

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

Rapport de recherche

Université du Québec à Chicoutimi

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient d'abord la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP), la Conférence régionale des élus du Saguenay-Lac-Saint-Jean, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine et la MRC du Domaine-du-Roy pour leur contribution financière à la réalisation de ce projet.

Les auteurs tiennent aussi à remercier M. Marc Valentine d'avoir fourni les données essentielles à la réalisation du projet, et toutes les personnes qui ont contribué à la collecte des données utilisées. Un merci tout spécial à Mme Sonya Lévesque, biologiste à la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et M. Marc Archer, directeur général de la CLAP, pour leurs commentaires, leurs avis scientifiques, leurs idées novatrices et la révision du document.

Enfin, Patrick Plourde-Lavoie remercie le Laboratoire des sciences aquatiques de l'UQAC de lui donner accès à un environnement de travail scientifique et dynamique stimulant et à des ressources humaines, matérielles et techniques précieuses. Merci également aux membres du laboratoire pour leurs conseils divers dans le domaine scientifique.

RÉSUMÉ

Les poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean constituent une source de nourriture importante pour les espèces exploitées telles que la ouananiche, le doré jaune, la lotte et le grand brochet, et ils peuvent avoir un impact sur la qualité de pêche sportive. Cependant, il y a peu de connaissances sur ces poissons au lac Saint-Jean, et il est présumé que leur abondance a diminué au fil des 30 dernières années. D'ailleurs, bien qu'il y ait un suivi des poissons d'intérêt sportif et des poissons fourrages en milieu pélagique au lac Saint-Jean, il n'y a actuellement aucun suivi des poissons fourrages en zone littorale. Un outil couramment utilisé pour le suivi de ces populations est la seine de rivage. Cependant, cette technique procure des données hautement variables et est parfois déconseillée pour le suivi des populations dû à sa faible puissance statistique. Ainsi, l'objectif du projet était d'évaluer, par le biais d'analyses de puissance, s'il est envisageable d'instaurer un suivi périodique adéquat des poissons en zone littorale à l'aide de cette méthodologie. Pour atteindre cet objectif, les données de seinage provenant des échantillonnages réalisés entre 1989 et 1995 sur le littoral du lac Saint-Jean ont été utilisées.

Les espèces considérées dans les analyses de puissance sont celles qu'on retrouve abondamment ou fréquemment sur le rivage, soit le méné émeraude, le méné à tache noire, le fouille-roche zébré, l'omisco, la perchaude, la outouche, le naseux des rapides, l'éperlan arc-en-ciel et les catostomidés (meunier noir et meunier rouge). Les résultats indiquent que les données d'abondance mesurées avec une seine de rivage sont hautement variables. Les fluctuations interannuelles d'abondance varient généralement entre 25 et 200 %. Deux types de scénarios ont été simulés dans les analyses de puissance : le premier vise à pouvoir détecter un important changement d'abondance entre deux échantillonnages et le deuxième vise à détecter un faible changement d'abondance à long terme.

Le plan d'échantillonnage suggéré échantillonne chaque station à une seule reprise durant la saison, idéalement durant le mois de juillet, et utilise les mêmes sites d'une année à l'autre. Dans le but de minimiser le nombre de stations à utiliser, les seuils de probabilité

α et β ont été fixés à 0,20. Afin de pouvoir détecter une diminution d'abondance de 25 % ou une hausse de 50 % par espèce entre deux échantillonnages, il faudrait utiliser plus de 1000 stations. Environ 220 stations seraient nécessaires pour détecter une baisse de 50 % ou une hausse de 100 %, tandis que 115 stations devraient être utilisées pour une baisse de 75 % ou une hausse de 200 %. Pour détecter une diminution constante de l'abondance à long terme, plus de 25 années seraient nécessaires pour détecter une baisse de 2 % par année. De 15 à 20 années seraient nécessaires pour une baisse annuelle de 5 %. La variabilité des données de seinage fait en sorte qu'une réduction annuelle de 10 % serait presque impossible à détecter en moins de 10 ans, soit avant que l'abondance devienne nulle.

Nous considérons que le nombre de 220 stations, qui permet de détecter des variations d'importance moyenne de l'abondance, représente un bon compromis entre efficacité et puissance statistique. Puisque le nombre de stations à échantillonner est élevé, différentes techniques de seinage qui couvrent une plus vaste superficie sont proposées afin de réduire la variabilité reliée à l'échantillonnage. Un échantillonnage exploratoire permettrait de tester ces techniques. De même, avant d'instaurer un suivi des poissons fourrages en zone littorale, il faudrait idéalement préciser leur importance en tant que proies pour les poissons sportifs au lac Saint-Jean.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
INTRODUCTION	1
MISE EN CONTEXTE.....	1
LES ÉTUDES ANTÉRIEURES	5
Le contexte	5
La méthodologie utilisée	5
L'ANALYSE DE PUISSANCE, LES PRINCIPES	9
Les erreurs de type I et II.....	9
La puissance statistique	9
Le niveau de signification.....	9
CHAPITRE 1 : ANALYSE DE LA PUISSANCE STATISTIQUE DES DONNÉES RÉCOLTÉES ENTRE 1989 ET 1995 DANS LE BUT D'INSTAURER UN SUIVI DES POISSONS FOURRAGES DE LA ZONE LITTORALE.....	12
MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DE PUISSANCE	12
Aperçu général de la méthode	12
Sélection et traitement des variables	16
Simulation des données et analyses de puissance	17
<i>Simulation des changements temporels d'abondance</i>	17
<i>Détermination du meilleur plan d'échantillonnage</i>	19
<i>Détecter les changements d'abondance</i>	20
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	22
<i>La variabilité des indicateurs</i>	22
<i>Les fluctuations interannuelles d'abondance</i>	23

Détermination du meilleur plan d'échantillonnage	25
<i>Nombre de périodes utilisé</i>	25
<i>Nombre de sous-stations utilisé</i>	27
Détecter les changements d'abondance	28
<i>Détecter les changements d'abondance d'une année à l'autre</i>	28
<i>Détecter les tendances temporelles à long terme</i>	33
LA PUISSANCE STATISTIQUE, EN RÉSUMÉ.....	36
CHAPITRE 2 : PERSPECTIVES FUTURES POUR LE SUIVI DES POISSONS FOURRAGES DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-JEAN.....	37
IMPORTANCE DES POISSONS FOURRAGES EN TANT QUE PROIES POUR LES POISSONS SPORTIFS.....	38
Résumé des connaissances actuelles	38
Propositions générales afin de réaliser un portrait global.....	41
ÉCHANTILLONNAGE EXPLORATOIRE	43
Augmenter la surface de seinage	43
Comparer l'efficacité des techniques d'échantillonnage	46
SUIVI DES POISSONS FOURRAGES, RECOMMANDATIONS	48
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	49
RÉFÉRENCES	51
ANNEXES	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisations des 20 stations échantillonnées entre 1989 et 1995. Tirée et adaptée de Alcan (1996).	6
Figure 2 : Technique de seinage employée lors des échantillonnages de 1989 à 1995.	7
Figure 3 : Variation de différents paramètres statistiques obtenus à partir de données fictives. L'analyse utilisée est un test de t pour échantillons indépendants. (a) Variation de la puissance statistique selon le seuil de signification pour différentes tailles d'échantillons (n). (b) Variation de la puissance statistique selon la taille de l'effet pour différentes tailles d'échantillons. (c) Taille de l'effet nécessaire selon le nombre d'échantillons pour obtenir différentes puissances statistiques.....	11
Figure 4 : Schématisation de la méthodologie employée. La numérotation indique l'ordre des étapes effectuées.	14
Figure 5 : Processus de l'analyse de puissance. La numérotation indique l'ordre des étapes effectuées. Le symbole des flèches en boucle indique que les étapes 1 et 2 sont répétées plusieurs fois.....	15
Figure 6 : Relation entre l'écart-type et la moyenne de l'abondance totale de poissons entre 1989 et 1995 (nombre de poissons $\cdot 100 \text{ m}^{-2}$).....	19
Figure 7 : Coefficients de variation mesurés par station pour les années 1989 à 1995. Les barres horizontales représentent le 10e, 25e, 50e, 75e et 90e centile. Les points représentent les valeurs extrêmes. Le nom des espèces est représenté par la combinaison des deux premières lettres du genre et de l'espèce en latin (tableau 1).	22
Figure 8 : Abondance moyenne (\pm écart-type) mesurée lors des échantillonnages de 1989 à 1995. Les valeurs utilisées sont la variabilité et l'abondance moyenne pour la période 3 en utilisant une seule sous-station.	24
Figure 9 : Puissance statistique selon le nombre stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons en fonction du nombre de périodes échantillonné. L'analyse employée est un test de t pour échantillons appariés, dans le but de comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Le scénario testé est une diminution de 25 %.	25
Figure 10 : Abondance moyenne (\pm écart-type) pour l'ensemble des poissons en fonction des périodes. Les valeurs utilisées sont les moyennes pour les années 1989 à 1995.....	26
Figure 11 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons en fonction du nombre de sous-stations échantillonné. L'analyse employée est un test de t pour échantillons	

appariés, dans le but de comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Les données d'abondance utilisées sont pour la période 3. Le scénario testé est une diminution de 25 %.....	27
Figure 12 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages. Les scénarios testés sont des diminutions de 25, 50 et 75 % de l'abondance de départ.....	30
Figure 13 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages. Les scénarios testés sont des augmentations de 50, 100 et 200 % de l'abondance de départ.	32
Figure 14 : Puissance statistique selon le nombre d'années utilisé pour détecter une diminution temporelle constante de l'abondance des poissons. Les scénarios testés représentent des diminutions de 2, 5 et 10 % de l'abondance de départ ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).....	35
Figure 15 : Proportion de proies ingérées par la ouananiche et le doré jaune (exprimée en pourcentage du volume des proies) au lac Saint-Jean en période estivale, de 1972 à 2006. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de spécimens analysé chaque année.	40
Figure 16 : Nombre total de poissons capturé par superficie échantillonnée. Les valeurs utilisées sont celles de la période 3 des échantillonnages de 1989, 1990 et 1991. Afin de rendre le graphique plus facile à interpréter, les valeurs de superficie de 410 m ² et plus (soit les valeurs maximales échantillonnées par la seine) ont été exclues.	44
Figure 17 : Techniques de seinage suggérées afin d'augmenter la surface d'échantillonnage. (a) La seine est parallèle à la rive, (b) la seine est perpendiculaire à la rive et (c) la seine est déplacée en formant un demi-cercle.	45
Figure 18 : Impacts théoriques d'une augmentation de la surface de prélèvement sur l'efficacité d'échantillonnage.....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classes de longueur (mm) utilisées pour attribuer un stade de développement à chaque spécimen lors des études de 1989 à 1995. Tiré de Valentine (1989).	8
Tableau 2 : Erreur de type I et de type II.	9
Tableau 3 : Exemple de simulation pour comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Les données utilisées sont fictives.	18
Tableau 4 : Comparaison du nombre de coups de seine requis pour détecter un changement d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 % selon le nombre de périodes utilisé. Le scénario testé est une diminution de 25 % de l'abondance totale.	26
Tableau 5 : Comparaison du nombre de coups de seine requis pour détecter un changement d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 % selon le nombre de sous-stations utilisé. Le scénario testé est une diminution de 25 % de l'abondance totale.	28
Tableau 6 : Nombre de stations requis pour détecter une diminution de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des diminutions de 25, 50 et 75 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).	29
Tableau 7 : Nombre de stations requis pour détecter une augmentation d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des augmentations de 50, 100 et 200 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).	31
Tableau 8 : Nombre d'années requis pour détecter une diminution temporelle constante de l'abondance avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des diminutions de 2, 5 et 10 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$). Les tirets indiquent qu'une puissance de 80 % n'a pu être atteinte avant que l'abondance devienne nulle.	34
Tableau 9 : Résumé des études portant sur la prédation par les poissons sportifs du lac Saint-Jean.	39

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Corrélations de l'abondance par station entre les années pour la période 3 en utilisant une seule sous-station. Les valeurs présentées sont les moyennes des corrélations obtenues lors des études de 1989 à 1995. 57
- Annexe 2 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des poissons en fonction des périodes. Les valeurs utilisées sont les moyennes pour les années 1989 à 1995. 58
- Annexe 3 : Nombre de poissons capturé par superficie échantillonnée. Les valeurs utilisées sont celles de la période 3 des échantillonnages de 1989, 1990 et 1991. Afin de rendre les graphiques plus faciles à interpréter, les valeurs de superficie de 410 m² et plus (soit les valeurs maximales échantillonnées par la seine) ont été exclues. 59

INTRODUCTION

MISE EN CONTEXTE

Le lac Saint-Jean est une véritable mer intérieure, avec une superficie de plus de 1000 km² et un rivage qui s'étend sur plus de 200 km. La pêche sportive au lac Saint-Jean est une activité culturelle et sociale majeure qui constitue un important moteur économique et qui contribue au tourisme régional. Par exemple, les retombées économiques de la pêche sportive dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean peuvent être estimées entre 7,2 et 15,5 M\$ pour l'année 2015¹ (Verschelden 2009). Les principales espèces exploitées sont le doré jaune (*Sander vitreus*), la ouananiche (*Salmo salar*) et la lotte (*Lota lota*). Ces espèces ainsi que l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), la principale proie de la ouananiche, ont fait l'objet de plusieurs études et préoccupations (voir synthèses de Fortin *et al.* 2009; Gendron 2009 et Lévesque 2012). Les connaissances acquises sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel permettent maintenant une meilleure gestion de ces espèces, tandis que peu d'études ont porté sur les autres poissons fourrages (p. ex. le méné émeraude (*Notropis atherinoides*), la perchaude (*Perca flavescens*), le méné à tache noire (*Notropis hudsonius*), etc.). Conséquemment, le *Comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêche dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean* a recommandé une étude sur les poissons fourrages autres que l'éperlan. Ces poissons constituent une source de nourriture importante pour les principales espèces d'intérêt sportif et ils peuvent avoir un impact sur la qualité de pêche sportive. La perception des villégiateurs riverains est que l'abondance des poissons fourrages sur les plages aurait grandement diminué depuis une trentaine d'années. En outre, Rio Tinto est en processus de renouvellement du décret lui permettant de poursuivre son *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean* (PSBLSJ) pour dix autres années à compter de 2017. Puisque les travaux effectués ainsi que la gestion du niveau de l'eau sont susceptibles d'entraîner des modifications dans les habitats des poissons fourrages en zone littorale, le moment était approprié pour se pencher sur cette importante composante de l'écosystème.

¹ Ces valeurs ont été calculées en 2009 et mises à jour selon le taux d'inflation pour 2015.

Le projet comprend trois volets, structurés en trois rapports distincts. **(1)** Puisque peu de connaissances sont disponibles sur les habitats occupés par ces poissons et que les habitats riverains sont susceptibles d'être influencés par les travaux de stabilisation des berges, le premier volet consiste à produire une revue de la littérature scientifique sur l'écologie reproductive des principaux poissons fourrages du lac Saint-Jean afin de déterminer leurs habitats préférentiels. **(2)** Le second volet vise à réaliser une analyse critique de la méthodologie et des conclusions des études réalisées sur le littoral du lac Saint-Jean entre 1989 et 1995, visant entre autres, à évaluer les impacts des travaux de rechargement de plage sur les poissons fourrages du lac Saint-Jean (Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995). **(3)** Le dernier volet est de proposer une nouvelle méthodologie et un nouveau plan d'échantillonnage, afin d'assurer un suivi périodique adéquat des poissons fourrages en zone littorale et de suivre les tendances temporelles des populations. Lors de la dernière étude des poissons fourrages en zone littorale, Lefebvre (2005) avait conclu à la nécessité de réviser en profondeur la méthodologie utilisée dans les précédents inventaires en raison de la grande variabilité observée dans les données. Le présent document correspond au troisième et dernier volet du projet. Les deux autres volets ont fait l'objet de deux rapports distincts (Plourde-Lavoie et Sirois 2016a et 2016b).

Au lac Saint-Jean, les principales espèces de poissons exploitées font déjà l'objet de différents suivis : le suivi de la montaison de la ouananiche en rivière, la dévalaison des saumoneaux, les inventaires normalisés quinquennaux au doré jaune du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ainsi que le suivi de la pêche sportive à la ouananiche et au doré. Pour leur part, les poissons fourrages qui occupent le milieu pélagique (éperlan arc-en-ciel et omisco (*Percopsis omiscomaycus*)) sont échantillonnés lors de chalutages annuels. Toutefois, il n'y a aucun suivi des poissons fourrages en zone littorale. Rappelons que ces derniers peuvent être la proie des poissons sportifs et qu'ils peuvent avoir un impact sur la qualité de pêche. Un suivi de ces poissons permettrait d'évaluer les tendances temporelles des populations et de mieux comprendre leur rôle dans l'écosystème du lac Saint-Jean.

Une méthode couramment utilisée pour échantillonner les petits poissons en zone littorale est la seine de rivage². Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, par exemple, utilise des données de seinage pour suivre le recrutement des bars rayés juvéniles du fleuve Saint-Laurent (OGSL 2016). De plus, différentes études sur les poissons fourrages dans les Grands Lacs ont utilisé cette technique pour évaluer les variations d'abondance des populations au fil des années (Jude et Tesar 1985; Reid et Mandrak 2009).

À notre avis, la seine de rivage représente le meilleur outil pour échantillonner les poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean dans le cadre d'un éventuel suivi. Les précédents échantillonnages réalisés par le passé au lac Saint-Jean avec cette technique ont montré qu'elle permettait de capturer la plupart des espèces absentes des inventaires actuellement réalisés (Aquagénie 1987; Lefebvre 1988; 1989; Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995; Lefebvre 2005). Toutefois, les résultats des études antérieures se sont avérés peu concluants, en raison de la variabilité trop importante des données d'abondance (Plourde-Lavoie et Sirois 2016b). Conséquemment, le présent rapport vise à évaluer s'il est envisageable d'instaurer un suivi des poissons en zone littorale en utilisant cette méthodologie. Pour atteindre cet objectif, des analyses de puissance statistique sont utilisées.

Les analyses de puissance statistique permettent de déterminer le nombre d'échantillons à récolter pour obtenir des seuils statistiques adéquats (α et β) en fonction de la taille de l'effet recherché et de la variabilité des données (Quinn et Keough 2002). Leur efficacité dans le domaine des pêcheries est reconnue dans la littérature scientifique (Parkinson *et al.* 1988; Peterman 1990; Lester *et al.* 1996; Gryska *et al.* 1997; Jones et Petreman 2012), entre autres pour des échantillonnages à la seine (Bailey 2005; Bailey et Gerow 2005; Reid et Mandrak 2009). D'ailleurs, la puissance des échantillonnages à la seine est souvent faible. Par exemple, Bailey (2005) déconseille l'utilisation de la seine de rivage pour le suivi des populations de poissons, puisque le nombre de stations requis est souvent trop élevé. Une étude dans le lac Érié est arrivée à des conclusions similaires

²Pour obtenir plus d'informations sur les échantillonnages à la seine de rivage, consulter le chapitre 9, *Beach seining*, de Hahn, P. K. J., R. E. Bailey et A. Ritchie (2007).

(Reid et Mandrak 2009). Par exemple, afin de mesurer des changements d'abondance de l'ordre de 25 à 100 % du méné émeraude près des rives du lac Érié, il faudrait effectuer plusieurs centaines à plusieurs milliers de coups de seine. Néanmoins, les auteurs de ces études mentionnent qu'il est tout de même possible d'instaurer des suivis à partir d'échantillonnage à la seine de rivage, notamment en optimisant le plan expérimental et en utilisant des seuils de signification plus permissifs.

LES ÉTUDES ANTÉRIEURES

Le contexte

La plupart des précédentes études portant sur les poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean ont été réalisées dans le cadre du suivi environnemental et faunique du *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean* de Rio Tinto (Aquagénie 1987; Lefebvre 1988; 1989; Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995). Elles avaient pour objectif général de décrire la répartition et la densité des poissons fréquentant la zone littorale, en plus d'évaluer les impacts des travaux de rechargement des plages sur les poissons littoraux. Puisque les études de 1989 à 1995 ont utilisé un protocole standardisé, seules ces données ont été utilisées dans le cadre du présent rapport. Un inventaire plus récent a aussi été réalisé par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (Lefebvre 2005), mais la seine utilisée était différente et un nombre inférieur de stations a été échantillonné. Ces données ont donc été exclues de la présente étude.

La méthodologie utilisée

Les études de 1989 à 1995 représentent 4 années d'échantillonnage, soit 1989, 1990, 1991 et 1995. Lors de ces campagnes d'échantillonnage, les mêmes 20 stations ont été échantillonnées selon un protocole standardisé (figure 1). Des 20 stations, 11 ont fait l'objet de travaux de rechargement de plage peu avant ou pendant la période d'étude, tandis que 9 étaient considérées comme témoins, c'est-à-dire que le dernier rechargement remontait à avant 1986. Toutes ces stations sont situées sur un littoral de substrat fin (sable ou gravier). Pour chacune des campagnes, chaque station a été échantillonnée de jour à cinq reprises, de la mi-juin jusqu'à la mi-août. Les cinq campagnes d'échantillonnage étaient espacées d'une semaine entre elles. Afin de réduire la variabilité naturelle liée à l'échantillonnage, chaque station a été séparée en trois sous-stations, distantes de 30 m. Un coup de seine a été réalisé par sous-station.

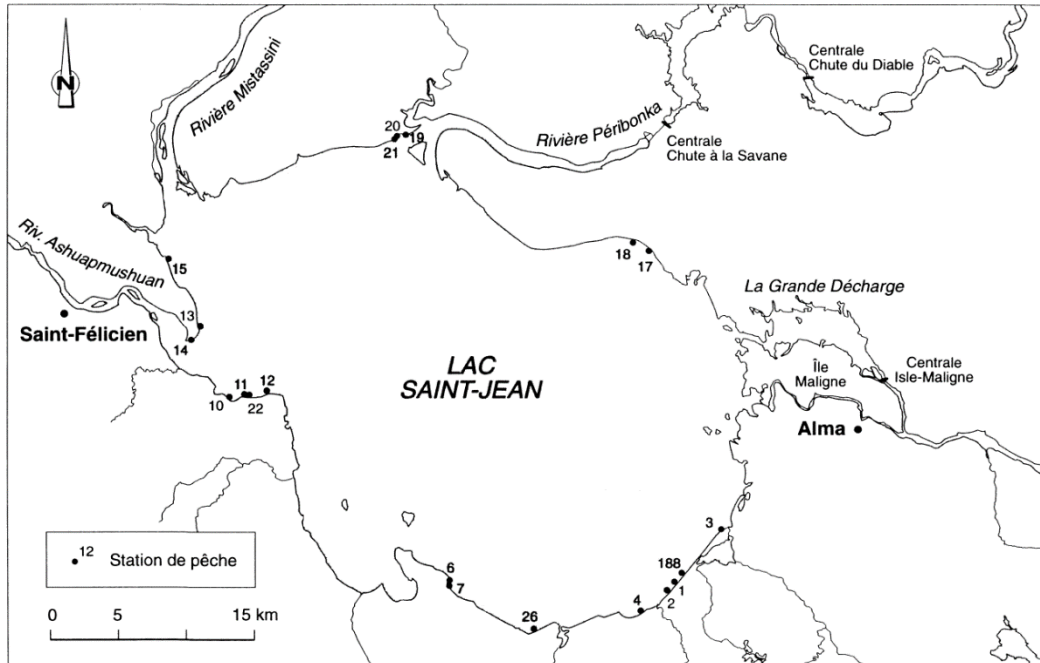


Figure 1 : Localisations des 20 stations échantillonnées entre 1989 et 1995. Tirée et adaptée de Alcan (1996).

L'engin de pêche consistait en une seine de rivage à maille « rideau » d'une longueur de 22 m par 1,2 m de hauteur. Elle est pourvue d'une poche centrale qui mesure 1,2 m de hauteur, de largeur et de profondeur. À chaque sous-station, la seine était étirée dans l'eau le plus loin possible de façon perpendiculaire à la rive, et ramenée sur la rive dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Dans les endroits profonds, lorsque la seine ne pouvait pas être étendue au maximum, la personne la plus éloignée du rivage avançait dans l'eau de façon parallèle jusqu'à ce que la seine soit bien étirée, et revenait ensuite vers la rive. La surface échantillonnée par la seine se représente par une figure qui évolue du quart de cercle au rectangle, à mesure que la distance entre le rivage et la seine diminue (figure 2).

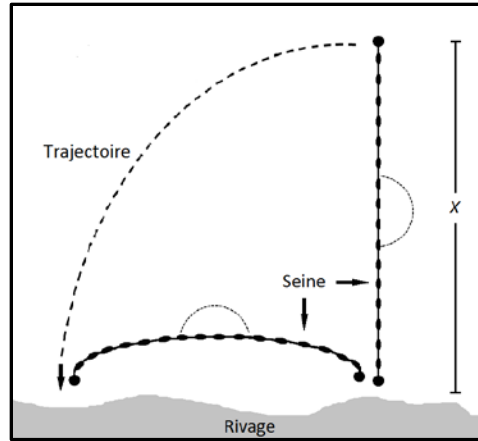


Figure 2 : Technique de seinage employée lors des échantillonnages de 1989 à 1995.

La superficie échantillonnée a été calculée à partir de la formule suivante, où X représente la distance maximale entre la seine et la rive (Lefebvre 1989) :

$$Superficie = -10,03 + 26,99 X - 0,36 X^2 \quad (1)$$

À chacune des sous-stations, les poissons capturés étaient identifiés et dénombrés. Leur stade de développement (adulte, juvénile, larve; tableau 1) a été déterminé.

Tableau 1 : Classes de longueur (mm) utilisées pour attribuer un stade de développement à chaque spécimen lors des études de 1989 à 1995. Tiré de Valentine (1989).

ESPÈCES			STADES DE DÉVELOPPEMENT		
Nom commun	Nom latin	Abréviation	Larves	Juvéniles	Adultes
Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>	AMNE	6-12	15-22	+22
Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	ESLU	10-50	50-67	+67
Chabot tacheté	<i>Cottus bairdii</i>	COBA	8-9	8-15	+15
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	PECA	6-19	19-26	+26
Doré jaune	<i>Sander vitreum</i>	SAVI	10-20	18-30	+30
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	OSMO	6-33	32-42	+42
Épinoche à cinq épines	<i>Culaea inconstans</i>	CUIN	6-16	18	+
Méné à nageoires rouges	<i>Luxilus cornutus</i>	LUCO	6-17	18	+
Mulet de lac	<i>Couesius plumbeus</i>	COPL	6-17	18-35	+35
Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>	NOAT	6-14	15-30	+31
Meunier noir	<i>Catostomus commersoni</i>	CACO	12-30	23-51	+51
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	CACO	11-23	28	+
Naseux des rapides	<i>Rhinichtys cataractae</i>	RHCA	9-20	20-40	+40
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>	SEMO	10-22	26-33	+33
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>	SAFO	18-37	37-50	+50
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	PECA	8-20	20-40	+40
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>	PEOM	7-12	35-36	+36
Méné à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>	NOHU	7-11	19	+
Catostomidés	<i>Catostomus sp.</i>	CASP	11-30	30-51	+51

L'ANALYSE DE PUISSANCE, LES PRINCIPES

Les erreurs de type I et II

En statistique, la valeur α , appelée seuil de signification (Scherrer 1984), indique le risque de rejeter l'hypothèse nulle lorsque celle-ci est vraie (erreur de type I; tableau 2). Plus précisément, l'erreur de type I consiste à détecter un effet lorsqu'il n'y en a pas (Quinn et Keough 2002; Gotelli et Ellison 2013). La valeur β indique le risque d'accepter l'hypothèse nulle lorsque celle-ci est fausse, ce qui correspond à l'erreur de type II. Conséquemment, l'erreur de type II correspond à ne pas détecter un effet lorsqu'il y en a un (tableau 2; Quinn et Keough 2002; Gotelli et Ellison 2013).

Tableau 2 : Erreur de type I et de type II.

<i>L'hypothèse nulle est :</i>	Vraie	Fausse
Acceptée	Aucun effet	Erreur de type II (β)
Rejetée	Erreur de type I (α)	Effet

La puissance statistique

La puissance statistique représente la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle lorsqu'elle est fausse ($1-\beta$; Quinn et Keough 2002; Gotelli et Ellison 2013). Elle est inversement proportionnelle à l'erreur de type II et représente donc la probabilité de ne pas commettre cette erreur. Elle dépend de quatre facteurs et est représentée par l'équation suivante (Quinn et Keough 2002) :

$$\text{Puissance statistique} \approx \frac{ES \cdot \alpha \cdot \sqrt{n}}{\sigma} \quad (2)$$

Où ES représente la taille de l'effet, α le seuil de signification, n la taille de l'échantillon et σ l'écart-type. La relation indique que la probabilité de détecter une différence augmente avec la taille de l'effet à mesurer, la valeur du seuil de signification α et de la taille de l'échantillon, mais diminue avec la variabilité du paramètre étudié.

Le niveau de signification

Les erreurs de type I et II sont inversement reliées. Si l'on désire réduire le risque de commettre une erreur de type I, on augmente nécessairement celui de faire une erreur de

type II (Gotelli et Ellison 2013). L'importance accordée à l'un par rapport à l'autre dépend de l'objectif de l'étude. Par exemple, dans le cas où l'on voudrait détecter une diminution de la quantité de poissons fourrages, il serait préférable, dans un esprit de conservation de la ressource, de détecter une diminution lorsqu'il n'y en a pas (erreur de type I) que de ne pas en détecter alors qu'il y en a une (erreur de type II). Les biologistes fixent habituellement la valeur α à 0,05. La valeur β est souvent inconnue, mais la valeur généralement acceptée est de 0,20 (Peterman 1990; Quinn et Keough 2002). La figure 3 illustre les relations entre le nombre d'échantillons, la puissance statistique et la taille de l'effet recherché. Dans ce cas-ci, la taille de l'effet *ES* a été calculée selon la formule employée pour un test de *t*, soit la différence entre les moyennes divisée par la variance des deux populations (Rosenthal 1994).

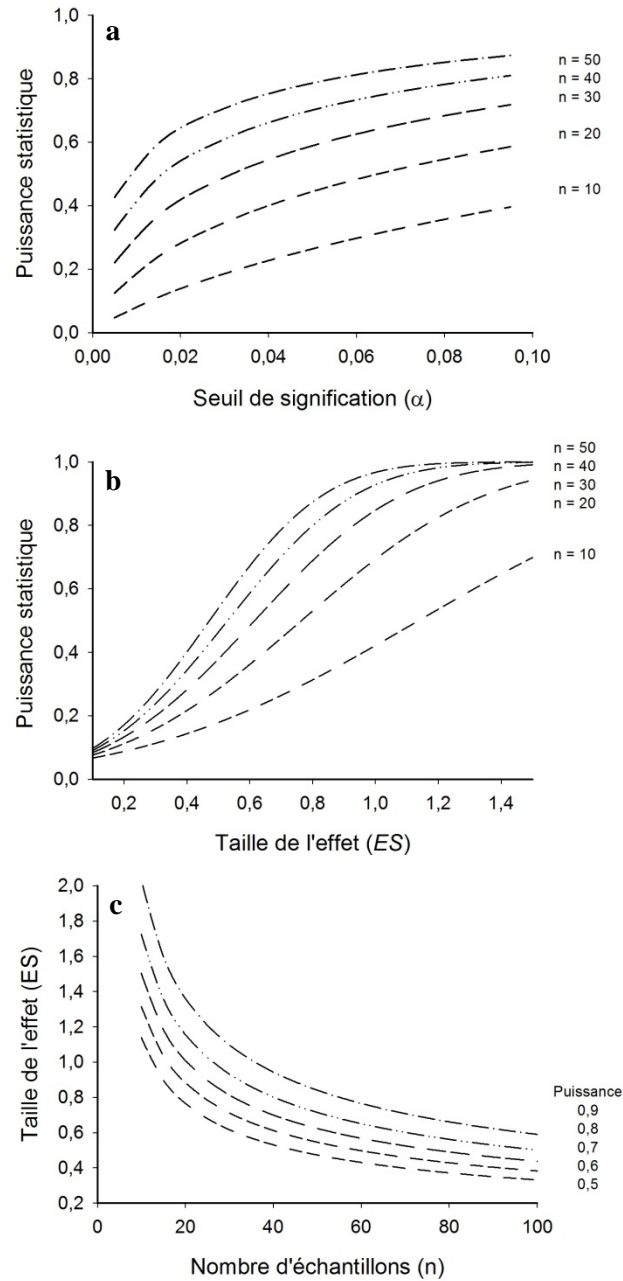


Figure 3 : Variation de différents paramètres statistiques obtenus à partir de données fictives. L'analyse utilisée est un test de t pour échantillons indépendants. (a) Variation de la puissance statistique selon le seuil de signification pour différentes tailles d'échantillons (n). (b) Variation de la puissance statistique selon la taille de l'effet pour différentes tailles d'échantillons. (c) Taille de l'effet nécessaire selon le nombre d'échantillons pour obtenir différentes puissances statistiques.

CHAPITRE 1 : ANALYSE DE LA PUISSANCE STATISTIQUE DES DONNÉES RÉCOLTÉES ENTRE 1989 ET 1995 DANS LE BUT D'INSTAURER UN SUIVI DES POISSONS FOURRAGES DE LA ZONE LITTORALE

MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DE PUISSANCE

Aperçu général de la méthode

Les données utilisées dans les analyses de puissance statistique sont celles des échantillonnages de 1989 à 1995 puisque ces études ont utilisé une méthodologie standardisée (Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995). Les données des échantillonnages de 1990 et 1991 ont été fournies par l'auteur des rapports, M. Marc Valentine, tandis que les données de 1989 et 1995 ont été entrées manuellement dans un tableur à partir des données originales présentées dans les rapports de ces études.

Les analyses de puissance ont été réalisées en utilisant des simulations de données par ordinateur de type Monte-Carlo (Muthén et Muthén 2002). L'objectif est de simuler différents scénarios, correspondant à des augmentations ou des diminutions d'abondance dans le temps, et de vérifier s'il est possible de détecter ces variations à partir d'analyses statistiques. La méthodologie est en deux volets, soit la *sélection et le traitement des variables* et le *processus de l'analyse de puissance* (figure 4). Dans le premier volet, il faut d'abord sélectionner les meilleurs indicateurs, c'est-à-dire, ceux qui sont le moins variables et déterminer de quelle façon seront traitées les différentes variables dans les analyses de puissance. Dans le second volet, les variations interannuelles d'abondance rencontrées de 1989 à 1995 ont d'abord été mesurées, afin de déterminer l'ordre de grandeur des effets à simuler pour les différents scénarios. Par la suite, divers scénarios, correspondant à des diminutions ou des augmentations d'abondance, ont été simulés à partir de l'abondance et de la variabilité moyenne rencontrée lors des études antérieures. Afin d'optimiser un éventuel suivi et de déterminer le meilleur plan d'échantillonnage, des analyses de puissance sont réalisées pour évaluer de manière statistique combien de périodes d'échantillonnage et de sous-stations devraient être utilisées. Finalement, deux types d'analyses sont réalisés pour (1) déterminer combien de stations devraient être utilisées dans un éventuel suivi pour détecter un changement d'abondance entre deux

échantillonnages et (2) combien d'années d'échantillonnage seraient nécessaires pour détecter une diminution constante de l'abondance à long terme. La figure 4 résume les étapes de la méthodologie. Ces dernières sont présentées plus en détail dans le texte.

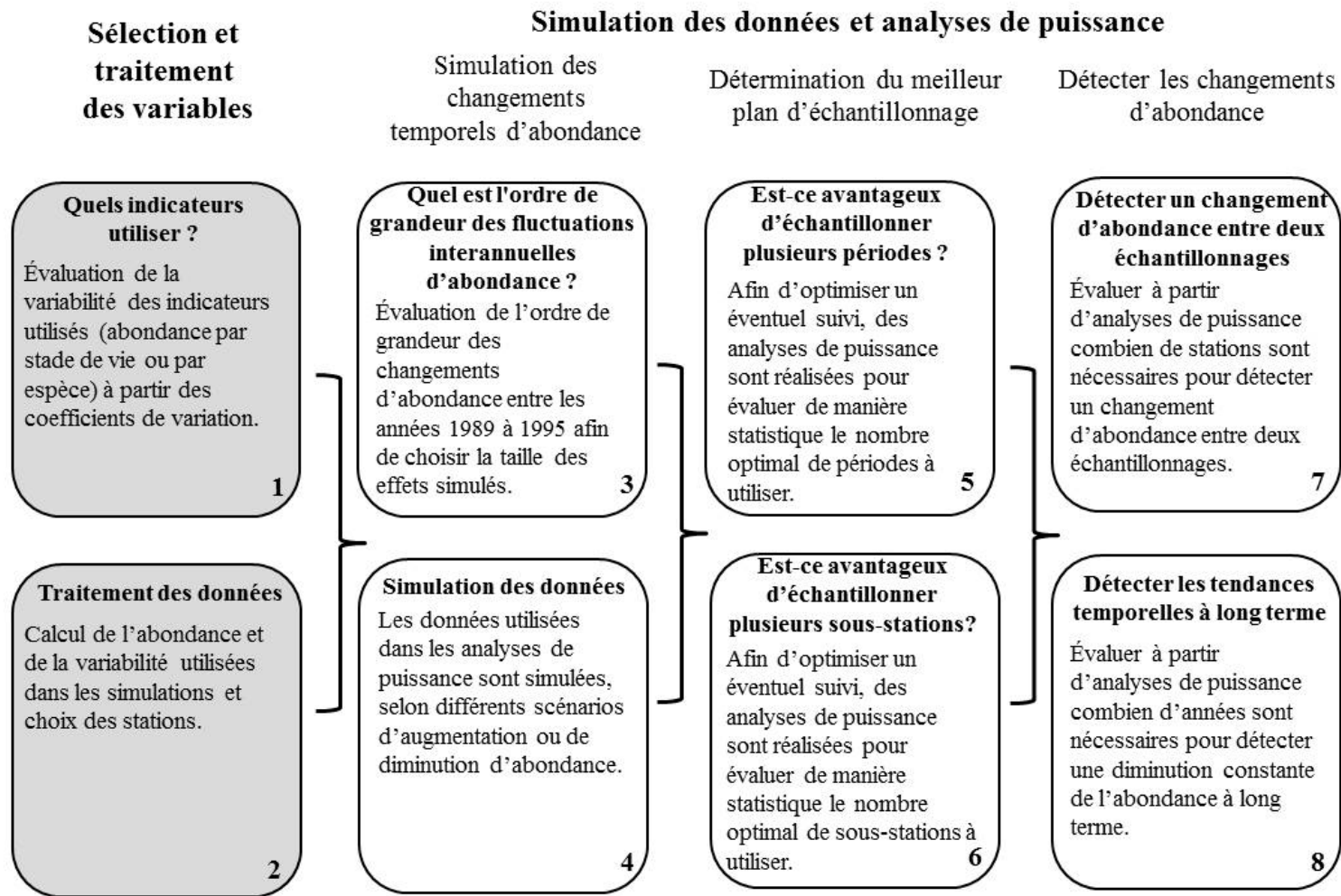


Figure 4 : Schématisation de la méthodologie employée. La numérotation indique l'ordre des étapes effectuées.

Le résumé de la méthodologie présenté à la figure 4 indique que des analyses de puissance sont réalisées aux étapes 5, 6, 7 et 8. Dans les diverses analyses, puisque l'effet est connu et qu'il a été simulé, un résultat non significatif représente une erreur de type II, c'est-à-dire qu'il y a bel et bien un effet, mais que celui-ci n'a pas été détecté par l'analyse statistique. En répétant ces simulations un grand nombre de fois, il est possible de calculer la puissance statistique en calculant la proportion de différences significatives détectées sur le nombre total de différences testées (Muthén et Muthén 2002). Si par exemple, 4000 différences significatives ont été obtenues sur 5000 simulations réalisées, la puissance statistique est de 80 %. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team 2014). La figure 5 schématise la méthode utilisée pour obtenir les valeurs de puissance statistique.

Processus de l'analyse de puissance

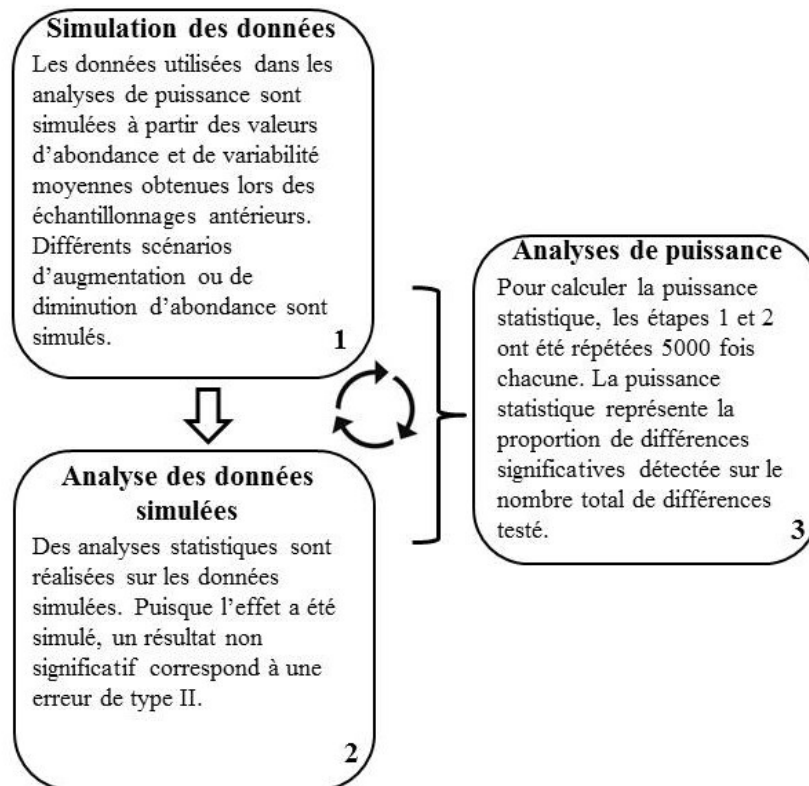


Figure 5 : Processus de l'analyse de puissance. La numérotation indique l'ordre des étapes effectuées. Le symbole des flèches en boucle indique que les étapes 1 et 2 sont répétées plusieurs fois.

Les analyses de puissance ont été réalisées pour le total des poissons, les adultes, les juvéniles, les larves et pour chacune des espèces suivantes : le fouille-roche zébré, l'éperlan arc-en-ciel, le méné émeraude, le naseux des rapides, la ouitouche, la perchaude, l'omisco, le méné à tache noire et les catostomidés. Lors des échantillonnages de 1989 à 1995, ces espèces sont celles qui ont été capturées avec l'abondance ou l'occurrence la plus élevée. Dans le cadre d'un suivi des poissons fourrages, il est indispensable d'avoir la capacité de mesurer un changement d'abondance par espèce puisque l'utilisation de l'abondance totale seulement pourrait ne pas détecter une diminution pour une espèce parce qu'elle pourrait être compensée par l'augmentation d'une autre.

Sélection et traitement des variables

Quels indicateurs utiliser? (étape 1)

La puissance statistique dépend, entre autres, de la variabilité des données. Pour déterminer quels sont les meilleurs indicateurs à utiliser d'un point de vue statistique, les coefficients de variation ($CV = 100 \cdot \text{écart-type/moyenne}$) de l'abondance ont été comparés. Pour chaque année, les CV ont été calculés par station et leur distribution est présentée dans un diagramme en boîtes. Les CV ont été calculés pour l'abondance totale des poissons (adultes, juvéniles et larves), l'abondance d'adultes, de juvéniles et de larves et l'abondance par espèce.

Traitement des données (étape 2)

Les données des stations témoins et celles des stations rechargées ont été utilisées sans considérer la variable « rechargement » dans les analyses. En ayant recours aux deux types de stations, on couvre des habitats plus hétérogènes, ce qui s'avère essentiel pour un éventuel suivi des poissons fourrages, même si cela augmente possiblement la variabilité des données. Les données utilisées sont l'abondance moyenne et la variabilité (σ) moyenne calculées par espèce lors des échantillonnages de 1989 à 1995. En employant les valeurs moyennes, on s'assure que les analyses représentent un meilleur portrait de la puissance statistique des données de seinage que si elles avaient été faites pour chacune des années individuellement.

Simulation des données et analyses de puissance

Simulation des changements temporels d'abondance

Quel est l'ordre de grandeur des fluctuations interannuelles d'abondance ?

(étape 3)

Avant d'exécuter les analyses de puissance, il faut déterminer la taille de l'effet, soit le changement d'abondance que l'on veut mesurer entre deux échantillonnages. Le suivi des poissons fourrages doit permettre d'au moins détecter les fluctuations interannuelles naturelles des populations. De ce fait, afin d'évaluer l'ordre de grandeur de ces fluctuations, les abondances moyennes obtenues lors de chaque étude (Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995) ont été calculées pour chaque indicateur. Les changements d'abondance entre deux échantillonnages, correspondant soit à des augmentations ou à des diminutions, ont été calculés.

Simulation des données (étape 4)

La première étape des analyses de puissance consiste à simuler différents scénarios de variations d'abondance des populations. Les valeurs de référence employées sont les abondances moyennes et les écarts-types mesurés pour la période de 1989 à 1995. À partir de ces valeurs, de nouvelles données sont générées en créant des augmentations ou des diminutions d'abondance au fil du temps, en fonction de l'effet que l'on désire détecter. La fonction *rnorm* du logiciel R a été utilisée pour les simulations (R Core Team 2014). Cette fonction permet de générer aléatoirement des valeurs, selon une distribution, une moyenne et une variabilité préalablement fixée. Deux types de simulation ont été réalisés.

Le premier type de simulation est un changement d'abondance entre deux échantillonnages. Les données simulées à cette étape serviront dans les étapes 5, 6 et 7 représentées à la figure 4. Les différents effets simulés sont des diminutions d'abondance de 25, 50 et 75 % et des augmentations de 50, 100 et 200 % entre deux échantillonnages (voir la section *Les fluctuations interannuelles d'abondance* dans la partie *Résultats et discussion*). Les valeurs sont simulées pour un nombre déterminé de stations, selon la moyenne et la variabilité fixées. Par exemple, si le scénario inclut 20 stations et que l'abondance moyenne est de 10 poissons·100 m⁻² avec un écart type de 15, 20 valeurs

ayant une moyenne de 10 et un écart-type de 15 seront générées. Ensuite, 20 autres valeurs (correspondant à un autre échantillonnage) doivent être simulées, en ajustant les valeurs d'abondance et de variabilité selon l'effet testé, soit une augmentation ou une diminution de l'abondance (p. ex. une augmentation de 25 %). Le tableau 3 présente un exemple de la simulation des données à partir de données fictives.

Tableau 3 : Exemple de simulation pour comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Les données utilisées sont fictives.

SCÉNARIOS	MOYENNE	ÉCART-TYPE
Valeurs de base	100	150
<i>Diminution</i>		
25 %	75	112,5
50 %	50	75
75 %	25	37,5
<i>Augmentation</i>		
50 %	150	225
100 %	200	300
200 %	300	450

Le deuxième type de simulation est un changement d'abondance constant dans le temps, plutôt qu'entre deux échantillonnages. Ces données serviront uniquement pour l'étape 8. Puisque les résultats auraient été très similaires à ceux obtenus avec l'approche décrite au paragraphe précédent, les étapes 5 et 6 n'ont pas été réalisées pour le deuxième type de simulation. Les différents effets simulés correspondent à des diminutions annuelles de 2, 5 et 10 % de l'abondance de départ dans le temps. Une seule valeur est simulée par année, et ce pour 25 années consécutives.

La raison pour laquelle les changements d'abondance ont été testés sous forme d'augmentation et de diminution est que la variabilité s'accroît proportionnellement avec l'abondance (figure 6). Le nombre de stations requis est donc toujours plus faible pour détecter une diminution qu'une augmentation d'abondance. En conséquence, lors de la simulation d'un effet, la variabilité des données (σ) doit également être ajustée selon la direction du changement testé. Par exemple, si l'effet testé est une augmentation d'abondance de 50 % entre deux échantillonnages, la variabilité sera elle aussi augmentée

de 50 %. En ajustant la variabilité dans les effets simulés, on s'assure que les différents scénarios testés sont représentatifs de la variabilité naturelle (Gerow 2007).

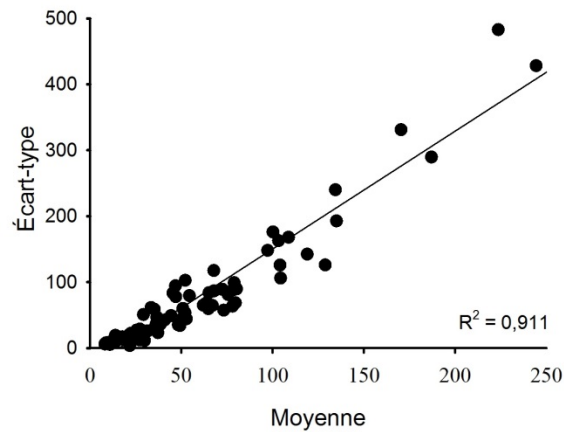


Figure 6 : Relation entre l'écart-type et la moyenne de l'abondance totale de poissons entre 1989 et 1995 (nombre de poissons $\cdot 100 \text{ m}^{-2}$).

Détermination du meilleur plan d'échantillonnage

Est-ce avantageux d'échantillonner plusieurs périodes ? (étape 5)

Lors des échantillonnages de 1989 à 1995, les stations ont été échantillonnées à cinq reprises durant la saison estivale. Dans le cadre de ces études, l'utilisation de plusieurs périodes d'échantillonnage devait permettre d'évaluer les impacts du rechargement des plages à différents moments dans l'été. Afin de comparer la quantité de poissons fourrages d'une année à l'autre, il serait probablement avantageux de n'échantillonner qu'une fois dans l'été. En effet, les périodes ne représentent pas des variables totalement indépendantes et elles ne peuvent pas être utilisées comme réplicat sans effectuer de pseudoréplication temporelle (Hurlbert 1984; Quinn et Keough 2002; Gotelli et Ellison 2013). Si l'échantillonnage a lieu à plusieurs périodes dans l'année, il faudrait grouper les valeurs par station (moyenne des différentes valeurs mesurées durant l'année par station), ce qui réduit considérablement le nombre de degrés de liberté et augmente le nombre de coups de seine à réaliser pour obtenir la même puissance statistique (Hurlbert 1984; Everitt 1995; Gotelli et Ellison 2013).

Afin d'illustrer ces affirmations, des analyses de puissance ont été réalisées pour l'abondance totale de poissons en utilisant 1, 2, 3, 4 et 5 périodes. Les analyses ont été réalisées avec toutes les combinaisons de périodes (p. ex. : périodes 1 et 2, 2 et 3, 3 et 4, etc.). Finalement, l'abondance moyenne par période est illustrée afin de déterminer quel serait le meilleur moment dans l'année pour échantillonner. Pour ces analyses, les sous-stations ont été groupées par station en calculant la valeur moyenne des trois coups de seine pour chaque station, par période.

Est-ce avantageux d'échantillonner plusieurs sous-stations? (étape 6)

De façon similaire aux périodes, les sous-stations sont spatialement autocorrélées et ne peuvent pas être utilisées comme unité d'échantillonnage sans faire de la pseudoréplication. Afin de comparer la quantité de poissons fourrages d'une année à l'autre, les données des sous-stations doivent être groupées par station (moyenne par station des différentes valeurs mesurées aux sous-stations), ce qui réduit le nombre de degrés de liberté et augmente le nombre de coups de seine à réaliser pour obtenir la même puissance statistique (Hurlbert 1984; Everitt 1995; Gotelli et Ellison 2013). Ainsi, il est supposé qu'il soit préférable dans le cadre d'un suivi temporel de l'abondance de recourir à plus de stations et aucune sous-station.

Afin d'illustrer ces affirmations, des analyses de puissance ont été réalisées pour l'abondance totale de poissons en utilisant 1, 2 et 3 sous-stations. Les analyses ont été réalisées avec toutes les combinaisons de sous-stations (p. ex : sous-stations 1 et 2, 1 et 3, 2 et 3). Pour faire suite aux résultats de la partie précédente, seules les données pour une période ont été utilisées lors de ces calculs.

Détecter les changements d'abondance

Détecter un changement d'abondance entre deux échantillonnages (étape 7)

Cette analyse a pour but de comparer le nombre de poissons entre deux échantillonnages en utilisant les mêmes stations. L'utilisation des mêmes endroits année après année accroît la puissance statistique en considérant les échantillons comme appariés (Reid et Mandrak 2009). Dans ce type de suivi, l'idéal consisterait à échantillonner un maximum d'emplacements à une reprise dans la saison, sans utiliser de sous-stations et de périodes

(voir la section *Sélection du meilleur plan d'échantillonnage* dans la partie *Résultats et discussion*). Les analyses de puissance statistique ont donc été réalisées en considérant qu'un seul coup de seine était réalisé par station, par année. Puisque la quantité maximale de poissons est généralement rencontrée à la période 3, c'est celle qui a été employée pour les analyses de puissance. Pour les sous-stations, puisque trois coups de seine étaient réalisés par station lors des échantillonnages de 1989 à 1995, l'abondance et la variabilité de chacune des sous-stations (1,2 et 3) ont été calculées, les analyses de puissance ont été réalisées à partir de la moyenne de ces trois valeurs.

Les abondances ont été comparées en utilisant un test de t pour échantillons appariés ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$). Bien que les conditions d'application n'aient pas été respectées dans certains cas (normalité des données et homogénéité des variances; Quinn et Keough 2002; Gotelli et Ellison 2013), les données n'ont pas été transformées. D'abord, le test de t se montre robuste à une distribution non normale des données ainsi qu'à une variance inégale entre les groupes (Campbell *et al.* 1995; Janušonis 2009; Winter 2013). Aussi, le nombre d'échantillons recommandé pour détecter une différence est suffisamment élevé pour pallier le non-respect des conditions d'application (Winter 2013). De plus, les groupes comparés comportent toujours les mêmes effectifs, ce qui réduit l'impact du non-respect des conditions d'analyses (Winter 2013). Puisque la puissance statistique de ce test dépend entre autres de la corrélation entre les mesures d'abondance pour une même station d'une année à l'autre, les valeurs de corrélation moyennes entre les années pour la période 1989 à 1995 ont été utilisées (annexe 1).

Détecter les tendances temporelles à long terme (étape 8)

Cette analyse a pour objectif d'évaluer le nombre d'années de suivi requis pour détecter une modification constante de l'abondance des poissons fourrages au fil des années. L'idéal dans ce type d'analyse est de n'utiliser qu'une seule valeur par année, soit la moyenne de l'abondance pour l'ensemble des stations. En ayant recours à une seule valeur par année, on s'assure de ne pas effectuer de pseudoréplication temporelle (Schwarz 2014). Les effets testés sont des diminutions annuelles de l'ordre de 2, 5 et 10 %. Pour chaque série de données créée, des régressions linéaires ont été exécutées en employant de 5 à 25 années de données ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La variabilité des indicateurs

La figure suivante illustre l'étendue des coefficients de variation des différents indicateurs utilisés dans les analyses de puissance.

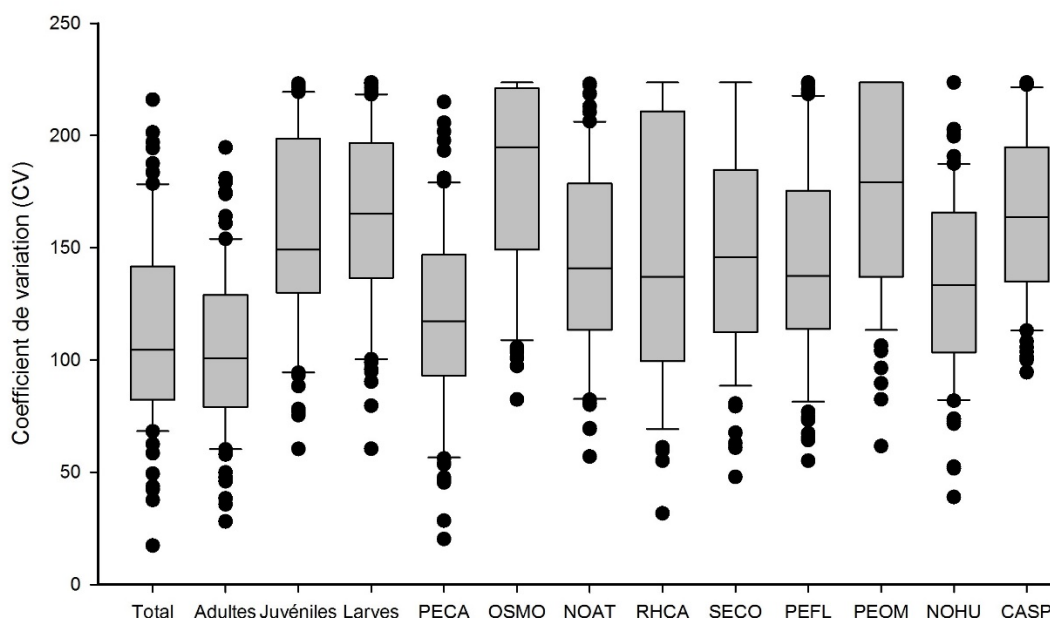


Figure 7 : Coefficients de variation mesurés par station pour les années 1989 à 1995. Les barres horizontales représentent le 10e, 25e, 50e, 75e et 90e centile. Les points représentent les valeurs extrêmes. Le nom des espèces est représenté par la combinaison des deux premières lettres du genre et de l'espèce en latin (tableau 1).

Les coefficients de variation se montrent similaires d'une espèce à l'autre. Parmi les espèces qui semblent se démarquer, notons le fouille-roche zébré (PECA) qui présente une faible variabilité ainsi que l'omisco (PEOM) et l'éperlan arc-en-ciel (OSMO) qui présentent une variabilité plus importante. Dans le cas des deux dernières espèces, leur mode de vie plus pélagique pourrait expliquer ces résultats. L'abondance totale et l'abondance des adultes sont moins variables que celles des juvéniles et des larves. D'un point de vue statistique, il serait donc avantageux d'utiliser seulement les adultes dans le calcul d'abondance. En plus, les jeunes stades de vie peuvent s'avérer plus difficiles à capturer et à identifier que les adultes, ce qui pourrait réduire l'efficacité de l'échantillonnage. À l'inverse, pour certaines espèces comme la perchaude et les

catostomidés, les données indiquent que ce sont majoritairement les jeunes qui fréquentent la zone littorale. Pour ces deux taxons, l'utilisation exclusive des adultes sous-estimerait considérablement l'abondance réelle. L'idéal pourrait donc être de calculer l'abondance pour les adultes seulement, avec comme exception les jeunes perchaudes et les jeunes catostomidés.

Les fluctuations interannuelles d'abondance

La figure 8 présente, pour chaque indicateur, les valeurs moyennes d'abondance obtenues lors des études de 1989 à 1995 (Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995). Dans la majorité des cas, l'écart-type s'avère supérieur à la moyenne. Même si les données présentées sont hautement variables, elles permettent néanmoins d'estimer quelles sont les fluctuations annuelles des poissons fourrages au lac Saint-Jean et de définir quel doit être l'ordre de grandeur des changements que l'on désire détecter. De façon générale, les résultats indiquent que lorsque l'abondance mesurée est inférieure à celle de l'échantillonnage antérieur, la réduction moyenne est de l'ordre d'environ 50 %, mais varie autour de 25 à 75 %. Quand l'abondance mesurée est supérieure à celle de l'échantillonnage antérieur, l'augmentation moyenne est de l'ordre d'environ 100 %, mais varie entre 50 et 200 %. Ceci implique par exemple qu'une baisse d'abondance de 25 % détectée dans un éventuel suivi des poissons fourrages ne représente probablement qu'une variation normale des populations. Néanmoins, la même baisse récurrente d'année en année s'avère plus préoccupante et tend à indiquer une réduction des effectifs de la population. Il est primordial d'avoir la capacité de mesurer ces variations interannuelles afin d'obtenir un portrait de l'état des poissons de la zone littorale.

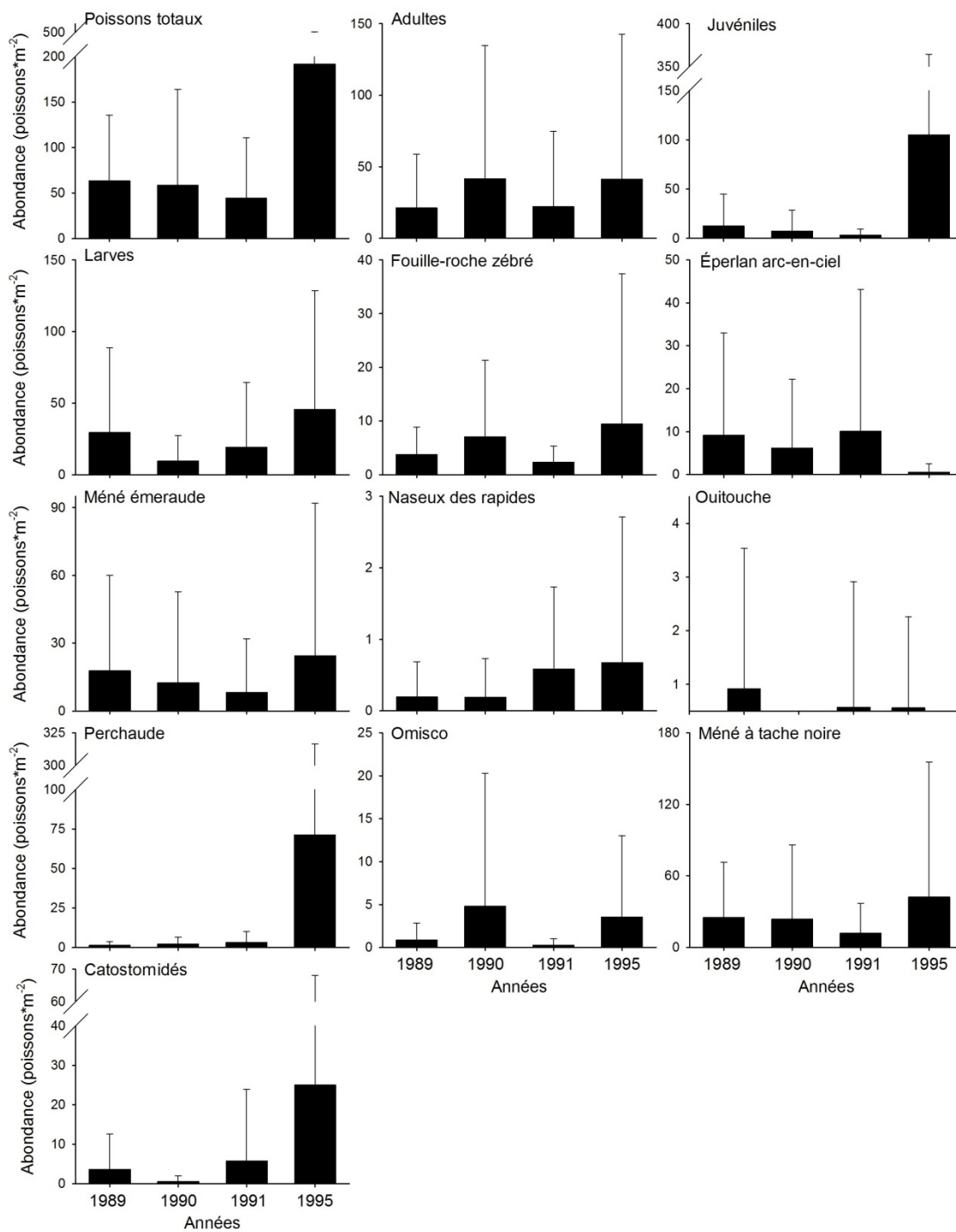


Figure 8 : Abondance moyenne (\pm écart-type) mesurée lors des échantillonnages de 1989 à 1995. Les valeurs utilisées sont la variabilité et l'abondance moyenne pour la période 3 en utilisant une seule sous-station.

Détermination du meilleur plan d'échantillonnage

Nombre de périodes utilisé

La figure 9 montre un exemple de la puissance statistique en fonction du nombre de périodes utilisé dans les analyses. Plus le nombre de périodes est élevé et plus la puissance l'est également.

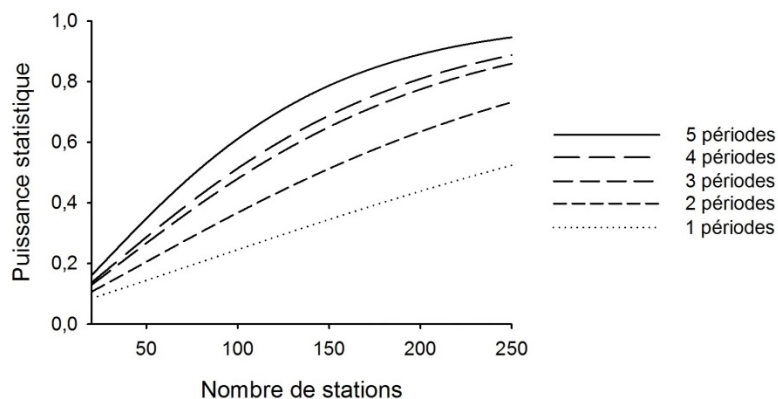


Figure 9 : Puissance statistique selon le nombre stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons en fonction du nombre de périodes échantillonné. L'analyse employée est un test de t pour échantillons appariés, dans le but de comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Le scénario testé est une diminution de 25 %.

Même si l'utilisation de plusieurs périodes augmente la puissance statistique (donc diminue le nombre de stations à utiliser), il s'avère plus efficace en termes de coups de seine d'échantillonner plus de sites à une seule reprise dans l'année que d'échantillonner les mêmes sites à plusieurs reprises. Le tableau suivant illustre un exemple, à partir des données de la figure 9.

Tableau 4 : Comparaison du nombre de coups de seine requis pour détecter un changement d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 % selon le nombre de périodes utilisé. Le scénario testé est une diminution de 25 % de l'abondance totale.

PÉRIODES (nombre)	STATIONS (nombre)	SOUS- STATIONS (nombre)	COUPS DE SEINE TOTAUX (nombre)
1	490	3	1470
2	295	3	1770
3	215	3	1935
4	200	3	2400
5	155	3	2325

D'un point de vue statistique, il est donc préférable d'échantillonner chaque station une seule fois dans l'année. Néanmoins, dans un contexte où le nombre de stations d'échantillonnage serait restreint (p. ex. disponibilité du matériel limitée, logistique de l'échantillonnage complexe, etc.), l'utilisation de plusieurs périodes peut être une solution pour augmenter la puissance statistique, même si c'est moins efficace en termes de coups de seine que d'augmenter le nombre de stations. Afin de choisir, quel moment de l'année devrait être échantillonné, la figure 10 montre l'abondance totale par période. Les résultats par espèces sont présentés à l'annexe 2.

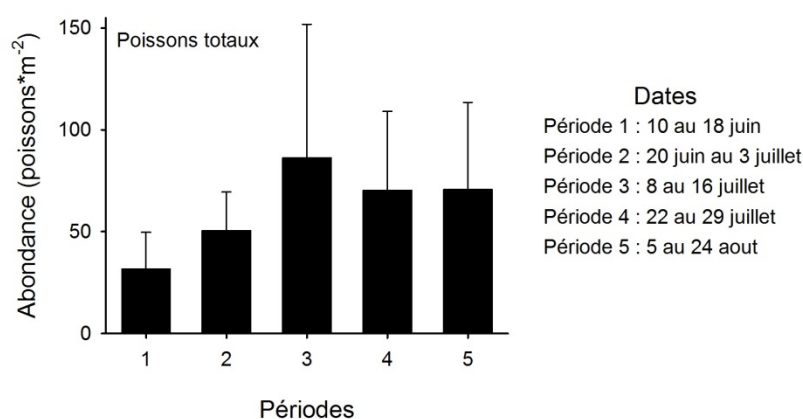


Figure 10 : Abondance moyenne (\pm écart-type) pour l'ensemble des poissons en fonction des périodes. Les valeurs utilisées sont les moyennes pour les années 1989 à 1995.

De façon générale, l'abondance la plus importante de poissons capturés est à la période 3, soit entre le 8 et le 16 juillet. Elle reste tout de même élevée pendant les mois de juillet et août, période durant laquelle un éventuel échantillonnage devrait avoir lieu. La figure montre également que la variabilité des données semble moins importante aux périodes 4 et 5, qu'à la période 3, bien que les différences soient minimales. Les analyses subséquentes ont utilisé exclusivement les valeurs de la période 3.

Nombre de sous-stations utilisé

Dans le même ordre d'idées que la section précédente, la figure 11 montre un exemple de la puissance statistique en fonction du nombre de sous-stations utilisé dans les analyses. Dans ce cas-ci, uniquement la période 3 est employée. Plus le nombre de sous-stations est élevé, plus la puissance statistique l'est également.

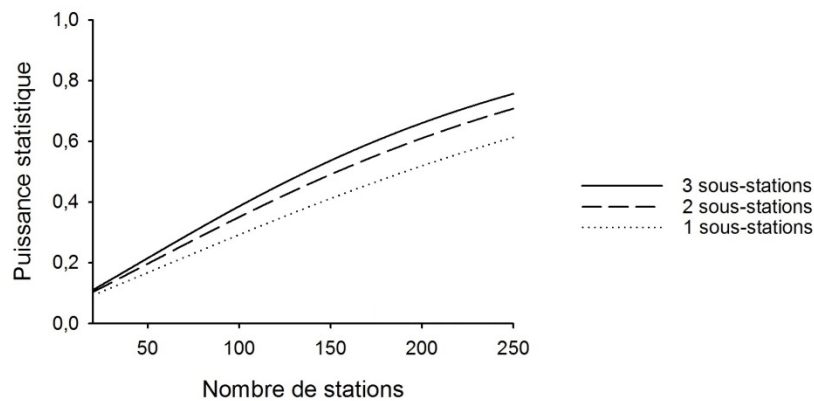


Figure 11 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons en fonction du nombre de sous-stations échantillonné. L'analyse employée est un test de t pour échantillons appariés, dans le but de comparer l'abondance entre deux échantillonnages. Les données d'abondance utilisées sont pour la période 3. Le scénario testé est une diminution de 25 %.

Comme pour les périodes, l'utilisation de sous-stations augmente la puissance statistique (donc diminue le nombre de stations à utiliser), même s'il est plus efficace en termes de coup de seine de recourir à une seule sous-station et plus de stations. Le tableau suivant illustre un exemple, à partir des informations de la figure 11.

Tableau 5 : Comparaison du nombre de coups de seine requis pour détecter un changement d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 % selon le nombre de sous-stations utilisé. Le scénario testé est une diminution de 25 % de l'abondance totale.

SOUS-STATIONS (nombre)	STATIONS (nombre)	PÉRIODES (nombre)	COUPS DE SEINE TOTAUX (nombre)
1	390	1	390
2	315	1	630
3	280	1	840

D'un point de vue statistique, il serait avantageux de n'effectuer qu'un seul coup de seine par station. En conséquence, une sous-station et une période sont utilisées dans les analyses subséquentes.

Détecter les changements d'abondance

Détecter les changements d'abondance d'une année à l'autre

Les fluctuations annuelles d'abondance mesurées lors des études de 1989 à 1995 ont été utilisées pour simuler différents effets, soit des diminutions de 25, 50 et 75 % ainsi que des augmentations de 50, 100 et 200 %. L'importante variabilité des données fait en sorte qu'un nombre élevé de stations est nécessaire afin de pouvoir mesurer un important changement de la quantité de poissons entre deux échantillonnages. Néanmoins, l'utilisation d'un seuil de signification plus permissif que le traditionnel 0,05, soit 0,10 ou 0,20, réduit considérablement la quantité de stations à utiliser. Par conséquent, les résultats dans le texte sont présentés en fixant le seuil de signification α à 0,20 et la puissance statistique à 80 %. On considère ainsi que le risque de détecter un changement d'abondance lorsqu'il n'y en a pas est aussi élevé que celui de ne pas détecter un changement lorsqu'il y en a un. La présentation des résultats a été décomposée en deux sections selon l'effet simulé (c.-à-d. une baisse ou une hausse d'abondance).

Les résultats des analyses de puissance pour les diminutions d'abondance sont présentés au tableau 6 et à la figure 12. Afin de détecter une diminution de 25 % de l'abondance totale, il faudrait échantillonner 220 stations alors que 510 stations seraient requises pour

les adultes, 470 pour les juvéniles et 380 pour les larves. Pour mesurer une baisse d'abondance de l'ordre de 25 % par espèce, il faudrait échantillonner de 360 à plus de 1000 stations. Il faudrait utiliser 50 stations pour détecter une diminution de 50 % de l'abondance totale, 105 pour l'abondance d'adultes, 100 pour les juvéniles et 80 pour les larves. Entre 75 et 220 sites s'avèrent nécessaires pour détecter une baisse de 50 % par espèce. Finalement, entre 20 et 90 stations devraient être utilisées pour une réduction de 75 % de l'abondance totale, par stade de vie ou par espèce.

Tableau 6 : Nombre de stations requis pour détecter une diminution de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des diminutions de 25, 50 et 75 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).

SCÉNARIO DIMINUTION	25 %			50 %			75 %		
	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20
Total	390	300	220	80	65	50	35	30	20
Adulte	890	710	510	185	145	105	75	60	45
Juvenile	810	640	470	180	140	100	80	65	50
Larve	660	520	380	140	110	80	60	45	35
Fouille-roche zébré	860	680	500	180	140	105	75	60	45
Éperlan arc-ciel	>1000	1000	840	270	210	155	115	90	65
Méné émeraude	>1000	>1000	760	275	215	160	110	85	65
Naseux des rapides	>1000	820	595	220	175	125	90	75	55
Ouitouche	>1000	>1000	>1000	380	295	215	150	115	85
Perchaude	>1000	>1000	>1000	380	300	220	155	120	90
Omisco	>1000	>1000	910	320	250	185	130	100	75
Méné à tache noire	790	630	460	175	135	100	75	60	45
Catostomidés	620	490	360	135	105	75	60	45	35

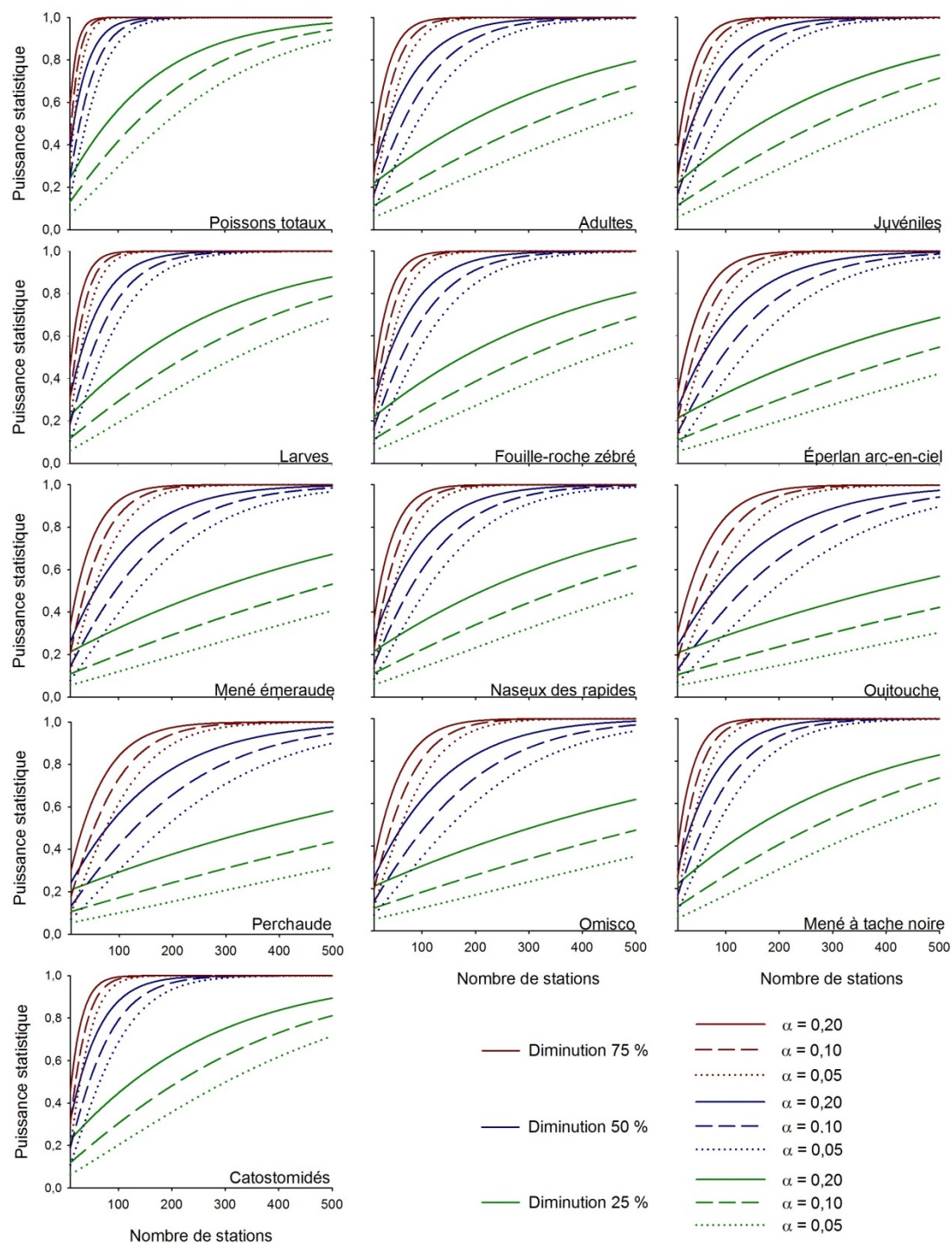


Figure 12 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages. Les scénarios testés sont des diminutions de 25, 50 et 75 % de l'abondance de départ.

La quantité de stations nécessaires pour détecter des augmentations de 50 à 200 % se montre similaire à celle pour détecter les diminutions simulées (tableau 7; figure 13). Pour pouvoir mesurer une augmentation de 50 % de l'abondance totale, il faudrait avoir recours à 115 stations. Pour les adultes, les juvéniles et les larves, entre 200 et 270 stations seraient requises. Environ 200 à plus de 1000 stations devraient être utilisées pour détecter cette différence par espèce. Pour une augmentation de 100 % de l'abondance totale, 50 sites seraient nécessaires, tandis qu'il en faudrait entre 80 et 105 pour l'abondance d'adultes, de juvéniles ou de larves. Entre 80 et 220 stations pourraient détecter une augmentation de 100 % par espèce. Afin de mesurer une augmentation de 200 %, 25 stations devraient être employées pour l'abondance totale, 55 pour l'abondance d'adultes, 60 pour les juvéniles et 45 pour les larves. Pour les augmentations d'abondance de 200 % par espèce, entre 45 et 115 stations seraient requises.

Tableau 7 : Nombre de stations requis pour détecter une augmentation d'abondance entre deux échantillonnages avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des augmentations de 50, 100 et 200 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$).

SCÉNARIO AUGMENTATION α	50 %			100 %			200 %		
	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20
Total	205	160	115	85	65	50	45	35	25
Adulte	465	370	270	185	145	105	95	75	55
Juvénile	430	340	250	180	140	105	100	80	60
Larve	350	275	200	140	110	80	75	60	45
Fouille-roche zébré	445	350	255	180	140	105	95	75	55
Éperlan arc-ciel	>1000	>1000	380	270	210	155	145	115	85
Méné émeraude	>1000	>1000	400	275	215	160	145	115	85
Naseux des rapides	>1000	435	315	220	175	130	120	195	70
Ouitouche	>1000	>1000	>1000	380	300	220	195	155	110
Perchaude	>1000	>1000	>1000	375	295	215	200	155	115
Omisco	>1000	>1000	475	320	250	185	165	130	95
Méné à tache noire	420	335	245	175	135	100	95	75	55
Catostomidés	330	260	190	135	105	80	75	60	45

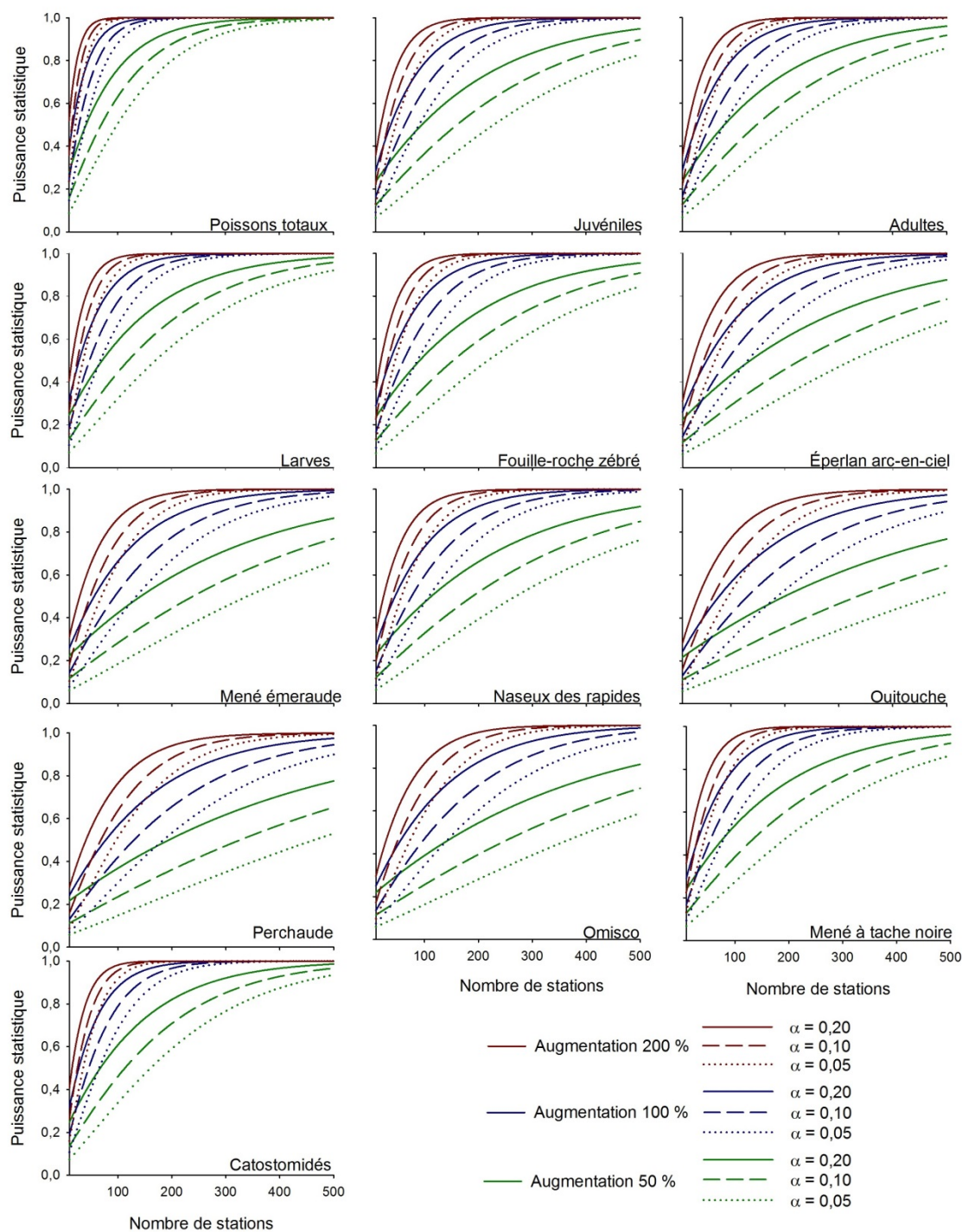


Figure 13 : Puissance statistique selon le nombre de stations utilisé pour détecter un changement de l'abondance des poissons entre deux échantillonnages. Les scénarios testés sont des augmentations de 50, 100 et 200 % de l'abondance de départ.

En résumé, en fixant le seuil α à 0,20 et pour obtenir une puissance de 80 %, il faudrait employer au-delà de 1000 stations pour détecter un léger changement d'abondance (diminution de 25 % ou augmentation de 50 %) par espèce. Pour un changement d'importance moyenne (diminution de 50 % ou augmentation de 100 %), 220 stations seraient nécessaires tandis que 155 devraient être utilisées pour détecter une différence importante (diminution de 75 % ou augmentation de 100 %). Le nombre de stations proposé s'apparente à celui suggéré par d'autres études semblables, qui ont réalisé des analyses de puissance à partir de données de seinage. Par exemple, Bailey (2005) indique que pour détecter une différence d'abondance de 50 % par espèce qui occupent le littoral des réservoirs du Wyoming ($\alpha = 0,10$; $\beta = 0,20$), moins de 100 stations seraient nécessaires. Un protocole pour le suivi des juvéniles de morue à la seine de rivage recommande d'utiliser 144 stations pour détecter un changement d'abondance interannuel de l'ordre de 30 % (University of Glasgow 2013). Dans le lac Érié, environ 500 stations seraient nécessaires pour détecter une baisse de 50 % de l'abondance de méné émeraude tandis qu'un peu plus de 200 stations pourraient détecter la même baisse de l'abondance totale de poissons riverains ($\alpha = 0,05$; $\beta = 0,20$; Reid et Mandrak 2009). Pour le lac Saint-Jean, rappelons que 300 coups de seine ont été réalisés par année lors des échantillonnages de 1989 à 1995 (Valentine 1989; 1990; 1991; Bouchard et Plourde 1995). En modifiant le plan expérimental utilisé, il serait possible de détecter des changements d'abondance d'importance moyenne avec un nombre inférieur de coups de seine.

Détecter les tendances temporelles à long terme

La figure 14 montre la probabilité qu'une diminution constante de l'abondance soit détectée au fil des années. Différents scénarios ont été testés, correspondant à des diminutions annuelles de 2, 5 et 10 %. Les valeurs de base utilisées correspondent à l'abondance moyenne mesurée lors des échantillonnages de 1989 à 1995. Les courbes qui montrent une baisse de 10 % arrêtent après 10 ans et celles qui représentent une réduction de 5 % arrêtent après 20 ans, puisque l'abondance devient alors nulle (figure 14).

Il était impossible de détecter une diminution de l'abondance de 2 % en 25 ans ou moins avec une puissance de 80 %, et ce peu importe le seuil α fixé (tableau 8; figure 14). Il faudrait environ 15 à 20 années de données pour détecter une baisse annuelle de 5 %. Dans la majorité des cas, une réduction de 10 % ne pouvait être détectée en moins de 10 ans. Puisque pour ces analyses les valeurs ont été regroupées par année, la puissance statistique ne pourrait pas être augmentée en échantillonnant plus de sites. En effet, même si plus de stations étaient utilisées, la variabilité des données et le nombre de degrés de liberté seraient les mêmes et la puissance statistique demeurerait inchangée. L'unique façon d'accroître la puissance dans ce cas-ci serait d'employer une méthodologie procurant des données moins variables.

Tableau 8 : Nombre d'années requis pour détecter une diminution temporelle constante de l'abondance avec une puissance de 80 %. Les scénarios testés sont des diminutions de 2, 5 et 10 % ($\alpha = 0,05, 0,10$ et $0,20$). Les tirets indiquent qu'une puissance de 80 % n'a pu être atteinte avant que l'abondance devienne nulle.

SCÉNARIO DIMINUTION ANNUELLE	2 %			5 %			10 %			
	α	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20
Total		>25	>25	>25	19	18	17	-	-	10
Adulte		>25	>25	>25	19	18	16	-	-	10
Juvénile		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Larve		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Fouille-roche zébré		>25	>25	>25	19	18	17	-	-	10
Éperlan arc-ciel		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Méné émeraude		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Naseux des rapides		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Ouitouche		>25	>25	>25	-	20	17	-	-	-
Perchaude		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Omisco		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Méné à tache noire		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-
Catostomidés		>25	>25	>25	20	19	17	-	-	-

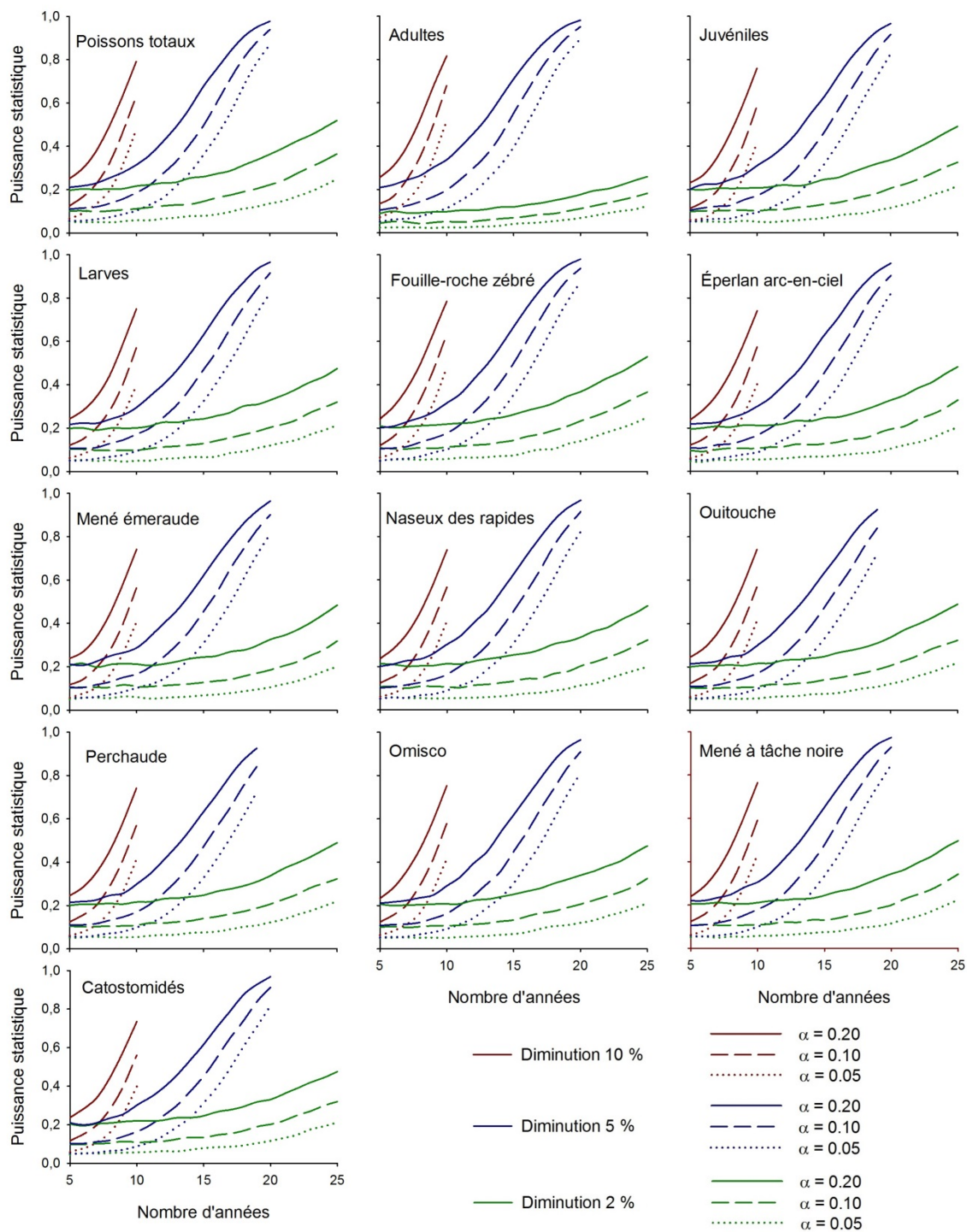


Figure 14 : Puissance statistique selon le nombre d'années utilisé pour détecter une diminution temporelle constante de l'abondance des poissons. Les scénarios testés représentent des diminutions de 2, 5 et 10 % de l'abondance de départ ($\alpha = 0,05$, 0,10 et 0,20).

LA PUISSANCE STATISTIQUE, EN RÉSUMÉ

Afin d'évaluer s'il est possible d'instaurer un suivi des poissons fourrages en zone littorale en utilisant la méthodologie employée lors des échantillonnages de 1989 à 1995, des analyses de puissance ont été effectuées. Les analyses ont été réalisées selon deux principaux objectifs : détecter des changements d'abondance entre deux échantillonnages et détecter des changements d'abondance constants à long terme. Les scénarios simulés considèrent que l'échantillonnage n'a lieu qu'à une seule reprise dans l'année et qu'un seul coup de seine est réalisé par station.

- Les données de seinage sont très variables et nécessitent l'utilisation d'un grand nombre de stations.
- Afin de détecter une baisse d'abondance de 25 % par espèce entre deux échantillonnages, plus de 1000 stations seraient requises, 220 stations pour une baisse de 50 % et 90 stations pour une baisse de 75 % ($\beta = 0,20$; $\alpha = 0,20$).
- Afin de détecter une augmentation d'abondance de 50 % par espèce entre deux échantillonnages, plus de 1000 stations seraient requises, 220 stations pour une hausse de 100 % et 115 stations pour une hausse de 200 % ($\beta = 0,20$; $\alpha = 0,20$).
- Il faudrait au-delà de 25 années de données pour détecter une diminution annuelle d'abondance de 2 % et 15 à 20 années pour une baisse de 5 %. Une réduction annuelle de 10 % serait presque impossible à détecter avant que l'abondance devienne nulle, soit en moins de 10 ans ($\beta = 0,20$; $\alpha = 0,20$).

Ainsi, il serait onéreux d'instaurer un suivi des poissons fourrages pouvant mesurer une faible variation de l'abondance des poissons fourrages. Par contre, si l'on désire que le suivi détecte un changement d'abondance d'importance moyenne entre deux échantillonnages (soit une baisse de 50 % ou une hausse de 100 %), 220 stations devraient être utilisées. Il serait donc possible d'instaurer un suivi des poissons fourrages en réalisant un nombre inférieur de coups de seine et en utilisant un plan expérimental différent de celui des études de 1989 à 1995. Néanmoins, la variabilité substantielle des données fait en sorte qu'il serait presque impossible de détecter, dans un délai raisonnable, une faible réduction constante du nombre de poissons fourrages, puisque la quantité de poissons devrait diminuer de près de 100 % afin de détecter un changement.

CHAPITRE 2 : PERSPECTIVES FUTURES POUR LE SUIVI DES POISSONS FOURRAGES DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-JEAN

Les analyses réalisées dans ce rapport s'inscrivent dans un projet d'acquisition de connaissances sur les poissons fourrages qui occupent la zone littorale du lac Saint-Jean. L'objectif du présent rapport est de proposer une nouvelle méthodologie et un nouveau plan d'échantillonnage, dans le but d'assurer un suivi périodique adéquat de ces poissons et de pouvoir mesurer les tendances temporelles des populations. Les recommandations émises dans les prochaines parties ont été formulées dans un contexte où un tel suivi pourrait être instauré. Globalement, nous suggérons de préciser l'importance des poissons fourrages comme source de nourriture pour les espèces sportives, puis d'effectuer un échantillonnage exploratoire pour optimiser l'efficacité de la seine de rivage et nous émettons ultimement des recommandations générales pour un éventuel suivi des poissons fourrages en zone littorale.

IMPORTANCE DES POISSONS FOURRAGES EN TANT QUE PROIES POUR LES POISSONS SPORTIFS

Résumé des connaissances actuelles

Avant d'instaurer un suivi des poissons fourrages, il faudrait idéalement faire une mise à jour de leur importance en tant que proies pour les trois principales espèces de poissons sportifs exploitées au lac Saint-Jean (doré jaune, ouananiche et lotte), afin de pouvoir mieux cibler les espèces à inclure dans un éventuel suivi. Plusieurs études ont évalué les contenus stomacaux des prédateurs au lac Saint-Jean (Gravel 1970; Mahy 1975; Valentine 1990; Nadon 1991; Lefebvre 2003; Tremblay 2004; MRNF 2006, données non publiées). Néanmoins, les données les plus récentes remontent à 2002 pour la ouananiche (Lefebvre 2003) et à 2006 pour le doré jaune (MRNF, données non publiées). Notons que parmi les données récoltées, aucune n'a été récoltée durant l'hiver. Le tableau 9 et la figure 15 présentent une synthèse des informations disponibles.

Tableau 9 : Résumé des études portant sur la prédation par les poissons sportifs du lac Saint-Jean.

ÉTUDES	DATES	TECHNIQUES DE CAPTURE	DIVERS
Gravel (1970)	1963	Filets maillants	Présence de perchaude, ouitouche, éperlan arc-en-ciel et cisco de lac dans les estomacs du doré jaune. Présence d'éperlan arc-en-ciel, poulamon, cisco de lac et mollusques dans les estomacs de la lotte.
Mahy (1975)	1972	Pêche sportive	Pour le doré, 32 % du volume de proie ingéré était des cyprinidés. Pour la ouananiche, 8 % était des cyprinidés et 2,5 % des percidés.
Desjardins (1989)	1988	Filets maillants, seine de rivage, lignes mortes, cages et pêche sportive	Présence de ouitouche, méné émeraude, méné à tache noire, poulamon, omisco, perchaude et fouille-roche zébré dans les estomacs du doré jaune ou de la ouananiche.
Valentine (1990)	1988		Les données présentées dans le rapport proviennent du même échantillonnage que celui de Desjardins (1989).
Nadon (1991)	1989	Pêche sportive, pêche autochtone, et filets maillants	Présence de perchaude et de cyprinidés dans les estomacs de la ouananiche.
Lefebvre (2003)	1997 à 2002	Pêche sportive et pêche autochtone	Présence de percidés et de cyprinidés dans les estomacs de la ouananiche.
Tremblay (2004)	2001 et 2002	Pêche sportive et pêche autochtone	Présence de perchaude, omisco, fouille-roche zébré et catostomidés dans les estomacs du doré jaune.
MRNF, non publié	2006	Pêche expérimentale normalisée	Présence de perchaude dans les estomacs du doré jaune.

La perchaude, l'omisco, le méné à tache noire, le méné émeraude, la ouitouche, le fouille-roche zébré, le poulamon (*Microgadus tomcod*) et plusieurs autres espèces ont été répertoriés lors de l'analyse des contenus stomacaux de doré jaune ou de ouananiche (Gravel 1970; Mahy 1975; Valentine 1990; Nadon 1991; Lefebvre 2003; Tremblay 2004). Le peu d'informations disponibles pour le grand brochet indique qu'il mange, entres autres, des catostomidés et des ouitouches (Gravel 1970). Pour sa part, la lotte s'alimente notamment d'éperlan arc-en-ciel, de poulamon atlantique, de cisco de lac (*Coregonus artedii*) et de mollusques (Gravel 1970). La perchaude peut aussi se nourrir

d'autres poissons fourrages, incluant le méné émeraude, le fouille-roche zébré et des individus de sa propre espèce (Desjardins 1989).

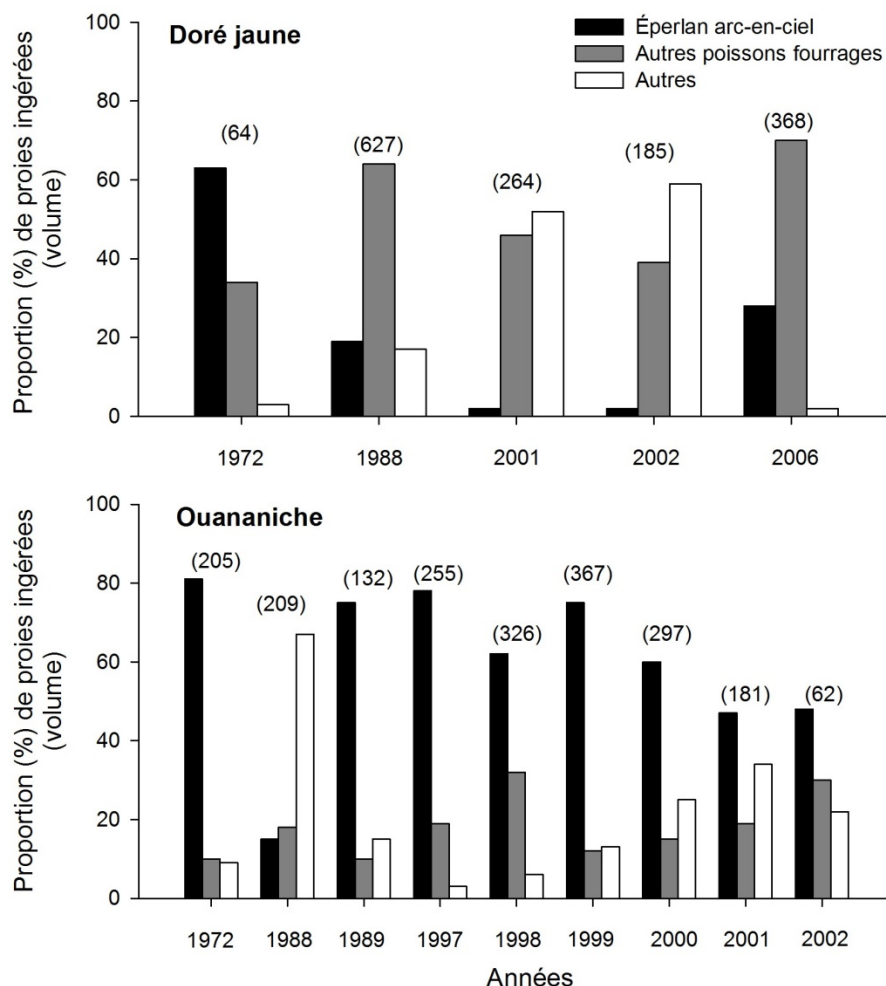


Figure 15 : Proportion de proies ingérées par la ouananiche et le doré jaune (exprimée en pourcentage du volume des proies) au lac Saint-Jean en période estivale, de 1972 à 2006³. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de spécimens analysé chaque année.

Selon les années, les poissons autres que l'éperlan arc-en-ciel (incluant ceux non identifiés) représentent entre 35 et 95 % du volume de poissons ingérés en période estivale (principalement juin, juillet et août) par le doré jaune et entre 35 et 70 % du volume total des proies (Mahy 1975; Valentine 1990; Tremblay 2004; MRNF 2006,

³Les données de 1972 proviennent de Mahy (1975), celles de 1989 de Nadon (2001) et celles de 1988 ainsi que 1997 à 2002 proviennent de Tremblay (2004). Les données de 2006 proviennent de l'analyse des contenus stomacaux des dorés prélevés lors des pêches expérimentales normalisées du MRNF.

données non publiées). Pour la ouananiche, ces espèces représentent entre 10 et 55 % du volume de poissons ingérés en période estivale et entre 12 et 30 % du volume total des proies (Mahy 1975; Valentine 1990; Lefebvre 2003). Bien qu'une partie du volume de poissons non identifiés soit possiblement de l'éperlan-arc-en-ciel, on suppose qu'une proportion importante de ces poissons est représentée par des cyprinidés et d'autres espèces plus difficiles à identifier que ce dernier. D'ailleurs, plusieurs de ces études visaient à quantifier la prédation sur l'éperlan arc-en-ciel, il se peut donc que l'effort d'identification consacré aux autres espèces ait été moins important.

Propositions générales afin de réaliser un portrait global

Pour obtenir des données actuelles sur l'importance des poissons fourrages dans le réseau trophique du lac Saint-Jean, plusieurs méthodes peuvent être envisagées : une collaboration avec les pêcheurs sportifs, une collaboration avec les pêcheurs autochtones, l'utilisation des spécimens prélevés lors des pêches expérimentales au doré jaune du MFFP ou encore, la réalisation d'un nouveau projet visant à quantifier l'importance des poissons fourrages en tant que proies. Toutefois, les trois premières méthodes ne sont pas optimales puisqu'elles ne permettent pas de contrôler ni le moment, ni le lieu de capture des spécimens. De plus, les techniques de pêche associées à ces méthodes amplifient les chances que les poissons régurgitent leur nourriture. Les prédateurs piscivores ont souvent un œsophage large et extensible qui rend la régurgitation plus facile (Murphy et Willis 1996). Dans le cas des spécimens provenant des pêches expérimentales, le temps de rétention dans les mailles (jusqu'à 24 h) augmente la digestion des contenus stomacaux et rend plus difficile l'identification des spécimens. Une des techniques envisageables est d'utiliser des filets maillants qu'on lève à intervalle de 2 à 4 heures. Les estomacs peuvent être conservés dans de l'éthanol.

Dans l'éventualité d'un nouveau projet, différentes variables devraient être considérées. Notamment la taille des prédateurs qui peut avoir un impact sur les proies ingérées. L'échantillonnage devrait inclure plusieurs sites de capture sur l'ensemble du lac, en milieu riverain et pélagique. Puisque la répartition des poissons fourrages peut différer d'un endroit à l'autre. Le moment de la capture (jour ou nuit) peut aussi influencer les résultats, car plusieurs espèces de poissons modifient leur alimentation en fonction du

moment de la journée (Murphy et Willis 1996). De plus, aucune des études précédentes ne s'est déroulée durant l'hiver alors que plusieurs poissons fourrages se déplacent vers les profondeurs à cette période. Un éventuel projet devrait couvrir idéalement un cycle annuel complet. Pour compléter l'étude des contenus stomacaux, l'utilisation des signatures isotopiques pourrait être envisagée. Les signatures isotopiques permettraient de pallier les problèmes d'identification des poissons digérés, tout en apportant plus d'informations sur la position trophique des prédateurs (Post 2002; Layman et al. 2007).

ÉCHANTILLONNAGE EXPLORATOIRE

Les résultats ont montré que les données récoltées entre 1989 et 1995 sont hautement variables et qu'un grand nombre de stations serait requis pour détecter un important changement d'abondance des poissons fourrages. Dans l'objectif d'établir un suivi à long terme, il serait idéal de faire un échantillonnage exploratoire visant à développer une méthodologie qui procure des données moins variables. En effet, la puissance statistique (et donc la quantité de sites à échantillonner) dépend de la variabilité de l'abondance entre les stations par année et de la corrélation interannuelle de l'abondance pour une même station. Puisqu'il est impossible d'influencer la corrélation interannuelle, il faut viser à diminuer la variation du nombre de captures entre les sites. Malgré les résultats obtenus, la seine de rivage s'avère, à notre avis, la méthode la plus simple pour échantillonner les poissons fourrages en zone littorale. La variabilité des données pourrait potentiellement être réduite en modifiant la technique de seinage, notamment en augmentant la superficie échantillonnée. Un échantillonnage exploratoire permettrait en plus d'avoir un portrait plus récent de la communauté de poissons fourrages près des rives du lac Saint-Jean. Il serait aussi possible d'utiliser d'autres types de d'habitats que la zone littorale près des plages et de répertorier l'ensemble des secteurs qui peuvent être échantillonnés avec une seine de rivage.

Augmenter la surface de seinage

La méthode suggérée pour diminuer la variabilité des données est d'augmenter la surface d'échantillonnage. Puisque les poissons sont grégaires, une plus large surface de seinage augmenterait la chance de récolter un banc de poissons, ce qui réduirait la quantité de coups de seine vide ou presque vide. Pour valider cette hypothèse, le nombre de poissons capturé en fonction de la superficie échantillonnée a été évalué à partir des données de 1989 à 1991 (les données d'abondance seulement étaient disponibles lors de l'analyse pour l'année 1995, sans information sur les valeurs brutes de capture et la superficie échantillonnée). Les résultats indiquent cependant que le nombre de poissons capturé n'augmente pas avec la superficie échantillonnée (figure 16; annexe 3). Toutefois, les données utilisées incluent différentes stations, avec des dénivelés différents, ce qui est susceptible de hausser leur variabilité et de masquer un potentiel effet de la superficie.

D'ailleurs, la superficie échantillonnée varie entre 150 et 400 m², il est possible qu'une différence puisse être observée si la superficie échantillonnée était beaucoup plus vaste.

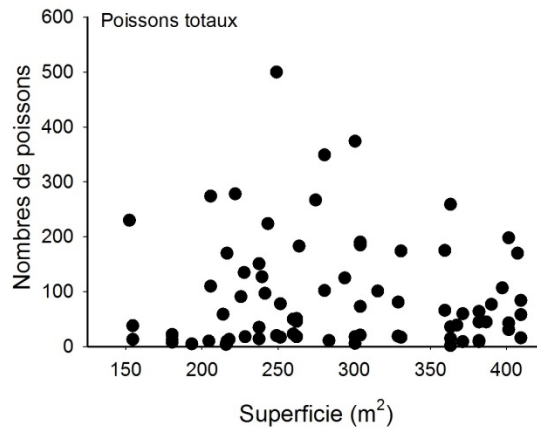


Figure 16 : Nombre total de poissons capturé par superficie échantillonnée. Les valeurs utilisées sont celles de la période 3 des échantillonnages de 1989, 1990 et 1991. Afin de rendre le graphique plus facile à interpréter, les valeurs de superficie de 410 m² et plus (soit les valeurs maximales échantillonnées par la seine) ont été exclues.

La méthode de seinage des études de 1989 à 1995 (Quart-cercle : étendre la seine perpendiculairement à la rive et la rabattre vers le rivage; figure 2) couvre une superficie maximum de 415 m² pour une seine de 23 m de longueur. Trois autres techniques, celles qui semblent le plus couramment utilisées dans la littérature scientifique, sont suggérées afin d'accroître la surface balayée par la seine et possiblement diminuer la variabilité des données (figure 17).

- **Parallèle** - La seine est étendue de façon parallèle à la rive au large, le plus profond possible (la hauteur de la seine étant la limite maximale si l'échantillonnage est en bateau) et elle est ramenée sur le rivage de façon à former un rectangle (figure 17a).
- **Perpendiculaire** - La seine est étendue de façon perpendiculaire à la rive, le plus profond possible (idéalement l'extrémité de la seine vers le large est ramenée en bateau) et elle est promenée sur une distance de χ m avant d'être rabattue sur le rivage (figure 17b).
- **Demi-cercle** - La seine est étendue sur la rive de façon parallèle. À une extrémité, la seine est tenue en place par une personne ou par une ancre, tandis que l'autre extrémité est attachée à la proue d'une embarcation ou est ramenée par une personne. La partie mobile de la seine est étendue dans l'eau au maximum, puis

rabattue sur le rivage, de manière à ce que la surface échantillonnée représente un demi-cercle (figure 17c).

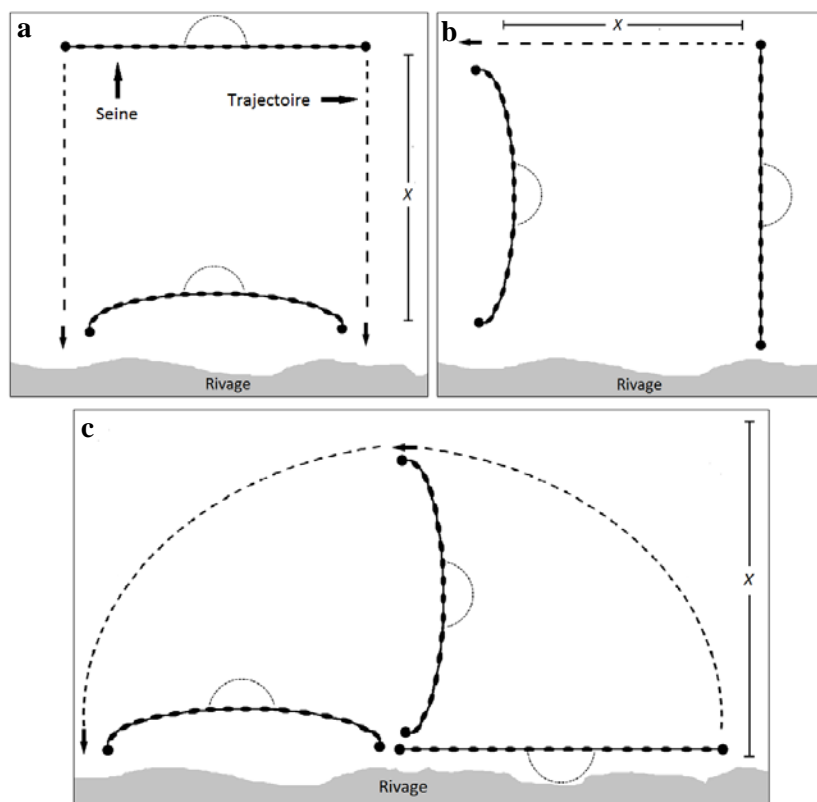


Figure 17: Techniques de seinage suggérées afin d'augmenter la surface d'échantillonnage. (a) La seine est parallèle à la rive, (b) la seine est perpendiculaire à la rive et (c) la seine est déplacée en formant un demi-cercle.

Avec la technique *parallèle*, la superficie dépend principalement du dénivelé du rivage. Plus ce dernier est faible et plus il sera possible d'étendre la seine loin de la rive. Peu importe la profondeur, cette technique échantillonne une superficie supérieure à celle du quart de cercle. La technique *perpendiculaire* est celle qui permet d'échantillonner la plus grande superficie, la distance parcourue par la seine pourrait être par exemple de 25 m (575 m^2 pour une seine de 23 m de longueur) ou de 50 m (1150 m^2). La technique *demi-cercle* ressemble fortement à celle employée lors des études antérieures, mais couvre une superficie deux fois plus vaste. Les différentes techniques suggérées peuvent néanmoins engendrer des résultats différents, indépendamment de la superficie, puisque le nombre de poissons qui s'échappent de la seine peut varier selon la technique utilisée.

À titre comparatif, le réseau de suivi ichthyologique du Saint-Laurent utilise la technique du quart de cercle et échantillonne une superficie d'environ 120 m², en utilisant une seine deux fois plus courte (OGSL 2016). Dans le lac Michigan, un suivi des poissons fourrages à la seine de rivage a utilisé une seine de 38 m de long tirée sur une distance de 61 m (Jude et Tesar 1985). L'étude de Reid et Mandrak (2009) dans le lac Érié ont échantillonné une superficie d'environ 750 m² avec une seine d'une longueur de 15 m. Le choix des techniques utilisées semble dépendre principalement du dénivelé du rivage et des ressources disponibles (embarcation, personnel, etc.). De façon générale, il semble que plus que le plan d'eau est grand, et plus la superficie échantillonnée par la seine est grande également.

Comparer l'efficacité des techniques d'échantillonnage

Pour évaluer quelle technique est la plus efficace d'un point de vue statistique, il faut comparer la variabilité des données à partir du coefficient de variation (CV). Pour ce faire, il serait possible par exemple de réaliser deux coups de seine par station avec la même technique, de manière à obtenir une valeur du CV, et de comparer les CV obtenus entre les différentes techniques. Puisque les données sont très variables, un nombre élevé de stations devrait être utilisé afin de pouvoir bien comparer l'efficacité des différentes techniques.

Néanmoins, une plus grande superficie de prélèvement peut réduire l'efficacité de l'échantillonnage en rallongeant le temps requis pour échantillonner une station. D'abord, le coup de seine prend plus de temps et d'énergie. Ensuite, plus la quantité de poissons capturés est élevée et plus long sera le temps requis pour l'identification et le dénombrement. La perte d'efficacité engendrée par une plus vaste superficie d'échantillonnage doit être compensée par la réduction du nombre de sites à utiliser pour obtenir une bonne puissance statistique (figure 18). Dans un éventuel échantillonnage exploratoire, le temps consacré à chacune des stations devra être mesuré.

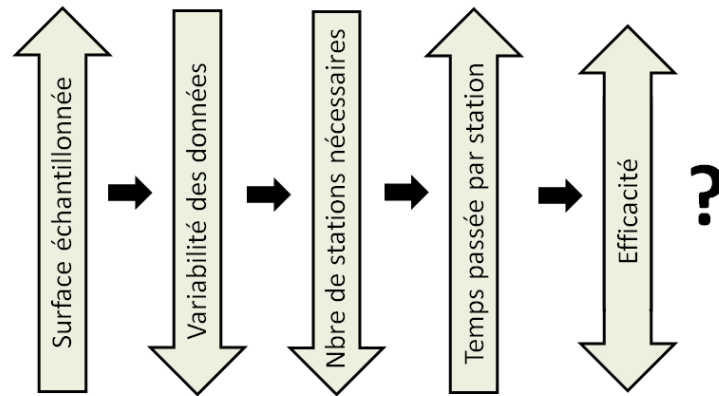


Figure 18 : Impacts théoriques d'une augmentation de la surface de prélèvement sur l'efficacité d'échantillonnage.

SUIVI DES POISSONS FOURRAGES, RECOMMANDATIONS

Les recommandations émises dans cette partie tiennent compte des résultats des analyses de puissance. L'échantillonnage exploratoire proposé dans la partie précédente aiderait à développer une méthodologie plus précise, qui comporterait probablement moins de stations. Les énumérations suivantes présentent les caractéristiques qui devraient composer un éventuel suivi des poissons fourrages en zone littorale.

- Le nombre de stations sélectionné doit procurer une bonne puissance statistique (80 %), sans toutefois être trop élevé. L'objectif étant de minimiser les coûts pour que la fréquence du suivi soit la plus élevée possible et que ce dernier soit maintenu au fil du temps.
- Un seuil de signification (α) plus permissif que le traditionnel 0,05 devrait être utilisé, soit 0,10 ou même 0,20.
- Les spécimens devraient, dans la mesure du possible, être identifiés sur le terrain. Les jeunes individus sont plus difficiles à identifier et augmentent la variabilité des mesures effectuées. À l'exception de la perchaude et des catostomidés pour lesquels ce sont principalement les jeunes qui occupent le rivage, seuls les adultes devraient être comptabilisés.
- Idéalement, la seine de rivage devrait être pourvue d'une poche pour maximiser le nombre de spécimens capturé.
- Dans le cas où la technique de seinage serait la même que celle employée entre 1989 et 1995, 220 stations devraient être utilisées, ce qui représente environ 1 station par kilomètre de rivage. Une étude préliminaire pourrait permettre d'abaisser cette valeur en trouvant des méthodes qui procurent des résultats moins variables.
- La localisation des stations devrait être établie de façon aléatoire ou systématique, parmi les sites qu'il est possible d'échantillonner avec une seine de rivage. Les mêmes stations devraient être répétées d'un échantillonnage à l'autre.
- Chaque station devrait n'être échantillonnée qu'une fois par année (aucune période ni sous-station), afin de maximiser la puissance statistique. Les mois de juillet et d'août représentent la période idéale pour récolter les poissons en zone littorale.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les informations présentées dans ce document s'insèrent dans un projet d'acquisition de connaissances sur les poissons fourrages qui occupent la zone littorale du lac Saint-Jean. Le projet est réalisé dans un contexte où il y a peu de connaissances sur ces poissons et qu'il est présumé que leur abondance a diminué depuis 30 ans. Rappelons que les poissons fourrages de la zone littorale du lac constituent une source de nourriture importante pour les poissons exploités par les pêcheurs et qu'ils peuvent ainsi avoir un impact sur la qualité de pêche sportive. Le volet du projet traité dans ce rapport vise principalement à proposer une nouvelle méthodologie et un nouveau plan d'échantillonnage, dans le but d'assurer un suivi périodique adéquat de ces poissons. Les poissons qui occupent la zone littorale sont les seuls qui ne font pas actuellement l'objet d'un suivi au lac Saint-Jean. Un tel suivi permettrait d'évaluer les tendances temporelles des populations et possiblement d'améliorer la gestion des ressources halieutiques. Afin de répondre aux objectifs du projet, des analyses de puissance statistique ont été réalisées à partir des données provenant des échantillonnages à la seine réalisés entre 1989 et 1995. Suite aux résultats, des perspectives futures concernant l'instauration d'un suivi des poissons fourrages sont présentées.

Les données d'abondance des poissons fourrages au lac Saint-Jean recueillies à l'aide d'une seine de rivage sont très variables et nécessitent l'utilisation d'un nombre élevé de stations pour obtenir une puissance statistique acceptable. De même, les fluctuations interannuelles d'abondance sont importantes et varient généralement entre 25 et 200 %. Le plan expérimental proposé pour le suivi des poissons fourrages échantillonne chaque station une seule fois, durant le mois de juillet, et réutilise les mêmes stations année après année. Afin de pouvoir détecter les plus faibles variations interannuelles d'abondance par espèce entre deux échantillonnages, plus de 1000 stations devraient être utilisées. Il serait possible de mesurer des fluctuations moyennes de l'abondance en utilisant 220 stations. Les plus grandes fluctuations d'abondance pourraient être détectées en recourant à 115 stations. Par contre, la variabilité considérable des données fait en sorte qu'il serait presque impossible de détecter dans un délai raisonnable une faible réduction constante du nombre de poissons fourrages.

Nous considérons que le nombre de 220 stations, qui permet de détecter des variations moyennes de l'abondance, représente un bon compromis entre efficacité et puissance statistique. Néanmoins, puisque le but est d'instaurer un suivi récurrent et de le maintenir à long terme, il serait avantageux d'en réduire les coûts. Afin de diminuer la variabilité de l'échantillonnage, d'autres techniques qui échantillonnent une plus vaste superficie pourraient être testées lors d'un échantillonnage exploratoire. Dans le même ordre d'idées, avant d'instaurer un suivi, il serait idéal de mettre à jour les connaissances sur la prédation des poissons fourrages et de préciser l'importance de chaque espèce en tant que proie pour les poissons sportifs. Considérant les ressources financières et humaines requises pour la réalisation d'un suivi, il est nécessaire d'utiliser une méthodologie efficace qui peut détecter les changements d'abondance à long terme des poissons fourrages.

RÉFÉRENCES

- Alcan. 1996. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Rapport synthèse de 1986-1996. Annexe 2 : Évolution des milieux humides et des communautés de poissons fourrages. Environnement Illimité inc. 148 p.
- Aquagénie. 1987. Inventaires des populations ichtyennes qui fréquentent la zone de marnage du Lac St-Jean. Mai, juin, juillet 1987. Rapport présenté à la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée. Programme de stabilisation des berges du Lac St-Jean. Aquagénie inc. 37 p.
- Bailey, P. E. 2005. Seining effort needed to detect changes in relative abundance of common littoral zone fishes in Wyoming reservoirs. *Ecology* 20: 65-69.
- Bailey, P. E. et K. G. Gerow. 2005. Seining effort needed to estimate species richness of small littoral zone fishes: A simulation study in three Wyoming reservoirs. *North American Journal of Fisheries Management* 25: 1310-1314.
- Bouchard, L. et Y. Plourde. 1995. Suivi de l'impact des travaux de rechargement sur les communautés de poissons fourrages au lac Saint-Jean. Résultats des pêches de 1995. Rapport du Centre Écologique du lac Saint-Jean inc. Pour Alcan, programme de stabilisation des berges. 64 p.
- Desjardins, R. 1989. Régime alimentaire de différentes espèces de poissons du lac St-Jean. Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 16 p.
- Fortin, A.-L., P. Sirois et M. Legault. 2009. Synthèse et analyse des connaissances sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi. Laboratoire des Sciences aquatiques et ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, direction de l'expertise sur la faune et ses habitats. 137 p.

- Gendron, M.-H. 2009. Synthèse des connaissances sur le doré jaune (*Sander vitreus*) et la lotte (*Lota lota*) du lac Saint-Jean. Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean. 88 p.
- Gerow, K. G. 2007. Power and sample size estimation techniques for fisheries management: assessment and a new computational tool. *North American Journal of Fisheries Management* 27: 397-404.
- Gotelli, N. J. et A. M. Ellison. 2013. A primer of ecological statistics. Second Edition. Sinauer. 613 p.
- Gryska, A. D., W. A. Hubert et K. G. Gerow. 1997. Use of power analysis in developing monitoring protocols for the endangered Kendall Warm Springs Dace. *North American Journal of Fisheries Management* 17: 1005-1009.
- Hahn, P. K. J., R. E. Bailey et A. Ritchie. 2007. Salmonid field protocols handbook : techniques for assessing status and trends in salmon and trout populations. Chapter 9. Beach seining. 487 p.
- Jones, N. et I. Petreman. 2012. The capacity to detect change stream fish communities characteristics at the site-level in the Lake Ontario Basin. *Environmental Management* 50: 77-88.
- Jude, D. J. et F. J. Tesar. 1985. Recent changes in the inshore forage fish of Lake Michigan. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1154-1157.
- Layman, C. A., D. A. Arrington, C. G. Montaña et D. M. Post, 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure ? *Ecology* 88: 42-48

- Lefebvre, R. 1988. Utilisation de la zone de marnage du lac Saint-Jean par la faune aquatique en 1987. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction régionale du Saguenay-Lac Saint-Jean. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la Faune. 44 p.
- Lefebvre, R. 1989. Utilisation de la zone de marnage du lac Saint-Jean par la faune aquatique en 1988. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction régionale du Saguenay-Lac Saint-Jean. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la Faune. 44 p.
- Lefebvre, R. 2003. Régime alimentaire de la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean (1997-2002). Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean. 57 p.
- Lefebvre, R. 2005. Inventaire ichtyologique de la zone littorale du lac Saint-Jean en 2004. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean. 19 p.
- Lester, N. P., W. I. Dunlop et C. C. Willox. 1996. Detecting changes in the nearshore fish community. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 391-402.
- Lévesque, S. 2012. La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole: étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 111 p.
- Mahy, G. 1975. Contributions à la biologie de la ouananiche. Groupe Biologie aquatique. Centre de Recherche du Moyen-Nord. Université du Québec à Chicoutimi. 143 p.
- Murphy, B. R. et D. W. Willis. 1996. Fisheries techniques. Second edition. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 732 p.

- Muthén, L. K. et B. O. Muthén. 2002. How to use a Monte Carlo study to decide on sample size and determine power. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 9: 599-620.
- Nadon, L. 1991. Régime alimentaire et croissance de la ouananiche (*Salmo salar* L.) du lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 97 p.
- OGSL 2016. Réseau de suivi ichthyologique – Méthodologie. Observatoire global du Saint-Laurent. URL: <https://ogsl.ca/fr/biodiversite/poissons/mffp/information/methodologie.html> [Visité le 26 avril 2016].
- Parkinson, E. A., J. Berkowitz et C. J. Bull. 1988. Sample size requirements for detecting changes in some fisheries statistics from small trout lakes. *North American Journal of Fisheries Management* 8: 181-190.
- Peterman, R. M. 1990. Statistical power analysis can improve fisheries research and management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47: 2-15.
- Plourde-Lavoie, P., et P. Sirois. 2016a. Revue et synthèse de la littérature scientifique sur la reproduction et les habitats des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 122 p.
- Plourde-Lavoie, P. et P. Sirois. 2016b. Impacts des travaux de rechargement des plages sur les poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean : analyse de la méthodologie et de la puissance statistique des échantillonnages de 1989 à 1995. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 62 p.
- Post, D. M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position : models, methods, and assumptions. *Ecology* 83: 703-718

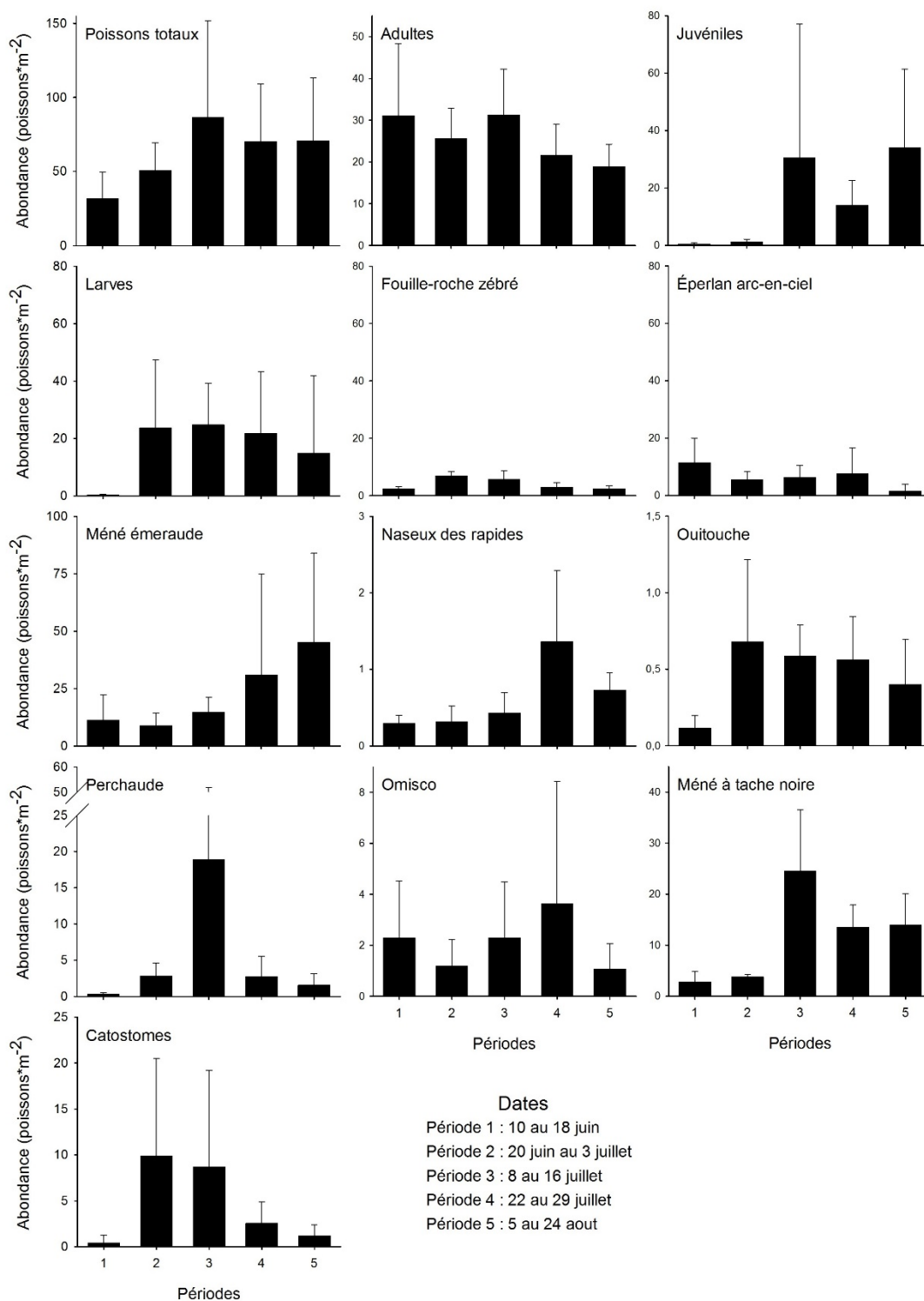
- Quinn, G. P. et M. J. Keough. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge. 537 p.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reid, S. et N. Mandrak. 2009. Effect of diel period and season on seining effort required to detect changes in Lake Erie beach fish assemblages. *Environmental Monitoring and Assessment* 153: 73-82.
- Rosenthal, R. 1994. Parametric measures of effect size. Pages 231-244 dans H. Cooper et L. V. Hedges. *The handbook of research synthesis*. Russel Sage Foundation.
- Schwarz, C. J. 2014. Detecting trends over time. In course notes for beginning and intermediate statistics.
- Tremblay, G. 2004. Impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au Lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables. Université du Québec à Chicoutimi. 83 p.
- University of Glasgow. 2013. Design of a Scottish inshore fish monitoring program. University of Glasgow, Clyde River Foundation and Marine Monitoring Solutions Ltd. Report to the Sustainable Inshore Fisheries Trust. 53 p.
- Valentine, M. 1989. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichthyenne et benthique du lac St-Jean. Le Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 49 p.
- Valentine, M. 1990. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichthyenne du lac St-Jean 1990. Le Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 47 p.

- Valentine, M. 1991. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichthyenne du lac Saint-Jean 1991. Le Centre Écologiques du lac St-Jean inc. 39 p.
- Verschelden, M.-C. 2009. Estimation des retombées économiques de la pêche sportive au lac Saint-Jean et dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean en 2008. Atouts Conseils inc., pour la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean. 22 p.
- Winter, J. C. F. 2013. Using the Student's *t*-test with extremely small sample sizes. Practical Assessment, Research and Evaluation 18: 1-12.

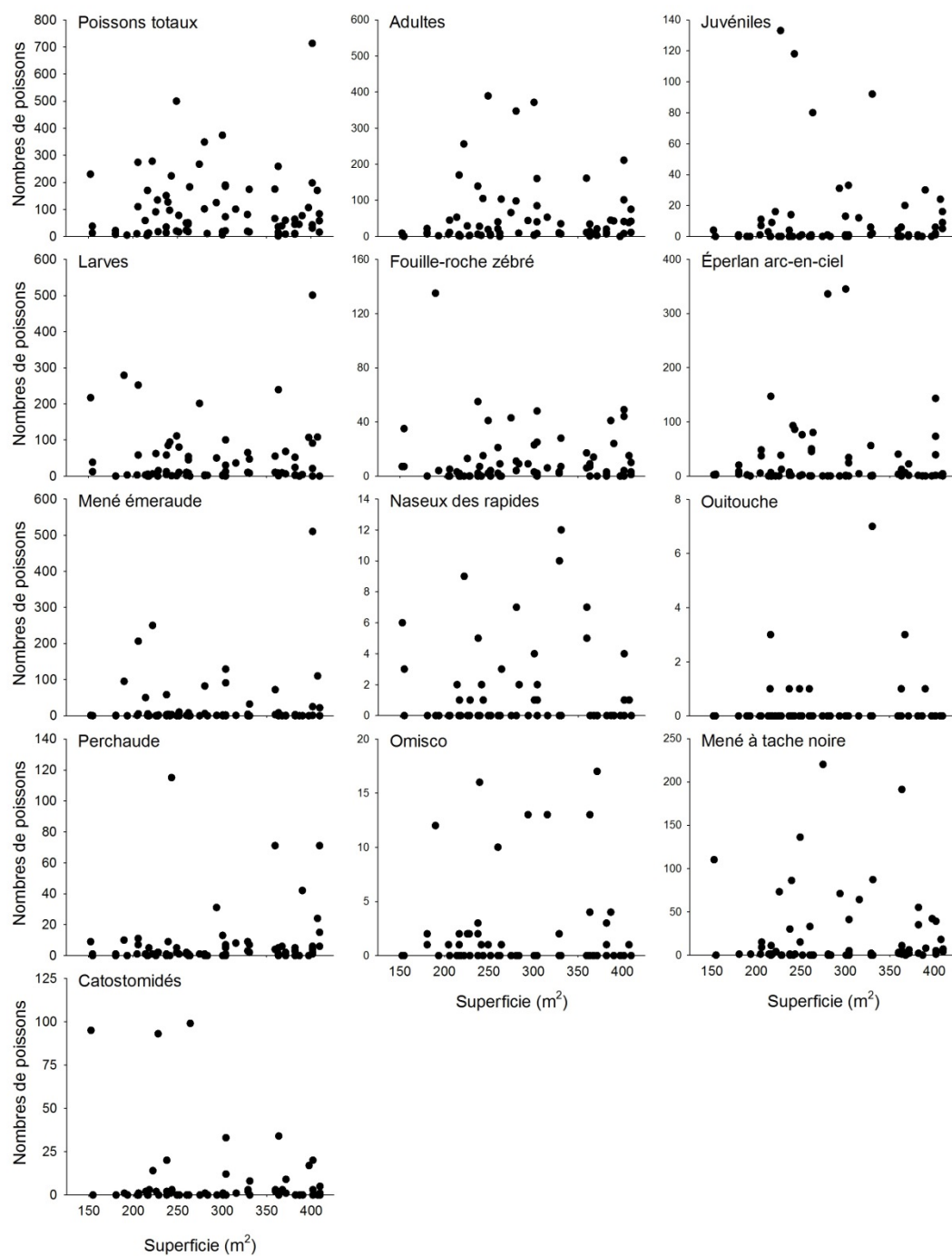
ANNEXES

VARIABLES	<i>r</i>
Total	0,198
Adulte	0,119
Juvénile	0,356
Larve	0,149
Fouille-roche zébré	0,145
Éperlan arc-en-ciel	0,240
Méné émeraude	0,113
Naseux des rapides	0,196
Ouitouche	0,075
Perchaude	0,178
Omisco	0,074
Méné à tache noire	0,315
Catostomidés	0,253

Annexe 1 : Corrélations de l'abondance par station entre les années pour la période 3 en utilisant une seule sous-station. Les valeurs présentées sont les moyennes des corrélations obtenues lors des études de 1989 à 1995.



Annexe 2 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des poissons en fonction des périodes. Les valeurs utilisées sont les moyennes pour les années 1989 à 1995.



Annexe 3 : Nombre de poissons capturé par superficie échantillonnée. Les valeurs utilisées sont celles de la période 3 des échantillonnages de 1989, 1990 et 1991. Afin de rendre les graphiques plus faciles à interpréter, les valeurs de superficie de 410 m² et plus (soit les valeurs maximales échantillonnées par la seine) ont été exclues.

