Rôle et importance des petits cours d'eau pour les alevins d'omble de fontaine dans les Hautes-Laurentides

Par
Miguel Hatin, ing. f. DESS en gestion de la faune
Yanick Charette, biol. M.Sc.

Mars 2014

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été possible grâce au soutien financier de plusieurs organismes à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance. Nous tenons à remercier la Fondation de la Faune du Québec et la Commission des Ressources Naturelles et du Territoire des Laurentides pour leur support financier qui a permis la réussite du projet. Nous tenons aussi à remercier messieurs Pierre Magnan et Marc Pépino de la Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces, de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour leur encadrement et leurs conseils judicieux tout au long de ce projet jusqu'à la révision du présent rapport. Nous désirons aussi remercier le MRNF, notamment le bureau de Longueuil et particulièrement Florent Archambault, Guillaume Lemieux, Sylvain Desloges et Daniel Hatin pour le support professionnel et matériel du projet. Nous désirons remercier les zones d'exploitation contrôlées (zecs) et pourvoiries participantes au projet. Nous tenons finalement à remercier Expédition Hautes-Laurentides pour l'assistance technique apportée au projet et Charles-Olivier Laporte du Cobali pour la recherche d'une partie de la littérature et de son accompagnement terrain.

RÉSUMÉ

L'objectif du présent projet est d'évaluer la performance et la robustesse du RNI comme outil de gestion des cours d'eau et de vérifier si la réglementation actuelle permet la protection des sites d'alevinages de l'omble de fontaine, *Salvelinus fontinalis*. La présence et l'abondance de l'omble de fontaine ont été estimées par pêche électrique dans 110 tributaires de 30 lacs situés dans des territoires à potentiels forestiers des Hautes-Laurentides au cours de l'été 2013. Nous démontrons que la majorité des cours d'eau cartographiés comme intermittents sur les cartes écoforestières et ceux qui ne sont pas cartographiés sont majoritairement des cours d'eau permanents. De plus, nos résultats démontrent que 76 % des cours d'eau sur le terrain sont permanents, alors que la cartographie n'en considère que 49 %. Les alevins d'omble de fontaine occupent 55 % des tributaires présents sur le terrain. Nous avons aussi démontré qu'ils utilisent autant les cours d'eau classés permanents qu'intermittents et ce, peu importe que ce classement soit effectué de façon cartographique ou terrain. De plus, l'abondance des alevins d'omble de fontaine est quatre fois plus importante dans les cours d'eau qui ne sont pas représentés sur les cartes écoforestières. L'écart de température entre le lac et le tributaire semble être le facteur principal expliquant la distribution spatiale des alevins dans les tributaires, ce qui confirme l'utilisation de refuges thermiques par les alevins. Nos résultats suggèrent enfin une utilisation quasi exclusive de certains cours d'eau par l'omble de fontaine alors qu'il est très peu présent lorsqu'il cohabite avec d'autres espèces.

L'évaluation des superficies d'habitats totales échantillonnées démontre que les ruisseaux cartographiés représentent une superficie plus grande que les ruisseaux non cartographiés. Toutefois, considérant l'abondance plus élevée d'alevins dans les ruisseaux non cartographiés, il s'avère que ces derniers supportent un nombre égal d'ombles de fontaine comparativement aux ruisseaux cartographiés.

D'un point de vue de la conservation et du maintien de l'habitat des alevins d'omble de fontaine, il est nécessaire de revoir la pertinence de maintenir la notion de permanence et d'intermittence d'un cours d'eau en foresterie, particulièrement à proximité des lacs à omble de fontaine. Dans un contexte de réchauffement climatique, le maintien de ces refuges thermiques, essentiels à la survie des alevins, revêt une importance cruciale.

Nous constatons une subjectivité évidente dans la clé de classification des cours d'eau sur le terrain présente dans le RNI, classification qui mène à une surestimation du nombre de ruisseaux intermittents pour lesquels aucune mesure de protection n'est prévue au RNI en regard du maintien de bandes riveraines. Le respect de ces bandes de protection est nécessaire pour maintenir et préserver les fonctions écologiques des petits tributaires. Finalement, considérant qu'une rétention dans le calcul de possibilité forestière est appliquée seulement aux cours d'eau permanents cartographiés, il s'avère que les volumes de bois disponibles à la récolte dans les milieux riverains sont fort probablement surestimés.

Table des matières

REMERCIEMENTS....2
RÉSUMÉ....3
INTRODUCTION....7
Objectif principal....9
Objectifs spécifiques....10
MATÉRIEL ET MÉTHODES....11
Aire d'étude....11
Échantillonnage sur le terrain....12
Stratégie d'échantillonnage : classification des types d'écoulements....12
Description de l'échantillonnage stratifié....13
Analyses statistiques :....15
RÉSULTATS....15
Occurrence des alevins d'omble de fontaine (AOF)....16
Abondance des AOF....19
Influence des facteurs environnementaux sur la « présence » et « l'abondance » de l'AOF....21
Facteurs abiotiques :....21
Facteurs biotiques....23
Habitat de l'AOF....26
Comparaison des habitats disponibles pour les alevins de l'AOF....26
Importance relative des habitats et abondance des AOF....29
Protection de l'habitat et impact sur la planification forestière et opérationnelle....30
DISCUSSION....32
Occurrence des alevins d'AOF vs classement cartographique et terrain....32
Abondance des AOF vs distance du lac....32
Représentation cartographique des ruisseaux et classement de l'écoulement....33
Influence des facteurs abiotiques (température) et biotiques (présence d'espèces compagnes) sur la « présence » et « l'abondance » de l'omble de fontaine....34
Facteurs abiotiques :....34
Facteurs biotiques....34
Comparaison des habitats disponibles pour les alevins de l'AOF....35

Habitat vs présence/ absence sur les cartes 35
Habitat vs classement cartographique 35
Importance relative des habitats vs abondance des AOF 36
Protection de l'habitat et impact sur la planification forestière et opérationnelle 36
Protection des ruisseaux non cartographiés et construction de chemins forestiers 37
CONCLUSION 39
RECOMMANDATIONS 40
PISTES DE PROJETS À VENIR 41
Bibliographie 42

Table des figures

Figure 1 : Images du ruisseau non cartographié considéré intermittent alors qu'il est permanent sur le terrain et qu'il abrite des alevins d'omble de fontaine. On observe sur la photo du centre, l'absence de la bande riveraine. 8
Figure 2 : Aire d'étude dans l'UAF 64-51 et répartition des lacs échantillonnés (carrés rouges) 11
Figure 3 : Exemples de point de départ de la première section aval pêchée sur un lac donné. 14
Figure 4 : Occurrence des ombles de fontaine en fonction de la distance du lac (m). ($p > 0.05$, basé sur un test Khi carré) 18
Figure 5 : Abondance des alevins d'omble de fontaine, selon 3 unités de mesure d'abondance en fonction de la distance du lac. 20
Figure 6 : Occurrence des AOF en fonction de l'écart de température entre le lac et le ruisseau. 22
Figure 7 : Densité d'AOF (nb/m^2) en fonction de la présence ou non d'espèces compagnes dans le ruisseau 24
Figure 8 : Histogramme de distribution des longueurs des principales espèces de poissons capturés durant la période d'échantillonnage 24
Figure 9 : Représentation des superficies cumulatives (km et km^2) pour l'Omble de fontaine échantillonnées dans le cadre du projet 27
Figure 10 : Habitat disponible (km et km^2) selon le classement cartographique de l'écoulement. 28
Figure 11 : Habitat disponible (km et km^2) selon le classement terrain de l'écoulement. 29
Figure 12 : Relation entre les densités d'AOF et les habitats disponibles au sein des différents ruisseaux cartographiés et des ruisseaux non cartographiés. 30

Figure 13 : Comparaison des longueurs totales échantillonnées (km) au sein des ruisseaux cartographiés selon le classement cartographique et terrain de l'écoulement pour les mêmes ruisseaux. L'astérisque (*) indique une différence significative dans les longueurs totales entre les deux groupes. 31

Figure 14 : Proportion des ruisseaux non cartographiés (n=49) qui seraient protégés contre les effets négatifs des chemins en fonction de la distance de construction du chemin. Basé sur les distances pêchées pour chaque ruisseau non cartographié (n=49). 38

Table des tableaux

Tableau 1 : Table comparative de la classification terrain de l'écoulement des cours d'eau dans l'UAF 64-51 pour deux projets différents réalisés en 2012 et 2013. 16

Tableau 2 : Liste des lacs de même que les coordonnées géographiques de l'ensemble des lacs retenus et échantillonnés 17

Tableau 3 : Occurrence des AOF dans les ruisseaux cartographiés et non cartographiés et occurrence des AOF selon 2 types de classification de l'écoulement..... 19

Tableau 4 : Densité d'AOF (moyenne ± écart-type) selon la présence du ruisseau sur les cartes et selon deux modes de classification de l'écoulement..... 21

Tableau 5 : Modèle mis utilisé pour modéliser la densité d'AOF au sein des ruisseaux échantillonnés 25

Tableau 6 : Tableau d'AIC pour les 8 modèles mis en compétition. 25

Tableau 7 : Coefficient de variation des différentes variables explicatives utilisées dans le modèle ayant le plus petit AIC..... 26

Table des annexes

Annexe 1 45

Annexe 2 46

INTRODUCTION

Le Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI) stipule que « nul ne peut passer avec une machine servant à une activité d'aménagement forestier sur une bande de terrain d'une largeur de 5 m de chaque côté d'un cours d'eau à écoulement intermittent (c.-à-d. dont le lit s'assèche périodiquement), sauf pour la construction, l'amélioration ou l'entretien d'un chemin, pour le creusage d'un fossé de drainage à des fins sylvicoles ou pour la mise en place ou l'entretien d'infrastructures ». Cependant la récolte des arbres peut être faite jusqu'à la bordure des cours d'eau à écoulement intermittent, pourvu que de la machinerie ne circule pas dans la bande de 5 m de part et d'autre de leur rive (Bertrand 2007). De plus, lors de la construction de chemin et de l'installation d'une traverse, l'article 26 du RNI stipule que le diamètre circulaire minimal d'un ponceau sur tous types de cours d'eau doit avoir un minimum de 45 cm de diamètre.

Les petits tributaires tels que les petits ruisseaux et cours d'eau à écoulement intermittent sont des sites clés pour la fraie et l'éclosion de l'omble de fontaine (Curry et al. 2002). Dans leur étude, Curry et ses collaborateurs ont démontré que jusqu'à 81 % des alevins et des jeunes ombles de fontaine (âge 0-2) habitent les petits ruisseaux (< 2 m de largeur) tributaires de leur lac de naissance. Ils bénéficient probablement de la température plus froide et plus stable de ces ruisseaux (Plante 2013). Actuellement, au Québec, les bandes riveraines des petits tributaires ne sont pas protégées des coupes forestières puisque la réglementation ne s'applique qu'aux cours d'eau permanents (RNI, D.498-96, a.2) (Boudreault 2013).

De plus, plusieurs de ces cours d'eau ne sont pas cartographiés (Bordwick et al. 2005, Hatin et al. 2013). Ils posent alors un défi aux aménagistes afin d'établir, selon le RNI, si chacun de ces derniers est éligible ou non au maintien d'une bande riveraine de 20 m. Cet élément devient crucial dans un contexte de gestion intégrée où l'objectif est de protéger l'habitat du poisson. Selon Plamondon (2001), la lisière boisée de 20 m de largeur conservée le long du réseau hydrographique au Québec permet de protéger le réseau hydrographique contre les augmentations de la température de l'eau (Wilkinson et al. 2004), l'apport de fins débris ligneux, la diminution de la concentration en oxygène dissous et les apports de sédiments en provenance du parterre de coupe.

Selon certains auteurs (Boudreault, 2013) plusieurs cours d'eau intermittents contiennent des alevins d'omble de fontaine. De plus, 70 % des ruisseaux classés intermittents sur les cartes étaient en fait des ruisseaux permanents et 37 % des ruisseaux intermittents étaient considérés, sur la base des diamètres de ponceaux, comme de simples drainages forestiers sur le terrain (Hatin et al. 2013). Cela semble donc soulever un certain problème de constance dans la classification d'un cours d'eau. Pour illustrer cette problématique, prenons l'exemple d'un petit tributaire du ruisseau Passagewa situé dans le territoire à l'étude.

Le ruisseau Passagewa est un ruisseau permanent d'environ 30 km de longueur alimenté en amont par le lac Miller. Ce cours d'eau permanent bénéficie d'une protection, en regard au RNI, par le maintien d'une bande riveraine de 20m. Toutefois la multitude de petits tributaires du ruisseau Passagewa, dont certains ne sont pas identifiés sur les cartes écoforestières utilisées lors de la planification des travaux forestiers, ne bénéficie pas nécessairement de cette bande de 20 m. Le choix de classer le ruisseau intermittent ou permanent revient alors à la personne responsable des opérations forestières.

À l'hiver 2010, une opération de récolte de type CPRS est autorisée dans une section adjacente à ce ruisseau. À l'intérieur des assiettes de coupes se retrouvent quelques petits tributaires non cartographiés. La récolte et le transport sont effectués en hiver. À l'automne suivant, l'observation d'un grand nombre d'alevins dans un des tributaires non cartographiés est rapportée. Cette observation à lieu à environ 100 m du ruisseau Passagewa. Ce petit tributaire prend naissance à une centaine de mètres en amont du chemin construit où les alevins avaient été observés. De par l'absence d'arbres matures dans la bande riveraine et par la présence de signes de passages de machinerie à l'intérieur de la bande de 20 m, il est évident que ce ruisseau fut considéré intermittent durant les opérations forestières. Au mois d'août 2012, un suivi est effectué. L'été 2012 est reconnu pour être dans les plus chauds et secs des 65 dernières années (Environnement Canada). Encore à cette période de l'année, le cours d'eau contient un très bon débit et plusieurs alevins d'omble de fontaine étaient toujours présents. Il est alors évident que ce ruisseau est en fait un ruisseau permanent et qu'il aurait dû être protégé par une bande riveraine adéquate de 20 m tel que prévu au RNI.

Figure 1 : Images du ruisseau non cartographié considéré intermittent lors de la coupe alors qu'il est permanent et abrite des alevins d'omble de fontaine. On observe sur la photo du centre, l'absence de bande riveraine.

Cet exemple concret témoigne de la difficulté de bien classer l'écoulement d'un cours d'eau non cartographié sur le terrain et encore plus lorsque cette étape se réalise en hiver. Cela suggère que les ruisseaux classés « intermittents » peuvent abriter de l'omble de fontaine et représenter des habitats d'aussi bonne qualité que les cours d'eau définis comme « permanents » par le RNI. Si tel était le cas, l'exploitation forestière dans les bandes situées de chaque côté des cours d'eau à écoulement intermittent pourrait entraîner une perte et/ou une dégradation d'habitats importantes à l'échelle du territoire québécois. En effet, les cours d'eau classés intermittents comptent pour 62 % du réseau hydrographique

linéaire sur la cartographie écoforestière numérique[1] (Bertrand 2007). De plus, Bertrand (2007) rapporte que l'évaluation cartographique de la superficie des bandes de protection riveraines, réalisée sur la base de l'hydrographie classée « permanente » sur la cartographie numérique, sous-estime systématiquement la superficie nécessaire pour assurer adéquatement la protection des milieux riverains. Selon ce qu'il a observé dans la littérature et d'après les résultats de ses analyses, cette sous-estimation varierait généralement d'un facteur de 2 à 3. Les raisons de cette sous-estimation sont entre autres (i) l'imprécision du tracé cartographique de l'hydrographie, principalement pour les sections de tête et (ii) un mauvais classement des cours d'eau intermittents, surtout pour les tronçons des 1er et 2e ordres (Bertrand 2007). Bertrand va même plus loin et mentionne que : « des planificateurs expérimentés ont estimé qu'environ la moitié des ruisseaux intermittents cartographiés étaient en réalité de petits cours d'eau permanents, ce qui concorde avec la proportion que nous avons estimée pour les 14 zones d'analyse (de l'ordre de 40 % et plus). Ce pourcentage pourrait servir de facteur de correction afin d'ajuster la planification cartographique des bandes riveraines en vue d'obtenir une évaluation plus réaliste des superficies réellement requises sur le terrain pour protéger les petits cours d'eau ». Cependant, selon le fascicule 4.12 produit par le bureau du forestier en chef, le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts (RADF) du Ministère des Ressources naturelles (MRN) ne prévoit pas maintenir de bandes riveraines boisées sur les cours d'eau intermittents (Nappi 2013).

Objectif principal

Les objectifs principaux de la présente étude sont (1) d'évaluer la présence et l'abondance de l'omble de fontaine, *Salvelinus fontinalis*, dans tous les tributaires de 30 lacs situés dans des territoires à potentiels forestiers des Hautes-Laurentides (2) d'évaluer la performance et la robustesse du RNI comme outil de la gestion des cours d'eau, et (3) de vérifier si la réglementation actuelle permet la protection des sites d'alevinages à omble de fontaine. La comparaison des tributaires à écoulement permanent et intermittent permettra d'évaluer le potentiel des cours d'eau à écoulement intermittent comme habitat pour l'omble de fontaine, en particulier les alevins qui utilisent les tributaires des lacs comme refuges thermiques pendant les périodes chaudes de l'été (Biro 1998, Curry et al. 1997, Tabor et al. 2011). Ces tributaires sont d'une importance critique pour les alevins parce que ces derniers ne peuvent pas se déplacer dans les zones plus profondes des lacs, comme le font les juvéniles et les adultes, pour éviter les températures chaudes de la zone littorale (Biro 1998, Curry et al. 1997, Tabor et al. 2011).

Nous avons choisi l'omble de fontaine pour notre étude parce qu'il s'agit d'une espèce à fort potentiel faunique dans plusieurs territoires forestiers du Québec, dont celui des Hautes-Laurentides. L'omble de fontaine est l'espèce la plus prisée par les pêcheurs de la région (77 %) suivie du doré jaune (13 %), du grand brochet (4 %) et du touladi (3 %) (MRNF, 2006 portrait des Laurentides). De plus, de par ces exigences et besoins en oxygène dissous et de température, cette espèce est un très bon indicateur de la

[1] Analyse basée sur 30 feuillets écoforestiers à l'échelle de 1/20 000 sélectionnés pour leur représentativité quant au type de relief dominant, à l'altitude moyenne et au dépôt de surface dominant (Bertrand 2007).

santé des écosystèmes aquatiques, élément essentiel au maintien de la biodiversité. Les écosystèmes aquatiques, humides et riverains remplissent de nombreuses fonctions écologiques, récréatives et économiques. La récolte forestière peut altérer ces milieux. Le maintien d'une superficie minimale boisée par bassin versant et la protection de lisières boisées riveraines atténuent les effets de la récolte. Ces mesures de protection peuvent être prises en considération lors du calcul des possibilités forestières (Nappi 2013).

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

1a) Déterminer si « l'occurrence » de l'omble de fontaine varie en fonction :

- i) de la longueur des cours d'eau, tel que déterminée sur le terrain
- ii) du type d'écoulement
  - a. dans les ruisseaux cartographiés comparés aux cours d'eau non-cartographiés
  - b. dans les ruisseaux permanents comparés aux ruisseaux intermittents
    - i. classification basée sur une évaluation cartographique
    - ii. classification basée sur une évaluation terrain

1b) Déterminer si « l'abondance » de l'omble de fontaine varie en fonction :

- i) de la longueur des cours d'eau, tels que déterminés sur le terrain
- ii) du type d'écoulement :
  - a. dans les ruisseaux cartographiés comparés aux cours d'eau non-cartographiés
  - b. dans les ruisseaux permanents comparés aux ruisseaux intermittents
    - i. classification basée sur une évaluation cartographique
    - ii. classification basée sur une évaluation terrain

2) Déterminer comment des facteurs environnementaux affectent la « présence » et « l'abondance » de l'omble de fontaine

- i) facteurs abiotiques : température, écart de température entre le lac et ses tributaires
- ii) facteurs biotiques : présence d'espèces compagnes

3) Comparer les habitats disponibles pour l'omble de fontaine en fonction :

- i) de la longueur des cours d'eau, tels que déterminés sur le terrain
- ii) du type d'écoulement :
  - a. dans les ruisseaux cartographiés comparés aux cours d'eau non-cartographiés
  - b. dans les ruisseaux permanents comparés aux ruisseaux intermittents
    - i. classification basée sur une évaluation cartographique
    - ii. classification basée sur une évaluation terrain

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Aire d'étude

Notre étude s'est déroulée dans la région des Hautes-Laurentides, sur 30 lacs situés sur les territoires de zones d'exploitation contrôlée (ZEC) et de pourvoiries à droits exclusifs (PADE)

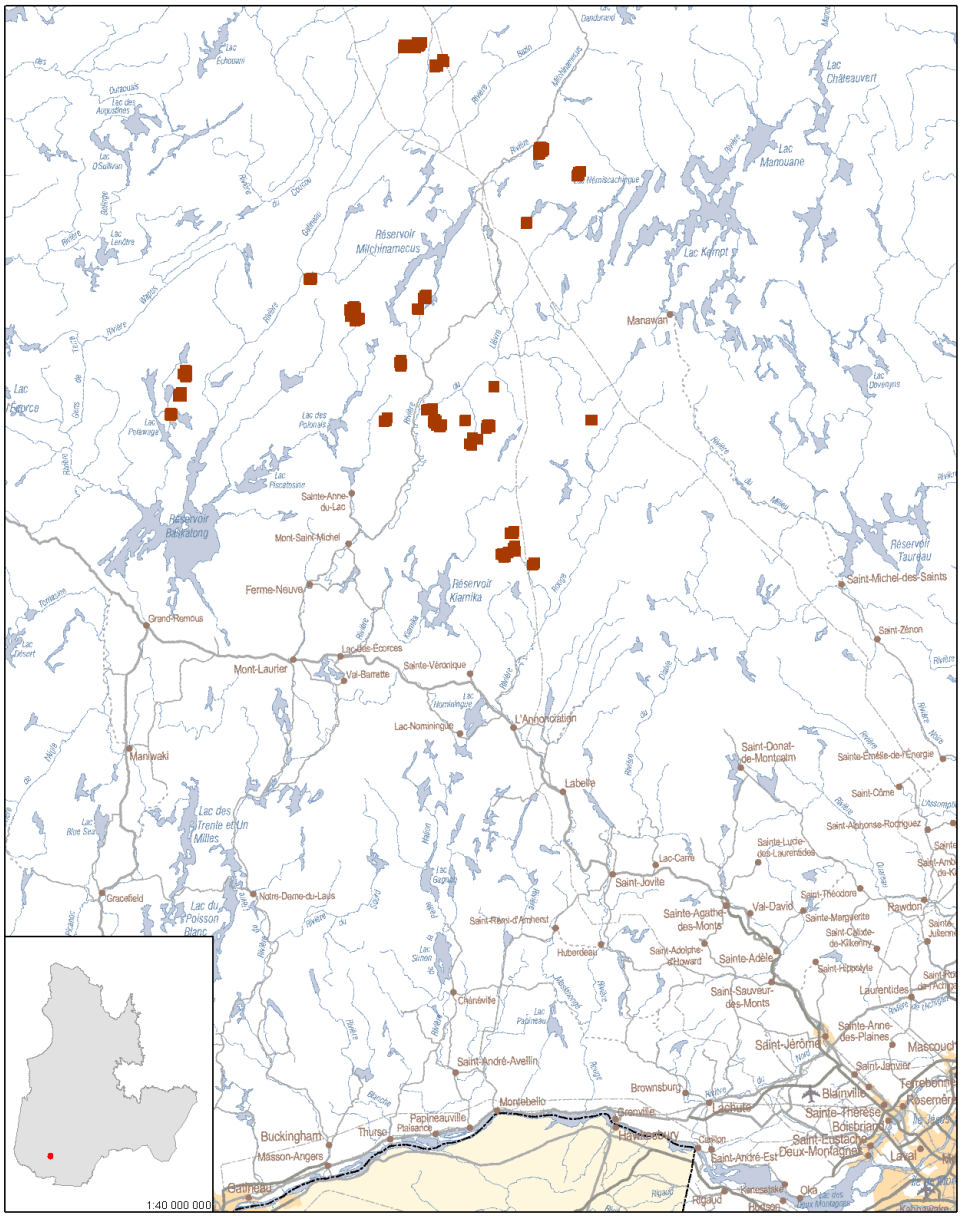


Figure 2 : Aire d'étude dans l'UAF 64-51 et répartition des lacs échantillonnés (carrés rouges)

La majorité des lacs à l'étude se retrouve dans l'unité d'aménagement forestier 64-51. Les lacs ont été sélectionnés selon l'intérêt des gestionnaires de territoires, le besoin d'acquisition de connaissances sur le plan d'eau et sur la base des critères suivants :

1- La superficie du lac ne devait pas dépasser 140 hectares afin de pouvoir uniformiser notre période d'échantillonnage
2- Le lac devait supporter une population d'omble de fontaine indigène
3- Le lac ne devait pas supporter une population de dorés jaunes, brochets, perchaudes et achigans. Un lac à touladi en association avec l'omble de fontaine pouvait être retenu.

Échantillonnage sur le terrain

Stratégie d'échantillonnage : classification des types d'écoulements

Classification terrain

La première méthode de classement de tous les tributaires sur le terrain s'est référée à l'annexe 3 des instructions relatives au RNI. (MRNF, 2006) (Annexe 1). Selon cette grille, un écoulement est défini comme un cours d'eau s'il est constitué d'un lit et répond aux quatre critères suivants;

1- Signes d'écoulement incluant un lit souterrain continu ou discontinu
2- Dépression naturelle
3- Absence de végétation ou encore présence de plantes hydrophytes
4- Intégré à un réseau hydrographique

Une fois fixé sur la présence d'un lit, il s'agit de déterminer le type d'écoulement du cours d'eau; permanent ou intermittent. Pour ce faire les préposés à l'inventaire doivent répondre à la question suivante :

« Les caractéristiques du milieu laissent-elles croire que le cours d'eau <u>ne s'assèche pas</u> sauf en période de sécheresse exceptionnelle? » (Annexe 1)

Si la réponse est « oui » alors le cours d'eau est qualifié de permanent sinon il est intermittent. Sur cette base, Hatin et ses collaborateurs (2013) ont classifié 779 cours d'eau lors d'une sécheresse importante à l'été 2012 afin de dresser le portrait minimal des cours d'eau permanents. Les mêmes règles ont été appliquées au présent projet.

Classification cartographique

La deuxième méthode de classement du type d'écoulement fait uniquement référence à la cartographie. Les cartes écoforestières à l'échelle 1 :20 000 indiquent si le ruisseau est permanent ou intermittent. La

source de cette information provient de la base de données topographique du Québec (BDTQ). Au départ pour qu'un cours d'eau soit inscrit sur les cartes 1 : 20 000 ce dernier doit être visible sur une distance d'au moins 150 mètres sur les photos aériennes (annexe 2). De plus, pour qu'un ruisseau soit classé permanent sur une carte, ce dernier doit être connecté à deux plans d'eau (étang, lac). Si les cours d'eau ne répondent pas à ce critère, ils sont alors majoritairement classés intermittents jusqu'à ce qu'une surface d'eau soit visible sur les photo-aériennes (Coulombe 2013). Cette information est importée dans les cartes écoforestières et constitue la pierre angulaire de la planification des modalités entourant la gestion de bandes riveraines des cours d'eau en foresterie au Québec notamment en regard du calcul de la possibilité forestière.

Description de l'échantillonnage stratifié

L'échantillonnage des poissons s'est fait par pêche électrique selon un protocole similaire à Pépino et al. (2012). Une passe unique de l'aval vers l'amont a été réalisée sur des sections ouvertes de 25 m. Le voltage et le type de signal ont été ajustés pour tenir compte des variations de conductivité. Les appareils de pêche utilisés étaient de types Smith-Root D-15 et LR24 Vancouver, WA, USA. Une à trois sections espacées chacune de 50 m ont été pêchées sur chacun des tributaires. La première section aval était située à partir de la projection de la forêt de part et d'autre de l'embouchure d'un ruisseau correspondant au début de la bande de 20 m (Figure 3). La séquence d'échantillonnage était donc la suivante : section 1 de 0 à 25 m, espace de 50 mètres, section 2 de 75 à 100 m, espace de 50 mètres, section 3 de 150 à 175 m. Ainsi, lorsque le ruisseau le permettait, l'échantillonnage se terminait à 175 mètres du lac d'origine. Lorsque le terrain ne permettait pas de faire une section complète, la distance de pêche était notée. La séquence des lacs et des tributaires échantillonnés a été choisie de façon aléatoire.

Les variables mesurées sur chaque section sont les suivantes :

1- Ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) : au milieu de la section ou dans une partie représentative de la largeur de cette dernière, nous avons mesuré la largeur de la ligne naturelle des hautes eaux à l'aide d'un ruban à mesurer (cm). Selon la définition du RNI, la ligne naturelle des hautes eaux est l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres; s'il n'y a pas de plantes aquatiques, c'est l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau.

2- Température ruisseau : Au milieu de chaque section, une mesure de la température de surface (+/- 5 cm) était prise à l'aide d'un thermomètre portatif de marque Hanna.

3- Température du lac : près de l'embouchure du ruisseau, une mesure de la température du lac était prise selon le même protocole.

4- Mesure de la longueur de la section : La longueur de la section était mesurée à l'aide d'un GPS de type Garmin 60csx (prise d'un point GPS au début et à la fin de chaque section).

5- Espèces compagnes : Les espèces compagnes se définissent comme tous poissons autres que l'omble de fontaine. Seules les 2 espèces du genre Chromosomus furent considérées dans un même groupe.

6- L'abondance relative est calculée de deux façons différentes, soit en nombre de poisson par mètre linéaire de cours d'eau soit en nombre de poissons par mètre carré de ruisseau. L'aire correspond à la mesure de LNHE multipliée par la longueur de la section.

7- Dans chaque section, la longueur de chaque poisson capturé était mesurée ou estimée (mm; voir détails plus bas) et tous les individus capturés étaient comptés et identifiés. Pour les 100 premiers poissons, nous les déposions dans un bac d'eau auquel nous avons ajouté de l'eugénol à titre d'anesthésiant. Nous étions ainsi capables de mesurer tous les poissons. Comme la majorité des poissons avaient des longueurs assez similaires, moins de 10 cm, il nous était facile par la suite d'estimer leur longueur au centimètre près sans les manipuler. Nous avons choisi d'estimer les tailles des poissons pour diminuer les risques de mortalité due à la manipulation et pour augmenter l'efficacité et la vitesse de l'échantillonnage.

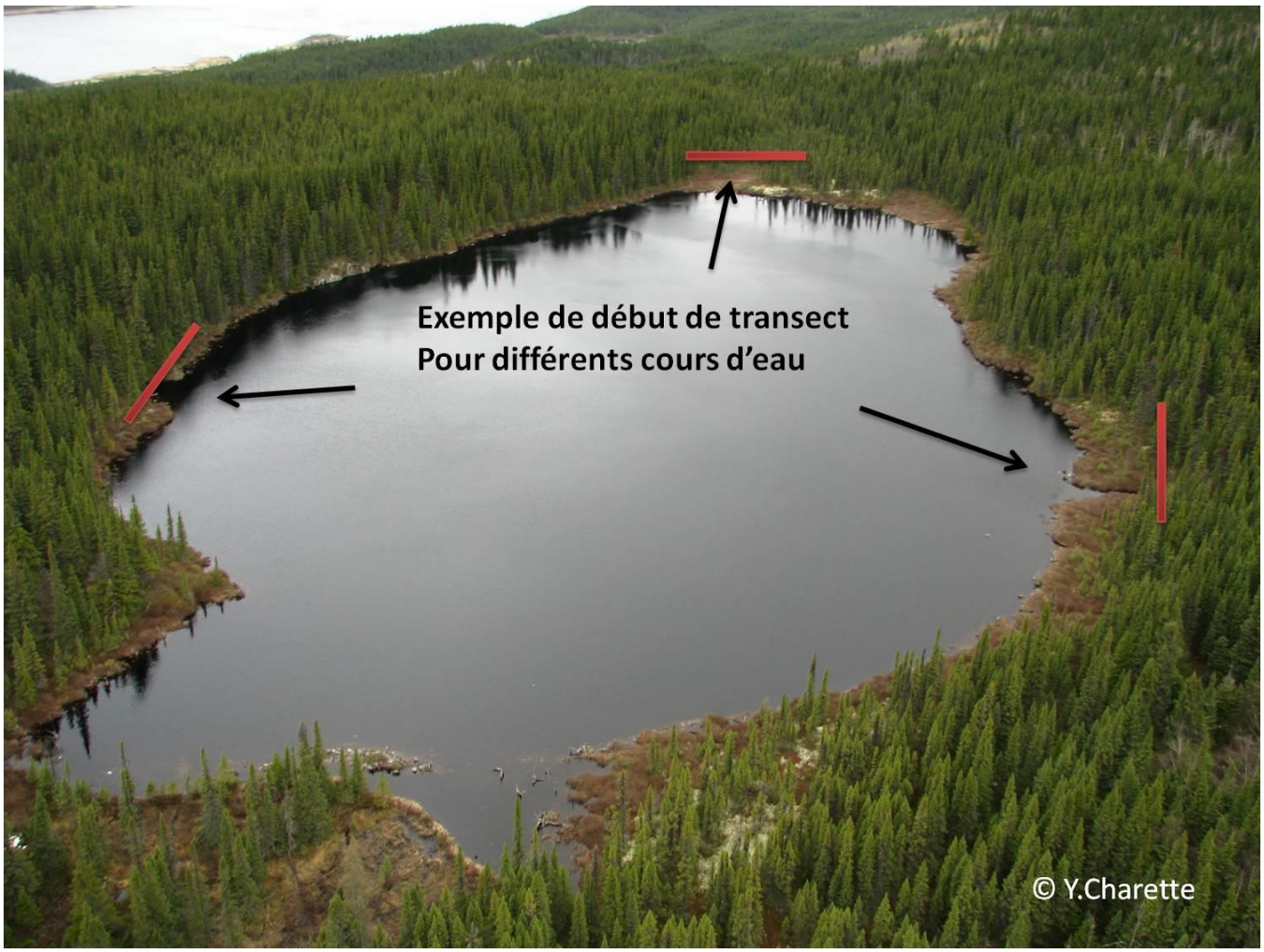


Figure 3 : Exemples de point de départ de la première section aval pêchée sur un lac donné.

Analyses statistiques :

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Development Core Team 2014). Nous avons fait des analyses de variance à un facteur (ANOVA) pour comparer et identifier les différences significatives entre les groupes (ex. : pour comparer les abondances d'omble de fontaine entre les ruisseaux permanents et intermittents). Des tests de Khi carré ont été réalisés pour comparer les différences d'occurrence entre les groupes également.

RÉSULTATS

Dans le but de valider la stabilité du classement de l'écoulement de nos cours d'eau, nous avons comparé nos résultats avec ceux de Hatin et ses collaborateurs (2013), qui avaient classé l'écoulement de 779 cours d'eau, situé dans l'UAF 64-51. La classification des cours d'eau s'est basée sur l'annexe 3 des instructions relatives du RNI, et ce indépendamment de la réalité cartographique. Ainsi, un ruisseau était classé permanent avec la seule présence d'un écoulement en période d'étiage.

Il est à noter que cette clé fait référence à la notion de sécheresse pour établir la permanence d'un cours d'eau. En 2012, les données météorologiques suggèrent, sans équivoque, qu'une sécheresse était présente. En effet, Environnement Canada mentionne que : « *la période de juillet à septembre a été la plus chaude de toutes les périodes de trois mois enregistrées au Canada en 65 ans. L'hiver, le printemps et l'été figuraient respectivement au sommet des listes des dix plus chaudes saisons. Dans le sud de l'Ontario et du Québec, l'hiver et le printemps 2012 ont été les plus doux et les plus secs jamais enregistrés; entre mai et juillet, les températures ont atteint des chaleurs presque records et on a connu une période de huit semaines entre la première semaine de juin et la fin du mois de juillet où certains agriculteurs ont à peine vu quelques gouttes de pluie. Au Québec, certaines régions ont établi des nouveaux records de température estivale (Gatineau, Sherbrooke et Gaspé)… »* (Environnement Canada, 2013).

On observe dans le tableau 2 une certaine constance dans notre interprétation des écoulements sur le terrain (permanent, intermittent) en période d'étiage (2013) et la situation qui prévalait en 2012 laissait peu de place à une interprétation erronée du classement de l'écoulement compte tenu de la sécheresse présente.

Finalement, nos résultats suggèrent que plus de 70 % des cours d'eau intermittents sur les cartes sont des permanents sur le terrain, et ce, autant en 2012 qu'en 2013 (Tableau 1). Ces résultats viennent corroborer l'analyse effectuée par Bertrand en 2007. De plus, nous avons démontré qu'il existe 76 % de cours d'eau permanents sur le terrain alors que la cartographie actuelle n'en considère qu'environ 49 %.

Tableau 1 : Table comparative de la classification terrain de l'écoulement des cours d'eau dans l'UAF 64-51 pour deux projets différents réalisés en 2012 et 2013.

	2013	2012
	(nombre) et %	(nombre) et %
Ruisseaux présents sur les cartes	(n=110) 55%	(763) 57%
Ruisseaux PERMANENTS CARTO	(n=61) 49%	(436) 63%
Ruisseaux INTERMITTENTS CARTO	(n=61) 51%	(436) 37%
Ruisseaux PERMANENTS TERRAIN	(n=110) 76%	(763) 66%
Ruisseaux INTERMITTENTS TERRAIN	(n=110) 19%	(763) 34%
INTERMITTENTS CARTO classés PERMANENT TERRAIN	81%	72%

En 2013, il y a 5 % de cours d'eau pour lesquelles la classification entre permanent et intermittent était incertaine. Ces derniers ont été retirés de l'analyse.

Occurrence des alevins d'omble de fontaine (AOF)

Au total, nous avons échantillonné 110 ruisseaux, répartis dans 30 lacs situés sur le territoire forestier public des Hautes-Laurentides (Figure 2). Cela représente 70 % de l'ensemble des ruisseaux observés sur le terrain (Tableau 2). En effet, certains ruisseaux n'ont pu être échantillonnés pour diverses raisons, notamment : assèchement du ruisseau, trop grande largeur ou profondeur du cours d'eau, trop grand nombre de barrages de castors successifs. Notre effort d'échantillonnage représente donc un échantillon extrêmement représentatif de la réalité terrain. Nos résultats démontrent que les alevins d'omble de fontaine sont présents dans 55 % des ruisseaux échantillonnés (n=110). Ceci témoigne de l'importance des différents tributaires présents autour des plans d'eau pour assurer la survie et le cycle vital de cette espèce.

Tableau 2 : Liste des lacs de même que les coordonnées géographiques de l'ensemble des lacs retenus et échantillonnés

Nom du Lac	Nombre de ruisseaux échantillonnés	Nombre de ruisseaux identifiés sur le terrain	Coordonnées	
Slow	9	12	47.54650600	-74.76211803
Petit Miller	4	4	47.02485398	-75.22851303
Canot	7	12	47.77193896	-75.09974797
Bowness	1	6	47.73381203	-75.03520698
Mordeux	10	10	47.72784202	-75.06132499
Culotte	8	8	47.76698802	-75.15269301
Snack	4	4	47.04584302	-75.09050097
Payette	2	2	47.04642397	-75.10019196
Petit Welsh	3	3	47.01205499	-75.06599003
Welsh	7	9	47.01815701	-75.08462601
Lézard	2	3	47.02371597	-74.99126100
Windago	2	7	46.98484498	-74.95784101
Nottaway	2	2	47.27096954	-75.10361345
De la Fouine	1	1	47.24644141	-75.12663159
Petit lac des chiens	3	5	47.13263336	-75.17730229
Charlie	2	3	47.01167495	-74.92975099
Mi-Rond	1	1	47.08772689	-74.90878249
Petit lac Blair	2	6	47.01736366	-74.62500234
Du Moulinet	3	4	47.41071071	-74.80324418
Des Nymphes	0	3	47.50999510	-74.64013427
Opotai	4	4	47.50452843	-74.64634594
Castelnau	5	13	46.75127998	-74.88426668
Filion	4	4	46.73682019	-74.80268100
Douard	2	4	46.79610137	-74.86874490
Cogut	2	3	47.30644695	-75.43603487
Grand Huart	7	9	47.24942939	-75.30859994
Petit Huart	3	3	47.22326729	-75.30772847
Grand Rambois	4	4	47.11824213	-75.80141285
Lepaige	4	6	47.04161268	-75.84527132
April	2	3	47.07822056	-75.81437755
total	110	158		

Notre protocole d'échantillonnage, s'il pouvait être réalisé au complet, nous permettait de pêcher sur une distance de 175 mètres du lac. Au total, 177 segments de 25 mètres ont pu être pêchés dont 110 segments situés entre 0-25 m du lac, 43 segments situés entre 75 et 100 m du lac et 24 segments situés entre 150 et 175 mètres du lacs. Nos résultats démontrent que l'omble de fontaine est présent avec la même occurrence, peu importe la distance du lac (Figure 4). Ceci suggère que les alevins d'omble de fontaine colonisent l'ensemble des parties accessibles d'un ruisseau et ce, peu importe la distance du lac.

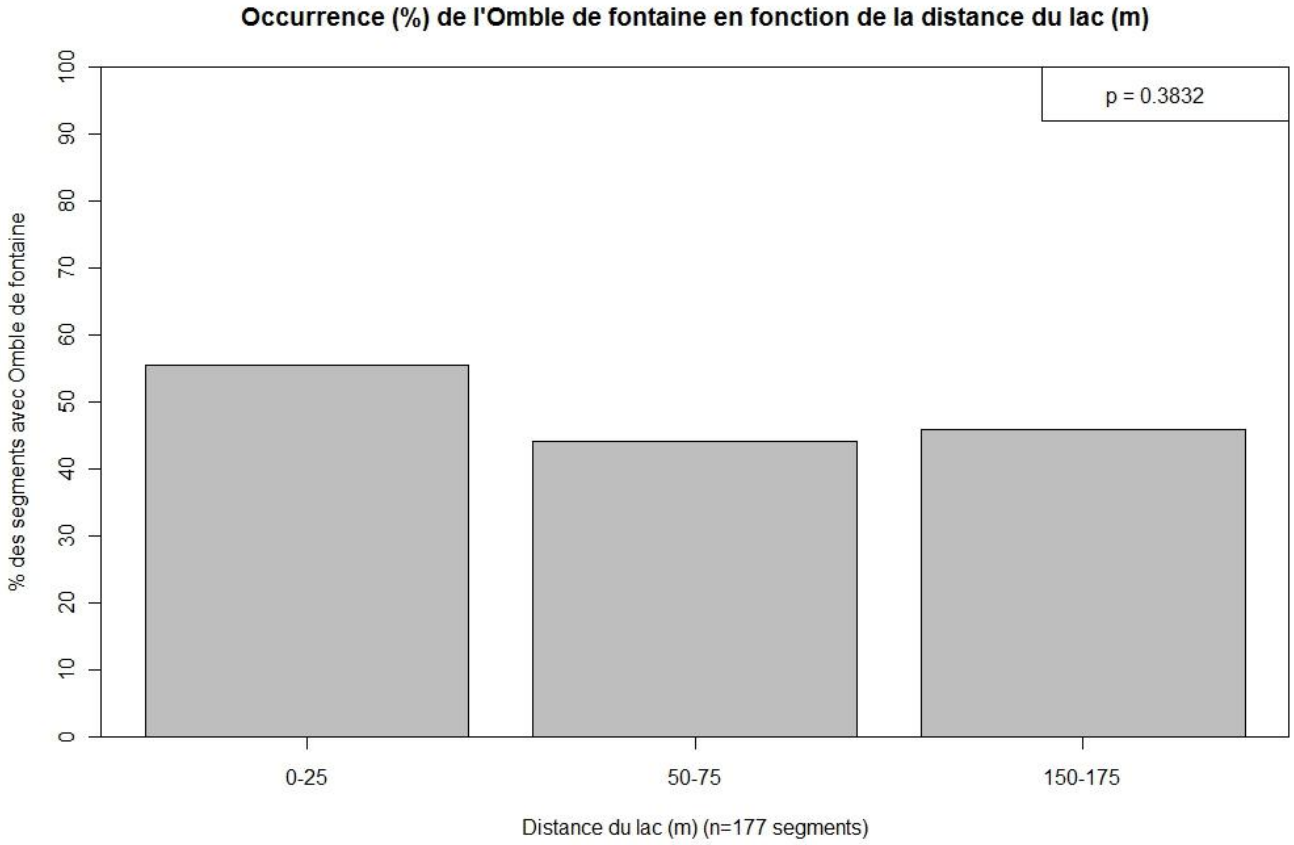


Figure 4 : Occurrence des ombles de fontaine en fonction de la distance du lac (m). ($p > 0.05$, basé sur un test Khi carré)

Parmi tous les ruisseaux échantillonnés (n=110), 55 % de ces derniers étaient cartographiés et 45 % ne se retrouvaient pas sur les cartes. De plus, nos résultats montrent que 48 % des ruisseaux cartographiés sont occupés par les alevins d'omble de fontaine contre 65 % pour les ruisseaux non cartographiés (Tableau 3). De plus, nos résultats montrent que les AOF colonisent dans la même proportion les ruisseaux permanents et intermittents, que cette classification soit faite à partir des cartes ou sur le terrain.

Tableau 3 : Occurrence des AOF dans les ruisseaux cartographiés et non cartographiés et occurrence des AOF selon 2 types de classification de l'écoulement.

	% Occurrence des alevins d'Ombles de fontaine		
	Ruisseaux cartographiés	Ruisseaux non cartographiés	Valeur de p
	48	65	0.0949
	Type Écoulement		
Classification	Permanent	Intermittent	valeur de p
Cartographique (n=61)	42	55	0.4458
Terrain (n=110)	56	48	0.6594
* seuil de signification ($p < 0.05$), basé sur un test de Khi carré			

Abondance des AOF

L'occurrence des AOF, section précédente, ne tient pas compte du nombre d'individus observés et ne permet pas d'avoir un portrait clair et net de l'importance réelle des différents ruisseaux pour cette espèce. Nous avons donc comparé diverses mesures d'abondances (nb/m, nb/m^2, nombre absolu) qui sont des mesures standards en écologie aquatique. Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à comparer l'abondance en fonction de la distance au lac d'origine, et ce pour 3 mesures d'abondances différentes (nb/m, nb/m^2, nombre absolu). Nos résultats montrent que peu importe la mesure d'abondance, il n'y a pas de différence de ce paramètre en s'éloignant du lac d'origine (Figure 5).

Étant donné la constance des mesures d'abondances des AOF, nous préconiserons l'utilisation de la mesure en nombre par unité de surface (nb AOF /m^2) afin de pouvoir comparer clairement ce paramètre au sein de notre étude. Nous utiliserons donc le terme **densité d'AOF** pour exprimer l'abondance relative (**nb AOF /m^2**).

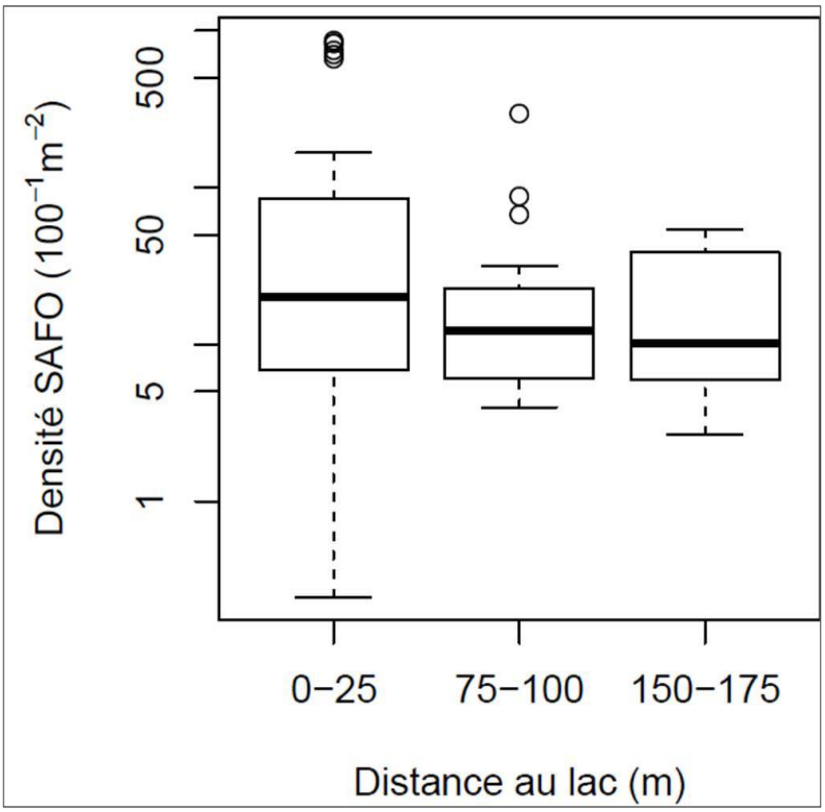


Figure 5 : Abondance des alevins d'omble de fontaine, selon 3 unités de mesure d'abondance en fonction de la distance du lac.

Il s'avère que la densité d'AOF est quatre fois plus grande dans les ruisseaux qui ne sont pas représentés sur les cartes que sur les ruisseaux cartographiés (Tableau 4). On peut donc se demander si la classification de l'écoulement (cartographique vs terrain) des ruisseaux à une importance pour l'omble de fontaine. Nos résultats démontrent que peu importe le classement de l'écoulement (permanent vs intermittent) et peu importe l'origine du classement (cartographie vs terrain), la densité moyenne d'AOF est semblable (Tableau 4). En effet, à l'instar des cours d'eau non cartographié, les cours d'eau intermittents cartographiés ont une abondance moyenne en alevins presque quatre fois plus élevée. Il faut noter que ce résultat n'est pas significatif ($p>0.05$).

Tableau 4 : Densité d'AOF (moyenne ± écart-type) selon la présence du ruisseau sur les cartes et selon deux modes de classification de l'écoulement.

	Densité d'alevins d'Ombles de fontaine (nb/m^2)		
	Ruisseaux cartographiés	Ruisseaux non cartographiés	
	moyenne ± écart-type	moyenne ± écart-type	Valeur de p
	0.2723 ± 0.9270	1.1483 ± 2.5252	0.0332
	Type Écoulement		
Classification	Permanent	Intermittent	Valeur de p
Cartographique (n=61)	0.1228 ± 0.3275	0.4158 ± 1.2414	0.2286
Terrain (n=110)	0.5882 ± 1.7665	0.5516 ± 1.5245	0.5516
* seuil de signification ($p < 0.05$)			

Nos résultats suggèrent donc très fortement que le classement de l'écoulement n'a aucune importance pour les alevins de l'omble de fontaine et que les modalités d'intervention ne devraient pas être basées sur le type d'écoulement, mais davantage sur la connexion hydrographique du ruisseau sur un plan d'eau d'intérêt, notamment un lac à omble de fontaine indigène.

Influence des facteurs environnementaux sur la « présence » et « l'abondance » de l'AOF

Facteurs abiotiques :

La littérature scientifique abonde sur le rôle et l'importance que la température de l'eau peut avoir dans le cycle de vie des espèces de poissons de même que sur leur choix d'habitat (ex. : MacMillan et al. 2008). De ce fait, il s'avère nécessaire de comprendre et de mieux documenter comment ce facteur peut influencer l'occurrence et la densité des AOF dans un ruisseau donné.

Nous avons comparé l'effet de la température moyenne sur la présence des AOF. Les ruisseaux occupés par les AOF sont plus frais (moy +/- E. T.= 14.9 +/- 3.2 °C) que les ruisseaux sans AOF (moy +/- E. T.= 16.8 +/- 3.7 °C) ($p = 0.0272$). Ce résultat est conséquent avec la littérature et la moyenne se situe dans la gamme de températures préférentielles pour l'omble de fontaine (MacMillan et al. 2008).

Bien que la température absolue soit reconnue comme un facteur clé pour la survie de l'omble de fontaine (MacMillan et al. 2008), il est aussi reconnu que les AOF ont tendance à se réfugier dans ce qu'on appelle des refuges thermiques (Biro 1998, Curry et al. 1997). Afin d'illustrer la recherche de refuges thermiques par les AFO, nous avons évalué l'écart de température entre le lac et le ruisseau. Donc plus l'écart est grand, plus la température du ruisseau est fraîche comparativement à celle du lac. Nos résultats montrent une différence très significative ($p = 0.0005$) entre l'écart des températures dans les ruisseaux occupés par les AOF et ceux des ruisseaux non occupés par les AOF (Figure 6). En effet,

on observe un écart moyen de 6 ^{o}C dans les ruisseaux occupés par des AOF et de 3.5 ^{o}C dans les ruisseaux non occupés par les AOF. Dans le cadre du projet, un écart de température supérieure ou égale à 4.7 ^{o}C nous permet d'identifier 100 % des ruisseaux contenant des AOF. Toutefois, cet écart de température au mois d'août pourrait être différent à une autre période de l'année et n'est valable qu'en période d'étiage estivale. Nos résultats supportent donc que les AOF dépendent de la présence de refuges thermiques dans leur environnement. Ils témoignent de toute l'importance de garantir et de maintenir l'intégrité de la qualité de ces milieux essentiels pour les alevins.

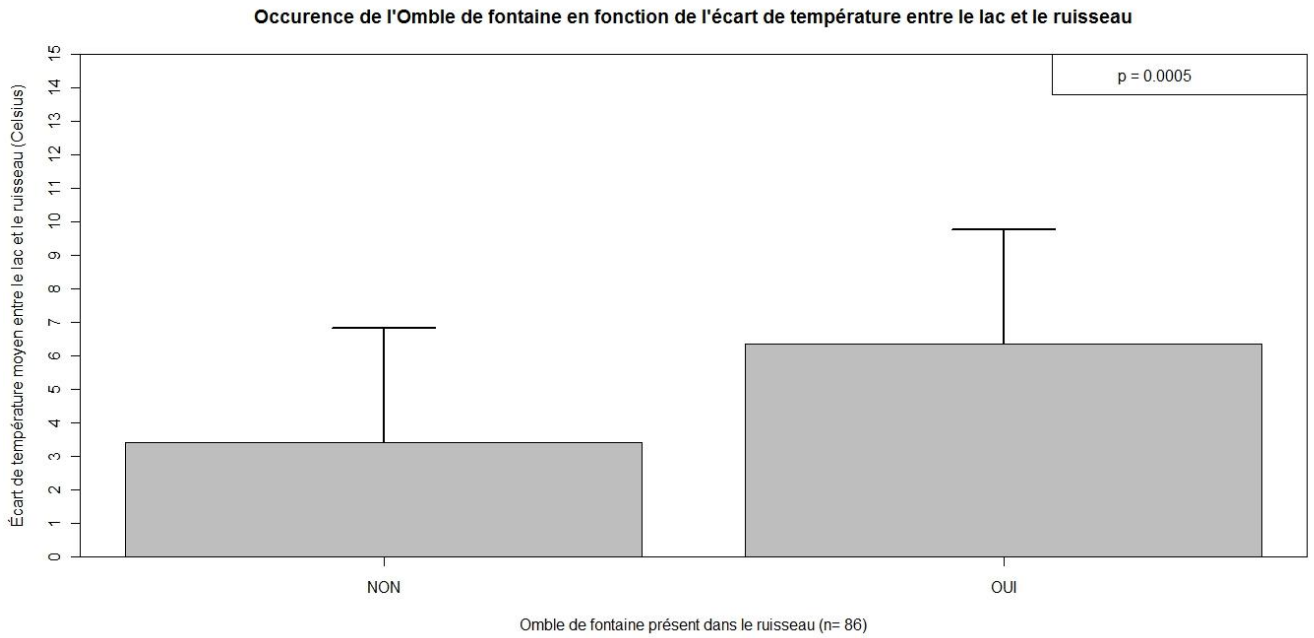


Figure 6 : Occurrence des AOF en fonction de l'écart de température entre le lac et le ruisseau.

Facteurs biotiques

L'omble de fontaine est reconnu pour être une espèce qui tolère mal la présence d'espèces compagnes dans son environnement et que les rendements de cette espèce peuvent être grandement affectés par la présence d'autres espèces (Magnan 1988, Brodeur et al. 2001, MacMillan et al. 2008). De ce fait, il devient très intéressant de pouvoir mettre en relation la présence d'espèces compagnes avec la présence et l'abondance des alevins d'omble de fontaine. Nos résultats démontrent une ségrégation spatiale entre les AOF et les autres espèces dans l'utilisation de l'espace disponible au sein d'un ruisseau. En effet, parmi les ruisseaux tributaires des lacs pour lesquels nous avons détecté des espèces compagnes (c.-à-d. en excluant les lacs allopatriques à omble de fontaine), on observe que les alevins d'omble de fontaine colonisent en allopatrie 45 % des ruisseaux alors qu'ils occupent 31 % des ruisseaux en sympatrie avec une ou plusieurs espèces. La présence des AOF ne nous informe pas sur l'intensité de l'utilisation de ces milieux. En évaluant plutôt les densités d'AOF (nb/m^2) au sein des ruisseaux avec et sans espèces compagnes, le portrait devient encore plus clair (Figure 7). En effet, les densités d'AOF sont nettement plus élevées (p= 0.0027) dans les ruisseaux colonisés uniquement par l'omble de fontaine que dans des ruisseaux colonisés également par des espèces compagnes. **Ceci vient aussi montrer que l'omble de fontaine utilise de façon quasi exclusive certains ruisseaux, et ce, même dans des lacs où les espèces compagnes sont présentes et très abondantes.**

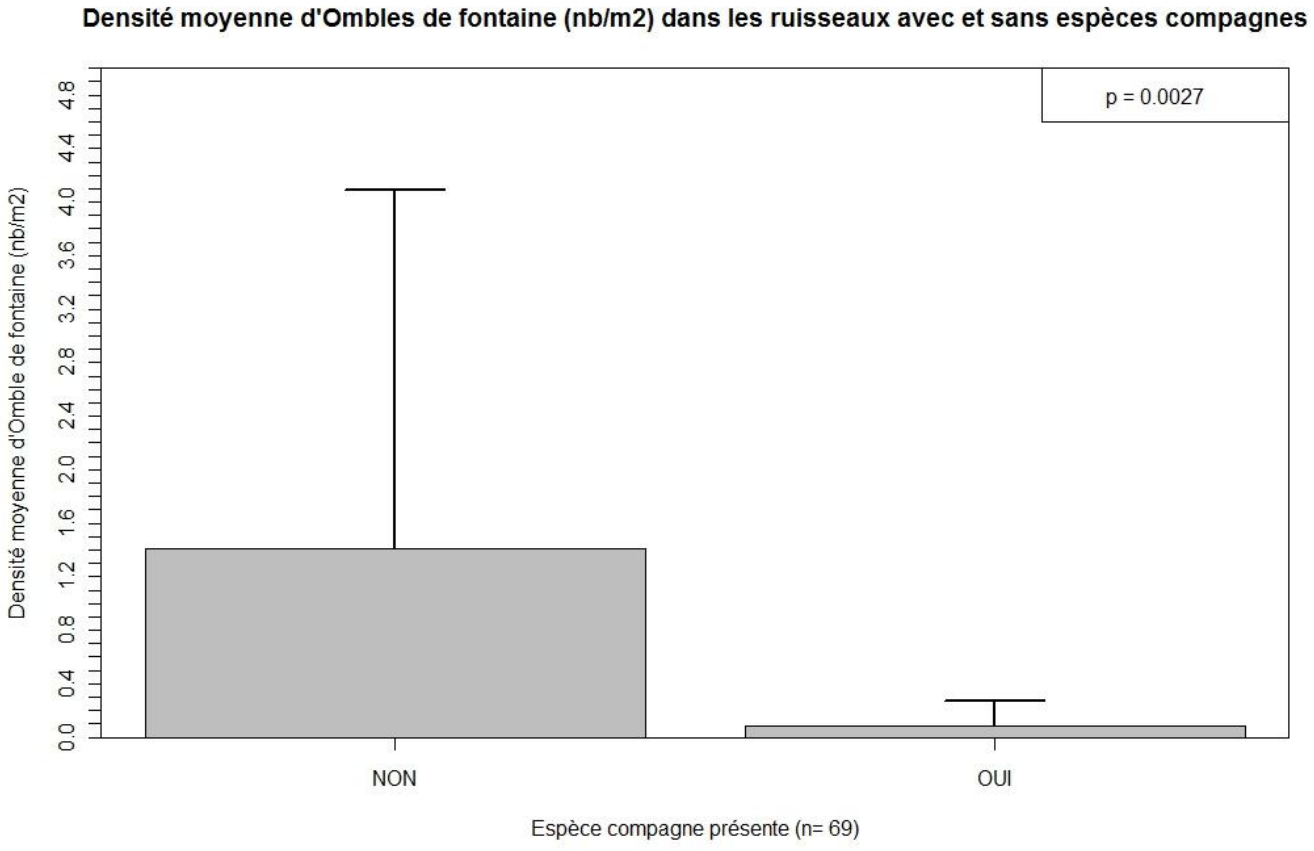


Figure 7 : Densité d'AOF (nb/m^2) en fonction de la présence ou non d'espèces compagnes dans le ruisseau

La distribution des tailles des principales espèces capturées est dans la gamme de taille des AOF (Figure 8), ce qui suggère que ces espèces sont possiblement en compétition avec les AOF.

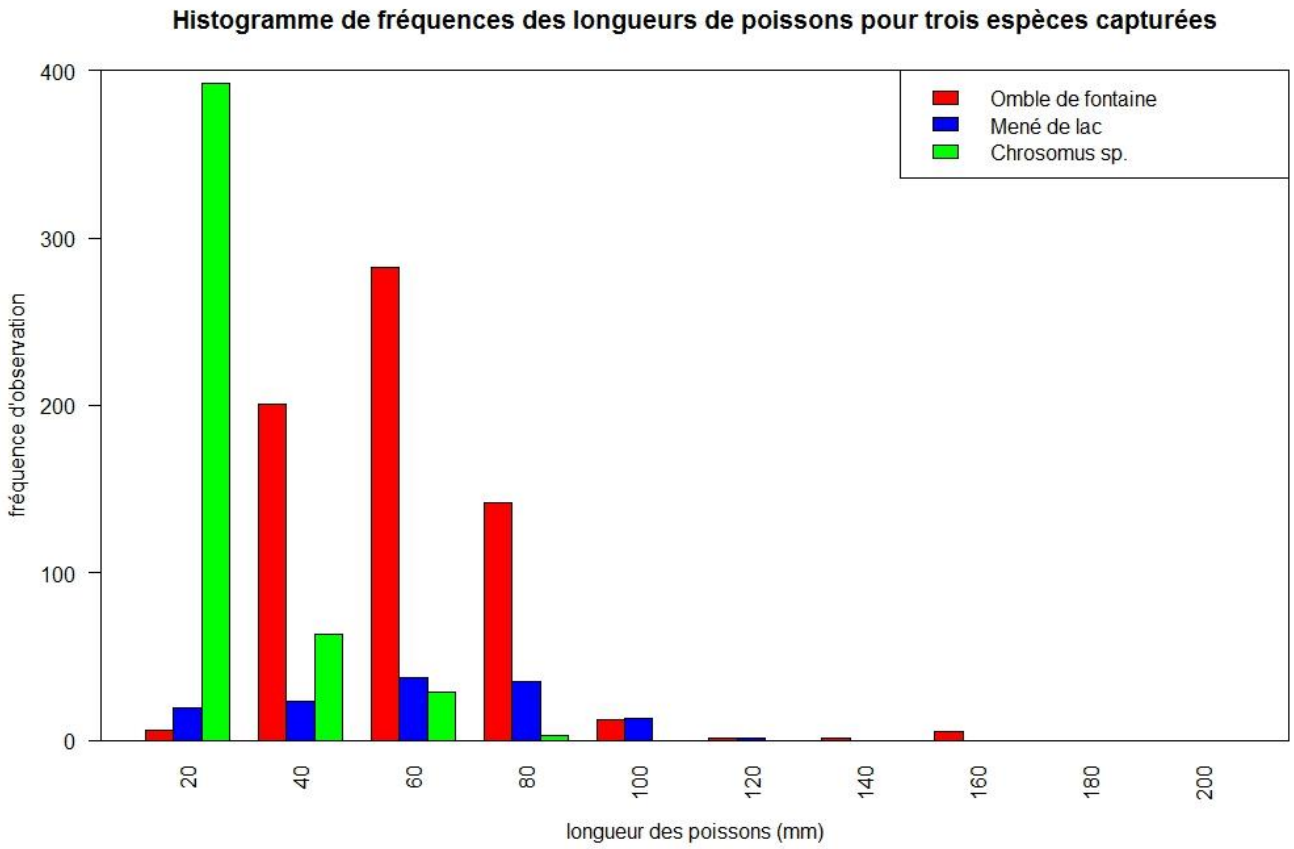


Figure 8 : Histogramme de distribution des longueurs des principales espèces de poissons capturés durant la période d'échantillonnage

Dans un troisième temps, nous désirions quantifier comment les variables biotiques et abiotiques influencent la densité d'AOF. Nous avons donc créé 8 modèles linéaires généralisés que nous avons comparés selon le critère d'information d'Akaike (Burnham et Anderson, 2002) (Tableau 5). Nous avons dû faire une transformation logarithmique sur notre variable réponse (densité AOF) afin d'obtenir une distribution normale de cette variable.

Tableau 5 : Modèle mis utilisé pour modéliser la densité d'AOF au sein des ruisseaux échantillonnés

Modèle	variables utilisées
1	intercept seulement
2	densité espèces compagnes
3	écart de température
4	température moyenne
5	écart température + densité espèces compagnes
6	température + densité espèces compagnes
7	écart température + densité espèces compagnes + interaction
8	température + densité espèces compagnes + interaction

Tableau 6 : Tableau d'AIC pour les 8 modèles mis en compétition.

Modèle	k	AIC_c	ΔAICc	poids AICc
5	4	220.75	0	0.43
3	3	221.47	0.73	0.3
7	5	223.08	2.33	0.13
1	2	224.9	4.15	0.05
2	3	225.85	5.1	0.03
8	5	226.89	6.14	0.02
4	3	227.11	6.37	0.02
6	4	228.23	7.38	0.01

Le modèle ayant le plus petit AIC est le modèle 5 (Tableau 6). Seul l'écart de la température a un effet positif et significatif sur la densité d'omble de fontaine (Tableau 7). On peut donc conclure que ce n'est probablement pas la présence d'espèce compagnes qui explique la ségrégation des AOF et des autres espèces, mais plutôt une variable environnementale comme l'écart de température. De plus, les 3 modèles ayant le plus petit AIC sont les modèles contenant l'écart de température comme variable explicative. Nos modèles illustrent donc encore ici l'importance des refuges thermique pour les AOF.

Tableau 7 : Coefficient de variation des différentes variables explicatives utilisées dans le modèle ayant le plus petit AIC

Modèle 5			
	Coefficient	Écart-Type	Valeur de p
Écart de température	0.237	0.0863	0.0084
Densité sp. Compagnes	-1.8089	1.0463	0.0901

Habitat de l'AOF

Comparaison des habitats disponibles pour les alevins de l'AOF

La comparaison des habitats disponibles dans les différents cours d'eau échantillonnés permet de mettre en perspective l'importance des divers ruisseaux, selon le classement de l'écoulement cartographique et terrain. Cette comparaison nous permettra de quantifier les habitats pouvant potentiellement être perdus et/ou dégradés à la suite, entre autres, de travaux forestiers. Nous avons quantifié l'habitat de l'omble de fontaine de deux façons en nous basant sur les distances totales pêchées soit : en kilomètres linéaires et en superficie (km^2).

D'abord, les ruisseaux absents des cartes représentent des habitats de moindre superficie et de moindre longueur que les ruisseaux présents sur les cartes (Figure 9). Les ruisseaux **non cartographiés** sont en général plus courts et moins larges que les ruisseaux cartographiés (Tableau 8).

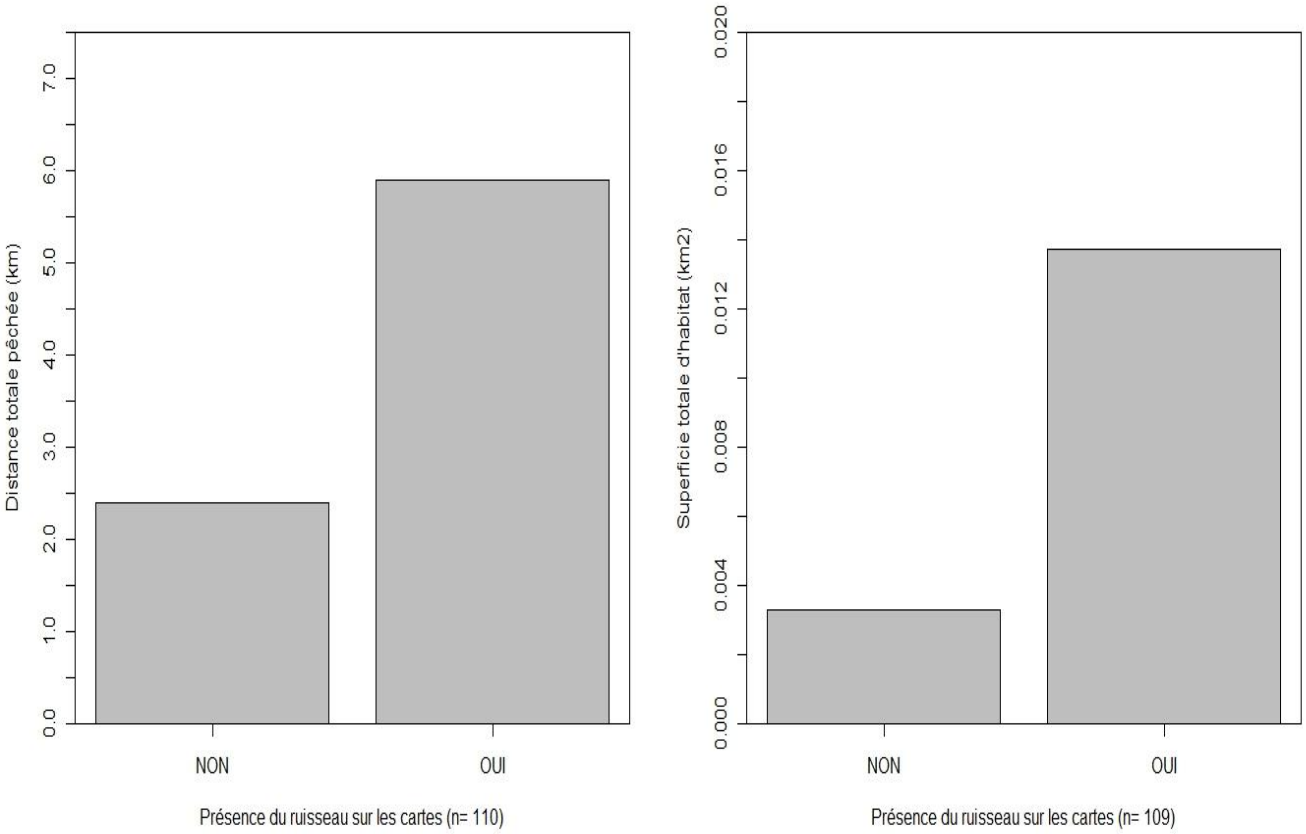


Figure 9 : Représentation des superficies cumulatives (km et km^2) pour l'Omble de fontaine échantillonnées dans le cadre du projet

Tableau 8 : Résumé des différences physiques entre les ruisseaux présents sur les cartes et les ruisseaux absents des cartes échantillonnées dans le cadre du projet (n=110)

	Ruisseaux non cartographiés (n=49)	Ruisseaux cartographiés (n=61)	
Variables d'intérêt	moy ± ET (n réel*)	(moy ± ET (n réel*)	Valeur de p**
LNHE (cm)	105 ± 91 (48)	231 ± 259 (61)	**0.0007**
PROFONDEUR MOYENNE (cm)	17.2 ± 15.7 (42)	21.5 ± 18.2 (58)	0.2102
ÉCART TEMPÉRATURE (°C)	5.43 ± 3.43 (49)	5.0 ± 3.6 (61)	0.5284
TEMPÉRATURE MOYENNE (°C)	15.32 ± 3.70 (49)	15.64 ± 3.03 (61)	0.6223
DISTANCE TOTALE PÊCHÉE (m)	48.98 ± 51.83 (49)	96.67 ± 68.18 (61)	**6.27E-05**
PH	6.24 ± 0.84 (49)	6.29 ± 0.79 (58)	0.7952

* Correspond au nombre de ruisseaux pour lesquels nous avons une valeur pour cette variable

** Différence significative entre les ruisseaux non cartographiés et cartographiés si p< 0.05

L'habitat linéaire total est similaire entre les ruisseaux classés intermittents et permanents selon les cartes (Figure 10). Cela suggère donc que l'habitat potentiel **cartographié** en km linéaire est aussi grand dans les ruisseaux intermittents que permanent. Par contre, pour ces mêmes cours d'eau, la somme des superficies d'habitats (km^2) est plus de deux fois supérieure dans les ruisseaux permanents qu'intermittents (Figure 10). Cela est dû au fait que les ruisseaux cartographiés permanents sont plus larges que les ruisseaux cartographiés intermittents (p= 0.0002).

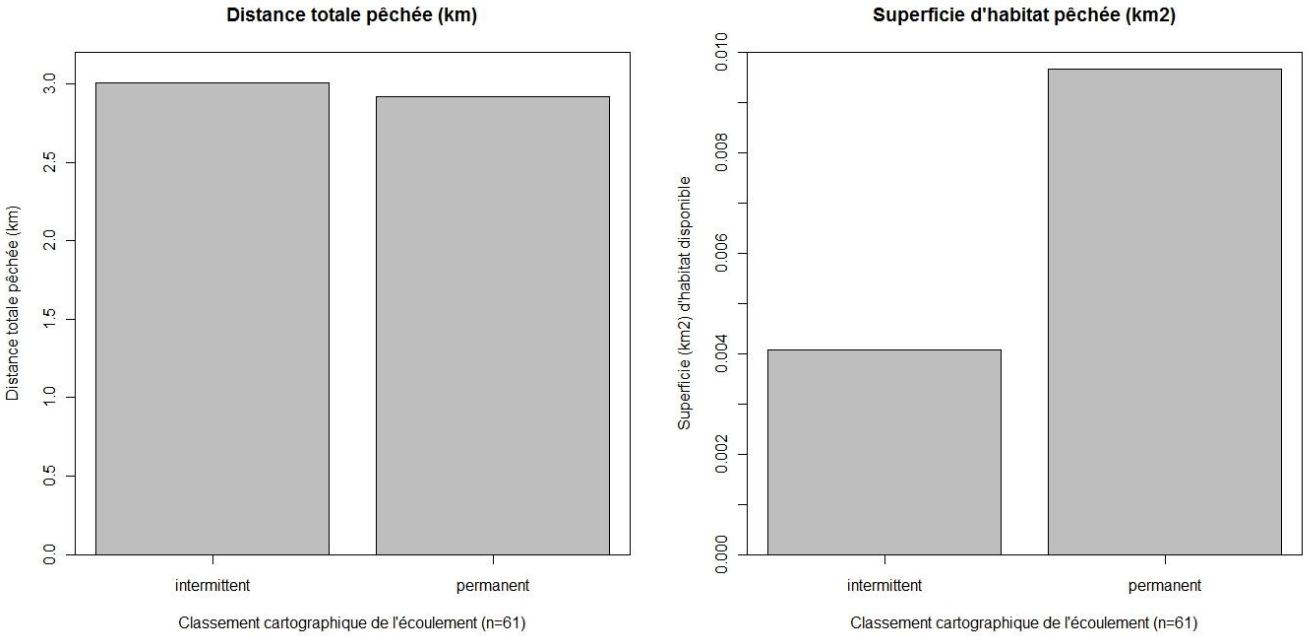


Figure 10 : Habitat disponible (km et km^2) selon le classement cartographique de l'écoulement.

En revanche, l'habitat disponible est plus faible dans les ruisseaux intermittents que permanent suivant la classification terrain (Figure 11) et ce, peu importe la façon de le calculer (km^2 ou km linéaire). De plus, les ruisseaux intermittents classés sur le terrain représentent beaucoup moins d'habitats que les ruisseaux classés intermittents sur les cartes puisque dans les faits, la majorité des cours d'eau classés intermittents sur le terrain ne se retrouvent pas sur les cartes et que ces derniers sont généralement moins larges et plus courts.

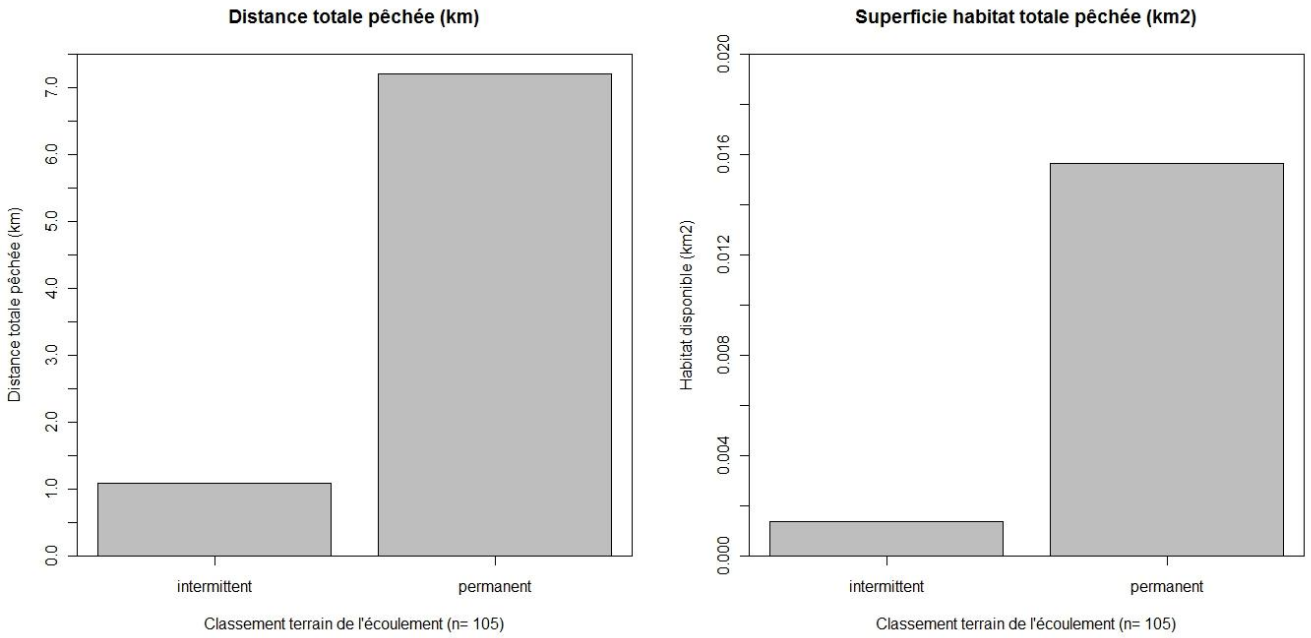


Figure 11 : Habitat disponible (km et km2) selon le classement terrain de l'écoulement.

Importance relative des habitats et abondance des AOF

Un regard sur l'abondance des AOF (nb/m2) en relation avec les superficies totales que représente l'ensemble des ruisseaux échantillonnés nous permet d'évaluer le nombre total d'AOF que l'habitat pourrait contenir. On constate que les ruisseaux non cartographiés peuvent supporter autant d'AOF que les ruisseaux cartographiés (Figure 12). De plus, on constate sur la même figure que les ruisseaux intermittents présents sur les cartes peuvent supporter autant sinon plus d'AOF que les ruisseaux permanents cartographiés. Ce résultat vient donc renforcer nos résultats précédents concernant la pertinence de considérer tous les ruisseaux comme des habitats de premier choix pour les AOF.

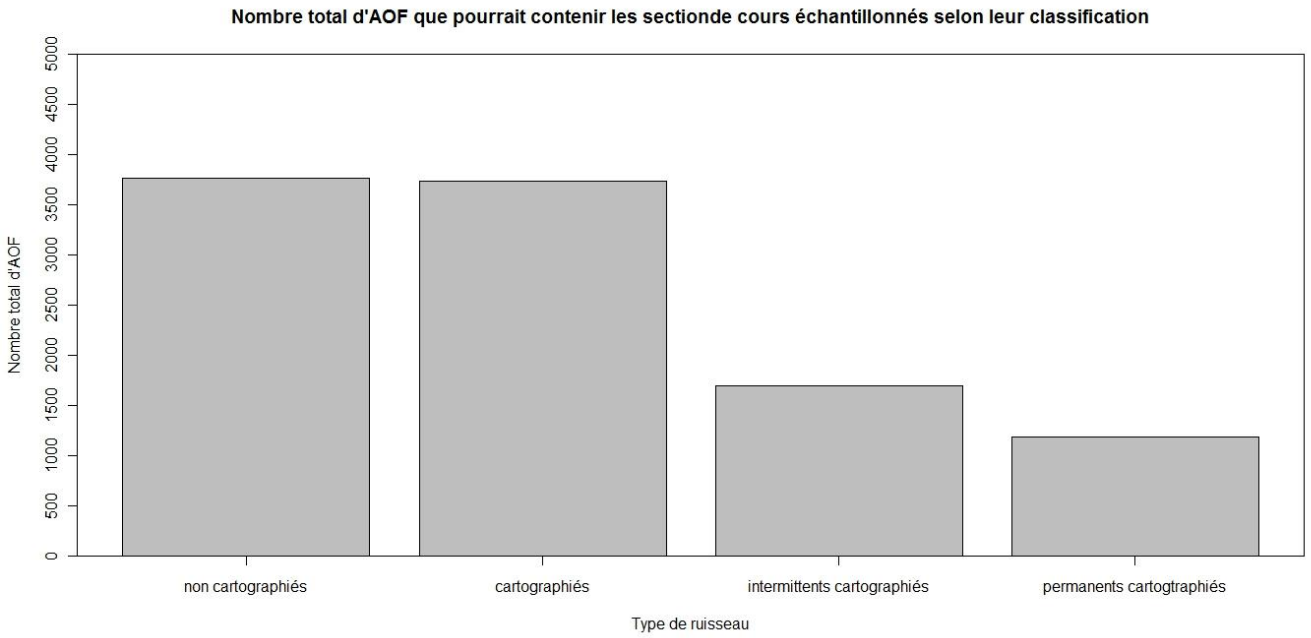


Figure 12 : Relation entre les densités d'AOF et les habitats disponibles au sein des différents ruisseaux cartographiés et des ruisseaux non cartographiés.

Protection de l'habitat et impact sur la planification forestière et opérationnelle

Dans le but de montrer à quel point la divergence d'interprétation de l'écoulement d'un ruisseau (cartographique ou terrain) peut avoir un impact sur les opérations et la planification forestière, nous avons comparé le nombre de km linéaire de ruisseau interprété permanent et intermittent selon les deux modes de classification. On observe sur la figure 13 que le nombre de kilomètres linéaires de ruisseaux permanents et intermittents varie grandement selon la méthode de classification, et ce, pour les **mêmes** ruisseaux. En effet, basé sur la classification cartographique, on observe que la longueur des ruisseaux permanents et intermittents est, pratiquement, identique (Figure 13). Par contre, lorsqu'on classe les **mêmes** ruisseaux sur le terrain, on constate que les ruisseaux intermittents « réels » n'occupent qu'une très petite proportion comparativement aux ruisseaux permanents (Figure 13). De ce fait, et si le calcul de la possibilité forestière ne prend en considération que les cours d'eau permanents cartographiés, il est très probable que cette possibilité soit surestimée dans les milieux riverains. De plus, le fait que 45 % des cours d'eau soient absents des cartes ne fait qu'accentuer cette surestimation.

Finalement, ces résultats suggèrent que les milieux aquatiques et riverains ne sont pas correctement pris en compte puisque la possibilité forestière est estimée à partir de la cartographie et que l'écart entre la réalité terrain et virtuel est relativement important en regard des cours d'eau permanents.

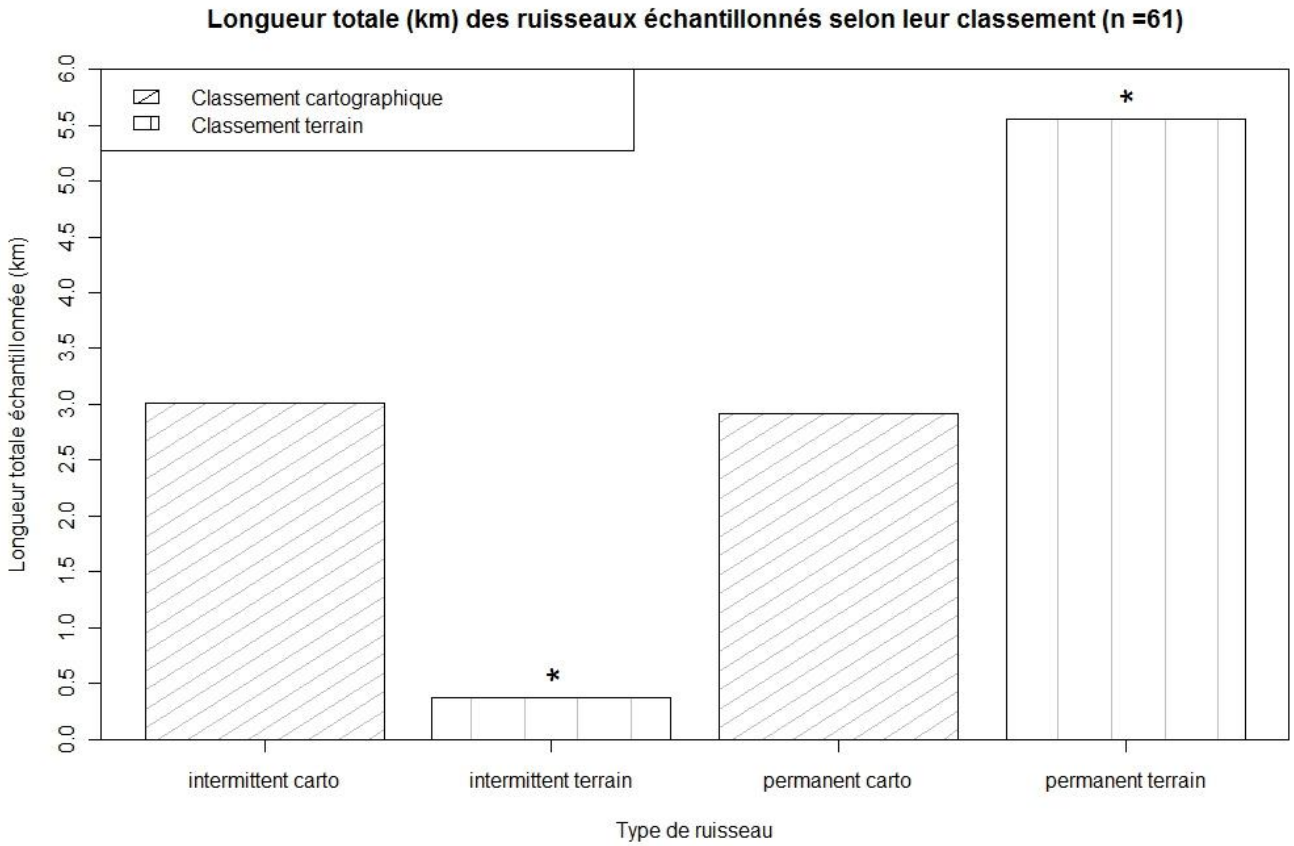


Figure 13 : Comparaison des longueurs totales échantillonnées (km) au sein des ruisseaux cartographiés selon le classement cartographique et terrain de l'écoulement pour <u>les mêmes</u> ruisseaux. L'astérisque (*) indique une différence significative dans les longueurs totales entre les deux groupes.

DISCUSSION

Occurrence des alevins d'AOF vs classement cartographique et terrain

Les AOF colonisent de façon équivalente les ruisseaux présents sur les cartes que ceux absents des cartes. Basés seulement sur l'occurrence des AOF, les cours d'eau non cartographiés devraient être considérés au même titre que les cours d'eau cartographiés pour la préservation des habitats à AOF. De plus, nos résultats confirment que les ruisseaux intermittents sont aussi importants que les ruisseaux permanents pour l'omble de fontaine, contrairement à nos hypothèses a priori. En effet, l'occurrence des AOF est la même, peu importe que le classement de l'écoulement soit cartographique ou terrain.

Toutefois, le RNI oblige les exploitants forestiers à appliquer des modalités d'intervention différentes selon le classement de l'écoulement du ruisseau. De plus, ce même règlement accorde une priorité au classement terrain de l'écoulement et non par l'interprétation cartographique. Afin d'assurer une protection adéquate de la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine et d'individus à un stade critique de leur cycle vital, il s'avère donc essentiel de revoir l'efficacité des modalités d'interventions d'exploitation forestière à proximité des cours d'eau et ce, peu importe le classement de l'écoulement (permanent vs intermittent) et de revoir les objectifs à l'origine de ces modalités afin de s'assurer d'une protection adéquate de cette espèce. Si l'objectif des modalités d'exploitation a pour objet de protéger la qualité de l'eau et la qualité de l'habitat du poisson, **nous n'avons aucune raison, d'accorder une importance moins grande aux ruisseaux intermittents** et ce peu importe que ce classement soit effectué sur le terrain ou à partir de la cartographie. À ce propos, Bertrand (2007) mentionne que : *« Le règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI) assure la protection des milieux aquatiques permanents, lors de la récolte, par le maintien en place d'une bande boisée de 20 m de largeur située au-delà de l'écotone riverain* ». Ainsi la bande de 20 m aurait pour objectif d'assurer la protection du milieu aquatique. De plus dans ses recommandations Bertrand mentionne aussi que : *« l'importance et la fragilité des milieux associés aux cours d'eau intermittents méritent qu'on s'interroge sur nos façons d'opérer à proximité de ceux-ci et également qu'on explore des pistes d'amélioration quant à leur localisation et à leur classement cartographique. Les récents développements de la géomatique et de l'imagerie satellitaire ainsi que la disponibilité de la cartographie écoforestière pour l'ensemble du territoire sous aménagement constituent des atouts importants qu'il faut absolument exploiter rapidement pour améliorer la situation sur cet aspect. »*

Abondance des AOF vs distance du lac

Bien que les alevins d'omble de fontaine colonisent l'ensemble des ruisseaux disponibles, il est possible que ces derniers n'utilisent pas ces milieux avec la même intensité. Un regard sur l'abondance des AOF (nb AOF/m et nb AOF/m^2) dans les différents cours d'eau nous permet d'avoir un meilleur portrait de

l'importance des petits cours d'eau pour cette espèce. Tout comme l'occurrence, l'abondance des AOF ne change pas de manière significative avec la distance du lac.

Cet élément devient très intéressant lorsqu'on cherche à établir des distances minimales à un plan d'eau lors de la création de traverses de cours d'eau. En effet, il est très difficile de pouvoir statuer sur une distance précise puisque le facteur qui limitera la distance de colonisation d'un cours d'eau par les alevins sera la présence ou non d'un obstacle infranchissable. **Cet élément étant impossible à identifier sans une visite terrain,** l'élément à retenir de ce résultat est qu'il est essentiel de ne pas nuire à la libre circulation des AOF lorsque la réalisation de travaux forestiers nécessite l'installation d'une traverse de cours d'eau. Les règles applicables aux traverses de cours d'eau et inscrites au RNI doivent scrupuleusement être respectées et appliquées. À ce sujet, dans le cadre d'un projet d'inventaire de chemin et d'évaluation de l'état des ponceaux dans les Hautes-Laurentides, Hatin et ses collaborateurs (2013) ont évalué que la circulation du poisson était perturbée dans 54 % des cas de ponceaux analysés (247/458). Les principales causes sont dues directement à une mauvaise application du RNI (ex. : ponceau mal enfoui, chute de plus de 30 cm, mauvais diamètre de ponceau, etc.) et l'autre partie attribuable principalement à la présence de barrage de castor. Ce dernier pouvant être en partie considéré comme temporaire puisque le barrage, s'il n'est pas entretenu par d'autres castors, finira par se détériorer et assurera de nouveau la libre circulation du poisson. De ce fait, lorsque le ponceau circulaire ne peut être enfoui adéquatement, il serait pertinent d'utiliser des ponceaux sans fond, tels que les arches et ponceaux de bois. À titre informatif et bien que notre échantillon soit très faible, nous avons répertorié seulement 2 cas sur 6 où des alevins ont été observés en amont de ponceaux rencontrés durant nos sections d'échantillonnage. De plus, le ponceau présent dans ces deux cas où le passage des alevins était possible était totalement composé de bois. Il serait pertinent que le prochain Règlement sur l'Aménagement Durable des Forêts (RADF) permette l'installation de ponceaux de bois d'une portée jusqu'à 2 m. Actuellement le RNI limite cette possibilité jusqu'à 1 m de portée.

Représentation cartographique des ruisseaux et classement de l'écoulement

L'abondance (nb/m^2) des alevins d'omble de fontaine est en moyenne 4 fois plus élevée dans les ruisseaux non cartographiés que dans les ruisseaux cartographiés (1.2 vs 0.3 AOF/m^2). De plus, l'abondance des AOF dans les ruisseaux ne varie pas en fonction du type d'écoulement, quelle que soit la méthode de classification (cartographique ou terrain). Encore une fois, le RNI oblige les exploitants forestiers à appliquer des modalités d'intervention différentes selon le classement de l'écoulement du ruisseau. De plus, ce même règlement accorde une priorité au classement de l'écoulement du ruisseau sur le terrain et non par l'interprétation cartographique. Afin d'assurer une protection adéquate de la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine et des d'individus à un stade critique de leur cycle vital, il apparaît essentiel de revoir l'efficacité des modalités d'interventions et d'exploitation forestière à proximité des cours d'eau et ce, peu importe le classement terrain de l'écoulement (permanent vs intermittent) et de revoir les objectifs à l'origine de ces modalités afin de s'assurer d'une protection

adéquate de cette espèce. Si l'objectif des modalités d'exploitation a pour objet de protéger la qualité de l'eau et la qualité de l'habitat du poisson, **nous n'avons aucune raison d'accorder une importance moins grande aux ruisseaux intermittents**. En fait, à la lumière de ces résultats, la notion d'écoulement perd tout son sens lorsqu'on s'attaque aux questions de protection de l'habitat de l'omble de fontaine.

Influence des facteurs abiotiques (température) et biotiques (présence d'espèces compagnes) sur la « présence » et « l'abondance » de l'omble de fontaine

Facteurs abiotiques :

La température de l'eau est un facteur déterminant dans la sélection d'un milieu de vie pour le poisson et encore plus spécifiquement pour les espèces de salmonidés, comme l'omble de fontaine (MacMillan et al. 2008) pour lesquelles leurs exigences en termes de qualité d'eau (température, oxygène) sont très élevées. Nos résultats suggèrent que la température du ruisseau à elle seule n'expliquait pas significativement la variabilité d'abondance d'AOF observée dans nos ruisseaux, contrairement à une étude antérieure exhaustive conduite en Nouvelle-Écosse (MacMillan et al. 2008). Cependant, l'écart de température entre le lac et le ruisseau s'avère être un facteur déterminant dans le choix d'un milieu de vie pour les AOF. Cet écart met en évidence le besoin du maintien des refuges thermiques, c'est-à-dire des refuges où la température est plus fraîche que le lac d'origine. Par ailleurs, cette notion de refuge thermique et de rendement soutenu en habitat de qualité pour cette espèce prend tout son sens dans un contexte de réchauffement global des températures. En effet, les impacts du réchauffement climatique sur les populations d'omble de fontaine pourraient être accentués et fortement accélérés si ces refuges thermiques ne bénéficient pas de protection adéquate en regard de l'exploitation forestière. La littérature scientifique supporte l'hypothèse selon laquelle le couvert forestier permet de maintenir des conditions de température favorable à l'omble de fontaine (Siitari et al. 2011, Cross et al. 2013, Wagner et al. 2013, Trumbo et al. 2014). Des modèles géomatiques sont également en développement pour mieux comprendre les interactions complexes entre écoulement souterrain, géomorphologie et couvert forestier pour prédire plus efficacement la variabilité spatiale des températures des cours d'eau et prévoir les conséquences des changements climatiques ou d'utilisation du territoire (Isaak et al. 2010, Waco et Taylor 2010, Isaak et al. 2013).

Facteurs biotiques

Nos résultats suggèrent que la présence d'espèces compagnes n'influence pas la présence des AOF au sein des ruisseaux échantillonnés. Cependant, nous avons observé une ségrégation des AOF par rapport aux autres espèces. Cette ségrégation pourrait être la résultante d'une réponse différente des espèces à des facteurs abiotiques comme la température. À ce titre, les ruisseaux présentant des écarts de température par rapport au lac supérieur à 4 degrés Celsius durant les mois chauds de l'été semblent offrir les meilleurs habitats.

Comparaison des habitats disponibles pour les alevins de l'AOF

Habitat vs présence/absence sur les cartes

La comparaison des superficies d'habitats totales disponibles, et susceptibles de subir une exploitation forestière, permet de mettre en perspective l'importance des différents ruisseaux échantillonnés. Nous avons estimé l'habitat disponible de deux façons : 1- en km total pêché et 2- en km^2 total pêché.

Il s'avère que les ruisseaux absents des cartes totalisent des habitats de plus faibles longueurs et de plus faibles superficies que les ruisseaux cartographiés. En effet, ces derniers sont en général plus long et plus large que les ruisseaux non cartographiés d'où, peut-être, leur absence sur les cartes écoforestières. Cela ne veut pas nécessairement dire qu'ils représentent des habitats de moindre importance pour les AOF, leur rendement étant comparable.

Habitat vs classement cartographique

En considérant seulement les ruisseaux cartographiés, l'habitat linéaire disponible est aussi important dans les ruisseaux classés permanents qu'intermittent. Cela est implicitement dû à la méthode de classification des cours d'eau cartographiés. En effet, lors de la photo-interprétation, seuls les ruisseaux ayant une longueur supérieure à 150 m sont considérés. Par ailleurs, selon les règles de classification des cours d'eau intermittents, ces derniers doivent dépendre exclusivement des précipitations (Annexe 2). Cette définition ne tient pas compte de l'apport des eaux souterraines qui peuvent constituer des habitats essentiels aux AOF en plus d'être beaucoup plus présent sur le territoire que ce que nous pouvons le penser.

La somme des superficies (km^2) d'habitat est plus importante dans les ruisseaux permanents qu'intermittents. Cette différence est due à une largeur plus petite pour les cours d'eau intermittents et peut s'expliquer en partie par la méthode de classification cartographique décrite plus haut.

Comme pour les ruisseaux classés cartographiquement, l'habitat total (en km^2 ou km) dans les ruisseaux classés intermittents sur le terrain est beaucoup plus petit que dans les ruisseaux classés permanents sur le terrain. Le classement terrain semble donc être davantage influencé par la taille réelle des ruisseaux et de ce fait, les très petits ruisseaux semblent être de réels intermittents.

Importance relative des habitats vs abondance des AOF

Nos résultats supportent que :

1- Les habitats des ruisseaux non cartographiés sont d'une importance équivalente pour les AOF que les cours d'eau sur les cartes
2- Les habitats des ruisseaux classés intermittents (peu importe la méthode) sont d'une importance équivalente pour les AOF que les cours d'eau permanents.

Un regard sur l'abondance des AOF (nb/m ou nb/m2) en relation avec les superficies totales que représente l'ensemble des ruisseaux échantillonnés nous permet d'évaluer le nombre total d'AOF que l'habitat pourrait contenir. Ainsi, dans les cas des ruisseaux cartographiés et non cartographiés, en multipliant la densité moyenne des AOF avec les superficies totales d'habitats échantillonnés, on se rend compte que les ruisseaux non cartographiés abritent, en nombre absolu, autant d'AOF que les ruisseaux cartographiés (Figure 12). De plus, en comparant de la même façon le nombre total d'AOF que pourraient abriter les ruisseaux classés cartographiquement, on observe que les ruisseaux intermittents (classé cartographiquement) pourraient abriter plus d'AOF que les permanents. Cela vient appuyer nos résultats des sections précédentes. **De ce fait, et dans une perspective ou nous voulons préserver adéquatement la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine, le principe de précaution devrait s'appliquer et devrait porter les intervenants et décideurs à appliquer les mêmes modalités de protection des bandes riveraines, et ce, peu importe le classement du ruisseau**.

Protection de l'habitat et impact sur la planification forestière et opérationnelle

Considérant seulement les ruisseaux présents sur les cartes, nous avons évalué à 2917 m la distance totale linéaire des ruisseaux classés permanents échantillonnés et à 3008 m la distance totale échantillonnée dans des ruisseaux intermittents. **Pour les mêmes ruisseaux**, selon le classement de l'écoulement sur le terrain, nous avons échantillonné 5554 m de ruisseaux permanents contre 371 m de ruisseaux intermittents (Figure 13). De ce fait, les cartes sous-estiment de plus de 50 % la distance linéaire de cours d'eau permanents. À titre d'exemple, 2637 m de bandes riveraines de 20 mètres devraient être ajoutés au calcul de possibilité forestière dans notre zone d'étude en se basant sur la classification terrain et non sur la classification cartographique. Sachant qu'il n'y a pas de différence significative d'abondance d'AOF suivant la classification cartographique de l'écoulement, nous proposons la modification suivante :

« Le calcul de possibilité forestière de l'UAF 64-51 devrait minimalement considérer tous les ruisseaux présents sur les cartes comme permanents. »

Notre proposition a le mérite d'atténuer la problématique, voire même de dégager une marge de manœuvre sur le terrain, et ce même pour les cours d'eau non cartographiés. Notre recommandation vient rejoindre en partie ceux de Bertrand et collaborateurs (2007). En effet, puisqu'une rétention dans le calcul de possibilité forestière dans les bandes riveraines n'est basée que sur les ruisseaux permanents cartographiés et que les intermittents ne sont pas tenus en compte alors que la majorité de ces derniers sont permanents et que finalement que 45 % des ruisseaux ne sont pas représentés sur les cartes, la possibilité forestière **surestime fort probablement** les volumes de bois disponibles dans les bandes riveraines.

De plus, Hatin (2013), en période de sécheresse exceptionnelle, a estimé qu'au minimum 37 % des ruisseaux intermittents étaient considérés, par des ponceaux de dimension inférieure à la norme minimale de 45 cm, comme de simples drainages forestiers. Ce résultat témoigne de la difficulté de bien classer un ruisseau sur le terrain et de la subjectivité des critères de classification. Pour résumé, les AOF fréquentent tous types de cours d'eau, que 45 % des ruisseaux ne sont pas présents sur les cartes, que la difficulté de bien classer les ruisseaux permanents et intermittents sur le terrain est bien réelle et différente d'un intervenant à l'autre, et que cette difficulté est encore plus grande sur les cartes, le principe de précaution devrait être appliquée au calcul de possibilité forestière afin de limiter le plus possible la surexploitation des volumes de bois dans les bandes riveraines, et ce, afin que les objectifs de protection de milieux riverains et aquatiques puissent bénéficier d'une protection adéquate tel que le RNI le prévoit en regard de l'exploitation forestière. Il est d'ailleurs important de rappeler ici que la protection des milieux aquatiques et riverains fait partie des 6 grands enjeux nationaux priorisés en regard de l'aménagement écosystémique.

Protection des ruisseaux non cartographiés et construction de chemins forestiers

Les ruisseaux non cartographiés représentent une part importante des cours d'eau présents sur le territoire. Malheureusement, leur localisation et la classification de leur écoulement sont difficiles, ce qui rend ces milieux, très prisés par les alevins d'omble de fontaine, très vulnérables, notamment lors de la construction de chemin. L'article 17 du RNI stipule qu'on ne peut construire de chemin à moins de 60m d'un lac ou d'un cours d'eau permanent. Considérant que les ruisseaux absents des cartes sont d'assez courtes longueurs (médiane =30m). Il s'avère que le RNI permettrait la protection d'environ 70 % des ruisseaux non cartographiés échantillonnés dans le cadre de notre étude contre les effets négatifs (sédimentation, déboisement, obstacle à la circulation du poisson, etc.; Figure 14). Il est cependant fort possible que le chemin, construit à 60m, passe dans les milieux humides à la tête de ces ruisseaux puisque nos distances sont basées sur les segments pêchés. Par conséquent, il pourrait être pertinent de réviser à la hausse la distance de construction de nouveaux chemins autour des lacs à omble

de fontaine afin de s'assurer de les protéger adéquatement. Par exemple, une distance minimale de 125 mètres d'un lac permettrait de protéger environ 90 % des ruisseaux absents des cartes et limiterait l'installation de nombreux ponceaux (Figure 14).

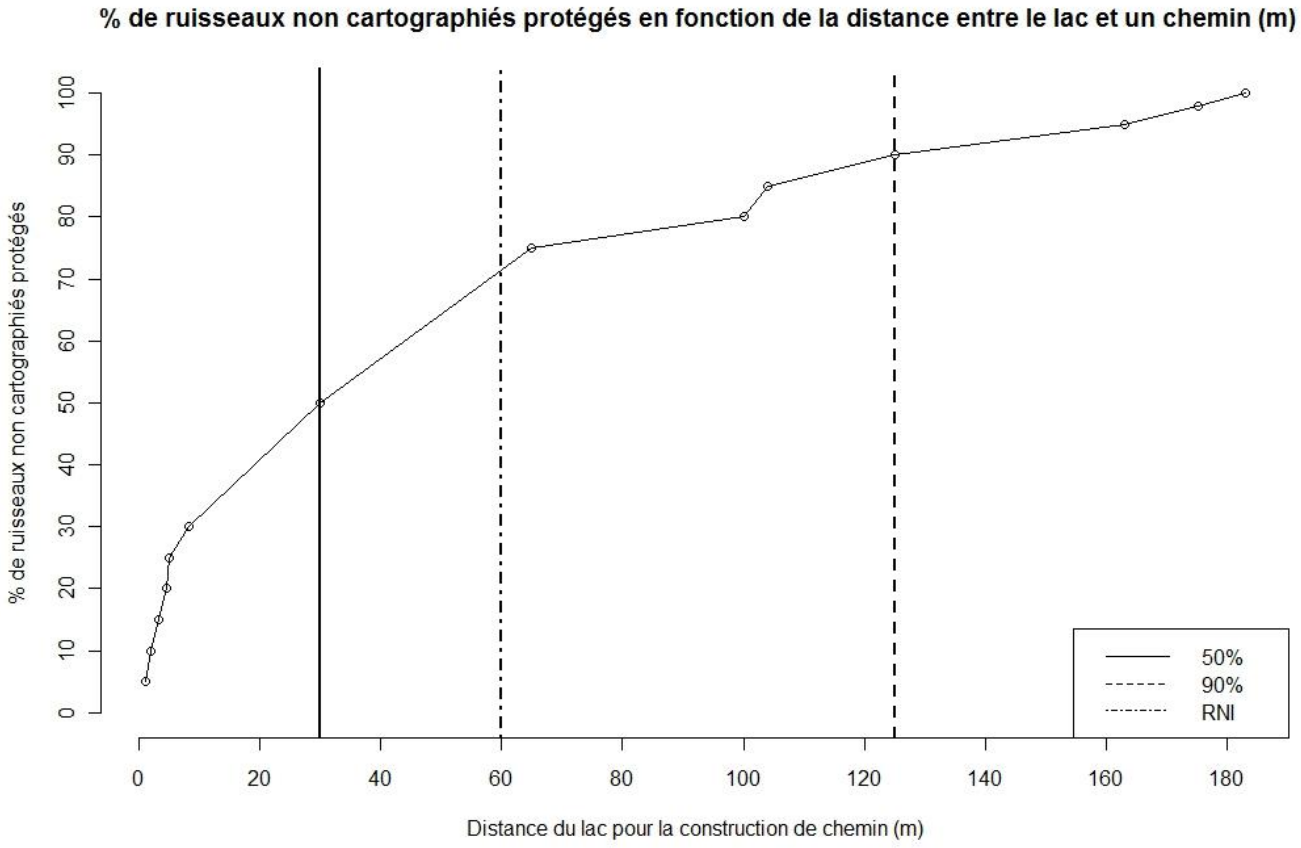


Figure 14 : Proportion des ruisseaux non cartographiés (n=49) qui seraient protégés contre les effets négatifs des chemins en fonction de la distance de construction du chemin. Basé sur les distances pêchées pour chaque ruisseau non cartographié (n=49).

CONCLUSION

La classification terrain du type d'écoulement démontre que la majorité des cours d'eau cartographiés et non cartographiés, autour des lacs à ombles de fontaine, sont des écoulements permanents. De plus, seulement 25% des cours d'eau étudiés sont éligibles, de par la cartographie, au maintien d'une bande riveraine boisée de 20 m alors qu'en se basant sur une classification terrain, plus de 70% de ces cours d'eau sont des ruisseaux à écoulement permanent auquel devrait être appliquée une bande riveraine de 20 m.

Le portrait de l'utilisation des cours d'eau par l'omble de fontaine démontre que 55% de tous les cours d'eau sont occupés par les alevins et que tous les types d'écoulement sont occupés par l'omble de fontaine. De plus, les cours d'eau non cartographiés ont une densité d'alevins quatre (4) fois plus importante que les cours d'eau cartographiés et que les écarts de température entre le lac et le cours expliquent la présence de l'omble de fontaine à l'intérieur de ceux-ci.

Conséquemment, tant du point de vue législatif, forestier que faunique, il devient plus que nécessaire de maintenir des bandes riveraines sur le terrain pour tous les cours d'eau. Les résultats obtenus en regard de la classification des écoulements, des observations factuelles de la présence et de l'abondance des AOF démontrent l'importance d'augmenter le nombre de bandes riveraines à maintenir lors de la planification pour tenir compte de la réalité terrain. Il convient donc d'ajouter une protection supplémentaire pour tout cours d'eau, peu importe la nature de l'écoulement identifiée sur la cartographie et sur le terrain. Ce besoin est encore plus important dans les bassins versants immédiats de chacun des plans d'eau à omble de fontaine, peu importe que ces derniers soient en allopatrie ou non, puisqu'un nombre important de cours d'eau sont occupés exclusivement par des AOF, et ce, même pour certains tributaires de lacs en sympatrie. Finalement, il serait souhaitable et urgent qu'une marge de manœuvre soit calculée dans la possibilité forestière afin de tenir compte de l'écart entre le calcul théorique actuel et la réalité terrain. Ce point est particulièrement important considérant que la récolte forestière dans les zones de contraintes à la récolte, les bandes riveraines notamment, est d'actualité en ce moment.

RECOMMANDATIONS

- Planifier des bandes riveraines de 20 m sur tous les cours d'eau cartographiés afin de dégager une marge de manœuvre pour les cours d'eau non cartographiés compte tenu de leur importance pour les alevins d'omble de fontaine;
- Le principe de précaution devrait être appliqué en regard de la classification des cours d'eau compte tenu de leur importance pour la faune aquatique et des difficultés de classer sur le terrain l'écoulement de façon objective d'un intervenant à l'autre;
- Maintenir sur le terrain des bandes riveraines sur tous les cours d'eau cartographiés et non cartographiés sans distinction du type d'écoulement, pour les tributaires de plans d'eau contenant de l'omble de fontaine;
- Maintenir des bandes riveraines de 20 m sur le terrain sans circulation de machinerie, sauf pour la construction de chemin, sur tous les cours d'eau non cartographiés tributaires de lacs à omble de fontaine et de cours d'eau exploités;
- Marqué sur le terrain les contours des assiettes de coupes et des bandes riveraines des ruisseaux, lorsque la neige est absente du sol seulement, afin de détecter tous les cours d'eau présents à proximité des lacs à omble de fontaine. Si cette étape s'avère impossible pour différentes raisons, les ruisseaux rencontrés en hiver devraient être considérés automatiquement comme permanents;
- Éviter la construction de chemins à moins de 125m d'un lac à omble de fontaine afin d'assurer une protection optimale des ruisseaux non cartographiés;
- Revoir la clé de classification afin d'éliminer la notion d'écoulement intermittent;
- Revoir les raisons de l'application des modalités choisies au RNI;
- Dans tous les cours d'eau tributaires de lacs à omble de fontaine, prévoir l'installation de traverses sans fond afin de permettre aux alevins de circuler là où l'enfouissement du ponceau est impossible;
- Ne pas rétrécir la ligne naturelle des hautes eaux afin de ne pas modifier la vitesse d'écoulement en raison de la faible capacité natatoire des alevins;
- Permettre l'installation de ponceaux de bois jusqu'à 2 m de portée. Ces types d'infrastructures permettent la circulation des alevins;
- Augmenter la dimension des ponceaux circulaires afin de pouvoir les enfouir suffisamment pour recréer un lit de cours d'eau à l'intérieur de ces derniers.

PISTES DE PROJETS À VENIR

Réévaluer les modalités et l'efficacité des modalités actuelles pour les besoins de l'omble de fontaine;

Développer et valider les outils géomatiques qui permettent de détecter et de localiser les ruisseaux non cartographiés et les ruisseaux pouvant être alimentés par des sources tel que démontré par Bordwick en 2005 au parc Algonquin.

Évaluer, au sein de réel chantier forestier comment les différents traitements sylvicoles peuvent influencer les paramètres physicochimiques des petits cours d'eau;

Évaluer, à l'aide des rapports d'inspection du MRN, comment les ruisseaux non cartographiés et cartographiés sont classés sur le terrain.

Bibliographie

Bertrand, Normand, 2007. Importance et caractéristiques des milieux forestiers riverains et humides au Québec, MRNF. 53 p.

Biro, P. A, 1998. *Staying cool : Behavioral thermoregulation during summer by young-of-year brook trout in a lake*. Transactions of the american fisheries society. **127** : 212-222.

Bordwick et al, 2005 Use of Topographic Indices to Predict Potential Brook Trout (Salvelinus fontinalis) Habitat in Lakes on the Canadian Shield

Borwick, Jason et al., 2006. *A topographic index approach for identifying groundwater habitat of young-of-year brook trout (Salvelinus fontinalis) in the land-lake ecotone*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **63** : 239-253.

Boudreault, Pier-Olivier, 2013. *L'omble de fontaine à l'ombre des forêts : aménager sans nuire.* Marie-Claude Labbe et Amélie St-Laurent Samuel, éditrices. Québec, Nature Québec, 24 p.

Brodeur, P., P. Magnan, and M. Legault. 2001. Response of fish communities to different levels of white sucker (*Catostomus commersoni*) biomanipulation in five temperate lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **58**:1998-2010.

Burnham, K.P., and Anderson, D.R. 2002. Model selection and inference: a practical information theoretic approach. Springer Verlag, New York.

Buttle, J.M. et al., 2001. *Prediction of groundwater characteristics in forested and harvested basins during spring smowmelt using a topographic index*. Hydrological processes. **15** : 3389 – 4407

Cross, B. K., M. A. Bozek, and M. G. Mitro. 2013. Influences of riparian vegetation on trout stream temperatures in Central Wisconsin. North American Journal of Fisheries Management **33**:682-692.

Curry, R.A. et al., 1993. *Growth and food of young-of-year brook charr, Salvelinus fontinalis, in lake and creek environments*. Environ. Biol. Fishes. **35** : 131 – 138.

Curry, R. A., C. Brady, D. L. G. Noakes, and R. G. Danzmann. 1997. Use of small streams by young brook trout spawned in a lake. Transactions of the American Fisheries Society 126:77-83.

Curry, R. A. et al., 2002. The thermal regimes of brook trout incubation habitats and evidence of changes during forestry operations. Can. J. For. Res. **32** : 1200-1207.

Éditeur officiel du Québec 2014, Règlement sur les normes d'interventions dans les forêts du domaine de l'État.

Environnement Canada. 21 juin 2013 http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=B7D225D0-1

Fondation de la faune du Québec et ministère de l'Environnement et de la Faune. 1996. *Habitat du poisson. Guide de planification, de réalisation et d'évaluation d'aménagements*. Québec. 133 p.

Franssen, J. et al., 2013. *Alternative tactics in spawing site selection by brook trout (Salvelinus fontinalis) related to incubation microhabitats in a harsh winter environment*. Freshwater biology. **58** : 142-158.

Guillemette, F. et al., 2011. *The evolution of redd site selection in brook charr in different environments : same cue, same benefit for fitness. Freshwater biology*. **56** : 1017-1029

Hatin, M. et Charette, Y. (2013), Les sites d'intérêts fauniques et des traverses de cours d'eau sur les Zecs, le territoire libre et pourvoiries, 30 p.

Isaak, D. J., C. H. Luce, B. E. Rieman, D. E. Nagel, E. E. Peterson, D. L. Horan, S. Parkes, and G. L. Chandler. 2010. Effects of climate change and wildfire on stream temperatures and salmonid thermal habitat in a mountain river network. Ecological Applications **20**:1350-1371.

Isaak, D. J. and B. E. Rieman. 2013. Stream isotherm shifts from climate change and implications for distributions of ectothermic organisms. Global Change Biology **19**:742-751.

Lachance, S. 1999. *Outil diagnostique décrivant la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine en rivière au Québec. Phase II : Rapport des activités de validation et recommandations*. Faune et Parcs Québec, Direction de la faune et des habitats. 31 p.

MacMillan, J.L., D. Caissie, T.J. Marshall, and L. Hinks. 2008. Population indices of brook trout (*Salvelinus fontinalis*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), and salmonid competitors in relation to summer water temperature and habitat parameters in 100 streams in Nova Scotia. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2819 : 41p.

Magnan, P. 1988. Interactions between brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and nonsalmonid species: ecological shift, morphological shift, and their impact on zooplankton communities. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **45**:999-1009.

MRNF, 2006. Portrait territoriale Laurentides, Direction générale de Laval - Lanaudière - Laurentides Direction régionale de la gestion du territoire public de Montréal. 91 p.

MRNF, 2006. Cahier d'instructions relatives au suivi de l'application du Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI) Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Québec, Édition révisée juin 2006. 40 p.

Nappi, A. 2013. Milieu aquatique. Fascicule 4.12. *Dans* Bureau du forestier en chef. Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018. Gouvernement du Québec, Roberval, Qc, pp. 211-217.

Pépino, M., M. A. Rodríguez, and P. Magnan. 2012. Impacts of highway crossings on density of brook charr in streams. Journal of Applied Ecology 49:395-403.

Plamondon, André, 2001. Atelier sur les milieux riverains forestiers

Quinn, P.F., K. Beven et R. Lamb. (1995). The ln (a/tanβ) index : how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework. Hydrological Processes, 9 : 161 – 182.

R Development Core Team. 2014. R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org.

Rousseau, A. N., Royer, A. et Khaldoune, J. (2006). *Calcul des distributions d'indices topographiques sur 16 bassins versants québécois à l'aide de PHYSITEL*. Agriculture et Agroalimentaire Canada et Centre Eau, Terre et Environnement, Institut national de la recherche scientifique. Québec, 87

Siitari, K. J., W. W. Taylor, S. A. C. Nelson, and K. E. Weaver. 2011. The influence of land cover composition and groundwater on thermal habitat availability for brook charr (*Salvelinus fontinalis*) populations in the United States of America. Ecology of Freshwater Fish **20**:431-437.Tabor, R. A., J. A. Scheurer, H. A. Gearns, and C. M. McCoy. 2011. Use of non natal tributaries for lake-rearing juvenile Chinook salmon in the Lake Washington Basin, Washington. Northwest Science 85:476-490

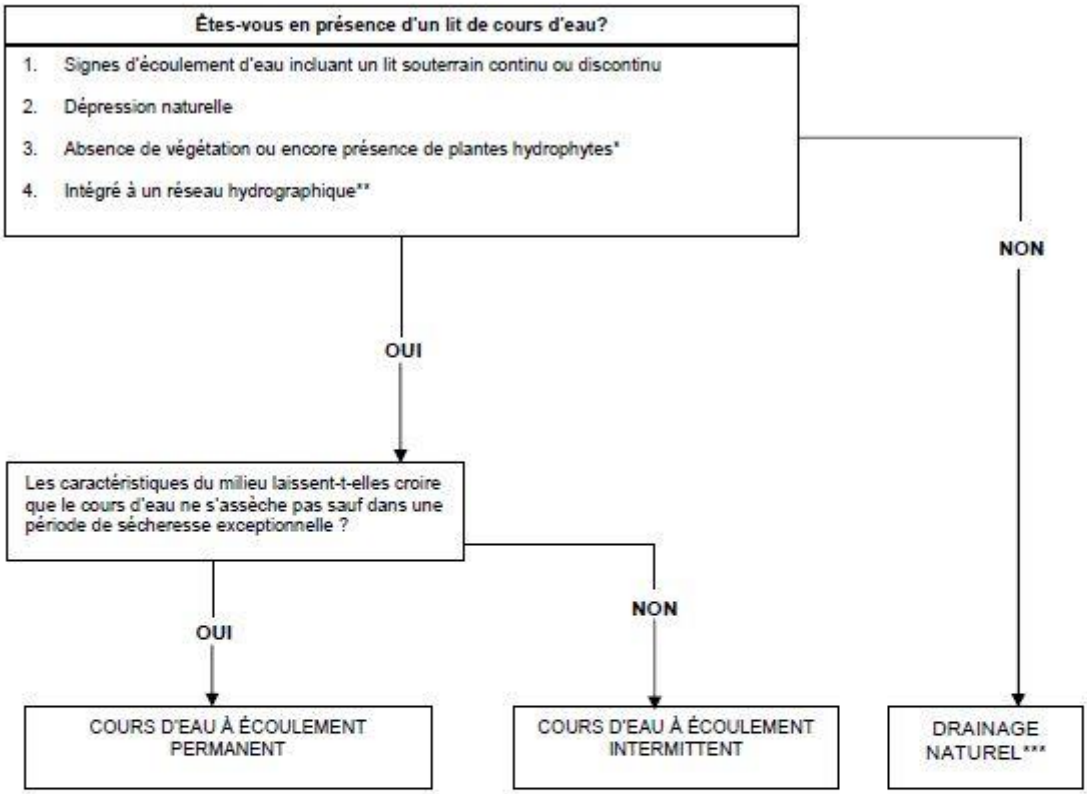
Trumbo, B. A., K. H. Nislow, J. Stallings, M. Hudy, E. P. Smith, D. Y. Kim, B. Wiggins, and C. A. Dolloff. 2014. Ranking site vulnerability to increasing temperatures in Southern Appalachian brook trout streams in Virginia: an exposure-sensitivity approach. Transactions of the American Fisheries Society **143**:173-187.

Waco, K. E. and W. W. Taylor. 2010. The influence of groundwater withdrawal and land use changes on brook charr (*Salvelinus fontinalis*) thermal habitat in two coldwater tributaries in Michigan, USA. Hydrobiologia **650**:101-116.

Wagner, T., J. T. Deweber, J. Detar, and J. A. Sweka. 2013. Landscape-scale evaluation of asymmetric interactions between brown trout and brook trout using two-species occupancy models. Transactions of the American Fisheries Society **142**:353-361.

Annexe 1

CLÉ DE CARACTÉRISATION DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU



*Plantes hydrophytes : Voir la liste au tableau à la page suivante.
**Réseau hydrographique : Lac, cours d'eau à écoulement permanent ou intermittent, tourbière avec mare, marais ou marécage.
***Drainage naturel : C'est l'évacuation des eaux apportées par les précipitations par ruissellement et/ou infiltration avant que ces eaux n'atteignent un cours d'eau. (Grand dictionnaire terminologique).

Condition d'admissibilité pour l'utilisation de la clé :

La caractérisation de l'écoulement de l'eau est impossible en hiver ou à partir de présence de neige au sol.

N.B. – Signes d'écoulement : Les signes peuvent être visuels, audibles ou par des traces laissées par l'écoulement de l'eau lors de son passage

Annexe 2 : Règle de photo-interprétation des cours d'eau de la BDTQ

Hydrographie

Cours d'eau

01010000000

Définition

Cours suivi par l'écoulement naturel de l'eau à la surface du sol et drainant un secteur donné.

Cours d'eau intermittent : Cours d'eau ou partie d'un cours d'eau dont l'écoulement dépend directement des précipitations et dont le lit est complètement sec à certaines époques.

Règle d'interprétation

01010000000 (cours d'eau) : Trace laissée par les plus hautes eaux naturelles sur chaque coté de la rive. Trace permanente d'écoulement. Y inclure le cours d'eau régularisé artificiellement le long des terres et des voies de communication s'il contribue à la définition d'un réseau.

01010000002 (cours d'eau intermittent) : Généralement situé à flanc de montagne. Y inclure la tranchée et la rigole de faible profondeur si elles contribuent à la définition d'un réseau. Source d'un cours d'eau. Un cours d'eau reliant deux plans d'eau n'est jamais intermittent.

Particularité de saisie

Linéaire

Ne peut être interrompu.

En milieu urbain, la discontinuité du réseau est tolérée. Si interruption sur moins de 200 mètres, saisir l'objet Buse.

Le cas échéant, doit être saisi dans le Milieu humide.

Surface

Une seule étiquette suffit à identifier les deux surfaces du cours d'eau de part et d'autre du Rapide, du Dépôt fluviatile, de l'Écueil.

Saisie

Défini ☑ Indéfini ☐ Virtuel ☐

Hiérarchie 600

Discret ☐ Courbe (convertie) ☐

Continu ☑ Arc de cercle (conv.) ☐

Flèche 1,5

Dimension minimale

	Point	Ligne	Surface
Superficie			1000
Largeur			10
Longueur		150	
Hauteur			

Symbolique

Indicatif	Niveau	Poids	Style	Couleur
01010000000	2	4	0	132
01010000002	4	4	1	140

Mise en page

	Syntaxe	Fonte	Orientation	Position	Distance
Toponyme	Cb	20		2 1 3	17
Annotation					
Objet ponctuel					

Corps — variable — Largeur en mètres

	fixe	<20	<100	<300	<600	>600
Toponyme		30	45	60	75	90
Annotation						

Réseau

Hydrographique ☑

Routier ☐

Ferroviaire ☐

Énergétique ☐

Hypsométrie

Élévation ☐

Surface d'exclusion ☑

Ligne de rupture ☐

Source complémentaire

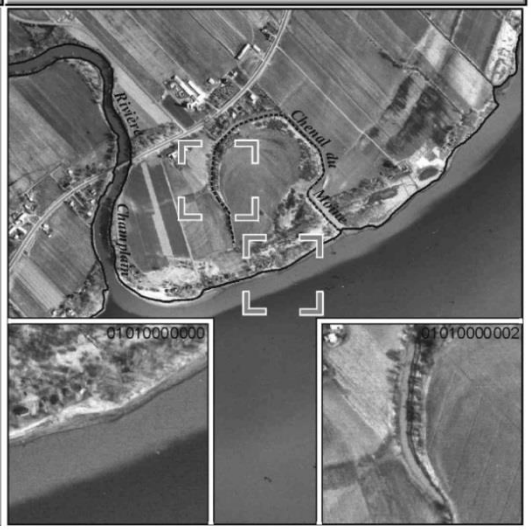
HQ ☐ MRN ☐

SCQ ☐ MTQ ☐

CTOP ☑

Notes de l'usager

Diagramme de représentation



© MRN, Octobre 1999. Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1/20 000, Normes de production, version 1.0 HY- 77

Mise à jour préliminaire mai 2013