Guide diagnostique pour l’évaluation d’un lac à omble de fontaine avant un aménagement d’habitat

2024







Votre gouvernement

Québec

Coordination et rédaction
Cette publication a été réalisée par la Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique 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.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)
Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Photo de couverture : Renée Gravel, Hugo Mercille et Chris Loebsack

Dépôt légal – 2024
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-555-00030-8 (PDF)

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

Équipe de réalisation

Rédaction

Stéphanie Gagné, biologiste, M. Sc.	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique
Pierre Magnan, professeur émérite	Université du Québec à Trois-Rivières

Collaboration

Jean-Nicolas Bujold	Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique
Julie Deschênes	Direction de la gestion de la faune de l'Outaouais
Nathalie Gélinas	Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec

Révision

Renée Gravel	Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique
Rémy Pouliot	Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique
René Perreault	Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec
Patrick Plourde-Lavoie	Sépaq
Amélie Gilbert	Sépaq
Alexandre Rasiulis	Fondation de la faune du Québec

Référence à citer :

Gagné, S. et P. Magnan. 2024. Guide diagnostique pour l'évaluation d'un lac à omble de fontaine avant un aménagement d'habitat. Ministère de l'environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune, Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique, Québec. 51 pages + annexes.

Table des matières

Équipe de réalisation ____ iii

Table des matières ____ iv

Liste des tableaux ____ vi

Liste des figures ____ vii

Avant-propos ____ ix

Mise en contexte ____ x

1. Introduction ____ 11

2. Morphologie et hydrographie ____ 13

2.1 Effet de la morphologie du plan d'eau sur la productivité naturelle ____ 13

2.2 Caractérisation des paramètres morphométriques et hydrographiques 14

2.3 Évaluation de la morphologie ____ 15

3. Exploitation ____ 17

3.1 Impacts de la surexploitation ____ 17

3.2 Caractérisation de l'exploitation ____ 17

3.3 Évaluation du niveau d'exploitation ____ 20

4. Communauté ____ 23

4.1 Espèces compétitrices ____ 23

4.2 Caractérisation de la communauté ____ 24

4.3 Évaluation du niveau de compétition de la communauté ____ 28

5. Habitat de croissance ____ 29

5.1 Influence des paramètres limnologiques ____ 29

5.2 Caractérisation des paramètres limnologiques ____ 29

5.3 Évaluation de la qualité de l'habitat de croissance ____ 31

6. Habitat de reproduction ____ 33

6.1 Caractéristiques de la reproduction chez l'omble de fontaine ____ 33

6.2 Localisation des sites de reproduction et dénombrement des nids ____ 35

6.3 Évaluation de l'habitat de reproduction ____ 40

7. Autres enjeux potentiels 42

8. Analyse globale : vers un aménagement potentiel? 43

9. Références bibliographiques 45

Annexe 1 – Exemple de fiches terrain pour la saisie des données de stations et de spécimens lors d'une pêche au filet maillant 52

Annexe 2 – Méthode Valin pour estimer le rendement de la pêche récréative à l'omble de fontaine en lac 55

Annexe 3 – Exemple de fiche terrain pour les échantillons d'ADNe 57

Annexe 4 – Effort d'échantillonnage par strate de profondeur en fonction de la superficie du lac pour une pêche expérimentale de communauté avec engins à petites mailles (PECPM) en complément d'une pêche expérimentale normalisée 58

Annexe 5 – Exemple de fiche terrain pour la caractérisation des paramètres limnologiques 59

Annexe 6 – Exemple de fiche de caractérisation d'un ponceau 60

Annexe 7 – Méthode utilisée pour déterminer les valeurs de référence permettant de juger de la quantité de nids répertoriés 61

Liste des tableaux

Tableau 1. Effort de pêche minimal à déployer pour l'inventaire d'une population d'ombles de fontaine en fonction de la superficie totale du plan d'eau ____ 19

Tableau 2. Évaluation du niveau d'exploitation de l'omble de fontaine en fonction des tendances temporelles observées dans les indicateurs de pêche récréative ____ 22

Tableau 3. Liste des principaux prédateurs et compétiteurs de l'omble de fontaine selon leur compétitivité ____ 23

Tableau 4. Nombre d'échantillons d'ADNe à récolter dans la zone littorale pour caractériser la communauté d'un lac à omble de fontaine en fonction de la superficie totale du plan d'eau ____ 25

Tableau 5. Effort d'échantillonnage minimal recommandé pour évaluer le niveau de compétition de la communauté présente dans un lac à omble de fontaine en sympatrie ____ 27

Tableau 6. Niveau de compétition de la communauté en fonction des espèces présentes dans un lac à omble de fontaine ____ 28

Tableau 7. Valeurs de référence pour évaluer la qualité de l'habitat de croissance de l'omble de fontaine à partir des valeurs de température, d'oxygène dissous et de pH du lac ____ 32

Tableau 8. Valeurs de référence pour l'interprétation de la quantité de nids répertoriés dans le lac, ses tributaires et son émissaire ____ 40

Tableau 9. Valeurs de référence pour l'interprétation des caractéristiques des ponceaux au regard de la libre circulation de l'omble de fontaine adulte ____ 40

Tableau 10. Évaluation de la franchissabilité d'un ponceau selon qu'il présente ou non les caractéristiques optimales permettant la libre circulation du poisson ____ 41

Tableau 11. Évaluation de la qualité de chaque site de fraie au regard des risques de colmatage par l'apport de sédiments ____ 41

Liste des figures

Figure 1. Schématisation des éléments de diagnostic à considérer pour l'évaluation du potentiel d'aménagement pour une population d'ombles de fontaine exploitée en lac 12

Figure 2. Relation entre le rendement en omble de fontaine et a) la superficie du lac et b) la profondeur moyenne du lac 13

Figure 3. Exemples de lacs ayant un indice de développement du littoral faible (a : lac presque rond) et élevé (b : lac sinueux) 15

Figure 4. Exemples de lacs ayant un indice de développement du volume près de 1 (a : forme de verre d'eau), près de 0,66 (b : forme parabolique) et près de 0,33 (c : forme conique) 16

Figure 5. Représentation schématique d'un filet expérimental normalisé pour l'omble de fontaine 18

Figure 6. Mesures courantes de la longueur chez un poisson 19

Figure 7. Exemple de a) diminution observée dans le succès de pêche et la masse moyenne des captures malgré b) la stabilité du rendement et de la pression de pêche 21

Figure 8. Méthodes de filtration des échantillons d'ADNe : a) pompe ou b) tête de seringue munie d'un filtre 25

Figure 9. Représentation schématique d'un engin de capture à petites mailles utilisé pour un inventaire de communauté (PECPM) 26

Figure 10. Pas d'échantillonnage à respecter pour le profil d'oxygène, de pH et de température de l'eau au point le plus profond du lac 30

Figure 11. Photo d'œufs embryonnés où l'on distingue facilement les œufs morts (blancs) 34

Figure 12. Photos de nids d'omble de fontaine 36

Figure 13. Schéma des mesures à prendre et méthode pour calculer la pente d'un ponceau 38

Figure 14. Illustration de la mesure de la hauteur a) d'une chute ou b) d'une cascade à la sortie d'un ponceau 39

Figure 15. Illustration de la mesure de la hauteur du seuil en aval d'un ponceau 39

Figure 16. Outil d'aide à la décision visant à orienter les actions potentielles pour améliorer la qualité de la pêche récréative d'un lac à omble de fontaine en milieu forestier _____ 44

Avant-propos

Ce document est la première version d'un guide visant à regrouper et adapter différents protocoles qui permettront de poser un diagnostic sur l'état d'une population d'ombles de fontaine exploitée en lac, dans un contexte d'évaluation des possibilités d'aménagement de l'habitat. L'utilisateur est invité à transmettre ses commentaires et recommandations au chargé de projet de la Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique afin de bonifier ce guide dans ses versions ultérieures.

Mise en contexte

Le *Bilan des aménagements de l'habitat de l'omble de fontaine au Québec* (Plourde-Lavoie et coll. 2024) a démontré que les aménagements ne permettent pas toujours d'améliorer la qualité de la pêche récréative à l'omble de fontaine. Parmi les hypothèses émises pour expliquer ce constat, notons l'évaluation parfois inadéquate des problématiques d'habitat et des facteurs limitant la productivité de la population avant de procéder à un aménagement. Le présent document vise à répondre à cet enjeu en présentant les principaux facteurs affectant les rendements de pêche récréative à l'omble de fontaine indigène (populations non ensemencées). La caractérisation de l'ensemble de ces facteurs offrira une vision globale du plan d'eau, ce qui permettra de mieux identifier les facteurs limitant les rendements de pêche et d'explorer les possibilités d'aménagement de l'habitat pour les améliorer. Un meilleur diagnostic des problématiques d'habitat permettra de réaliser des interventions plus efficaces qui répondront davantage aux besoins des populations.

Chaque chapitre de ce guide aborde d'abord brièvement les connaissances scientifiques expliquant comment chacun des facteurs agit sur les populations d'ombles de fontaine. Un protocole de caractérisation permettant de recueillir les informations de façon standardisée et facilitant leur interprétation est ensuite proposé. Finalement, un outil diagnostique permettant de classer le niveau de qualité de chaque élément (bonne, acceptable ou défavorable) est offert. Le dernier chapitre présente un arbre décisionnel pour une analyse globale des différents facteurs permettant d'évaluer la pertinence de réaliser une intervention. Le cas échéant, un type d'aménagement sera conseillé et le promoteur pourra consulter le guide d'aménagement approprié, s'il y a lieu.

Il importe de préciser que ce guide propose des outils diagnostiques, mais que ceux-ci ne produisent pas une évaluation stricte de la pertinence de réaliser ou de financer un aménagement. Ces outils visent plutôt à orienter les promoteurs dans l'évaluation d'un plan d'eau afin de les guider dans le choix et la décision d'entreprendre une action visant à améliorer ou rétablir les rendements de pêche. Ainsi, les spécialistes des directions de la gestion de la faune (DGFa) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, ainsi que les organismes subventionnaires, auront en main un maximum d'informations pour valider le diagnostic posé par les promoteurs et évaluer les projets d'aménagement proposés. Cette approche vise à s'assurer que les interventions répondront à une problématique bien identifiée et que les investissements permettront l'atteinte des objectifs visés.

Ce guide vise d'abord à soutenir les promoteurs qui souhaitent augmenter les rendements ou la qualité de la pêche récréative à l'omble de fontaine indigène en lac, particulièrement en milieu forestier. Lorsque les travaux visent plutôt la conservation ou l'amélioration générale de la qualité de l'habitat aquatique, les critères décisionnels pour évaluer les chances d'atteindre les objectifs fixés pourraient être différents.

1. Introduction

L'omble de fontaine est l'espèce la plus recherchée à la pêche récréative au Québec et son exploitation est un moteur économique important (MPO, 2012 et 2019; Écoressource, 2014). L'espèce est également en vedette dans un grand nombre de territoires fauniques structurés (zecs, réserves fauniques, pourvoiries à droits exclusifs, etc.). Toutefois, les populations d'ombles de fontaine de l'est de l'Amérique du Nord ont décliné durant les dernières décennies (van Zyll de Jong et coll., 2007; Hudy et coll., 2008). La dégradation des habitats, la surexploitation par la pêche et l'introduction d'espèces compétitrices sont les principales causes de ce déclin. Le Québec ne fait pas exception; la qualité de la pêche dans les territoires fauniques structurés a diminué entre 1980 et 2009 (Plourde-Lavoie, 2014).

Afin de contrer ce déclin, plusieurs partenaires et organismes du milieu, dont notamment les gestionnaires des territoires fauniques structurés, investissent de façon importante dans des aménagements d'habitat pour améliorer les succès ou les rendements de pêche récréative des populations d'ombles de fontaine. Afin de s'assurer que ces investissements apportent les bénéfices escomptés, il importe, avant d'entreprendre un tel projet, de bien analyser l'ensemble des caractéristiques de l'écosystème. Cette étape permet de bien identifier les éléments pouvant affecter la population d'ombles de fontaine visée et de déterminer s'il est possible d'apporter des correctifs appropriés et efficaces.

Plusieurs facteurs agissent sur la productivité des populations d'ombles de fontaine. La forme du lac (superficie, profondeur, etc.) et sa localisation influent sur la température de l'eau et, par conséquent, la quantité et la qualité des habitats disponibles pour l'omble de fontaine (Chamberlain et Hubert, 1996; Creque et coll., 2005; Biro et coll., 2008; Cote et coll., 2011). L'acidité affecte le recrutement des salmonidés (Gunn, 1986). Les prédateurs et les espèces compétitrices comme les meuniers et certains cyprins peuvent réduire considérablement le rendement des populations (Magnan et coll., 2005). La présence de ponceaux peut hausser la quantité de sédiments présents dans le cours d'eau (Lachance et coll., 2008), ce qui diminue le taux d'émergence des alevins sur les sites de fraie en aval (Argent et Flebbe, 1999; Curry et MacNeill, 2004).

La surexploitation peut aussi avoir un impact sur les populations d'ombles de fontaine. Les conséquences d'une pression de pêche trop élevée sur les rendements de pêche sont souvent sous-estimées, car elles sont peu perceptibles. D'abord, les populations d'ombles de fontaine sont résilientes, c'est-à-dire qu'elles peuvent supporter une pression de pêche importante pendant une longue période avant d'être affectées (diminution d'abondance, par exemple). Ensuite, la qualité de la pêche se maintient pendant un certain temps malgré un déclin de l'état de la population (Van Zyll de Jong et coll., 2007; Plourde-Lavoie, 2014). Par conséquent, il peut être difficile de percevoir rapidement l'effet de la surexploitation sur l'état des populations à partir des données de pêche récréative.

Les aménagements visent souvent à améliorer la qualité, la quantité ou l'accessibilité de l'une des composantes essentielles de l'habitat du poisson (eau de qualité, sources d'alimentation, aires de reproduction, abris et aires de repos) afin d'augmenter les rendements ou la qualité de la pêche. L'atteinte de cet objectif nécessite toutefois de considérer tous les facteurs pouvant limiter les rendements afin d'identifier et d'agir, si possible, sur l'élément le moins optimal qui constitue un facteur limitant pour la population. Par exemple, l'augmentation de la superficie des frayères alors que la qualité de l'habitat n'est pas optimale pour la croissance des individus n'aura aucun effet sur les rendements ou la qualité de la pêche récréative. Le constat est le même dans le cas d'une population en surexploitation, car c'est la faible abondance d'individus de grande taille (reproducteurs) qui limitera le renouvellement de la population (augmentation de l'abondance), et non la disponibilité des frayères.

Enfin, il faut distinguer une problématique causée par les activités anthropiques (introduction d'espèce, sédimentation, surexploitation, etc.) d'une problématique causée par un facteur intrinsèque au plan d'eau (disponibilité des ressources alimentaires, température de l'eau, disponibilité de l'oxygène, etc.), et ce, même si la dégradation de l'habitat est due aux activités anthropiques. Ainsi, pour certains plans d'eau, il pourrait être très difficile, voire impossible, d'augmenter ou de rétablir la qualité de la pêche en raison de contraintes multiples et complexes qui peuvent affecter la productivité du plan d'eau.

La figure 1 présente les principaux éléments à considérer pour dresser un portrait global permettant l'évaluation des possibilités d'aménagement pour une population d'ombles de fontaine exploitée en lac.

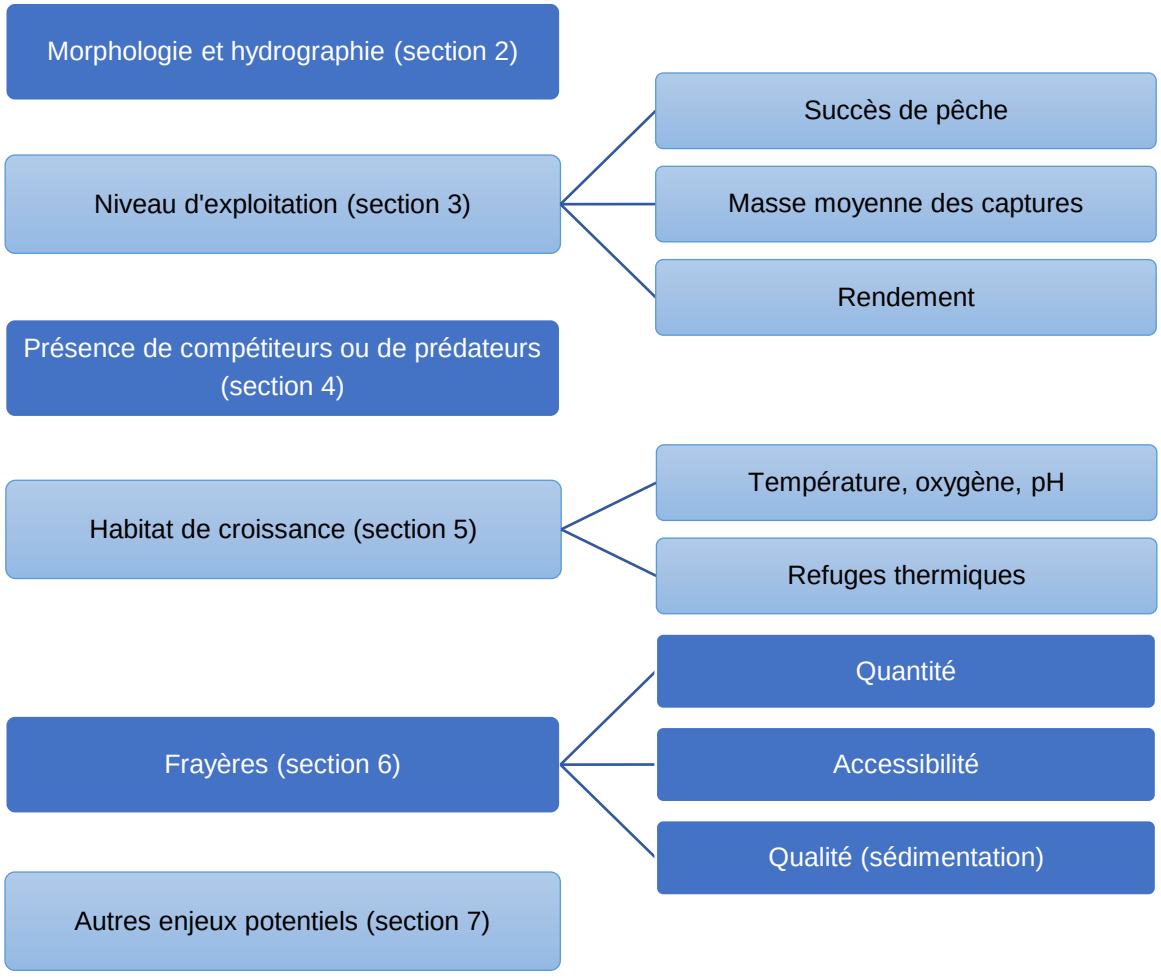


Figure 1. Schématisation des éléments de diagnostic à considérer pour l'évaluation du potentiel d'aménagement pour une population d'ombles de fontaine exploitée en lac.

2. Morphologie et hydrographie

2.1 Effet de la morphologie du plan d'eau sur la productivité naturelle

De façon générale, les petits lacs offrent un meilleur rendement de pêche (kg/ha) à l'omble de fontaine (Archambault, 1988, non publié; figure 2a). La profondeur moyenne du lac influe aussi sur la productivité et les rendements de la pêche récréative. Les plans d'eau peu profonds sont généralement plus productifs (Vézina, 1978; figure 2b), car ils possèdent une zone littorale proportionnellement plus importante par rapport à l'ensemble du lac. Cela augmente la disponibilité des ressources alimentaires benthiques et favorise l'omble de fontaine, qui utilise principalement la zone située entre 0 et 10 m de profondeur (Tremblay et Magnan, 1991; Lacasse et Magnan, 1992; Pettigrew, 2011; Glaz et coll. 2012). L'indice de développement du littoral est aussi un bon indicateur du potentiel d'habitat : un indice élevé, soit une berge avec un contour irrégulier (sinueux plutôt que circulaire), témoigne généralement d'une zone littorale importante (SFA, 2011). Enfin, l'indice de développement du volume, qui est le rapport entre la profondeur moyenne et la profondeur maximale du lac, donne une idée de la forme du fond du lac.

Un lac ayant une très faible profondeur peut cependant être défavorable à l'omble de fontaine, d'autant plus s'il y a absence de tributaires, d'émissaires ou de résurgences (Vézina, 1978). La zone profonde peut servir de refuge thermique lorsque l'eau se réchauffe trop au cours de l'été (Bertolo et coll., 2011; Goyer et coll., 2013; Pépino et coll., 2024). Une faible profondeur peut aussi favoriser une forte production de plantes aquatiques et d'algues, diminuant la disponibilité de l'oxygène dissous et créant ainsi une zone d'anoxie (concentration d'oxygène dissous < 2 mg/l). La présence de tributaires et d'émissaires peut aussi contribuer à la productivité d'un lac en offrant des refuges thermiques, des zones d'alevinage et des ressources alimentaires supplémentaires.

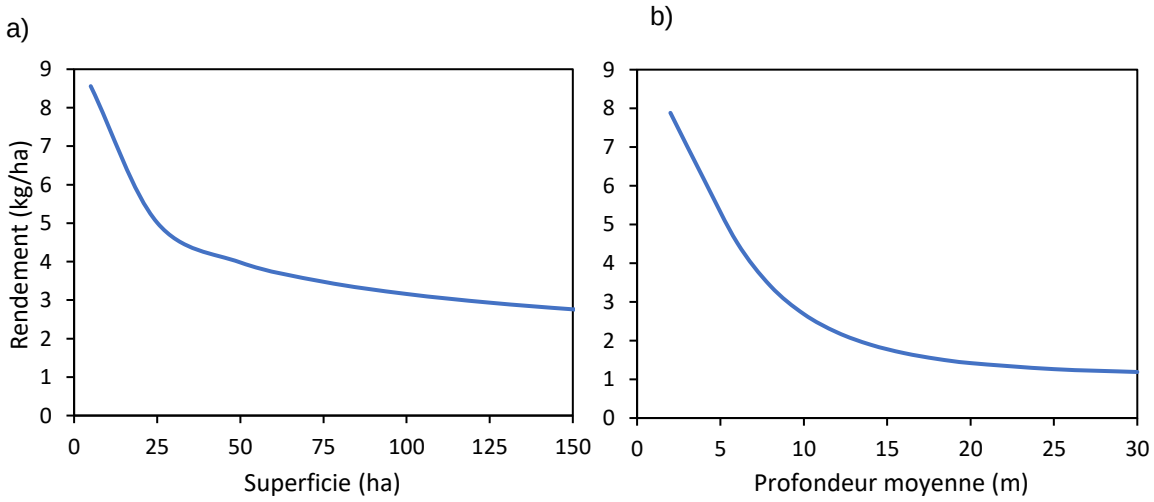


Figure 2. Relation entre le rendement en omble de fontaine et a) la superficie du lac (tiré de Archambault, 1988) et b) la profondeur moyenne du lac (tiré de Vézina, 1978).

2.2 Caractérisation des paramètres morphométriques et hydrographiques

À l'aide du numéro de lac ou de ses coordonnées géographiques, la superficie et le périmètre d'un plan d'eau peuvent être obtenus facilement dans la base de données des lacs et cours d'eau (BDLCE) accessible sur DonnéesQuébec.ca. Cette base de données indique parfois les profondeurs moyenne et maximale du lac. Cependant, il pourrait être nécessaire dans certains cas d'effectuer une bathymétrie complète du plan d'eau afin d'obtenir un portrait plus précis de la forme du lac et donc de la proportion des différents types d'habitats disponibles.

2.2.1 Bathymétrie du lac

La bathymétrie peut se faire à n'importe quelle période de l'année, en eau libre. Elle permettra de localiser le point le plus profond du plan d'eau, où le profil d'oxygène et de température doit être relevé (section 5.2), ainsi que les profondeurs moyenne et maximale et le volume du lac (section 2.3). Si une pêche expérimentale normalisée à l'omble de fontaine est envisagée (section 3.2.2), cette bathymétrie sera également utile pour produire le plan d'échantillonnage. Pour la méthodologie, se référer au *Guide de normalisation des inventaires bathymétriques* (Demers et Arvisais, 2011).

2.2.2 Cartographie du réseau hydrique périphérique

Les tributaires et l'émissaire peuvent fournir notamment des abris, des refuges thermiques et des aires de reproduction, d'alimentation et d'alevinage. Leur caractérisation est essentielle pour comprendre comment ils contribuent à soutenir la population en lac. Des sources d'eau fraîche provenant du bassin versant, mêmes intermittentes, peuvent permettre de localiser des zones d'alevinage au printemps ou des frayères. Ces tributaires, permanents ou intermittents, peuvent aussi offrir des refuges thermiques dans la zone littorale, lorsque la température de l'eau est élevée en surface.

Diverses sources de données peuvent fournir des informations sur la structure du réseau hydrique périphérique. Il est recommandé de les consulter et de rapporter ces renseignements sur une ou plusieurs cartes qui seront utiles, notamment, lors des visites sur le terrain. La position des frayères et traverses de cours d'eau qui seront caractérisées (section 6) pourra aussi être rapportée sur de telles cartes. Cette cartographie des apports d'eau potentiels vers le plan d'eau à l'étude permettra d'orienter la recherche des composantes essentielles de l'habitat de l'omble de fontaine. Ces sources d'information sont les suivantes :

- La Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), qui permet d'identifier les tributaires et émissaires cartographiés;
- Le Cadre de référence hydrologique du Québec (CRHQ), qui est une version plus détaillée de la GRHQ et qui fournit, par exemple, des largeurs modélisées, des débits de crue et d'étiage, des indices de développement du littoral, etc.;
- Les jeux de données sur les lits d'écoulement potentiels issus du LiDAR, qui représentent le trajet que l'eau devrait emprunter en fonction de la topographie. Ces données complètent celles de la GRHQ et du CRHQ en augmentant le nombre de cours d'eau potentiels pouvant être cartographiés et en améliorant souvent la précision de l'emplacement géographique de ces cours d'eau ainsi que les informations sur leur pérennité : Forêt ouverte – Lits d'écoulements potentiels issus du LiDAR (youtube.com).

Toutes ces données sont disponibles sur DonnéesQuébec.ca. L'ensemble de ces cours d'eau sera désigné par le terme « réseau hydrique périphérique » pour les fins du présent guide.

En résumé, avant tout projet de diagnostic sur le terrain, il est nécessaire d'obtenir les informations suivantes sur le plan d'eau à l'étude :

- Superficie du plan d'eau (*S*);
- Périmètre (*P*);
- Carte bathymétrique;
- Profondeurs maximale (Z_{max}) et moyenne (Z_m);
- Localisation de la profondeur maximale;
- Carte de localisation du réseau hydrique périphérique.

2.3 Évaluation de la morphologie

L'objectif d'évaluer la morphologie est de prendre connaissance des caractéristiques physiques pouvant influer sur le potentiel naturel et le rendement attendu d'un plan d'eau. Elles seront d'ailleurs utiles dans l'estimation du rendement théorique attendu selon la méthode Valin (section 3.3).

En plus des caractéristiques de base du lac (superficie, périmètre et profondeurs), il est possible d'estimer d'autres indicateurs qui nous renseigneront sur la morphologie du plan d'eau. L'indice de développement du littoral indique le degré de sinuosité des rives et l'importance de la zone littorale. Il constitue ainsi un bon indicateur du potentiel d'habitat pour l'omble de fontaine, puisque l'habitat préférentiel de l'espèce se situe entre 0 et 10 m de profondeur (SFA, 2011). Cet indice représente le rapport entre le périmètre du lac et son périmètre hypothétique s'il était parfaitement circulaire (indice de 1). Il se calcule à partir de l'équation suivante :

$$Indice\ de\ développement\ du\ littoral\ (D_L) = \frac{P}{2\sqrt{(\pi \times S)}}$$

où *P* correspond au périmètre exprimé en mètres et *S* à la superficie du plan d'eau en m^2 (sachant qu'un hectare équivaut à 10 000 m^2). Un plan d'eau ayant un indice de développement du littoral faible aura une forme plus arrondie, alors qu'un lac ayant un indice plus élevé sera très sinueux avec plusieurs zones peu profondes (figure 3).

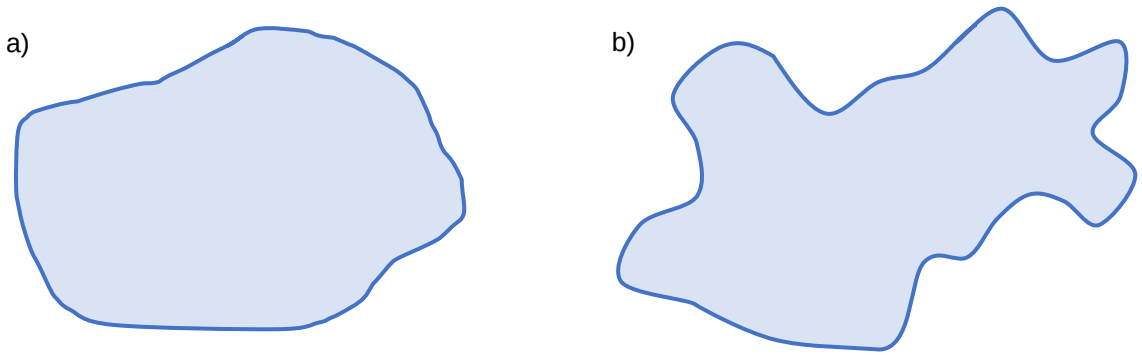


Figure 3. Exemples de lacs ayant un indice de développement du littoral faible (a : lac presque rond) et élevé (b : lac sinueux).

L'indice de développement du volume décrit la forme du fond du plan d'eau et se calcule ainsi :

$$Indice\ de\ développement\ du\ volume\ (D_V) = \frac{Z_m}{Z_{max}}$$

où Z_m est la profondeur moyenne en mètres et Z_{max} est la profondeur maximale en mètres. Une valeur près de 1 indique que le fond du lac est presque plat, alors qu'une valeur près de 0,66 indique que le lac a une forme parabolique (figure 4). Une valeur autour de 0,33 indique qu'un lac est de forme conique.

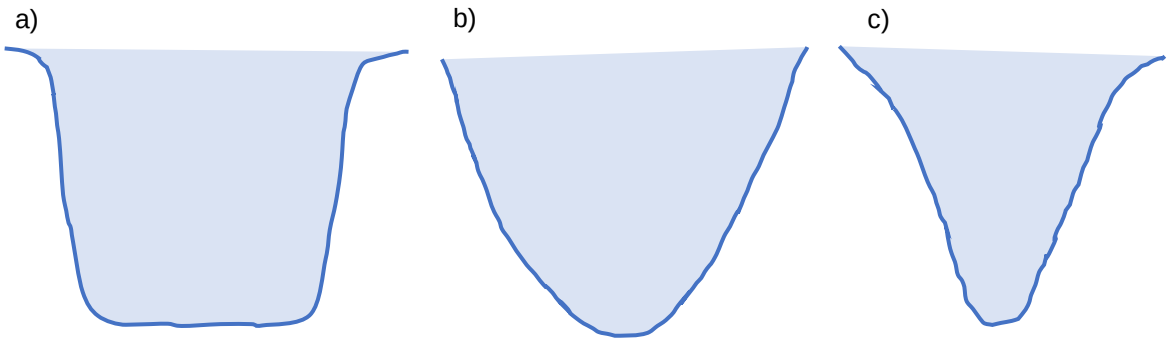


Figure 4. Exemples de lacs ayant un indice de développement du volume près de 1 (a : forme de verre d'eau), près de 0,66 (b : forme parabolique) et près de 0,33 (c : forme conique).

Enfin, à partir des données bathymétriques, des outils géomatiques sont disponibles pour obtenir le volume du plan d'eau et sa profondeur moyenne (par exemple, Spatial Analyst et 3D Analyst, dans le logiciel ArcGIS). Le volume du plan d'eau, sa profondeur moyenne et sa superficie sont reliés selon l'équation suivante :

$$V = S * Z_m$$

où V est le volume du plan d'eau en m^3, S est la superficie du plan d'eau en m^2 et Z_m est la profondeur moyenne en mètres.

3. Exploitation

3.1 Impacts de la surexploitation

La surexploitation des populations d'ombles de fontaine peut se définir comme une situation où la récolte de poissons est plus grande que la capacité de renouvellement naturelle de la population. Si cette surexploitation perdure, elle peut avoir des répercussions sur la structure et la dynamique de la population et éventuellement sur la qualité de la pêche (Curry et coll., 2003; Magnan et coll., 2005; Okamoto et coll., 2009). Au début de la surexploitation, des changements compensatoires qui peuvent sembler positifs sont parfois observés : augmentation de la croissance et donc de la taille des individus ou augmentation de l'abondance (Gagné, 2023). Toutefois, ces effets compensatoires seront insuffisants pour assurer le maintien de la population si la surexploitation se poursuit. Comme la pêche récréative est généralement orientée sur les plus gros individus, une récolte excessive entraînera une diminution graduelle de la taille et de l'abondance des individus dans la population. Les captures à la pêche récréative seront à la fois plus petites et moins abondantes. L'abondance des reproducteurs, particulièrement ceux de grande taille qui sont plus féconds, sera également moindre, ce qui limitera d'autant plus le renouvellement et le rétablissement de la population. Dans cette situation de faible abondance de reproducteurs, même une faible pression de pêche pourrait être suffisante pour maintenir la population dans un état dégradé.

L'impact de la surexploitation sur la qualité de la pêche est toutefois difficilement perceptible dans les données sur la pêche récréative. La capturabilité de l'omble de fontaine, qui correspond à la proportion de poissons récoltés par rapport à l'abondance de la population, est inversement proportionnelle à la densité de poissons (Plourde-Lavoie, 2014). Ce phénomène s'explique en partie par la nature grégaire de l'omble de fontaine. Les individus se regroupent dans les habitats les plus propices. Une fois ces endroits localisés par les pêcheurs, ceux-ci arrivent à maintenir un bon succès de pêche malgré un déclin de l'abondance de la population à l'échelle du plan d'eau. Par conséquent, le même prélèvement aura des impacts de plus en plus grands sur la population à mesure que l'abondance de l'espèce diminue.

Une diminution dans la qualité de la pêche est souvent le reflet d'un déséquilibre entre la récolte et la productivité et a couramment été le déclencheur menant à la réalisation d'un aménagement faunique. De tels aménagements visent alors à augmenter la productivité de l'habitat afin de soutenir la pression de pêche, sans égard à l'origine du problème (diminution de la productivité naturelle ou surexploitation), ce qui donne souvent des résultats mitigés (Plourde-Lavoie et coll., 2024). Lorsque des données d'exploitation sont disponibles, l'examen de celles-ci est fondamental et devrait servir à évaluer l'impact du prélèvement sur la qualité de la pêche et la structure de la population. **Les projets d'aménagement de l'habitat ne devraient pas être réalisés pour tenter de répondre à des enjeux de surexploitation**.

3.2 Caractérisation de l'exploitation

3.2.1 Pêche récréative

Les statistiques de pêche récoltées dans les territoires fauniques structurés offrent une occasion unique de suivre l'effort de pêche et la récolte à l'aide de différents indicateurs de pêche récréative (pression, succès, rendement, masse moyenne, etc.). Ces indicateurs permettent une certaine appréciation du niveau d'exploitation et de son impact sur la qualité de la pêche. Bien que ces indicateurs ne soient pas un reflet exact et précis de l'état des populations, les tendances temporelles observées peuvent fournir des indications sur l'évolution de la structure de la population et des facteurs qui influent sur celle-ci. C'est pourquoi il importe de faire preuve d'une

grande rigueur lors de la récolte de ces données inestimables. En outre, plus la période de récolte de données est longue, meilleur sera le diagnostic dégagé à partir de ces données.

Les données requises pour effectuer l'évaluation sont l'effort de pêche total annuel exercé sur le plan d'eau (nombre de jours-pêche) et la récolte totale annuelle d'ombles de fontaine (nombre total et biomasse totale si celle-ci est disponible). Ces données permettent de calculer les indicateurs suivants pour chaque année d'exploitation :

- Pression de pêche (jours-pêche/ha);
- Succès de pêche (captures/jour-pêche);
- Masse moyenne des captures (g);
- Rendement (kg/ha);
- Indice de qualité de la pêche (g/jour-pêche).

3.2.2 Pêche expérimentale normalisée

En l'absence de données sur la pêche récréative, ou parfois pour approfondir ou confirmer une interprétation faite à partir des données sur la pêche, il peut être pertinent d'effectuer une pêche expérimentale normalisée à l'omble de fontaine, ou PENOF (SFA, 2011). Cet inventaire permet d'avoir une vision précise de l'état de la population, notamment en obtenant un indice d'abondance et un taux de mortalité, ce qui donne une appréciation du niveau d'exploitation. La structure de la population permet aussi de juger de la pression d'exploitation, mais également d'une éventuelle problématique de recrutement.

Le filet maillant expérimental normalisé pour la capture de l'omble de fontaine est composé de six panneaux aux ouvertures de mailles différentes (figure 5), chacun mesurant 3,8 m de longueur sur 1,8 m de hauteur, disposés selon une séquence progressive d'ouvertures de mailles. Le maillage est constitué de multifilaments de nylon vert foncé montés à 50 % (le nombre de mailles par longueur de ralingue est tel que la maille montée est étirée à 50 % de son maximum d'étirement).

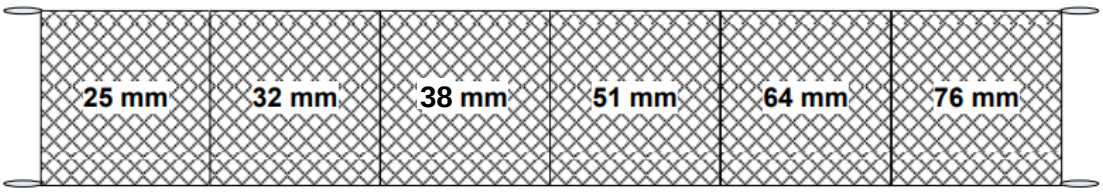


Figure 5. Représentation schématique d'un filet expérimental normalisé pour l'omble de fontaine.

L'effort de pêche minimal à déployer dépend de la superficie du plan d'eau (tableau 1). Les filets doivent être installés aléatoirement entre 2 et 10 m de profondeur, perpendiculairement à la rive, en alternant le type de mailles en rive (grandes ou petites). Les filets sont mouillés pendant une durée de 18 à 24 heures qui couvre la période de la journée qui débute à 18 h et se termine le lendemain à 9 h. Pour plus de détails sur le protocole de pêche, se référer au *Guide de normalisation des méthodes d'inventaire ichtyologique en eaux intérieures, Tome I* (SFA, 2011).

Les ombles de fontaine sont dénombrés par panneau. Tous les individus sont pesés et mesurés (longueur totale maximale, figure 6). Le sexe de l'individu (M, F ou IND) et le stade de maturité des gonades (selon l'aspect des gonades, déterminer si le poisson participera à la prochaine fraie : O,

N ou IND) sont aussi déterminés. Enfin, les otolithes sont prélevés et conservés au sec dans une fiole pour évaluer l'âge ultérieurement en laboratoire.

Tableau 1 : Effort de pêche minimal à déployer pour l'inventaire d'une population d'ombles de fontaine en fonction de la superficie totale du plan d'eau.

Superficie	Effort de pêche (nuits-filet)
< 10 ha	2
11 à 25 ha	4
26 à 50 ha	6
51 à 100 ha	8
101 à 250	10
> 250 ha	10 + 1/125 ha supplémentaires

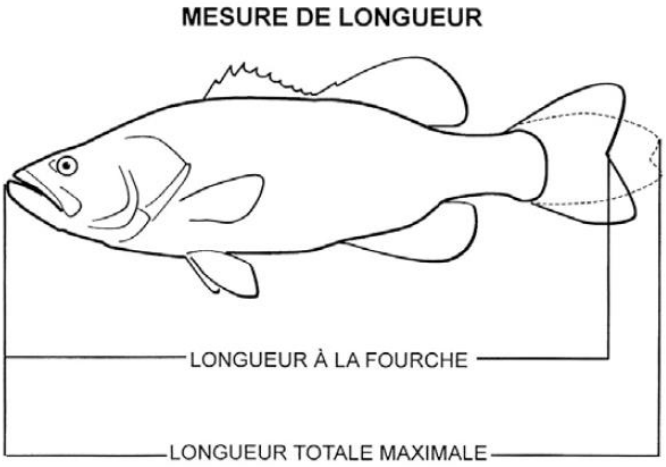


Figure 6. Mesures courantes de la longueur chez un poisson. Pour la mesure de la longueur totale maximale, les deux lobes de la nageoire caudale sont placés en position médiane et la mesure est prise de l'extrémité du museau jusqu'à l'extrémité du lobe le plus long (SFA, 2011).

L'annexe 1 présente un exemple de fiche terrain pour recueillir les données sur les stations de pêche et les spécimens.

3.3 Évaluation du niveau d'exploitation

3.3.1 Évaluation basée sur les statistiques de pêche

Il est difficile de déterminer si la pression de pêche exercée sur un plan d'eau est adéquate ou trop élevée uniquement à partir des valeurs d'effort, de récolte ou de rendement, car la productivité naturelle varie beaucoup d'un plan d'eau à l'autre. L'évaluation se fait essentiellement en analysant visuellement les tendances temporelles des indicateurs de pêche à l'aide de graphiques (figure 7). Une série temporelle d'un minimum de 10 années est recommandée pour faire cette analyse.

Le succès et la masse moyenne sont les principaux indicateurs à surveiller. Si des tendances sont observées, elles doivent néanmoins être interprétées en considérant les autres facteurs déterminants, notamment un changement dans les modalités d'exploitation ou de la clientèle (diminution de la limite de prises ou nouveau forfait familial, par exemple). L'analyse des tendances de la pression de pêche peut aider à déterminer si la surexploitation peut être la source d'une diminution du succès de pêche ou de la masse moyenne des captures. Quant au rendement (kg/ha), comme il est très fortement relié à la pression de pêche, il ne peut être analysé indépendamment de celle-ci. Et puisqu'il est tributaire à la fois du nombre et de la masse des captures, le rendement est beaucoup moins informatif que le succès et la masse moyenne pris séparément.

Le tableau 2 identifie les tendances temporelles pouvant être observées à partir des indicateurs de pêche récréative et pouvant témoigner d'une possible surexploitation ou d'une autre problématique. Toutefois, compte tenu des multiples facteurs pouvant affecter ces indicateurs, il est recommandé de discuter des données d'exploitation avec la DGFa de la région concernée.

Rendement théorique attendu

En complément de l'analyse des tendances temporelles des indicateurs sur la pêche récréative, il peut être pertinent de comparer les rendements de pêche observés avec le rendement attendu estimé selon un modèle théorique. Le modèle de Valin (1998, non publié) est le modèle théorique le plus fiable à ce jour et utilise plusieurs des éléments analysés et présentés dans les différents chapitres de ce guide, dont la profondeur moyenne du plan d'eau, la présence de compétiteurs et les données physico-chimiques, pour estimer un rendement théorique attendu (kg/ha) pour la pêche récréative à l'omble de fontaine en lac. Il faut néanmoins demeurer prudent dans l'interprétation de ce résultat puisqu'il s'agit d'un modèle théorique qui ne peut intégrer toute la variabilité de la productivité naturelle des lacs à ombles de fontaine. Ainsi, il est possible que la productivité réelle des lacs soit inférieure au rendement calculé selon la méthode Valin, mais ce modèle peut néanmoins donner un ordre de grandeur du potentiel du plan d'eau. Il est donc recommandé de vérifier si le rendement annuel moyen des cinq dernières années est supérieur ou inférieur au rendement théorique attendu selon la méthode Valin. La démarche pour estimer cette valeur est présentée à l'annexe 2.

Dans un territoire faunique structuré, l'exploitation de l'omble de fontaine en lac (pour les populations non ensemencées) est généralement limitée par un quota annuel déterminé par le Ministère. Ce quota peut parfois être comparable au rendement théorique, mais il peut aussi avoir été ajusté selon la qualité de la pêche, les rendements réels observés et les objectifs de gestion. Il est donc aussi pertinent et informatif de comparer les rendements observés, le rendement théorique selon Valin et le quota annuel attribué au plan d'eau.

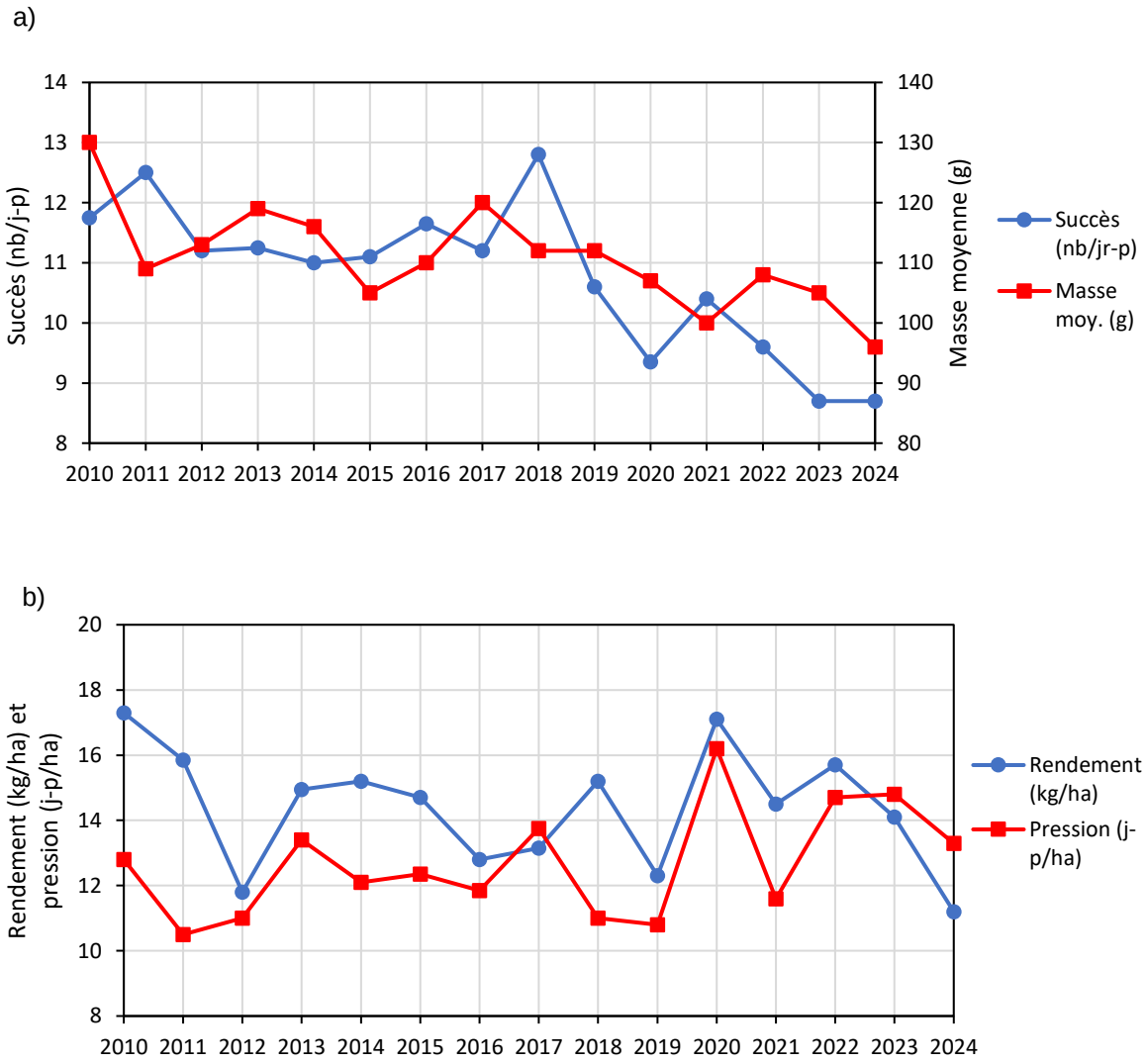


Figure 7. Exemple de a) diminution observée dans le succès de pêche et la masse moyenne des captures malgré b) la stabilité du rendement et de la pression de pêche, ce qui pourrait être le résultat d'une surexploitation par la pêche récréative.

Tableau 2 : Évaluation du niveau d'exploitation de l'omble de fontaine en fonction des tendances temporelles observées dans les indicateurs de pêche récréative.

Niveau d'exploitation	Tendances observées dans les indicateurs de pêche	
	Succès de pêche	Masse moyenne des captures
À l'équilibre	Stable ou en augmentation	Stable ou en augmentation
Acceptable	Stable ou en augmentation	En diminution
	En diminution	Stable ou en augmentation*
Élevée	En diminution	En diminution

* Si la masse moyenne est en augmentation et que le succès est en diminution, il pourrait y avoir une problématique liée à l'habitat de reproduction.

3.3.2 Évaluation basée sur les résultats d'une pêche expérimentale normalisée

Différents indicateurs issus des données d'une PENOF peuvent être utilisés pour déterminer si la population semble en surexploitation, notamment la biomasse totale par unité d'effort (BPUE), l'analyse de la structure de taille et d'âge, l'âge moyen et l'âge maximal des captures, le taux de mortalité, etc. Par exemple, puisque la pêche récréative est orientée sur les gros poissons et donc les plus vieux, l'absence d'individus de 5 ans et plus dans la population (ou la très faible abondance des individus de 4 ans et plus) est un signe de surexploitation. La mortalité totale observée dans la population (estimée selon la méthode de Mainguy et Moral [2021]) peut aussi être un bon indicateur du niveau d'exploitation. Si le taux de mortalité est supérieur à 65 %, on peut présumer que le plan d'eau est dans un état de surexploitation (Gagné, 2023). Néanmoins, compte tenu de la complexité des facteurs pouvant affecter la structure et la dynamique des populations d'ombles de fontaine, il est recommandé de discuter des résultats de la PENOF avec la DGFa de la région concernée.

4. Communauté

4.1 Espèces compétitrices

Les populations d'ombles de fontaine en allopatrie (c'est-à-dire que l'omble de fontaine est la seule espèce présente dans le lac) sont typiquement très productives – davantage que celles en sympatrie (cohabitation de l'omble de fontaine avec d'autres espèces de poissons). La présence d'autres espèces influe sur les rendements de pêche récréative à divers degrés (Magnan, 1988; Therrien et Lachance, 1997). Les espèces affectant le plus les rendements de la pêche à l'omble de fontaine sont les prédateurs tels que le grand brochet (*Esox lucius*) et le doré jaune (*Sander vitreus*). D'autres espèces comme la perchaude (*Perca flavescens*), le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) et le meunier noir (*Catostomus commersoni*) sont des compétiteurs importants sur le plan de l'habitat et de la nourriture (Bourke et coll., 1997), particulièrement aux premiers stades de vie de l'omble de fontaine. Chez les cyprinidés, le mulet à cornes (*Semotilus atromaculatus*) et le mulet perlé (*Margariscus margarita*) sont aussi des compétiteurs notables. Les autres cyprins, comme le méné ventre rouge du Nord (*Chrosomus eos*) ou le méné à nageoires rouges (*Luxilus cornutus*), ont peu d'impact sur les populations d'ombles de fontaine et seront donc appelés des espèces compagnes (Magnan, 1988). Le tableau 3 identifie les principales espèces ou groupes d'espèces les plus susceptibles d'être rencontrés dans les lacs à omble de fontaine selon leur compétitivité.

Tableau 3 : Liste des principaux prédateurs et compétiteurs de l'omble de fontaine selon leur compétitivité.

Compétiteurs faibles (espèces compagnes)	Compétiteurs intermédiaires	Compétiteurs importants et prédateurs
Omble chevalier	Grand corégone	Truite arc-en-ciel ou brune
Anguille d'Amérique	Touladi	Omble moulac ou lacmou
Éperlan arc-en-ciel	Mulet perlé	Mulet à cornes
Umbre de vase	Épinoche à 3 épines	Meunier noir
Meunier rouge		Barbotte brune
Lotte		Crapet-soleil
Fondule barré		Achigans
Chabots		Dorés
Épinoche à 4, 5 ou 9 épines		Perchaude
Cyprins (sauf mulets)		Grand brochet

4.2 Caractérisation de la communauté

La première étape à suivre avant d'élaborer toute stratégie d'échantillonnage visant à répertorier les différentes espèces présentes dans un plan d'eau est de contacter la DGFa de la région concernée afin de prendre connaissance des informations déjà disponibles sur le plan d'eau visé ou sur les espèces présentes dans le bassin versant, notamment en amont du plan d'eau à l'étude (ou en aval selon la présence d'obstacles à la migration). Le dépôt d'une demande d'information faunique peut se faire en remplissant le formulaire en ligne Demandes d'information sur la faune ou la flore. En l'absence d'information, un plan d'échantillonnage pourra être élaboré pour décrire la communauté du plan d'eau.

4.2.1 ADN environnemental (ADNe)

L'ADN environnemental (ADNe) est devenu un outil particulièrement utile lorsque l'objectif est d'avoir un portrait de la communauté de poissons dans un plan d'eau, sans égard à l'abondance relative de chaque espèce. C'est donc l'outil à privilégier puisqu'il permet habituellement d'avoir un portrait plus complet des espèces présentes qu'un inventaire de la communauté fait à l'aide d'engins de capture plus traditionnels (Gehri et coll., 2021). L'analyse de l'ADN environnemental est aussi une méthode moins invasive et qui requiert généralement moins de ressources humaines et financières qu'un inventaire. Cette technique exige toutefois des précautions lors des manipulations afin d'éviter toute contamination du matériel et des échantillons, notamment en portant des gants de nitrile que l'on change régulièrement et en évitant d'utiliser de l'équipement qui a servi à réaliser des inventaires ichtyologiques (y compris les VFI, imperméables, etc.). Le nombre de laboratoires pouvant effectuer le traitement des échantillons est également limité pour l'instant.

De façon générale, le prélèvement de cinq à dix échantillons d'eau répartis dans toute la zone littorale du plan d'eau (0-2 m) est suffisant pour répertorier les espèces composant la communauté d'un plan d'eau à omble de fontaine (tableau 4). Pour augmenter la probabilité de détection des différentes espèces, il est préférable de cibler le type d'habitat propice aux espèces compétitrices, comme une zone d'herbier, une embouchure de cours d'eau ou le fond d'une baie peu profonde. Si l'on suspecte qu'il y a eu introduction récente d'une espèce qui n'est pas encore bien établie, quelques échantillons supplémentaires augmenteront le niveau de confiance dans les résultats. Dans les lacs plus profonds où il y a présence possible d'espèces pélagiques (corégone, touladi, meunier rouge, éperlan, etc.), deux ou trois échantillons supplémentaires (selon la superficie du lac) dans la zone pélagique amélioreront le portrait de l'ensemble de la communauté. Un blanc de contrôle (bouteille préalablement remplie d'eau distillée) doit aussi être apporté sur le terrain et traité comme les autres échantillons (Guide des bonnes pratiques ADNe, MELCCFP, en préparation).

L'échantillonnage en zone littorale peut se faire à gué avec une perche ou en bateau à l'aide d'un appareil échantillonneur prévu à cet effet. Pour prélever un échantillon d'eau en zone pélagique profonde (au milieu de l'hypolimnion, sous la thermocline), une bouteille Kemmerer est utilisée. Quelle que soit l'approche utilisée, une bouteille neuve de 2 L doit être utilisée à chaque station d'échantillonnage. Chaque bouteille doit ensuite être bien identifiée avec le numéro de la station sur le bouchon avant d'être mise au frais (glacière avec glace). Une fiche terrain doit également être remplie en indiquant les informations sur les prélèvements (coordonnées de la station, heure du prélèvement, profondeur de l'échantillon, etc.; annexe 3). Les échantillons sont ensuite filtrés dans un délai de 24 heures, sur une surface de travail préalablement décontaminée (Guide des bonnes pratiques ADNe, MELCCFP, en préparation). La filtration peut se faire à l'aide d'une pompe ou d'une seringue munie d'une tête avec filtre (figure 8).

Tableau 4 : Nombre d'échantillons d'ADNe à récolter dans la zone littorale pour caractériser la communauté d'un lac à omble de fontaine en fonction de la superficie totale du plan d'eau.

Superficie	Nombre d'échantillons d'ADNe
< 25 ha	5
25 à 50 ha	6
50 à 100 ha	8
101 à 250	10
> 250 ha	10 + 1/125 ha supplémentaires

a)



b)



Figure 8. Méthodes de filtration des échantillons d'ADNe : a) pompe ou b) tête de seringue munie d'un filtre.

L'analyse des échantillons se fait par la Plateforme d'analyse génomique de l'Université Laval (https://www.ibis.ulaval.ca/services/analyse-genomique/). Il s'agit du principal laboratoire offrant ce service d'analyse métagénomique (détection de plusieurs espèces simultanément). Compte tenu des risques associés à cette méthode, l'interprétation des résultats doit néanmoins se faire avec précaution. Ainsi, il est recommandé de discuter des résultats des analyses avec la DGFa de la région concernée, qui détient l'expertise en matière de répartition des différentes espèces sur le territoire.

Il est donc essentiel de bien s'informer et de se préparer avant d'entreprendre une récolte d'échantillons d'ADNe sur le terrain. Le promoteur peut contacter la DGFa de la région concernée pour planifier le protocole d'échantillonnage en fonction des objectifs précis du projet et prendre connaissance du protocole de prélèvement et de filtration des échantillons (document non publié). Enfin, le promoteur peut également contacter la Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique, qui évaluera la possibilité de lui prêter le matériel requis.

4.2.2 Inventaire ichtyologique

Si un inventaire au filet est choisi au lieu de l'analyse d'ADNe pour obtenir un portrait de la communauté présente dans le plan d'eau, des efforts importants doivent être investis pour avoir le portrait le plus complet possible. Néanmoins, dans certains cas, il peut s'avérer suffisant d'identifier uniquement le niveau de compétition (faible, moyen ou élevé), à défaut de connaître l'ensemble des espèces présentes, pour évaluer la pertinence d'un aménagement. Par conséquent, trois plans d'échantillonnage appliquant différents efforts de pêche sont proposés ci-dessous, dont deux peuvent être réalisés en complément d'une PENOF (section 3.2.2).

Lorsqu'une pêche expérimentale normalisée est envisagée pour mieux documenter l'état de la population d'ombles de fontaine, l'ajout d'une pêche expérimentale de communauté utilisant un engin à petites mailles (PECPM) est l'approche normalisée qui permet d'avoir le portrait le plus complet de la communauté présente dans le plan d'eau.

L'engin de capture pour une PECPM mesure 25 m et est constitué de deux bandes de filets jointes par une travée (figure 9). Chaque bande de l'engin est constituée de cinq panneaux aux ouvertures de mailles différentes (entre 13 et 38 mm), chacun mesurant 2,5 m de longueur sur 1,8 m de largeur. Les panneaux sont agencés de façon séquentielle, mais non progressive, et les panneaux de chaque côté de la travée ne doivent pas être les mêmes. Le maillage est constitué de monofilament de nylon transparent monté à 50 %.

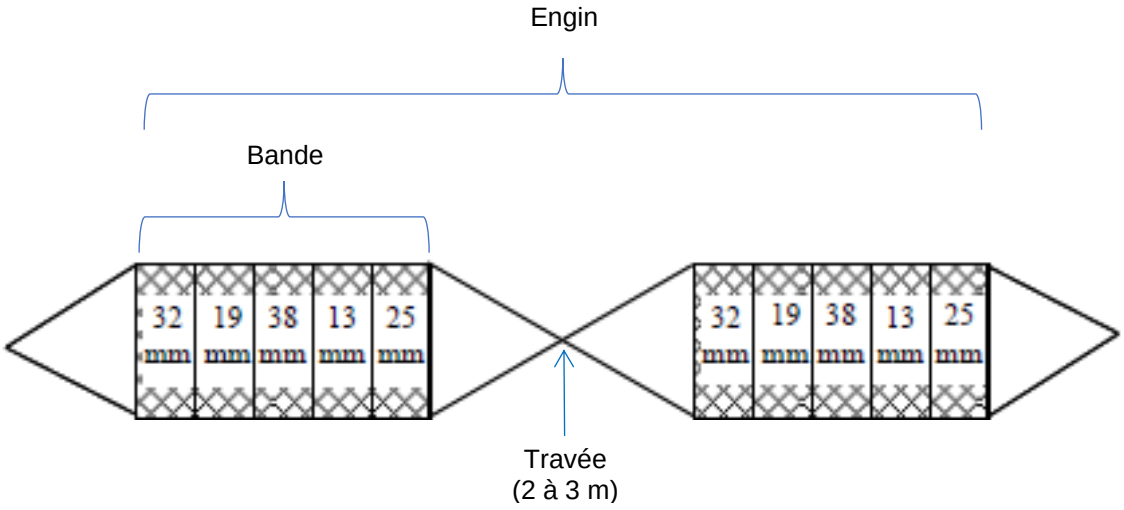


Figure 9. Représentation schématique d'un engin de capture à petites mailles utilisé pour un inventaire de communauté (PECPM).

L'effort de pêche minimal à déployer dépend de la superficie et de la profondeur du plan d'eau (annexe 4). Les filets sont posés perpendiculairement à la rive en alternant le type de mailles en rive (25 ou 32 mm). Ils sont mouillés entre 13 h et 17 h et levés le lendemain entre 8 h et 11 h, pour une durée de 18 à 22 heures. Pour plus de détails, se référer au *Guide de normalisation des méthodes d'inventaire ichtyologique en eaux intérieures, Tome I* (SFA, 2011).

Si les ressources ne permettent pas de réaliser une PECPM, l'ajout de filets expérimentaux pour l'omble de fontaine − mais en dehors de l'habitat échantillonné dans le cadre d'une PENOF (donc à une profondeur > 10 m) − permet de capturer des espèces plus rarement capturées dans l'habitat de l'omble de fontaine. En complément, les bourolles appâtées avec des morceaux de pain dans des habitats propices (zone d'herbier, embouchure de cours d'eau, fond d'une baie peu profonde,

etc.) sont des engins peu coûteux et simples à utiliser pour détecter la présence de certaines autres espèces compétitrices en zone littorale qui n'auraient pas été capturées par les filets expérimentaux. Le tableau 5a propose un effort d'échantillonnage pour un protocole d'inventaire de communauté (filets et bourolles) allégé en complément d'une PENOF.

Tableau 5 : Effort d'échantillonnage minimal recommandé pour évaluer le niveau de compétition de la communauté présente dans un lac à omble de fontaine en sympatrie.

a) Nombre minimal de filets expérimentaux à omble de fontaine et de bourolles à déployer lorsque ces engins sont utilisés conjointement avec une pêche expérimentale normalisée à l'omble de fontaine (PENOF).

Superficie	Filets expérimentaux à omble de fontaine		Bourolles
	PENOF	En zone profonde (> 10 m)	
< 10 ha	2	1	8
10 à 25 ha	4	2	8
25 à 50 ha	6	2	10
50 à 100 ha	8	3	10
100 à 250 ha	10	3	10

b) Nombre minimal de filets expérimentaux à omble de fontaine et de bourolles à déployer lorsqu'une pêche expérimentale normalisée à l'omble de fontaine (PENOF) n'est pas réalisée

Superficie	Filets expérimentaux à omble de fontaine		Bourolles
	En zone littorale (< 10 m)	En zone profonde (> 10 m)	
< 10 ha	2	1	8
10 à 25 ha	2	2	8
25 à 50 ha	3	2	10
50 à 100 ha	4	3	10
100 à 250 ha	5	3	10

Dans le cas où une PENOF n'est pas envisagée, il est proposé d'utiliser des bourolles et des filets à omble de fontaine, mais en réduisant de moitié l'effort de pêche normalement déployé dans la zone littorale (0-10 m) pour la PENOF (tableau 5b). Ce protocole permet de décrire sommairement la communauté de poisson du plan d'eau et d'estimer le niveau de compétition. En complément et selon les conditions sur le terrain, l'utilisation d'une seine de rivage ou de la pêche électrique peut être efficace pour capturer des espèces compétitrices de l'omble de fontaine et ainsi compléter le portrait de la communauté.

Peu importe le plan d'échantillonnage utilisé pour caractériser la communauté, le traitement des captures se fait de la même façon (pour la PENOF, voir la section 3.2.2). Tous les spécimens sont identifiés à l'espèce et dénombrés par station. Les ombles de fontaine sont pesés et mesurés individuellement, et le sexe et le stade de maturité des gonades sont évalués (pour déterminer si le spécimen participera à la prochaine fraie). Pour les autres espèces, si peu d'individus sont capturés, ils sont mesurés et pesés individuellement. S'il y a plus de 30 individus d'une même espèce dans une même station, on peut mesurer le plus petit et le plus grand spécimen et peser tous les individus à la fois pour obtenir la masse totale.

L'annexe 1 présente un exemple de fiche terrain pour recueillir les données sur les stations de pêche et les spécimens.

4.3 Évaluation du niveau de compétition de la communauté

Le niveau de compétition est déterminé par le compétiteur le plus important répertorié parmi les espèces présentes dans la communauté (tableau 3). Ainsi, en présence d'au moins un prédateur ou un compétiteur important, le niveau de compétition est jugé élevé (tableau 6). En l'absence de tout prédateur ou compétiteur important mais en présence d'au moins un compétiteur intermédiaire, le niveau de compétition sera qualifié de moyen. En l'absence de tout prédateur, compétiteur intermédiaire ou compétiteur important, le niveau de compétition sera jugé faible.

Tableau 6 : Niveau de compétition de la communauté en fonction des espèces présentes dans un lac à omble de fontaine.

Niveau de compétition	Présence d'espèces compétitrices ou prédatrices
Faible	Aucune espèce considérée comme un prédateur, un compétiteur important ou un compétiteur intermédiaire.
Moyen	Présence d'au moins une espèce considérée comme un compétiteur intermédiaire, mais aucun compétiteur important ni prédateur.
Élevé	Présence d'au moins une espèce considérée comme un prédateur ou un compétiteur important.

5. Habitat de croissance

5.1 Influence des paramètres limnologiques

La température augmente généralement la productivité des plans d'eau en allongeant la période de croissance et en augmentant la croissance des individus. Par conséquent, les plans d'eau dans les régions plus chaudes comme le sud et l'ouest du Québec sont généralement plus productifs. Toutefois, l'omble de fontaine est une espèce d'eau fraîche qui recherche généralement des températures ne dépassant pas 22 °C (Goyer et coll., 2014). Au-delà de cette température, les individus subissent un stress qui affecte plusieurs de leurs fonctions physiologiques (Hitt et coll., 2017). Par conséquent, si le plan d'eau atteint et maintient des températures supérieures à 22 °C, les populations d'ombles de fontaine pourraient être affectées, particulièrement en l'absence de refuges thermiques en profondeur (Bertolo et coll., 2011; Goyer et coll., 2013; Pépino et coll., 2024).

Le réseau hydrique périphérique peut aussi offrir des refuges thermiques en période estivale, particulièrement pour les premiers stades de vie (Biro, 1998; Borwick et coll., 2066; Hatin et Charrette, 2014; P. Magnan, comm. pers.). Ces apports d'eau peuvent aussi créer des refuges thermiques dans la zone littorale, mais leur importance dépendra de la différence de température avec l'eau de surface et du débit de la source d'eau, car cette eau se mélangera rapidement avec la masse d'eau du lac.

L'omble de fontaine requiert aussi des eaux bien oxygénées. Une concentration minimale de 5 ppm est requise pour assurer son bien-être et ses fonctions physiologiques (Raleigh, 1982; Smith et coll., 2019). En deçà de ce seuil, les populations risquent d'être affectées. À une concentration d'oxygène < 2 ppm, le milieu est considéré comme anoxique et peu d'espèces peuvent le tolérer.

Le pH n'influe pas de façon directe sur la productivité de l'omble de fontaine, tant qu'il se situe à l'intérieur de ses limites de tolérance. Les valeurs optimales de pH pour cette espèce seraient entre 6,5 et 8 (Raleigh, 1982). Ainsi, un plan d'eau avec un pH de 7 n'aura pas des rendements en omble de fontaine supérieurs ou inférieurs à un plan d'eau ayant un pH de 8. Toutefois, un pH inférieur à 6,5 peut nuire à la croissance et à la reproduction de l'omble de fontaine et entraîner de la mortalité, particulièrement aux premiers stades de vie (Raleigh, 1982; Ingersoll et coll., 1990). Un lac est considéré comme acide lorsque son pH est ≤ 5,5 (MEQ, 1999). La diversité des organismes aquatiques peut alors être réduite. À l'inverse, des valeurs de pH au-dessus de 9 sont généralement inadéquates (Power, 1980). Les effets du pH sont toutefois variables en fonction des concentrations d'autres ions comme le calcium ou l'aluminium (Ingersoll et coll., 1990; Bérubé et Dupont, 1994).

5.2 Caractérisation des paramètres limnologiques

Au point le plus profond du lac, la température de l'eau et la concentration d'oxygène doivent être mesurées le long d'un profil vertical, de la surface jusqu'au fond (SFA, 2011). Ces profils doivent être réalisés en période de stratification thermique, au mois d'août, alors que les conditions sont les plus limitantes et que le retournement automnal des eaux n'a pas débuté. Les mesures doivent être prises selon la séquence suivante (figure 10, annexe 5) :

- À 0,5 m de la surface;
- Tous les mètres, de 1 à 14 m inclusivement;
- Tous les 2 mètres, de 16 à 20 m inclusivement;
- Tous les 4 mètres jusqu'au fond.

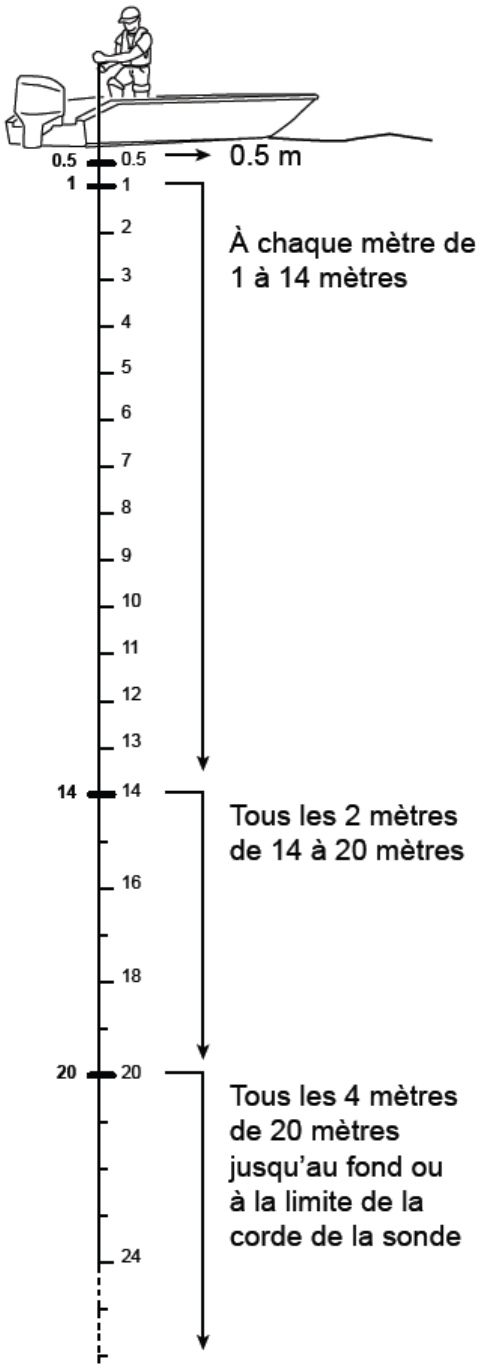


Figure 10. Pas d'échantillonnage à respecter pour le profil d'oxygène, de pH et de température de l'eau au point le plus profond du plan d'eau. Tiré de Deschênes et coll., 2017.

Le pH doit être mesuré en même temps et au même endroit que le profil de température et d'oxygène. Si une sonde multiparamètres est utilisée, les mesures sont prises selon le même pas d'échantillonnage que la température et l'oxygène. Sinon, on prélève un échantillon d'eau intégrant la colonne d'eau comprise entre la surface et 5 m de profondeur pour un lac donc la profondeur maximale est < 7 m, ou à partir de 2 m du fond pour un lac dont la profondeur maximale est ≤ 7 m (SFA, 2011). Cet échantillon est récolté à l'aide d'une bouteille lestée d'environ 1 L attachée par une corde graduée munie d'un poids suffisamment lourd pour la faire couler rapidement. La bouteille est ainsi plongée rapidement jusqu'à 5 m de profondeur, puis remontée graduellement à vitesse constante de façon qu'elle soit remplie aux trois quarts une fois remontée à la surface, ce qui permet de récolter de l'eau sur toute la colonne d'eau. Un pH-mètre calibré est ensuite utilisé sans délai pour mesurer le pH directement dans la bouteille, sur le terrain. L'annexe 5 présente un exemple de fiche terrain pour recueillir les données limnologiques.

Bien qu'il puisse être difficile de poser un diagnostic sur la quantité et la qualité des refuges thermiques fournis par le réseau hydrique périphérique, il demeure pertinent de les caractériser afin d'en tenir compte de façon globale dans l'évaluation de l'habitat de croissance, notamment pour les juvéniles. La température de l'eau de chacun des tributaires doit être prise en même temps que l'on réalise le profil vertical du lac, en amont de leur embouchure, à mi-profondeur environ.

5.3 Évaluation de la qualité de l'habitat de croissance

Même s'il peut faire des incursions en eaux profondes lorsque la température est élevée, l'omble de fontaine en lac se situe généralement entre 0 et 10 m de profondeur (Pettigrew, 2011). Ce sont principalement les valeurs de température, d'oxygène et de pH mesurées dans cette strate qui permettront de poser un diagnostic sur la qualité de l'habitat de croissance (tableau 7).

La température de l'habitat de croissance de l'omble de fontaine sera jugée bonne si elle demeure ≤ 22 °C entre la surface et 10 m de profondeur. Si la température excède 22 °C mais qu'il y a présence d'un refuge thermique en profondeur, la qualité de l'habitat pour le critère de température sera acceptable. Dans le présent guide, un refuge thermique en profondeur sera défini comme une eau d'une température ≤ 20 °C sur au moins 5 m de profondeur.

La qualité de l'habitat de croissance pour le critère d'oxygène sera jugée en fonction de la proportion de la colonne d'eau entre la surface et 10 m de profondeur offrant des conditions favorables à cette espèce, soit une concentration d'oxygène dissous ($[O_2]$) ≥ 5 ppm.

Si la mesure de pH a été faite à l'aide d'un échantillon d'eau intégré (0-5 m), la valeur mesurée dans cet échantillon peut être directement utilisée pour évaluer ce critère (tableau 7). Si le pH a été mesuré le long d'un profil vertical sur la colonne d'eau, la valeur moyenne dans les strates de 1 à 5 m peut être obtenue de la façon suivante (voir aussi encadré ci-dessous) :

1. Reporter chaque valeur de pH entre 1 et 5 m sous forme de concentration de H+ ($[H+] = 10^{-pH}$);
2. Calculer la moyenne de ces concentrations;
3. Ramener la moyenne de ces concentrations sous forme de pH ($pH = - \log[H^+]$).

Le diagnostic global correspondra au niveau de qualité le plus faible entre les trois paramètres évalués (tableau 7).

Enfin, il n'existe pas de consensus sur la différence de température entre un plan d'eau et un tributaire pour que celui-ci soit considéré comme un refuge thermique. Une différence de 1 °C semble parfois suffisante, mais plus la différence de température est grande et plus le débit du tributaire est significatif, plus le tributaire et son possible panache dans le lac peuvent être considérés comme un refuge thermique d'importance. Ainsi, il est suggéré de considérer

globalement cette information, soit la diversité des habitats thermiques et notamment la présence de tributaires plus frais, dans l'évaluation de la qualité de l'habitat du plan d'eau.

Exemple de calcul :

Voici un exemple de calcul pour un profil de pH mesuré sur toute la colonne d'eau d'un lac ayant une profondeur maximale de 12 m :

Profondeur (m)	pH
0,5	7,4
1	**7,1**
2	**6,5**
3	**6,1**
4	**5,6**
5	**5,2**
6	5,5
7	5,8
8	6,0
9	6,3
10	6,4
11	6,4
12	6,4

Seules les valeurs de pH mesurées entre 1 et 5 m (en gras) sont utilisées pour le calcul.

Étape 1

1 m : $10^{-7,1} = 7,94 \times 10^{-8}$

2 m : $10^{-6,5} = 3,16 \times 10^{-7}$

3 m : $10^{-6,1} = 7,94 \times 10^{-7}$

4 m : $10^{-5,6} = 2,51 \times 10^{-6}$

5 m : $10^{-5,2} = 6,31 \times 10^{-6}$

Étape 2

Moyenne = $(7,94 \times 10^{-8} + 3,16 \times 10^{-7} + 7,94 \times 10^{-7} + 2,51 \times 10^{-6} + 6,31 \times 10^{-6}) \div 5 = 2,00 \times 10^{-6}$

Étape 3

pH = $-\log(2,00 \times 10^{-6}) = 5,7$

La valeur de pH à utiliser pour évaluer la qualité de l'habitat est donc 5,7.

Tableau 7 : Valeurs de référence pour évaluer la qualité de l'habitat de croissance de l'omble de fontaine à partir des valeurs de température, d'oxygène dissous et de pH du lac. Le diagnostic correspond au niveau de qualité le plus faible entre les trois paramètres.

Qualité de l'habitat de croissance	Température	Oxygène	pH
Bonne	Température ≤ 22 °C entre la surface et 10 m de profondeur	$[O_2]$ ≥ 5 ppm sur au moins 80 % de la colonne d'eau entre la surface et 10 m de profondeur	6,5 à 8
Acceptable	Température > 22 °C entre la surface et 10 m de profondeur mais présence d'un refuge thermique	$[O_2]$ ≥ 5 ppm sur 50 % à 80 % de la colonne d'eau entre la surface et 10 m de profondeur	Entre 5,5 et 6,5 ou entre 8 et 9
Défavorable	Température ≥ 22 °C sur 50 % ou plus de la colonne d'eau entre la surface et 10 m de profondeur et absence de refuge thermique	$[O_2]$ ≥ 5 ppm sur moins de 50 % de la colonne d'eau entre la surface et 10 m de profondeur	< 5,5 ou > 9

6. Habitat de reproduction

6.1 Caractéristiques de la reproduction chez l'omble de fontaine

6.1.1 Caractéristiques des sites de fraie

Les ombles de fontaine peuvent frayer autant en lac qu'en tributaire ou dans l'émissaire, bien que ces derniers soient souvent privilégiés (Josephson et Youngs, 1996; Guillemette et coll., 2011; Pépino et coll., 2017). Les individus peuvent parcourir des centaines de mètres, voire plus d'un kilomètre, pour se reproduire (Pépino et coll., 2015; Magnan, 2023, non publié).

De nombreuses études démontrent que la sélection d'un site de fraie, aussi bien en lac qu'en cours d'eau, est principalement basée sur la présence d'une résurgence ou d'un écoulement d'eau dans le substrat (Webster, 1962; Fraser, 1982, 1985; Curry et coll., 1994 et 1995; Curry et Noakes, 1995; Blanchfield et Ridgway, 1996 et 1997; Guillemette et coll., 2011). L'omble de fontaine peut frayer avec succès dans une grande variété de substrats qui peuvent sembler atypiques en surface (sable, limon, amas de branches submergées ou débris ligneux), mais généralement au-dessus de zones de remontée d'eau souterraine (Webster, 1962; Webster et Eiriksdottir, 1976; Fraser, 1982; Blanchfield et Ridgway; 1997; Guillemette et coll., 2011). En cours d'eau, c'est la présence d'écoulement hyporhéique (eau circulant entre les particules du substrat) qui guide la sélection des sites de fraie (Snucins et coll., 1992; Curry et coll., 1995). Ces écoulements sont dominés par l'eau s'écoulant en surface et par l'eau souterraine et peuvent être influencés par des caractéristiques morphologiques particulières (obstacles, bancs, seuils, transitions fosse-rapide, etc.) qui entraîneront des remontées d'eau s'apparentant aux résurgences en lac.

La présence d'une circulation d'eau à l'intérieur du nid est un facteur déterminant de la survie des œufs jusqu'à l'émergence chez l'omble de fontaine. Elle permet de stabiliser les propriétés thermiques, chimiques et hydrologiques de l'environnement d'incubation, notamment en transportant l'oxygène jusqu'aux embryons, en éliminant les déchets métaboliques et en protégeant les œufs du gel en hiver (Witzel et MacCrimmon, 1983; Curry et coll., 1995; Curry et MacNeill, 2004; Kondolf et coll., 2008). La circulation d'eau empêche aussi l'accumulation de sédiments fins et permet un échange optimal d'oxygène entre l'œuf et l'eau ambiante pendant toute la période d'incubation.

Un nombre relativement restreint de frayères soutiennent les populations d'ombles de fontaine dans les plans d'eau du Bouclier canadien, probablement en raison du nombre limité de résurgences (Carline, 1980; Fraser, 1985; Quinn, 1995; Blanchfield et Ridgway, 1997; Ridgway et Blanchfield, 1998). Selon Ridgway et Blanchfield (1998), le nombre de frayères se limite généralement à une ou deux frayères principales en lac, et **le nombre et la superficie de celles-ci ne sont pas corrélés à la superficie du lac**. D'autres frayères satellites peuvent aussi contribuer à la reproduction des individus dans la population.

Malgré que les zones de résurgence semblent plus importantes que la composition du substrat dans le choix d'un site de fraie, on retrouve généralement une granulométrie typique sur les frayères au moment de la ponte, après le nettoyage par la femelle. La proportion de sédiments fins (< 2 mm) varie de 30 % à 60 % et celle du gravier (2 à 25 mm), de 40 % à 70 % (Witzel et MacCrimmon, 1983; Essington et coll., 1998; Bernier-Bourgault et Magnan, 2002; Curry et MacNeill, 2004; Guillemette et coll., 2011; Magnan, 2023, non publié). La proportion des sédiments fins observée sur les sites de fraie est généralement plus élevée en lac (50 %) qu'en eau courante (30 %) en raison de l'absence d'écoulement. En lac, l'écoulement de l'eau créé par les résurgences serait donc plus important qu'en cours d'eau, car il doit permettre d'évacuer les particules fines hors des nids pendant la période d'incubation (Curry et coll., 1995; Blanchfield et Ridgway, 1997). De plus, bien que les femelles nettoient leurs sites de fraie avant la ponte, le dépôt de particules

fines peut se produire entre la ponte et l'émergence et ce, autant en lac qu'en cours d'eau (Curry et McNeil, 2004; Kondolf et coll., 2008).

En lac, les frayères sont situées à une profondeur variant de 50 cm à 1,5 m, mais peuvent se trouver jusqu'à 3 m (Quinn, 1995; Ridgway et Blanchfield, 1998). En cours d'eau, les profondeurs de fraie sont en moyenne de 8 à 50 cm (au plus 1 m) avec une vitesse de courant moyenne de 11 à 24 cm/s (au plus 50 cm/s). Une frayère est composée de plusieurs nids d'une profondeur variant entre 6 et 20 cm, mais généralement ≤ 15 cm (Snucins et coll., 1992; Quinn, 1995; DeVries, 1997).

6.1.2 Comportement reproducteur

La diminution de la température et le raccourcissement de la photopériode sont les deux facteurs impliqués dans le déclenchement de l'activité de fraie chez l'omble de fontaine (Henderson, 1963; Power, 1980; Baril et Magnan, 2002; Blanchfield et Ridgway, 1997; Falke et coll., 2010). Dans la partie méridionale du Québec (au sud du 52e parallèle), l'omble de fontaine se reproduit généralement de la mi-septembre à la fin novembre, à des températures d'eau inférieures à 14 °C (MLCP, 1982; Blanchfield et Ridgway, 1997; Baril et Magnan, 2002). La période de reproduction s'étale généralement sur quatre à sept semaines. Dans les régions plus nordiques ou dans les zones de haute altitude, la fraie se déroule plus tôt, vers la fin du mois d'août et en septembre, alors que dans les régions très au sud, elle peut se produire aussi tard qu'en décembre (Power, 1980; MLCP, 1982).

La fraie a lieu autant de jour que de nuit (Hazzard, 1932; Baril et Magnan, 2002; Pankhurst et Porter, 2003). Les mâles sont généralement les premiers à se rassembler sur les sites de reproduction. Une fois le site choisi, la femelle commence à excaver son nid en faisant battre sa queue sur le fond, ce qui a pour effet de soulever les petites particules de gravier et de sédiments fins. Lorsque la femelle est prête à frayer, le mâle et la femelle produisent de vigoureuses contractions musculaires de la tête vers la queue, entraînant l'expulsion des œufs et de la laitance dans le nid. Une fois la fraie terminée, la femelle recouvre les œufs de gravier de la même façon qu'elle a creusé le nid (Magnan, 2023, non publié).

Les œufs sont d'une couleur foncée et mesurent entre 1 et 5 mm de diamètre. Les œufs morts deviennent blancs (figure 11) et, s'ils sont très abondants, sont le signe d'une frayère ne présentant pas des conditions adéquates (Guillemette et coll., 2011). L'émergence des larves varie en fonction de la température (degrés-jour) pendant la période d'incubation (Crisp, 1981) et survient vers le mois de mai dans le Québec méridional (Guillemette et coll., 2011).



Figure 11. Photo d'œufs embryonnés où l'on distingue facilement les œufs morts (blancs).

6.1.3 Enjeux de la voirie forestière au succès reproducteur

La voirie forestière (particulièrement les ponceaux mal entretenus) peut avoir des répercussions à long terme sur l'accumulation des sédiments fins dans les habitats aquatiques. Les traverses de cours d'eau peuvent également constituer un obstacle à la libre circulation des poissons, que ce soit par leur vitesse d'écoulement et les turbulences élevées qu'ils peuvent engendrer, leur faible profondeur ou leur obstruction, ou encore par une sortie d'eau surélevée créant une chute infranchissable (Goerig et Bergeron, 2014; Jutras et coll., 2022).

Les éléments qui peuvent nuire au libre passage du poisson au site d'une traversée de cours d'eau sont principalement les suivants (tiré du Guide d'application du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État; mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide) :

- Vitesse excessive d'écoulement des eaux;
- Profondeur d'eau insuffisante (ex. : à l'intérieur du ponceau ou causée par l'enrochement aux extrémités);
- Création d'une chute d'eau ou d'un dénivelé trop important;
- Turbulence excessive

6.2 Localisation des sites de reproduction et dénombrement des nids

L'identification des nids après la saison de reproduction est une approche sans équivoque, préférable à la méthode de caractérisation des frayères en période estivale (Kondolf et coll., 2008; Bujold et Vachon, 2016). La visite devrait se faire au mois d'octobre ou en novembre, une fois que le pic de fraie est passé. Cette période peut arriver un peu plus tôt dans les régions plus nordiques ou en altitude, ou plus tard dans les régions du sud du Québec. Il est recommandé de localiser les frayères dans l'ensemble d'un lac, de ses tributaires et de son émissaire, et de noter leurs coordonnées géographiques afin d'y retourner ultérieurement pour une caractérisation plus fine au besoin. Leur localisation approximative peut aussi être notée sur la carte du réseau hydrographique (section 2.2).

En lac, la recherche des frayères s'effectue à bord d'une embarcation, idéalement à fond plat pour plus de stabilité et de confort. La recherche de nids s'effectue plus facilement à l'aide d'un bathyscope (ou aquascope[1]), sinon avec des lunettes polarisées si la transparence de l'eau permet de localiser les nids plus profonds. La zone littorale, le pourtour des îles et les hauts fonds sont ratissés à basse vitesse en effectuant des zigzags entre la berge et une profondeur de 3 m. Les zones situées de part et d'autre des apports d'eau provenant du réseau hydrique périphérique (section 2.2) doivent être examinées attentivement, car elles abritent souvent des nids.

Un des premiers signes de la fraie est l'apparition de zones de « nettoyage » créées par les femelles lors de l'excavation des nids. Ces surfaces sont dégagées de matière organique et forment souvent des percées plus pâles sur le fond (figure 12). Les nids, plus faciles à observer, prennent la forme de dépressions d'environ 10 à 20 cm de profond et de 25 à 50 cm de diamètre, parfois associées à la présence d'un petit monticule indiquant que le nid a récemment été recouvert de gravier (figure 12). Attention de ne pas confondre des pistes d'orignaux avec des nids, car elles peuvent s'y apparenter.

[1] Disponible à l'achat. Pour un protocole de fabrication d'un aquascope maison : Protocole de fabrication d'un aquascope maison (gouv.qc.ca)



Figure 12. Photos de nids d'omble de fontaine. Crédits photo : Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec.

En cours d'eau, les frayères seront localisées en marchant de l'aval vers l'amont, idéalement sur les berges sinon dans le cours d'eau. Les équipiers sont munis de lunettes polarisées ou d'un bathyscope selon les conditions de luminosité. On ratisse les tributaires et l'émissaire sur les 500 premiers mètres afin de localiser les sites de fraie, généralement à pied à moins que le cours d'eau permette l'utilisation d'une embarcation. Si aucune frayère n'est localisée, la recherche est poursuivie sur les 500 m suivants et, si nécessaire, sur un troisième tronçon pour atteindre une distance de 1,5 km du lac. La recherche de frayères dans les tributaires cesse si l'une des situations ci-dessous est observée (mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide, chapitre V, article 103) :

- une chute verticale d'une hauteur de plus de 1 m, mesurée à partir de la surface de l'eau;
- le lit du cours d'eau présente une section de roche-mère lisse dont la pente moyenne est de 5 % ou plus sur une distance minimale de 3 m et où la profondeur d'eau s'écoulant sur l'ensemble de cette section est de moins de 100 mm;
- une section du cours d'eau présente une pente égale ou supérieure à 20 %, évaluée à l'aide de cartes topographiques du Ministère ou observée sur le terrain sur une distance de plus de 20 m;
- le lit du cours d'eau disparaît sur une distance de plus de 5 m.

Il est aussi possible de consulter les courbes du LiDAR tous les 2 m pour localiser, avant la sortie sur le terrain, les fortes pentes qui peuvent constituer des obstacles à la montaison. À noter que les barrages de castors ne sont pas considérés comme des obstacles nuisibles à l'accessibilité des frayères (voir chapitre 7).

À chaque frayère, le nombre de nids est estimé par deux observateurs (ou un même observateur fait deux décomptes) et la moyenne des deux valeurs est utilisée pour le diagnostic. Il est également nécessaire de vérifier si des signes de sédimentation sont présents à proximité de la frayère, par exemple en lien avec la présence d'un réseau routier dégradé. L'apport sédimentaire qui peut se produire entre la ponte et l'émergence pourrait apporter des particules fines susceptibles de colmater les œufs en incubation, tant en lac qu'en cours d'eau. Il s'agit donc d'un élément important à considérer lors de l'évaluation de la qualité de l'habitat de fraie.

6.2.1 Caractérisation des traverses de cours d'eau

Les ponceaux sont les structures les plus susceptibles d'engendrer des situations problématiques en lien avec la qualité ou l'accessibilité des frayères en cours d'eau. Dans le contexte auquel s'applique le présent guide, il n'est pas nécessaire de caractériser les autres types de traverses de cours d'eau (ponts, arches, à gué, etc.).

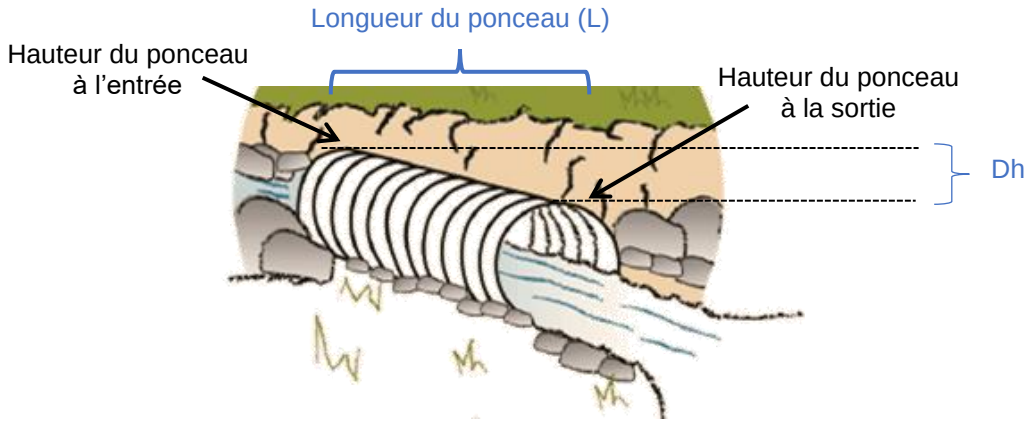
Les ponceaux rencontrés dans les tronçons de cours d'eau parcourus pour la recherche de frayères (soit entre 500 m et 1,5 km en amont de leur embouchure selon le cas : voir la section 6.2) doivent être caractérisés en indiquant les informations suivantes :

- Coordonnées géographiques : Ces données permettront de noter la distance du ponceau par rapport à une frayère située en amont ou en aval. La localisation approximative du ponceau peut aussi être notée sur la carte du réseau hydrographique (section 2.2).
- Matériau : Tôle ondulée, plastique ondulé, plastique lisse, béton, bois, autre matériel lisse, etc.
- Longueur et diamètre du ponceau : En présence de ponceaux parallèles, mesurer les dimensions du conduit principal, soit celui étant le plus probablement utilisé par les poissons.
- Pente du ponceau (dénivellation) : La pente est calculée en faisant la différence entre l'élévation du ponceau à l'entrée et à la sortie (*Dh*), en divisant cette différence par la

longueur du ponceau (*L*) puis en multipliant par 100 (figure 13). L'utilisation d'un altimètre électronique de précision (*Ziplevel*) est recommandée.

- Hauteur d'eau à la sortie du ponceau (trois mesures nécessaires) :
    - Hauteur de la chute (cm) ou de la cascade à la sortie du ponceau, soit la hauteur entre la partie inférieure du ponceau à sa sortie et la surface de l'eau (figure 14). Si la paroi du ponceau est sous la surface de l'eau, inscrire 0. Une cascade se définit par une pente en aval de la sortie du conduit beaucoup plus prononcée que la pente générale du cours d'eau à cet endroit.
    - Profondeur de la fosse (cm), soit la hauteur entre la partie inférieure du ponceau à sa sortie et le fond de la fosse en aval (ce qui inclut la hauteur de la chute ou de la cascade).
    - Différence entre la hauteur du seuil (radier) à l'aval de la fosse et la partie inférieure du ponceau à sa sortie (figure 15). Une valeur positive indique que le seuil est plus haut que la partie inférieure ponceau.
- Vitesse du courant (m/s) à l'intérieur du ponceau :
    - Utiliser une balle de plastique qu'on laisse dériver du début à la fin du ponceau (distance connue) en notant le temps requis pour parcourir cette distance. La moyenne de trois mesures permettra d'estimer la vitesse de courant.
    - Noter si la vitesse de l'eau dans le ponceau semble augmenter significativement par rapport à la vitesse de courant du cours d'eau, en particulier si la mesure de la vitesse n'est pas possible (en présence d'une obstruction, par exemple).
- Profondeur de l'écoulement : Mesurer la profondeur d'eau à l'intérieur du conduit (en cm) dans ses portions amont et aval. S'il n'y a pas de substrat dans le fond d'un ponceau à paroi ondulée, prendre la mesure dans le fond d'une ondulation.
- Présence (et ampleur, le cas échéant) de signes d'érosion ou d'apports de sédiments de diverses sources (fossé, remblais, déblais, surface du chemin, berges du cours d'eau, etc.).

L'annexe 6 présente un exemple de fiche terrain pour la caractérisation des traverses de cours d'eau.



$$Pente\ du\ ponceau = \frac{Dh}{L} * 100$$

Figure 13. Schéma des mesures à prendre et méthode pour calculer la pente d'un ponceau. (Adapté de Fédération des producteurs forestiers du Québec, 2023)

a) Hauteur d'une chute

b) Hauteur d'une cascade

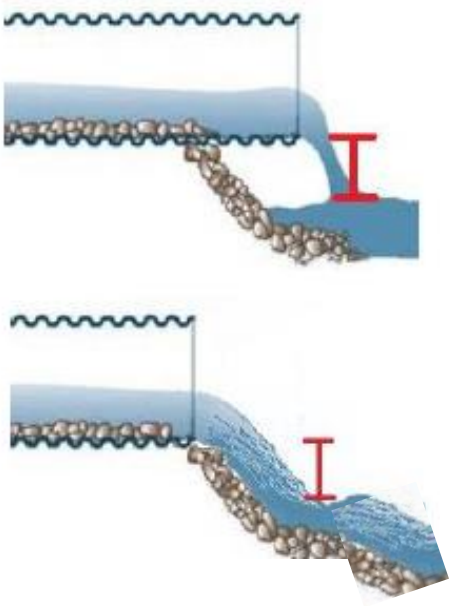


Figure 14. Illustration de la mesure de la hauteur a) d'une chute ou b) d'une cascade à la sortie d'un ponceau. Tiré de Abbott (2012).

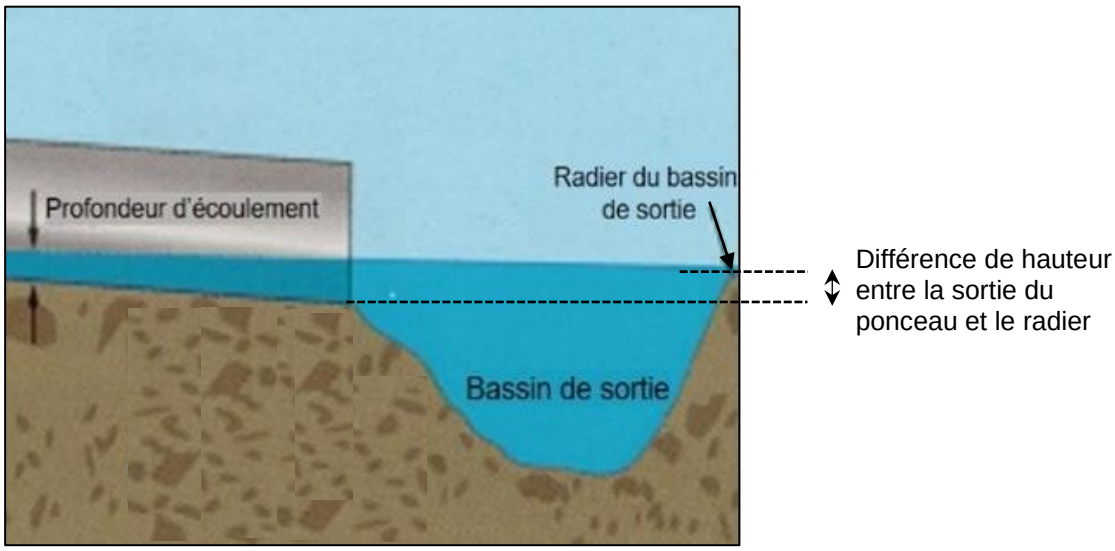


Figure 15. Illustration de la mesure de la hauteur du seuil en aval d'un ponceau. Une valeur positive indique que le seuil est plus haut que la partie inférieure ponceau. Adaptée de MPO (2022).

6.3 Évaluation de l'habitat de reproduction

L'évaluation de l'habitat de reproduction pour une population d'ombles de fontaine en lac reposera sur la **quantité** de nids, l'**accessibilité** des sites de fraie et la **qualité** des frayères selon les risques de colmatage par l'apport de sédiments.

L'évaluation de l'habitat de reproduction sera réalisée dans un premier temps sur la base du nombre total de nids observés, en lac et en cours d'eau (tableau 8; annexe 7).

Tableau 8 : Valeurs de référence pour l'interprétation de la quantité de nids répertoriés dans le lac, ses tributaires et son émissaire.

Nombre de nids répertoriés	Nombre de nids
Bon	> 50
Acceptable	Entre 15 et 49
Faible	< 15

L'accessibilité des sites de reproduction identifiés sera évaluée à partir de la caractérisation des ponceaux en aval des frayères situées dans un tributaire. L'interprétation des informations colligées pour chacun des ponceaux au regard de la libre circulation de l'omble de fontaine suivra entre autres les recommandations de Goerig et Bergeron (2014). Le tableau 9 présente les caractéristiques d'un ponceau offrant une franchissabilité optimale, sous-optimale ou limitée. Comme c'est souvent l'interaction entre deux variables qui influe sur le niveau de libre circulation du poisson (longueur du ponceau et vitesse d'écoulement, par exemple), le niveau de franchissabilité du ponceau sera évalué selon le nombre de caractéristiques répondant aux conditions optimales et limitantes (tableau 10).

Tableau 9 : Valeurs de référence pour l'interprétation des caractéristiques des ponceaux au regard de la libre circulation de l'omble de fontaine adulte.

Caractéristique	Valeurs optimales	Valeurs sous-optimales	Valeurs limitantes
Longueur du ponceau	< 25 m	25 à 45 m	> 45 m
Pente du ponceau	< 2 %	2 à 4 %	> 4 %
Profondeur d'écoulement	≥ 10 cm		< 10 cm
Vitesse du courant	< 1 m/s	1 à 2 m/s	> 2 m/s
Chute à l'aval	< 10 cm	10 à 45 cm	> 45 cm
Profondeur d'eau à la sortie du ponceau	≥ 10 cm		< 10 cm
Rugosité du matériel	Matériel ondulé	Matériel lisse	

Tableau 10 : Évaluation de la franchissabilité d'un ponceau selon qu'il présente ou non les caractéristiques optimales permettant la libre circulation du poisson.

Niveau de franchissabilité	Présence d'espèces compétitrices ou prédatrices
Élevé	Le ponceau présente 5 ou 6 des caractéristiques optimales et aucune caractéristique limitant la libre circulation du poisson.
Moyen	Le ponceau présente 4 caractéristiques optimales ou moins et aucune caractéristique limitant la libre circulation du poisson.
Faible	Le ponceau présente au moins une caractéristique limitant la libre circulation du poisson.

Finalement, la qualité des sites de fraie sera évaluée selon la présence de signes d'érosion. La présence de différentes sources d'apports en sédiments et l'ampleur des signes d'érosion détermineront le niveau de qualité de chacune des frayères (tableau 11).

Tableau 11 : Évaluation de la qualité de chaque site de fraie au regard des risques de colmatage par l'apport de sédiments.

Qualité du site de fraie	Nombre de sources et ampleur des signes d'érosion
Élevée	Aucun signe d'érosion ou une seule source d'apports légers.
Moyenne	Une seule source de sédimentation d'importance, ou une source importante et une source d'apports légers, ou deux sources d'apports légers.
Faible	Au moins deux sources importantes de sédimentation ou au moins trois sources de sédimentation de différentes ampleurs.

L'habitat de reproduction sera ainsi évalué de façon globale sur le plan de la quantité de nids répertoriés (sans égard au nombre de sites de fraie), puis chaque site de fraie sera évalué sur le plan de l'accessibilité et de la qualité.

7. Autres enjeux potentiels

Contrairement à une idée répandue, il y a très peu de données scientifiques soutenant que les barrages de castors constituent une entrave aux déplacements des poissons dans un cours d'eau (Kemp et coll., 2012; Biron, 2017). Les barrages peuvent même contribuer à créer des zones favorables à la fraie en permettant à l'eau de s'infiltrer dans le lit du cours d'eau et en créant une zone d'écoulement hyporhéique en aval. En s'écoulant dans le substrat, les eaux peuvent aussi se refroidir et créer des refuges thermiques en aval d'un barrage. Dans le contexte auquel s'applique le présent guide, il n'est donc pas nécessaire de localiser et de caractériser les barrages de castors ni la présence de bois mort dans le cours d'eau. Ces amoncellements ne constituent pas des obstacles à la circulation du poisson ou à l'écoulement de l'eau, mais fournissent plutôt abris et nourriture et sont donc généralement bénéfiques pour les ombles de fontaine (McMahon and Hartman, 1989; Fausch, 1993; Inoue et coll., 1997).

Les retenues d'eau à des fins de villégiature ou pour des prises d'eau municipales peuvent générer des baisses de niveau d'eau pouvant entraîner le gel des œufs ou leur assèchement par l'exondation des frayères. Si un lac possède une structure de retenue à son émissaire, il peut être pertinent de noter si celle-ci cause un marnage entre la période de fraie et l'émergence des larves (de la mi-septembre au début mai). Tout événement entraînant une baisse du niveau d'eau ≥ 50 cm pendant cette période critique pourrait entraîner une mortalité des œufs et des larves.

D'autres facteurs pourraient aussi être à considérer, par exemple la présence de coupes forestières récentes (~5 ans). Les activités d'aménagement forestier pourraient affecter à court ou moyen terme la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine par la coupe des bandes riveraines ou par des superficies de déboisement élevées dans le bassin versant qui peuvent augmenter l'apport de sédiments ou la température de l'eau de surface et souterraine, ou entrainer parfois des apports ponctuels mais importants de sédiments ou nutriments qui peuvent modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Curry et coll., 2002; Petty et coll., 2012; St-Onge et coll., 2001; Garcia et Carignan, 2005; Carignan et coll., 2000; Tremblay et coll., 2009). Toute modification aux nappes phréatiques près des cours d'eau et des lacs, notamment par la machinerie forestière ou par la construction de routes et de ponceaux, risque aussi d'affecter la reproduction de l'espèce (Curry et coll., 2002; Boudreault, 2013). On peut consulter la cartographie des récoltes et autres interventions sylvicoles sur DonnéesQuébec.ca.

Le développement de la villégiature, l'artificialisation des berges et l'urbanisation peuvent aussi expliquer une diminution de la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine et, par conséquent, de la qualité de la pêche. L'arrivée d'une espèce exotique envahissante, qu'elle soit faunique ou floristique, ou d'une espèce indigène compétitrice, risque aussi de chambouler tout l'écosystème et ainsi d'affecter la productivité de l'omble de fontaine. Il est difficile de décrire explicitement tous les facteurs pouvant affecter les rendements de pêche, comment les caractériser et comment évaluer leur impact. Le promoteur ou le gestionnaire doit toutefois rester à l'affût et documenter tout autre élément qu'il juge susceptible d'affecter les rendements et la qualité de la pêche récréative.

8. Analyse globale : vers un aménagement potentiel?

Tout ce travail est déclenché lorsqu'un promoteur ou un gestionnaire s'inquiète d'une baisse de la qualité de la pêche à l'omble de fontaine. Traditionnellement, la réalisation d'un aménagement de l'habitat était perçue comme la solution pour corriger la situation. Toutefois, on sait maintenant qu'il est essentiel de réaliser un examen plus complet des facteurs limitant la productivité de l'omble de fontaine afin d'entreprendre des actions efficaces. La figure 15 présente un outil d'aide à la décision pour le promoteur ou le gestionnaire, qui reprend les différents éléments caractérisés décrit dans les chapitres précédents (niveau d'exploitation, espèces compétitrices, habitat de croissance et habitat de reproduction). L'outil permet d'organiser les facteurs selon un ordre décroissant d'impact sur les populations d'ombles de fontaine, afin d'orienter les actions sur le facteur limitant le plus important. Par exemple, si les conditions d'oxygène sont inadéquates, il n'est pas pertinent d'aménager une frayère, même si celles déjà présentes semblent déficientes. Un tel aménagement pourrait permettre une plus grande abondance d'alevins, mais ceux-ci ne survivraient possiblement pas jusqu'à une taille permettant la récolte par les pêcheurs. Les objectifs d'augmentation des rendements ou de la qualité de la pêche ne seraient donc pas atteints avec un tel aménagement.

Cet arbre décisionnel permet aussi d'amorcer la réflexion en commençant par l'analyse des données disponibles (morphologie, données de pêche récréative et composition de la communauté si elle est connue). Cette première analyse permettra ensuite de déterminer si des actions d'acquisition de connaissances sur le terrain sont requises.

Comme on le mentionne au chapitre 7, l'outil d'aide à la décision se base sur les *principaux* éléments pouvant influer sur les rendements de pêche d'une population d'ombles de fontaine exploitée en lac. Il ne s'agit donc pas d'une liste exhaustive et tout autre enjeu susceptible d'avoir un impact sur les rendements de pêche récréative devrait être considéré avant d'évaluer la possibilité d'aménager l'habitat. De plus, les critères d'évaluation présentés pour chaque élément sont des outils d'aide à la décision et ne reflètent pas nécessairement des seuils qui s'appliquent intégralement à tous les lacs du Québec. Il est ainsi recommandé de discuter des résultats de l'étude diagnostique avec la DGFa de la région concernée avant de prendre une décision sur les suites qui seront données.

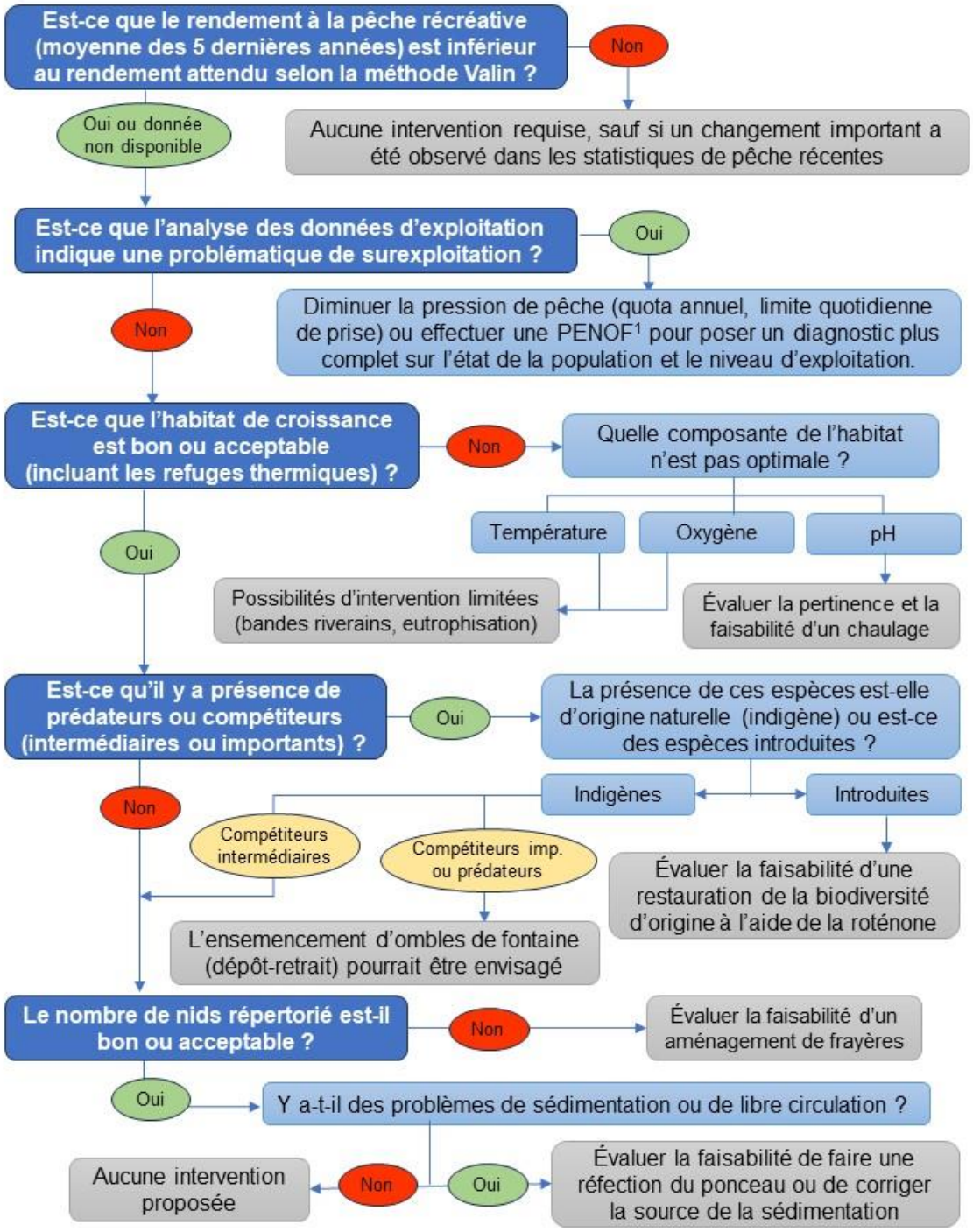


Figure 16. Outil d'aide à la décision visant à orienter les actions potentielles pour améliorer la qualité de la pêche récréative d'un lac à omble de fontaine en milieu forestier. Des exceptions peuvent s'appliquer. Il ne s'agit pas d'une grille d'évaluation sur la pertinence de financer un aménagement.

[1]Pêche expérimentale normalisée à l'omble de fontaine (voir SFA 2011).

9. Références bibliographiques

ARGENT, D. G. and P. A. FLEBBE. 1999. *Fine sediment effects on brook trout eggs in laboratory streams*. Fisheries Research 39:253-262.

ABBOTT, A. 2012. *Maine road-stream crossing survey manual*. Gulf of Maine Coastal Program, U.S. Fish and wildlife service, Falmouth, Maine, 25 p.

BARIL, M. and P. MAGNAN. 2002. *Seasonal timing and dial activity of lacustrine brook charr,* Salvelinus fontinalis*, spawning in a lake outlet*. Environmental Biology of Fishes 64:175-181.

BERNIER-BOURGAULT, I. and P. MAGNAN. 2002. *Factors affecting redd site selection, hatching, and emergence of brook charr,* Salvelinus fontinalis*, in an artificially enhanced site*. Environmental Biology of Fishes 64:333-341.

BÉRUBÉ, P. et J. DUPONT. 1994. *Utilisation d'un nomogramme de classification des lacs comme outil de gestion des plans d'eau acidifiés*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 8 p. + annexe.

BERTOLO, A., M. PÉPINO, J. ADAMS and P. MAGNAN. 2011. *Behavioural thermoregulatory tactics in lacustrine brook charr,* Salvelinus fontinalis. PLoS One 6(4):e18603.

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, 70 p.

BIRO, P. 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.

BIRO, P. A., C. BECKMANN et M. S. RIDGWAY. *Early microhabitat use by age 0 year brook charr* Salvelinus fontinalis *in lakes*. Journal of Fish Biology 73:226-240.

BLANCHFIELD, P. J. and M. S. RIDGWAY. 1996. *Use of seepage meters to measure groundwater flow at brook trout spawning redds*. Transactions of the American Fisheries Society 125:813-818.

BLANCHFIELD, P. J. and M. S. RIDGWAY. 1997. *Reproductive timing and use of redd sites by lake-spawning brook trout (*Salvelinus fontinalis*)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54:747-756.

BOUDREAULT, P.-O. 2013. *L'omble de Fontaine à l'ombre des forêts : aménager sans nuire*. Marie-Claude Labbé et Amélie St-Laurent, éditrices. Nature Québec, Québec, 24 p.

BORWICK, J., J. BUTTLE and M. S. RIDGWAY. 2006. *A topographic index approach for identifying groundwater habitat of young-of-year brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in the land-lake ecotone*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63:239-253.

BOURKE, P., P. MAGNAN and M. A. RODRIGUEZ. 1997. *Individual variations in habitat use and morphology in brook charr*. Journal of Fish Biology 51:783-794.

BUJOLD, J.-N. et M. VACHON. 2016. *Guide d'identification de frayères à omble de fontaine dans les cours d'eau*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 12 p. ISBN : 978-2-550-74828-1.

CARIGNAN, R., P. D'ARCY and S. LAMONTAGNE. 2000. *Comparative impacts of fire and forest harvesting on water quality in Boreal Shield lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57(suppl.2):105-117.

CARLINE, R.F. 1980. *Features of successful spawning site development for brook trout in Wisconsin ponds*. Transactions of the American Fisheries Society 109:453-457.

CHAMBERLAIN, C. B. and W. A. HUBERT. 1996. *Factors Affecting Brook Trout Populations in Lakes and Reservoirs in Wyoming*. Journal of Freshwater Ecology 11:301-309.

CREQUE, S. M., E. S. RUTHERFORD and T. G. ZORN. 2005. *Use of GIS-Derived Landscape-Scale Habitat Features to Explain Spatial Patterns of Fish Density in Michigan Rivers*. North American Journal of Fisheries Management 25:1411-1425.

CRISP, D.T. 1981. *A desk study of the relationship between temperature and hatching time for the eggs of five species of salmonid fishes*. Freshwater Biology 11:361-368.

COTE, D., B. K. ADAMS, K. D. CLARKE and M. LANGDON. 2011. *Salmonid biomass and habitat relationship for small lakes*. Environmental Biology of Fish 92:351-360.

CURRY, R. A., J. GEHRELS, D. L. G. NOAKES and R. SWAINSON. 1994. *Effects of river flow fluctuations on groundwater discharge through brook trout,* Salvelinus fontinalis*, spawning and incubation habitats*. Hydrobiologia 277:121-134.

CURRY, R. A. and L. G. NOAKES. 1995. *Groundwater and the selection of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52:1733-1740.

CURRY, R.A., D.L.G. NOAKES et G.E. MORGAN. 1995. *Groundwater and the incubation and emergence of brook trout (*Salvelinus fontinalis*)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52:1741–1749.

CURRY, R. A., D. A. SCRUTON and K. D. CLARKE. 2002. *The thermal regimes of brook trout incubation habitats and evidence of changes during forestry operations*. Canadian Journal of Forest Research 32:1200-1207.

CURRY, R. A., C. B. BRADY and G. E. MORGAN. 2003. *Effects on Recreational Fishing on the Population Dynamics of Lake-Dwelling Brook Trout*. North American Journal of Fisheries Management 23:35-47.

CURRY, R. A. and W. S. MACNEILL. 2004. *Population-level response to sediment during early life in brook trout*. Journal of the North American Benthological Society 23:140-150.

DEMERS, A. et M. ARVISAIS. 2011. *Guide de normalisation des inventaires bathymétriques*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Service de la faune aquatique, Québec. 32 p.

DESCHÊNES, J., M. ARVISAIS, I. THIBAULT et H. FOURNIER. 2017. *Création d'un indicateur de la qualité de l'habitat du touladi au Québec*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Québec, 25 p.

DEVRIES, P. 1997. *Riverine salmonid egg burial depths: review of published data and implications for scour studies*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54:1685-1698.

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 p. + annexes.

ESSINGTON, T. E., P. W. SORENSON and D. G. PARON. 1998. *High rate of redd superposition by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Minnesota stream cannot be explained by habitat availability alone*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 55:2310-2316.

FAUSCH, K. D. 1993. *Experimental analysis of microhabitat selection by juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) and coho salmon (*O. kisutch*) in British Columbia stream*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 50:1198-1207.

FALKE, J. A., K. D. FAUSCH, K. R. BESTGEN and L. L. BAILEY. 2010. *Spawning phenology and habitat use in a Great Plains, USA, stream fish assemblage: an occupancy estimation approach*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 67:1942-1956.

FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS FORESTIERS DU QUÉBEC. 2023. Changements importants dans la réglementation environnementale des traverses de cours d'eau - Fédération des producteurs forestiers du Québec (foretprivee.ca). Infolettre vol. 27, no 2.

FRASER, J. M. 1982. *An atypical brook charr (*Salvelinus fontinalis*) spawning area*. Environmental Biology of Fishes 7:385–388.

FRASER, J. M. 1985. *Shoal spawning of brook trout,* Salvelinus fontinalis*, in a Precambrian shield lake*. Naturaliste canadien. 112:163–174.

GAGNÉ, S. 2023. *Plan de gestion de l'omble de fontaine au Québec 2020*. Ministère de l'environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Québec, 58 p.

GARCIA, E. and R. CARIGNAN. 2005. *Mercury concentrations in fish from forest harvesting and fire-impacted canadian boreal lakes compared using stable isotopes of nitrogen*. Environmental Toxicology and Chemistry 24:685-693.

GEHRI, R. R., W. A. LARSON, K. GRUENTHAL, N. M. SARD and Y. SHI. 2021. *eDNA metabarcoding outperforms traditional fisheries sampling and reveals fine-scale heterogeneity in a temperate freshwater lake*. Environmental DNA 3:912-929. https://doi.org/10.1002/edn3.197

GLAZ, P., P. SIROIS and C. NOZAIS. 2012. *Determination of food sources for benthic invertebrates and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in canadian boreal shield lakes using stable isotope analysis*. Aquatic Biology 17:107-117.

GOERIG, E. et N. BERGERON. 2014. *Modélisation de la capacité de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) à franchir les ponceaux*. Institut national de la recherche scientifique pour le compte du ministère des Transports du Québec. Collection Études et recherches en transport, RTQ-15-03, Québec, 132 p. + annexes.

GOYER, K., A. BERTOLO, M. PÉPINO and P. MAGNAN. 2014. *Effects of Lake Warming on Behavioural Thermoregulatory Tactics in a Cold-Water Stenothermic Fish*. PLoOS One 2014(9):e92514.

GUILLEMETTE, F., C. VALLÉE, A. BERTOLO and P. MAGNAN. 2011. *The evolution of redd site selection in brook charr in different environments: same cue, same benefit for fitness*. Freshwater Biology 56:1017-1029.

GUNN, H. M. 1986. *Behaviour and ecology of salmonid fishes exposed to episodic pH depression*. Environmental Biology of Fishes 17:241-252.

HATIN, M. et Y. CHARRETTE. 2014. *Rôle et importance des petits cours d'eau pour les alevins d'omble de fontaine dans les Hautes-Laurentides*. 44 pages.

HAZZARD, A. S. 1932. *Some phases of the life history of Eastern brook trout,* Salvelinus fontinalis *Mitchill*. Transactions of the American Fisheries Society 62:344-350.

HENDERSON, N. E. 1963. *Influence of light and temperature on reproductive cycle of the Eastern brook trout,* Salvelinus fontinalis *(Mitchill)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 20:859–897.

HITT, N. P., E. L SNOOK and D. L. MASSIE. 2017. *Brook trout use of thermal refugia and foraging habitat influenced by brown trout*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 74:406-418.

HUDY, M., T. M. THIELING, N. GILLESPIE and 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.

INOUE, M., S. NAKANO et F. NAKAMURA. 1997. *Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54:1331-1341.

INGERSOLL, C. G., MOUNT, D. R., GULLEY, D. D., LA POINT, T. W. and BERGMAN, H. L. 1990. *Effects of pH, Aluminium, and Calcium on Survival and Growth of Eggs and Fry of Brook Trout*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 47:1641-1648.

JOSEPHSON, D. C. and D. W. YOUNGS. 1996. *Association between emigration and age structure in populations of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in Adirondack lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53:534–541.

JUTRAS, S., P. PARADIS-LACOMBE, O. FERLAND, K. GILBERT, A.-A. GRENIER, E. GOERIG et N.É. BERGERON. 2022. *Guide de saines pratiques pour les chemins forestiers à faible utilisation – Stratégies de gestion et de mise en application*. Université Laval. Québec, Québec, Canada. 80 p.

KEMP, P. S., T. A. WORTHINGTON, T. E. L. LANGFORD, A. R. J. TREE and M. J. GAYWOOD. 2012. *Qualitative and quantitative effects of reintroduced beavers on stream fish*. Fish and Fisheries 13:158-181.

KONDOLF, G. M., J. G. WILLIAMS, T. C. HORNER and D. MILAN. 2008. *Assessing physical quality of spawning habitat*. P. 249-274, dans D.A. Sear et P.DeVries, éditeurs. *Salmonid spawning habitat in rivers: physical controls, biological responses, and approaches to remediation*. American Fisheries Society. Symposium 65, Bethesda, Maryland.

LACASSE, S. and P. MAGNAN. 1992. *Biotic and Abiotic Determinants of the Diet of Brook Trout,* Salvelinus fontinalis*, in Lakes of the Laurentian Shield*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49:1001-1009.

LACHANCE, S., M. DUBÉ, R. DOSTIE and P. BÉRUBÉ. 2008. *Temporal and Spatial Quantification of Fine-Sediment Accumulation Downstream of Culverts in Brook Trout Habitat*. Transactions of the American Fisheries Society 17:1826-1838.

MCMAHON, T. E. and G. F. HARTMANN. 1989. *Influence of cover and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 46:1551-1557.

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.

MAGNAN, P., R. PROULX and M. PLANTE. 2005. *Integrating the effects of fish exploitation and interspecific competition into current life history theories: an example with lacustrine brook trout (*Salvelinus fontinalis*) populations*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62:747-757.

MAINGUY, J. and R. A. MORAL. 2021. *An Improved Method for the Estimation and Comparison of Mortality Rates in Fish from Catch-Curve Data*. North American Journal of Fisheries Management 41:1436-1453.

MEQ (Ministère de l'Environnement du Québec). 1999. *L'acidité des eaux au Québec.* Environnement Québec, https://www.environnement.gouv.qc.ca/air/pre_acid/brochure/index.htm.

MLCP (Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche). 1982. *Compte-rendu de l'atelier sur la gestion de l'omble de fontaine au Québec*. Direction générale de la faune et Direction générale des opérations régionales, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 207 p.

MPO (Pêches et Océans Canada). 2012. *Enquête sur la pêche récréative au Canada 2010*. Pêche et Océans Canada, Analyses économiques et statistiques, Politiques stratégiques et Gestion des ressources, Gestion des écosystèmes et des pêches. ISBN 978-0-660-29279-3. Ottawa, 14 p. + annexes.

MPO (Pêches et Océans Canada). 2019. *Enquête sur la pêche récréative au Canada 2015*. Pêche et Océans Canada. ISBN 978-1-100-54196-9, DFO/2012-1804. Ottawa, 13 p. + annexes.

MPO (Pêches et Océans Canada). 2022. *Pratiques exemplaires de gestion pour la protection de l'habitat des poissons d'eau douce à Terre-Neuve-et-Labrador*. St. John's, T.-N.-L. 78 p. + annexes.

OKAMOTO, K. W., R. WHITLOCK, P. MAGNAN and U. DIECKMANN. 2009. *Mitigating fisheries-induced evolution in lacustrine brook charr (*Salvelinus fontinalis*) in southern Quebec, Canada*. Evolutionary Applications 2009:415-437.

PANKHURST, N. W. and M. J. R. PORTER. 2003. *Cold and dark or warm and light: variations on the theme of environmental control of reproduction*. Fish Physiology and Biochemistry 28:385-389.

PÉPINO, M., P. MAGNAN, R. LEROUX and A. BERTOLO. 2024. *Thermal habitat fragmentation in stratified lakes induces resources waves that brook charr track across seasons*. Oikos, e10539.

PÉPINO, M., M. A. RODRÍGUEZ and P. MAGNAN. 2015. *Shifts in movement behavior of spawning fish under risk of predation by land-based consumers*. Behavioral Ecology 26:996–1004.

PÉPINO, M., M. A. RODRÍGUEZ and P. MAGNAN. 2017. *Incorporating lakes in stream fish habitat models: are we missing a key landscape attribute?* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 74:629-635.

PETTY, J. T., J. L. HANSBARGER, B. H. HUNTSMAN and P. M. MAZIK. 2012. *Brook Trout Movement in Response to Temperature, Flow, and Thermal Refugia within a Complex Appalachian Riverscape*. Transactions of the American Fisheries Society 141:1060–1073.

PETTIGREW, P. 2011. *Mise à jour des normes de pêche expérimentale à l'omble de fontaine*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Service de la faune aquatique, Québec, 19 p.

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 en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi, 89 p.

PLOURDE-LAVOIE, P., J. PLOURDE, J.-N. BUJOLD 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, Québec, 31 p.

POWER, G. 1980. *The brook charr,* Salvelinus fontinalis. P. 141–203, dans : E.K. Balon (éditeur) *Charrs: Salmonid Fishes of the Genus* Salvelinus, Dr W. Junk Publishers, The Hague.

QUINN, N. W. S. 1995. *General features of brook trout,* Salvelinus fontinalis*, spawning sites in lakes in Algonquin provincial park, Ontario*. Canadian Field-Naturalist 109:205-209.

RALEIGH, R. F. 1982. *Habitat suitability index models: Brook trout*. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/10.24, 42 ps.

RIDGWAY, M. S. and P. J. BLANCHFIELD. 1998. *Brook trout spawning areas in lakes*. Ecology of Freshwater Fish 7:140-145.

SAINT-ONGE, I., P. BÉRUBÉ et P. MAGNAN. 2001. *Effets des perturbations naturelles et anthropiques sur les milieux aquatiques et les communautés de poissons de la forêt boréale. Rétrospective et analyse critique de la littérature*. Le Naturaliste canadien 125:81-95.

SFA (Service de la faune aquatique). 2011. *Guide de normalisation des méthodes d'inventaire ichtyologique en eaux intérieures, Tome I, Acquisition de données*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 137 ps.

SMITH, D. A., D. A. JACKSON and M. S. RIDGWAY. 2020. *Thermal habitat of Brook Trout in lakes of different size*. Freshwater Science 39:56-69.

SNUCINS, E. J., R. A. CURRY and J. M. GUNN. 1992. *Brook trout (*Salvelinus fontinalis*) embryo habitat and timing of alevin emergence in a lake and stream*. Canadian Journal of Zoology 70:423–427.

THERRIEN, J. et S. LACHANCE. 1997. *Outil diagnostique décrivant la qualité de l'habitat de l'omble de fontaine en rivière au Québec – Phase I : Revue de la documentation et choix des variables*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Québec, 63 p.

TREMBLAY, S. and P. MAGNAN. 1991. *Interactions between two distantly related species, brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and white sucker (*Catostomus commersoni*)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48:857-867.

TREMBLAY, Y., A. N. ROUSSEAU, A. P. PLAMONDON, D. LÉVESQUE et M. PRÉVOST. 2009. *Changes in stream water quality due to logging of the boreal forest in the Montmorency Forest, Québec*. Hydrological Processes 23:764-776.

VAN ZYLL DE JONG, M. C., N. P. LESTER, R. M. KORVER, W. NORRIS and B. L. WICKS. 2007. *Managing the exploitation of brook trout,* Salvelinus fontinalis *(Mitchill), populations in Newfoundland lakes* in *Management and Ecology of Lake and Reservoir Fisheries*. Blackwell Publishing Ltd:267-283.

VÉZINA, R. 1978. *La profondeur moyenne : un outil pour évaluer le potentiel des plans d'eau à truite mouchetée pour la pêche sportive*. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Direction de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Québec, 12 p. + annexes.

WEBSTER, D. A. 1962. *Artificial spawning facilities for brook trout,* Salvelinus fontinalis. Transactions of the American Fisheries Society 91:168–174.

WEBSTER, D. A. and G. EIRIKSDOTTIR. 1976. *Upwelling water as a factor influencing choice of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*)*. Transactions of the American Fisheries Society 105:416–421.

WITZEL, L.D. and H.R. MACCRIMMON. 1983. *Redd-site selection by brook trout and brown trout in southwestern Ontario streams*. Transactions of the American Fisheries Society 112:760-771.

Annexe 1 – Exemple de fiches terrain pour la saisie des données de stations et de spécimens lors d'une pêche au filet maillant

Détails des stations de pêche expérimentale

Type de pêche : _____

Lac : _____
No LCE : _____
Équipe (initiales) : _____

No de station	Latitude (DD.ddddd)	Longitude (DD.ddddd)	Date de pose (aaaa/mm/jj)	Pose		Date de levée (aaaa/mm/jj)	Levée		Profondeur		Maille en rive (P ou G)	Commentaires
				Heure	Min		Heure	Min	Début	Fin		

Détails des spécimens

Lac : _____

No LCE : _____

Date : _____

Type de pêche : _____

Équipe (initiales) : _____

No de station	Panneau (maille)	No de spécimen	Espèce	Longueur (LTmax, mm)	Masse (g)	Sexe (M/F/IND)	Maturité (O/N/IND)	Otolithes (nb : 0,1,2)	Commentaires

Récolte (autres espèces)

Lac : _____

No LCE : _____

Date : _____

Type de pêche : _____

Équipe (initiales) : _____

No de station	Espèce	Quantité capturée	Quantité pesée	Masse totale (g)	Longueur		Commentaires
					Min	Max	

Annexe 2 – Méthode Valin pour estimer le rendement de la pêche récréative à l'omble de fontaine en lac

Rendement théorique de base (R_{base}) selon la profondeur moyenne du lac (Vézina 1978)

$$R_{base} = 1{,}12 * (10^{(0{,}73766*(3{,}2808*Pmoy)^{0{,}2294} * 0{,}95632^{3{,}2808*Pmoy})})$$

où P_{moy} est la profondeur moyenne du plan d'eau en mètres.

Pourcentage à soustraire du rendement de base précédent lorsque les espèces suivantes sont présentes

Espèces présentes	Pourcentage à soustraire (%)
Grand brochet	100
Ménés, catostomes et touladis	75
Ménés, catostomes et poissons épineux (dorés, perchaudes)	75
Ménés, catostomes, touladis et poissons épineux	90
Ménés et/ou catostomes	50

Pourcentage à soustraire du rendement obtenu précédemment en raison des facteurs morphologiques et physico-chimiques suivants. La réduction s'applique toujours au rendement résultant de l'application du facteur de réduction de l'étape précédente :

- Profondeur moyenne inférieure à 2 mètres : Soustraire 50 % du rendement précédent
- pH inférieur à 5 : Soustraire 50 % du rendement précédent
- Oxygène dissous pour les lacs d'une profondeur maximale de 10 mètres : Soustraire du rendement précédent le pourcentage résultant du rapport entre le nombre de mètres où l'oxygène dissous est inférieur à 5 ppm d'O2 et la hauteur totale de la colonne d'eau

  Exemple :

  Profondeur maximale : 5 m
  O2 < 5 ppm : 2 m
  Rapport : 2/5
  Pourcentage à soustraire : 40 %

➢ Oxygène dissous pour les lacs d'une profondeur supérieure à 10 mètres :	Soustraire du rendement précédent 10 % multiplié par le nombre de mètres où l'oxygène dissous est inférieur à 5 ppm d'O_2 dans les premiers 10 mètres de la colonne d'eau Exemple : Profondeur maximale : 20 m O2 < 5 ppm : 13 m O2 < 5 ppm dans 0-10 m : 3 m Pourcentage à soustraire : (3 m X 10 %) : 30 %
➢ Absence de tributaire et d'émissaire permanent	Soustraire 25 % du rendement précédent
➢ Présence de camps ou de chalets :	Soustraire du rendement précédent 1 % multiplié par le nombre de chalets/10 ha

Annexe 3 – Exemple de fiche terrain pour les échantillons d'ADNe

Lac : _____

No LCE : _____

Date : _____

Équipe : _____

_____

_____

Conditions météo :

Vent (échelle de Beaufort) : _____

Pluie : □ Non □ Légère □ Forte

Approche par : □ Bateau □ À gué

Mode de filtration : □ Seringue □ Pompe

No échantillon (max 6 caract.)	Latitude	Longitude	Heure	Profondeur échantillonnée (m)	Quantité filtrée (ml)	Filtre déchiré?
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non
						□ Oui □ Non

Commentaires :

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Annexe 4 – Effort d'échantillonnage par strate de profondeur en fonction de la superficie du lac pour une pêche expérimentale de communauté avec engins à petites mailles (PECPM) en complément d'une pêche expérimentale normalisée

Superficie du lac	Strate de profondeur	Strate la plus profonde occupant >5 % de la surface						
		3-6	6-12	12-20	20-35	35-50	50-75	>75
5-50 ha	1-3 m	2	2	2	2	2	2	
	3-6 m	1	1	1	1	1	1	
	6-12 m		1	1	1	1	1	
	12-20 m			1	1	1	1	
	20-35 m				1	1	1	
	35-50 m					1	1	
	50-75 m						1	
	>75 m							
	Total	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	
50-500 ha	1-3 m	2	2	2	2	2	2	2
	3-6 m	1	1	1	1	1	1	1
	6-12 m		1	1	1	1	1	1
	12-20 m			1	1	1	1	1
	20-35 m				1	1	1	1
	35-50 m					1	1	1
	50-75 m						1	1
	>75 m							1
	Total	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
500-1 500 ha	1-3 m	2	2	2	2	2	2	2
	3-6 m	2	2	2	2	2	1	1
	6-12 m		1	1	1	1	1	1
	12-20 m			1	1	1	1	1
	20-35 m				1	1	1	1
	35-50 m					1	1	1
	50-75 m						1	1
	>75 m							1
	Total	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**8**	**9**

Tiré de Leclerc (non publié), révision de SFA, 2011.

Annexe 5 – Exemple de fiche terrain pour la caractérisation des paramètres limnologiques

Caractérisation des paramètres limnologiques

Lac : _____

No LCE : _____

Équipe (initiales) : _____

Date : _____

Station : _____

Coordonnées : _____

_____

Appareils : _____

Profondeur maximale : _____

Profondeur (m)	Température (°C)	O_2 (mg/L)	pH	Conductivité
0,5				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
16				
18				
20				
24				
28				
32				
36				
40				
44				
48				
52				
56				
60				
		Échantillon intégré (0-5 m) au besoin		
		Secchi : (moy. des 2 lectures)		

Annexe 6 – Exemple de fiche de caractérisation d'un ponceau

Lac : _____ Date : _____

No LCE : _____ Observateur (initiales) : _____

Cours d'eau : _____ Cordonnées : Lat _____

Structure no : _____ Long _____

Type de cours d'eau

□ Permanent
□ Intermittent
□ Indéterminé

Type de structure

□ Ponceau Nb de tuyaux : _____
□ Pont
□ Arche

Matériel

□ Tôle ondulée
□ Plastique ondulée
□ Plastique lisse
□ Béton
□ Bois

Dimension du ponceau

Longueur : _____ m

Diamètre : _____ m

Dh : _____ m

Pente : _____ %

Caractéristiques hydrologiques

Hauteur de chute/cascade à l'aval : _____cm

Profondeur de la fosse à l'aval : _____cm

Différence sortie du ponceau et radier : _____cm

Profondeur d'eau à l'intérieur du ponceau :

Amont _____ cm

Aval _____ cm

Vitesse d'écoulement : _____ m/s

Signes d'érosion ou d'apport de sédiments

Fossé	□ Non	□ Légers	□ Importants
Remblais	□ Non	□ Légers	□ Importants
Déblais	□ Non	□ Légers	□ Importants
Surface du chemin	□ Non	□ Légers	□ Importants
Berges du cours d'eau	□ Non	□ Légers	□ Importants
Autre (inconnue)	□ Non	□ Légers	□ Importants

Évaluation de la franchissabilité

Longueur du ponceau (< 25 m)	□ Oui	□ Non
Pente du ponceau (< 2 %)	□ Oui	□ Non
Profondeur d'écoulement (≥ 10 cm)	□ Oui	□ Non
Vitesse du courant (< 1 m/s)	□ Oui	□ Non
Chute à l'aval (< 10 cm)	□ Oui	□ Non
Matériel ondulé	□ Oui	□ Non

Annexe 7 – Méthode utilisée pour déterminer les valeurs de référence permettant de juger de la quantité de nids répertoriés

Les valeurs de référence du nombre de nids d'omble de fontaine permettant de juger de la quantité d'habitat de fraie disponible ont été établies à partir d'une revue de littérature sur l'état actuel des connaissances (Pierre Magnan, 2023, non publié). Deux études seulement semblent, à ce jour, avoir permis de caractériser systématiquement les nids et les frayères d'omble de fontaine dans des lacs du Bouclier canadien, soit celle de Quinn (1995) et celle de Ridgway et Blanchfield (1998). Ces deux études ont couvert un total de 18 plans d'eau, dans un grand spectre de superficies (7-986 ha), dont certains à plus d'une reprise et selon des approches différentes.

Pour déterminer des balises permettant de juger si le nombre de nids devrait permettre de maintenir une population autosuffisante d'ombles de fontaine exploitée par la pêche récréative, une valeur moyenne et son écart-type ont été estimés à partir des données de la littérature (Quinn, 1995; Ridgway et Blanchfield, 1998). Si le nombre de nids est supérieur ou égal à la valeur moyenne plus un écart-type (c.-à-d. 16 % des plus grandes valeurs dans une distribution normale), la quantité d'habitat de fraie se voit attribuer le niveau « bon ». Si le nombre de nids est compris dans l'intervalle de la moyenne ± un écart-type, elle se voit attribuer le niveau « acceptable », étant donné que cet intervalle devrait inclure 68 % des données dans une distribution normale. Si le nombre de nids est inférieur à la valeur moyenne moins un écart-type, la quantité d'habitat de fraie se voit attribuer le niveau « faible » (c.-à-d. 16 % des plus faibles valeurs dans une distribution normale). La distribution des données utilisées pour l'établissement des valeurs de référence a été jugée normale, même si ce n'est pas toujours le cas. Cela devrait avoir peu de conséquences sur l'interprétation des indicateurs, car des considérations conservatrices ont été appliquées.

Une cote « acceptable » est considérée comme satisfaisante parce qu'elle représente l'intervalle des valeurs autour de la moyenne du nombre de nids pour des populations d'ombles de fontaine autosuffisantes (c.-à-d. pouvant maintenir un rendement annuel stable à une intensité de pêche donnée).

Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs

Québec