

**Caractérisation des traverses de cours d'eau de quatre bassins
versants de rivières à saumon atlantique (*Salmo salar*)
de la Baie des Chaleurs (Gaspésie)**

- Travaux réalisés à l'été 2019

**Louis-Philippe Caron et
Élie-Merlin Mercier-Ouellet**

Février 2020

Présenté pour

L'Association des pêcheurs sportifs de la rivière Bonaventure Inc.
La société de restauration de la rivière Cascapédia
La ZEC de la rivière Petite Cascapédia
La société de restauration et de gestion de la Nouvelle Inc.

En collaboration avec

Le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP)
La Table de Gestion Intégrée des Ressources et du Territoire (TGIRT) de la Gaspésie

RÉSUMÉ

La création de chemins par la voirie forestière permet l'accès au territoire pour une multitude d'utilisateurs. Pour permettre cet accès, plusieurs structures sont mises en place pour franchir les cours d'eau. Ces structures sont d'ailleurs reconnues par plusieurs études comme ayant un impact négatif pour le poisson et son habitat. Il existe toutefois très peu d'information concernant les traverses de cours d'eau des bassins versants de quatre rivières à saumon d'envergure la Baie des Chaleurs. Cette étude vise donc la caractérisation des traverses de cours d'eau du bassin versant de la rivière Nouvelle, Cascapédia, petite Cascapédia et Bonaventure. Les données serviront d'outil de gestion pour les différents gestionnaires des Zecs de rivière à saumon. Un total de 739 traverses a été réalisé pour l'ensemble des quatre rivières. Cette caractérisation a permis de décrire physiquement les traverses et de définir l'état général, le pourcentage d'obstruction et le type d'obstruction. L'inventaire montrait aussi que les types d'érosion principalement rencontrée comprenaient l'érosion du chemin, du remblai et des berges du cours d'eau. Cet apport de sédiment dans le cours d'eau provient notamment du ruissellement de l'eau de pluie sur la chaussée, d'une mauvaise installation des infrastructures et d'un mauvais entretien. Les déficiences d'entretien les plus souvent observées sont au niveau des bassins de sédimentation et des digues. Avec les données recueillies, il était possible d'employer le filtre de Coffman pour déterminer la perméabilité des ponceaux. Cette information a ensuite permis de déterminer la perte d'habitat associée à cette fragmentation et de cibler les traverses les plus problématiques pour chaque rivière. Il va sans dire que la réduction de la dégradation des cours d'eau passe par de saines pratiques d'installation et d'entretien des infrastructures présentes sur le réseau routier forestier.

Mot clé : traverses, ponceaux, fragmentation, perte d'habitat, condition, obstruction, érosion, entretien, modification de cours d'eau, perméabilité.

ABSTRACT

The creation of paths through the forest road allows access to the territory for many users. To allow this access, several structures are put in place to cross small streams. These structures are recognized by several studies for having a negative impact on fish and their habitat. There is, however, very little information regarding small streams crossings of the watersheds of four major salmon rivers Baie des Chaleurs (Gaspésie, Québec). This study therefore aims to characterize small streams crossings of the Nouvelle, Cascapédia, petite Cascapédia and Bonaventure river watershed. The data will serve as a management tool for the various managers of the salmon river Zecs. A total of 739 crossings were characterize for all four rivers. This characterization made it possible to physically describe the sleepers and to define the general condition, the percentage of obstruction and the type of obstruction. The inventory also showed that the types of erosion mainly encountered included erosion of the road, embankment and the creation of banks of the river. This addition of sediment to small stream comes particularly from the runoff of rainwater on the roadway, poor installation of infrastructures and poor maintenance. The maintenance deficiencies observed are in the sedimentation pool and dykes. With the data collected, it was possible to use the Coffman filter to determine the permeability of culverts. This information then made it possible to determine the habitat loss associated with this fragmentation and to target the most problematic crossings for each river. It goes without saying that reducing the deterioration of watercourses requires sound installation and maintenance practices for the infrastructures present on the forest road network.

Keyword: ties, culverts, fragmentation, loss of habitat, condition, obstruction, erosion, maintenance, modification of watercourse, permeability.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES ANNEXES	IX
1. INTRODUCTION.....	1
1-1. RÉSUMÉ DE LA BIOLOGIE.....	1
1-2. FRAGMENTATION ET PERTE D’HABITAT	2
1-3. RÉSEAU FORESTIER ET TRAVERSES DE COURS D’EAU	2
1-4. IMPACTS DES PONCEAUX	3
<i>Ponceaux flexibles</i>	<i>4</i>
<i>Ponceaux rigides.....</i>	<i>5</i>
1-5. SÉDIMENTATION.....	5
1-6. OBJECTIFS.....	6
2. MÉTHODOLOGIE.....	7
2-1. AIRE D’ÉTUDE.....	7
2-2. SÉLECTION DES TRAVERSES	8
2-3. CARACTÉRISATION DES TRAVERSES.....	9
<i>Mise en contexte.....</i>	<i>9</i>
<i>Formulaire de saisie</i>	<i>9</i>
<i>Paramètres de saisie.....</i>	<i>9</i>
2-4. INDICE DE PERMÉABILITÉ	11
2-5. CALCUL DE LA PERTE D’HABITAT POTENTIEL	13
3. RÉSULTATS	13
3-1. MISE EN CONTEXTE	13
3-2. RIVIÈRE NOUVELLE.....	13
<i>État global des traverses de cours d’eau.....</i>	<i>13</i>
<i>Problématiques</i>	<i>14</i>
<i>Accessibilité du territoire à l’ichtyofaune.....</i>	<i>17</i>
3-3. RIVIÈRE CASCAPÉDIA.....	18
<i>État global des traverses de cours d’eau.....</i>	<i>18</i>
<i>Problématiques</i>	<i>20</i>
<i>Accessibilité du territoire à l’ichtyofaune.....</i>	<i>23</i>
3-4. RIVIÈRE PETITE CASCAPÉDIA.....	25
<i>État global des traverses de cours d’eau.....</i>	<i>25</i>
<i>Problématiques</i>	<i>25</i>
<i>Accessibilité du territoire à l’ichtyofaune.....</i>	<i>27</i>
3-5. RIVIÈRE BONAVENTURE	30

<i>État global des traverses de cours d'eau</i>	30
<i>Problématiques</i>	30
<i>Accessibilité du territoire à l'ichtyofaune</i>	33
4. DISCUSSION	35
4-1. CONDITION DES INFRASTRUCTURES	35
<i>Généralité</i>	35
<i>Type d'infrastructure</i>	36
<i>Type de matériaux</i>	37
4-2. IMPACT DES INFRASTRUCTURES	37
<i>Érosion et entretien</i>	37
<i>Modification du cours d'eau</i>	39
4-3. FRAGMENTATION ET PERTE D'HABITATS	40
4-4. RECOMMANDATIONS	42
5. CONCLUSION	43
REMERCIEMENTS	45
RÉFÉRENCES	46
ANNEXES	54

Liste des tableaux

Tableau 1.	Condition de l'infrastructure des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)	14
Tableau 2.	Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019.....	15
Tableau 3.	Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019.....	16
Tableau 4.	Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019.....	16
Tableau 5.	Condition de l'infrastructure des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178).....	20
Tableau 6.	Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	21
Tableau 7.	Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	22
Tableau 8.	Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	22
Tableau 9.	Condition des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88).....	25
Tableau 10.	Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	26
Tableau 11.	Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	27
Tableau 12.	Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	27
Tableau 13.	Condition des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et du libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)	30
Tableau 14.	Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)	31
Tableau 15.	Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)	32
Tableau 16.	Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176).	32

Liste des figures

Figure 1.	Localisation du bassin versant des rivières Nouvelle, Cascapédia, Petite Cascapédia et Bonaventure (Gaspésie, Québec).....	8
Figure 2.	Schéma transversal d'un ponceau installé sous remblai et présentant les différentes mesures prises lors de la caractérisation des traverses de cours d'eau. 1- largeur; 2- longueur; 3- dénivellation; 4- hauteur de la chute/cascade; 5- Profondeur de l'eau amont/aval.....	10
Figure 3.	Organigramme décisionnel du modèle prédictif du succès de passage des salmonidés juvéniles qui classifie les ponceaux en trois catégories (franchissable, infranchissable ou indéterminé) en fonction de leurs paramètres physiques (la présence de substrat naturel dans le ponceau, le retour d'eau dans le ponceau, la hauteur de seuil en aval du ponceau, la pente du ponceau et sa longueur).....	12
Figure 4.	Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)	15
Figure 5.	Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)	17
Figure 6.	Perte d'habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissable observés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	19
Figure 7.	Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178).....	21
Figure 8.	Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178).....	23
Figure 9.	Perte d'habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissable observés dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	24
Figure 10.	Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88)	26
Figure 11.	Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88)....	28
Figure 12.	Perte d'habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissable observés dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec)	29

Figure 13.	Évaluation à vue du pourcentage d’obstruction et du type d’obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l’été 2019 (n = 176).....	31
Figure 14.	Descripteur indépendant temporel et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l’été 2019 (n = 176)	33
Figure 15.	Perte d’habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissable observés dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l’été 2019.....	34

Liste des annexes

Annexe 1.	Script statistique du modèle prédictif de Coffman (2005) pour prédire la perméabilité d'un ponceau quant au passage du poisson avec exemple de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec)	54
Annexe 2.	Localisation des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec)	56
Annexe 3.	Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec)	57
Annexe 4.	Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec)	58
Annexe 5.	Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec)	59
Annexe 6.	Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 81) *	60
Annexe 7.	Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 144) *	62
Annexe 8.	Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 67) *	66
Annexe 9.	Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec; n = 86) *	68
Annexe 10.	Sélection des ponceaux problématiques non perméables nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	70
Annexe 11.	Sélection des ponceaux problématiques non perméables nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	71
Annexe 12.	Sélection des ponceaux problématiques non perméables nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	73
Annexe 13.	Sélection des ponceaux problématiques non perméables nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019	75
Annexe 14.	Descriptif des interventions et des aménagements des chemins forestiers et des traverses de cours d'eau (tiré de Latrémouille et al., 2014)	77

1. INTRODUCTION

1-1. Résumé de la biologie

Le saumon atlantique (*Salmo salar*) est une espèce anadrome utilisant un habitat vaste et diversifié (Bernatchez et Giroux, 1991; Ass *et al.*, 2011; Thorstad *et al.*, 2011). Il migre en mer durant une partie de son cycle vital afin d'effectuer sa phase de croissance (Bernatchez et Giroux, 1991; Webb *et al.*, 2007). Ce comportement migratoire se retrouve aussi chez d'autres espèces de salmonidés, dont l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Chez ce dernier, il existe des populations qui vivent exclusivement en eaux douces et d'autres ayant aussi un comportement anadrome (Bernatchez et Giroux, 1991).

Le saumon atlantique est une espèce itéropare qui a la capacité de se reproduire plusieurs fois au cours de sa vie, et ce, jusqu'à plus de sept reprises. Toutefois, en raison de mortalités par la prédation, de maladies ou d'épuisement de leur réserve énergétique, ces derniers ne se reproduisent généralement qu'une seule fois (Fleming, 1996). Le cycle de vie du saumon est composé d'une phase juvénile en eaux douces, suivies d'une longue migration en mer pour s'alimenter et se développer, pour finalement revenir en rivière se reproduire (Bernatchez et Giroux, 1991; Ass *et al.*, 2011). Suite au dépôt des œufs, certains adultes retournent en eau salée alors que d'autres persistent tout l'hiver en rivière (Webb *et al.*, 2007; Thorstad *et al.*, 2011). L'éclosion des œufs et l'émergence des alevins vésiculés surviennent au printemps. Après la résorption du sac vitellin, les alevins ont une capacité de déplacement limité autour du site de ponte (Lapointe *et al.*, 2004).

C'est durant leur croissance en rivière, qui peut durer jusqu'à 8 ans (Ass *et al.*, 2011), que les juvéniles utilisent une hétérogénéité d'habitats sur une vaste échelle spatiale et temporelle pour combler leurs besoins d'alimentation et d'abris (Northcote, 1978; Northcote, 1984; Finstad *et al.*, 2011). Parmi les habitats utilisés, on retrouve des rapides abrupts, des zones littorales végétalisées et caillouteuses des lacs, des estuaires, des rapides peu profonds à écoulement vif, des fosses profondes à débit lent dans le tronçon principal, ou encore, de petits ruisseaux en tête de bassin (Ass *et al.*, 2011). Ces derniers sont reconnus pour offrir des habitats de grande qualité pour les juvéniles (Huntsman, 1945; Curry *et al.*, 1993; Erkinaro *et al.*, 1997; Erkinaro *et al.*, 1998; Wipfli et Gregovich, 2002). Ces habitats offrent une abondance de proies (Erkinaro *et al.*, 1995; Wipfli et Gregovich, 2002), des refuges thermiques et un risque de prédation moindre (Dugdale *et al.*, 2016).

Les jeunes doivent avoir la possibilité de se déplacer et de migrer d'un habitat spécifique à un autre. Ils peuvent se déplacer sur de longues distances pour combler leurs besoins (Armstrong *et al.*, 1999; Gowan *et al.*, 2002; Rodríguez, 2002) et l'utilisation du territoire par les individus d'une même

population peut être variable (Bujold, 2010; Pépino *et al.*, 2012). Il est donc essentiel de conserver la connectivité des habitats (Schlosser, 1991).

1-2. Fragmentation et perte d'habitat

De par une densité importante à l'échelle du paysage forestier, le système routier constitue l'une des causes principales de fragmentation et de perte d'habitats naturels (Torterotot, 2014). Plus précisément, la fragmentation engendre une modification du paysage en le découpant en une multitude d'habitats de plus petite taille, menant à une séparation physique des populations (Trombulak et Frissell, 2000; Torterotot, 2014). La perte d'habitat, quant à elle, se décrit comme étant les dommages et la dégradation résultant en un retrait d'habitats de qualité. À l'échelle d'un cours d'eau, certains obstacles naturels comme la présence d'embâcle de bois, de chute ou de barrage de castor peuvent limiter, voir empêcher, la libre circulation du poisson (i.e. Therrien, 1997; Park *et al.*, 2008; Morin, 2012). De plus, les activités anthropiques comme la construction de barrages et de digues, ainsi que les activités forestières ont des impacts importants sur les habitats aquatiques, notamment par la présence d'infrastructures qui croisent les cours d'eau (Gibson *et al.*, 2005; Pépino *et al.*, Latrémouille *et al.*, 2014; Paradis-Lacombe et Jutra, 2016).

1-3. Réseau forestier et traverses de cours d'eau

Les chemins forestiers sont essentiels pour permettre l'accès aux ressources à la population et aux industries. Ils peuvent autant servir d'accès à des zones de loisirs comme la randonnée, le camping, la cueillette, la pêche, la chasse, que pour les activités minières, éoliennes et forestières. Ils permettent de répondre à une multitude de besoins pour la communauté et peuvent même avoir une valeur culturelle. Ils ont aussi pour avantage d'être un acteur socio-économique en créant des emplois pour leur conception et leur entretien (Desmarais, 2012). Des installations de ponts, arches et ponceaux à l'intersection des chemins et des cours d'eau sont créées afin de soutenir la route et de limiter l'entrave à la libre circulation du poisson par (Gagnon-Poiré, 2017). Toutefois, ces infrastructures peuvent créer un impact sur la libre circulation du poisson par l'effet d'une barrière physique (Goerig, 2016; Gagnon-Poiré, 2017). Si tel est le cas, ils empêchent la colonisation des habitats situés en amont par les poissons migrateurs, notamment le saumon atlantique au stade juvénile (Goerig, 2016; Gagnon-Poiré, 2017). En plus, cela contribue à un isolement génétique des populations (Torterotot, 2014). La capacité de nage des juvéniles peut être affectée par les

conditions hydrauliques de la structure telles la pente (Warren *et al.*, 1998; Coffman, 2005; Burford *et al.*, 2009; Poplar-Jeffers *et al.*, 2009), la longueur (Warren *et al.*, 1998; Coffman, 2005; Burford *et al.*, 2009; Poplar-Jeffers *et al.*, 2009), la profondeur d'eau (Lapointe *et al.*, 2004) ou la présence d'une chute en aval (Park *et al.*, 2008). L'installation adéquate et l'entretien des traverses de cours d'eau sont donc essentiels à leur perméabilité (Kemp *et al.*, 2010; Lacombe *et al.*, 2016). Si elles sont obstruées par des débris végétaux et/ou des sédiments, elles pourraient avoir un impact sur le déplacement du poisson (Gagnon-poiré, 2017).

1-4. Impacts des ponceaux

Des recherches portant sur l'état et la condition des infrastructures montrent un constat négatif au niveau de la perméabilité des traverses pour l'ichtyofaune (Poplar-Jeffers *et al.*, 2009, Makrakis *et al.*, 2012). Cette perméabilité serait d'ailleurs moindre dans les ponceaux que dans les structures en arche ou les ponts (Warren *et al.*, 1998). De plus, l'évaluation des ponts, sauf exception du tablier, doit être réalisée par des professionnels qualifiés. Les ponts retrouvés sur les terres du domaine de l'État sont sous la propriété du Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN) qui est responsable de leur analyse et de leur entretien (Latrémouille *et al.*, 2014). Avec l'utilisation de ponceaux sur le réseau routier forestier, les impacts sur l'habitat et les cours d'eau sont plus nombreux, notamment les apports de sédiments dans le milieu aquatique causant de la perte d'habitat et de la fragmentation (Warren *et al.*, 1998; Gibson *et al.*, 2005). Malgré tout, leur faible coût et leur résistance aux débits élevés en font des structures davantage utilisées dans le paysage forestier. C'est pourquoi les ponceaux sont davantage abordés dans cette étude.

Les ponceaux retrouvés en territoire forestier sont construits avec différents matériaux : acier, plastique, béton et bois. Le type de matériau sélectionné peut influencer la durée de vie de l'infrastructure et le succès de passages des espèces piscicoles en modifiant, entre autres, le régime hydrique, la composition du lit, la largeur du cours d'eau, la profondeur d'eau, la pente, la vitesse d'écoulement ou par la création d'une fosse en aval. Concernant la vitesse d'écoulement, certains ponceaux étant plus lisses cela occasionne moins de friction et augmente donc la vitesse d'écoulement (Pépino *et al.*, 2012). Puisque les impacts peuvent être nombreux, la saine installation des ponceaux est documentée en détail dans le « *Manuel de conception des ponceaux du Ministère du Québec* » rédigé par le Ministère des Transports du Québec (MTQ, 2014) et dans le *Guide pour l'aménagement des ponts et des ponceaux dans le milieu forestier* écrit par le Ministère des Ressources Naturelles (MRNF, 1997). De plus, anciennement régie par le « *Règlement sur les normes d'intervention forestière dans les forêts du domaine public* » (RNI), l'installation des ponceaux sur le territoire doit désormais répondre aux exigences du « *Règlement sur*

l'aménagement durable des forêts » (MFFP, 2019). Les ponceaux doivent aussi respecter les normes de la « *Loi sur les pêches* » de Pêches et Océans Canada dont l'objectif est de préserver l'habitat de l'ichtyofaune (Gagnon-Poiré, 2017).

Ponceaux flexibles

Les ponceaux en acier et en plastique sont considérés comme des structures flexibles puisqu'elles peuvent se déformer sans avoir de dommages majeurs (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Ces ponceaux sont d'ailleurs supportés par le sol entourant la structure. Selon la dimension du substrat environnant, des éléments grossiers à proximité et d'une saine installation, les structures peuvent facilement être abimées par l'extérieur par différentes forces en jeux (Paradis Lacombe et Jutras, 2016).

Les ponceaux en acier représentent la majorité des structures observées sur les chemins forestiers du Québec (Ministère du Transport du Québec - MTQ, 2012; Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Fabriqués à partir de tôle d'acier galvanisée ondulée, ils sont apparus dans les années 1960 (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Ces infrastructures commencent à présenter des signes d'usures évidents après 20 ans d'installation, mais qu'ils ont une durée de vie moyenne de 25 ans (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). La dégradation de ces ponceaux est grandement influencée par le milieu dans lequel ils sont installés. Le niveau d'abrasion et de corrosion causé par le transport des sédiments, le pH et la résistivité électrique de l'eau ou du sol sont tous des éléments pouvant réduire leur durée de vie (*Corrugated Steel Pipe Institute* - CSPI, 2007; Paradis Lacombe et Jutras, 2016).

En ce qui concerne les ponceaux en plastique, ils sont construits de polyéthylène haute densité, légers, résistants à la corrosion et à différentes valeurs de pH (*Plastic Pipe Institute* - PPI, 2009; Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Toutefois, les rayons du soleil et l'abrasion sont des processus naturels pouvant limiter leur durée de vie. Selon le *Plastic Pipe Institute* (2009), les tuyaux de plastiques pourraient avoir une durée de vie entre 50 et 100 ans si l'installation est réalisée de façon adéquate.

Il est toutefois à noter que ces conduites flexibles peuvent être plus facilement déformées par des forces récurrentes en raison de leur résistance mécanique ténue (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). D'ailleurs, ces structures flexibles peuvent présenter des problématiques en cas de mauvaise installation. Par exemple, une structure déformée sans signe apparent d'usure (corrosion, abrasion, etc.) pourrait avoir été mal installée (MTQ, 2012).

Ponceaux rigides

Selon le « *Manuel de conception des ponceaux* » du MTQ (2014), les conduits en béton et en bois sont considérés dans la classe des structures rigides. Peu utilisés par la voirie forestière due à l'excès de poids, les ponceaux en béton sont plus fréquents à proximité des milieux urbains (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Cette catégorie de ponceaux est donc majoritairement représentée par les structures en bois dans le paysage forestier.

Étant grandement employés avant le début des années 1990, les ponceaux en bois ne sont pratiquement plus utilisés, mais demeurent très répandus sur le territoire québécois (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Présent dans les anciens chemins, il s'en trouve même sur les chemins fortement utilisés (MTQ, 2012). Ces infrastructures, lorsqu'elles sont présentes, peuvent être installées depuis plus de 25-30 ans et présenter plusieurs défauts majeurs, notamment de la pourriture des matériaux (Latrémouille *et al.*, 2014). Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Selon le *Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations* (FNLR, 2013), cette dégradation peut varier en fonction de la grosseur des billes de bois et de leur essence. L'affaissement des structures due à la pourriture des matériaux est une problématique reconnue (FNLR, 2013; Latrémouille *et al.*, 2014).

1-5. Sédimentation

Le phénomène de sédimentation retrouvé dans les rivières est un processus naturel qui survient lorsqu'il y a ajout de sédiments fins et déposition de celui-ci sur le lit d'un cours d'eau (Levasseur, 2008). Les sédiments fins représentent l'ensemble des fractions granulométriques de moins de 2 mm en incluant la matière organique en suspension. Il a été démontré que la création, la présence et l'entretien des traverses de cours d'eau seraient les principales causes des apports en sédiments fins dans un cours d'eau (Beschta, 1978; Everest *et al.*, 1987; Caissie et Arseneau, 1999; Cunjak *et al.*, 1999; Wellman *et al.*, 2000; Wheeler *et al.*, 2005; Latrémouille *et al.*, 2014). Cela a pour effet d'augmenter la charge sédimentaire du cours d'eau en aval de la structure, ce qui affecte la survie des poissons en plus de dégrader l'habitat (Wellman *et al.*, 2000; Wheeler *et al.*, 2005). La mise en place d'un réseau routier, l'extraction du bois par véhicule lourd ainsi qu'une mauvaise localisation des routes ont un rôle majeur quant à l'augmentation des sédiments fins dans un réseau hydrique (Singh et Karla, 1975; Plamondon, 1982; Macdonald *et al.*, 2003).

Les sédiments fins affectent négativement les poissons sur plusieurs aspects. Ils peuvent, entre autres, augmenter la turbidité des cours d'eau et ainsi réduire la quantité d'oxygène dissous (Dallaire, 2006), voire même affecter le fonctionnement des branchies et la respiration (Goldes *et*

al., 1988, cité par Henley *et al.*, 2000). La sédimentation peut réduire la quantité de proies pour les juvéniles et donc limiter leur croissance (Latrémouille *et al.*, 2014), ou encore, remplir les fosses et causer une perte d'habitat pour les adultes (Melanson, 2000). L'impact le plus important demeure néanmoins la baisse du taux d'éclosion des œufs et la réduction de la survie des alevins vésiculés (Wellman *et al.*, 2000; Wheeler *et al.*, 2005; Latrémouille *et al.*, 2014). Les sédiments fins, lorsqu'ils se déposent au fond, colmatent les interstices entre les granulats rocheux et réduisent l'écoulement intergranulaire (Everest *et al.*, 1987; Argent et Flebbe, 1999), soit l'écoulement de l'eau au travers du substrat. Cet écoulement permet un apport d'oxygène aux œufs en plus d'expulser les déchets métaboliques nocifs produits par les embryons au cours de leur développement (Beschta et Jackson, 1979). Aussi, une trop grande accumulation de sédiments fins obstrue les interstices et empêche l'émergence des alevins en les retenant dans le gravier (Chapman, 1988). Bien que la femelle saumon réduit considérablement la quantité de sédiments fins dans le nid lors de sa construction (Lisle et Lewis, 1992; Montgomery *et al.*, 1996), les dommages sur les embryons surviendraient durant la période d'incubation, indépendamment de la quantité de sédiments fins présente dans le nid avant ou après la reproduction (Lisle, 1989; Acornley et Sear, 1999). C'est-à-dire que les dommages seraient plutôt reliés à la charge sédimentaire du cours d'eau et donc au taux de sédimentation retrouvé sur les frayères suite à la déposition des œufs.

1-6. Objectifs

Considérant les impacts du réseau routier forestier sur les espèces piscicoles et sur leurs habitats, il importe de suivre l'état des infrastructures en place afin d'assurer une saine gestion des cours d'eau. Cette étude a donc pour but de localiser et de caractériser les principales traverses de cours d'eau présentes dans le bassin versant des rivières Nouvelle, Cascapédia, Petite Cascapédia et Bonaventure. Le type d'infrastructure en place, leur localisation géographique, leurs caractéristiques et leur état sont notamment inventoriés. De plus, des mesures permettant de cibler des problématiques potentielles envers les habitats aquatiques sont détaillées.

Cette acquisition d'informations dans les bassins versants de quatre rivières d'importance de la Baie-des-Chaleurs permettra plus spécifiquement : 1) d'établir un portrait global des installations présentes sur le territoire, 2) d'identifier les sources d'érosion affectant majoritairement les cours d'eau, 3) de définir les déficiences et les lacunes au niveau de l'entretien des traverses de cours d'eau, 4) d'établir une évaluation descriptive de la condition des ponceaux en place et 5) d'évaluer fragmentation et la perte d'habitat en analysant respectivement la perméabilité des ponceaux et la superficie d'habitat inaccessible par les espèces piscicoles.

L'ensemble de ces observations et analyses serviront à établir des recommandations auprès des gestionnaires des ZECs de rivières à saumon quant au niveau de priorité à accorder à la restauration de chaque traverse en mauvais état.

2. MÉTHODOLOGIE

2-1. Aire d'étude

L'inventaire et la caractérisation des traverses de cours d'eau se sont déroulés dans les limites de quatre bassins versants de rivières à saumon de la Baie-des-Chaleurs en Gaspésie (Québec, Canada). Ces rivières sont la Nouvelle, la Cascapédia, la Petite Cascapédia et la Bonaventure (Figure 1). Ces quatre rivières d'importance représentent une grande portion du territoire gaspésien et couvrent près du tiers de la région. Une grande portion du réseau de chemin forestier de ces rivières a été couvert et la majeure partie des traverses de cours d'eau inventoriées étaient localisées sur des chemins d'accès principaux.

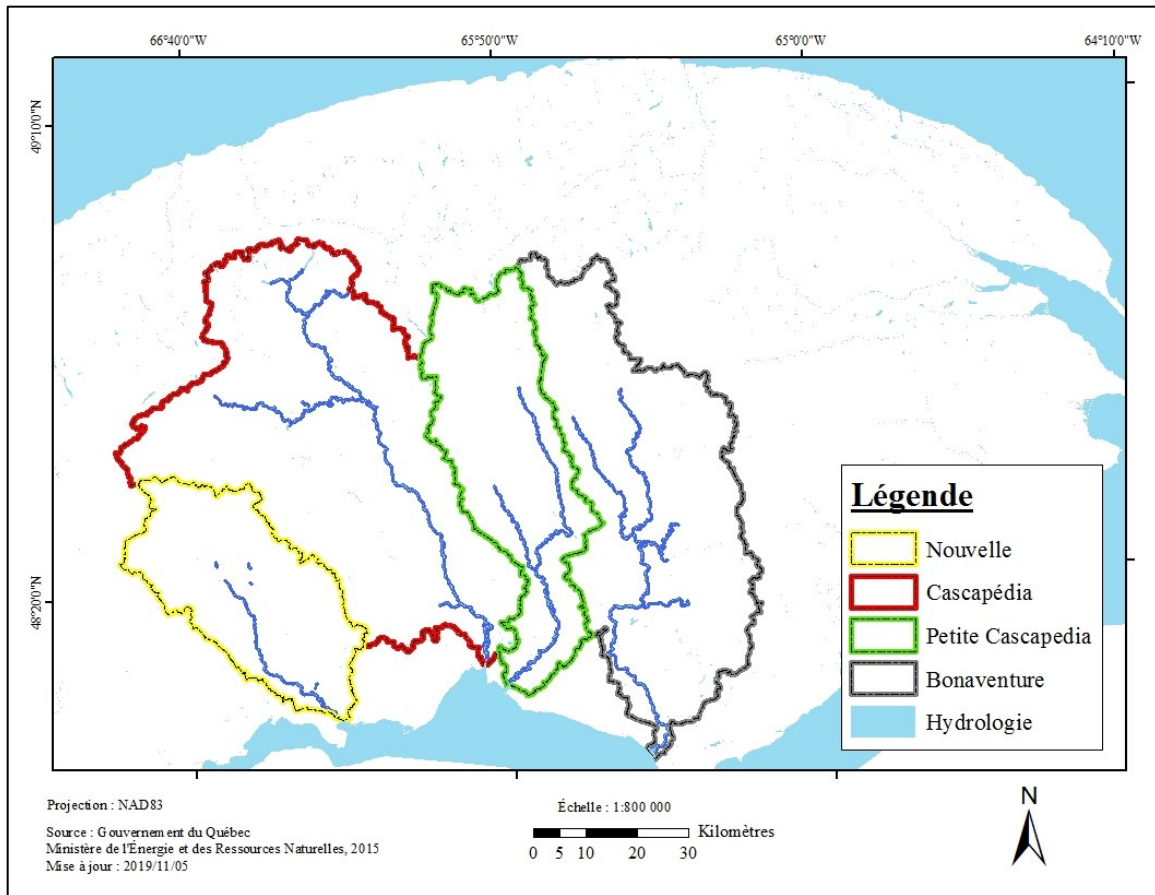


Figure 1. Localisation du bassin versant des rivières Nouvelle, Cascapédia, Petite Cascapédia et Bonaventure (Gaspésie, Québec)

2-2. Sélection des traverses

La sélection des traverses à caractériser s'est déroulée en deux phases. La première nécessitait de localiser l'ensemble des traverses présentes sur le territoire. Pour y parvenir, des cartes provenant de la base de données topographique du Québec (Gouvernement du Québec, 2015) ont été utilisées pour obtenir des couches de chemins forestiers et de réseaux hydriques. Ces dernières ont été intégrées dans le logiciel ArcGIS 10.3.1 de la plateforme ESRI (ESRI, 2015). L'intersection entre les couches de chemins et de cours d'eau a permis la création de points à l'emplacement théorique des traverses.

La seconde phase de décision était de déterminer les traverses à valider sur le terrain. Ces dernières étaient principalement choisies en fonction de leur proximité avec le cours d'eau principal, leur répartition globale sur le territoire et leur facilité d'accès, soit leur proximité aux chemins principaux. L'objectif était de couvrir le plus de territoire afin d'inventorier un maximum de traverses. Une distinction a aussi été réalisée entre les traverses selon la dimension du territoire

estimée en amont. Les traverses desservant un plus vaste réseau hydrique étaient favorisées en raison de leur importance dans l'accès au territoire pour la faune aquatique. La caractérisation des traverses de cours d'eau a été réalisée de manière à couvrir le plus uniformément possible l'ensemble des bassins versants.

2-3. Caractérisation des traverses

Mise en contexte

La campagne terrain a été prévue dans la période d'étiage de l'été 2019 pour faciliter les manipulations dans les cours d'eau. Afin d'effectuer une meilleure orientation en forêt, le Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs (MFFP), en collaboration avec la Table de Gestion Intégrée des Ressources et du Territoire (TGIRT) de la Gaspésie, ont fourni une carte des chemins forestiers et des cours d'eau recensés sur le territoire. Cette carte est disponible via l'application « Survey 123 » de la plateforme ESRI (ESRI, 2019) et est utilisable sur une tablette ou un téléphone intelligent doté d'un système d'exploitation iOS ou Android. Cette application permet aussi la saisie de données de caractérisation grâce au formulaire développé par le MFFP (2019_DGFo11_Enquete_EvaluationTraversesCoursEau).

Formulaire de saisie

Les informations à noter sur le formulaire se basent sur le constat que la fragmentation et la sédimentation engendrées par l'aménagement de traverses de cours d'eau en milieu forestier constituent deux enjeux principaux influençant la qualité de l'habitat des salmonidés (Briand, 2018; Richard *et al.*, 2019). De ces deux enjeux, il a été déterminé que la vitesse excessive d'écoulement, la profondeur d'eau insuffisante, la création d'une chute ou d'un dénivelé trop important, la turbulence excessive, l'apport de sédiments et la création de zones d'érosion sont tous des éléments nuisibles à la qualité des habitats fauniques (Briand, 2018; Richard *et al.*, 2019).

Paramètres de saisie

Les données recueillies permettent la saisie d'une multitude de paramètres pour décrire et caractériser une traverse de cours d'eau et l'habitat environnant observé sur le terrain. L'utilisation du formulaire dynamique permettait, selon les différentes réponses, de diriger les questions. Le type d'observation (allégée, complète, localisation seulement) redirigeait ces questions afin de personnaliser chaque enregistrement selon le cas observé. Le choix d'une simple localisation ou d'une observation allégée n'affichait pas l'ensemble des questions disponibles comme pour une observation complète. Lorsque les champs étaient non utilisés, une valeur de « zéro » était affichée

sur les champs numériques de la base de données et une case vide sur les champs textes. Le type de traverse (pont, arche, ponceau, manquante) ne présentait pas tout l'ensemble des questions du formulaire. Dans le cas des ponts, aucune dimension et caractéristique physique n'était prise. Seuls des informations concernant l'érosion, l'entretien, la présence de castor et la modification du cours d'eau étaient évalués. Pour les arches, des mesures de largeur, de hauteur et de longueur étaient ajoutées. En plus de celles notées pour les ponts et les arches, les ponceaux présentaient d'autres informations à comptabiliser (Figure 2). Dans le cas des longueurs de conduites et les largeurs de cours d'eau, l'utilisation d'un ruban à mesurer de 30 mètres était employée. La mesure de profondeur d'eau dans le ponceau était évaluée avec un mètre à mesurer en métal alors que la dénivellation était réalisée avec un altimètre (*ZIPLEVEL Pro-2000®*, *Technidea Corporation*). En présence de plusieurs conduites adjacentes sur un site, seule la conduite la plus basse était évaluée pour éviter les doublons et parce que cette dernière est souvent celle la plus passable.

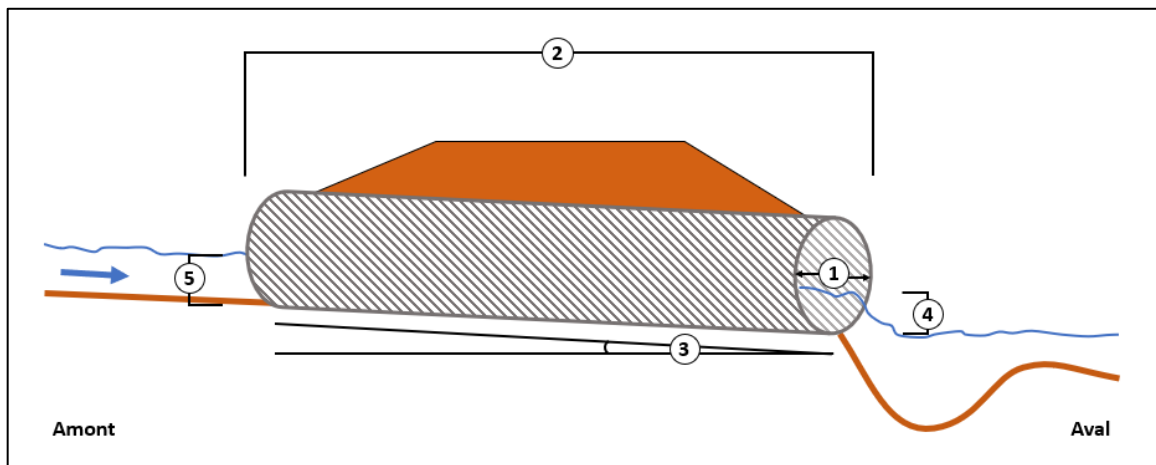


Figure 2. Schéma transversal d'un ponceau installé sous remblai et présentant les différentes mesures prises lors de la caractérisation des traverses de cours d'eau. 1- largeur; 2- longueur; 3- dénivellation; 4- hauteur de la chute/cascade; 5- Profondeur de l'eau amont/aval

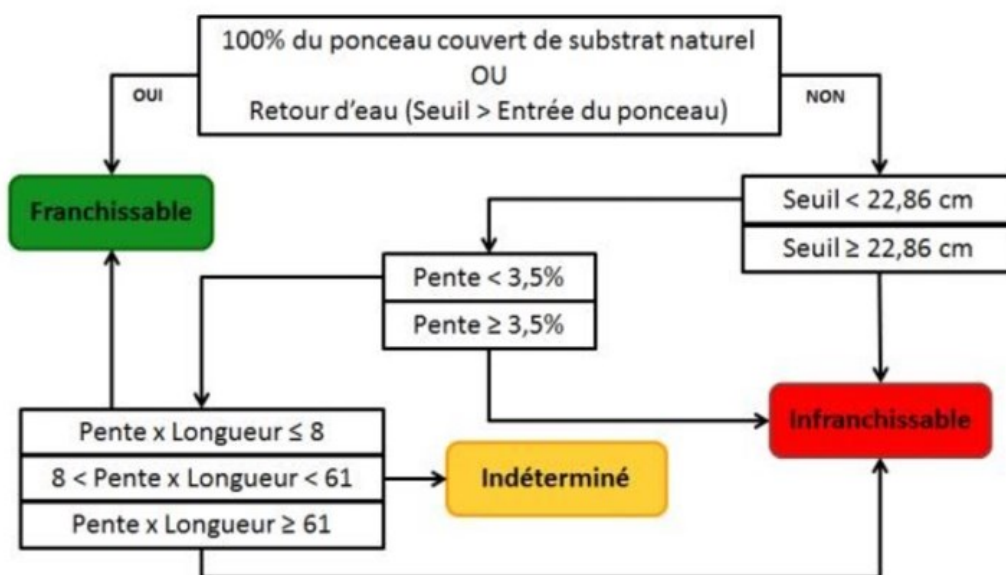
La condition des infrastructures était évaluée afin de fournir une description de l'état des installations. Les structures considérées bonnes et acceptables ne présentaient pas ou peu de défauts qui nuisent aux fonctions de la traverse. Lorsque les traverses présentaient des défauts majeurs ou des signes de dégradation qui limitent leur bon fonctionnement, elles étaient classées comme étant médiocres et critiques. Les structures classées dans l'état « inconnu » ne devaient pas permettre de voir l'intérieur ou d'y avoir accès. Si l'infrastructure était visible, son état était déterminé par les

mêmes critères d'évaluation que les autres traverses. Lorsqu'il y avait des traverses manquantes, les sites étaient comptabilisés dans les données non disponibles (N/D).

D'autres variables, telles que le type de matériau, le nombre de conduits, le débit, le pourcentage de substrat dans le conduit, le pourcentage et le type d'obstruction, la présence de castor a aussi été caractérisée. Des photos ont été prises dans l'optique d'illustrer l'aspect général des sites. Enfin, des mesures physiques du cours d'eau ont permis de caractériser l'habitat en amont et en aval des traverses inventoriées. L'ensemble de la méthodologie utilisée est disponible dans le guide d'utilisateur rédigé par Richard *et al.* (2019). Les données ont été colligées dans une seule base de données sous format électronique et rendu disponible auprès du MFFP pour l'ensemble des utilisateurs ayant contribué à sa création.

2-4. Indice de perméabilité

En vue d'identifier la perméabilité des structures en place quant au déplacement des salmonidés, elles ont été classifiées grâce à un modèle prédictif développé par Coffman (2005). Ce filtre statique est un arbre décisionnel basé sur des paramètres physiques fixes (Figure 3). Il permet de définir un niveau de perméabilité de type descriptif, qui n'utilise pas de variables dont les valeurs sont susceptibles de fluctuer dans le temps. La classification offre trois qualificatifs pour définir le statut de passage dans une conduite : franchissable, infranchissable ou indéterminé. Il est à noter que le terme indéterminé signifie que le filtre statique ne permet pas à lui seul de définir le succès de passage. Une décision est établie selon l'ordre des obstacles rencontrés par le poisson lors d'un passage dans un conduit. Ainsi, les variables respectivement retenues par le filtre sont : la présence de substrat dans le ponceau, la présence de retour d'eau dans le ponceau, la hauteur du seuil, la pente du ponceau et l'indice d'effort.



Tiré de Coffman, 2005

Figure 3. Organigramme décisionnel du modèle prédictif du succès de passage des salmonidés juvéniles qui classifie les ponceaux en trois catégories (franchissable, infranchissable ou indéterminé) en fonction de leurs paramètres physiques (la présence de substrat naturel dans le ponceau, le retour d’eau dans le ponceau, la hauteur de seuil en aval du ponceau, la pente du ponceau et sa longueur)

La présence d’un retour d’eau survient lorsque le fond du ponceau à son extrémité aval est plus profond que le lit du cours d’eau (Coffman, 2005). Cela a pour effet d’augmenter la profondeur d’eau dans le conduit et de réduire l’effort de nage du poisson dans celui-ci (Coffman, 2005). En présence d’une chute, la hauteur du seuil est mesurée en centimètre et est déterminée par la différence entre le bas de l’extrémité aval du ponceau et la surface de l’eau dans le cours d’eau. S’il s’agit d’une cascade, la mesure est prise entre la partie inférieure de l’aval du conduit et la surface de l’eau au point où il n’y a plus d’influence de la traverse sur la pente. La dernière prise de décision sert à déterminer un degré d’énergie déployé par le poisson lors de la traversée d’un ponceau, soit un indice d’effort. Cette mesure s’obtient via la multiplication de la pente par la longueur de la traverse.

L’arbre décisionnel de Coffman (2005) a été retranscrit sous forme de script informatique dans le logiciel R (R Core Team, 2019) afin d’automatiser le processus de sélection depuis une base de données Excel (Annexe 1).

2-5. Calcul de la perte d'habitat potentiel

Suite à l'analyse de perméabilité, il est possible de déterminer la superficie d'habitats inaccessibles pour les salmonidés juvéniles. La méthode employée s'inspire de celle utilisée par Gagnon-Poiré (2017). Celle-ci nécessite de regrouper les différents ponceaux selon leur perméabilité. Seulement ceux catégorisés comme étant infranchissables ont été pris en compte dans l'estimation de la perte d'habitat. Avec les couches de données utilisées pour la détermination des traverses théoriques et leurs attributs, il a été possible de calculer la longueur des cours d'eau en amont des ponceaux, et ce, sur l'ensemble du réseau hydrographique. La largeur moyenne en amont était mesurée à deux endroits représentatifs du cours d'eau naturel, là où il n'a plus d'influence de l'aménagement. La superficie inaccessible était calculée par la multiplication de la longueur du cours d'eau et la moyenne de la largeur en amont. Cette méthode est d'ailleurs employée par Paradis-Lacombe et Jutras (2016). Dans l'optique d'éliminer ce qui pourrait potentiellement être surestimé dans l'équation, les tributaires en amont de ceux déjà évalués n'ont pas été inclus dans l'équation

3. RÉSULTATS

3-1. Mise en contexte

La campagne terrain s'est déroulée pendant la période d'étiage des cours d'eau, soit entre les mois de juillet et septembre 2019. En raison des difficultés d'accès à certains secteurs dû à la régénération forestière, la fermeture de chemin ou la chaussée cahoteuse, il n'a pas toujours été possible de répondre au critère d'uniformité quant à la représentativité de l'échantillonnage de chaque bassin versant.

3-2. Rivière Nouvelle

État global des traverses de cours d'eau

La rivière Nouvelle représente le plus petit bassin versant parmi les quatre rivières inventoriées. Ainsi, moins de temps y a été consacré et cela se traduit par une plus faible quantité de traverses de cours d'eau caractérisée. Néanmoins, 25% des traverses ont été inventoriées sur un total théorique de 665 (Annexe 2). La portion du bassin versant de cette rivière située dans la réserve faunique de Dunière n'a pas été caractérisée, mais les ponceaux théoriques y ont été intégrés. Cette situation s'explique par le manque d'information de la localité des chemins dans ce secteur. Parmi les 169

traverses mesurées sur le terrain, il y avait 107 ponceaux, 9 ponts, 50 traverses manquantes et une arche. Les cours d'eau rencontrés étaient principalement intermittents avec 69 occurrences contre 52 permanents. Le reste des observations (48) ont obtenu la mention « indéterminée », car ils ne permettaient pas de définir la présence ou l'absence d'un cours d'eau.

Les ponts et l'arche présents sur le territoire ne présentent pas de signes d'usure autre que ceux causés par le vieillissement de la structure (i.e. : rouille). La majorité a donc été catégorisée en « bon » état. Le tableau 1 présente la condition des ponceaux selon leurs matériaux de conception.

Tableau 1. Condition de l'infrastructure des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)

Condition	Acier		Plastique		Béton		Bois	
	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
Bon	31	53	15	41	3	38	-	-
Acceptable	21	63	14	38	3	38	-	-
Médiocre	5	8	6	16	1	13	1	33
Critique	2	3	2	5	1	13	2	67
Total	59	100	37	100	8	100	3	100

Les ponceaux en acier et en plastique retrouvés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle sont respectivement à 12% et 21% considérés médiocres et critiques. Les ponceaux en bois étaient tous en mauvais état, caractérisé comme étant médiocre (67%) et critique (33%). Deux des ponceaux ne permettaient pas d'évaluer le critère de condition. Le champ était indisponible sur le formulaire, car seule la localisation du ponceau avait été collectée sur le terrain. Seul un pont inventorié présente une condition médiocre, alors que 17 sont considérés bons et 3 acceptables. Pour les arches, 1 était classé bon contre 2 acceptable.

Problématiques

En considérant le pourcentage d'obstruction des ponceaux, le type d'obstruction (Figure 4), les problématiques d'érosion (Tableau 2) et d'entretien (Tableau 3), ainsi que les modifications des caractéristiques du cours d'eau (Tableau 4), la caractérisation a permis de faire ressortir différentes problématiques associées aux ponceaux. De façon générale, 53% des ponceaux rencontrés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle subissaient une problématique d'obstruction, dont 26% avaient plus de 21%. La cause principale était l'apport de sédiments (42%).

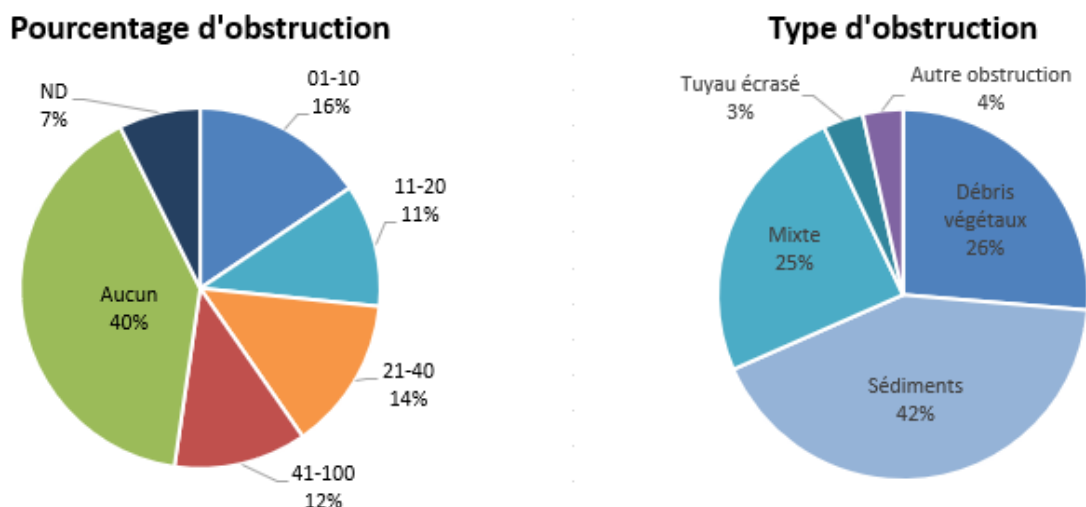


Figure 4. Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)

Plus de la moitié des ponceaux recensés (55%) présentaient au moins une forme d'érosion (Tableau 2). Plusieurs sources d'érosion pouvaient en effet être présentes pour la même structure. La présence de chemins et de remblais constituait les deux principales sources d'apport en sédiments dans les cours d'eau. Les arches et les ponts ne présentaient aucun problème d'érosion, sauf exception d'un cas d'érosion des berges pour un pont.

Tableau 2. Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Sources d'érosion	Ponceaux (n = 107)	Arches (n = 1)	Ponts (n = 9)
Berges	16	-	1
Chemin	28	-	-
Fossé	15	-	-
Remblais	26	-	-
Déblais	-	-	-
Inconnue	-	-	1
Aucun	49	1	7
Total	190	1	10

Les déficiences d'entretien pour les structures surviennent en majorité auprès des bassins de sédimentation, de l'absence de digues dans les 20 mètres de chaque côté de la structure et de digues

brisées (Tableau 3). L'impact de ces altérations variait selon les cas, d'autant plus que plusieurs problématiques pouvaient être rencontrées à une même localisation.

Tableau 3. Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Problèmes d'entretien	Ponceaux (n = 107)	Arches (n = 1)	Ponts (n = 9)
Bassin de sédimentation	20	-	-
Digue absente	19	-	-
Digue brisée	21	1	-
Digue au mauvais endroit	1	-	-
Transport de matériel dans les 20 m	8	-	-
Profil du chemin	3	-	-
Ornière	1	-	-
Aucun	60	-	9
Total	133	1	9

La modification des caractéristiques du cours d'eau joue aussi un rôle dans la création de problématiques qui affectent le poisson et son habitat. Tel que présenté dans le tableau 4, les principaux changements rencontrés sur les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Nouvelle sont l'absence de substrat dans le fond du conduit et la création d'une fosse en aval de la structure. Seuls 2% des ponceaux ne présentaient aucune modification du cours d'eau, alors que ce nombre est de 89% pour les ponts.

Tableau 4. Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Modifications du cours d'eau	Ponceaux (n = 107)	Arches (n = 1)	Ponts (n = 9)
Absence de lit	77	-	1
Augmentation de la pente	10	-	-
Augmentation de la vitesse	12	-	-
Diminution de la largeur	13	-	-
Diminution de la profondeur	9	-	1
Création d'une fosse	42	-	-
Aucune	2	1	8
Total	165	1	10

Accessibilité du territoire à l'ichtyofaune

Concernant l'indice de perméabilité (Figure 5), les arches et les ponts ont été retirés du calcul, car avec la présence de substrats, ils sont tous considérés franchissables selon le filtre de Coffman (2005). Tel qu'observé à la figure 5, 69% des ponceaux caractérisés (74/107) ne présentent pas de substrat dans le fond du conduit alors que 31% des ponceaux affichent une chute de plus de 22,86 cm et 37% présentent une pente de plus de 3,5%. En appliquant le filtre de Coffman (2005), seulement 2% des ponceaux sont considérés franchissables sur le territoire, alors que 90% sont évalués comme infranchissables.

Suite à l'évaluation de la superficie inaccessible en amont des ponceaux infranchissable, un total de 6 000 687 m² d'habitat serait potentiellement perdu (figure 6). L'ensemble des résultats de ponceau infranchissable est présenté sous forme de tableau à l'annexe 6.

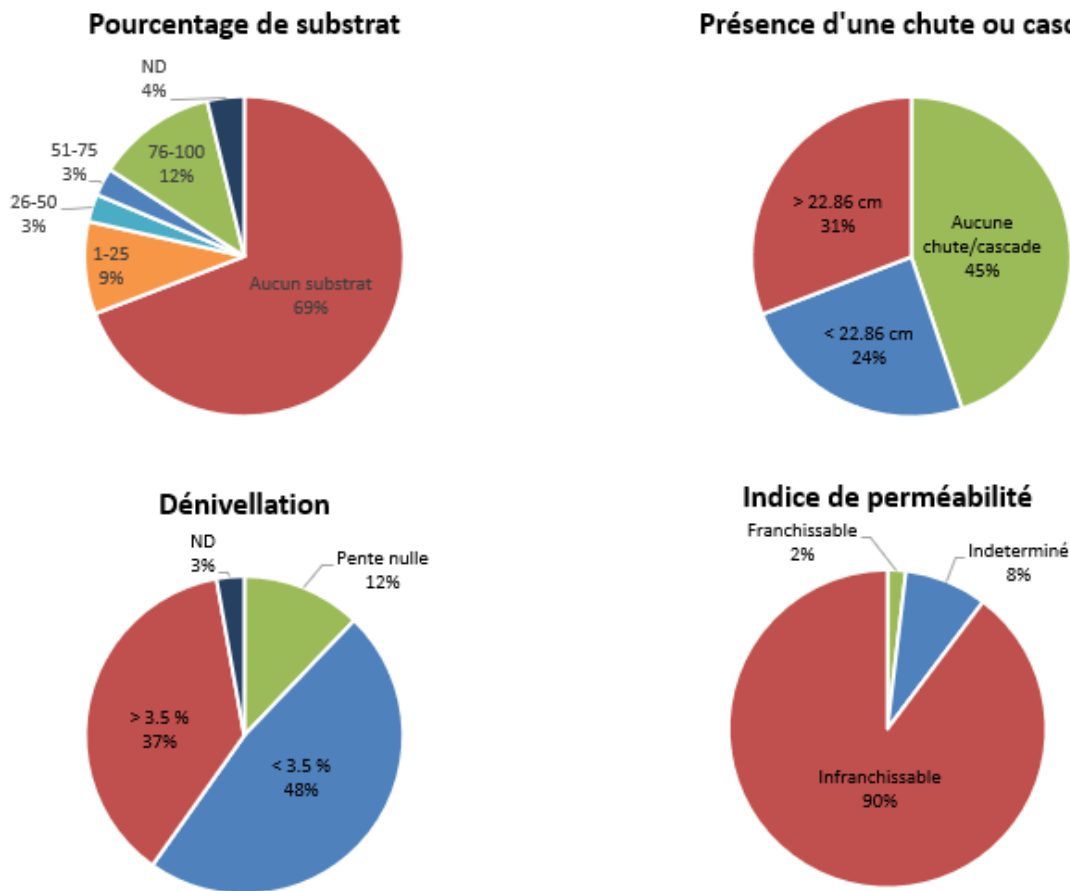


Figure 5. Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 107)

3-3. Rivière Cascapédia

État global des traverses de cours d'eau

La rivière Cascapédia représente le plus grand bassin versant des quatre rivières inventoriées. Plus de temps y a donc été consacré et cela se traduit par un plus grand nombre de traverses de cours d'eau caractérisés. La densité du réseau routier ont permis de caractériser environ 10% des traverses du territoire, soit 225 traverses de cours d'eau sur un total de 2380 traverses théoriques (Annexe 3). Cet échantillon comprend 21 ponts, 12 arches, 17 traverses manquantes et 178 ponceaux. Les observations ont été réalisées sur 119 cours d'eau à écoulement permanent, 97 intermittents et 26 dans une situation indéterminée où il n'était pas possible de définir s'il y avait bien présence d'un cours d'eau

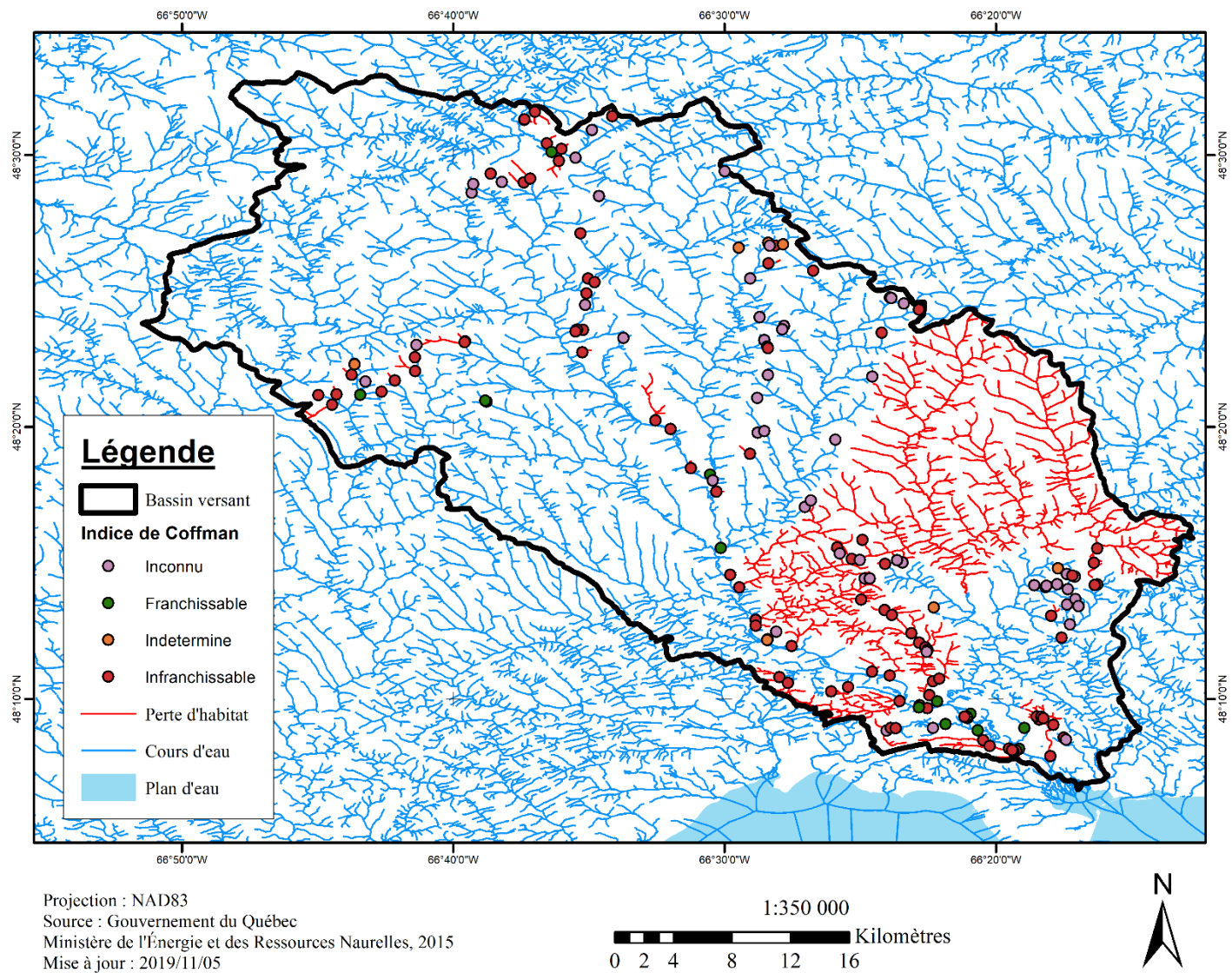


Figure 6. Perte d'habitat potentielle en amont des pontons infranchissables observés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Dans près de 15% des cas, l'état des ponceaux a été évalué « médiocre » ou « critique » (Tableau 5). Les ponceaux en acier et en plastique affichent des résultats similaires avec respectivement 14% et 17% dans une condition médiocre et critique. Tous les ponceaux en bois sont de qualité médiocre (67%) et critique (33%). Deux ponceaux évalués sur le terrain étaient introuvables malgré la présence d'un cours d'eau intermittent. La localisation était impossible, soit par les activités de castor, le remblaiement du ponceau ou l'absence de traverses. En assumant leur présence, les conditions ont été caractérisées comme critique; ni les matériaux de construction ni la condition n'ont pu être définis.

Tableau 5. Condition de l'infrastructure des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Caspédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178)

Condition	Acier		Plastique		Béton		Bois		Inconnu	
	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
Bon	50	49	21	40	14	78	-	-	-	-
Acceptable	36	35	23	43	4	22	-	-	-	-
Médiocre	12	12	7	13	-	-	2	67	-	-
Critique	2	2	2	4	-	-	1	33	2	100
Inconnue	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	102	100	53	100	18	100	3	100	2	100

Problématiques

L'obstruction des ponceaux était (Figure 6) était une problématique relativement fréquente avec 23% d'obstruée à plus de 21%. Les débris végétaux et les sédiments en sont les principales causes. Les signes de présence de castor sur le territoire ont été observés à 32 localisations, dont 20 où il y avait un barrage en amont ou en aval de la structure et 5 où le barrage était à l'intérieur de la structure.

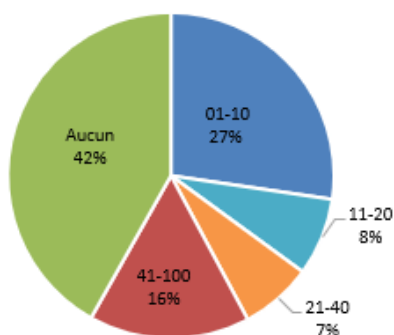
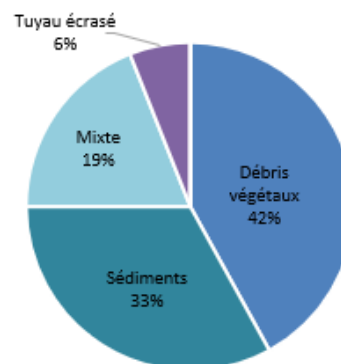
Pourcentage d'obstruction**Type d'obstruction**

Figure 7. Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178)

Les problématiques d'érosion ont été observées à 58% pour les arches et 57% pour les ponts rencontrés (Tableau 6). L'apport de sédiment dans les cours d'eau est aussi identifié dans 51% des cas. En général pour les ponceaux, l'érosion des berges (n=22) et des chemins (n=72) et du remblai (n=36) sont les cas les plus fréquents. Dans le cas des arches et des ponts, les berges et les chemins étaient la source principale d'érosion. Il est à noter que les sources d'érosion et les causes d'entretien déficient peuvent être multiples pour une même traverse.

Tableau 6. Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Sources d'érosion	Ponceaux (n = 178)	Arches (n = 12)	Ponts (n = 21)
Berges	22	3	7
Chemin	61	3	8
Fossé	13	-	2
Remblais	36	-	3
Déblais	2	-	-
Inconnue	12	1	-
Aucune	87	6	9
Total	233	13	29

Plus de la moitié des traverses évaluées sur le terrain présentent des lacunes d'entretien (Tableau 7). Les plus importantes pour les ponceaux sont au niveau de l'état des digues (n = 60) et des bassins

de sédimentation (n = 46). Ces problématiques sont aussi les plus observées pour les arches et les ponts. Pour l'ensemble des traverses, ces problématiques représentent plus de 80% des cas d'érosion observés. Comme pour les sources d'érosion, les problèmes d'entretien du réseau routier forestier sont davantage variés et fréquents pour les ponceaux que pour les autres traverses.

Tableau 7. Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Problèmes d'entretien	Ponceaux (n = 178)	Arches (n = 12)	Ponts (n = 21)
Bassin de sédimentation	46	3	7
Digue absente	30	-	1
Digue brisée	24	1	1
Digue au mauvais endroit	6	-	-
Transport de matériel dans les 20 m	13	-	2
Profil du chemin	7	-	2
Ornière	1	-	-
Aucun	86	8	12
Total	213	12	25

De nombreuses modifications affectent simultanément les cours d'eau munis de ponceaux (Tableau 8). Un total de 79% des traverses présentent une modification des caractéristiques du cours d'eau. L'absence de lit dans le fond du conduit est la modification prédominante dans l'échantillonnage.

Tableau 8. Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Modifications du cours d'eau	Ponceaux (n = 178)	Arches (n = 12)	Ponts (n = 21)
Absence de lit	110	1	-
Augmentation de la pente	49	1	-
Augmentation de la vitesse	63	-	1
Diminution de la largeur	80	2	1
Diminution de la profondeur	56	1	-
Création d'une fosse	74	1	2
Aucune	16	10	18
Total	448	16	22

Accessibilité du territoire à l'ichtyofaune

Concernant les impacts de la structure en place sur la perméabilité des migrations piscicoles, 70% des ponceaux présentaient un recouvrement de substrats au fond du conduit de moins de 25% de (Figure 7). Plus du tiers des structures comportaient une chute ou cascade et 37% présentaient une pente supérieure à 3.5%. Il est toutefois à noter que 45 traverses ne présentaient aucune modification visible du cours d'eau.

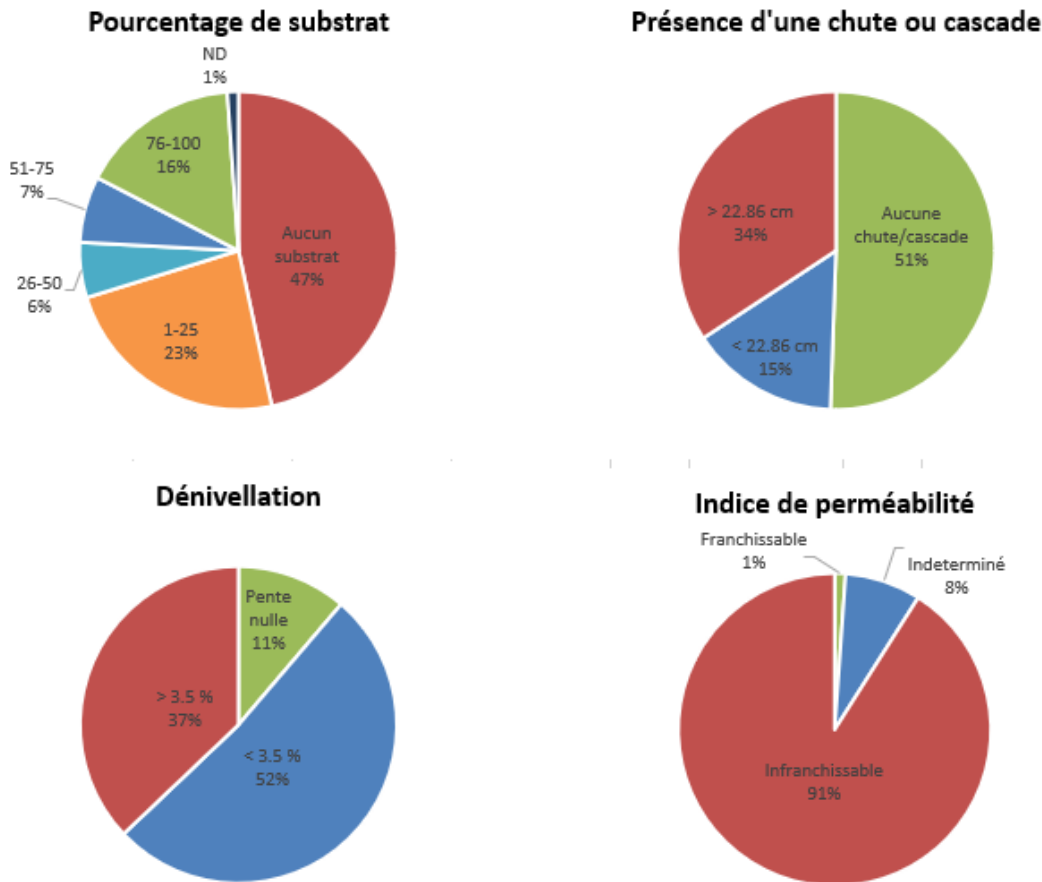


Figure 8. Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 178)

La fragmentation rencontrée sur le territoire occasionne une perte d'habitat de l'ordre de 6 664 845 m² (Figure 9). Il est possible d'accéder aux résultats de l'ensemble des ponceaux infranchissable à l'annexe 7.

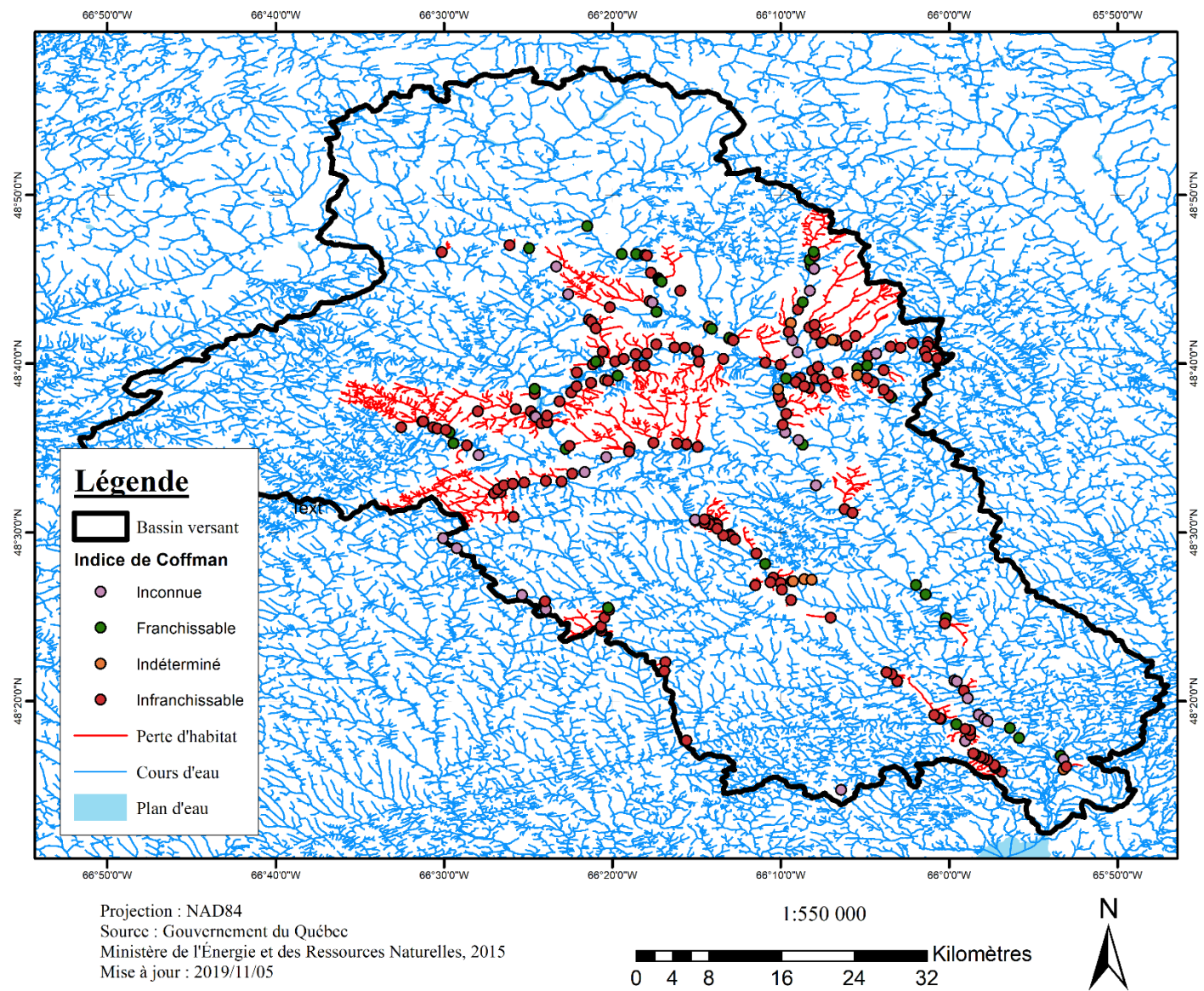


Figure 9. Perte d'habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissables observés dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

3-4. Rivière Petite Cascapédia

État global des traverses de cours d'eau

La rivière Petite Cascapédia est le deuxième plus petit bassin versant après la rivière Nouvelle. Sur un total théorique de 1454 traverses de cours d'eau, 8% ont été caractérisés sur le réseau routier forestier. Parmi ces 116 traverses figurent 92 ponceaux, 7 ponts, 7 arches et 10 structures manquantes (Annexe 4). Les observations ont été réalisées sur 68 cours d'eau à écoulement permanent, 44 intermittents et 4 dans une situation indéterminée.

Concernant l'état des structures, 10% des traverses de cours d'eau inventoriées affichaient des conditions médiocres, critiques ou inconnues (Tableau 9). Les ponceaux en plastique (n=8) étaient classés bons ou acceptables. Les ponts et les arches présents sur le territoire étaient généralement dans un état bon et acceptable. Seul un pont était dans un état critique et ne permettait plus le passage en véhicule. Ce dernier était fermé par l'ajout d'un panneau de circulation et un passage à gué adjacent aménagé permettait de traverser le cours d'eau.

Tableau 9. Condition des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et à effectuer le libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88)

Condition	Acier		Plastique		Béton		Bois	
	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
Bon	34	51	5	63	5	45	-	-
Acceptable	27	40	3	38	5	45	-	-
Médiocre	4	6	-	-	1	9	-	-
Critique	2	3	-	-	-	-	1	50
Inconnue	-	-	-	-	-	-	1	50
Total	67	100	8	100	11	100	2	100

Problématiques

Un total de 86% des ponceaux observés montre un cas d'obstruction (Figure 8). Respectivement 11% et 7% d'entre eux ont un pourcentage d'obstruction de 41-100 % et de 21-40%. Cette problématique était principalement due à des débris végétaux.

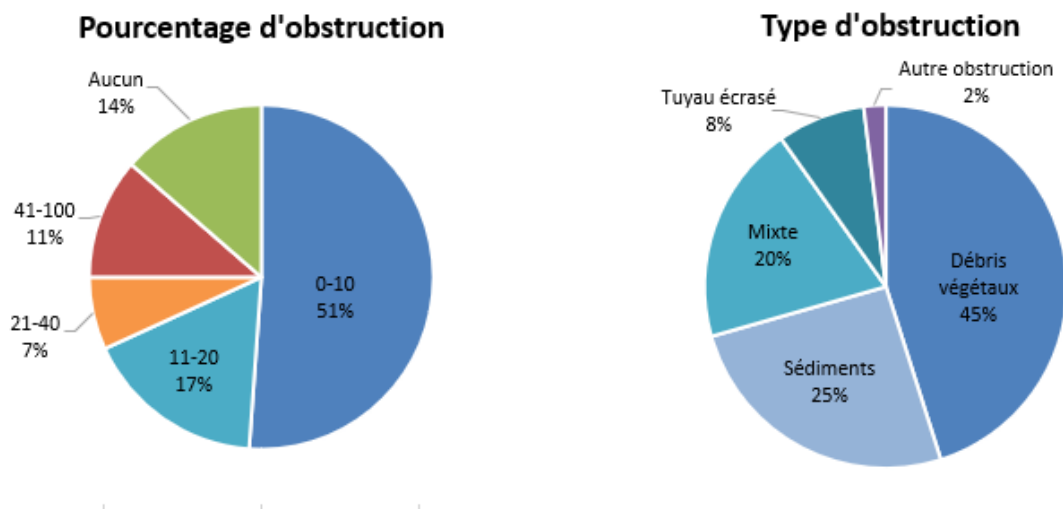


Figure 10. Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88)

Les apports de sédiment des ponceaux provenaient de l'érosion des berges (n=32), du chemin (n=27) et du remblai (n=31; Tableau 10). En général, les ponceaux présentaient une plus grande variété de sources d'érosion. Seules 24 traverses n'affichaient aucune problématique d'érosion, dont deux arches et quatre ponts.

Tableau 10. Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Sources d'érosion	Ponceaux (n = 88)	Arches (n = 7)	Ponts (n = 7)
Berges	32	2	-
Chemin	27	2	3
Fossé	17	-	1
Remblais	31	1	-
Déblais	-	-	1
Inconnue	6	1	-
Aucune	18	2	4
Total	131	8	9

Concernant l'entretien des chemins sur le réseau forestier, 82 traverses sur 124 présentaient des problématiques (Tableau 11). La majorité était causée par les bassins de sédimentation (31%) et les digues brisées (19%). Les arches et les ponts ont chacune trois causes d'entretien déficient sur sept.

Tableau 11. Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Problèmes d'entretien	Ponceaux (n = 88)	Arches (n = 7)	Ponts (n = 7)
Bassin de sédimentation	34	3	1
Digue absente	11	-	-
Digue brisée	22	-	1
Digue au mauvais endroit	1	-	-
Transport de matériel dans les 20 m	4	-	1
Profil du chemin	4	-	-
Ornière	-	-	-
Aucun	34	4	4
Total	110	7	7

Comme présenté au tableau 12, la création de fosses en aval (24%) ainsi que l'absence de substrat dans le conduit (30%) sont les éléments les plus récurrents dans la modification des cours d'eau de la rivière Petite Cascapédia. Les autres problématiques se retrouvent dans des proportions entre 5% et 13%. Seulement 14% des traverses ne présentaient aucune modification du cours d'eau. Parmi celles-ci, il y avait quatre arches et sept ponts.

Tableau 12. Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

Modifications du cours d'eau	Ponceaux (n = 88)	Arches (n = 7)	Ponts (n = 7)
Absence de lit	59	-	-
Augmentation de la pente	10	-	-
Augmentation de la vitesse	26	-	-
Diminution de la largeur	10	1	-
Diminution de la profondeur	19	-	-
Création d'une fosse	45	2	-
Aucune	17	4	7
Total	186	7	7

Accessibilité du territoire à l'ichtyofaune

Le succès de passage du poisson dans les conduites a été analysé avec le filtre de Coffman (2005). En évaluant la proportion de substrat présent dans le fond du conduit, il est possible d'observer que 72% des ponceaux avaient moins de 25% de sédiments dans le fond du conduit (Figure 9). S'y

ajoute la présence d'une chute ou d'une cascade de plus de 22,86 cm dans 35% des cas. La pente est supérieure à 3,5% dans 33% des cas. Cela mène à un classement de 91% des ponceaux dans la catégorie infranchissable. L'absence ou la faible hauteur de chute rencontrée dans la majorité des cas et la plus forte proportion de pentes nulle ou inférieure à 3,5% ont fait en sorte d'augmenter le nombre de ponceaux jugés indéterminés à 7%.

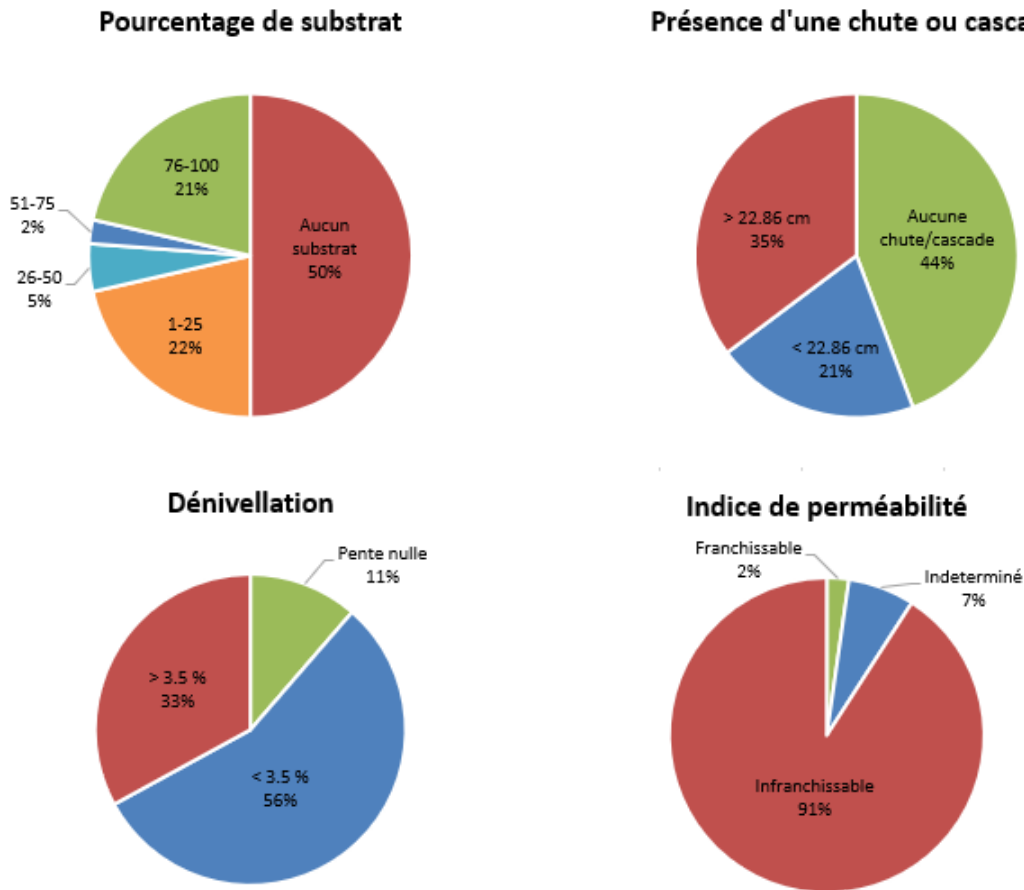


Figure 11. Descripteur indépendant temporel (pourcentage de substrat, présence d'une chute ou cascade, dénivellation) et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 88)

La perméabilité des ponceaux a permis d'établir que 3 650 996 m² d'habitat était potentiellement non disponible pour les salmonidés juvéniles (Figure 11). L'annexe 8 permet aussi de prendre connaissance de l'ensemble des résultats en lien avec la superficie d'habitat calculée.

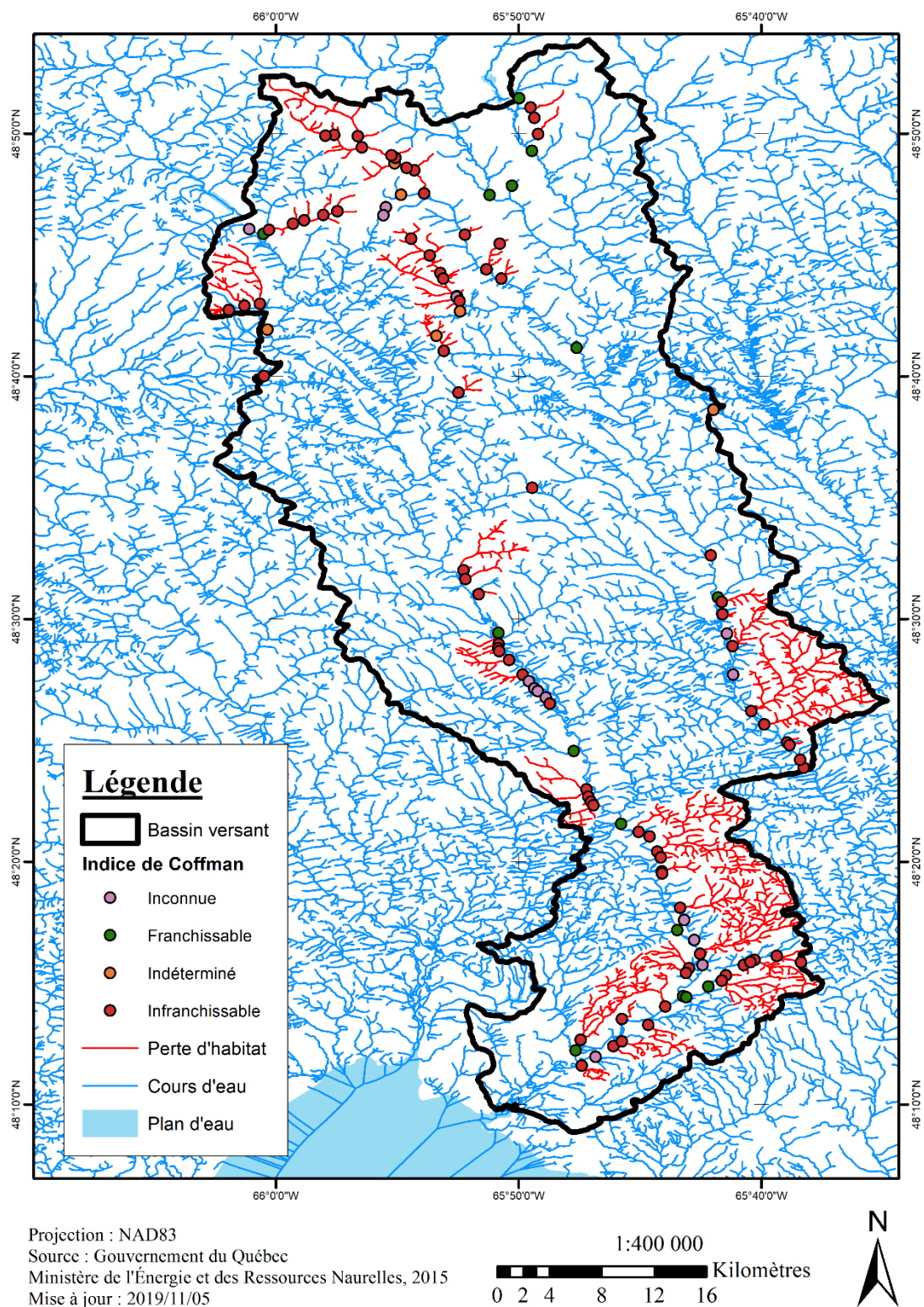


Figure 12. Perte d'habitat potentielle en amont des pontons infranchissables observés dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec)

3-5. Rivière Bonaventure

État global des traverses de cours d'eau

La rivière Bonaventure représente le deuxième plus grand bassin versant de la Baie des Chaleurs avec près de 2 392 km². Tout comme pour la rivière Cascapédia, plus de temps a été consacré pour la caractérisation du bassin versant de la rivière Bonaventure et cela induit qu'environ 13% des traverses de cours d'eau ont été caractérisé. Pour un total théorique de 1720 traverses de cours d'eau, 229 observations ont été réalisées (Annexe 5). Ce nombre comprend 182 ponceaux, 14 ponts, 3 arches et 30 structures manquantes. Quant aux cours d'eau, les observations ont été réalisées sur 113 écoulements permanents, 101 intermittents et 11 dans une situation indéterminée.

21% des ponceaux, indépendamment de leurs matériaux de construction, ont été classé comme étant médiocre ou critique (Tableau 13). Les ponceaux en bois sont les plus touchés, malgré leur abondance, et ne présentent aucune traverse dans un état acceptable ou bon. Les ponceaux en acier, en plastique et en béton représentent respectivement 15%, 25% et 21% des structures dans une condition médiocre ou critique. La majorité des ponceaux observés dans un état critique étaient de vieilles installations souvent affaissées et ne permettant plus un écoulement adéquat. En général, les arches (100%) et les ponts (86%) sur le territoire sont dans une condition bonne ou acceptable.

Tableau 13. Condition des ponceaux en fonction de leur capacité à supporter la route et du libre écoulement des eaux. Bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)

Condition	Acier		Plastique		Béton		Bois	
	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
Bon	50	44	16	44	8	42	-	-
Acceptable	46	40	11	31	7	37	-	-
Médiocre	13	11	6	17	3	16	3	43
Critique	5	4	3	8	1	5	4	57
Inconnue	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	114	100	36	100	19	100	7	100

Problématiques

Les principales problématiques des traverses de cours d'eau se situe au niveau de l'obstruction des ponceaux (Figure 10), de l'érosion (Tableau 14), d'un entretien déficient (Tableau 15) et des modifications des caractéristiques du cours d'eau (Tableau 16). Pour l'obstruction des cours d'eau, seulement 2% des ponceaux échantillonnés ne montraient aucune obstruction, tandis que 22% de

ceux-ci en affichaient un de 21% et plus. Parmi l'ensemble des cas d'obstruction, la plus fréquente est l'obstruction mixte de sédiments et de débris végétaux. L'activité du castor était observable par les barrages dans le conduit (10), en aval (5) et en amont (2). Les signes de présence du castor étaient aussi observés à 9 reprises sans signe de barrage.

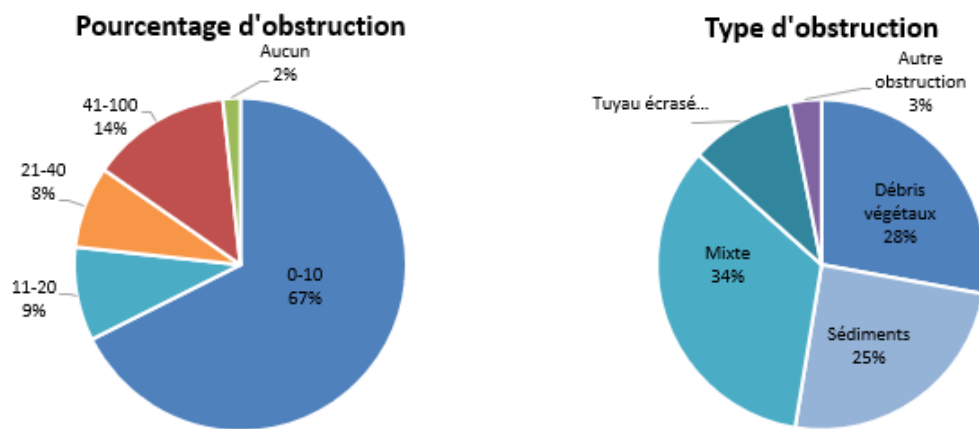


Figure 13. Évaluation à vue du pourcentage d'obstruction et du type d'obstruction des ponceaux dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)

Les problématiques d'érosion sont principalement causées par la chaussée (29%) et les remblais (30% ; Tableau 14). Les ponts et les ponceaux présentaient néanmoins une grande diversité de sources d'érosion alors que seulement 17% des traverses ne présentaient aucun apport de sédiments dans le cours d'eau.

Tableau 14. Sources d'érosion selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)

Sources d'érosion	Ponceaux (n = 176)	Arches (n = 3)	Ponts (n = 14)
Berges	38	-	1
Chemin	74	1	8
Fossé	15	-	1
Remblais	79	1	5
Déblais	2	-	1
Inconnue	10	-	1
Aucun	44	2	4
Total	262	4	21

Les problématiques reliées à un entretien déficient, quant à elles, étaient observables sur 66% des traverses caractérisées (Tableau 15). Les problématiques de bassin de sédimentation et de digues brisées étaient les plus courantes avec une occurrence respective de 23% et 22%. Tout comme les problématiques d'érosion, les ponceaux et les ponts montrent des problématiques d'entretien variées.

Tableau 15. Problématiques d'entretien selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)

Problèmes d'entretien	Ponceaux (n = 176)	Arches (n = 3)	Ponts (n = 14)
Bassin de sédimentation	54	-	5
Digue absente	29	1	1
Digue brisée	55	-	1
Digue au mauvais endroit	2	-	-
Transport de matériel dans les 20 m	17	1	2
Profil du chemin	0	-	2
Ornière	0	-	-
Aucun	80	2	6
Total	237	4	17

Un total de 86% des traverses inventoriées comportent des problématiques au niveau des modifications du cours d'eau (Tableau 16). L'absence de substrat dans le fond du conduit et la création d'une fosse en aval sont les deux causes principales d'altération.

Tableau 16. Modification du cours d'eau selon le type de traverses observées dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176).

Modifications du cours d'eau	Ponceaux (n = 176)	Arches (n = 3)	Ponts (n = 14)
Absence de lit	129	1	0
Augmentation de la pente	10	0	0
Augmentation de la vitesse	31	0	0
Diminution de la largeur	14	0	0
Diminution de la profondeur	20	0	0
Création d'une fosse	100	0	2
Aucune	38	2	12
Total	342	3	14

Accessibilité du territoire à l'ichtyofaune

Dans le cas de la rivière Bonaventure, l'indice de Coffman (2005) montre une grande proportion de ponceaux infranchissables (68%; Figure 11), mais d'une moins grande ampleur que les autres rivières. Malgré qu'il y avait 23% des ponceaux pour lesquels aucune information n'avait été recueillie quant à la présence de substrat dans le conduit, il y avait tout de même 45% des ponceaux présentant un manque de substrat. L'information non recueillie était principalement due à incapacité à regarder à l'intérieur du conduit lorsque obstrués ou à s'y rendre par une végétation dense. L'occurrence de chute de moins de 22,86 cm (29%) et de pente inférieure à 3,5% (23%) augmente le pourcentage de ponceau avec un indice indéterminé (29%).

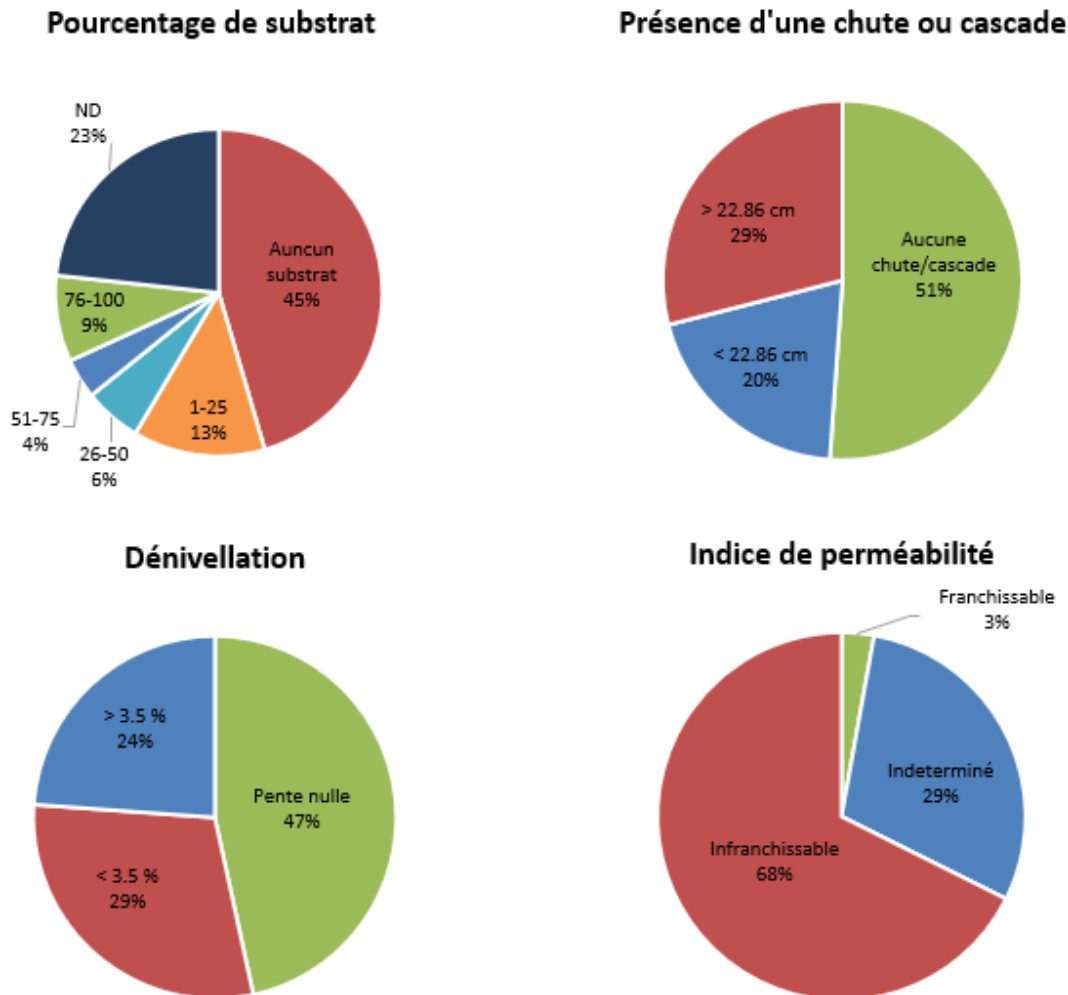


Figure 14. Descripteur indépendant temporel et indice de perméabilité du filtre de Coffman (2005) pour classifier le succès des salmonidés juvéniles à franchir les ponceaux dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019 (n = 176)

Cette problématique au niveau de la perméabilité des traverses occasionne une perte d'habitat estimée à 6 000 687 m² (Figure 14). En complément, l'annexe 9 permet d'analyser l'ensemble des ponceaux infranchissable et de l'estimation de la superficie rendue inaccessible.

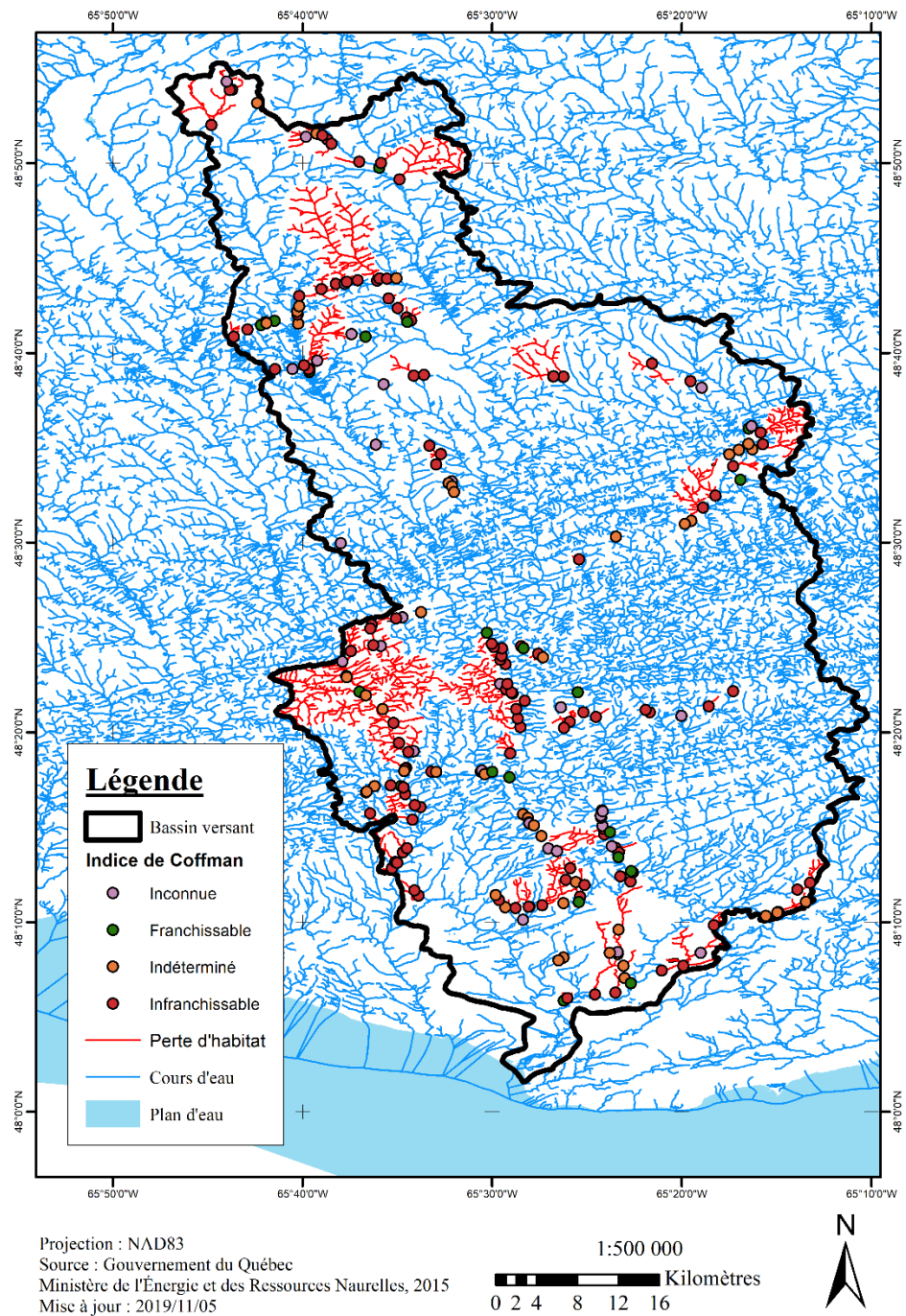


Figure 15. Perte d'habitat potentielle en amont des ponceaux infranchissables observés dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

4. DISCUSSION

4-1. Condition des infrastructures

Généralité

L'analyse de la condition des ponceaux à l'étude montre que toutes rivières confondues, plus de 15% de ceux-ci ont une condition médiocre ou critique (médiocre : 11%; Critique : 5%; n = 575). L'analyse de Paradis Lacombe et Jutras (2016) sur la durabilité des traverses de cours d'eau dans divers territoires présente des résultats similaires pour la région de la Capitale-Nationale (médiocre : 10%; critique : 10%; n = 1355), ainsi que la base de données de Zecs Québec (médiocre : 10%; critique : 7%; n = 3760) et pour la base de données de différents pourvoires (médiocre : 23%; critique : 6%; n = 1355). Ces derniers résultats ainsi que ceux de la présente étude peuvent s'expliquer par le choix des critères d'évaluation de l'état des ponceaux. L'état était défini par la capacité de support du chemin et celle du libre écoulement des eaux. Pourtant, ces deux critères sont relatifs à la structure et non à son impact sur le milieu qui l'entoure. Les sources d'obstruction, d'érosion, de problématiques d'entretien et de modifications du cours d'eau pouvant affecter le milieu ne sont pas prises en compte, à moins que ces derniers influencent l'un des deux critères d'évaluation. Par exemple, un ponceau avec une chute affectant le succès de passage du poisson ne serait pas considéré en mauvaise condition, à moins que l'obstacle ne crée un problème pouvant affecter l'intégralité de la structure.

De plus, l'inventaire des ponceaux s'est effectué majoritairement sur les chemins forestiers les plus fréquentés. Il en va de même pour les études analysées par Paradis Lacombe et Jutras (2016) sur différentes bases de données. En général, ce sont les structures retrouvées sur les chemins les plus fréquentés qui sont les plus inspectées et entretenues. Il est donc plus probable de les trouver dans de meilleures conditions. Il est à noter que l'inventaire terrain (non pas l'analyse de bases de données) sur différentes unités de paysage de Paradis-Lacombe et Jutras (2016) reflètent une majorité de structures de condition médiocre ou pire (59%). Leurs résultats sont expliqués par une meilleure représentativité de l'ordre de fréquentation des chemins (fréquentés, peu fréquentés et abandonnés). Cette information laisse présager un biais quant à la représentation de l'ensemble du territoire puisque seuls les ponceaux sur des chemins carrossables ont été inventoriés. La réalisation d'analyses incluant un plus grand nombre de chemins avec une plus forte proportion de chemins peu fréquentés et abandonnés mettrait en évidence une plus grande proportion de ponceaux dans un état médiocre ou critique. Considérant les contraintes de temps lors de la prise de données terrain en raison du vaste territoire à couvrir, les efforts ont été concentrés sur les chemins fréquentés et

accessibles. Cela peut a pu refléter un biais dans l'analyse des données. Toutefois, l'objectif premier des questionnaires de Zecs a été atteint, soit de définir les traverses dommageables, accessibles et nuisibles aux poissons et leurs habitats. Les efforts ont donc été mis sur les traverses accessibles par véhicule et desservant le plus grand réseau hydrique en amont.

Globalement, les secteurs exclus lors de l'inventaire terrain étaient associés à d'anciens sites de coupe où les chemins étaient en régénération et difficile d'accès. Un plus grand nombre de ponceaux problématique pourrait potentiellement s'y trouver. Ce constat est aussi observé par Paradis Lacombe et Jutras (2016), puisque la fréquentation des chemins affecte de façon variable la condition des ponceaux. Les chemins tertiaires (selon l'ordre de fréquentation) présentent généralement une plus faible quantité de traverses (Desmarais, 2012). Dans ces cas, une stratégie d'évitement en tête de bassin est préconisée pour réduire les coûts et l'empiètement sur les cours d'eau (MFFP, 2019). Cette technique est une norme apparue avec le RNI en 1986 et qui n'était pas appliquée auparavant (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Cela va de pair avec les contraintes géographiques en milieu forestier. Le relief y est davantage accidenté en bas de pente où le sol est plus mince et où l'on y retrouve une plus grande quantité de ponceau potentiellement endommagé (Paradis Lacombe et Jutras, 2016).

Type d'infrastructure

La détérioration des traverses de cours d'eau peut aussi être associée aux types d'infrastructures employés lors de la construction (Paradis Lacombe et Jutras, 2016). Les résultats obtenus affichent 93% des arches et des ponts avec des conditions acceptables et bonnes. En raison de leur type d'installation qui réduit l'empiètement dans le cours d'eau, qui maintient un lit et la trajectoire de l'écoulement, ces infrastructures sont moins sujettes à se dégrader dans le temps (Makrakis *et al.*, 2012). Les observations d'arches ou de ponts en mauvais état provenaient principalement d'un affouissement du remblai. Cela peut provenir de problématiques d'érosion ou de la création d'une fosse en aval de la structure. La présence de fosse peut toutefois s'avérer bénéfique puisque sert de zone de repos et pour le poisson avant un saut (Gagnon-Poiré, 2017).

En comparaison aux arches et aux ponts, les ponceaux affichent une plus grande variation dans leur état structurel. Le choix des matériaux est essentiel pour assurer une durabilité (Goerig *et al.*, 2016). Les ponceaux en acier représentent la majorité des structures observée sur le territoire à l'étude (n=575) et il est possible de voir une grande variation dans leur condition. Ces conduites flexibles sont utilisées depuis longtemps et leur usure peut provenir de divers paramètres du milieu : abrasion, pH et résistivité électrique (Gagnon-Poiré, 2017). Néanmoins, le vieillissement et l'usure

normale des ponceaux feraient partie des principales causes de dégradation selon Paradis-Lacombe et Jutras (2016). La présente étude s'est déroulée majoritairement sur les chemins principaux où ces derniers sont entretenus davantage par les différents usagés et principalement par la voirie forestière (Desmarais, 2012).

Type de matériaux

En fin de vie, les infrastructures sont remplacées par de plus récentes et cela peut expliquer la variation des conditions des ponceaux en acier. Cette variation peut aussi provenir du modèle de ponceau. Le diamètre du conduit, l'épaisseur de la tôle, le nombre d'ondulations et le type de revêtement sont tous des critères pouvant influencer la rigidité structurale et la durabilité d'un ponceau en acier (Goerig *et al.*, 2016; Paradis-Lacombe et Jutras, 2016).

La caractérisation des ponceaux de plastique affiche aussi des conditions variables. Ces ponceaux sont utilisés depuis peu par la voirie forestière et selon le *Plastic Pipe Institute* (PPI, 2009), les tuyaux de plastique pourraient avoir une durée de vie entre 50 et 100 ans si l'installation est adéquate. Il est à noter que ces conduites flexibles peuvent être plus facilement déformées par des forces récurrentes en raison de leur résistance mécanique ténue (PPI, 2009).

Les ponceaux en bois observés ont tendance à être dans un état critique ou inconnu dans les quatre bassins versant à l'étude. Bien qu'ils ne soient pratiquement plus utilisés, leurs présences restent répandues sur les anciens chemins et il est aussi possible d'en retrouver sur ceux fortement utilisés. Lorsque présentes, ces infrastructures peuvent être installées depuis plus de 25-30 ans (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). Aucun document légal n'était disponible à l'époque concernant leurs normes de fabrication et il en résulte plusieurs défauts majeurs ; la pourriture des matériaux, les fentes, la dégradation par le soleil, les dommages par les insectes, la disjonction des matériaux, la durée de vie et l'abrasion (Ministry of transportation, 2000). En raison de l'âge des structures, les ponceaux en bois sont dans un état critique et il est pratiquement impossible de déterminer si la dégradation des structures est due à une dégradation normale ou une mauvaise installation.

4-2. Impact des infrastructures

Érosion et entretien

Il est démontré par plusieurs études que la construction, l'entretien et la dégradation des chemins et des traverses de cours d'eau sont les causes principales de détérioration de l'habitat des espèces

aquatiques (i.e. Wagner *et al.*, 2004 ; Poplar-Jeffers *et al.*, 2009; Gagnon-poiré, 2017). Dans la présente étude, les premiers impacts observés proviennent de l'érosion et de la sédimentation dans les cours d'eau. Les sources d'érosion les plus fréquemment rencontrées étaient d'ailleurs au niveau des chemins (Nouvelle : 26%; Cascapédia : 34%; Petite Cascapédia : 31%; Bonaventure : 42%). Ces impacts prennent source lorsque l'eau de pluie est captée par la surface du chemin. Ce captage de la chaussée modifie le régime hydrique et affecte les modèles naturels de drainage (Delisle *et al.*, 2004). L'eau concentrée sur la chaussée et dans les fossés est déviée vers des lieux non propices à son accumulation (Gucinski *et al.*, 2001). Sur le terrain, la présence d'érosion sur le chemin était visible par des sillons dans le sens de la pente (Delisle *et al.*, 2004). Lorsque la traverse était située en bas de pente, il était possible d'observer une accélération du ruissellement, résultant en une plus forte érosion de la chaussée. L'accumulation d'eau dans les fossés peut provenir de la déviation de cours d'eau qui rencontrent la surface du chemin (Delisle *et al.*, 2004). Ce signe était souvent caractéristique d'une traverse manquante.

La négligence de l'entretien des bassins de sédimentation ou des canaux de déviation (Nouvelle : 19%; Cascapédia : 26%; Petite Cascapédia : 39%; Bonaventure : 31%) pourrait aussi être en cause dans l'érosion du chemin. Lorsque le bassin de sédimentation est bouché et inaccessible pour l'écoulement, le ruissellement accélère sur la chaussée puisqu'il n'y a pas de point de dispersion (Delisle *et al.*, 2004). D'ailleurs, une digue au mauvais endroit peut avoir le même impact en redirigeant les eaux. Normalement, les bassins de sédimentation et les canaux de déviation servent à déposer les sédiments loin du cours d'eau (Delisle *et al.*, 2004). En cas d'inaccessibilité, les sédiments se dirigent vers les bas de pente où un cours d'eau peut se trouver (Delisle *et al.*, 2004). L'entretien régulier des bassins de sédimentation est donc nécessaire pour y retirer les sédiments accumulés et dégager leur accès (Delisle *et al.*, 2004; Dubé *et al.*, 2006).

L'érosion du remblai, une seconde source d'apport de sédiments importante retrouvée dans l'échantillonnage (Nouvelle : 24%; Cascapédia : 20%; Petite Cascapédia : 35%; Bonaventure : 45%), peut survenir lorsqu'il y a une mauvaise installation du talus (Jetté *et al.*, 1998; Desmarais, 2012). Ce dernier peut-être mal stabilisé ou la pente pas adoucie correctement (MRN, 1997). Cette problématique est aussi rencontrée en présence d'un affouillement dû à une chute et une fosse en aval d'un ponceau. L'érosion du remblai peut s'avérer critique en compromettant l'intégrité de la structure (MRN, 1997). Comme le mentionnent Paradis-Lacombe et Jutras (2016), il n'existe pas d'indication concernant la grosseur des roches et l'inclinaison nécessaire pour le talus des remblais. Ce manque d'information pourrait entraîner des défauts lors de la mise en place des ponceaux par

l'ajout de matériel trop lourd ou instable. Cette lacune pourrait expliquer la présence de plusieurs cas d'érosion des remblais sur l'ensemble du territoire.

Un manque d'entretien au niveau des digues (Nouvelle : 38%; Cascapédia : 34%; Petite Cascapédia : 39%; Bonaventure : 49%) peu, aussi être en cause lors d'érosion du remblai. Lorsqu'une digue est absente ou brisée dans les 20 mètres de part et d'autre d'un ponceau, l'eau captée par la chaussée cause de l'érosion en se dirigeant directement vers le remblai (MTQ, 2012). Le bris des digues pourrait provenir de la présence de trous d'eau sur le chemin au-dessus du ponceau. L'effet de roulement des véhicules dans ces trous peut briser les digues par l'action des vagues en plus d'asperger directement le ruisseau d'une eau saturée en sédiments (Marc-Antoine Allard, Communication personnelle, 2019).

La dernière source d'érosion d'importance est l'érosion des berges (Nouvelle : 15%; Cascapédia : 12%; Petite Cascapédia : 36%; Bonaventure : 22%). Ce type d'érosion est un phénomène qui survient lorsqu'il y a une sinuosité du cours d'eau (MRN, 1997). Lorsque les ponceaux sont positionnés dans un angle non perpendiculaire au tronçon naturel de la rivière, ils peuvent entraîner une sinuosité irrégulière de l'écoulement vers les berges en plus d'entraîner d'éventuelles problématiques d'obstructions (MRN, 1997). Ce problème peut survenir avec une augmentation de la vitesse d'écoulement dans le conduit ou d'une chute en aval de la structure (MRN, 1997). Ces informations sont corroborées avec ce qui est observé *in situ* et permet de mieux comprendre l'impact des ponceaux sur l'érosion des berges observées sur le territoire.

Modification du cours d'eau

L'impact des infrastructures sur l'habitat du poisson peut aussi se répercuter sur la modification du cours d'eau. Dans le cas des arches et des ponts, ces changements sont de moindre envergure en raison du type d'installation qui réduit l'impact sur l'empiètement, la trajectoire et le lit du cours d'eau (Dallaire, 2006; Makrakis *et al.*, 2012). Pour les ponceaux, l'absence de lit dans le fond du conduit est la principale modification observée (Nouvelle : 72%; Cascapédia : 62%; Petite Cascapédia : 67%; Bonaventure : 73%). En présence de substrats dans le conduit, il y a une augmentation de la rugosité qui réduit la vitesse d'écoulement (Warren *et al.*, 1998). Ceci permet de réduire l'effet de barrière associé à la structure en augmentant la capacité de nage du poisson et en créant des zones de repos pour la faune aquatique (Warren *et al.*, 1998). Bien que variable d'une rivière à l'autre, la vitesse du courant ne peut être responsable à elle seule de l'absence de substrat dans le conduit (Latrémouille *et al.*, 2014). Cette absence pourrait provenir davantage de la synergie entre plusieurs facteurs : l'augmentation de la vitesse du courant, l'augmentation de la pente, la

diminution de la largeur du cours d'eau et la diminution de la profondeur d'eau (Latrémouille *et al.*, 2014; Gagnon-Poiré, 2017). Ces derniers influencent la vitesse du courant et entraînent une augmentation de la capacité de transport de sédiments hors du conduit (Dallaire, 2006).

Plus spécifiquement, une pente accrue influence négativement la flottabilité du poisson dans un ponceau en raison des différentes forces agissant sur le corps de ce dernier (Furniss *et al.*, 1991). Le poisson doit lutter contre une vitesse de courant plus élevée, mais il doit aussi déplacer son poids contre la gravité (Furniss *et al.*, 1991).

La diminution de la largeur de cours d'eau occasionne aussi une plus grande vitesse de l'eau dans la structure. En modifiant le régime hydrique du tronçon, elle entraîne une perte d'habitat et fragilise l'infrastructure en augmentant les risques d'obstruction (Furniss *et al.*, 1991). La modification de la morphologie d'un ruisseau peut ainsi causer un déplacement des habitats d'importance pour la faune aquatique, dont les aires d'alevinage et les frayères (Dallaire, 2006).

Dans le cas d'une diminution de la profondeur d'eau, le ponceau n'est souvent pas assez enfoui et cela entraîne une réduction de la rugosité du lit par manque de substrat (MRN, 1997). Cette rugosité peut être compensée ou augmentée en fonction des conduits sélectionnés (CSPI, 2007). Les ponceaux en plastique à simple paroi sont de bons exemples (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). Ces tuyaux présentent une structure uniforme et ondulée à l'extérieur comme à l'intérieur qui permet de conserver la rigidité de la structure tout en favorisant une légère souplesse (PPI, 2009). Le grand avantage de ce type de ponceau est qu'il augmente la rugosité et réduit la vitesse d'écoulement des eaux (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). À l'inverse, selon les observations, les ponceaux en plastique à double paroi montrent une paroi plane et sans ondulation à l'intérieur du conduit. En réduisant la rugosité, une vitesse de courant plus élevée peut être observée et limiter le succès de passage du poisson dans la traverse par une réduction de la capacité de nage (MRN, 1997). Ce phénomène d'augmentation de la vitesse peut aussi être observé dans les ponceaux en métal lisse ou en béton (Paradis Lacombe et Jutras, 2016).

4-3. Fragmentation et perte d'habitats

Parmi les ponceaux inventoriés sur les différents bassins versants, plusieurs sont considérés infranchissables et seraient susceptibles de limiter le passage des saumons juvéniles. Les rivières Nouvelle, Cascapédia, Petite Cascapédia et Bonaventure affichent respectivement 90%, 91%, 91% et 68% de ponceaux infranchissables. Ces derniers participent à la fragmentation et la perte

d'habitat dans le cours d'eau en amont. L'utilisation de filtre statique tel que celui de Coffman (2005) se base sur des variables stables fixes et indépendantes de la dynamique du cours d'eau. En cas d'absence de substrat dans le conduit, les ponceaux étaient automatiquement considérés infranchissables. Coffman (2005) justifie cela par une plus grande facilité des poissons à traverser un conduit ayant des caractéristiques reproduisant l'état naturel du cours d'eau (substrat, vitesse, largeur et profondeur). C'est pourquoi les arches et les ponts sont tous considérés franchissables. La présence de substrat tout comme la pente du ponceau influencent la vitesse d'écoulement. Warren *et al.* (1998) ont d'ailleurs démontré que la vitesse d'écoulement dans un ponceau est inversement proportionnelle au déplacement des poissons dans ce dernier. La présence d'une chute peu contraindre le passage du poisson en excédant la capacité de saut de celui-ci si la hauteur est trop élevée (Warren *et al.*, 1998; Poplar-Jeffers *et al.*, 2009).

Comme le mentionnent Kemp *et al.* (2010), ce type de filtre à pour lacune de ne pas prendre pas en compte l'addition des impacts multiples provenant de l'interconnexion retrouvée sur le réseau hydrographique. Le choix des variables et de la méthode d'évaluation de la perméabilité peut affecter le résultat de la classification (Gagnon-Poiré, 2017). C'est pourquoi il est nécessaire de prendre en considération une approche intégrée en ce qui concerne la gestion et la conservation de la ressource.

Le calcul de la superficie en amont utilise la largeur de la limite des hautes eaux. Sachant que la largeur des cours d'eau a tendance à diminuer vers l'amont, les résultats du calcul de la superficie seraient surestimés (Nouvelle : 6 000 687 m²; Cascapédia : 6 664 845 m²; Petite Cascapédia : 3 650 996 m²; Bonaventure : 6 000 687 m²). Toutefois, l'accessibilité à plus de territoire n'est pas une garantie de la qualité de l'habitat (Gagnon-Poiré, 2017). Il est important de noter que la mesure des ponceaux infranchissables et indéterminés a été intégrée dans l'équation en raison du potentiel de ces derniers d'empêcher le passage du poisson. La caractérisation de l'habitat en amont est donc essentielle pour valider l'impact réel d'un ponceau jugé infranchissable. (Gagnon-Poiré, 2017). Parmi ses impacts potentiels, il s'y trouve la réduction des déplacements, l'augmentation de l'isolement génétique et la restriction à des aires d'alimentation, d'abris ou de repos (Albanese *et al.*, 2004).

4-4. Recommandations

Suite aux différentes lacunes identifiées et concernant les différentes problématiques évaluées, il est essentiel d'établir des pistes de solution et de cibler spécifiquement certains ponceaux plus dommageables. À cet effet, les annexes 10 à 13 permettent de définir une liste de ponceaux nécessitant une intervention alors que l'annexe 14 décrit les interventions. Ces derniers ont été principalement sélectionnés en fonction de la perte d'habitat occasionné par la limitation du passage des poissons. La proximité des chemins principaux a aussi été tenue en considération pour faciliter l'accès au site.

La saine pratique d'aménagement se voit en deux volets. Soit une planification des endroits et un contrôle des impacts. La planification avant même l'installation d'une structure est une phase importante pouvant avoir de lourde conséquence. Globalement, il est recommandé de respecter adéquatement le « *Guide d'application du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'état* » lors de l'installation des ponceaux. Plusieurs recommandations visant la libre circulation du poisson sont déjà établies et validées par la communauté scientifique. De façon générale, il est préférable de préconiser une structure de type arche en raison de son emprise sur le cours d'eau qui maintien un substrat en place et ne diminue pas la largeur de l'écoulement (Gibson *et al.*, 2005; Makrakis *et al.*, 2012). Si un ponceau est installé, ce dernier doit être suffisamment enfoui (Coffman, 2005) et la pente devrait suivre celle du cours d'eau (Poplar-Jeffers *et al.*, 2009) pour conserver du substrat dans la structure. Pour faciliter l'ascension des juvéniles dans les ponceaux, des déflecteurs peuvent être installés pour réduire la vitesse d'écoulement (Hoffman et Dunham, 2007, Macdonald et Davies, 2007). Cependant, en présence d'un débit trop élevé, l'augmentation de la turbulence est reconnue comme étant limitante pour les plus petits individus (Powers *et al.*, 1997).

En aval du ponceau, la présence d'une fosse permet une zone d'eau calme permettant au poisson de se reposer, et ce, davantage en présence d'une chute (Gagnon-Poiré, 2017). Un type d'aménagement spécifique à cette problématique est possible sans modifier l'installation du ponceau. Il est possible de créer un aménagement dans le ruisseau en aval du ponceau afin de créer des fosses et des seuils pour remonter le niveau d'eau jusqu'au ponceau (Erkinaro *et al.*, 2017). Aussi, en présence d'une chute artificielle, il est recommandé de stabiliser le substrat pour éviter un balayage (MRN, 1997). Ce dernier peut aussi être évité si les berges sont stabilisées en présence d'un cours d'eau sinueux (MRN, 1997).

De plus, l'entretien minimal comprenant le nivelage de la chaussée (uniformiser et assurer un bon drainage), le débroussaillage en bordure du chemin, le retrait des sédiments dans les bassins de sédimentation et des fossés en plus de l'entretien des traverses de cours d'eau devrait être réalisé régulièrement pour prolonger la durée de vie des infrastructures (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). L'entretien de la chaussée comprend un nivelage assurant un profil de chemin en forme de « V » inversé (Gauthier et Varady-Szabo, 2014). La surface au-dessus des traverses devrait être supérieure que le reste du chemin pour évacuer les eaux de ruissellement loin du cours d'eau (Delisle *et al.*, 2004). Ces eaux sont récupérées par les fossés ou les bassins de sédimentation et devraient être détournées vers la végétation (Gauthier et Varady-Szabo, 2014).

Concernant les chemins forestiers peu utilisés lors de l'exploitation forestière, l'utilisation de pontages temporaires peut être une solution envisageable pour les cours d'eau de grande envergure (Lacombe et Jutras, 2016). Conjointement à l'utilisation de traverses à gué aménagé, cela contribue à réduire le nombre de structures abandonnées dans le temps. Les chemins abandonnés et les ponceaux y étant installés deviennent désuets avec le temps. Il n'est donc pas justifiable de les laisser en place (Paradis-Lacombe et Jutras, 2016). Des travaux de désactivation des chemins abandonnés par le retrait des anciennes traverses de cours d'eau sont une solution pouvant avoir des répercussions positives sur un territoire (Gagnon-Poiré, 2017). Tout en limitant la fragmentation par les ponceaux obstrués, la désactivation de ces chemins peut amener un tributaire, auparavant déconnecté, à son état d'origine. Somme toute, les aménagements et les actions entreprises pour limiter les impacts de la voirie forestière sur le milieu nécessitent d'appliquer des solutions adaptées et cohérentes aux besoins des utilisateurs, et ce, en fonction du type de territoire faunique (Lacombe et Jutras, 2016).

5. CONCLUSION

Ce rapport se veut un outil d'aide pour permettre aux gestionnaires des rivières Nouvelle, Cascapédia, Petite Cascapédia et Bonaventure (Gaspésie, Québec) de connaître l'état global du réseau routier et des traverses de cours d'eau dans leur bassin versant respectif. Avec une méthode standardisée d'évaluation des traverses de cours d'eau, il a été possible de déterminer plusieurs causes de détérioration des cours d'eau de la Baie des Chaleurs. Il ressort de cette étude que l'état des ponceaux est variable en fonction des matériaux employés, et ce, particulièrement pour les ponceaux en acier et en plastique. Les ponceaux en bois étaient ceux retrouvés le plus régulièrement dans un état critique. L'obstruction des ponceaux qui est de plus de 21% sur le réseau

hydrographique touche près de 18% de ceux-ci. Les sources d'érosion fréquentes, quant à elles, sont l'érosion du chemin, du remblai et des berges du cours d'eau. Cette érosion proviendrait d'une déficience d'entretien des bassins de sédimentation et des problématiques au niveau des digues. En ce qui concerne les modifications du cours d'eau, l'absence de lit dans le fond du conduit et la création d'une fosse en aval de la structure sont les plus récurrentes. L'ensemble de ses problématiques endommage l'état des infrastructures, des cours d'eau et de la qualité d'habitat pour la faune aquatique. Dans certains cas, cette dernière peut subir une fragmentation et une perte d'habitat en présence de ponceaux infranchissables (> 68%). Cette situation est d'ailleurs observable pour la majorité des ponceaux sur l'ensemble des bassins versants.

Dans un contexte où les chemins se détériorent rapidement et que l'entretien de ceux-ci incombe aux utilisateurs, les gestionnaires de Zec doivent davantage réagir en urgence pour conserver l'accès au territoire et minimiser les dommages environnementaux. Les Zecs assument donc cette lourde tâche et ne parviennent souvent qu'à réaliser des entretiens minimaux (Latrémouille *et al.*, 2014). Il en résulte qu'une partie de la détérioration des habitats aquatiques ne proviendrait pas d'une lacune technique, mais plutôt de difficulté budgétaire (Desmarais, 2012). Le développement d'outils de gestion devient donc un élément essentiel pour optimiser les efforts de conservation et de protection à l'échelle des bassins versants. Il serait donc pertinent de poursuivre cette étude et d'en étendre sa portée sur un plus grand territoire. Cela peut être réalisé en augmentant la proportion des chemins abandonnés et peu fréquentés, caractérisés pour être plus représentatifs du territoire. Pour faciliter cela, il serait possible de concentrer les efforts sur un secteur plus précis. Pour accroître la valeur des aménagements, l'ajout d'une caractérisation des cours d'eau en amont des structures permettrait de vérifier la qualité de l'habitat avant de le rendre accessible afin de favoriser le développement de la ressource.

REMERCIEMENTS

Cette étude d'acquisition de connaissance est un projet collaboratif d'envergure qui n'aurait pu être possible sans l'implication des Zecs de rivière à saumon de la Baie des Chaleurs, et plus particulièrement de Ronald Cormier (Association des pêcheurs sportifs de la rivière Bonaventure), Rémi Lesmerises (Société de restauration et de gestion de la Nouvelle), Marc Gauthier (ZEC de la rivière Petite Cascapédia) et Marc-Antoine Allard (Société de restauration de la rivière Cascapédia). Nous tenons sincèrement à les remercier.

Merci aux différents organismes ayant soutenu financièrement ce projet, sans qui la réalisation n'aurait pu être possible. Nous soulignons ici la Fondation de la Faune du Québec (*Programme de valorisation, d'aménagement et de restauration des habitats du saumon atlantique*), le Ministère de l'Économie et de l'Innovation (*Fonds d'Aide aux Initiatives Régionales*), la Fondation et Conservation du Saumon Atlantique ainsi que le Conseil de l'Eau Gaspésie Sud.

Merci aux nombreux collaborateurs qui ont apporté leur soutien technique et leur connaissance à ce projet. Particulièrement, Antoine Richard et ses collègues (Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs - Caplan), Pierre Desmeules, Valérie Bujold et leurs collègues (Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs - Gaspé) ainsi que Marianne Desrosiers (Table de Gestion Intégrée des Ressources et du Territoire - Gaspésie).

Merci aux différents employés des organismes de gestion qui ont travaillé de près ou de loin à la réalisation de multiples tâches connexes ainsi que Caroline Brûlé pour leur soutien.

RÉFÉRENCES

- Acomley, R. M. et D.A. Sear, 1999. Sediment transport and siltation of brown trout (*Salmon trutta* L.) spawning gravels in chalk streams. *Hydrol. Processes*. **13** : 447-458.
- Albanese B., P.L. Angermeier et S. Dorai-Raj, 2004. Ecological correlates of fish movement in a network of Virginia streams. *Can. J. Fish. Aquat.Sci.* **61**: 857-869.
- Armstrong J. D., F.A. Huntingford et N.A. Herbert, 1999. Individual space use strategies of wild juvenile Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* **55**: 1201-1212.
- Ass, Ø., S. Einum, A. Klemetsen et J. Skurdal, 2011. Atlantic Salmon Ecology. Blackwell Publishing Ltd, Singapore, 467 p.
- Bernatchez, L. et M. Giroux, 1991. Guide des poissons d'eau douce du Québec et leur distribution dans l'Est du Canada, Éditions Broquet Inc, Québec, 304 p.
- Bergeron, N., M. Lapointe, F. Bérubé, M.-A. Pouliot, P. Johnston, G. Wagner, et M. Levasseur, 2003. Étude des impacts des pratiques forestières sur la conservation de la ressource saumon dans le bassin-versant de la rivière Cascapédia : Développement de nouveaux critères sédimentologiques de qualité du substrat de fraie du saumon atlantique. Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Saumon Atlantique (CIRSA), Québec, 46 p.
- Beschta, M., 1978. Long-Term Patterns of Sediment Production Following Road Construction and Logging in the Oregon Coast Range, *Water Resour. Res.* **14**: 1011-1016.
- Briand, Y., 2018. Colloque saumon et foresterie, Constats. Conseil de l'eau du nord de la Gaspésie, 10 p.
- Bujold, J. N., 2010. Utilisation de la technologie des transpondeurs passifs (pit-tags) pour l'étude du comportement spatial des salmonidés dans un tributaire de la rivière Sainte-Marguerite (Saguenay, Québec). Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- Burford, D. D., T.E. McMahon, J.E. Cahoon et M. Blank, 2009. Assessment of trout passage through culverts in a large Montana drainage during summer low flow. *North Am. J. Fish. Manage.* **29**: 739-752.
- Caissie, D. et É. Arseneau, 1999. Substrate composition in the Morell River and other Maritime Province rivers: Potential implications for Atlantic salmon fry emergence. *Dans Cairns, D. K., 2002. Effects of Land Use Practices on Fish, Shellfish, and their Habitats on Prince Edward Island. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **2402**: 26-34.
- Chapman, D. W., 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* **117**: 1-21.

- Coffman, J. S., 2005. Evaluation of a Predictive Model for Upstream Fish Passage Through Culverts. James Madison University, Department of Biology, 104 p.
- Corrugated Steel Pipe Institute (CSPI), 2007. Handbook of steel drainage and highway construction products, 482 p.
- Crisp, D. T., 1993. The Ability of U.K, Salmonid Alevins to Emerge Through a Sand Layer, *J. Fish. Biol.* **43**: 656-658.
- Cummins, K. W. et M.A. Wilzbach, 2005. The Inadequacy of Fish-bearing Criterion for Stream Management. *Aquat. Sci.* **67**: 486-491.
- Cunjak, R. A., D. Guignon, R.B. Angus, et R.A. MacFarlane., 1999. Survival of eggs and alevins of Atlantic salmon and brook trout in relation to fine sediment deposition. Dans Cairns, D. K., 2002. Effects of Land Use Practices on Fish, Shellfish, and their Habitats on Prince Edward Island, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **2402**: 26-34.
- Curry, R. A., S. Allen, M.G. Fox et G.E. Morgan, 1993. Growth and food of young-of-the-year brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in lake and creek environments. *Environ. Biol. Fishes.* **37**: 131-138.
- Daigle, P., 2010. A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: a literature review. *BC Journ. Eco. Manage.* **10**: 25.
- Dallaire, S., 2006. Effet des pratiques forestières sur l'habitat du poisson. Centre technologique des résidus industriels, Amos, 33 p.
- Desautels, R., G. Rochette, R. Després, F. Dufresne, G. Gilbert, S. Leblanc, L. Méthot, Y. Provencher, B. Sénécal et C. Warren, 2009. Voirie forestière. Dans : Éditions Multimonde. Manuel de foresterie. Québec, Québec : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 54 p.
- Desmarais, M., 2012. Le droit applicable aux chemins forestiers du Québec dans une perspective de protection de la biodiversité. Mémoire en droit, Faculté de droit, Université Laval, Québec, 137 p.
- Dugdale, S. J., J. Franssen, E. Corey, N.E. Bergeron, M. Lapointe et R.A. Cunjak, 2016. Main stem movement of Atlantic salmon parr in response to high river temperature. *Ecol. Freshwater Fish.* **25**: 429-445.
- ESRI, 2015. ArcGIS Desktop: Mise à jour 10.3.1. Redlands, Ca. Environmental Systems Research Institute.
- ESRI, 2019. Survey 123 for Arc GIS: Version 3.7.57. Redlands, Ca. Environmental Systems Research Institute (Esri).

- Erkinaro, J. et E. Niemela, 1995. Growth differences between the Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, of nursery brooks and Finland. *Environ. Biol. Fishes.* **42**: 277-287.
- Erkinaro, H. et R. J. Gibson, 1997. Interhabitat migration of juvenile Atlantic salmon in a Newfoundland river system, *Can. J. Fish Biol.* **51**: 373-388.
- Erkinaro, H. et J. Erkinaro, 1998. Feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr in the subarctic River Teno and three tributaries in northernmost Finland. **7**: 13-24.
- Erkinaro, J., H. Erkinaro et E. Niemela, 2017. Road culvert restoration expands the habitat connectivity and production area of juvenile Atlantic salmon in a large subarctic river system. *Fish. Manage. Ecol.* **24**: 73-81.
- Everest, F. H., R.L. Beschta, I.C. Scrivener, K.Y. Koski, I.R. Sedell et C.I. Cederholm, 1987. Fine sediment and salmonid production: a paradox. Dans Cundy, T.W. et E.O. Salo, 1986. Streamside management: forestry and fisheries interactions, University of Washington Institute for Forest Resources, Seattle, pp. 98-142.
- Finstad, A. G., J.D. Armstrong et K.H. Nislow, 2011. Freshwater Habitat Requirements of Atlantic Salmon. Dans Ass, Ø., S. Einum, A. Klemetsen et J. Skurdal, 2011. Atlantic Salmon Ecology. Blackwell Publishing Ltd, Singapore, 467 p.
- Fleming, I. A., 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution, *Fish Biol.* **6**: 379-416.
- Furniss, M. J., T.D. Roelofs et C.S. Yee, 1991. Road construction and maintenance, in Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats, *Am. Fish. Society Special Publication.* **19**: 297-323.
- Gagnon-poiré, R., 2017. Fragmentation de l'habitat du saumon atlantique (*Salmo salar*) par les ponceaux routiers et forestiers. Maîtrise en science de l'eau, Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Québec, 91 p.
- Georig, E., 2016. Modélisation de la capacité de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) à franchir les ponceaux. Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Québec, 146 p.
- Goerig, E. et N. Bergeron, 2014. Modélisation de la capacité de l'omble de fontaine à franchir les ponceaux – rapport final. Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Québec, 133 p.
- Goerig, E., T. Castro-Santos, N.É. Bergeron et M. Bradford, 2016. Brook trout passage performance through culverts. *Can. J. Fish. Aquat.Sci.* **73**: 94-104.

- Gibson, R. J., R.L. Haedrich et C.M. Wernerheim, 2005. Loss of Fish Habitat as a Consequence of Inappropriately Constructed Stream Crossings. *Fish.* **30**: 10-17.
- Gowan, C. et K.D. Fausch, 2002. Why do foraging stream salmonids move during summer? Ecology, behaviour and conservation of the charrs, *genus Salvelinus*, Springer, pp. 139-153.
- Goldes, S. A., H.W. Ferguson, R.D. Moccia et P.Y. Daoust, 1988. Histological effects of the inert suspended clay kaolin on the gills of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. Dans Henley, W. F., M. A. Patterson, J. Neves et A. D. Lemly, 2000. Effects of Sedimentation and Turbidity on Lotic Food Webs: A Concise Review for Natural Resource Managers, *Rev. Fish. Sci. Aquacult.* **8**: 125-139.
- Gucinski, H., M.H. Brookes, M. J. Furniss et R.R. Ziemer, 2001. Forest roads: a synthesis of scientific information. Portland, Oregon: USDA Forest service, Pacific Northwest research station, p. 103.
- Hoffman, R. L. et J. Dunham, 2007. Fish movement ecology in high gradient headwater streams: its relevance to fish passage restoration through stream culvert barriers. US Geological Survey Reston, Virginia, 37 p.
- Huntsman, A. G., 1945. Migration of salmon parr, *J. Fish. Res. Board Can.* **6**: 399-402.
- Jetté, J. P., A. Robitaille, J. Pâquet et G. Parent, 1998. Guide des saines pratiques forestières dans les pentes du Québec. Ministère des Ressources Naturelles, Gouvernement du Québec, Québec, 54 p.
- Kemp, P. S. et J.R. O'Hanley, 2010. Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fish. Manage. Ecol.* **17**: 297-322.
- Lacombe, P. P. et S. Jutras, 2016. État et durabilité des traverses de cours d'eau sur les chemins forestiers. Université Laval, Québec, 41 p.
- Lapointe, M., P. Bérubé et M. Rodriguez, 2004. Impacts des pratiques forestières sur la ressource salmonicole dans le bassin de la Rivière Cascapédia, Gaspésie. Dans Forum de transfert sur la recherche en aménagement et en environnement forestiers. Québec, Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies et Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, pp. 59-66.
- Latremouille, I., B. Paré et C. Langlois, 2014. Méthode uniforme d'inventaire des traverses de cours d'eau dans les zecs, Zecs Québec et Fondation de la Faune du Québec, 58 p.
- Levasseur, M., F. Bérubé et N. Bergeron, 2006. A field method for the concurrent measurement of fine sediment content and embryo survival in artificial salmonid redds. *Earth Surf. Processes Landforms.* **31** : 526-530.

- Lisle, T. E., 1989. Sediment transport and resulting deposition in spawning gravels, north coastal California. *Water Resour. Res.* **25**: 1303-1319.
- Lisle, T. E. et J. Lewis, 1992. Effects of sediment transport on survival of salmonid embryos in a natural stream: a simulation approach. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**: 2337-2344.
- Macdonald, I. S., P.G. Beaudry, E.A. Mac Isaac et H.E. Herunter, 2003. The effects of forest harvesting and best management practices on streamflow and suspended concentrations during snowmelt in headwater stream in sub-boreal forests of British Columbia, Canada. *Can. J. For. Res.* **33**: 1397-1407.
- Macdonald, J. I. et P.E Davies, 2007. Improving the upstream passage of two galaxiid fish species through a pipe culvert. *Fish. Manage. Ecol.* **14**: 221-230.
- Makrakis S., T. Castro-Santos, M.C. Makrakis, R.L. Wagner et M.S. Adames, 2012. Culverts in paved roads as suitable passages for Neotropical fish species. *Neotrop. Ichthyol.* **10**: 763-770.
- Melanson, T. 2000. L'effet des coupes forestière dans les zones riveraines sur l'habitat et l'abondance de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill) dans les ruisseaux Hayward et Holmes. Thèse en biologie, Université de Moncton, 91 p.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Page consultée le 9 septembre 2019. Guide d'application du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'état, [En ligne] URL : mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide.
- Ministère des Ressources Naturelles (MRN), 1994. Le point d'observation écologique - Normes techniques, 117 p.
- Ministère des Ressources Naturelles (MRN), 1997. L'aménagement des ponts et des ponceaux dans le milieu forestier. RN97-3061, Québec, 146 p.
- Ministère des Ressources Naturelles (MRN), 2001. Guide des saines pratiques : voirie forestière et installation de ponceaux, Caplan (Québec), gouvernement du Québec, Direction régionale de la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine, 2001-3074, 27 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ), 2012. Manuel d'inspection des ponceaux. Gouvernement du Québec, Québec, 162 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ), 2014. Manuel de conception des ponceaux. Gouvernement du Québec, Québec, 541 p.
- Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations (FNLR), 2013. Engineering Manual. British Columbia, 347p.

- Ministry of transportation, 2000. Ontario structure inspection manual. Ontario, 394 p.
- Montgomery, D. R., J.M. Buffington, N.P. Peterson, D. Schuett-Hames et T.P. Quinn, 1996. Stream-bed scour, egg burial depths and the influences of salmonid spawning on bed surface mobility and embryo survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **53**: 1061-1070.
- Morin, R., 2012. L'érosion et la sédimentation des cours d'eau liées aux activités du castor : proposition d'une démarche de gestion durable. Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 113 p.
- Northcote, T. G., 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. Dans Gerking S.D., Ecology of Freshwater Fish Production. Édition, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 326-359.
- Northcote, T. G., 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. Dans Arnold, G.P., J.J. Dodson et W.H. Neill Mechanisms of Migration in Fishes. Édition J.D. McCleave, Plenum, New York, pp. 317-355.
- Paradis-Lacombe, P., et S. Jutras, 2016. État et durabilité des traverses de cours d'eau sur les chemins forestiers, 41 p.
- Park, D., M. Sullivan, E. Bayne et G. Scrimgeour, 2008. Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta's boreal forest. *Can. J. For. Res.* **38**: 566-575.
- Pépino, M, M.A. Rodríguez et P. Magnan, 2012. Impacts of highway crossings on density of brook charr in streams. *J. Appl. Ecol.* **49**: 395-403.
- Plastic Pipe Institute (PPI), 2009. Handbook of polyethylene pipe – Second Edition. Irving, Texas, 620 p.
- Plamondon, A. P., 1982. L'influence de l'exploitation forestière sur la concentration des particules dans les petits cours d'eau de la Beauce, Québec. Géographie physique et Quaternaire, **36** : 315-325.
- Poplar-Jeffers, I. O., J.T. Petty, J.T. Anderson, S.J. Kite, M.P. Strager et R.H. Fortney, 2009. Culvert replacement and stream habitat restoration: implications from brook trout management in an Appalachian watershed, USA. *Restor. Ecol.* **17**: 404-413.
- Powers, P. D. et K. Bates, 1997. Investigation of culvert hydraulics related to upstream juvenile salmon passage. Washington Department of Fish and Wildlife, Land and Restoration Services Program, Environmental Engineering Services, 64 p.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Australia. URL: <http://www.R-project.org/>.

- Richard, A., J. Audet, et M. Desrosiers, 2019. Outil de collecte de données sur l'état des traverses de cours d'eau - Guide de l'utilisateur. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Caplan, 29 p.
- Schlosser, I. J., 1991. Stream Fish Ecology - A Landscape Perspective. *Bioscience*. **41**: 704-712.
- Singh, T. et Y.P. Kalra, 1975. Changes in chemical composition of natural waters resulting from progressive clearcutting of forest catchments in West Central Alberta, Canada, *Publ. Intern. Ass. Sci. Hydrol.* **117**: 415- 444.
- Rodríguez, M. A., 2002. Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost. *Ecology*. **83**: 1-13.
- Therrien, J., 1997. Guide technique sur le démantèlement d'embâcles. Fondation de la faune du Québec. Sainte-Foy, 55 p.
- Thorstad, E. B., F. Whoriskey, A.H. Rikardsen et K. Aarestrup, 2011. Aquatic nomads: The life and migrations of the Atlantic salmon. Dans Aas. O., S. Einum, A. Klemetsen et J. Skurdal (éd.) Wiley-Blackwell' Atlantic salmon ecology, 1^e éd., Blackwell Publishing Ltd, United Kingdom et USA, pp. 1-23.
- Torterotot, J., 2014. Effets des ponceaux forestiers sur la distribution de la diversité génétique chez l'omble de fontaine au sein d'un bassin versant boréal. Maîtrise en science, Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Québec, 98 p.
- Trombulak, S. C. et C.A. Frissell, 2000. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conserv. Biol.* **14**: 8-30.
- Verspoor, E., L. Stradmeyer et J. Nielsen, 2007. The Atlantic Salmon. Genetics, Conservation and Management, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 500 p.
- Wagner, G., N. Bergeron, P. Francus et M. Lapointe, 2004. Historique de la relation entre les activités forestières et la production de sédiments fins dans le bassin versant du lac Huard, rivière Cascapédia. Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Saumon Atlantique (CIRSA), Québec, 30 p.
- Warren, M. L. et M.G. Pardew, 1998. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. *Trans. Am. Fish. Soc.* **127**: 637-644.
- Verspoor, E., L. Stradmeyer et J. Nielsen, 2007. The Atlantic Salmon: Genetics, Conservation and Management. FRS Freshwater Laboratory (Blackwell). Oxford, United Kingdom. 500 p.
- Wellman, J. C., D.L. Combs et S.B. Cook, 2000. Long-term impacts of bridge and culvert construction or replacement on fish communities and sediment characteristics of streams. *J. Freshwater Ecol.* **15**: 317-328.

- Wheeler, A. P., P.L. Angermeier et A.E. Rosenberger, 2005. Impacts of New Highways and Subsequent Landscape Urbanization on Stream Habitat and Biota. *Rev. Fish. Sci. Aquacult.* **13**: 141-164.
- Wipfli, M. S. et D.P. Gregovich, 2002. Export of Invertebrates and Detritus from Fishless, Headwater Streams in Southeastern Alaska: Implications for Downstream Salmonid Production, *Freshwater Biol.* **47**: 957-969.

ANNEXES

Annexe 1. Script statistique du modèle prédictif de Coffman (2005) pour prédire la perméabilité d'un ponceau quant au passage du poisson avec exemple de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec)

*Titre nécessaire des colonnes Excel (ID; Infrastructure; Longueur; Denivellation; Substrat; Chute; Coffman) *La colonne Coffman n'inclut aucune donnée préliminaire au test**

Exemple de la petite Cascapédia

```
## Importation
library(readxl)
dataset <- read_excel("PetiteCascapedia_PointsValid_PontsPonceaux.xls")

# AJOUT DE COLONNE #
## Pente
dataset$PENTE <- dataset$DENIVELLAT / dataset$LONGUEUR * 100

## Pente x Longueur
dataset$PENTE_LONG <- dataset$PENTE * dataset$LONGUEUR

# ORGANIGRAMME COFFMAN #
## 100 % du ponceau couvert de substrat naturel
dataset$COFFMAN[dataset$INFRASTRUC %in% c("arche", "pont") |
dataset$SUBSTRAT=="76-100"] <- "franchissable"
## OU retour d'eau (seuil > entré du ponceaux)
dataset$COFFMAN[dataset$CHUTE=="non"] <- "franchissable"

## Seuil 22,86 cm
dataset$COFFMAN[dataset$HT_CHUTE >= 22.86] <- "infranchissable"

## Pente 3.5%
dataset$COFFMAN[dataset$PENTE >= 3.5] <- "infranchissable"
```

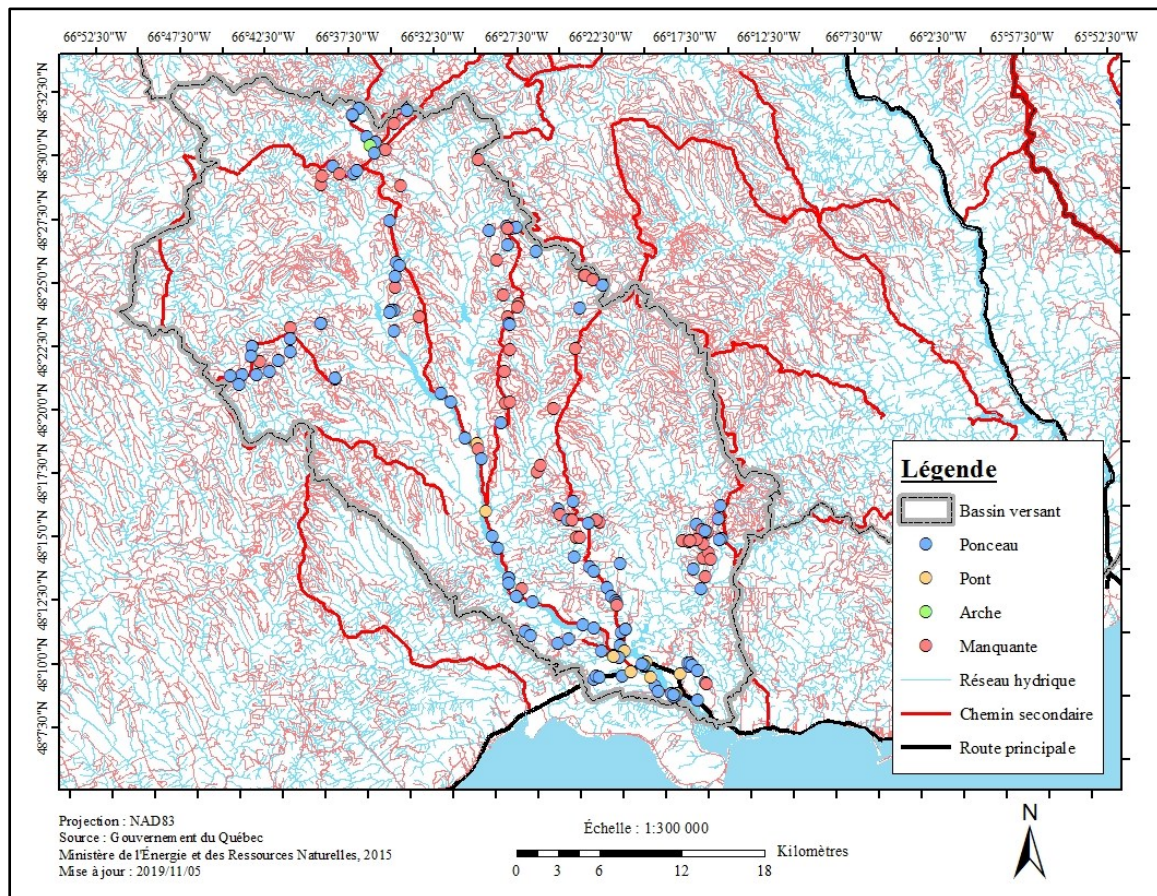
```

## Pente x longueur
dataset$COFFMAN[dataset$HT_CHUTE < 22.86 & dataset$PENTE < 3.5 &
dataset$PENTE_LONG <= 8] <- "franchissable"
dataset$COFFMAN[dataset$HT_CHUTE < 22.86 & dataset$PENTE < 3.5 &
dataset$PENTE_LONG < 61] <- "indetermine"
dataset$COFFMAN[dataset$HT_CHUTE < 22.86 & dataset$PENTE < 3.5 &
dataset$PENTE_LONG >= 61] <- "infranchissable"

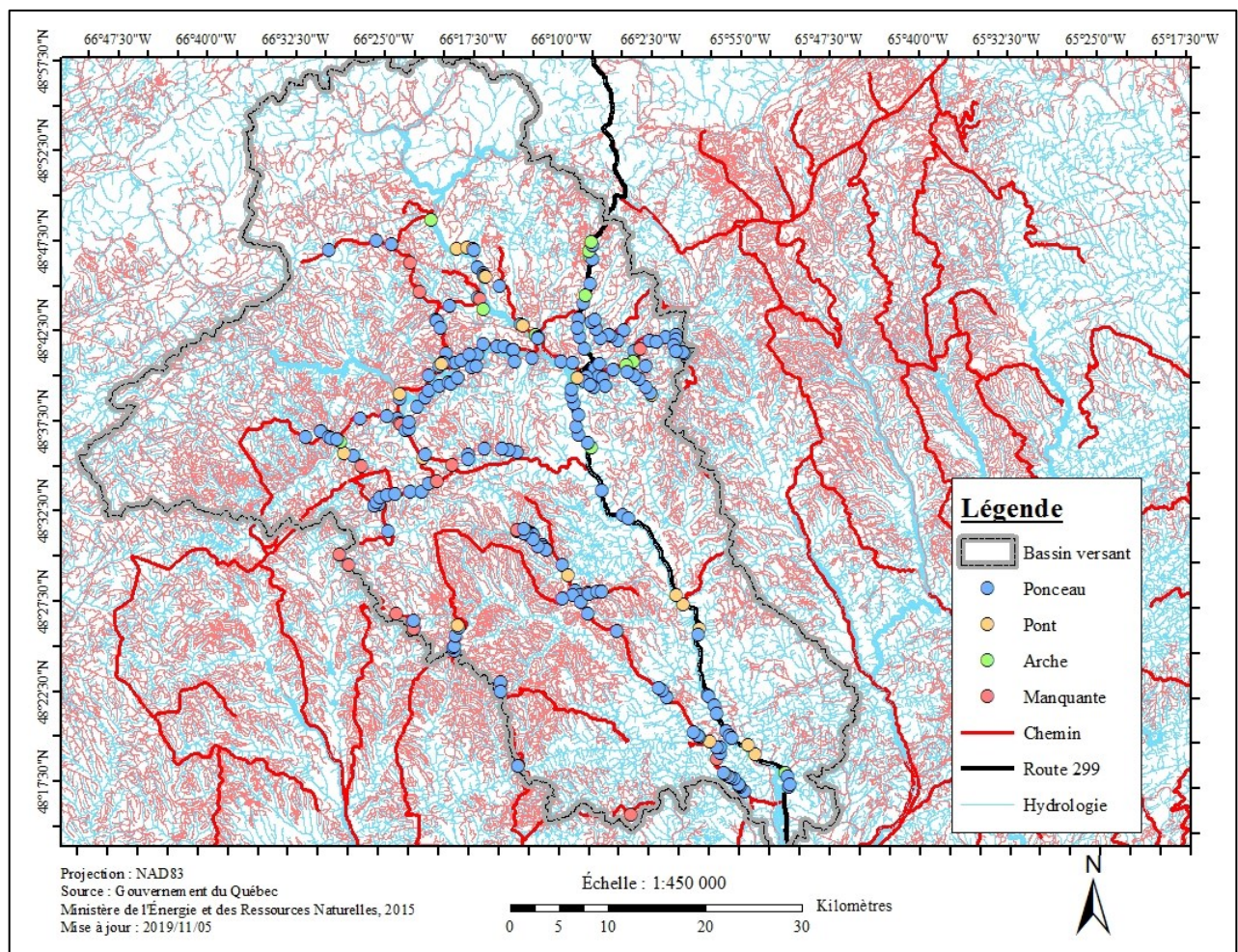
# EXPORTATION #
library(openxlsx)
write.xlsx(dataset, "PetiteCascapedia_COFFMAN.xlsx")

```

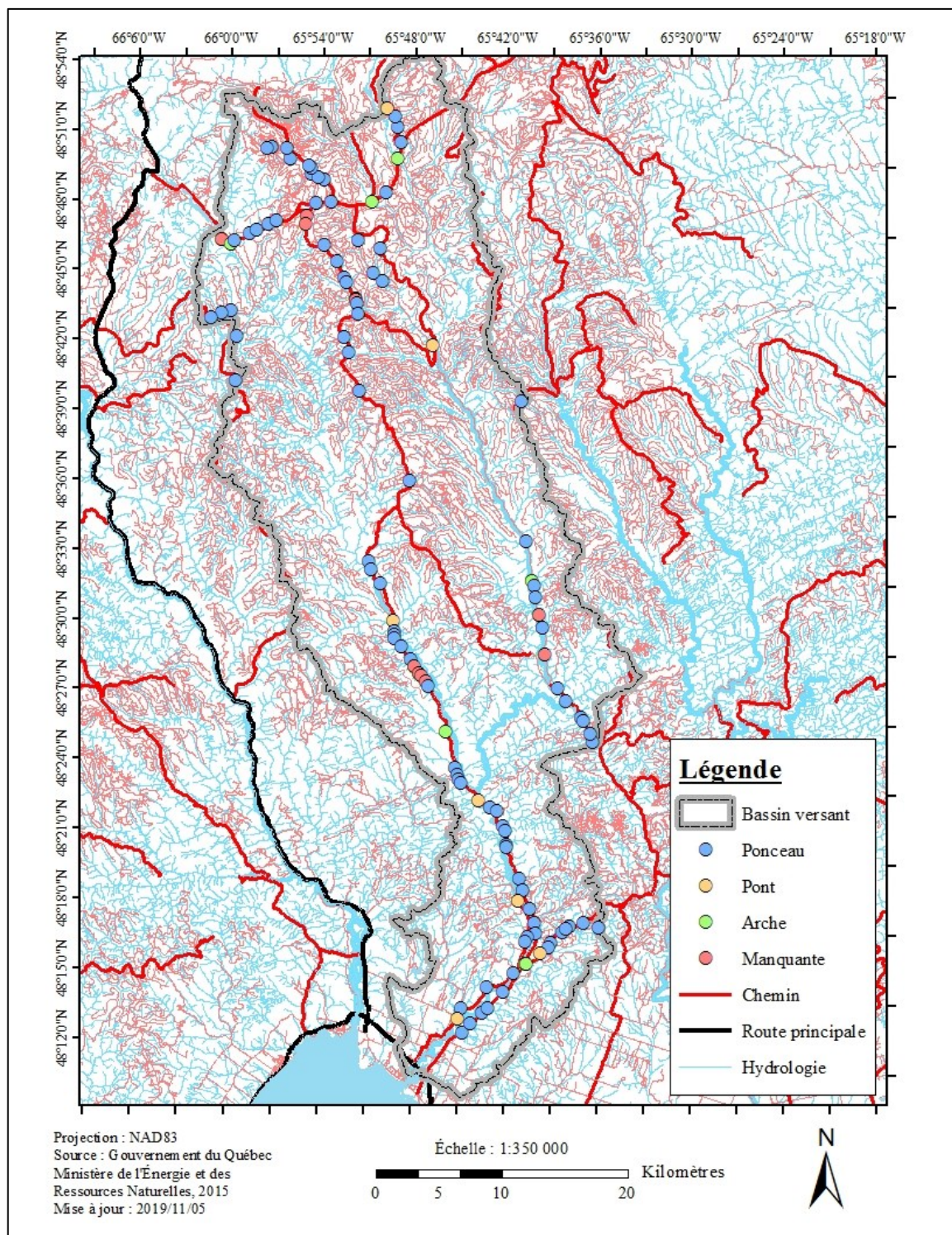
Annexe 2. Localisation des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec)



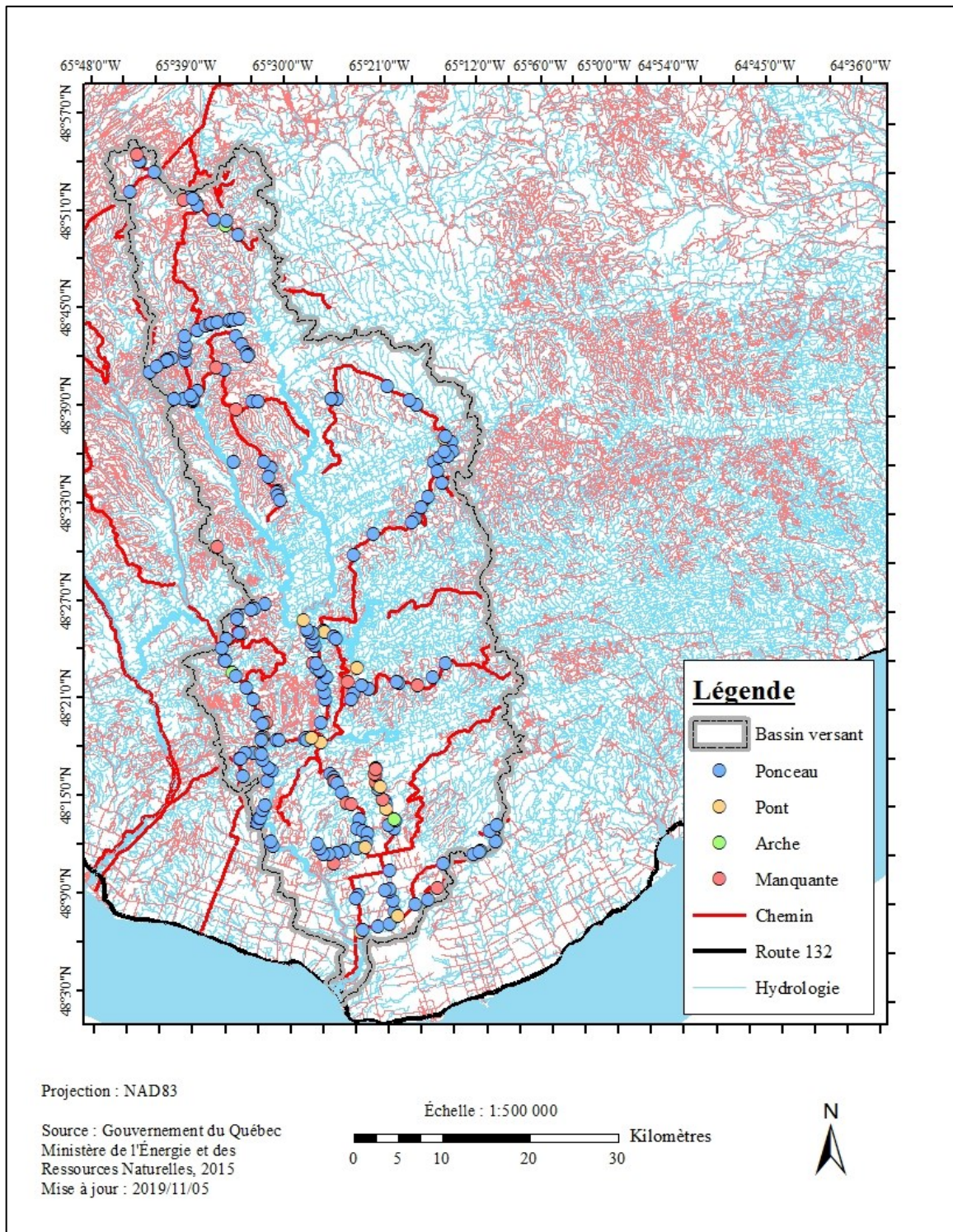
Annexe 3. Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec)



Annexe 4. Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Petite Caspédia (Gaspésie, Québec)



Annexe 5. Localisation des traverses de cours d'eau inventorié à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec)



Annexe 6. Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 81) *

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
1	48.14884717	-66.39782226	1155.76	953.50
2	48.14864555	-66.39480273	2744.98	8660.40
3	48.31697833	-66.48428121	718.28	5868.33
4	48.30805138	-66.52056314	3852.56	3852.56
5	48.33737975	-66.54234222	5027.71	38914.45
6	48.29376437	-66.50496026	328.86	3083.09
7	48.24271799	-66.49652541	306.04	9181.32
8	48.45208929	-66.58847144	313.89	1323.06
9	48.42213009	-66.57978987	180.70	4246.38
10	48.39197974	-66.59142351	434.37	1303.10
11	48.37910507	-66.5873242	436.99	2906.01
12	48.48866466	-66.64357251	218.61	157.40
13	48.48324893	-66.62321158	1087.78	2599.80
14	48.48559737	-66.61927646	1498.73	3072.40
15	48.52645868	-66.61636377	1797.32	1797.32
16	48.50715341	-66.60908473	783.38	783.38
17	48.52387718	-66.56888499	506.19	2047.55
18	48.50387143	-66.600124	498.21	2715.23
19	48.49649973	-66.60162035	190.71	13891.20
20	48.40537378	-66.38048494	170.15	5104.43
21	48.39115355	-66.40337971	157.23	285.37
22	48.26416693	-66.41523156	213.76	350.57
23	48.2595079	-66.43073271	300.54	503.40
24	48.25254462	-66.42183398	4009.43	54027.12
25	48.24939713	-66.40131959	408.72	9891.03
26	48.22751285	-66.41610924	223.99	6719.71
27	48.22109637	-66.40168293	679.88	1607.92
28	48.21811402	-66.39719294	3291.06	7158.06
29	48.44447869	-66.46877879	108.71	2516.69
30	48.42915721	-66.4454947	229.92	5265.16
31	48.20424503	-66.29296291	286.96	466.31
32	48.25881455	-66.2710511	1769.34	8253.96
33	48.25013055	-66.27314908	7273.97	14402.46
34	48.21755777	-66.29934755	1162.92	3628.31
35	48.24220042	-66.28639845	284.02	284.02
36	48.21498271	-66.48078906	37264.12	604610.31
37	48.38583429	-66.65922594	660.76	2256.50
38	48.38533572	-66.65960893	2852.51	8828.53
39	48.3760076	-66.69010542	322.88	524.68
40	48.36758931	-66.6899467	1752.99	4163.35
41	48.36183895	-66.7024294	783.45	1872.44
42	48.37184418	-66.72714234	26.24	26.24
43	48.36530943	-66.7290436	574.15	574.15

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
44	48.35334388	-66.73827422	556.54	1357.96
45	48.34692806	-66.74102776	2003.67	3806.98
46	48.4336405	-66.47298011	184.30	5528.88
47	48.38173998	-66.4733242	53.37	73.39
48	48.52154295	-66.62296555	385.55	385.55
49	48.20318472	-66.47344361	931.20	2560.80
50	48.19908917	-66.45871694	5660.59	17491.22
51	48.18009111	-66.46626	1935.13	44991.67
52	48.17656528	-66.46105778	7784.95	61423.29
53	48.17118028	-66.43444083	369.41	1643.87
54	48.17403111	-66.42400278	369.41	679.71
55	48.18340278	-66.40925611	1657.89	4501.16
56	48.18094472	-66.39845889	6373.04	28519.35
57	48.16534583	-66.39235361	19686.36	246867.01
58	48.20689611	-66.38515694	2125.44	8087.31
59	48.20121972	-66.3804025	12192.53	48648.19
60	48.19828444	-66.37655417	3473.58	16586.36
61	48.19664944	-66.37527806	613.84	1804.69
62	48.17742667	-66.37197694	375.71	1717.02
63	48.1791425	-66.36802167	5097.53	14910.29
64	48.16901889	-66.37412639	24768.99	247566.06
65	48.15568833	-66.35117333	240.07	2004.62
66	48.15578417	-66.35263694	89.14	1008.64
67	48.154005	-66.3067575	1039.09	3922.58
68	48.15582472	-66.30804222	1541.79	21276.64
69	48.15578472	-66.3053975	1084.36	3730.20
70	48.15473556	-66.30407	1211.63	4149.85
71	48.15075278	-66.29797556	246.61	6078.98
72	48.14291139	-66.29169028	182.24	1465.22
73	48.14132639	-66.340985	3097.15	24157.79
74	48.1361925	-66.32521083	998.63	11753.93
75	48.13164722	-66.29973944	3520.69	12727.28
76	48.13488	-66.32070694	288.13	929.23
77	48.13431972	-66.32244278	639.14	1965.34
78	48.13787917	-66.33711972	3520.94	105628.20
79	48.13520194	-66.32323861	1124.21	25800.64
80	48.21153361	-66.48079528	683.66	1620.26
81	48.23500722	-66.49094972	370774.58	4660636.41

* Noter que certains cours d'eau infranchissables n'ont pas été ajoutés dans ce tableau puisque ces derniers étaient déjà inclus dans un tributaire relié à un autre ponceau infranchissable en aval.

Annexe 7. Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 144) *

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
1	48.66005627	-66.06471679	3166.54	6491.41
2	48.68323439	-66.05798599	343.13	729.16
3	48.68682104	-66.0359864	702.03	1137.29
4	48.68233616	-66.04828225	1017.32	1678.58
5	48.63532526	-66.05965692	855.73	4021.93
6	48.64085527	-66.06495023	403.61	605.42
7	48.64814287	-66.07488242	1732.15	3291.08
8	48.65198213	-66.08153998	1674.64	2302.63
9	48.65798351	-66.11026664	2741.24	2823.48
10	48.65184115	-66.13190167	157.90	607.92
11	48.65226308	-66.14751996	321.88	450.64
12	48.65056608	-66.12539097	10409.84	30709.03
13	48.66342872	-66.12992837	1233.22	3144.70
14	48.64824906	-66.15185312	1355.33	3117.26
15	48.77680121	-66.50231038	2121.68	6471.11
16	48.78362991	-66.43531523	773.69	1818.17
17	48.72821156	-66.29654957	15120.61	63506.58
18	48.72232749	-66.33589641	31159.91	256290.27
19	48.70980385	-66.35659712	517.26	2638.04
20	48.70788496	-66.35411748	617.18	2129.28
21	48.70139581	-66.349707	537.81	1183.19
22	48.67815751	-66.34299326	3426.87	12165.39
23	48.6877563	-66.02111207	582.12	975.05
24	48.6840839	-66.02117822	122.61	180.86
25	48.67878701	-66.02417633	907.01	1950.08
26	48.67119013	-66.00976336	653.67	588.30
27	48.67158215	-66.01178063	220.15	396.27
28	48.67303554	-66.02201614	327.61	329.25
29	48.68440894	-66.10165618	9881.32	51382.86
30	48.6896411	-66.11218919	17209.73	74862.33
31	48.68730073	-66.12637613	558.15	3962.87
32	48.69553186	-66.1327655	4383.79	9644.34
33	48.70246637	-66.13853936	18989.30	385957.59
34	48.53950646	-66.4439886	2393.26	20462.38
35	48.5385619	-66.45064174	64745.96	323729.79
36	48.54234265	-66.44677932	2010.51	10856.75
37	48.54631856	-66.44070795	1094.93	2518.33
38	48.5477169	-66.43200583	74923.06	749.23
39	48.5491882	-66.42059318	1492.95	44788.40
40	48.55058049	-66.39925457	2801.88	3922.64
41	48.55008916	-66.38366999	2161.84	4972.23
42	48.55796588	-66.37319706	1451.85	7041.45
43	48.58420101	-66.2491077	9826.51	55519.80

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
44	48.58688051	-66.26011839	10097.20	39631.52
45	48.58761144	-66.2694162	744.84	1564.16
46	48.58821586	-66.29285404	37425.72	1122771.52
47	48.58381919	-66.31640851	8228.37	27770.74
48	48.57970659	-66.31696188	16325.11	489753.31
49	48.61943607	-66.4140452	72569.68	778309.84
50	48.60765402	-66.40366796	4913.07	22845.80
51	48.58566695	-66.47741625	2810.68	20939.59
52	48.60370851	-66.54247925	18268.67	182.69
53	48.60935088	-66.52170383	260.62	7818.64
54	48.60939785	-66.52074698	2149.42	3976.42
55	48.60358157	-66.51093597	36338.80	363.39
56	48.60245379	-66.50663806	36338.80	363.39
57	48.60100541	-66.49836915	28173.46	845203.95
58	48.6366789	-66.41039914	1078.45	3073.57
59	48.65790705	-66.36865224	1001.94	2379.61
60	48.66881334	-66.33063104	15285.53	91713.15
61	48.66900563	-66.34665015	85.54	2566.25
62	48.6763588	-66.299386	7607.62	34995.06
63	48.66578771	-66.35272246	1414.20	2368.78
64	48.67125108	-66.32225294	2746.33	9200.21
65	48.67588769	-66.31036135	439.67	945.28
66	48.68550736	-66.29002374	486.13	352.44
67	48.68245173	-66.27199819	3208.11	6416.21
68	48.68213923	-66.26149218	194.47	359.77
69	48.67861385	-66.24884553	738.11	848.83
70	48.69022739	-66.2140767	3108.85	4974.17
71	48.68963333	-66.21371586	459.08	665.67
72	48.66738872	-66.1819016	799.97	1399.94
73	48.66543129	-66.16678779	14787.55	38447.64
74	48.64265835	-66.13840739	3116.31	6076.80
75	48.64427837	-66.14350079	947.53	1468.67
76	48.26329167	-65.9480999	2126.60	14354.58
77	48.26750387	-65.95428202	807.20	2421.59
78	48.26915485	-65.95496739	974.52	2582.48
79	48.26992467	-65.95525898	718.11	2369.77
80	48.27526676	-65.9621445	2446.60	5871.85
81	48.27685511	-65.96571723	1805.07	5415.22
82	48.27825405	-65.96881185	1229.59	2028.82
83	48.28152371	-65.97608278	5428.36	17642.16
84	48.30449396	-65.97950988	4101.25	28298.65
85	48.30562399	-65.98407942	3254.98	21971.12
86	48.31555523	-66.00829764	2501.99	14136.26
87	48.3162155	-66.00936049	8689.32	51701.44
88	48.35294788	-66.05147521	41684.83	416.85
89	48.35976453	-66.05679115	1341.93	3321.28

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
90	48.36171217	-66.06194923	1176.13	1176.13
91	48.41567699	-66.11726621	1821.37	8651.50
92	48.43293804	-66.15643235	804.09	20906.44
93	48.5114998	-66.23782125	564.07	690.99
94	48.5086172	-66.23127768	5360.96	15010.69
95	48.50760382	-66.22976151	1060.21	3021.61
96	48.49745695	-66.21746792	330.72	446.47
97	48.49597676	-66.21598881	561.90	674.28
98	48.49275223	-66.2120205	211.13	253.36
99	48.47895272	-66.19090076	4855.03	145650.92
100	48.45507297	-66.17422684	2634.40	6585.99
101	48.44987551	-66.16688052	951.24	2187.85
102	48.45049222	-66.17680457	909.27	2136.79
103	48.44746386	-66.19190931	1698.40	5180.13
104	48.44333792	-66.16570899	114.34	154.36
105	48.77315118	-66.29921545	382.96	1349.95
106	48.74898834	-66.28737823	11824.35	43750.11
107	48.50804516	-66.23725425	681.35	698.38
108	48.49690039	-66.22368724	384.48	394.10
109	48.50367498	-66.22964212	698.73	558.99
110	48.51144526	-66.25110106	737.39	1069.21
111	48.51275999	-66.2421542	4770.78	12761.83
112	48.58526573	-66.37594425	869.45	934.66
113	48.60863482	-66.39793313	2866.04	6090.34
114	48.61505792	-66.39796461	1036.45	751.42
115	48.63804701	-66.37419283	2198.10	1868.38
116	48.62921417	-66.38565921	9628.37	288851.03
117	48.64398036	-66.36895732	7018.92	6843.44
118	48.64752779	-66.35459915	582.98	1180.53
119	48.64958697	-66.33775345	778.16	2237.20
120	48.66444159	-66.30834704	9813.15	294394.40
121	48.66477093	-66.30190393	8211.40	46599.69
122	48.66855525	-66.24783979	14480.33	42354.96
123	48.67108226	-66.22370987	13125.87	36096.16
124	48.29422211	-66.25996408	543.55	869.69
125	48.37158458	-66.28082037	870.05	1500.84
126	48.36288014	-66.28204181	330.23	222.91
127	48.40250095	-66.34418568	832.38	1539.90
128	48.40540168	-66.34501493	382.29	11468.66
129	48.40709065	-66.34466115	3337.41	18355.77
130	48.41576764	-66.34120454	776.92	815.77
131	48.42331173	-66.336712	1332.29	1598.75
132	48.43161655	-66.40010149	3829.14	19911.51
133	48.26847111	-65.88427804	1329.21	3987.64
134	48.52277334	-66.10360486	19408.20	130034.94
135	48.51921173	-66.09576058	690.15	2053.19

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
136	48.40994353	-66.00425637	5038.83	30484.93
137	48.3435004	-65.98546925	2815.64	17175.42
138	48.60618954	-66.16482121	2063.29	4332.91
139	48.61695537	-66.16141344	2513.18	8858.94
140	48.628399	-66.16610389	9550.21	46557.29
141	48.63443663	-66.16885169	285.04	2893.16
142	48.69771538	-66.15882964	6213.08	18639.23
143	48.71994113	-66.14983387	2746.31	7964.29
144	48.77326904	-66.13333205	25043.10	179684.25

* Noter que certains cours d'eau infranchissables n'ont pas été ajoutés dans ce tableau puisque ces derniers étaient déjà inclus dans un tributaire relié à un autre ponceau infranchissable en aval.

Annexe 8. Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec; n = 67) *

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
1	48.66675088	-66.00807834	463.18	1157.96
2	48.71634016	-66.01097017	14624.33	134543.81
3	48.71508528	-66.02144474	6584.02	50696.94
4	48.71211004	-66.03233471	3795.88	21256.92
5	48.23384166	-65.73263043	26652.51	115938.41
6	48.38299108	-65.78672165	7283.64	31501.72
7	48.37783426	-65.78536745	3218.42	4827.63
8	48.37428991	-65.78356652	507.86	406.29
9	48.37190131	-65.78182773	6358.32	24161.60
10	48.35368271	-65.75075497	6615.82	36883.21
11	48.34023779	-65.73803797	55350.70	603322.65
12	48.35059598	-65.74335803	815.15	1263.48
13	48.33609423	-65.73571117	590.15	855.71
14	48.32658565	-65.73493707	4042.33	11722.76
15	48.3016218	-65.72238663	19695.93	94540.48
16	48.27001131	-65.70860364	53985.82	439984.42
17	48.7670004	-66.00462099	13561.80	85439.36
18	48.7712052	-65.98827294	1316.03	4408.69
19	48.77359813	-65.98057261	1644.16	7480.92
20	48.77728167	-65.96731284	2120.22	5300.54
21	48.77984819	-65.95772237	1767.31	3799.71
22	48.76100846	-65.90704525	2633.47	10797.24
23	48.74951356	-65.89429705	2679.27	11654.80
24	48.73755211	-65.88696941	118.45	130.29
25	48.73363223	-65.88498348	1721.19	7315.07
26	48.71826696	-65.87380488	41755.49	83510.98
27	48.68391573	-65.88464112	9203.46	63273.78
28	48.65544965	-65.87462302	3657.50	9692.36
29	48.58991463	-65.82394845	265.88	797.65
30	48.53330405	-65.87114833	14182.40	77294.09
31	48.52727938	-65.86982607	3316.51	10281.19
32	48.51685541	-65.86062308	999.54	3498.39
33	48.48279631	-65.84701006	3571.13	9106.38
34	48.47976262	-65.84728028	920.53	1472.85
35	48.47774507	-65.84657232	484.71	1405.66
36	48.47166016	-65.8398821	8476.53	49375.79
37	48.4617534	-65.83043628	4198.51	15639.45
38	48.44186551	-65.81193746	575.19	1783.09
39	48.83284413	-65.81984273	3304.83	4296.28
40	48.85110335	-65.82497188	2907.55	7705.00
41	48.7920988	-65.89804262	32006.44	211242.52
42	48.75755862	-65.84626442	559.06	1285.84
43	48.73363981	-65.84510405	2548.61	3504.34

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
44	48.74005444	-65.85533314	3996.05	11588.55
45	48.76381428	-65.87010791	1361.38	2178.21
46	48.19325262	-65.78993946	5289.25	13487.59
47	48.51159135	-65.69387174	6417.06	20855.45
48	48.50327189	-65.69329184	1033.85	1550.77
49	48.26223675	-65.6785827	1078.35	3612.48
50	48.48118208	-65.68632414	13710.65	59641.34
51	48.43668025	-65.67356944	46179.59	660368.11
52	48.42760962	-65.66449238	55738.58	306562.21
53	48.41505863	-65.64893051	682.96	1400.08
54	48.41320752	-65.64714284	694.20	1405.75
55	48.40318794	-65.63987913	5303.03	22007.58
56	48.26849258	-65.65604529	3373.25	12565.35
57	48.26573856	-65.6712059	15287.86	56182.90
58	48.26435815	-65.67402163	465.84	1583.86
59	48.2552517	-65.69090691	775.05	1860.12
60	48.20665754	-65.76828526	1925.17	3946.60
61	48.20986886	-65.76227508	7392.60	31048.92
62	48.22111211	-65.74426066	8528.83	27292.26
63	48.26013732	-65.71622601	6400.88	15042.07
64	48.25679311	-65.71833018	5201.64	10533.33
65	48.22525608	-65.76229615	2256.57	4061.83
66	48.21104002	-65.7907069	20916.06	61179.48
67	48.25154198	-65.69383856	19819.56	56485.76

* Noter que certains cours d'eau infranchissables n'ont pas été ajoutés dans ce tableau puisque ces derniers étaient déjà inclus dans un tributaire relié à un autre ponceau infranchissable en aval.

Annexe 9. Longueur et superficie potentiellement inaccessibles des tributaires en amont des traverses de cours d'eau inventoriées à l'été 2019 dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec; n = 86) *

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
1	48.36946227	-65.28819922	29.12	29.12
2	48.35609307	-65.30946072	1588.75	2144.82
3	48.3510096	-65.36152228	654.83	1080.47
4	48.35299903	-65.365123	23.28	40.74
5	48.34676132	-65.40876129	1202.45	4509.19
6	48.33712839	-65.43677086	4633.42	139002.65
7	48.18137393	-65.45604762	27229.35	158610.96
8	48.18011003	-65.4677938	7393.84	21811.84
9	48.17882315	-65.47941386	1423.25	3059.98
10	48.18596383	-65.49386911	1060.21	3949.28
11	48.57772985	-65.54499621	2129.79	5111.49
12	48.56850521	-65.54919144	677.03	897.07
13	48.64651413	-65.56878794	6718.29	25865.42
14	48.65229397	-65.6908356	3317.75	99532.43
15	48.31606126	-65.57360462	191808.00	2301696.03
16	48.30131557	-65.57657614	4179.57	12852.19
17	48.21022934	-65.37634143	526.00	1762.09
18	48.23194937	-65.3915557	1467.17	3814.65
19	48.22776425	-65.38868258	559.90	839.85
20	48.18906429	-65.42270801	5600.72	14561.88
21	48.58495001	-65.55522583	393.89	915.80
22	48.43349756	-65.58438422	2532.20	75966.08
23	48.59649895	-65.26387563	26078.92	97795.96
24	48.58633893	-65.26205133	26309.71	71036.21
25	48.64160372	-65.32547879	2690.87	2825.41
26	48.65722519	-65.35935041	7552.96	18504.74
27	48.64569154	-65.43733913	9186.39	27559.18
28	48.64598595	-65.44588006	11687.22	42073.98
29	48.566964	-65.28815342	7300.07	20805.19
30	48.54126674	-65.30366153	31833.77	98684.68
31	48.53079577	-65.31458287	12040.91	46658.54
32	48.48527485	-65.42355144	606.25	1182.18
33	48.40175816	-65.45906917	608.53	1293.12
34	48.40228442	-65.45930801	658.18	1530.27
35	48.24359459	-65.40138964	15531.06	142885.71
36	48.24855433	-65.40206976	694.53	833.44
37	48.68087805	-65.72713495	3541.63	11864.46
38	48.71428286	-65.59104667	572.32	1087.41
39	48.705849	-65.58297484	1158.48	3156.86
40	48.69756845	-65.5751991	1082.10	757.47
41	48.69510445	-65.5711304	2039.58	3671.24
42	48.65214879	-65.66131317	1170.53	2165.49
43	48.65556061	-65.66529365	27505.28	137526.39

(Suite)

No	Latitude	Longitude	Longueur du cours d'eau en amont (m)	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)
44	48.70012098	-65.6708869	703.37	914.39
45	48.71664937	-65.66963537	11620.19	41832.67
46	48.72886287	-65.62783539	3191.28	5425.18
47	48.73025144	-65.61814606	305.17	511.16
48	48.73006931	-65.60111174	#DIV/0!	143.11
49	48.73197338	-65.59888597	68140.01	487201.09
50	48.73179752	-65.59240319	233.79	298.08
51	48.85034626	-65.64127467	2038.17	1936.26
52	48.83448828	-65.6167899	#DIV/0!	1685.39
53	48.83340437	-65.59755197	2854.71	3996.59
54	48.81889062	-65.5812884	28330.10	117569.92
55	48.85755062	-65.6492358	7284.60	17118.82
56	48.86665143	-65.74681009	34231.89	222507.31
57	48.09981054	-65.43377639	1419.06	42571.85
58	48.10317865	-65.4096156	29002.64	139937.74
59	48.10460821	-65.39158981	3330.42	9408.42
60	48.12418892	-65.35085585	37805.02	627563.26
61	48.17552737	-65.24836737	5485.26	22900.95
62	48.19512909	-65.23157977	5810.06	24838.01
63	48.26212844	-65.60728759	1181.09	7145.57
64	48.18995405	-65.56462402	26891.87	59162.12
65	48.19447884	-65.5680958	1849.95	1849.95
66	48.21381128	-65.58794872	1495.08	4298.35
67	48.2192746	-65.5850352	5455.58	18685.35
68	48.21874947	-65.58341807	849.23	1740.92
69	48.23150904	-65.57484863	3127.04	11335.52
70	48.25660801	-65.57003172	1151.38	2014.91
71	48.26941005	-65.56788993	2637.41	7648.48
72	48.27899495	-65.57645919	6652.88	24948.30
73	48.28494409	-65.57794947	16944.10	254161.56
74	48.31489806	-65.4840376	5751.44	16247.83
75	48.33794186	-65.47522438	1464.59	3515.01
76	48.34554804	-65.47745969	6612.75	28930.78
77	48.35365523	-65.47888531	752.26	2143.95
78	48.36087046	-65.47132296	1327.73	3053.77
79	48.37103531	-65.48783683	555.25	832.88
80	48.36833277	-65.48292739	2838.74	9296.87
81	48.37588672	-65.48651486	32821.88	142775.19
82	48.39324523	-65.48808401	889.31	2445.61
83	48.39698628	-65.49281495	530.52	968.20
84	48.40052551	-65.49168934	1208.55	4139.29
85	48.40714704	-65.49142937	837.39	1088.60
86	48.41109716	-65.50024507	3982.01	11946.03

* Noter que certains cours d'eau infranchissables n'ont pas été ajoutés dans ce tableau puisque ces derniers étaient déjà inclus dans un tributaire relié à un autre ponceau infranchissable en aval.

Annexe 10. Sélection des ponceaux problématiques non perméable nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

No.	Latitude	Longitude	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)	Recommandations
1	48.23500722	-66.49094972	4660636.41	- Corriger la situation du castor; - Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.
2	48.21498271	-66.48078906	604610.31	- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la pente du ponceau; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Corriger la méthode d'entretien.
3	48.16901889	-66.37412639	247566.06	- Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.
4	48.16534583	-66.39235361	246867.01	- Corriger la situation du castor; - Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.
5	48.13787917	-66.33711972	105628.20	- Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.

r

Annexe 11. Sélection des ponceaux problématiques non perméable nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

No.	Latitude	Longitude	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)	Recommandations
1	48.588216	-66.292854	1122771.519	- Corriger la situation du castor; - Débloquer - Corriger la circulation du poisson; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.
2	48.601005	-66.498369	845203.9472	- Corriger la situation du castor; - Débloquer; - Corriger la pente du ponceau; - Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.
	48.61943607	-66.4140452	778309.84	- Débloquer - Corriger la pente du ponceau; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Corriger la circulation du poisson; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.
4	48.57970659	-66.31696188	489753.31	- Corriger la situation du castor; - Débloquer - Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.

(Suite)

5	48.70246637	-66.13853936	385957.59	- Corriger la pente du ponceau; - Corriger la circulation du poisson; - Corriger la méthode d'entretien; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Remplacer.
---	-------------	--------------	-----------	---

Annexe 12. Sélection des ponceaux problématiques non perméable nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Petite Cascapédia (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

No.	Latitude	Longitude	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)	Recommandations
1	48.43668025	-65.67356944	660368.11	- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la méthode d'entretien; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Remplacer.
2	48.34023779	-65.73803797	603322.65	- Corriger la circulation du poisson; - Stabiliser le remblai; - Détourner les eaux de fossé; - Corriger le bourrelet; - Corriger la couronne du chemin; - Corriger la méthode d'entretien; - Corriger le problème de sédimentation; - Remplacer.
3	48.27001131	-65.70860364	439984.42	- Corriger la situation du castor; - Corriger la circulation du poisson; - Remplacer.

(Suite)

				- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Stabiliser le remblai; - Corriger le problème de sédimentation; - Vider bassin de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien - Corriger le bourrelet; - Remplacer.
4	48.42760962	-65.66449238	306562.21	
				- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la couronne du chemin; - Création de fossé; - Stabiliser le remblai; - Corriger le problème de sédimentation; - Vider bassin de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien - Corriger le bourrelet; - Remplacer.
5	48.7920988	-65.89804262	211242.52	

Annexe 13. Sélection des ponceaux problématiques non perméable nécessitant un entretien ou une restauration (du plus au moins important) inventoriés dans le bassin versant de la rivière Bonaventure (Gaspésie, Québec) à l'été 2019

No	Latitude	Longitude	Superficie potentiellement inaccessible (m ²)	Recommandations
1	48.12418892	-65.35085585	627563.26	- Corriger la circulation du poisson; - Stabiliser le remblai; - Corriger le bourrelet; - Stabiliser le déblai; - Création de fossé; - Corriger le problème de sédimentation; - Vider bassin de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien - Remplacer.
2	48.181374	-65.456048	158610.96	- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la couronne du chemin; - Stabiliser le remblai; - Création de fossé; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.
3	48.243595	-65.40139	142885.71	- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la couronne du chemin; - Stabiliser le remblai; - Création de fossé; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.

(Suite)

4	48.375887	-65.486515	142775.19	- Corriger la circulation du poisson; - Corriger la couronne du chemin; - Stabiliser le remblai; - Création de fossé; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.
5	48.103179	-65.409616	139937.7399	- Corriger la circulation du poisson; - Stabiliser le remblai; - Création de fossé; - Corriger le problème de sédimentation; - Corriger la méthode d'entretien; - Remplacer.

Annexe 14. Descriptif des interventions et des aménagements des chemins forestiers et des traverses de cours d'eau (tiré de Latrémouille *et al.*, 2014)

Recommandations	Description
Remplacer	Il faut enlever la traverse actuelle et en installer une nouvelle.
Vider bassin de sédimentation	Il faut vider le bassin de sédiments à l'entrée du ponceau de drainage ou dans le fossé détourné.
Débloquer	Il faut débloquer le ponceau car des débris, situés à l'intérieur, nuisent à l'écoulement de l'eau et en réduisent considérablement la capacité d'évacuation. (26 % et plus d'obstruction).
Création de fossé	Aux abords du chemin, il est nécessaire de creuser des fossés afin d'accumuler l'eau de ruissellement et réduire l'érosion.
Stabiliser le remblai	Il faut stabiliser le remblai du chemin pour empêcher l'érosion avec les techniques reconnues
Stabiliser le déblai	Il faut stabiliser le déblai du chemin pour empêcher l'érosion avec les techniques reconnues.
Corriger la circulation du poisson	Il faut corriger la traverse puisqu'un élément nuit à la libre circulation du poisson. Ce peut être d'ajouter des seuils ou d'enfouir la structure plus profondément (de 10 à 20 %) pour corriger la présence d'une chute et faire augmenter le niveau d'eau dans la structure, ce peut être d'enlever l'obstacle ou encore de remplacer la structure si elle est trop petite et qu'elle cause une trop grande augmentation de la vitesse du courant.
Corriger la pente du ponceau	La pente du ponceau n'est pas conforme. Il faut rectifier la situation (à réaliser lors d'un remplacement de ponceau).
Corriger la situation du castor	Il est nécessaire de trouver la source des sédiments et de l'éliminer (érosion, ruissellement, entretien, etc.).
Corriger le problème de sédimentation	Il est nécessaire de trouver la source des sédiments et de l'éliminer (érosion, ruissellement, entretien, etc.).

(Suite)

Corriger la méthode d'entretien	Il faut corriger les techniques d'entretien pour éliminer l'apport de sédiments dans le cours d'eau.
Corriger le bourrelet	Il faut enlever le bourrelet sur le côté du chemin pour permettre à l'eau de s'écouler dans le fossé à l'extérieur du 20 m des berges.
Corriger la couronne du chemin	Il faut corriger la couronne du chemin (environ 4 %) pour permettre à l'eau de s'écouler de part et d'autre du chemin.
