

Bilan des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec

2024



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par le Secteur de la faune et des parcs du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Comment citer

Plourde-Lavoie, P., Plourde, J., Bujold, J.-N. et S. Gagné. 2024. Bilan des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). 31 p.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 646-5974
Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Photos de couverture : Jean-Nicolas Bujold et Patrick Plourde-Lavoie, MELCCFP

Dépôt légal – 2024
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-96703-3 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.
© Gouvernement du Québec – 2024

Équipe de réalisation

Rédaction et analyse

Patrick Plourde-Lavoie¹
Jérôme Plourde²
Jean-Nicolas Bujold³
Stéphanie Gagné³

Collaboration

Martin Arvisais¹
Michel Legault³
Isabel Thibault³
Rémy Pouliot³
Annabelle Avery⁴
Geneviève Lacroix⁴

¹ Direction de la gestion de la faune Capitale-Nationale–Chaudière-Appalaches, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

² Direction de la gestion de la faune du Saguenay–Lac-Saint-Jean, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

³ Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

⁴ Fondation de la faune du Québec

Résumé

Au Québec, l'omble de fontaine est l'espèce de poisson d'intérêt récréatif la plus pêchée. Pour cette raison, les plans d'eau abritant l'omble de fontaine sont souvent l'objet d'activités d'aménagement de l'habitat afin d'améliorer la qualité et l'offre de pêche. Bien que les aménagements de l'habitat du poisson soient une pratique courante au Québec depuis plusieurs décennies, aucun bilan exhaustif de leur efficacité n'avait encore été dressé à l'échelle provinciale. Ce rapport a ainsi pour but de faire un portrait des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine réalisés au Québec et d'évaluer leur efficacité à l'échelle provinciale pour améliorer la qualité de la pêche sportive dans les territoires fauniques structurés.

Environ 7500 aménagements visant l'amélioration ou la restauration d'un habitat à omble de fontaine ont été recensés sur la période de 1977 à 2014. Ces aménagements ont été réalisés sur 1350 plans d'eau distincts, dont 513 ont été conservés pour les analyses en fonction de critères de sélection. Outre le nettoyage des cours d'eau, les méthodes qui ont été les plus couramment utilisées sont les aménagements de frayères et de seuils. Les effets de ces aménagements sur les différentes statistiques de pêche (succès de pêche, masse moyenne, etc.) ont été analysés. Globalement, les résultats indiquent que les aménagements réalisés au Québec durant les dernières décennies n'ont pas eu d'effet significatif sur la pêche sportive, tant pour l'ensemble des aménagements que pour les aménagements de frayères spécifiquement. De plus, la comparaison avec des lacs témoins révèle que les tendances des indicateurs de pêche sont similaires pour les deux groupes, autant à court qu'à long terme. Différentes hypothèses sont émises afin d'expliquer le manque d'efficacité des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine observé dans cette étude. Parmi celles-ci, mentionnons le maintien d'une pression de pêche élevée, la variabilité des indicateurs utilisés, une mauvaise évaluation des problèmes initiaux précédant l'aménagement, une conception inadéquate des aménagements de même qu'un suivi et un entretien déficients.

Les résultats de cette étude, appuyés par d'autres constatations similaires sur l'efficacité des aménagements de l'habitat du poisson dans la littérature scientifique, démontrent qu'il y a un effort important à déployer pour mieux comprendre et utiliser les aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec. Dans cette optique, cinq recommandations sont énoncées afin d'amorcer le travail pour améliorer les connaissances et nos façons de faire, soit 1) tenter de déterminer des facteurs de réussite, 2) effectuer des études d'avant-projet plus exhaustives, 3) mieux prioriser les interventions sur l'habitat (protection, connectivité, processus hydrogéomorphologiques, aménagements de l'habitat), 4) augmenter la durée et la qualité des suivis post-aménagement et 5) tester l'efficacité des différentes techniques ainsi qu'actualiser les guides d'aménagement.

Table des matières

Résumé	ii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Mise en contexte	vi
1. Introduction	1
1.1 L'omble de fontaine, une espèce d'intérêt	1
1.2 Les aménagements : objectifs et efficacité	1
1.3 Objectifs de l'étude	4
2. Méthodologie	5
2.1 Traitement des données	5
2.2 Analyses statistiques	8
3. Portrait des aménagements au Québec	11
4. Efficacité des aménagements	15
4.1 Comparaison des lacs aménagés et des lacs témoins	15
4.2 Corrélation entre les indicateurs de pêche sportive	17
4.3 Impacts des aménagements sur les indicateurs de pêche sportive	17
4.4 Impacts des aménagements de frayères sur les indicateurs de pêche sportive	19
5. Discussion	22
6. Recommandations	25
7. Conclusion	28
8. Références bibliographiques	29

Liste des tableaux

Tableau 1. Description des différents types d'aménagement recensés dans le cadre de l'étude. _____	2
Tableau 2. Relation présumée entre les cinq composantes de l'habitat du poisson et l'impact potentiel d'un aménagement sur le rendement. _____	3
Tableau 3. Définition des indicateurs de pêche sportive analysés. _____	6
Tableau 4. Caractéristiques physiques des lacs aménagés utilisés dans le cadre de l'étude. _____	14
Tableau 5. Comparaison des valeurs moyennes des caractéristiques physiques entre 299 lacs aménagés (AME) et 285 lacs témoins (TEM). _____	15
Tableau 6. Comparaison des valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive pour la période « PRÉ » aménagement pour 299 lacs aménagés (AME) et 285 lacs témoins (TEM). _____	16
Tableau 7. Comparaison des résultats des tests de Spearman entre les indicateurs de pêche sportive avant l'aménagement (PRE_10) pour 299 lacs aménagés et 285 lacs témoins. _____	16
Tableau 8. Résultats des corrélations de Pearson entre les différents indicateurs de pêche sportive. _	17
Tableau 9. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) aménagement pour les 513 plans d'eau aménagés. _____	18
Tableau 10. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) un aménagement fictif pour 485 plans d'eau témoins. _____	18
Tableau 11. Comparaison de l'impact des aménagements à partir des techniques méta-analytiques entre 513 lacs aménagés (AME) et 485 lacs témoins (TEM). _____	19
Tableau 12. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) aménagement pour les 185 plans d'eau sur lesquels au moins une frayère a été aménagée. _	20
Tableau 13. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) un aménagement fictif pour 199 plans d'eau témoins. _____	20
Tableau 14. Comparaison de l'impact des frayères aménagées à partir des techniques méta-analytiques entre 182 lacs où au moins une frayère a été aménagée (AME) et 199 lacs témoins (TEM). _	21

Liste des figures

Figure 1. Réassignation d'un aménagement n'étant pas localisé en lac. _____	5
Figure 2. Schémas des périodes d'aménagement conservées et retirées. _____	7
Figure 3. Schéma des périodes d'aménagement utilisées. _____	8
Figure 4. Principe des méta-analyses. _____	10
Figure 5. Nombre d'aménagements visant l'omble de fontaine recensés au Québec depuis les années 1900. _____	11
Figure 6. Nombre de lacs aménagés au Québec depuis les années 1900 en fonction des régions administratives du Québec, selon les données répertoriées. _____	12
Figure 7. Nombre de lacs aménagés au Québec depuis les années 1900 en fonction du type de territoire. _____	12
Figure 8. Nombre d'aménagements recensés au Québec depuis les années 1900 en fonction des types d'aménagement. _____	13
Figure 9. Localisation des lacs aménagés analysés dans cette étude. _____	14

Mise en contexte

Afin de restaurer un habitat dégradé ou d'améliorer la qualité de celui-ci, il est fréquent de réaliser des aménagements de l'habitat des poissons. Les aménagements de l'habitat sont fréquemment employés partout sur la planète afin de restaurer, de maintenir ou d'augmenter les populations de salmonidés (Roni et coll. 2008). Toutefois, l'efficacité de ces activités fait l'objet de débats dans la littérature scientifique (Thompson 2006, Smokorowski et Pratt 2007, Roni et coll. 2008, Stewart et coll. 2009, Whiteway et coll. 2010, Biron 2017, Foote et coll. 2020, Lavelle et coll. 2021).

Depuis sa création, il y a 30 ans, la Fondation de la faune du Québec (Fondation) a pour mission de promouvoir la conservation et la mise en valeur de la faune et de son habitat. En milieu aquatique, cela se traduit entre autres par des investissements importants dans les aménagements de l'habitat, notamment par l'entremise du programme financier Amélioration de la qualité des habitats aquatiques (AQHA). Plusieurs territoires fauniques, comme les zecs, les réserves fauniques et les pourvoiries à droits exclusifs, bénéficient souvent de ce programme dans le but d'améliorer la qualité de la pêche sportive sur leur territoire. Parallèlement, d'autres organismes et partenaires gouvernementaux comme les organismes de bassin versant réalisent des aménagements de l'habitat, souvent à des fins de compensation pour des pertes d'habitats engendrées par certains projets. Malgré la bonne volonté de tous les intervenants, les suivis de ces aménagements sont souvent limités, fragmentaires et peu concluants. Ainsi, l'efficacité et la rentabilité à long terme des aménagements sont encore peu connues.

La majorité des aménagements réalisés au Québec vise l'omble de fontaine. Dans le contexte de l'élaboration du premier plan de gestion pour cette espèce, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) et la Fondation ont jugé essentiel d'évaluer l'efficacité des aménagements de l'habitat afin d'optimiser les stratégies d'aménagement visant l'amélioration des rendements de pêche pour l'omble de fontaine. Il faut noter que la restauration à la roténone a déjà fait l'objet d'une évaluation distincte (Bujold et coll. 2013) et n'est donc pas considérée dans cette étude.

1. Introduction

1.1 L'omble de fontaine, une espèce d'intérêt

Au Québec, l'omble de fontaine est la plus importante espèce de poisson d'intérêt récréatif. Annuellement, près de 700 000 pêcheurs tentent de capturer ce poisson et y consacrent environ 4 millions de jours de pêche (Pêches et Océans Canada 2019). Les Québécois capturent plus de 18 millions d'ombles de fontaine par année (10 millions conservés), ce qui constitue presque la moitié des captures récréatives de poissons de la province. En matière de valeur économique, son exploitation génère des dépenses annuelles de 340 M\$ et soutient environ 3000 emplois (ÉcoRessources 2014). C'est aussi l'espèce la plus vendue à des fins d'ensemencement pour la mise en valeur de la pêche récréative puisqu'environ 436 tonnes d'ombles sontensemencées annuellement (MAPAQ 2019). Pour ces raisons, les plans d'eau abritant l'omble de fontaine font souvent l'objet d'activités d'aménagement de l'habitat afin d'améliorer l'offre de pêche. Depuis 1988, plus de 9 millions de dollars ont été investis dans ces activités par la Fondation seulement, par l'entremise de son programme financier AQHA.

1.2 Les aménagements : objectifs et efficacité

Dans le milieu aquatique, les aménagements sont des modifications physiques du milieu par le biais d'une intervention humaine (création de frayères, installation de seuils, nettoyage de cours d'eau, etc.) visant à améliorer ou à restaurer l'habitat d'une espèce afin d'améliorer la productivité et le potentiel faunique. À court terme, ces activités ont pour but d'améliorer la croissance, la survie ou la reproduction des individus. Chez l'omble de fontaine, l'objectif à moyen ou à long terme est souvent de rétablir ou d'augmenter le rendement et la qualité de la pêche d'un plan d'eau afin de pouvoir améliorer ou maintenir l'offre de pêche. Certains travaux sont aussi effectués à la suite d'une détérioration de l'habitat, notamment par des activités anthropiques ou des événements naturels extrêmes, et ont pour but de restaurer un habitat dégradé. Le tableau 1 présente une brève description des principaux types d'aménagement recensés dans cette étude.

Un des principes de base des aménagements de l'habitat du poisson est que ce dernier doit retrouver cinq éléments dans son environnement afin de vivre et de se reproduire. Théoriquement, une intervention qui améliore ou restaure une de ces composantes devrait être bénéfique pour les populations de poissons. Les cinq éléments, tirés du document *Habitat du poisson – Guide de planification, de réalisation et d'évaluation d'aménagements* (Fondation de la faune du Québec et ministère de l'Environnement et de la Faune, 1996), sont :

- des frayères;
- des sources d'alimentation pouvant satisfaire les besoins de poissons de tout âge;
- des abris et lieux de repos;
- de l'eau de qualité adéquate en quantité suffisante;
- et le libre accès à ces différentes composantes.

Le tableau 2 résume de quelle façon il est présumé que les aménagements agissent sur les populations d'ombles de fontaine afin d'améliorer la qualité de la pêche sportive.

Tableau 1. Description des différents types d'aménagement recensés dans le cadre de l'étude.

Catégorie d'aménagement	Description
Nettoyage	Retrait des débris végétaux dans un cours d'eau pour favoriser l'écoulement de l'eau et la circulation du poisson.
Frayère	Création d'un habitat pour la fraie du poisson en lac ou en cours d'eau, généralement par le dépôt de gravier.
Seuil	Structure de bois ou de pierre installée d'un côté à l'autre d'un cours d'eau afin de diversifier l'habitat.
Abri	Création d'un milieu pour permettre à l'omble de fontaine de se protéger.
Modification de cours d'eau	Reprofilage ou stabilisation des berges (enrochement, végétalisation) visant à diminuer l'érosion.
Obstacle à la migration du poisson (OMP)	Création d'un obstacle dans le cours d'eau pour éviter la migration vers l'amont d'espèces introduites et nuisibles.
Échelle à poisson	Structure permettant au poisson d'atteindre un lieu inaccessible en amont. Inclus les échelles à poisson ainsi que les passes migratoires rudimentaires.
Contrôle du castor	Toute activité qui vise à contrôler le castor, par exemple le transfert de castors et le démantèlement de barrages.
Défecteur	Structure de bois ou de pierre installée en angle dans un cours d'eau pour diminuer sa largeur, concentrer l'écoulement et accentuer la vitesse du courant.
Chaulage	Ajout de chaux dans un lac pour faire augmenter son pH et ainsi rendre l'eau du lac moins acide.
Incubateur	Création de conditions favorables à l'incubation pour les œufs d'omble de fontaine par l'ajout de boîtes ou de caisses d'incubation.
Ruisseau pépinière	Cours d'eau servant à l'élevage de poissons en milieu naturel qui seront ensuite transférés dans un autre plan d'eau.
Contrôle d'espèces compétitrices	Retrait à l'aide de différents engins de pêche de meuniers et autres espèces compétitrices susceptibles de nuire à l'omble de fontaine. N'inclut pas la roténone.
Bassin de sédimentation	Création d'un bassin permettant par sédimentation d'éviter l'ensablement de frayères ou de seuils.

Tableau 2. Relation présumée entre les cinq composantes de l'habitat du poisson et l'impact potentiel d'un aménagement sur le rendement.

Modification du milieu		⇒ Modification du rendement		
1. Amélioration des sites de frai	⇒ Meilleur succès de reproduction	⇒ Poissons plus nombreux		
2. Augmentation des ressources alimentaires	⇒ Meilleures croissance et survie	⇒ Poissons plus gros ou plus nombreux		
3. Création d'abris	⇒ Moins de prédation	⇒ Meilleure survie	⇒ Poissons plus nombreux	
4. Amélioration de la qualité de l'eau	⇒ Meilleure survie	⇒ Poissons plus nombreux		
5. Restauration de la connectivité des habitats	⇒ Plus d'espace, meilleur accès aux habitats essentiels	⇒ Moins de compétition et plus d'habitats disponibles	⇒ Meilleures croissance, reproduction et survie	⇒ Poissons plus nombreux

Les premiers articles scientifiques qui portent sur les aménagements de l'habitat datent du début des années 1900. Depuis, des milliers d'articles ont traité des techniques d'aménagement en milieu aquatique ainsi que de leur incidence sur les écosystèmes. Toutefois, le nombre d'études qui ont quantifié l'impact de ces travaux sur les populations de poissons et sur la qualité de la pêche est faible (White 1996, Hudy et coll. 2008, Lavelle et coll. 2021). L'évaluation des aménagements se limite souvent à estimer qualitativement la présence de poissons à l'endroit restauré ainsi que la durabilité des structures mises en place.

L'efficacité des aménagements dans les milieux aquatiques fait l'objet de débats dans la littérature scientifique. Certaines études ont conclu que la restauration des milieux aquatiques peut avoir un effet positif sur l'abondance et la biomasse des poissons (Hunt 1988, Gowan et Fausch 1996, Avery 2004, Binns 2004, Palm et coll. 2007, White et coll. 2011, Foote et coll. 2020, Lavelle et coll. 2021). Pourtant, d'autres recherches ont montré que la restauration peut n'avoir aucun effet (House 1996, Moerke et Lamberti 2003, Jones et Tonn 2004, Vehanen et coll. 2010). Des revues de littérature ainsi que des méta-analyses ont d'ailleurs obtenu des conclusions et des résultats divergents (Thompson 2006, Smokorowski et Pratt 2007, Roni et coll. 2008, Stewart et coll. 2009, Whiteway et coll. 2010, Foote et coll. 2020). Au moyen d'une revue de littérature ainsi qu'une méta-analyse, Smokorowski et Pratt (2007) en sont venus à la conclusion que l'efficacité des aménagements était variable, notamment en fonction des objectifs initiaux des différents projets. Ces articles font également état du manque d'études expérimentales à grande échelle ainsi que du manque de suivis des populations avant et après les travaux. Ils soulignent également l'importance d'effectuer des études à grande échelle et à long terme avec beaucoup de données et des modèles statistiques appropriés.

Au Québec, une étude effectuée par l'Université du Québec à Chicoutimi a utilisé les données d'exploitation par la pêche sportive (récolte et effort de pêche) pour évaluer l'efficacité des aménagements à omble de fontaine réalisés dans la réserve faunique des Laurentides et dans le parc national des Grands-Jardins (Gobeil 2010). À notre connaissance, il s'agit de la seule étude exhaustive publiée à ce jour sur l'efficacité des aménagements réalisés au Québec qui utilise des données de pêche sportive. De plus, cette étude couvre une échelle temporelle de plus de 20 ans et compare les données de pêche sportive pour 19 lacs aménagés et 20 lacs témoins. Les résultats ont démontré que les aménagements ont engendré une hausse du succès de pêche d'environ 19 % jusqu'à 15 ans après les aménagements. La variabilité des populations

étudiées était cependant faible étant donné que les plans d'eau se situent tous dans le même secteur et qu'ils étaient tous en allopatrie. On ne peut donc pas conclure à une efficacité globale des aménagements pour l'omble de fontaine dans l'ensemble de la province.

1.3 Objectifs de l'étude

Bien que les aménagements de l'habitat du poisson soient une pratique courante au Québec depuis plusieurs décennies, aucun bilan exhaustif de leur efficacité n'a encore été produit à l'échelle provinciale. Cette étude a d'abord pour but de faire un portrait des aménagements à omble de fontaine réalisés au Québec au cours des dernières décennies. Elle vise ensuite à analyser les données d'exploitation de certains territoires fauniques structurés (zecs, réserves fauniques et parcs nationaux du Québec) afin d'évaluer l'efficacité des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine à l'échelle provinciale, dans un contexte d'amélioration de la pêche sportive. Ce travail a été effectué en quantifiant l'effet des aménagements sur divers indicateurs de pêche (c.-à-d. succès, masse moyenne, indice de qualité, rendement et pression de pêche).

2. Méthodologie

2.1 Traitement des données

Les données d'aménagements de l'habitat et de pêche sportive ont été obtenues principalement à partir du système d'information sur la faune aquatique (IFA) du MELCCFP. Elles ont été complétées par des données répertoriées dans les directions régionales de la gestion de la faune du MELCCFP et à la Fondation.

2.1.1 Aménagements

Près de 10 000 mentions d'aménagements de l'habitat de toutes sortes ont été répertoriées. Les aménagements ont été assignés visuellement et manuellement au lac le plus proche lorsque les coordonnées géographiques étaient disponibles. Cette opération a été nécessaire puisque les aménagements sont normalement réalisés en cours d'eau alors que les statistiques de pêche sportive sont enregistrées majoritairement en lac dans les territoires fauniques. Lorsqu'aucun lac n'était à proximité ou lorsque deux lacs étaient à mi-chemin de la localisation, les aménagements ont été classés comme étant inconnus et ont été retirés des analyses.

Les plans d'eau qui ne comptent pas d'omble de fontaine ou les travaux qui visaient une espèce autre que l'omble de fontaine ont aussi été retirés.

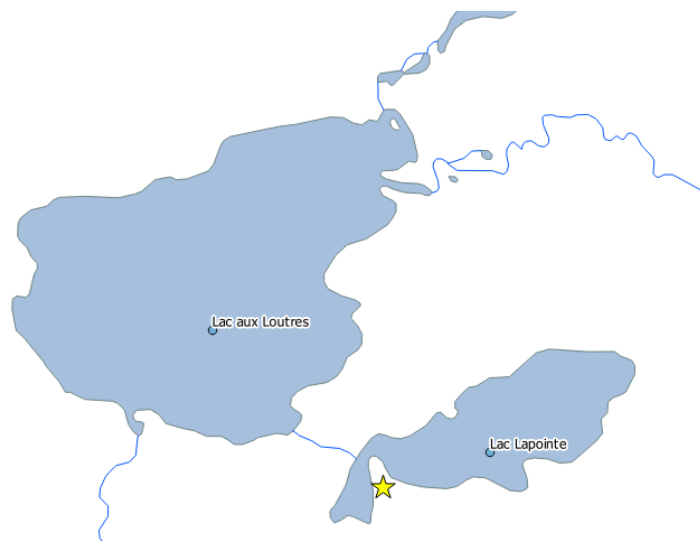


Figure 1. Réassignation d'un aménagement n'étant pas localisé en lac. Dans cet exemple, l'aménagement a été réassigné au lac Lapointe.

2.1.2 Indicateurs de pêche sportive

Seules les données provenant des réserves fauniques, des zecs et des parcs nationaux du Québec ont été conservées. Les plans d'eau sélectionnés devaient avoir un minimum de cinq années de données d'exploitation sportive avant le premier aménagement et au moins sept années de données après celui-ci. Une période plus longue après l'aménagement a été utilisée afin d'exclure des analyses les trois premières années après l'aménagement (période tampon où l'effet de l'aménagement n'est vraisemblablement pas perceptible dans la pêche).

Les variables utilisées pour évaluer l'efficacité des aménagements sont présentées au tableau 3. Chaque variable a été calculée annuellement pour chaque lac. Pour les populations contenant d'autres espèces prisées par les pêcheurs récréatifs (p. ex. doré jaune, touladi), les variables calculées à partir de l'effort de pêche (c.-à-d. succès, indice de qualité et pression de pêche) ont été exclues des analyses puisque l'effort de pêche mesuré peut inclure celui effectué sur les autres espèces et être ainsi surévalué pour l'omble de fontaine.

Tableau 3. Définition des indicateurs de pêche sportive analysés.

Indicateur	Définition	Unité
Succès de pêche	Nombre de captures / effort total	N ^{bre} / jour-pêche
Masse moyenne	Masse totale récoltée / nombre de captures	Grammes (g)
Indice de qualité	Masse totale récoltée / effort total	g / jour-pêche
Rendement (kg)	Masse totale récoltée / superficie du lac	kg / ha
Rendement (n ^{bre})	Nombre de captures / superficie du lac	N ^{bre} / ha
Pression de pêche	Effort total / superficie du lac	Jour-pêche / ha

Pour chacun des plans d'eau retenus, les données de pêche sportive ont été classées en différentes périodes (figure 2). La **période d'aménagement** correspond aux années pendant lesquelles le plan d'eau a été aménagé. Pour un lac aménagé à deux reprises et à plus de sept ans d'intervalle, les deux périodes d'aménagement ont été considérées comme deux périodes distinctes. Par exemple, pour un lac aménagé en 1994 et en 1996, la période aménagée s'étend de 1994 à 1996. La **période « pré » aménagement** se termine l'année avant l'aménagement, soit en 1993. La **période tampon** correspond à la période d'aménagement et aux trois années suivant cette période. Dans cet exemple, les données d'exploitation de 1994 à 1999 seraient donc retirées des analyses. La période suivant la période tampon est la **période « post » aménagement**.

La figure 2 permet de mieux comprendre les différentes périodes et les données qui ont été conservées pour les analyses. La grande majorité des cas correspond néanmoins à la figure 2a. En moyenne, les données étaient disponibles jusqu'à 13 ans avant l'aménagement et jusqu'à 11 ans après (excluant la période tampon).

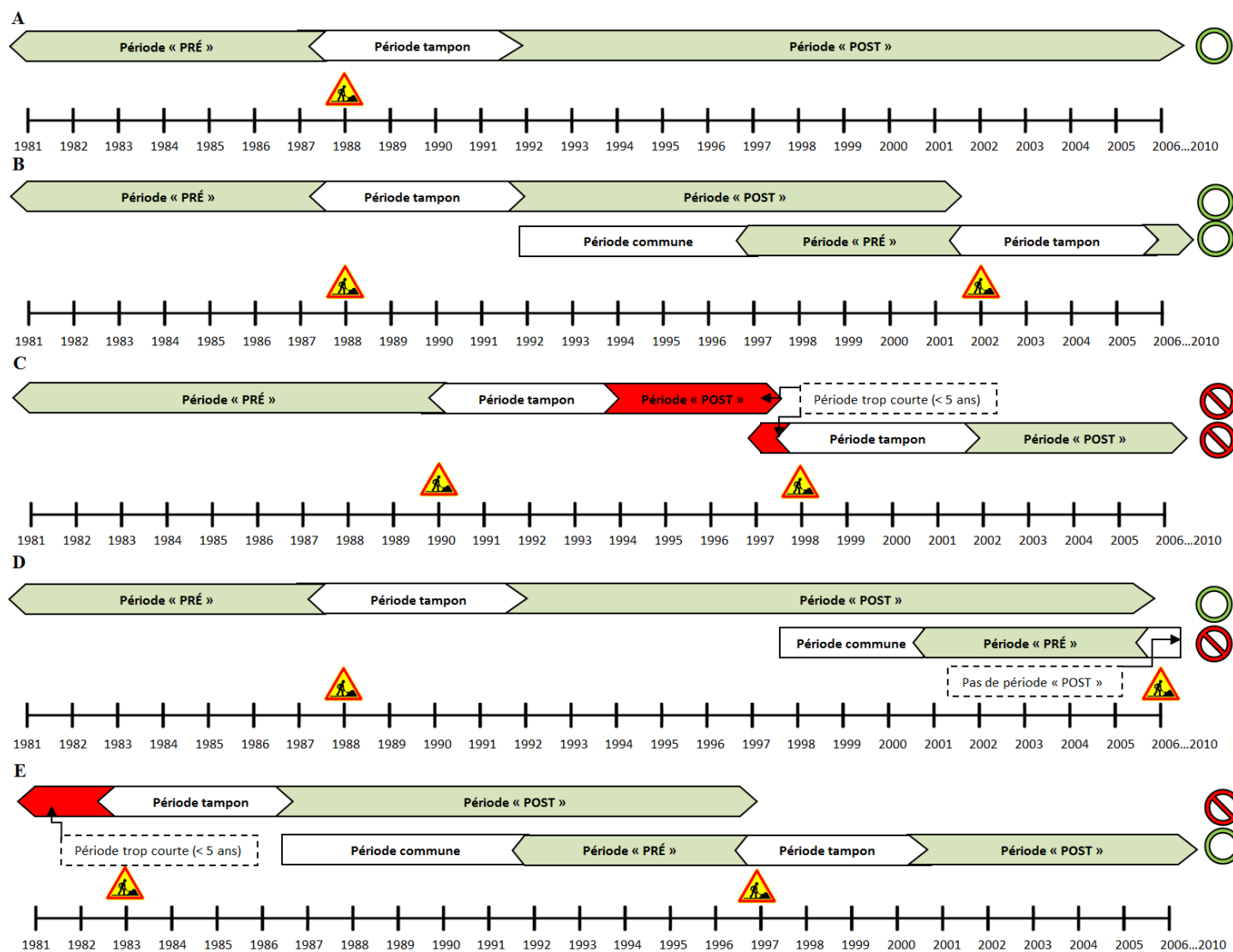


Figure 2. Schémas des périodes d'aménagement conservées et retirées. Les périodes en rouge représentent une période trop courte pour que le plan d'eau soit conservé. Les cercles verts et rouges à droite de l'image représentent respectivement les cas pour lesquels les plans d'eau ont été conservés et retirés. Les triangles indiquent l'année de l'aménagement.

Afin d'évaluer l'effet des aménagements sur différentes échelles temporelles, différentes périodes avant et après l'aménagement ont été utilisées. La période « PRÉ » correspond aux 5 années avant l'aménagement et la période « PRÉ_10 » aux 10 années avant la période d'aménagement. La période « POST » correspond aux 5 années après la période tampon, alors que la période « POST_10 » correspond aux 10 années après la période tampon. Nous avons aussi utilisé la période « POST_5 » qui correspond aux 5 années après la période « POST ». Ces périodes sont illustrées à la figure 3.

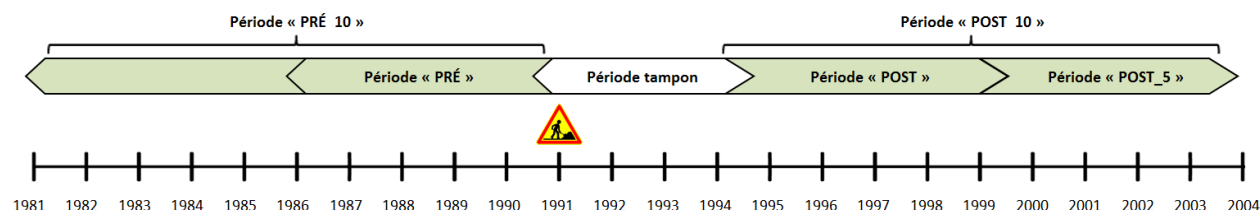


Figure 3. Schéma des périodes d'aménagement utilisées. Le triangle indique un exemple d'année d'aménagement.

2.1.3 Lacs témoins

Puisque les valeurs moyennes des indicateurs de pêche à l'omble de fontaine du Québec ont aussi augmenté ou diminué tout au long de la période étudiée (Plourde-Lavoie 2014), un patron expérimental de type « avant-après » a été employé pour les analyses statistiques (Stewartoaten et coll. 1986). Ce type d'analyse permet d'effectuer des comparaisons valables entre les populations aménagées et non aménagées en retirant l'effet des tendances naturelles des populations. À cette fin, une base de données de lacs témoins situés en territoires fauniques structurés et pour lesquels il n'y avait aucune mention d'aménagement a été utilisée.

Une période d'aménagement fictive a été attribuée pour chaque lac témoin. Afin que les étendues temporelles couvertes par les deux groupes soient comparables, les périodes d'aménagement fictives ont été définies en s'assurant que la moyenne et l'écart-type des périodes aménagées pour le groupe témoin soient les mêmes que pour le groupe aménagé. Ensuite, les périodes d'aménagement fictives créées étaient distribuées aléatoirement aux lacs témoins. Les périodes avant et après l'aménagement fictif ont été définies pour chaque lac témoin de la même façon que pour les lacs aménagés. Un sous-échantillon de lacs a été sélectionné aléatoirement dans la banque de lacs témoins pour chaque analyse.

2.2 Analyses statistiques

2.2.1 Comparaison des lacs aménagés et des lacs témoins

Afin de s'assurer que les plans d'eau aménagés et les plans d'eau témoins étaient semblables, des tests de t de Student ont été réalisés entre les valeurs moyennes des caractéristiques physiques des lacs (superficie, périmètre, profondeur, etc.) de chacun des groupes. Les données de pêche sportive de la période avant l'aménagement ont également été comparées entre les lacs aménagés et les lacs témoins en évaluant les valeurs moyennes (avec un test de t de Student) puis les tendances temporelles (avec des corrélations de Spearman) pour les 10 années précédant l'aménagement. Les proportions du nombre de lacs dans chaque groupe (tendance à la hausse, à la baisse ou stable) ont été comparées à partir d'un test de khi carré.

2.2.2 Effet des aménagements sur les données de pêche sportive

La moyenne de chacun des indicateurs de pêche (tableau 3) « POST » aménagement a été comparée avec la valeur « PRÉ » aménagement pour chaque plan d'eau. Chaque paire est ainsi utilisée comme son propre contrôle, réduisant l'erreur et augmentant la puissance statistique (Borenstein et coll. 2009). Des tests de t de Student pour échantillons appariés ont été réalisés afin d'évaluer si les indicateurs de pêche sont significativement différents entre les périodes PRÉ et POST aménagement.

Considérant la grande quantité de données utilisée et la variabilité des données de pêche sportive, des techniques inspirées de celles ayant servi dans les méta-analyses ont ensuite été employées. Cette approche est appropriée pour calculer l'effet global résultant d'un aménagement et est plus précise puisque le poids de chaque plan d'eau dans l'analyse est pondéré en fonction de sa variance. Les méta-analyses présentent les changements globaux des indicateurs de pêche sportive et permettent de comparer l'effet des aménagements aux variations naturelles des populations.

Afin de quantifier l'effet des aménagements sur la qualité de la pêche sportive à partir d'outils méta-analytiques, deux types de réponses, fréquemment employés dans les méta-analyses (Hedges et coll. 1999, Bond et coll. 2003, Borenstein et coll. 2009), ont été évalués. La première réponse est la différence entre les moyennes des périodes POST et PRÉ aménagement et se calcule ainsi :

$$\textit{Différence des moyennes} = \bar{X}_{POST} - \bar{X}_{PRE}$$

Ce type de réponse a l'avantage de représenter une mesure directe de la différence entre les périodes après et avant aménagement.

La deuxième réponse est le ratio des moyennes, soit la moyenne POST par rapport à la moyenne PRE aménagement et se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$\textit{Ratio des moyennes} = \frac{\bar{X}_{POST}}{\bar{X}_{PRE}}$$

L'avantage d'utiliser le ratio est que le changement est mesuré par rapport à la valeur moyenne initiale du lac, et non par rapport à une valeur absolue (Hedges et coll. 1999).

Le modèle utilisé pour calculer l'effet global des aménagements sur les deux types de réponses précédemment présentés est un modèle à effet aléatoire (Borenstein et coll. 2009). Ce modèle considère que la variabilité de l'effet global (dans ce cas-ci, la réponse aux aménagements) peut fluctuer d'une population à l'autre (p. ex. la réponse pourrait s'avérer positive pour certains types de lacs et négative pour d'autres types). La figure 4 présente un aperçu des résultats que génère ce modèle. La relation entre les réponses des différents indicateurs de pêche (p. ex. pression et succès de pêche) a été analysée à l'aide d'une corrélation de Pearson afin de bien comprendre ces interrelations et de bien discriminer l'effet des aménagements.

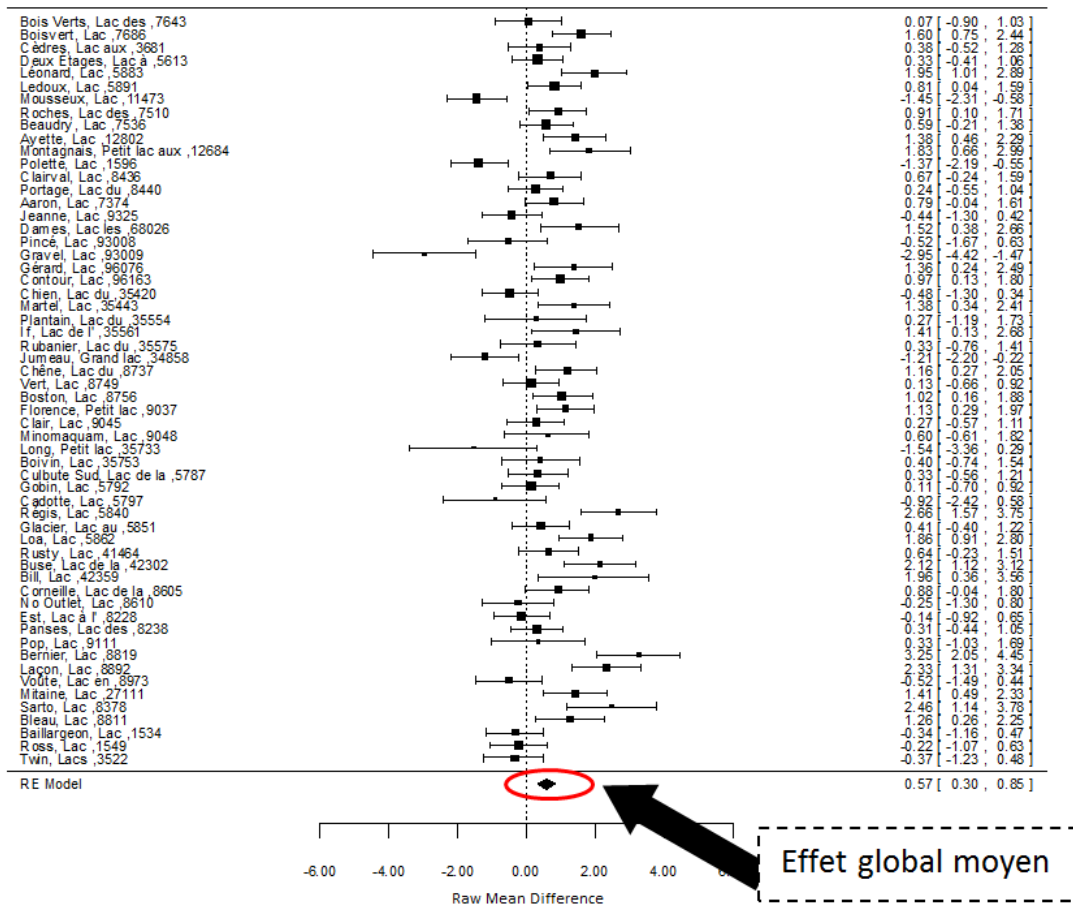


Figure 4. Principe des méta-analyses. Les valeurs à gauche de la ligne pointillée indiquent une diminution de la variable de pêche après aménagement alors que les valeurs à droite indiquent une augmentation. Le poids de chaque population (représenté par la taille des carrés) dans l'analyse est différent et dépend de la variabilité de sa réponse aux aménagements (représentée par les barres d'erreur).

3. Portrait des aménagements au Québec

Parmi les 10 000 aménagements recensés au départ, environ 7500 visaient l'amélioration ou la restauration d'un habitat à omble de fontaine. Ces aménagements en lacs et en cours d'eau ont été associés à 1350 lacs distincts.

Les aménagements visant l'omble de fontaine ont été réalisés entre 1977 et 2014 avec une moyenne entre 1994 et 1995 (figure 5). Le nombre d'aménagements par année a été le plus élevé entre les années 1990 et 2000. Entre 2010 et 2014, le faible nombre de données est dû à certaines mentions d'aménagements qui n'avaient toujours pas été compilées dans les bases de données. Les analyses ayant été réalisées en 2014, cela explique qu'aucun aménagement n'est comptabilisé de 2015 à aujourd'hui.

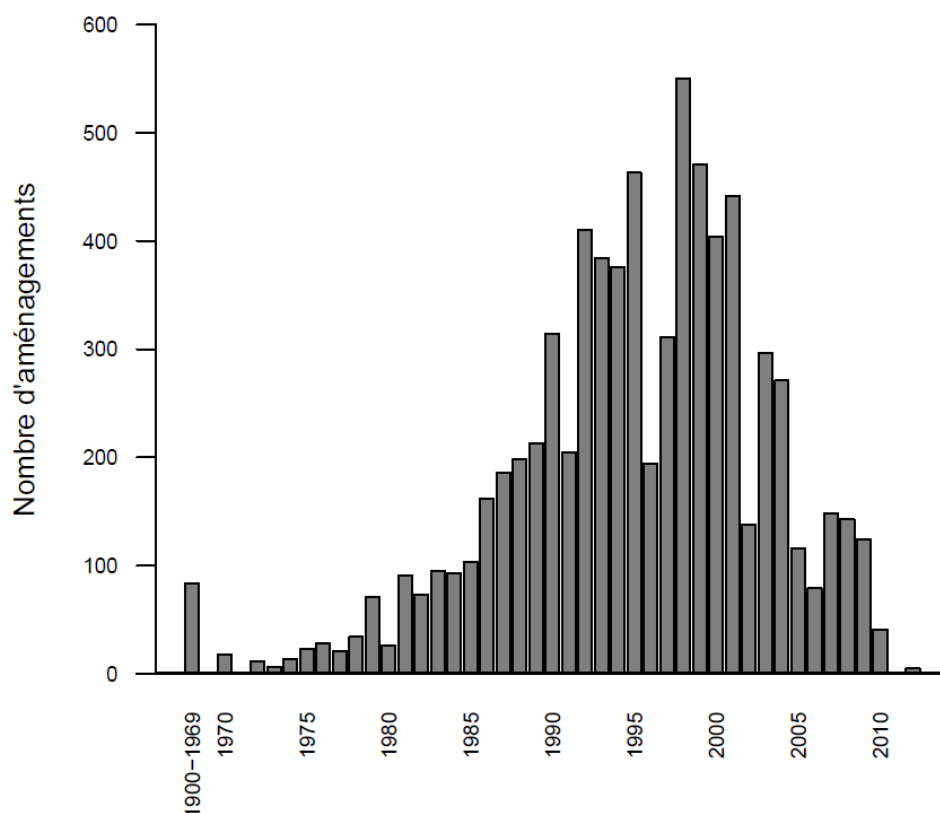


Figure 5. Nombre d'aménagements visant l'omble de fontaine recensés au Québec depuis les années 1900. Les années 1900 à 1969 ont été regroupées puisque le nombre d'aménagements est faible et que les données d'exploitation pour cette période sont incomplètes.

La région de la Capitale-Nationale (03) est celle qui a recensé le plus grand nombre de lacs aménagés, suivie par la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (02) et de la Mauricie (04) (figure 6). Ces trois régions contiennent plus de 80 % des lacs aménagés recensés. C'est également ces trois régions qui contiennent le plus grand nombre de populations d'ombles de fontaine exploitées en territoires fauniques structurés.

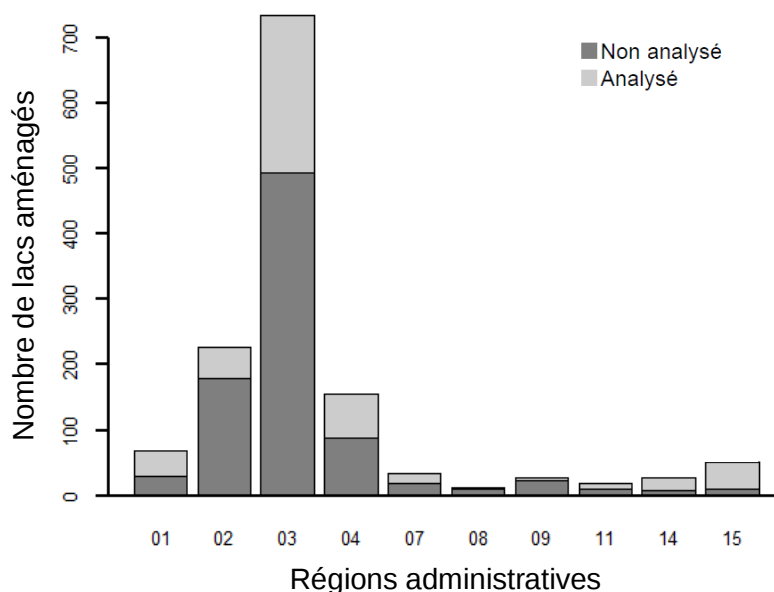


Figure 6. Nombre de lacs aménagés au Québec depuis les années 1900 en fonction des régions administratives du Québec, selon les données répertoriées.

Les zecs dénombrent le plus grand nombre de lacs aménagés, suivies par les réserves fauniques et les pourvoiries à droits exclusifs (figure 7). Cependant, seulement les données provenant des parcs nationaux, des réserves fauniques et des zecs ont été utilisées. Les données provenant des territoires libres sont probablement sous-estimées et n'ont pas été incluses dans les analyses puisqu'aucune donnée de pêche sportive n'est récoltée sur ces territoires.

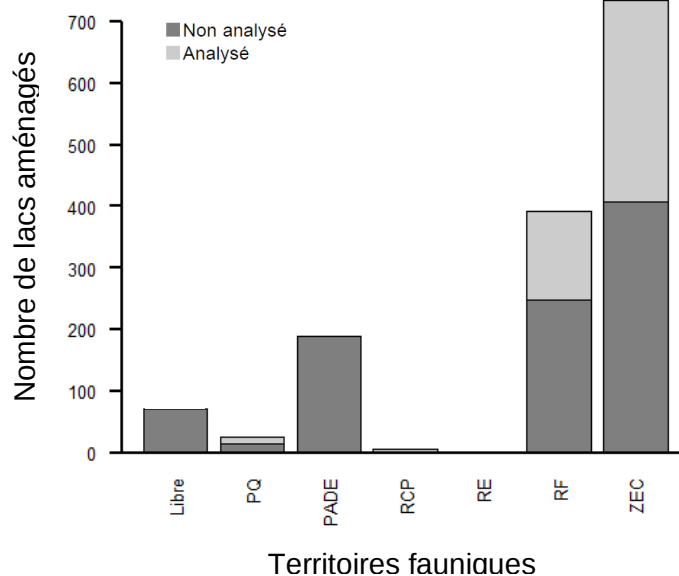


Figure 7. Nombre de lacs aménagés au Québec depuis les années 1900 en fonction du type de territoire. Libre = territoire libre, PQ = parc national du Québec, PADE = pourvoirie à droits exclusifs, RCP = réserve de chasse et pêche, RE = réserve écologique, RF = réserve faunique et ZEC = zone d'exploitation contrôlée.

Le type d'aménagement le plus fréquent est le nettoyage des cours d'eau (figure 8). Toutefois, ces travaux sont généralement effectués de pair avec d'autres aménagements, notamment des frayères, des seuils ou des déflecteurs. Outre le nettoyage des cours d'eau, les méthodes qui ont été les plus couramment utilisées sont les aménagements de frayères et de seuils ainsi que les modifications de cours d'eau, le retrait massif d'espèces compétitrices et la création d'abris.

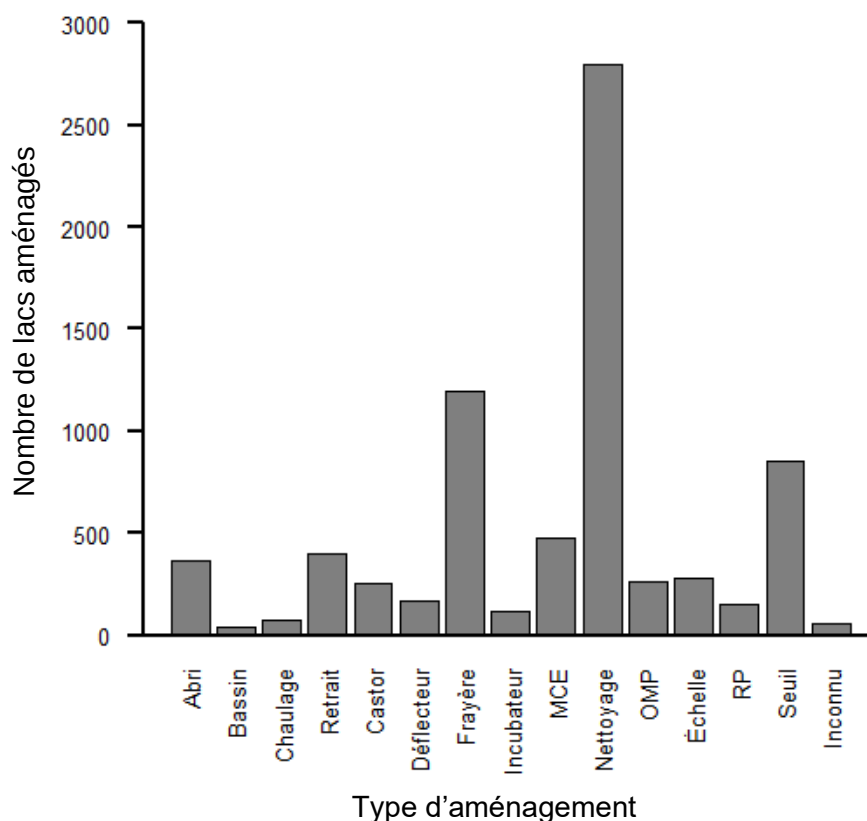


Figure 8. Nombre d'aménagements recensés au Québec depuis les années 1900 en fonction des types d'aménagement. MCE = modification de cours d'eau, OMP = obstacle à la migration des poissons et RP = ruisseau pépinière.

Parmi les aménagements répertoriés, un total de 513 lacs a été conservé en fonction des critères présentés à la section 2.1.1. La figure 9 illustre la répartition et le tableau 4 résume les caractéristiques physiques des lacs aménagés utilisés pour les analyses. Plus de la moitié des lacs analysés abritent des populations en allopatrie (53 %; n = 272). De plus, environ la moitié des lacs analysés ont été aménagés avec une seule catégorie d'aménagement. Seulement 6 % des lacs ont subi cinq types d'aménagement distincts ou plus (le maximum étant huit types d'aménagement).

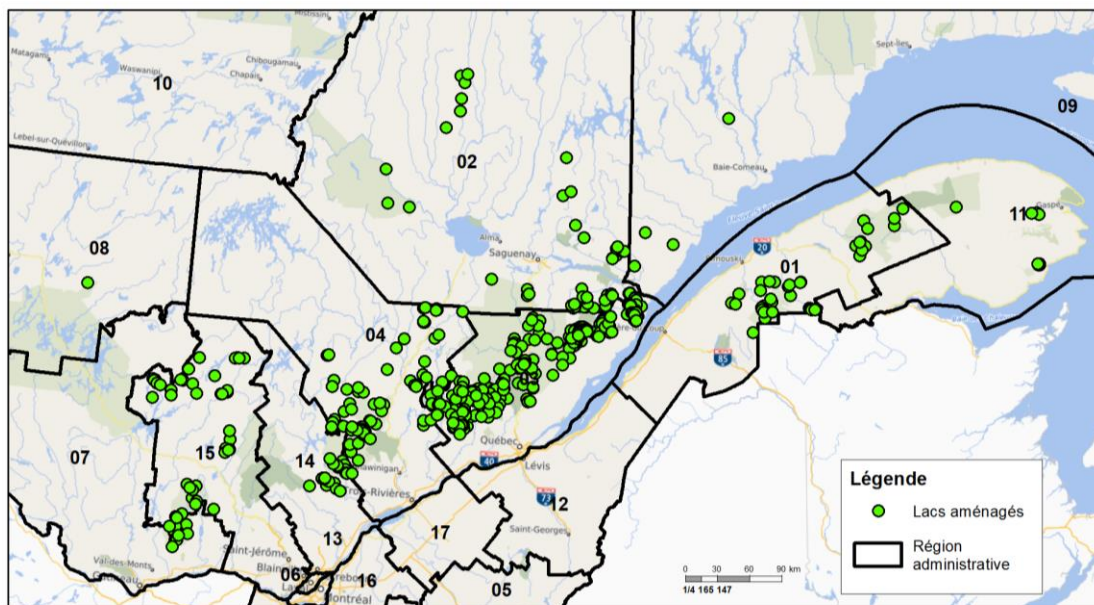


Figure 9. Localisation des lacs aménagés analysés dans cette étude.

Tableau 4. Caractéristiques physiques des lacs aménagés utilisés dans le cadre de l'étude.

Variable	n	Minimum - maximum	Moyenne
Latitude	513	46,4337°N - 49,9537°N	46,9681°N
Longitude	513	72,2314°O - 76,6980°O	71,2314°O
Superficie (ha)	513	1,0 - 769,0	40,0
Périmètre (km)	510	0,4 - 9,9	2,4
Altitude (m)	496	119 - 968	500,5
Profondeur moyenne (m)	204	0,5 - 17,0	4,4
Profondeur maximale (m)	242	0,5 - 52,0	12,6
Indice de développement du littoral ¹	510	1,0 - 4,4	1,6
Indice de permanence du bassin ²	204	0,002 - 2,85	0,4

¹ Rapport entre le périmètre du lac et son périmètre hypothétique s'il était parfaitement circulaire.

² Rapport entre le volume du lac et son périmètre (Kerekes 1977).

4. Efficacité des aménagements

4.1 Comparaison des lacs aménagés et des lacs témoins

Un sous-échantillon a été utilisé pour comparer les caractéristiques physiques et les données d'exploitation des lacs témoins et des lacs aménagés. Les caractéristiques physiques des lacs aménagés et des lacs témoins sont, pour la plupart, non statistiquement différentes (tableau 5). Toutefois, les lacs aménagés sont situés plus au sud et à l'ouest que les lacs témoins, et ils se trouvent plus bas en altitude. Somme toute, les lacs témoins, aléatoirement sélectionnés, sont tout de même comparables aux lacs aménagés.

Tableau 5. Comparaison des valeurs moyennes des caractéristiques physiques entre 299 lacs aménagés (AME) et 285 lacs témoins (TEM).

Variable	Moyennes		<i>t</i>	<i>p</i>
	AME	TEM		
Latitude	47,5641	48,2257	-9,71	<0,001
Longitude	-71,6936	-71,0712	-3,44	<0,001
Superficie (ha)	42,4	50,7	-0,50	0,616
Périmètre (km)	3,4	4,1	-0,94	0,348
Altitude (m)	500,9	547,8	-2,58	0,010
Profondeur moyenne (m)	4,18	5,08	-1,64	0,104
Profondeur maximale (m)	13,2	14,9	-1,13	0,259
Indice de développement du littoral	1,64	1,83	-1,85	0,066
Index de permanence du bassin	0,39	0,49	-1,07	0,286

Les valeurs moyennes des indicateurs de pêche pour la période pré-aménagement sont toutes statistiquement différentes entre les lacs aménagés et les lacs témoins (tableau 6). Le succès et l'indice de qualité étaient plus faibles pour les lacs aménagés que pour les lacs témoins, alors que la masse moyenne était plus élevée. De plus, la pression de pêche était environ 50 % plus élevée dans les lacs aménagés que dans les lacs témoins alors que le rendement était entre 30 et 40 % plus élevé.

Puisque les lacs aménagés sont plus bas en altitude et sont situés plus au sud et plus à l'ouest que les lacs témoins, leur situation géographique peut expliquer certaines différences observées dans les indicateurs de pêche sportive par rapport aux lacs témoins. En effet, le succès de pêche moyen à l'omble de fontaine tend à augmenter avec l'altitude, la latitude et la longitude, alors que la masse moyenne tend à diminuer (Plourde-Lavoie 2014). De plus, les aménagements sont souvent réalisés dans des plans d'eau facilement accessibles et populaires auprès de la clientèle, de façon à rentabiliser les investissements, ce qui peut expliquer la pression de pêche plus élevée pour ces lacs.

Tableau 6. Comparaison des valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive pour la période « PRÉ » aménagement pour 299 lacs aménagés (AME) et 285 lacs témoins (TEM).

Variable	Moyennes		t	p
	AME	TEM		
Succès de pêche	5,30	6,66	-4,75	<0,001
Masse moyenne	219,17	172,24	2,71	<0,001
Indice de qualité	711,5	871,4	-3,98	<0,001
Rendement (kg)	4,74	3,38	3,88	<0,001
Rendement (n ^{bre})	36,34	27,83	2,87	0,004
Pression de pêche	6,78	4,55	5,06	<0,001

Les résultats des corrélations de Spearman montrent que les indicateurs de pêche étaient stables au cours des 10 années précédant l'aménagement pour la majorité des lacs (entre 77 et 89 % des lacs), et ce, autant pour les lacs aménagés que pour les lacs témoins (tableau 7). Le nombre élevé de corrélations non significatives peut résulter d'un faible nombre de données de pêche sportive pour certains lacs. Les résultats indiquent également que les tendances temporelles des indicateurs de pêche de la période avant les aménagements étaient similaires entre les lacs aménagés et les lacs témoins, sauf pour les rendements de pêche qui semblent être plus souvent à la hausse pour les lacs aménagés que pour les lacs témoins.

Tableau 7. Comparaison des résultats des tests de Spearman entre les indicateurs de pêche sportive avant l'aménagement (PRE_10) pour 299 lacs aménagés et 285 lacs témoins. Les valeurs indiquent le pourcentage de plans d'eau pour lesquels l'indicateur est à la baisse, stable ou à la hausse.

Variable	Aménagés			Moyennes			X ²	p
	Baisse	Stable	Hausse	Baisse	Stable	Hausse		
Succès de pêche	8,3	87,0	4,7	10,2	87,3	2,5	0,29	0,319
Masse moyenne	3,3	86,7	10,0	4,3	88,8	6,9	1,57	0,455
Indice de qualité	10,2	84,4	5,4	6,5	89,2	4,3	2,08	0,354
Rendement (kg)	8,0	83,5	8,5	8,3	89,1	2,6	7,44	0,024
Rendement (n ^{bre})	14,3	76,9	8,8	10,9	86,2	2,9	11,17	0,004
Pression de pêche	6,9	86,2	6,9	9,9	84,3	5,8	1,72	0,422

4.2 Corrélation entre les indicateurs de pêche sportive

Il importe de souligner qu'il existe des corrélations significatives entre les réponses des différents indicateurs de pêche sportive (tableau 8). Par exemple, la réponse de l'indice de qualité de pêche aux aménagements est positivement reliée au succès de pêche ($r = 0,412$) et à la masse moyenne ($r = 0,560$). Les changements de la pression de pêche sont négativement corrélés à ceux du succès de pêche ($r = -0,142$). De ce fait, une diminution de la pression de pêche est reliée à une hausse du succès de pêche. Les changements de la pression de pêche sont également fortement corrélés aux changements du rendement en kilogramme ($r = 0,602$) et du rendement en nombre ($r = 0,668$). Ces corrélations sont importantes à prendre en compte dans l'analyse des résultats pour bien discriminer l'effet des aménagements.

Tableau 8. Résultats des corrélations de Pearson entre les différents indicateurs de pêche sportive. Les valeurs utilisées sont les différences des indicateurs entre les périodes POST et PRÉ aménagement. Les valeurs en gras représentent une corrélation statistiquement significative.

	Succès	Masse	Indice de qualité	Rendement (kg)	Rendement (n ^{bre})	Pression
Succès de pêche	1,000					
Masse moyenne	0,014	1,000				
Indice de qualité	0,412	0,560	1,000			
Rendement (kg)	0,216	0,289	0,570	1,000		
Rendement (n ^{bre})	0,335	0,002	0,183	0,727	1,000	
Pression de pêche	-0,142	0,048	-0,030	0,602	0,668	1,000

4.3 Impacts des aménagements sur les indicateurs de pêche sportive

Le tableau 9 présente les valeurs moyennes pour les périodes « PRÉ » et « POST » aménagement des lacs aménagés ainsi que les résultats du test de t de Student pour des échantillons appariés pour les 513 plans d'eau aménagés. Le succès de pêche et les rendements sont plus faibles après l'aménagement qu'avant. La masse moyenne et la pression de pêche sont plus élevées, tandis que l'indice de qualité de pêche est similaire ($p > 0,05$).

Les tendances significatives observées pour les lacs témoins sont semblables à celles observées pour les plans d'eau aménagés (tableau 10). Toutefois, seuls les succès de pêche et les rendements sont significativement plus faibles après l'aménagement fictif. Aucune différence significative n'a été observée pour les autres indicateurs.

Tableau 9. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) aménagement pour les 513 plans d'eau aménagés. Les valeurs de p indiquent les résultats d'un test t de Student pour échantillons appariés.

Indicateur	Moyennes		p
	PRE	POST	
Succès de pêche	5,30	6,66	<0,001
Masse moyenne	219,17	172,24	<0,001
Indice de qualité	711,5	871,4	<0,001
Rendement (kg)	4,74	3,38	<0,001
Rendement (n ^{bre})	36,34	27,83	0,004
Pression de pêche	6,78	4,55	<0,001

Tableau 10. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) un aménagement fictif pour 485 plans d'eau témoins. Les valeurs de p indiquent les résultats d'un test t de Student pour échantillons appariés.

Indicateur	Moyennes		p
	PRE	POST	
Succès de pêche	6,29	5,68	<0,001
Masse moyenne	177,39	185,49	0,090
Indice de qualité	861,29	831,41	0,113
Rendement (kg)	3,51	3,23	0,020
Rendement (n ^{bre})	28,97	24,56	<0,001
Pression de pêche	4,82	4,52	0,073

Afin de bien différencier l'effet des aménagements des tendances temporelles naturelles des populations d'ombles de fontaine, l'évolution des indicateurs de pêche a été comparée entre les lacs aménagés et non aménagés (lacs témoins) à partir d'outils méta-analytiques. En ce qui concerne les différences des moyennes, les changements observés dans les indicateurs de pêche n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes, à l'exception des rendements et de la pression (tableau 11). Ces deux indicateurs corrélés (tableau 8) ont diminué de façon plus importante pour les plans d'eau aménagés. Toutefois, lorsque la réponse aux aménagements a été calculée à partir du ratio des moyennes, aucune différence significative n'a été observée (tableau 11).

Tableau 11. Comparaison de l'impact des aménagements à partir des techniques méta-analytiques entre 513 lacs aménagés (AME) et 485 lacs témoins (TEM). Les périodes comparées sont les périodes « PRÉ » et « POST ».

Variable	Différence			Ratio		
	AME	TEM	<i>p</i>	AME	TEM	<i>p</i>
Succès de pêche	-0,42	-0,50	0,415	0,91	0,91	0,785
Masse moyenne	7,89	7,39	0,793	1,07	1,06	0,470
Indice de qualité	-10,01	-21,51	0,448	0,97	0,97	0,808
Rendement (kg)	-0,52	-0,24	<0,001	0,85	0,89	0,063
Rendement (n ^{bre})	-2,42	-1,72	0,004	0,85	0,84	0,828
Pression de pêche	-0,39	-0,18	0,017	0,91	0,93	0,481

Afin de vérifier si les aménagements ont eu un effet sur les indicateurs de pêche à plus long terme, les analyses ont aussi été effectuées en utilisant les périodes « POST_5 », « POST_10 » et « PRE_10 » (figure 3). Les résultats de ces analyses complémentaires sont semblables à ceux obtenus en utilisant les périodes « PRE » et « POST ». Aucune amélioration significative des indicateurs de pêche sportive liée aux aménagements n'a été observée.

Les analyses réalisées en utilisant tous les types d'aménagement ont ainsi montré que ces derniers n'ont pas permis d'améliorer de façon significative les indicateurs de pêche sportive. Les changements observés dans les lacs aménagés étaient analogues à ceux observés dans les lacs témoins. Ces résultats indiquent que, globalement, les aménagements n'ont pas été efficaces, et ce, à court et à long terme.

Le jeu de données ne permettait pas d'isoler l'effet d'un seul type d'aménagement, car dans la majorité des cas, plusieurs types d'aménagement ont été effectués sur un même plan d'eau. Des analyses ont été réalisées pour comparer l'effet de la communauté de poissons (p. ex. allopatrie et sympatrie), des ensemencements et des caractéristiques des plans d'eau sur l'efficacité des aménagements, mais ces analyses n'ont pas été concluantes.

4.4 Impacts des aménagements de frayères sur les indicateurs de pêche sportive

Considérant que l'aménagement de frayères est susceptible d'influer de façon plus importante sur l'abondance des populations d'ombles de fontaine que les autres aménagements et qu'il est le plus fréquent type d'aménagement employé après le nettoyage des cours d'eau, les mêmes analyses ont été effectuées en utilisant uniquement les plans d'eau sur lesquels au moins une frayère a été aménagée.

Les résultats des tests de Student pour échantillons appariés indiquent que le succès de pêche était significativement plus faible après l'aménagement de frayères qu'avant. Par contre, l'indice de qualité de la pêche était plus élevé (tableau 12). Aucune différence significative n'a été mesurée pour les autres indicateurs.

Tableau 12. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) aménagement pour les 185 plans d'eau sur lesquels au moins une frayère a été aménagée. Les valeurs de p indiquent les résultats d'un test t de Student pour échantillons appariés.

Indicateur	Moyennes		p
	PRE	POST	
Succès de pêche	4,35	3,87	<0,001
Masse moyenne	250,0	270,8	0,062
Indice de qualité	693,3	828,5	0,041
Rendement (kg)	4,49	4,04	0,067
Rendement (n ^{bre})	29,18	26,27	0,092
Pression de pêche	6,46	6,49	0,952

Pour les lacs témoins, les comparaisons des valeurs moyennes révèlent aussi que le succès de pêche était significativement plus faible après un aménagement fictif (tableau 13). Toutefois, l'indice de qualité est resté stable ($p>0,05$). Aucune autre différence significative n'a été observée.

Tableau 13. Valeurs moyennes des indicateurs de pêche sportive avant (PRE) et après (POST) un aménagement fictif pour 199 plans d'eau témoins. Les valeurs de p indiquent les résultats d'un test t de Student pour échantillons appariés.

Indicateur	Moyennes		p
	PRE	POST	
Succès de pêche	6,02	5,71	0,027
Masse moyenne	189,7	198,7	0,336
Indice de qualité	910,3	861,79	0,119
Rendement (kg)	3,73	3,56	0,548
Rendement (n ^{bre})	24,10	21,66	0,113
Pression de pêche	4,44	4,31	0,749

Les résultats obtenus à partir des techniques méta-analytiques pour les plans d'eau sur lesquels au moins une frayère a été aménagée (tableau 14) amènent aux mêmes constatations. Les tendances des indicateurs de pêche sont similaires pour les lacs témoins et pour les lacs aménagés. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

Tableau 14. Comparaison de l'impact des frayères aménagées à partir des techniques méta-analytiques entre 182 lacs où au moins une frayère a été aménagée (AME) et 199 lacs témoins (TEM). Les périodes comparées sont les périodes « PRÉ » et « POST ».

Variable	Différence			Ratio		
	AME	TEM	<i>p</i>	AME	TEM	<i>p</i>
Succès de pêche	-0,32	-0,30	0,901	0,92	0,94	0,588
Masse moyenne	12,22	8,51	0,304	1,08	1,05	0,238
Indice de qualité	13,00	-19,41	0,280	1,01	0,98	0,555
Rendement (kg)	-0,28	-0,17	0,300	0,89	0,91	0,737
Rendement (n ^{bre})	-1,07	-1,89	0,019	0,88	0,85	0,604
Pression de pêche	-0,35	-0,21	0,287	0,90	0,93	0,592

Ainsi, l'aménagement de frayères n'a globalement pas eu d'incidence sur les statistiques de pêche sportive à court terme puisqu'on observe les mêmes tendances sur les lacs témoins. Les analyses ont également été réalisées en se servant des périodes « POST_5 », « PRÉ_10 » et « POST_10 ». Les résultats étaient similaires, et aucune différence entre les lacs aménagés et les lacs témoins n'a été observée.

5. Discussion

Ces travaux ont permis de colliger les données d'environ 7500 aménagements réalisés partout dans la province sur 1350 plans d'eau à omble de fontaine et d'évaluer l'effet de ces travaux sur la qualité de la pêche sportive. À notre connaissance, aucune étude antérieure sur le sujet n'a utilisé autant de données sur une échelle spatiotemporelle aussi considérable.

Les différentes analyses ont permis de révéler que, globalement, les aménagements réalisés au Québec durant les dernières décennies n'ont pas eu d'effet significatif sur la pêche sportive. Aucune des analyses menées, tant pour l'ensemble des aménagements que lorsque seuls les aménagements de frayères ont été considérés, n'a permis de démontrer une augmentation globale de la qualité de la pêche sportive après l'intervention. La majorité des indicateurs sont restés stables ou ont diminué tout comme cela a été le cas dans les lacs témoins n'ayant subi aucun aménagement d'habitat. Enfin, le recours à différentes échelles temporelles a montré que les aménagements n'ont globalement pas eu d'incidence sur la pêche sportive, et ce, autant à court qu'à plus long terme.

Malgré l'utilisation répandue des aménagements d'habitats depuis plusieurs décennies, leur efficacité fait toujours l'objet de débats dans la littérature scientifique. Des études passées ont mis en évidence que les aménagements peuvent être efficaces (Hunt 1988, Benoît et Lachance 1989, Gowan et Fausch 1996, Avery 2004, Binns 2004, Palm et coll. 2007, Gobeil 2010, White et coll. 2011, Foote et coll. 2020), tandis que d'autres arrivent à des constatations moins probantes (p. ex. Thompson 2006, Stewart et coll. 2009). Bien que la diversité, l'abondance et la biomasse locale puissent augmenter aux endroits aménagés dans certaines études, ces dernières n'arrivent pas à démontrer que cette augmentation n'est pas simplement le résultat d'une immigration et d'une redistribution des poissons vers des habitats préférentiels plutôt qu'une augmentation de la productivité globale de la population (recrutement, survie, croissance) (Roni et coll. 2008, Lavelle et coll. 2021).

Différents facteurs peuvent avoir influencé le taux d'efficacité des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine observé dans cette étude. Les hypothèses avancées ci-dessous ont probablement toutes contribué à divers degrés aux résultats observés.

Hypothèse 1) La pression de pêche élevée sur les lacs aménagés pourrait avoir masqué l'effet des aménagements

La pression de pêche sur les plans d'eau aménagés était en moyenne 1,5 à 2 fois plus élevée que celle sur les lacs non aménagés (témoins), ce qui a possiblement contribué à la décision de réaliser des aménagements sur ces plans d'eau. Malgré cela, les indicateurs de pêche sportive sur les lacs aménagés n'étaient pas plus en déclin que ceux sur les lacs non aménagés. Il est donc possible que ces indicateurs aient diminué davantage si des aménagements n'avaient pas été réalisés. Dans l'étude de Gobeil (2010), qui a observé un effet positif des aménagements, la différence de la pression de pêche entre le groupe contrôle et le groupe de lacs aménagés était moindre.

Hypothèse 2) La variabilité des indicateurs de pêche sportive utilisés masque l'effet des aménagements sur la population

Puisque les aménagements sont souvent réalisés dans l'objectif d'améliorer la qualité de la pêche sportive, cette étude a utilisé les indicateurs de pêche sportive pour évaluer l'efficacité des aménagements. Bien que ces données soient fiables, elles présentent une certaine variabilité qui a pu limiter notre capacité à détecter de faibles changements dans la qualité de la pêche.

Par ailleurs, les aménagements pourraient avoir eu un faible effet positif sur l'abondance et la biomasse d'ombles de fontaine, sans que cet effet ne soit significatif sur la qualité de pêche. Cette étude ne permet toutefois pas d'analyser cette hypothèse, car aucune donnée sur l'abondance et la biomasse totale

d'ombles de fontaine dans le plan d'eau issue d'inventaires ichtyologiques menés avant et après les aménagements n'est disponible.

Hypothèse 3) La problématique et les facteurs limitants ont été mal évalués avant l'aménagement

L'efficacité des aménagements peut dépendre des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu (Cramer 2012). L'aménagement réalisé peut ne pas corriger les facteurs limitants de l'habitat, faute de connaissances approfondies sur le plan d'eau (Stewart et coll. 2009). L'efficacité peut aussi être limitée par une problématique qui persiste à l'échelle du bassin versant (p. ex. ponceau défaillant, apport en sédiments d'origine anthropique, bandes riveraines non fonctionnelles, quantité et qualité de l'eau) (Cramer 2012). Malheureusement, les études d'avant-projet ayant pour but de mieux déterminer les facteurs limitants semblent rares ou de portée limitée. Dans plusieurs cas, il nous apparaît nécessaire de mener des études plus exhaustives avant d'entreprendre un aménagement afin de maximiser les chances de réussite.

Bien que les raisons précises pour lesquelles les aménagements ont été réalisés n'aient pas été connues lors de cette étude, ceux-ci sont majoritairement réalisés pour rétablir, maintenir ou améliorer la qualité de la pêche sportive. La décision d'aménager l'habitat d'un plan d'eau est souvent prise en se basant principalement sur les données de pêche sportive, sans avoir de données probantes sur l'habitat ou la population. La problématique étant potentiellement mal établie au départ, les aménagements n'ont pas agi sur le facteur limitant et l'objectif n'a pas été atteint (Stewart et coll. 2009).

Dans leur article synthèse, Roni et coll. (2008) ont notamment conclu qu'une partie des projets de restauration de l'habitat a échoué en raison d'une mauvaise évaluation des conditions historiques et des facteurs limitants avant l'installation des structures et que leur réalisation s'appuie souvent sur l'hypothèse que ces projets allaient inévitablement augmenter l'abondance et la biomasse des populations de salmonidés.

Les problèmes à l'échelle des bassins versants liés entre autres aux processus hydrogéomorphologiques (p. ex. aire de coupe, bande riveraine, ruisseaux intermittents, apport en sédiments, connectivité, ponceaux, routes, hydrologie) sont des éléments à évaluer davantage et demandent une expertise pluridisciplinaire (p. ex. technicien de la faune, biologiste, géomorphologue, ingénieur, hydrologue) (Roni et coll. 2008, Cramer 2012). La problématique de la surpêche doit aussi être bien évaluée lors de l'étude d'avant-projet.

Hypothèse 4) Le choix et la conception générale des aménagements ont été inadéquats

Le choix du type d'aménagement peut ne pas avoir été adéquat pour répondre à la problématique existante. Pour être efficace, l'aménagement doit améliorer les facteurs limitants de l'habitat d'un plan d'eau donné pour l'espèce et le stade de vie visés. Autrement, les aménagements réalisés peuvent s'avérer totalement inefficaces. De plus, même s'ils sont présumés, avec ou sans raison valable, être une solution à une problématique établie, ils peuvent être inefficaces et même dommageables (p. ex. nettoyage intensif de cours d'eau). La sélection du type d'aménagement requis doit donc s'appuyer sur des connaissances scientifiques à jour afin d'optimiser le succès de la démarche.

En plus de choisir le bon type d'aménagement pour la problématique existante, il est nécessaire de bien situer, concevoir et réaliser l'aménagement. Plusieurs éléments sont à considérer (hydrogéomorphologie, localisation, configuration, nombre et positions des structures, qualité de conception et des matériaux, etc.) (Roni et coll. 2008, Binns 2004, Cramer 2012) et peuvent influencer le succès de la démarche. L'intégration des concepts et connaissances en hydrogéomorphologie aux projets d'aménagement de l'habitat est un élément clé de la réalisation d'aménagements efficaces et durables dans le temps (Foote et coll. 2020). Au Québec, il existe quelques guides d'aménagement des habitats aquatiques qui présentent différentes techniques d'aménagement (p. ex. Fondation de la faune du Québec et ministère de l'Environnement et de la Faune 1996, AECOM 2009, Fleury et Boula 2012). L'utilité et l'efficacité de techniques d'aménagement présentées dans ces guides sont toutefois remises en question considérant que les connaissances en hydrogéomorphologie n'ont pas encore été intégrées adéquatement (Biron 2017, Biron et coll. 2018).

Cette lacune pourrait expliquer en partie les résultats de cette étude, entre autres par la vulnérabilité des aménagements réalisés dans des cours d'eau plus dynamiques (p. ex. ensablement de frayères ou transport du gravier des frayères aménagées lors de crues) ou par la présence d'obstacles à la connectivité. De plus, lorsque les aménagements ne sont pas conçus en respectant les processus hydrogéomorphologiques naturels, leur durabilité peut être de courte durée (Cramer 2012). D'ailleurs, les taux de défaillance des aménagements réalisés à partir de bois et de roches dans les cours d'eau d'Amérique du Nord sont très variables, s'étendant de 0 à 85 % (Roni et coll. 2008).

Hypothèse 5) Le suivi post-aménagement et l'entretien ont été déficients

Une lacune importante existe quant à la durée et à la qualité des suivis post-aménagement (Roni et coll. 2008, Whiteway et coll. 2010, Foote et coll. 2020). Bien que 10 années puissent être nécessaires pour constater l'effet d'un aménagement, les suivis sont souvent effectués sur une période de moins de 5 ans (Smokorowski et Pratt 2007, Foote et coll. 2020). Le suivi post-aménagement est toutefois une démarche essentielle pour mesurer et optimiser l'efficacité des aménagements (Cramer 2012). Des suivis normalisés doivent être faits 1) pour évaluer l'état de l'aménagement (durabilité) et la nécessité de réaliser un entretien et 2) pour déterminer l'efficacité à long terme de l'aménagement tant sur l'habitat aquatique que sur les populations de poissons et la qualité de la pêche sportive.

En raison du faible nombre de suivis documentés disponibles, il est difficile d'évaluer si la durabilité ou l'absence d'entretien des structures pourraient expliquer l'inefficacité de certains aménagements. Toutefois, une petite analyse complémentaire à cette étude (MELCCFP, non publié) a révélé que de nombreux aménagements répertoriés n'étaient plus fonctionnels ou avaient même disparu, ce qui semble appuyer cette hypothèse. Dans son projet, Gobeil (2010) a utilisé des plans d'eau où les aménagements étaient suivis annuellement afin de s'assurer qu'ils étaient en bon état, ce qui peut avoir contribué à l'amélioration significative de la qualité de la pêche observée dans les résultats de son projet.

6. Recommandations

Les résultats de cette étude indiquent que, globalement, les aménagements réalisés au Québec dans les dernières décennies n'ont pas permis d'améliorer la qualité de la pêche sportive à l'omble de fontaine sur les plans d'eau aménagés. Différentes hypothèses ont été émises, celles-ci ayant également été mentionnées dans d'autres études sur le sujet. Peu de données concernant les aménagements réalisés sont disponibles, ce qui rend difficile une analyse plus approfondie pour tenter de comprendre ces résultats.

L'ensemble des étapes conduisant à un aménagement, de l'étude d'avant-projet au suivi et à l'entretien, en passant par la mise en place de l'aménagement, doit être mené avec diligence pour maximiser les chances de succès. La réalisation inadéquate ou l'omission d'une étape peut compromettre l'atteinte des objectifs du projet. Les aménagements ne devraient pas être perçus comme une solution à tous les problèmes, entre autres lorsque la qualité de la pêche ne répond pas aux attentes. Les causes, dont la surpêche, doivent être bien investiguées au départ avant de commencer un aménagement.

La priorité devrait également être accordée à la protection des habitats aquatiques et de la connectivité ainsi qu'à la restauration des processus hydrogéomorphologiques avant d'envisager la mise en place d'aménagements de l'habitat. Les connaissances en hydrogéomorphologie et les approches proposées par cette science, qui remettent en question certaines méthodes d'aménagement habituelles, dont le nettoyage des cours d'eau, doivent être intégrées dans une démarche plus complète d'aménagement des habitats. Il est d'essentiel d'optimiser la stratégie d'aménagement de l'habitat pour l'omble de fontaine au Québec afin que ces investissements apportent des bénéfices tangibles pour la mise en valeur de cette espèce importante pour la pêche récréative.

Les résultats de cette étude, appuyés par d'autres constatations similaires sur l'efficacité des aménagements de l'habitat du poisson dans la littérature scientifique, démontrent qu'il y a un effort important à déployer pour mieux comprendre et utiliser les aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec. Le présent document ne précise pas toutes les mesures à envisager en ce sens, mais il a pour but de susciter une réflexion profonde, un changement d'approche et une démarche mieux structurée et normée. Dans cette optique, cinq recommandations prioritaires sont énoncées afin d'amorcer le travail visant à améliorer nos connaissances et à revoir nos façons de faire. Ces recommandations devront être détaillées et bonifiées, le cas échéant, en collaboration avec les principaux acteurs concernés.

1) Analyser davantage les caractéristiques des projets d'aménagement afin **de déterminer les facteurs de réussite**

Globalement, les aménagements n'ont pas permis d'améliorer de façon significative la qualité de la pêche sportive au Québec. Il est toutefois probable que, dans certains cas, les aménagements ont permis d'atteindre cet objectif. Considérant le nombre élevé d'aménagements analysés dans le cadre de cette étude et le manque d'information disponible sur ceux-ci, il est difficile d'établir les conditions ayant pu contribuer au succès de certains aménagements. Plusieurs facteurs peuvent influencer les chances de réussite d'un aménagement (conditions physiques, chimiques et biologiques du milieu, choix et conception de l'aménagement, compréhension de l'hydrogéomorphologie du bassin versant, entretien de l'aménagement, etc.; Roni et coll. 2008, Stewart et coll. 2009, Cramer 2012). Il serait pertinent de vérifier s'il est possible d'isoler certains facteurs communs aux aménagements qui semblent avoir donné des résultats plus probants. Des études expérimentales, y compris des relevés sur le terrain, seront nécessaires pour rassembler les données requises pour déterminer les facteurs de réussite d'aménagements passés et futurs.

2) Effectuer des **études d'avant-projet** pour mieux évaluer la problématique et les éléments limitants de l'habitat

Au Québec, les études d'avant-projet pour les projets d'aménagement doivent être plus complètes afin de s'assurer de la pertinence d'intervenir et, le cas échéant, d'optimiser le succès des interventions. Ces

études doivent s'appuyer sur des protocoles normalisés et traiter des différents attributs physiques, chimiques et biologiques du plan d'eau et du bassin versant, le cas échéant. Ces données doivent permettre de dresser un portrait complet pour bien documenter l'ensemble des éléments touchant la productivité du plan d'eau et les rendements de pêche, plutôt que se concentrer uniquement sur le ou les endroits où des aménagements pourraient être requis. Ces informations doivent être à la base des décisions prises par la suite pour bien comprendre la dynamique de l'écosystème, les facteurs limitants, les possibilités d'interventions ainsi que les stratégies de restauration et d'aménagement potentielles. Un guide diagnostique devrait être produit pour mieux encadrer les intervenants dans leurs études d'avant-projet, optimiser leur prise de données et les orienter vers la meilleure solution selon le contexte. Étant donné les coûts et les efforts importants investis dans l'aménagement de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec, il sera essentiel de consacrer davantage de ressources à l'établissement d'un diagnostic fiable afin de maximiser l'efficacité et les retombées des projets.

3) **Prioriser les interventions** selon l'approche suivante (basée sur Roni et coll. 2008, Cramer 2012 et Biron 2017) :

1. **Protéger les habitats.** Protéger les habitats aquatiques en optimisant les normes de protection associées aux activités anthropiques et en priorisant les secteurs possédant des habitats non perturbés et de haute qualité (habitats essentiels, refuges et sous-bassins importants).
2. **Connecter les habitats.** Connecter les habitats rendus inaccessibles par la présence de ponceaux, de digues ou d'autres constructions artificielles.
3. **Restaurer les processus de formation d'habitats propres au bassin versant.** Utiliser des techniques de restauration de bassins versants pour restaurer les processus qui créent, diversifient, maintiennent et connectent les habitats, ce qui comprend la restauration du transit sédimentaire naturel, des grands débris ligneux, du régime hydrologique, d'une bande riveraine de qualité et suffisamment large, de la connectivité avec la plaine inondable, de la qualité de l'eau et des processus de migration du chenal. Utiliser, en fonction des besoins, une combinaison de techniques de restauration passive et active.
4. **Améliorer les habitats.** Modifier et créer des habitats aquatiques entre autres par l'installation de structures dans le cours d'eau. La conception de projets d'aménagement doit se baser sur les concepts de géomorphologie fluviale et favoriser des aménagements qui demandent peu ou pas d'entretien ainsi que l'utilisation de matériaux naturels.

4) Augmenter la **durée** et la **qualité des suivis** post-aménagement

Les suivis sont d'abord nécessaires pour évaluer l'état de l'aménagement et apporter des correctifs ou effectuer un entretien au besoin. Il a été observé que certains aménagements n'ayant pas été entretenus ont tout simplement disparu. Pour être efficace et rentable, un aménagement se doit d'être fonctionnel à long terme. Plusieurs revues de littérature et méta-analyses ont mentionné l'importance d'effectuer un suivi complet à long terme après un aménagement (p. ex. Roni et coll. 2008, Whiteway et coll. 2010), particulièrement pour évaluer son efficacité. Pour maximiser la durabilité des projets d'aménagement, leur conception doit se baser sur les concepts de géomorphologie fluviale et favoriser des aménagements qui demandent peu ou pas d'entretien. De plus, les suivis doivent être réalisés régulièrement pour maximiser les chances de succès en s'assurant que les aménagements jouent toujours leur rôle.

En plus de vérifier l'intégrité des aménagements effectués, les suivis doivent permettre d'évaluer adéquatement leur efficacité tant sur l'habitat aquatique que sur les populations et la qualité de la pêche sportive. Actuellement, lorsqu'il est disponible, ce suivi des aménagements consiste souvent en une évaluation sommaire qualitative (p. ex. observation de géniteurs, de nids ou d'alevins sur une frayère) et à court terme (de 1 à 3 ans). Il n'est donc pas possible de quantifier adéquatement l'effet de l'aménagement sur les composantes de l'habitat ou sur la population, ni de comparer cette réponse à la situation ayant cours avant l'aménagement. En raison de la grande variabilité interannuelle et du temps nécessaire pour que les changements dans l'habitat se répercutent sur l'abondance des populations de poissons,

particulièrement sur le stade adulte, il faut parfois attendre plus de 5 ans et même 10 ans et plus pour constater l'effet d'un aménagement (Smokorowski et Pratt 2007, Roni et coll. 2008, Foote et coll. 2020). La durée des suivis effectués au Québec à la suite d'un aménagement devrait ainsi être bonifiée et adaptée au type d'aménagement et aux objectifs poursuivis. Ces suivis devraient également s'appuyer, comme pour les études d'avant-projet, sur des protocoles normalisés.

5) **Tester** différentes techniques d'aménagement et **actualiser** les guides d'aménagement

Parmi les documents publiés au Québec sur les aménagements d'habitats pour l'omble de fontaine, plusieurs ont porté spécifiquement sur une description des différentes techniques qui peuvent être utilisées. Toutefois, l'efficacité à long terme des différentes techniques suggérées et leurs impacts sur les populations d'ombles de fontaine ainsi que sur la pêche sportive n'ont que peu été vérifiés. Peu de connaissances existent concernant l'efficacité des différentes techniques d'aménagement (Roni et coll. 2008, Foote et coll. 2020). Il est donc nécessaire de comparer ces techniques dans le cadre d'études expérimentales, afin de cibler les plus efficaces et de déterminer les conditions propices à chacune d'elles. Des guides exhaustifs complets de normalisation des techniques d'aménagement devront préciser les techniques recommandées en fonction du milieu, du diagnostic de l'étude d'avant-projet et des objectifs, ainsi que les suivis et les entretiens à effectuer à long terme.

7. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence que les aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine réalisés au Québec durant les dernières décennies n'ont globalement pas eu d'effet significatif sur la pêche sportive, tant pour l'ensemble des aménagements que pour les aménagements de frayères spécifiquement. L'absence de résultats probants démontrant l'efficacité des aménagements à améliorer les indicateurs de pêche peut s'expliquer par de multiples causes, dont des connaissances insuffisantes sur les facteurs limitant la productivité du plan d'eau, la dynamique de son bassin versant, l'état des populations de poissons, les techniques d'aménagement utilisées et l'entretien des structures. Un effort important doit être déployé pour optimiser la stratégie d'aménagement de l'habitat pour l'omble de fontaine au Québec et déterminer les méthodes à préconiser dans les différentes situations rencontrées afin d'augmenter le succès des aménagements.

Les aménagements de l'habitat sont souvent réalisés dans l'idée qu'ils ne peuvent qu'améliorer l'état des populations et la pêche sportive. Toutefois, les résultats ont montré que, globalement, les bénéfices peuvent se révéler négligeables, ce qui illustre l'importance d'apporter des ajustements notamment pour mieux orienter le soutien financier de ces aménagements fauniques.

Des études d'avant-projet exhaustives ainsi que des suivis post-aménagement adéquats doivent impérativement être réalisées au Québec pour mieux guider la conception des aménagements, assurer leur durabilité et évaluer leur efficacité. De plus, les techniques d'aménagement doivent être revues et testées selon une approche scientifique. Les changements climatiques devront aussi être considérés dans cette démarche.

La mise en œuvre des différentes recommandations énoncées précédemment apportera plus de rigueur à la réalisation des projets d'aménagement au Québec pour l'omble de fontaine. Cette démarche exigera la collaboration et la synergie de tous les intervenants concernés et devra s'inscrire à l'intérieur d'un processus d'amélioration continue. Une restructuration des processus de sélection et de financement des projets d'aménagement et de compensations d'habitats sera nécessaire. Ces ajustements sont essentiels pour optimiser la stratégie d'aménagement de l'habitat pour l'omble de fontaine au Québec afin que les investissements réalisés apportent des bénéfices tangibles à la conservation et à la mise en valeur de cette espèce importante pour la population québécoise.

8. Références bibliographiques

- AECOM. 2009. *Revue de littérature sur l'aménagement de frayères à omble de fontaine en lac*. Rapport présenté à la Fondation de la truite mouchetée. N° de référence 05-1773.
- AVERY, E. L. 2004. *A compendium of 58 trout stream habitat development evaluations in Wisconsin - 1985-2000*. Wisconsin Department of Natural Resources. Bureau of Integrated Science Services. Report 187. Waupaca. Wisconsin.
- BENOÎT, J., S. LACHANCE. 1989. *Évaluation de l'efficacité des aménagements de frayères artificielles*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche.
- BINNS, N. A. 2004. *Effectiveness of habitat manipulation for wild salmonids in Wyoming streams*. North American Journal of Fisheries Management 24: 911-921.
- BIRON, P. M. 2017. La restauration de l'habitat du poisson en rivière : une recension des écrits. Rapport scientifique présenté à la Fondation de la faune du Québec.
- BIRON, P. M., T. BUFFIN-BÉLANGER, S. MASSÉ. 2018. *The need for river management and stream restoration practices to integrate hydrogeomorphology*. The Canadian Geographer 62 : 288-295.
- BOND, C. F., W. L. WIITALA, F. D. RICHARD. 2003. *Meta-Analysis of Raw Mean Differences*. Psychological Methods 8: 406-418.
- BORENSTEIN, M., L. V. HEDGES, J. P. T. HIGGINS, H. R. ROTHSTEIN. 2009. *Introduction to meta-analysis*. Wiley.
- BUJOLD, J. N., M. LEMIEUX, M. ARVISAIS, A. MASSÉ. 2013. *Bilan des projets de restauration à la roténone de populations allopatriques d'omble de fontaine au Québec – Version synthèse*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique, Québec, 15 p.
- CRAMER, M. L. 2012. *Stream Habitat Restoration Guidelines*. Co-published by the Washington Departments of Fish and Wildlife, Natural Resources, Transportation and Ecology, Washington State Recreation and Conservation Office, Puget Sound Partnership, and the U.S. Fish and Wildlife Service. Olympia, Washington.
- ÉCORESSOURCES, 2014. *L'industrie faunique comme moteur économique régional. Une étude ventilant par espèce et par région les retombées économiques engendrées par les chasseurs, les pêcheurs et les piégeurs québécois en 2012*. Préparé pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 42 pages + annexes.
- FLEURY, M., D. BOULA. 2012. *Recommandations pour la planification et la conception d'aménagements d'habitats pour l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis)*. Direction régionale de la gestion des écosystèmes. Ministère des Pêches et des Océans.
- 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*.
- FOOTE, K. J., P. M. BIRON, J. W. A. GRANT. 2020. *Impact of in-stream restoration structures on salmonid abundance and biomass: an updated meta-analysis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 77:1574-1591.

- GOBEIL, P. 2010. *Évaluation des travaux d'aménagement et de restauration des habitats de l'omble de fontaine dans la réserve faunique des Laurentides*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi.
- GOWAN, C., K. D. FAUSCH. 1996. *Long-term demographic responses of trout populations to habitat manipulation in six Colorado streams*. *Ecological Applications* 6: 931-946.
- HEDGES, L. V., J. GUREVITCH, P. S. CURTIS. 1999. *The meta-analysis of response ratios in experimental ecology*. *Ecology* 80: 1150-1156.
- HOUSE, R. 1996. *An evaluation of stream restoration structures in a coastal Oregon stream, 1981–1993*. *North American Journal of Fisheries Management* 16: 272-281.
- HUDY, M., T. M. THIELING, N. GILLESPIE, E. P. SMITH. 2008. *Distribution, status, and land use characteristics of subwatersheds within the native range of brook trout in the Eastern United States*. *North American Journal of Fisheries Management* 28: 1069-1085.
- HUNT, R. L. 1988. *A compendium of 45 trout stream habitat development evaluations in Wisconsin during 1953-1985*. Wisconsin Department of Natural Resources. Technical Bulletin 162.
- JONES, N. E., W. M. TONN. 2004. *Enhancing productive capacity in the Canadian Arctic: assessing the effectiveness of instream habitat structures in habitat compensation*. *Transactions of the American Fisheries Society* 133: 1356-1365.
- KEREKES, J. J. 1977. *The index of basin permanence*. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologia und Hydrographie*. 62:291-293.
- LAVELLE, A. M., M. A. CHADWICK, D. D. A. CHADWICK, E. G. PRITCHARD, N. R. BURY. 2021. *Effects of Habitat Restoration on Fish Communities in Urban Streams*. *Water* 2021, 13,2170.
- MAPAQ. 2019. *Portrait-diagnostic sectoriel sur l'aquaculture en eau douce au Québec*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction des analyses et des politiques des pêches et de l'aquaculture, Québec, 22 pages
- MOERKE, A. H., G. A. LAMBERTI. 2003. *Responses in fish community structure to restoration of two Indiana streams*. *North American Journal of Fisheries Management* 23: 748-759.
- PALM, D., E. BRÄNNÄS, F. LEPORI, K. NILSSON, S. STRIDSMAN. 2007. *The influence of spawning habitat restoration on juvenile brown trout (Salmo trutta) density*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 509-515.
- PÊCHE ET OCÉANS CANADA. 2019. *Enquête sur la pêche récréative au Canada 2015*. N° de catalogue Fs42-1/2015F-PDF.
- PLOURDE-LAVOIE, P. 2014. *Tendances temporelles de la pêche récréative à l'omble de fontaine dans les territoires fauniques structurés du Québec*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi.
- RONI, P., K. HANSON, T. BEECHIE. 2008. *Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques*. *North American Journal of Fisheries Management* 28: 856-890.
- SMOKOROWSKI, K. E., T. C. PRATT. 2007. *Effect of a change in physical structure and cover on fish and fish habitat in freshwater ecosystems – a review and meta-analysis*. *Environmental Reviews* 15: 15-41.

- STEWART, G. B., H. R. BAYLISS, D. A. SHOWLER, W. J. SUTHERLAND, A. S. PULLIN. 2009. *Effectiveness of engineered in-stream structure mitigation measures to increase salmonid abundance: a systematic review*. Ecological Applications 19: 931-941.
- STEWARTOATEN, A., W. W. MURDOCH, K. R. PARKER. 1986. *Environmental impact assessment - Pseudoreplication in time*. Ecology 67: 929-940.
- THOMPSON, D. M. 2006. *Did the pre-1980 use of in-stream structures improve streams? A reanalysis of historical data*. Ecological Applications 16: 784-796.
- VEHANEN, T., A. HUUSKO, A. MÄKI-PETÄYS, P. LOUHI, H. MYKRÄ, T. MUOTKA. 2010. *Effects of habitat rehabilitation on brown trout (Salmo trutta) in boreal forest streams*. Freshwater Biology 55: 2200-2214.
- WHITE, R. J. 1996. *Growth and development of North American stream habitat management for fish*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 342-363.
- WHITE, S. L., C. GOWAN, K. D. FAUSCH, J. G. HARRIS, W. C. SAUNDERS, J. ROSENFELD. 2011. *Response of trout populations in five Colorado streams two decades after habitat manipulation*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 68: 2057-2063.
- WHITEWAY, S. L., P. M. BIRON, A. ZIMMERMANN, O. VENTER, J. W. A. GRANT. 2010. *Do in-stream restoration structures enhance salmonid abundance? A meta-analysis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 67: 831-841.

**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec

