

**DÉPARTEMENT DES SCIENCES DU BOIS ET DE LA FORêt
FACULTÉ DE FORESTERIE, DE GÉOGRAPHIE ET DE GÉOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL**

**L'aménagement par sous-bassin versant dans les
rivières à saumon**

Exemple de la rivière York

Rapport présenté à
François Marquis

Dans le cadre du cours
FOR-3700 Projet de fin d'études

Par
Michael Brousseau

Directeur : Sylvain Jutras

Québec, 28 avril 2023

Résumé

Le but de ce rapport est de produire un document vulgarisé pouvant servir aux gestionnaires de rivières à saumon lors des soirées de consultations pour mieux défendre leurs positions, et davantage la protection d'endroits spécifiques dans le bassin versant de la rivière. Le vocabulaire forestier étant souvent spécifique, ce travail permet au lecteur de se familiariser avec quelques notions. L'objectif est d'utiliser la rivière York comme exemple d'aménagement par sous-bassin versant, et d'y calculer l'aire équivalente de coupe en date de 2020, l'aire équivalente de coupe maximale et la densité de voirie forestière dans 25 de ces sous-bassins ayant comme exutoire un refuge thermique et/ou une frayère, deux types de sites essentiels au maintien de la population du saumon atlantique. L'hypothèse pour l'aire équivalente de coupe est que celle-ci ne dépassera pas 50% dans aucun sous-bassin en date de 2020, mais que certains auront une AEC maximale dépassant le seuil de 50%. Pour la densité de voirie, l'hypothèse est que cette dernière soit supérieure à 0,6 km/km² dans tous les sous-bassins. Pour y arriver, des manipulations géomatiques à l'aide de diverses couches et bases de données géoréférencées dans le logiciel ArcGIS pro ont été effectuées. Les résultats obtenus confirment les hypothèses suggérées. L'aire équivalente de coupe de 2020 pour ces sous-bassins varie entre 2,26 % et 44,52 %, l'aire équivalente de coupe maximale varie entre 3,15 % et 51,22%, alors que la densité de voirie forestière est de 0,76 à 4,21 km/km². On peut alors conclure qu'en date de 2020 et possiblement pour le futur, les coupes forestières sont réparties dans les sous-bassins versants de sorte à limiter leurs impacts possibles sur la rivière York. Cependant, la densité de voirie est assez élevée, ce qui risque de causer un apport en sédiments important, affectant ainsi la qualité du milieu aquatique. Dans le cas des bassins versants des rivières à saumon, des cibles d'aire équivalente de coupe devraient être mises en place à l'échelle du sous-bassin pour protéger les sites d'intérêt du saumon. La construction de chemin devrait idéalement être réduite, et la fermeture de chemins encouragée. D'ailleurs, l'entretien des chemins déjà en place est tout aussi important. Le bon profilage de la surface de roulement, la mise en place de digues et de bassins de sédimentations, l'installation adéquate et l'entretien des ponceaux sont toutes des mesures à prioriser pour limiter l'impact de la voirie forestière sur l'habitat du roi des rivières.

Remerciements

J'aimerais remercier Antoine Gagnon-Poiré de la Fédération québécoise pour le saumon atlantique pour l'encadrement lors de ce projet. Plusieurs données essentielles à la réalisation de ce travail ont été fournies par Monsieur Gagnon-Poiré. J'aimerais aussi remercier Félix O'Connor, ingénieur forestier pour le MRNF au bureau de Gaspé, de m'avoir fourni les données concernant la voirie dans le bassin versant de la rivière York.

TABLE DES MATIÈRES

1.INTRODUCTION.....	1
2.REVUE DE LITTÉRATURE.....	4
2.1 Refuges thermiques.....	4
2.2 Frayères.....	6
2.3 Aire équivalente de coupe (AEC).....	7
2.4 Densité de chemins forestiers.....	9
3.MÉTHODOLOGIE.....	11
3.1 Délimitation des sous-bassins versants.....	12
3.2 Mesure de l'AEC.....	14
3.3 Mesure de la densité de voirie forestière.....	18
4.RÉSULTATS.....	19
5.ANALYSE ET DISCUSSION.....	22
6.CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	24
7.BIBLIOGRAPHIE.....	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Taux régressifs standards de l'effet de la coupe, des traitements sylvicoles et des perturbations naturelles sur le débit de pointe selon l'âge de l'intervention ou de la perturbation et les caractéristiques de la régénération résineuse.....15

Tableau 3.2 Exemple du calcul d'AEC sous-bassin Ruisseau Random.....17

Tableau 4.1 Aire équivalente de coupe en date de 2020 et densité de voirie forestière dans les sous-bassins de la rivière York.....19

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Capture de saumon atlantique en tonnes à travers les années à l'ouest du Groenland.....1

Figure 2.1- Refuge thermique du ruisseau Matalik sur la rivière Matapédia.....5

Figure 2.2 Exemple d'application du calcul de l'Aire équivalente de coupe.....8

Figure 3.1 Carte du bassin versant de la rivière York.....11

Figure 3.2 Carte du bassin versant de la rivière York à l'étude.....12

Figure 3.3 Délimitation du sous-bassin versant Ruisseau Random..... 13

Figure 3.4 Carte des sous-bassins versants à l'étude.....14

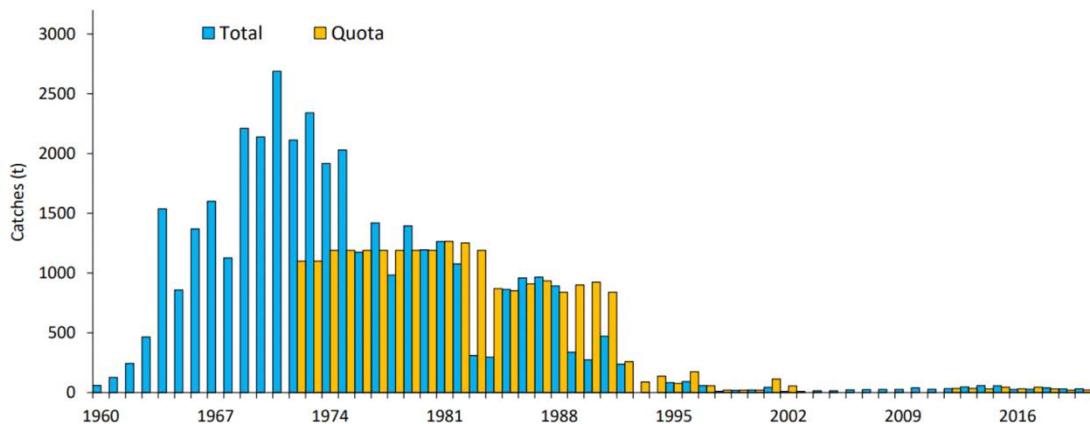
Figure 3.5 Mesure de l'AEC, exemple du sous-bassin Ruisseau Random.....16

Figure 3.6 Mesure de la densité de voirie, exemple du sous-bassin Ruisseau Random.....18

1.INTRODUCTION

Depuis 1971, le nombre de saumons atlantiques adultes qui remontent les rivières de l'Amérique du Nord a diminué de 80%, et trois principaux facteurs expliquent ce déclin. Premièrement, la pêche commerciale au Groenland. Cette dernière a causé un dommage irréparable sur les stocks de saumon atlantique (*Salmo salar*). L'activité a débuté au début des années 1960 pour atteindre un maximum en 1971, où 2 700 tonnes métriques ont été prélevées, ce qui représente approximativement 810 000 grands saumons (Atlantic Salmon Federation, n.d.). La quantité récoltée chaque année a certes diminué depuis cette époque, aujourd'hui le quota annuel de récolte au Groenland se situe à 27 tonnes métriques. La figure 1.1 produite par North Atlantic Salmon Conservation Organisation (NASCO) illustre les prises effectuées à l'ouest du Groenland depuis 1960. D'ailleurs, la majorité des saumons capturés au Groenland sont originaires de rivières se jetant dans le Golfe St-Laurent, de la Gaspésie, de la Côte-Nord et du Labrador (Atlantic Salmon Federation, n.d.).

Figure 1.1 Capture de saumon atlantique en tonnes à travers les années à l'ouest du Groenland



Source : <https://nasco.int/regulation/west-greenland-salmon-fisheries/>

Deuxièmement, la prédation est une autre cause qui affecte les populations. Depuis plusieurs années, le nombre de phoques a explosé dans le Golfe St-Laurent. À l'entrée de la Baie de Gaspé, on retrouve environ 10 phoques pour chaque saumoneau qui sort des rivières (Gagné, 2021). Aussi, le nombre de bars rayés est amplement supérieur à

autrefois. Dans le cas de l'embouchure de la rivière Miramichi, la population serait passée de 15 000 individus à 300 000 individus en 2016, affectant ainsi grandement le taux de survie des saumoneaux (Atlantic Salmon Federation, 2018). Une étude récente démontre que jusqu'à 18% des saumoneaux de la rivière Miramichi serviraient de repas aux bars rayés à leur sortie de la rivière (Daniels et al., 2018). Troisièmement, la perte d'habitat de qualité est aussi reliée à la diminution des populations de saumon atlantique. La création de barrages, la drave, les coupes forestières et la construction de chemins sont tous des exemples de perturbations anthropiques qui ont été et qui sont responsables de la perte d'habitat. Cette cause est celle à laquelle ce rapport s'intéresse. Les refuges thermiques et les frayères sont deux sites d'intérêt pour le saumon qui sont essentiels à sa survie et sa reproduction. Ces derniers peuvent être grandement altérés par l'aménagement forestier. Pour quantifier et qualifier les impacts de l'activité forestière, des indicateurs comme l'aire équivalente de coupe (AEC) et la densité de voirie peuvent être utilisés. Le vocabulaire associé aux opérations forestières étant assez spécifique, les gestionnaires de rivières à saumon peuvent se retrouver quelques fois confus lors des soirées de consultations, ou lors des Tables locales de gestion intégrée des ressources et du territoire (TLGIRT), ce qui les empêche parfois d'interagir adéquatement pour défendre leurs demandes. Dans le cas des rivières à saumon, comme on désire conserver plusieurs sites précisément, l'aménagement par sous-bassin versant s'avère être une solution pour limiter les dommages causés à ces sites d'intérêt (comme les refuges thermiques et les frayères), et donc du même coup à l'ensemble de la rivière.

Le but de ce rapport est de produire un document pouvant servir aux gestionnaires de rivières qui vulgarise quelques notions permettant la protection de l'habitat du saumon atlantique. L'objectif est d'utiliser la rivière York comme exemple, et d'y réaliser la mesure de l'aire équivalente de coupe en date de 2020, de l'aire équivalente de coupe maximale et de la densité de voirie dans plusieurs sous-bassins versants de la rivière ayant comme exutoire un milieu d'intérêt pour *Salmo Salar*.

L'hypothèse concernant l'aire équivalente de coupe de 2020 est que le seuil de 50% à idéalement ne pas dépasser ne sera pas atteint dans aucun sous-bassin, comme le Plan d'aménagement forestier intégré tactique (PAFIT) de l'unité d'aménagement 112-62, où se situe la rivière York, en fait mention et prévoit même présenter à la TLGIRT les sous-bassins où 35% d'AEC sont planifiés, et ces derniers doivent faire objet d'harmonisation (Langevin & Plamondon, 2004; FQSA-DGR, 2012). Pour ce qui est de l'aire équivalente

de coupe maximale, l'hypothèse est que celle-ci dépasse le seuil de 50% dans certains sous-bassins versants, comme autrefois les mesures mises en place aujourd'hui n'étaient pas en vigueur. En ce qui concerne la densité de voirie forestière, l'hypothèse est qu'elle soit assez élevée par rapport au maintien de population d'espèce anadrome, la Gaspésie étant reconnue comme une région où les chemins forestiers sont relativement faciles à construire. Déjà à 0,6 km/km² de chemin forestier, des conséquences importantes sont observables. (Carnefix et Frissell,2009). Aussi, lorsque la densité de voirie se situe entre 0,4 et 1,1 km/km², une étude suggère une diminution importante de la proportion de tributaires accueillant une population abondante de salmonidés (Quigley et al.,1997). Bref, l'hypothèse est que la densité dans chaque sous-bassin soit supérieure à ces valeurs. Les sections suivantes présenteront d'abord en détail le vocabulaire essentiel à la compréhension du rapport, avant de s'intéresser aux méthodes utilisées pour effectuer les mesures d'AEC et de densité de voirie.

2.REVUE DE LITTÉRATURE (mise en contexte et vocabulaire)

Dans un premier temps, cette section présente l'importance des refuges thermiques et des frayères pour le maintien des populations de saumon atlantique, et comment l'activité forestière peut affecter la qualité de ces sites d'intérêt. Ensuite, quelques notions concernant l'aire équivalente de coupe seront abordées, dans le but d'introduire le lecteur à cet outil. Et finalement, la densité de chemins forestiers et ses impacts seront présentés.

2.1 Refuges thermiques

Les refuges thermiques sont des zones de rivière (fosse, tributaire, alcôve, etc) où l'eau y est plus froide, la **Figure 2.1** illustre l'un des nombreux refuges thermiques que l'on retrouve sur la rivière Matapédia. Ces zones fréquentées et recherchées par le saumon atlantique lui sont essentielles et jouent un rôle crucial lors de sa montaison (OBVMR, n.d). Pour demeurer vigoureux lors de sa montaison et mener à terme sa mission de reproduction, la température corporelle de ces salmonidés une fois en eau douce doit idéalement se situer entre 16 et 20°C (Fréchette & al., 2018). Or, il n'est pas rare que la température des rivières dépasse cet intervalle, et avec les changements climatiques, on peut s'attendre à ce que ce soit aussi le cas dans le futur. Chez le saumon atlantique, une fois que la température corporelle d'un spécimen est au-dessus de 20°C, on parle alors de stress thermique, ce qui engendre des complications métaboliques qui peuvent dans certains cas causer des problèmes de santé et voire même la mort. D'ailleurs, lorsque la température de la rivière atteint 25°C, les risques de mortalité augmentent considérablement (Wilbur & al., 2020). Aussi, plus longtemps le saumon est exposé à des températures chaudes, plus sa capacité à tolérer ces températures élevées diminue (Breau, 2013). Bref, les refuges thermiques sont donc d'une importance capitale, comme ces derniers permettent aux grands saumons de s'y réfugier et d'y baisser leur température corporelle, avant de poursuivre leur chemin vers leur lieu de fraie. Il est donc primordial de conserver et d'assurer la pérennité de ces refuges, qui facilitent la survie des individus et ainsi de l'espèce, lors d'épisodes de faible débit et de chaleur élevée.

C'est pourquoi lorsqu'on aménage un bassin versant, on se doit de porter une attention particulière aux sous-bassins versants comportant des refuges thermiques, afin de maintenir les fonctions de ces derniers. Dans le cas où une grande partie du couvert

forestier d'un de ces sous-bassins est récolté, le rayonnement solaire augmente et la température de l'eau qui ruisselle jusqu'à la rivière fait de même, en conséquence les refuges thermiques offrent alors une température plus chaude que prévu, diminuant ainsi leur qualité et leur efficacité. La présence de refuges thermiques de qualité dans une rivière est une cause qui explique la différence entre une population en santé et une en déclin, il est donc fondamental d'en prendre soin et de les aménager de façon conscientieuse (FQSA-DGR,2012). D'ailleurs, la connectivité entre ces sites est jugée essentielle pour la persistance de l'espèce (Fréchette & al., 2018), c'est pourquoi l'apport de sédiments causé par l'activité forestière peut alors devenir un problème quant à la libre circulation du poisson. L'apport de sédiments est surtout la cause d'une mauvaise gestion et d'un mauvais entretien du réseau routier, ce sujet sera davantage abordé à la section **2.4**. Dans le cas où il y a un phénomène de sédimentation dans certains de ces refuges, la quantité d'individus pouvant s'y stationner et bénéficier de l'eau fraîche diminue, ce qui empêche certains spécimens de se thermoréguler et les oblige donc à poursuivre leur route ou rebrousser chemin, compliquant ainsi leur parcours déjà assez difficile.

Dans le cas de la rivière York, on s'intéresse particulièrement aux refuges de type source d'eau fraîche, par exemple un ruisseau qui vient créer un petit canal d'eau froide, et à ceux de confluence qui sont créés par la décharge d'un tributaire dans la rivière principale. Ces derniers offrent une quantité d'eau froide plus importante (Fakahri, 2022). Ces types ont été choisis, puisqu'il est plus facile de subdiviser leur bassin versant et d'y mesurer l'aménagement forestier effectué.

Figure 2.1- Refuge thermique du ruisseau Matalik sur la rivière Matapédia



Source : <https://www.matapediarestigouche.org/refuge-thermique>

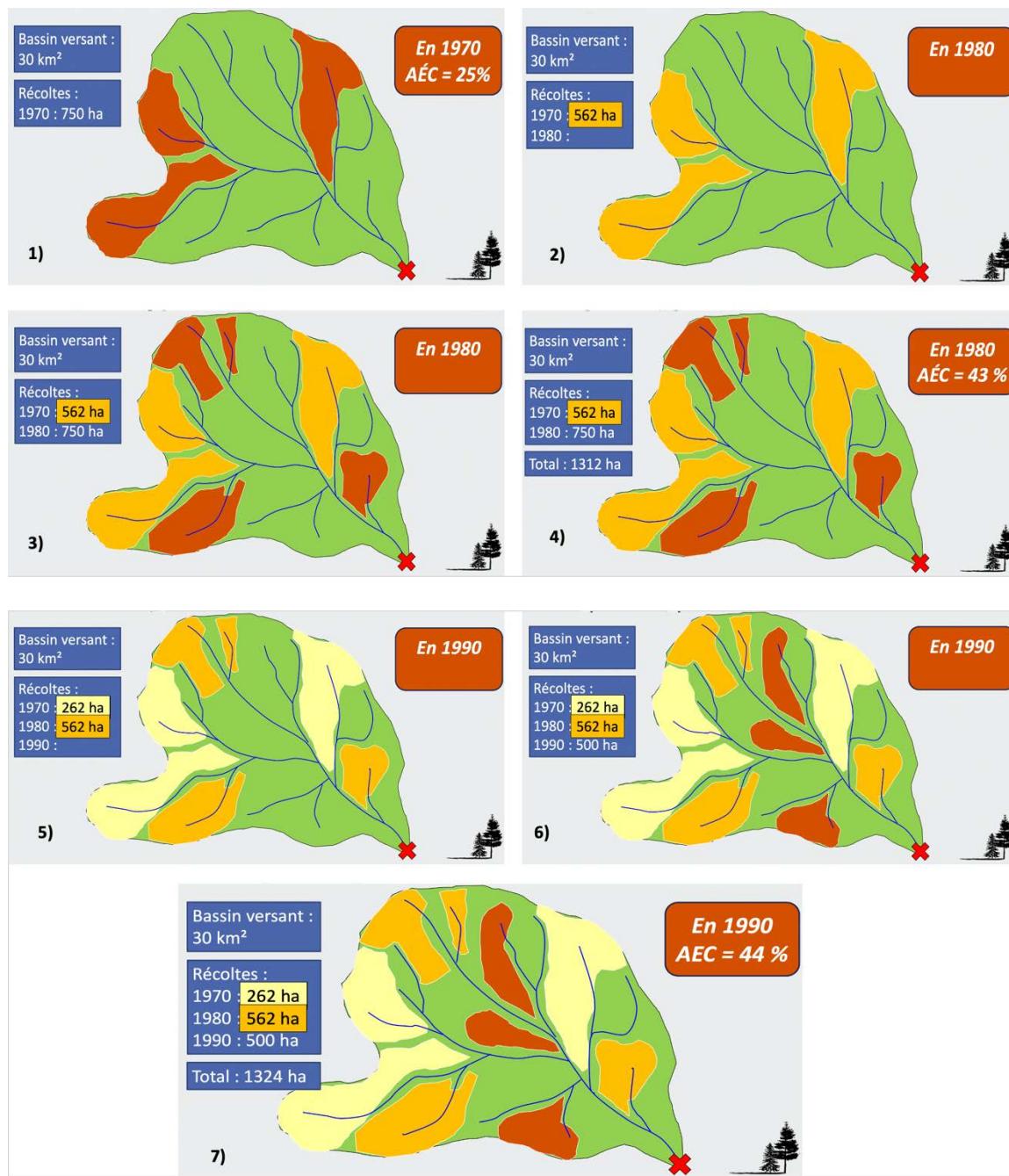
2.2 Frayères

Les frayères sont les endroits de reproduction du saumon atlantique, ce sont les femelles qui les choisissent et qui y creusent le nid avant d'y déposer les œufs (généralement entre 2000 et 10 000 par poisson) (MFFP, n.d). Une fois les œufs en place, les mâles les fertilisent, puis les femelles viennent les recouvrir de gravier. Cette étape se déroule à l'automne. Les fonds graveleux situés dans le courant à une profondeur de 0,5 à 3 mètres et à proximité d'une fosse sont les milieux principalement recherchés par l'espèce (MFFP, n.d). Au courant de l'hiver, toujours dans ces mêmes frayères se déroule l'incubation des œufs qui dure jusqu'à l'éclosion au printemps, ensuite vient la vie intergranulaire (à travers et sous le gravier) des alevins et finalement leur émergence à la fin du printemps lors de la résorption de leur sac vitellin. À la fin de l'été, ils sont alors devenus des tacons (FQSA-DGR, 2012). Bref, les frayères représentent l'habitat essentiel de reproduction du saumon atlantique et elles permettent aux prochaines générations d'individus de naître et de se développer, d'où leur grande importance quant à la pérennité de l'espèce. En ce qui concerne les dommages potentiels liés à l'activité forestière, ils peuvent rapidement devenir assez critiques dans le cas où aucune précaution n'est prise, ayant comme effet d'ainsi diminuer la qualité des frayères et mettant alors en péril la reproduction. Tout d'abord, l'apport de sédiments est le risque le plus important dans le cas des frayères. Si des sédiments s'accumulent dans le matériel graveleux de ces dernières, la circulation de l'eau se fait alors plus difficilement, ce qui cause une réduction d'apport en oxygène. En conséquence, le succès d'éclosion des œufs diminue et cela peut aussi occasionner la mort des alevins, alors qu'ils sont toujours à leur stade de vie intergranulaire (FQSA-DGR.2012). Ensuite, une récolte forestière trop importante dans un bassin versant peut mener à l'augmentation des débits, ce qui peut aussi causer la dégradation des nids. Comme le mentionne Lapointe et al. (1999) :« L'intensification du transport de fond en raison de l'augmentation des vitesses du courant peut conduire à l'érosion des nids de fraie provoquant la mortalité des œufs enfouis ou des alevins nouvellement éclos ». Sachant qu'en moyenne et dans le meilleur des mondes, 1 saumon adulte sur 500 œufs déposés revient en rivière pour se reproduire, et que dans les pires cas c'est 1 saumon adulte sur 20 000 œufs déposés, il est sans aucun doute primordial de maintenir des frayères de qualité pour faciliter et optimiser la reproduction du saumon atlantique (Caron & al., 2013).

2.3 Aire équivalente de coupe (AEC)

L'aire équivalente de coupe correspond à la superficie de coupe actuelle qui a un effet équivalent à celui de la coupe antérieure (Langevin & Plamondon, 2004). Autrement dit, c'est la surface cumulative du bassin versant qui a été récolté (ou victime d'une perturbation naturelle sévère), exprimée en termes d'une superficie fraîchement traitée par coupe totale (TABLE DE CONCERTATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE MATANE, 2009). Par exemple, une coupe totale réalisée il y a 20 ans sur 10% de l'aire d'un bassin versant a l'effet équivalent d'une coupe totale réalisée aujourd'hui sur 3,5 % de la superficie de ce même bassin. Comme Langevin et Plamondon (2004) le mentionnent dans leur rapport **Méthode de calcul de l'aire équivalente de coupe d'un bassin versant en relation avec le débit de pointe des cours d'eau dans la forêt à dominance résineuse** publié en 2004, on utilise l'AEC : « Dans le but de déterminer à quel point l'aménagement forestier réalisé sur un bassin versant de cours d'eau risque d'entraîner une augmentation de ses débits de pointe et, par la suite, d'altérer l'habitat aquatique ». On entend par débit de pointe : « écoulements maximaux d'un cours d'eau résultant d'orages et d'averses prolongées ou de la fonte de la neige ». Pour calculer cette valeur, on utilise les superficies de coupes auxquelles on applique un taux régressif de l'effet de la coupe en fonction du nombre d'année depuis cette coupe, puis on divise ces valeurs par la superficie du bassin versant. Comme la reconstitution du couvert forestier et la restauration des sols compactés sont deux éléments jouant un rôle important sur les débits de pointes, et qu'ils s'améliorent avec le temps, plus une coupe date de longtemps, plus son taux régressif de l'effet de la coupe sera diminué. Par exemple, une coupe effectuée à l'an 0-5 an possède un taux de 100%, comme la végétation est absente et le sol très perturbé, tandis qu'une coupe de 30 ans possède un taux de 10%. Cela indique donc que 30 ans après une coupe totale, un peuplement résineux a presque entièrement retrouvé ses fonctions d'interception des précipitations et d'infiltration dans les sols, limitant ainsi le risque d'augmenter les débits de pointe (Langevin & Plamondon, 2004). La figure 2.2 illustre bien comment l'AEC change à travers les années.

Figure 2.2 Exemple d'application du calcul de l'Aire équivalente de coupe



Source : Jutras.S. 2020 FOR-2210 hydrologie et aménagement du bassin versant. Note de cours Semaine 6 : Saines pratiques forestières pour la protection de l'eau : l'aire équivalente de coupe (AEC). Pour assurer la compréhension : La figure doit être consulté en suivant la séquence d'images de 1 à 7). Ce qu'on observe en vert, c'est un bassin versant de 30 km² (3000 ha), ayant comme un exutoire le X rouge. Les coupes forestières de l'année en cours sont de couleurs orange et ont un taux régressif d'effet de la coupe de 100%. Celles de 10 ans sont jaunes et leur taux est de 75%, et finalement, celles de 20 ans sont beiges et ont un taux de 35%. À l'image 1), on se retrouve en 1970 et 750 ha ont été récoltées. L'AEC est de 25 %, car $(750 \text{ ha} \times 100\%) / 3000 \text{ ha} = 0,25$. À l'image 7), Les coupes de 750 ha de 1970 (20 ans) équivalent à 262 ha ($750 \text{ ha} \times 35\%$), celles de 750 ha en 1980 (10 ans) équivalent à 562 ha ($750 \text{ ha} \times 75\%$) et celles fraîchement récoltées de 500 ha, équivalent 500 ha, pour un total de 1324 ha en 1990. L'AEC est donc de 44%, car $(1324 \text{ ha} / 3000 \text{ ha}) \times 100 = 44\%$.

En ce qui concerne les effets d'une AEC trop importante, plusieurs conséquences en résultent. L'augmentation des débits de pointes est la principale conséquence. Elle est due à la combinaison entre l'absence d'arbre à la suite de la récolte et à la présence de sols perturbés. Cela fait en sorte qu'il y a moins d'interception d'eau, le ruissellement vers la rivière est alors plus important. À la suite de cette augmentation, la morphologie de la rivière risque de changer, les berges sont érodées et l'habitat de plusieurs espèces de poisson peut alors être altéré. Aussi, comme mentionné brièvement à la section 2.1, cela fait en sorte que le rayonnement augmente, ce qui réchauffe l'eau et augmente alors la température de l'eau qui accède à la rivière, lorsqu'on pense aux refuges thermiques et leurs fonctions, cela devient alors rapidement critique. D'ailleurs, dans le cas où il y a de la neige, ce même rayonnement peut faire fondre cette dernière et alors augmenter de façon considérable les débits de pointe. (Langevin & Plamondon, 2004).

Selon les études réalisées et applicables au Québec, la probabilité d'observer une augmentation des débits de pointes causant une altération de l'habitat aquatique est négligeable lorsque l'AEC ne dépasse pas 50%. En revanche, une fois ce pourcentage dépassé, il est possible d'observer l'augmentation des débits de pointe entraînant un changement de morphologie et potentiellement une dégradation de l'habitat des poissons dans 25 % des cas (Plamondon, 2004). On peut donc conclure que pour une AEC dans un bassin versant, 50% est un seuil à ne pas dépasser, si l'on veut conserver certains sites importants.

2.4 Densité de chemins forestiers

La densité de chemin correspond à longueur de chemin présent par superficie, ce pourquoi elle est exprimée en kilomètre par hectare ou en kilomètre par kilomètre carré. Les chemins forestiers sont principalement construits pour accéder à de nouveaux territoires de coupe et servent au transport du bois. Ils sont aussi utilisés par les travailleurs des industries éolienne et minière, en plus des nombreux adeptes de plein air. Au Québec, ce sont généralement entre 4000 et 5000 km de nouveaux chemins qui sont implantés en forêt chaque année (Caron, 2020). La construction de chemin est l'une des principales causes de l'érosion qui survient en milieu forestier et cela contribue particulièrement à l'augmentation des sédiments dans les cours d'eau (Schindler, 1998; Clarke et al., 1998). En effet, un cours d'eau dans un bassin versant n'ayant aucun chemin possède moins de sédiments fins et possède des habitats aquatiques de meilleure qualité qu'un cours d'eau dans un bassin versant touché par la voirie (McCaffrey et al., 2007).

Cette érosion est majoritairement due aux déficiences en entretien du réseau routier, par exemple un mauvais profilage de chemin, l'absence ou les bris des digues et des bassins de sédimentations (Caron,2020). En ce qui concerne les espèces aquatiques, une étude réalisée indique qu'il n'y a pas de densité de voirie forestière sécuritaire, comme des impacts négatifs sont observables dès que le premier tronçon de chemin est construit. Cependant, des conséquences plus importantes, telles l'extirpation d'une espèce de son milieu peuvent être observables dès que la densité de chemin a atteint 0,6 km/km² (équivalents à 0,006 km/ha) (Carnefix et Frissell,2009). Aussi, comme mentionné dans l'introduction, lorsque la densité de voirie se situe entre 0,4 et 1,1 km/km², on observe une diminution importante de la proportion de tributaires pouvant soutenir une population abondante de salmonidés (Quigley et al.,1996). Cela devient alors néfaste pour les jeunes saumons qui passent normalement une bonne partie de leurs premières années dans les tributaires.

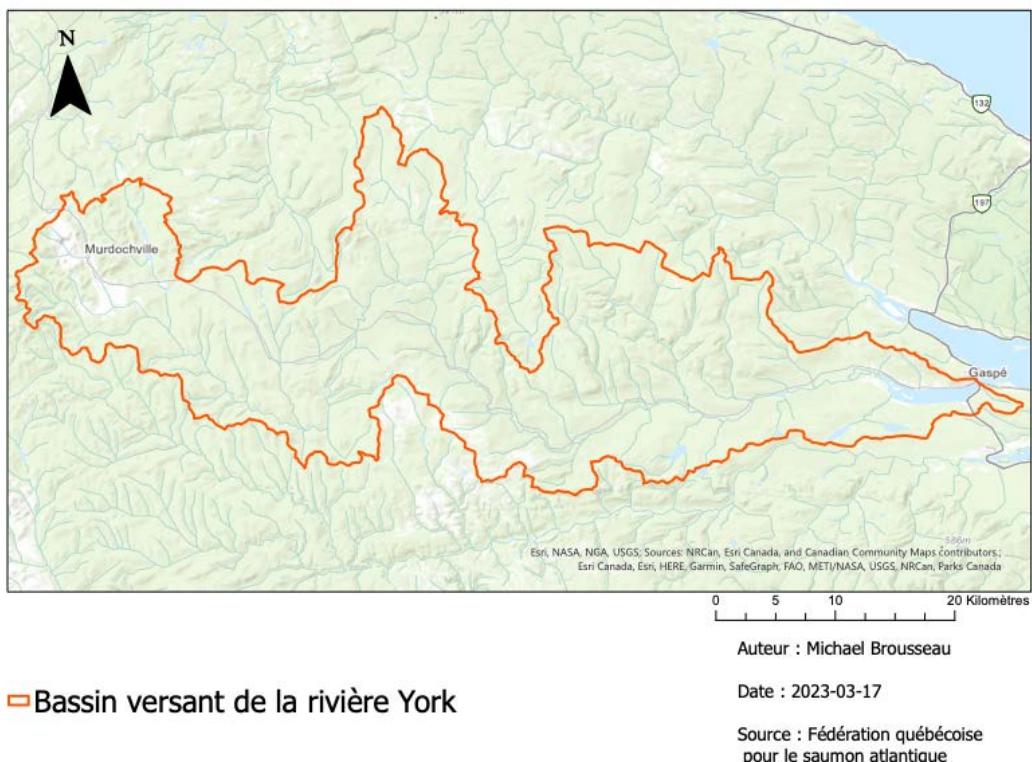
Plus de chemins signifie plus de traverses de cours d'eau, et c'est ce qui est souvent problématique en ce qui concerne les habitats aquatiques. Des études effectuées démontrent que la quantité de sédiments en suspension dans les cours d'eau est liée au nombre de ponceaux installés (St-Onge et al., 2001). En effet, cela peut s'expliquer par une installation inadéquate et/ou par un manque d'entretien (Caron, 2020). Dans ces cas, il arrive que le parcours naturel de l'eau soit modifié, ce qui favorise l'érosion. Dans d'autres situations, les ponceaux peuvent se retrouver obstrués par des sédiments ou des débris ligneux, en conséquence la vitesse de l'eau à la sortie du ponceau augmente, créant ainsi un approfondissement du lit du cours d'eau en aval. Une quantité importante de sédiments peuvent alors être transportés (St-Onge et al., 2001). D'ailleurs, le réseau routier est une surface trop compactée pour permettre à l'eau d'infiltrer le sol, en revanche le ruissellement est plus rapide, ce qui favorise une augmentation du débit de pointe (Gangbazo ,2011).

Bref, une plus grande densité de chemins forestiers signifie plus de traverses de cours d'eau et donc souvent plus de sédiments dans l'eau. S'ajoute aussi un ruissellement plus rapide favorisant l'augmentation des débits de pointes, chose que l'on désire éviter pour le maintien d'un habitat de qualité pour le saumon atlantique.

3. MÉTHODOLOGIE

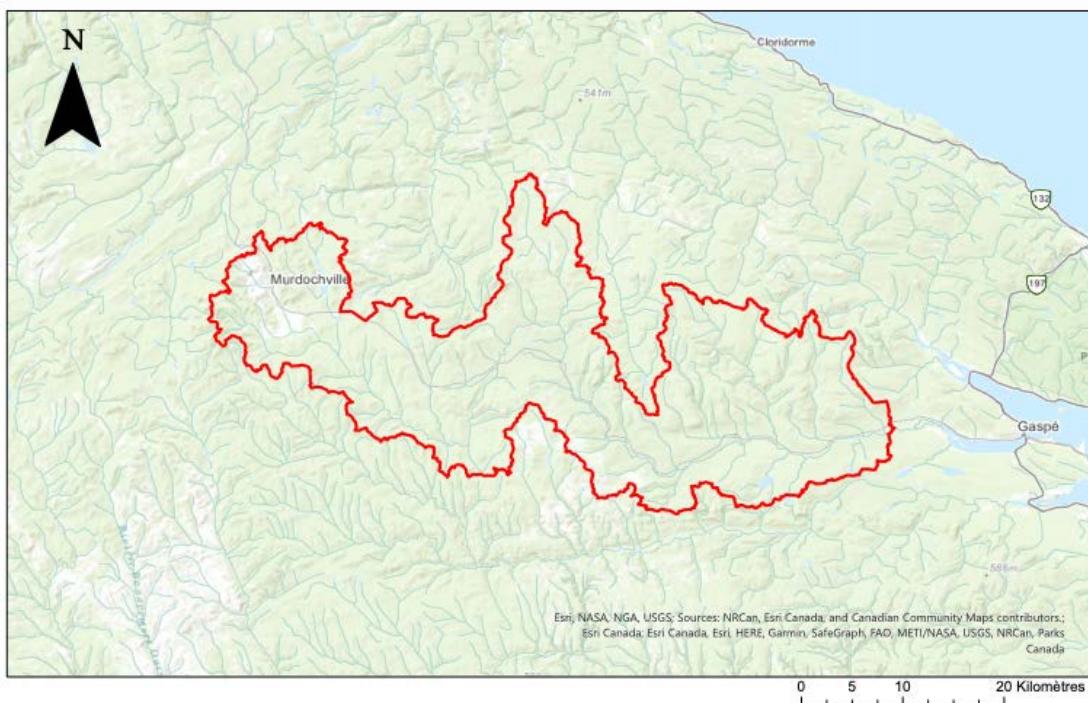
La section suivante décrit la démarche utilisée pour obtenir les aires équivalentes de coupes en date de 2020 (dernière année disponible pour l'année des récoltes dans les données de Forêt Ouverte), les aires équivalentes maximales et la densité de voirie pour 25 sous-bassins versants. Les sous-bassins retenus pour effectuer l'analyse sont représentatifs de l'ensemble des sous-bassins de la rivière York, en prenant en compte la superficie (des très grands, des moyens et des petits) et l'intensité aménagement de ces derniers. Le bassin versant de la rivière York utilisé a été modifié de sorte que la partie résidentielle de la ville de Gaspé y soit exclue. En plus de faciliter l'analyse, cela concentre l'étude sur la partie forestière du bassin versant. Pour ce qui est de la municipalité de Murdochville, comme elle est totalement en amont, elle doit être conservée dans le bassin versant. Les figures 3.1 et 3.2 présentent le bassin versant complet de la rivière York ainsi que la section analysée.

Figure 3.1 Carte du bassin versant de la rivière York



Le bassin versant observable dans la figure 3.1 a été fourni et provient de la FQSA, aucune modification n'y a été apportée.

Figure 3.2 Carte du bassin versant de la rivière York à l'étude



Auteur : Michael Brousseau

■ Bassin versant forestier de la rivière York

Date : 2023-03-17

Source : MNT LiDAR (Gouvernement du Québec)

Ce nouveau bassin versant a été créé de la même façon que les sous-bassins de la prochaine section du rapport, la méthode utilisée y est expliquée en détail.

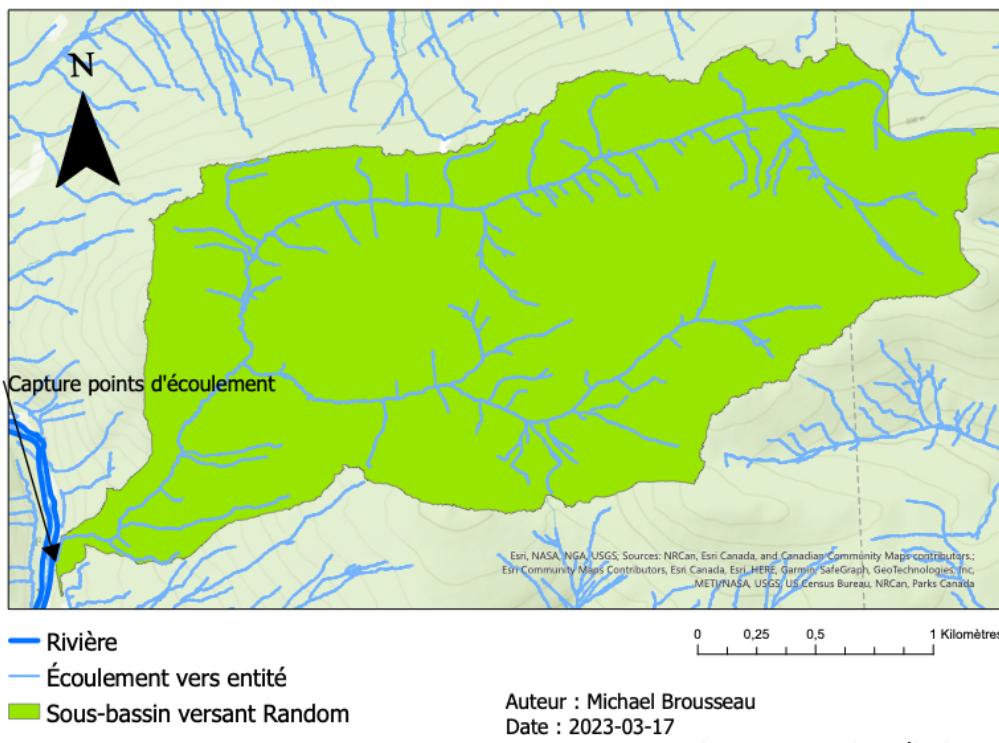
3.1 Délimitation des sous-bassins versants

Tout d'abord, comme l'étude s'intéresse directement aux sites d'intérêt pour le saumon atlantique, les 25 sous-bassins délimités ont tous comme exutoire un refuge thermique et/ou une frayère (emplacements fournis par la FQSA). Les refuges thermiques sont de type tributaire d'eau fraîche et de confluence, ces derniers ont été choisis comme leurs

cours d'eau se distinguent bien de la rivière York elle-même, et permettent une analyse spécifique à chaque sous-bassin.

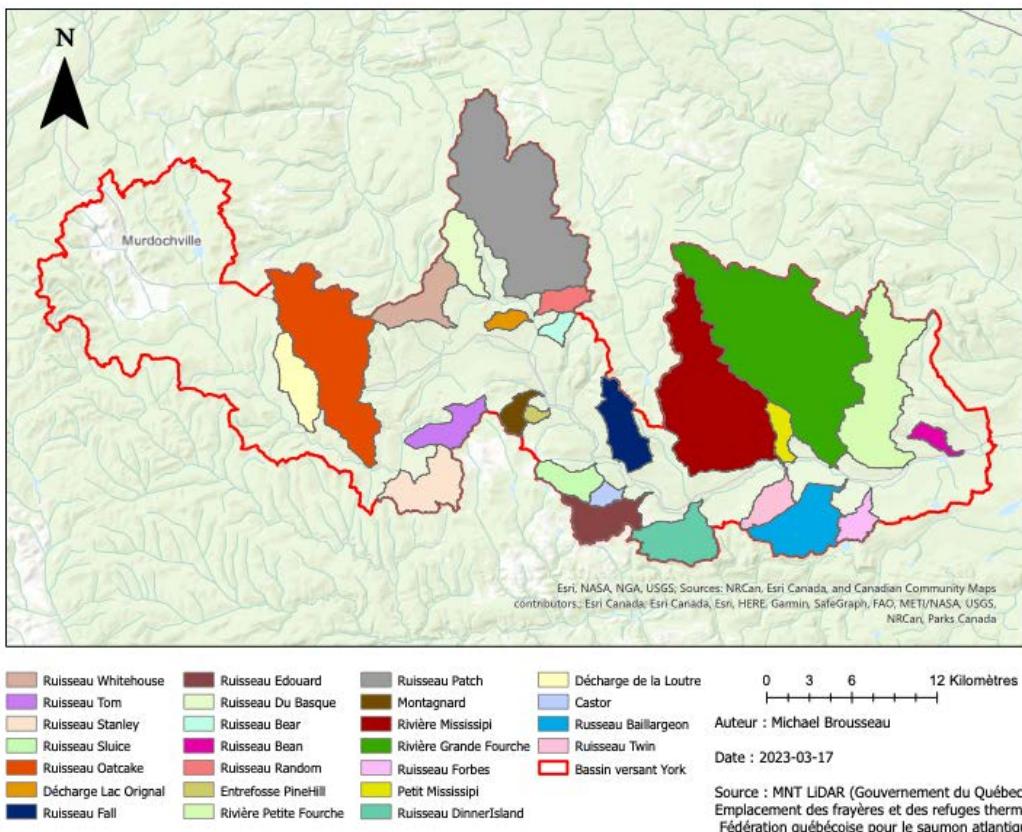
Pour délimiter ces sous-bassins, tout débute dans le logiciel ArcGIS Pro avec le modèle numérique de terrain (MNT) LiDAR provenant du Gouvernement du Québec, et obtenu sur le site de Forêt Ouverte. L'exercice commence avec un **remplissage** des imperfections de la couche MNT, dans le but d'obtenir un réseau de drainage plus précis. Ensuite, l'outil **direction de flux** est utilisé pour connaître les directions que prennent les écoulements, par rapport aux pentes qui les entourent. Par la suite, l'outil **accumulation de flux** permet de déterminer auxquels endroits l'eau s'accumule. Une fois ces étapes réalisées, il est possible d'utiliser **écoulement vers entités**, afin de vectoriser le réseau hydrographique. À ce moment, on doit décider quel bassin ou sous-bassin on désire délimiter, et il n'est plus nécessaire de répéter les étapes précédentes pour les prochains sous-bassins à tracer. Finalement, on utilise alors les outils **capture des points d'écoulement** et **bassin versant**, afin d'obtenir les limites du bassin versant auquel on s'intéresse. La figure 3.3 illustre les dernières étapes de la délimitation d'un sous-bassin versant à l'aide d'ArcGIS pro et du MNT.

Figure 3.3 Délimitation du sous-bassin versant Ruisseau Random



Au final, ce sont 25 sous-bassins versants (en plus du nouveau bassin versant de la rivière York) qui ont été délimités. La figure 3.4 présente l'ensemble de ces sous-bassins.

Figure 3.4 Carte des sous-bassins versants à l'étude



La nomenclature des sous-bassins est inspirée du nom des tributaires tout simplement, dans le cas où le cours d'eau n'avait pas de nom, le sous-bassin porte le nom de la fosse à saumon la plus près.

3.2 Mesure de l'AEC

Encore une fois à l'aide de Forêt Ouverte, des données essentielles à l'étude ont pu être extraites. Pour le calcul de l'AEC, les travaux sylvicoles effectués ainsi que les perturbations naturelles (chablis, épidémie d'insectes sévères, feux) sont celles qui permettaient d'effectuer l'analyse.

Pour chacun des bassins versants, l'outil découpage a été utilisé pour localiser les travaux sylvicoles et les perturbations naturelles sur le secteur en question. Ensuite, selon la nature, l'année et la superficie des interventions et des perturbations, l'aire équivalente de

coupe a pu être estimée. Pour calculer l'AEC, le tableau 3.1 tiré de l'ouvrage de Plamondon (2004) **Méthode de calcul de l'aire équivalente de coupe d'un bassin versant en relation avec le débit de pointe des cours d'eau dans la forêt à dominance résineuse** a été utilisé pour justement associer un taux régressif d'effet de coupe à une perturbation.

Tableau 3.1 Taux régressifs standards de l'effet de la coupe, des traitements sylvicoles et des perturbations naturelles sur le débit de pointe selon l'âge de l'intervention ou de la perturbation et les caractéristiques de la régénération résineuse

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Régénération résineuse	Âge de l'intervention ou de la perturbation	TREC standards par type d'intervention ou de perturbation ¹ (%)						
Surface terrière (DHP > 1 cm) (m ² /ha)	Hauteur (m)	(année)	CPR, CT, CRS, RPS CRB, ETR, P, PLN, PLR PLB, RRB, RRN, RRR CB ^d , CTR ^d , DRM ^d , DRC ^d BR avec route	CPH CBT CPE	CPT	EPC	EC, CAM, CA CP, CE, CPM CPC, ECE, ECL CJ ^d , CJP ^d , CJT ^d CEA ^d , CPF ^d	ES CHT BR sans route
	0,5	0	100	85	75	85	35	80
	0,65	1	100	80	70	80	30	80
	0,8	2	100	75	65	75	25	80
	0,95	3	100	70	60	70	20	80
	1,1	4	100	65	55	65	15	80
	1,25	5	100	60	55	60	10	80
	1,5	6	95	55	50	55	5	75
1	1,75	7	90	55	45	55	0	70
2	2	8	85	50	45	50		70
3	2,25	9	80	45	40	45		65
4	2,5	10	75	45	35	45		60
6	2,75	11	70	40	35	40		55
8	3	12	65	35	30	35		50
10	3,25	13	60	35	30	35		50
12	3,5	14	55	30	25	30		45
13	3,75	15	55	30	25	30		40
14	4	16	50	25	20	25		40
15	4,25	17	45	25	15	25		35
17	4,5	18	45	20	15	20		35
20	4,75	19	40	15	15	15		30
22	5	20	35	15	10	15		30
25	5,25	21	35	15	10	10		30
26	5,5	22	30	10	10	10		25
27	5,75	23	30	10	10	5		25
29	6	24	25	10	5	0		20
30	6,25	25	25	10	0			20
36	6,5	26	20	5				15
38	6,75	27	15	0				15
40	7	28	15					10
41	7,25	29	15					10
42	7,5	30	10					10
43	7,75	31	10					10
44	8	32	10					10
46	8,25	33	10					5
48	8,5	34	5					5
53	8,75	35	0					0

Bref comme mentionné dans la section 2.3, pour mesurer l'AEC on utilise les superficies de coupes auxquelles on applique un taux régressif de l'effet de la coupe, puis on divise ces valeurs par la superficie du bassin versant, ensuite on multiplie par 100 pour obtenir un pourcentage. La figure 3.5 illustre les manipulations géomatiques effectuées pour localiser les perturbations, leur année et leur superficie, tandis que le tableau 3.2 présente la façon utilisée pour mesurer concrètement l'aire équivalente de coupe. L'unité de mesure utilisée pour la superficie est l'hectare.

Figure 3.5 Mesure de l'AEC, exemple du sous-bassin Ruisseau Random

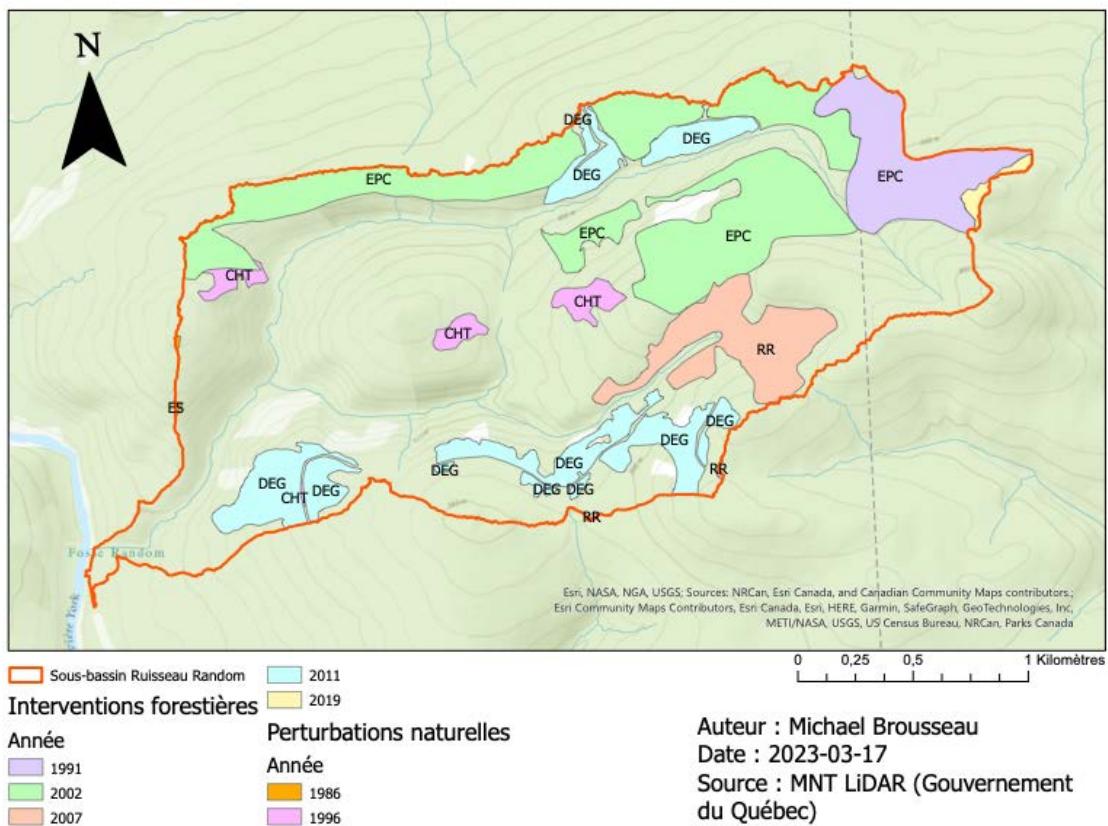


Tableau 3.2 Exemple du calcul d'AEC sous-bassin Ruisseau Random

Superficie BV	512	Total intervention	61,0775	AEC	11,929193	Longueur chemin	10,8 km/ha	0,0210938 km/km2	2,109375					
Année de la coupe	Âge intervention	Superficie coupe totale/PL/RR	TREC	CPH,CBT,CPE	TREC	CPT	TREC	EPC	TREC	EC,CJ,etc	TREC	ES,CHT	TREC	TOTAL
2020	0		1		0,85		0,75		0,85		0,35		0,8	0
2019	1	1,8	1		0,8		0,7		0,8		0,3		0,8	1,8
2018	2		1		0,75		0,65		0,75		0,25		0,8	0
2017	3		1		0,7		0,6		0,7		0,2		0,8	0
2016	4		1		0,65		0,55		0,65		0,15		0,8	0
2015	5		1		0,6		0,55		0,6		0,1		0,8	0
2014	6		0,95		0,55		0,5		0,55		0,05		0,75	0
2013	7		0,9		0,55		0,45		0,55		0		0,7	0
2012	8		0,85		0,5		0,45		0,5				0,7	0
2011	9		0,8		0,45		0,4		0,45				0,65	0
2010	10		0,75		0,45		0,35		0,45				0,6	0
2009	11		0,7		0,4		0,35		0,4				0,55	0
2008	12		0,65		0,35		0,3		0,35				0,5	0
2007	13	23,6	0,6		0,35		0,3		0,35				0,5	14,16
2006	14	45,9	0,55		0,3		0,25		0,3				0,45	25,245
2005	15	0,15	0,55		0,3		0,25		0,3				0,4	0,0825
2004	16		0,5		0,25		0,2		0,25				0,4	0
2003	17		0,45		0,25		0,15		0,25				0,35	0
2002	18		0,45		0,2		0,15	85,6	0,2				0,35	17,12
2001	19		0,4		0,15		0,15		0,15				0,3	0
2000	20		0,35		0,15		0,1		0,15				0,3	0
1999	21		0,35		0,15		0,1		0,1				0,3	0
1998	22		0,3		0,1		0,1		0,1				0,25	0
1997	23		0,3		0,1		0,1		0,05				0,25	0
1996	24		0,25		0,1		0,05		0				0,2	2,66
1995	25		0,25		0,1		0						0,2	0
1994	26		0,2		0,05								0,15	0
1993	27		0,15		0								0,15	0
1992	28		0,15										0,1	0
1991	29		0,15										0,1	0
1990	30		0,1										0,1	0
1989	31		0,1										0,1	0
1988	32		0,1										0,1	0
1987	33		0,1										0,05	0
1986	34		0,05										0,2	0,01
1985	35		0										0	0

*À noter qu'un dégagement équivaut à une coupe totale effectuée 5 ans plus tôt, ce pourquoi les dégagements de 2011 sont placés à l'année 2006.

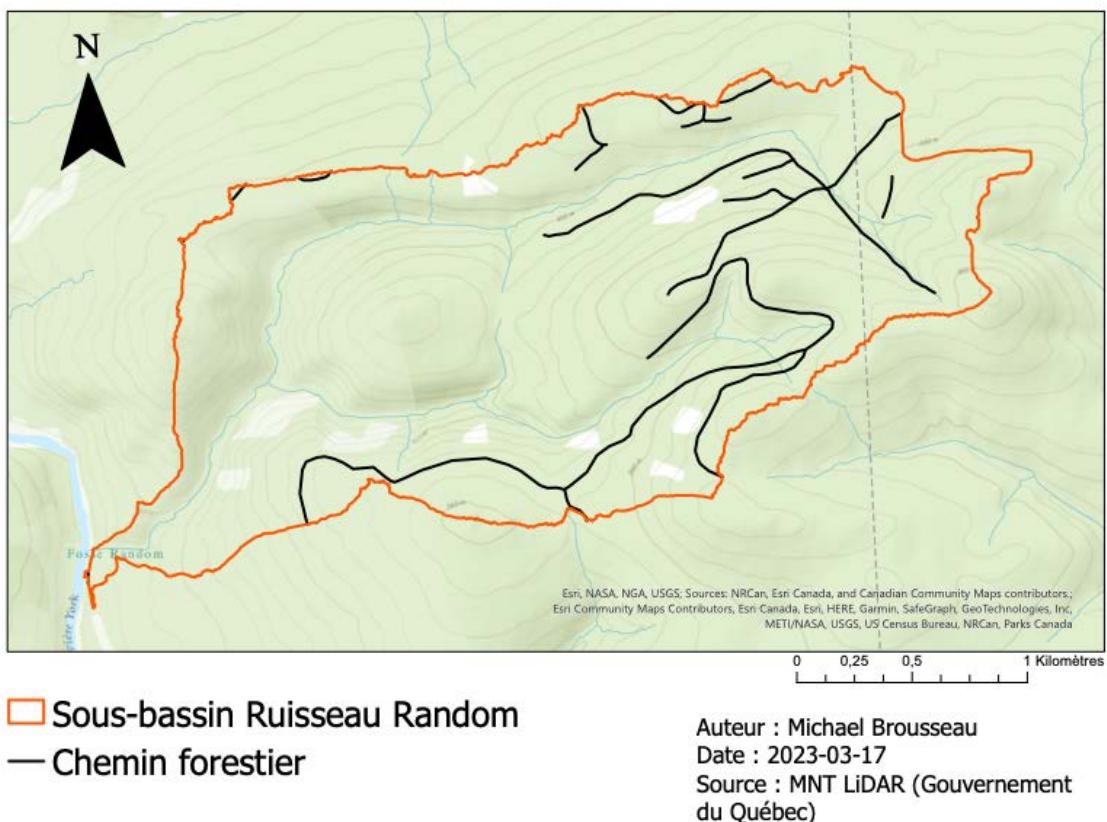
D'ailleurs en ce qui concerne l'AEC du bassin versant, la superficie de la municipalité de Murdochville a été traitée comme si c'était une coupe totale fraîchement effectuée.

L'AEC maximale a sensiblement été obtenue de la même façon, à l'exception qu'on se déplace à travers le temps (aussi loin dans le passé que Forêt Ouverte fournit les données de coupes forestières dans les secteurs d'intérêt) et qu'on ajuste les taux régressifs de façon à trouver l'année pour laquelle l'aire équivalente de coupe a été la plus élevée. Par exemple, dans le cas du sous-bassin versant du ruisseau Random, présenté au tableau 3.2, c'est en 2007 où l'AEC est maximale. À cette année, les superficies traitées en coupe totale de 2005, 2006 et 2007 obtiennent toutes un taux régressif de l'effet de coupe de 100%, ce qui augmente considérablement l'AEC. En 2020, l'AEC de ce sous-bassin versant est de 11,93%, alors qu'en 2007 il était de 25,08%.

3.3 Mesure de la densité de voirie

Cette mesure est assez simple et rapide à effectuer. À l'aide de la couche des chemins de l'unité de gestion de la Gaspésie, fournie par le bureau du MRNF de Gaspé, on commence par utiliser l'outil découpage dans ArcGIS pro avec le sous-bassin pour lequel on réalise l'analyse. Ensuite, on recalcule la longueur des chemins présents dans le sous-bassin et on réalise la somme totale de ces derniers. Finalement, on divise la somme de ces chemins par la superficie du sous-bassin pour obtenir une densité km/km². La figure 3.6 illustre à quoi ressemblent les manipulations géomatiques pour réaliser cette mesure.

Figure 3.6 Mesure de la densité de voirie, exemple du sous-bassin Ruisseau Random



4.RÉSULTATS

La superficie des sous-bassins versants délimités se situe entre 1,5 km² et 102,2 km². L'aire équivalente de coupe en date de 2020 pour ces sous-bassins varie entre 2,26 % et 44,52 %. L'aire équivalente de coupe maximale se situe entre 3,15% et 51,22%, alors que la densité de voirie forestière est de 0,76 à 4,21 km/km². Le tableau 4.1 présente l'ensemble des résultats d'AEC et de densité de voirie obtenus pour le bassin versant et les sous-bassins délimités.

Tableau 4.1 Aire équivalente de coupe en date de 2020 et densité de voirie forestière dans les sous-bassins de la rivière York

Bassin versant	Superficie (km ²)	Aire équivalente de coupe en 2020		Densité de voirie forestière (km/km ²)
Nom du sous-bassin versant	Superficie(km ²)	Aire équivalente de coupe en 2020	Aire équivalente de coupe maximale (%) (Année)	Densité de voirie forestière (km/km ²)
Portion forestière Rivière York	1001, 1	9,77 %		1,82
Rivière Grande-Fourche	102,2	5,93 %	25,16 % (1987)	2,34
Ruisseau Patch	76,5	12,15 %	18,90 % (2012)	2,33
Rivière Mississippi	64,0	10,30 %	22,57 % (1988)	2,75
Ruisseau Oatcake	53,5	3,17 %	3,47 % (2012)	1,61

Rivière Petite- Fourche	40,4	3,96 %	21,93 % (1984)	2,00
Ruisseau Baillargeon	19,9	11,69 %	12,84 % (2016)	1,42
Ruisseau Dinner Island	15,7	22,44 %	22,72 % (2019)	1,68
Ruisseau Stanley	15,7	11,12 %	11,70 % (2014)	1,48
Ruisseau Fall	13,4	12,79 %	14,90 % (2007)	1,46
Ruisseau Whitehouse	13,3	8,97 %	12,63 % (2008)	1,19
Décharge de la Loutre	12,1	2,26 %	3,15 % (2012)	0,83
Ruisseau Edouard	11,8	41,60 %	51,22 % (2014)	2,99
Ruisseau du Basque	11,3	12,95 %	31,17 % (2007)	2,10
Ruisseau Tom	9,6	10,09 %	11,31 % (2018)	2,33
Ruisseau Sluice	7,8	44,52 %	47,03 % (2019)	3,42
Ruisseau Twin	7,3	5,84 %	6,53 % (2016)	0,76
Ruisseau Forbes	5,4	17,39 %	17,39 % (2020)	1,23
Ruisseau Random	5,1	11,93 %	25,08 % (2007)	2,11

Petit Mississippi	5,0	19,51 %	22,73 % (2017)	3,41
Montagnard	4,4	27,62 %	38,28 % (2015)	4,21
Ruisseau Bean	3,5	8,70 %	11,79 % (1979)	3,67
Ruisseau Bear	3,1	12,45 %	21,05 % (2007)	1,25
Décharge Lac Orignal	3,0	5,09 %	32,75 % (2000)	1,26
Castor	2,8	32,83 %	34,21 % (2019)	2,51
Entrefosse Pinehill	1,5	36,20 %	37,04 % (2019)	2,11

5.ANALYSE ET DISCUSSION

En ce qui concerne les mesures d'AEC dans les sous-bassins versants délimités de la rivière York, en aucun cas cette dernière ne dépasse le seuil critique de 50% en date de 2020, ce qui confirme l'hypothèse suggérée. Comme mentionné plus tôt, des mesures sont actuellement prises pour éviter ce dépassement. Des cibles ont été fixées dans le PAFIT de l'unité d'aménagement 112-62, où se situe la rivière York. Ces dernières indiquent de ne jamais dépasser 50% dans les sous-bassins et même de limiter l'AEC à 35%. D'ailleurs, dans le cas où une planification ferait en sorte de dépasser ce seuil de 35%, des mesures d'harmonisation doivent être apportées lors des consultations du Plan d'aménagement forestier intégré opérationnel (PAFIO). L'hypothèse pour l'AEC maximale peut être qualifiée de partiellement confirmée. En effet non pas quelques sous-bassins versants, mais bien un seul a une AEC maximale excédant le seuil de 50%. Cette hypothèse était surtout basée sur l'absence de mesures limitant l'intensité de la récolte dans un sous-bassin versant dans le passé. Un seul sous-bassin qui dépasse le seuil, ce n'est pas parfait, mais c'est tout de même mieux que ce qui était envisagé. Les résultats obtenus et les mesures mises en place permettent de suggérer que la récolte effectuée, en termes de superficie et d'intensité, au cours des dernières décennies dans le bassin versant de la rivière York est faite de façon à limiter les impacts des coupes sur les sites d'intérêt pour saumon atlantique. En conservant une AEC relativement basse dans les sous-bassins ayant comme exutoire un refuge thermique et/ou une frayère, on diminue les chances d'altérer l'habitat des salmonidés. Les risques d'une augmentation du débit de pointe qui engendre érosion des berges et apport de sédiments se font alors moins grands. La probabilité que la température de l'eau augmente est aussi moins grande, le refuge thermique risque donc de conserver son efficacité. Bref, utiliser le calcul de l'aire équivalente de coupe peut s'avérer une piste de solution quant à l'aménagement d'un bassin versant, cependant il est préférable de le faire à l'échelle des sous-bassins versants, comme cela permet de conserver et protéger des sites d'intérêt spécifiques. Un bassin versant ayant une AEC inférieur à 50% est loin d'être assurément bien aménagé, puisqu'il se pourrait que des sous-bassins hyper importants soient complètement récoltés. L'AEC est une bonne méthode pour aménager les bassins et sous-bassins versants, cependant elle n'est pas absolue. Une AEC faible en date d'aujourd'hui ne veut pas nécessairement dire que le milieu aquatique est de bonne qualité. Par exemple dans un

sous-bassin où il y a eu des coupes il y a de ça plusieurs années, l'AEC risque d'être faible, en revanche il est possible que la densité de chemin forestier soit élevée. On peut alors s'attendre à y retrouver des infrastructures désuètes et des chemins aucunement entretenus depuis que le bois a été transporté à l'usine, ce qui peut occasionner un apport en sédiment assez important. D'ailleurs c'est ce que suggère les AEC maximales estimées. Comme celles-ci remontent souvent à 15, 20 et même plus de 30 ans, il est fort probable que le réseau routier présent dans ces sous-bassins versants soit actuellement en mauvais état, ce qui est très nocif, particulièrement pour les frayères. Bref, l'AEC est un bon outil, mais pour être pleinement efficace et quantifier adéquatement l'aménagement effectué, elle doit être jumelée minimalement à la densité de voirie forestière.

Maintenant pour ce qui est de la densité de voirie forestière, l'hypothèse suggérée a aussi été confirmée. Pour chacun des sous-bassins, la densité de voirie forestière est égale ou supérieure à $0,76 \text{ km/km}^2$, ce qui est au-dessus des seuils mentionnés ($0,4$ et $0,6 \text{ km/km}^2$), qui une fois atteint risque d'affecter l'habitat des salmonidés. Comme on peut l'observer, la majorité des sous-bassins ont une densité supérieure à $2,00 \text{ km/km}^2$, ce qui devient largement supérieur aux seuils. De ce fait, les risques de causer des dégâts dans les sites d'intérêts comme les refuges thermiques et les frayères n'ont d'autre choix que d'être important. Au Québec, une fois que les opérations forestières dans un secteur sont terminées les chemins qui y ont été construits sont rarement entretenus, et c'est ça le principal problème avec la voirie forestière. Les chemins qui ne sont pas entretenus deviennent une source importante de sédiments dans les cours d'eau, et comme les sections précédentes en font mention, cela affecte grandement la qualité de l'habitat aquatique.

6.CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

En conclusion, le but de produire un document pouvant servir aux gestionnaires de rivières à saumon lors des soirées de consultations pour protéger des sites spécifiques dans un bassin versant a été atteint. Du vocabulaire important et des exemples quant à l'aménagement des rivières à saumon comme les refuges thermiques, les frayères, l'aire équivalente de coupe et la densité de voirie ont tous été présentés. L'objectif de mesurer l'aire équivalente de coupe en date de 2020, l'aire équivalente de coupe maximale et la densité de voirie dans plusieurs sous-bassins versants de la rivière York ayant comme exutoire un refuge thermique et/ou une frayère a été réalisé. Les résultats indiquent qu'actuellement les coupes sont localisées de façon à éviter des aires équivalentes de coupe trop élevées. Pour les 25 sous-bassins délimités, les AEC de 2020 sont toutes situées entre 2,26 % et 44,52 %, ce qui est inférieur au seuil à ne pas dépasser de 50%. Quant à elles, les AEC maximales varient entre 3,15% et 51,22%, et un seul sous-bassin versant dépasse le seuil de 50%. Cependant, le problème concernant les AEC maximales réside dans le fait que ces dernières ont surtout été atteintes il y a plusieurs années déjà, on peut alors suggérer un réseau routier désuet et susceptible d'augmenter l'apport en sédiments dans les tributaires et la rivière principale. Pour ce qui est de la densité de voirie forestière, celle-ci est assez importante sur l'ensemble du bassin versant. Pour les 25 sous-bassins à l'étude, les valeurs varient entre 0,76 et 4,21 km/km². De telles valeurs engendrent une source de risques non négligeables en ce qui concerne la qualité de l'habitat du saumon atlantique, surtout lorsqu'on sait que les chemins forestiers sont très peu entretenus une fois les opérations terminées. Bref, plusieurs mesures doivent être prises en compte pour conserver l'habitat du saumon atlantique et ainsi assurer la pérennité de cette espèce mythique. Cibler les sites d'intérêt, et aménager à l'échelle du sous-bassin versant est un premier pas dans la bonne direction quant à l'aménagement forestier dans les bassins versants des rivières à saumon. La protection des sites importants comme les refuges thermiques et les frayères est essentielle autant pour la montaison que pour la reproduction de l'espèce, donc autrement dit, pour sa survie. En Gaspésie où la culture saumon est bien établie depuis plusieurs décennies, les PAFIT prennent compte de ces cours d'eau et des cibles d'AEC sont fixés pour aménager les sous-bassins versants des rivières à saumon de façon à limiter l'impact des coupes

forestières. Si on se déplace ailleurs au Québec dans d'autres unités d'aménagement, il n'est pas rare de remarquer qu'on ne parle aucunement d'aire équivalente de coupe dans les PAFIT, et ce même si on retrouve des rivières à saumon sur le territoire. Il serait bien d'intégrer cette notion à l'aménagement dans les sous-bassins versants de ces rivières, afin de maximiser la protection de ces cours d'eau. En intégrant des cibles d'AEC à petite échelle (sous-bassins versants ayant comme exutoire un refuge thermique), on limite le risque d'augmenter la température de l'eau dans les refuges thermiques, et par le fait même on augmente les chances que ce dernier conserve ses fonctions de diminution de température corporelle du saumon atlantique. La densité de voirie forestière est aussi très importante à contrôler comme elle peut vite devenir problématique. Pour limiter l'apport de sédiments dans les rivières, il est certainement préférable de limiter la quantité de chemins construits. Cependant, il est d'autant plus important d'entretenir les chemins en place. Un chemin avec un bon profilage, où les digues et les bassins de sédimentation sont fonctionnels et dont les ponceaux sont installés conformément et entretenus est beaucoup moins sujet à être une source importante de sédiments, et du coup affecter la qualité des milieux aquatiques, particulièrement les frayères. La fermeture de chemin (démantèlement suivi ou non par un reboisement) est aussi une solution possible pour diminuer la densité de voirie forestière, et ainsi éviter l'apport de sédiments dû à l'absence d'entretien dans les chemins abandonnés. Si le chemin risque de ne plus être utilisé pour plusieurs années une fois les opérations terminées, pourquoi ne pas le fermer? Le Gouvernement du Québec se doit d'agir en matière de voirie forestière. Des décisions doivent être prises, et rapidement.

Dans un monde où la récolte de bois est essentielle pour l'économie et la société, il y a quand même un moyen de trouver une façon de répondre à ce besoin tout en limitant les impacts environnementaux. Pour maintenir cette richesse qu'est le saumon atlantique, on se doit de limiter les facteurs altérant son habitat.

Protégeons nos rivières.

7.BIBLIOGRAPHIE

Atlantic Salmon Federation. (n.d.). *ASF-NASF INTERNATIONAL CONSERVATION AGREEMENTS*. Retrieved March 8, 2023, from www.asf.ca

Atlantic Salmon Federation. (2018). *La plus longue étude sur le saumon atlantique révèle les tendances de survie et de mortalité.* <https://www.asf.ca/news-and-magazine/news-releases/longest-study-of-atlantic-salmon-reveals-survival-and-mortality-trends>

Breau, C. (n.d.). *Knowledge of fish physiology used to set water temperature thresholds for in-season closures of Atlantic salmon (*Salmo salar*) recreational fisheries.* Retrieved March 8, 2023, from www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs

Caron, F., Côté, Y., & Chapados, F. (2013). *Doit-on inscrire le saumon du Québec sur la liste des espèces en péril?* <https://www.saumonquebec.com/media/2374/memoire-fqsa-doit-on-inscrire-le-saumon-du-quebec-sur-la-liste-des-especes-en-peril.pdf>

Caron, J.-P. (2020). *Caractérisation des ponceaux aménagés sur le réseau forestier des bassins versants des rivières à saumon Dartmouth, York et St-Jean (Gaspésie, Québec).*

Carnefix, G., and C. A. Frissell. 2009. Aquatic and Other Environmental Impacts of Roads: The Case for Road Density as Indicator of Human Disturbance and Road-Density Reduction as Restoration Target; A Concise Review. Pacific Rivers Council Science Publication 09-001. Pacific Rivers Council, Portland, OR and Polson, MT. Available at: <http://www.pacificrivers.org/science-research/resources-publications/road-density-as-indicator/download>

CLARKE, K.D., D.A. SCRUTON and J.H. MCCARTHY, 1998. The effect of logging and road construction on fine sediment yield in streams of the Copper Lake watershed, Newfoundland, Canada. In Forest-fish Conference : Land Management Practices Affecting Aquatic Ecosystems. M.K. Brewin and D.M.A. Monita, tech. coords. Proc. Forest-Fish Conf., May 1-4, 1996, Calgary, Alberta. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-356.

Daniels, J., Chaput, G., & Carr, J. (2018). Estimating consumption rate of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*) by striped bass (*Morone saxatilis*) in the Miramichi River estuary using acoustic telemetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* <https://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0373>

Fakhari, M.; Raymond, J.; Martel, R.; Dugdale, S.J.; Bergeron, N. Identification of Thermal Refuges and Water Temperature Patterns in Salmonid-Bearing Subarctic Rivers of Northern Quebec. *Geographies* 2022, 2, 528–548. <https://doi.org/10.3390/geographies2030032>

FQSA-DGR.2012. Développement de stratégies et de modalités de protection de l'habitat du saumon atlantique dans un contexte de gestion intégrée faune-forêt. Publié par la Fédération québécoise pour le saumon atlantique (FQSA), 142 pages.

Frechette, D. M.; Dugdale, S. J.; Dodson, J. J.; Bergeron, N. E. Understanding Summertime Thermal Refuge Use by Adult Atlantic Salmon Using Remote Sensing, River Temperature Monitoring, and Acoustic Telemetry1. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2018, 75 (11), 1999–2010 DOI: 10.1139/cjfas-2017-0422.

Gagné, J.-S. (2021). *L'inquiétant déclin du saumon de l'Atlantique / Actualités / Le Soleil - Québec.* <https://www.lesoleil.com/2021/05/08/linquietant-declin-du-saumon-de-latlantique-08efb31d79d676d80db088b4f9dd34ab>

Gangbazo, G., 2011. Guide pour l'élaboration d'un plan directeur de l'eau : un manuel pour assister les organismes de bassin versant du Québec dans la planification de la gestion intégrée des ressources en eau. Québec, Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 329 pages

Jutras.S. 2020 FOR-2210 hydrologie et aménagement du bassin versant. Note de cours Semaine 6 : Saines pratiques forestières pour la protection de l'eau : l'aire équivalente de coupe (AEC)

Langevin, R. et A. P. Plamondon, 2004. Méthode de calcul de l'aire équivalente de coupe d'un bassin versant en relation avec le débit de pointe des cours d'eau dans la forêt à dominance résineuse, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'environnement forestier et Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique, code de diffusion, 24 p.

LAPOINTE, M., B. EATON, S. DRISCOLL et C. LATULIPPE. 1999. Modelling the probability of salmonid egg pocket scour due to floods. *Can. j. Aquat. Sci.* 57: 1120-1130.

McCaffery M., T.A. Switalski, and L. Eby. 2007. Effects of road decommissioning on stream habitat characteristics in the South Fork Flathead River, Montana. *Transactions of the American Fisheries Society* 136: 553-561.

Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs. (n.d.). *Poissons du Québec - Saumon atlantique*.

Retrieved March 8, 2023, from <https://mffp.gouv.qc.ca/faune/peche/poissons/saumon-atlantique.jsp>

North Atlantic Salmon Conservation Organization. (n.d.). *West Greenland Salmon Fisheries Measures*.

Retrieved March 8, 2023, from <https://nasco.int/regulation/west-greenland-salmon-fisheries/>

Organisme de bassin versant Matapédia-Restigouche. (n.d.). *Refuge thermique Protection des sources d'eau froide*. Retrieved March 8, 2023, from <https://www.matapediarestigouche.org/refuge-thermique>

PLAMONDON, A. P. 2004. La récolte forestière et les débits de pointe – État des connaissances sur la prévision des augmentations des pointes, le concept de l'aire équivalente de coupe acceptable et les taux régressifs des effets de la coupe sur les débits de pointe. Document préparé pour la Direction de l'environnement forestier. Ministère des Ressources naturelles. Gouvernement du Québec. 236 p.

Quigley, T.M., and S.J. Arbelbide, tech. eds. 1997. An assessment of ecosystem components in the interior Columbia basin and portions of the Klamath and Great Basins: volume 1 and volume 3. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-405. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

SCHINDLER, D.W., 1998. A dim future for boreal waters and landscapes : cumulative effects of climatic warning, stratospheric ozone depletion, acidic precipitation, and other human activities. Bioscience, 48 : 157-164.

St-Onge, I., P. Bérubé et P. Magnan. 2001. Effets des perturbations naturelles et anthropiques sur les milieux aquatiques et les communautés de poissons de la forêt boréale : Rétrospective et analyse critique de la littérature. Le Naturaliste Canadien, 125 (Automne) : 81-95.

TABLE DE CONCERTATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE MATANE. (2009). *FICHE SYNTHÈSE CALCUL D'UNE AIRE ÉQUIVALENTE DE COUPE (AÉQ) DU BASSIN VERSANT DE LA Secteur de coupes dans la Réserve faunique de Matane*.

Wilbur, N. M., O'Sullivan, A. M., MacQuarrie, K. T. B., Linnansaari, T., & Curry, R. A. (2020). Characterizing physical habitat preferences and thermal refuge occupancy of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) at high river temperatures. *River Research and Applications*, 36(5), 769–783. <https://doi.org/10.1002/RRA.3570>