- Stanley, Jon G, and Joan G Trial. 1995. *Habitat suitability index models: nonmigratory freshwater life stages of Atlantic salmon* (US Department of the Interior, National Biological Service).
- Strauss, Richard E. 1979. 'Reliability estimates for Ivlev's electivity index, the forage ratio, and a proposed linear index of food selection', *Transactions of the American Fisheries Society*, 108: 344-52.
- Wasson, Jean-Gabriel, Jean-René Malavoi, and Laurence Maridet. 1998. *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières* (Editions Quae).
- Watt, WD, CD Scott, and W Jo White. 1983. 'Evidence of acidification of some Nova Scotian Rivers and its impact on Atlantic Salmon, Salmo solar', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 462-73.
- WDFW. 2009. "Fish Passage and Surface Water Diversion Screening Assessment and Prioritization Manual." In, edited by Washington Department of Fish and Wildlife, 240. Olympia, Washington.
- Wentworth, Chester K. 1922. 'A scale of grade and class terms for clastic sediments', *The journal of geology*, 30: 377-92.