

Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans

Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/023 Région de l'Ontario et des Prairies

Chercher une aiguille dans une botte de foin : Effort d'échantillonnage pour détecter et retirer les carpes asiatiques lors des activités d'intervention dans le bassin laurentien des Grands Lacs

Eric R.B. Smyth, Marten A. Koops, et D. Andrew R. Drake

Pêches et Océans Canada Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques 867 Lakeshore Road Burlington ON L7S 1A1 Canada



Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada Secrétariat canadien des avis scientifiques 200, rue Kent Ottawa (Ontario) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs/dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022 ISSN 2292-4272 ISBN 978--0-660-43131-4 N° cat. Fs70-5/2022-023F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Smyth, E.R.B., Koops, M.A., et Drake, D.A.R. 2022. Chercher une aiguille dans une botte de foin : Effort d'échantillonnage pour détecter et retirer les carpes asiatiques lors des activités d'intervention dans le bassin laurentien des Grands Lacs. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/023. viii + 54 p.

Also available in English:

Smyth, E.R.B., Koops, M.A., and Drake, D.A.R. 2022. Looking for a Needle in a Haystack: Sampling Effort to Detect and Remove Asian Carps During Response Activities in the Laurentian Great Lakes Basin. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/023. viii + 51 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	viii
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	5
MODÈLE DE BASE	5
AUTRES SCÉNARIOS POSSIBLES	9
Taille de la zone d'intervention	11
Échantillonnage aléatoire	
Échantillonnage éclairé	
Échantillonnage répétéÉvitement des poissons	
ANALYSE DE SENSIBILITÉ	
RÉSULTATS	
RÉSULTATS DU MODÈLE DE BASE	
Synthèse du modèle de base	
AUTRES SCÉNARIOS POSSIBLES	
Taille de la zone d'intervention	
Échantillonnage aléatoireÉchantillonnage éclairé	
Échantillonnage répété	
Évitement des poissons	
Synthèse des autres scénarios possibles	
ANALYSE DE SENSIBILITÉ	38
DISCUSSION	42
REMERCIEMENTS	46
RÉFÉRENCES CITÉES	46
ANNEXE A. GLOSSAIRE DES PRINCIPAUX TERMES	
ANNEXE B. RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ	
ANNEXE C. RÉSUMÉ DES DONNÉES DE TÉLÉMÉTRIE DE LA CARPE DE ROSEAU	

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Exemples hypothétiques de 10 poissons répartis dans une matrice de zone d'intervention avec différents taux de regroupement. La nuance de couleur des cellules de la matrice représente l'abondance des poissons dans chaque cellule; les couleurs claires représentent une faible abondance (1 ou 2 poissons/cellule), les couleurs moyennement foncées représentant une abondance modérée (5 ou 6 poissons/cellule) et les couleurs foncées représentant une forte abondance (9 ou 10 poissons/cellule)
Figure 2. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection d'un seul individu de carpe asiatique pour plusieurs valeurs de probabilité de capture et abondances de poissons (cà-d. 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 et 25 poissons) pour un échantillonnage systématique et un taux de regroupement de 0,50
Figure 3. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection d'un seul individu de carpe asiatique pour plusieurs valeurs de probabilité de capture et taux de regroupement dans la zone d'intervention (cà-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00), compte tenu d'un échantillonnage systématique et d'une abondance de 25 poissons
Figure 4. Probabilité que n carpes asiatiques occupent la zone d'intervention (voir les étiquettes sur les barres grises) en fonction du nombre de passes vides effectuées par les équipes de frappe lorsque le taux de regroupement est de 0,50 pour différentes abondances de poissons. Les lignes dans le graphique représentent des valeurs de probabilité de capture allant de 0,05 à 1,00
Figure 5. Probabilité minimale de capture requise pour obtenir une probabilité ≤ 0,20 qu'une abondance déterminée de carpes asiatiques occupe la zone d'intervention compte tenu du nombre de passes vides effectuées par les équipes de frappe. Les simulations sont basées sur un taux de regroupement de 0,50
Figure 6. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de l'abondance des poissons dans la zone d'intervention (cà-d. 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 et 25 poissons), compte tenu d'un échantillonnage systématique et d'un taux de regroupement de 0,50
Figure 7. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local de 25 carpes asiatiques en fonction de la probabilité de capture et de plusieurs taux de regroupement (cà-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00)21
Figure 8. Probabilité de retirer localement n carpes asiatiques (voir les étiquettes sur les barres grises) dans la zone d'intervention pour différentes probabilités de capture (0,05 à 1,00; voir la légende) et un taux de regroupement de 0,50
Figure 9. Probabilité minimale de capture requise pour une probabilité de 0,80 de retirer localement de 1 à 25 carpes asiatiques dans la zone d'intervention, compte tenu du nombre de passes effectuées par les équipes de frappe. Les simulations étaient basées sur un taux de regroupement de 0,50
Figure 10. Effort relatif moyen (nombre de passes) (graphique supérieur) et effort absolu moyen (nombre de sites) (graphique inférieur) requis pour la détection en fonction de la probabilité de capture, pour trois tailles de zones d'intervention (75 ha, 37,5 ha et 18,75 ha). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,5025
Figure 11. Effort relatif moyen (nombre de passes) (graphique supérieur) et effort absolu moyen (nombre de sites) (graphique inférieur) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de

capture, pour trois tailles de zones d'intervention (75 ha, 37,5 ha et 18,75 ha). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,5026
Figure 12. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour la détection d'un seul poisson dans une zone d'intervention de 75 ha en fonction de la probabilité de capture, pour cinq taux de regroupement (cà-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00). On voit également l'effet de l'échantillonnage aléatoire et systématique dans le cas d'une abondance de 25 poissons27
Figure 13. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour prélever sur place 25 poissons dans une zone d'intervention de 75 ha en fonction de la probabilité de capture, pour cinq taux de regroupement (cà-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00). On voit également l'effet de l'échantillonnage aléatoire et systématique dans le cas d'une abondance de 25 poissons 28
Figure 14. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour la détection selon une abondance de 25 poissons (taux de regroupement = 0,50) pour différentes valeurs de probabilité de capture. On voit l'effet des poissons, qui occupent différentes proportions de la zone d'intervention (37,5 ha et 18,75 ha), et si la zone tampon d'échantillonnage était grande ou petite. Les résultats sont présentés par rapport aux résultats du modèle de base (ligne noire). 30
Figure 15. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour retirer localement 25 poissons (taux de regroupement = 0,50) en fonction de la probabilité de capture, les poissons occupant des proportions différentes de la zone d'intervention (37,5 ha et 18,75 ha), et selon une zone tampon d'échantillonnage grande ou petite. Ces résultats sont comparés aux résultats du modèle (ligne noire)
Figure 16. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de quatre plans d'échantillonnage répétés (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 1,00
Figure 17. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour retirer localement 25 poissons en fonction de la probabilité de capture, avec plusieurs plans d'échantillonnage répété (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu), et selon un taux de regroupement des poissons de 0,75 ou de 1,00
Figure 18. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour retirer localement 20 ou 25 poissons en fonction de la probabilité de capture, avec plusieurs plans d'échantillonnage répété (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu). Les simulations étaient basées sur un taux de regroupement de 1,00
Figure 19. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection en fonction de la probabilité de capture et de cinq scénarios d'évitement (cà-d. 0,00, 0,05, 0,25, 0,50 et 0,75). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50
Figure 20. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de cinq scénarios d'évitement (cà-d. 0,00, 0,05, 0,25, 0,50 et 0,75). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50
Figure 21. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour détecter des carpes asiatiques lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (répétition), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention

convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentage sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,50) pour les abondances de poissons et les probabilités de capture indiquées dans chaque graphique
Figure 22. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour le retrait local des carpes asiatiques lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (répétition), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentage sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,50) pour les abondances de poissons et les probabilités de capture indiquées dans chaque graphique.
Figure B1. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour la détection (graphiques a et b) et le retrait local (graphiques b et c) des carpes asiatiques pour toutes les probabilités de capture lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (échantillonnage répété), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentages sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,5) pour des abondances de 3 poissons (graphiques a et c) et de 25 poissons (graphiques b et d)
Figure C1. Fréquence et pourcentage cumulatif (%) des déplacements quotidiens de la carpe de roseau (km/jour) d'après les travaux de télémétrie effectués d'octobre 2014 à mars 2020 (Harris et al. 2021 et T. Brenden, Michigan State University, données inédites)53
Figure C2. Fréquence des déplacements quotidiens de la carpe herbivore (km/jour) à partir des travaux de télémétrie menés d'octobre 2014 à mars 2020, en retirant les déplacements nuls, pour toutes les saisons et tous les habitats échantillonnés (Harris et al. 2021 et T. Brenden, Michigan State University, données inédites).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Estimations de la capturabilité des carpes asiatiques et des espèces de substitution fondées sur la documentation scientifique décrivant la capture de carpes asiatiques et d'espèces de substitution avec des méthodes de pêche à l'électricité et à la senne. Certaines de ces estimations de la capturabilité correspondent à la définition de la probabilité de capture, tandis que d'autres évaluent la capturabilité à l'échelle des stocks
Tableau 2. Facteurs influant sur les taux de capture ou la capturabilité des carpes asiatiques et des espèces de substitution selon un échantillon d'articles décrivant des méthodes de pêche à l'électricité (électricité) ou au filet (filet)4
Tableau 3. Résumé des paramètres des modèles et des valeurs correspondantes utilisés pour chaque modèle. Les paramètres qui diffèrent du modèle de base sont surlignés en gris10

RÉSUMÉ

Les programmes de détection précoce et d'intervention peuvent empêcher ou retarder les invasions d'espèces. La possibilité de détecter et de retirer des espèces au cours des activités d'intervention peut être éclairée par les relations entre l'abondance des espèces, le plan d'échantillonnage, la probabilité de capture et l'effort d'intervention. Ces relations ont été étudiées pour les carpes asiatiques, qui ont récemment fait l'objet d'efforts d'intervention dans le bassin des Grands Lacs. Des modèles de simulation ont été utilisés pour examiner l'effort d'intervention requis pour détecter et retirer les carpes asiatiques dans une zone fixe de 75 ha. L'effort relatif moyen pour détecter un seul poisson variait de 0,07 à 13,48 passes dans la zone d'intervention, compte tenu d'abondances de 1 à 25 poissons (0,01 à 0,33 poisson/ha), des probabilités de capture de 0,05 à 0,70 et d'un plan d'échantillonnage systématique présumé. L'effort d'intervention requis pour la détection a diminué de façon non linéaire lorsque l'abondance des poissons ou la probabilité de capture augmentait. L'effort relatif moyen requis pour le retrait local variait de 0,72 à 69,55 passes dans la zone d'intervention; on a observé une relation non linéaire semblable lorsque de faibles augmentations de la probabilité de capture au-delà de 0,05 ont entraîné des diminutions importantes de l'effort requis pour le retrait local des carpes. Le fait d'effectuer cinq passes dans la zone d'intervention comportant des nondétections (et une probabilité présumée faible de capture, c.-à-d. < 0,15) a donné une probabilité modérée (p > 0.45) que les poissons soient restés dans la zone d'intervention. De plus, la probabilité de capture devait être > 0,25 pour les faibles abondances (c.-à-d. 1 poisson) et > 0,55 pour les abondances élevées (c.-à-d. 20 poissons) pour entraîner une forte probabilité de retrait local (p > 0.80) avec cinq passes dans la zone d'intervention. Des facteurs comme le comportement de regroupement des poissons, la taille de la zone d'intervention, le plan d'échantillonnage (c.-à-d. l'échantillonnage systématique, aléatoire, répété et éclairé) et l'évitement des poissons ont également été examinés afin de déterminer leur influence sur l'effort requis pour la détection et le retrait local. L'amélioration de la connaissance de l'habitat occupé par les poissons et l'échantillonnage éclairé qui en résulte ont eu la plus grande incidence sur l'effort requis pour la détection et le retrait local pour la plupart des probabilités de capture et des abondances de poissons. Ces résultats fournissent une évaluation préliminaire de l'effort possible requis pour détecter et retirer avec succès les carpes asiatiques lors des activités d'intervention dans le bassin des Grands Lacs.

INTRODUCTION

La détection précoce et l'intervention rapide est une approche utilisée pour empêcher ou ralentir les invasions d'espèces (Waugh 2009, Westbrooks et Eplee 2011, Reaser et al. 2020). La mise en œuvre de programmes de surveillance pour détecter les espèces envahissantes permet aux gestionnaires de déceler rapidement les espèces préoccupantes et de déterminer leur propagation géographique, ainsi que de capturer et de retirer les individus afin d'empêcher toute nouvelle expansion. L'approche de la détection précoce et l'intervention rapide a été mise en œuvre pour de nombreux taxons non indigènes (p. ex. des végétaux [Westbrooks 2004]; des amphibiens et des reptiles [Campbell 2007]; les scolytes et les scolytes du bois [Rabaglia et al. 2019]) et est recommandée pour traiter les invasions possibles d'espèces aquatiques dans le bassin laurentien des Grands Lacs (Vander Zanden et al. 2010).

Un programme de détection précoce et d'intervention a été mis en œuvre par le Programme de lutte contre les carpes asiatiques de Pêches et Océans Canada (MPO) dans les eaux canadiennes des Grands Lacs afin d'empêcher l'établissement d'espèces de carpes asiatiques (carpe de roseau [Ctenopharyngodon idella], carpe à grosse tête [Hypophthalmichthys nobilis], carpe argentée [H. molitrix] et carpe noire [Mylopharyngodon piceus]). Ces quatre espèces présentent un risque d'invasion modéré à élevé pour les Grands Lacs inférieurs et peuvent pénétrer dans le bassin par plusieurs voies naturelles et anthropiques (Cudmore et al. 2011, 2017). Aucune des espèces de carpes asiatiques ne s'est établie dans les eaux canadiennes des Grands Lacs, mais il y a eu reproduction de la carpe de roseau dans les eaux américaines du bassin du lac Érié (Chapman et al. 2013, Embke et al. 2016).

Le programme de détection précoce et d'intervention du MPO est concu pour détecter et capturer les carpes asiatiques afin d'empêcher leur établissement dans les eaux canadiennes (Marson et al. 2018). Le programme d'intervention comprend le déploiement d'équipes de frappe après la détection de carpes asiatiques. Des carpes asiatiques ont été détectées dans le cadre du programme de détection précoce du MPO (voir Marson et al. 2018 pour une description des sites de surveillance), en plus de détections signalées par d'autres organismes et de détections commerciales et citoyennes (p. ex. Colm et al. 2018). L'objectif du déploiement des équipes de frappe est de capturer et de retirer toute carpe asiatique restante au point de détection initial. L'ampleur de l'intervention (c.-à-d. le nombre d'équipes de frappe et l'effort de recherche) dépend de l'espèce, de la ploïdie (triploïde ou diploïde) et du stade biologique des individus détectés, ce qui peut entraîner des délais variables entre la détection initiale et l'activité d'intervention. Une fois déployées, les équipes de frappe étudient la zone où la détection initiale a eu lieu en utilisant plusieurs engins d'échantillonnage (principalement la pêche à l'électricité en bateau et des trémails). La pêche à l'électricité en bateau est souvent effectuée selon une approche systématique dans la zone d'intervention en mettant l'accent sur l'habitat propice de la carpe asiatique, tandis que des trémails sont souvent posés simultanément dans ces zones. Si des carpes asiatiques sont détectées au cours de ce relevé initial, des équipes de terrain supplémentaires pourront être déployées. Si aucune carpe asiatique supplémentaire n'est détectée, l'effort d'intervention se terminera après une période qui est actuellement déterminée selon le jugement professionnel. Depuis le début du programme de détection précoce et d'intervention en 2013. 11 interventions par des équipes de frappe ont été réalisées, et 13 carpes de roseau ont été capturées par ces équipes (données inédites du MPO). La majorité des interventions n'ont donné lieu à aucune détection ultérieure après la détection initiale; cependant, les interventions près des îles de Toronto dans le lac Ontario ont permis de capturer une carpe de roseau en juillet 2015 et deux carpes de roseau en septembre 2015. De plus, 10 carpes de roseau ont été capturées dans le lac Gibson (Thorold, Ontario) en juin 2016.

Pour comprendre l'efficacité de l'intervention (c.-à-d. la probabilité de détecter et de retirer les carpes asiatiques, si elles sont présentes), il faut comprendre les relations entre l'effort de pêche et la probabilité de capture avec la détection et le succès du retrait local (voir l'Annexe A pour un glossaire des termes). La probabilité de capture signifie la probabilité qu'un individu (poisson) soit capturé pendant un événement d'échantillonnage sur un site occupé. La probabilité de capture (p) est définie comme suit :

$$p = \frac{C_S}{f_S B_S}$$

où C_s = capture à l'échelle du site, f_s = effort de pêche dans un site, et B_s = abondance des poissons dans un site. Cette définition de la probabilité de capture est également cohérente avec certaines définitions de la capturabilité (voir Arreguín-Sánchez 1996).

La probabilité de capture est mal comprise pour les carpes asiatiques, mais l'examen des estimations de capturabilité disponibles et des facteurs qui influent sur la capturabilité peut aider à éclairer la gamme d'estimations de probabilité de capture que les équipes d'intervention peuvent rencontrer lors d'une intervention. La capturabilité a fait l'objet de quelques recherches, comprenant quelques estimations pour les carpes asiatiques dans l'aire de répartition envahie du bassin du Mississippi, et aucune estimation pour les Grands Lacs en raison de la rareté des captures. Les quelques estimations de la capturabilité qui existent pour les carpes asiatiques et les espèces de substitution avant une taille et un cycle biologique similaires (c.-à-d. la carpe commune, Cyprinus carpio; le malachigan d'eau douce, Aplodinotus grunniens, le buffalo à petite bouche, Ictiobus bubalus; le carassin doré, Carassius auratus; et la carpe koï, Cyprinus rubrofuscus) indiquent que la capturabilité peut varier de 0,05 à 0,70 pour la pêche à l'électricité (Tableau 1). La capturabilité associée aux trémails reste inconnue et peut différer de celle de la pêche à l'électricité, car la capturabilité peut varier considérablement d'un type d'engin à l'autre (p. ex. Layher et Maughan 1984, Rogers et al. 2003, Basler et Schramm 2006, Lauretta et al. 2013). La capturabilité peut varier d'une espèce à l'autre (p. ex. Bayley et Austen 2002. Schoenebeck et Hansen 2005), ce qui peut contribuer à expliquer la grande variation des estimations de la capturabilité. La grande variation de la capturabilité pour la pêche à l'électricité peut être attribuable à des facteurs dont on sait qu'ils influent sur la capturabilité globale. notamment l'abondance des poissons (Wilberg et al. 2010, Alós et al. 2019), la taille des poissons (Bayley et Austen 2002, Schoenebeck et Hansen 2005, Pierce et al. 2010, Benejam et al. 2012) et les conditions de l'habitat (Pierce et al. 2010, Hicks et al. 2015). Bien qu'il existe une série de facteurs pouvant influer sur la capturabilité de la pêche à l'électricité en général (p. ex. la profondeur et la conductivité; Allard et al. 2014), les influences directes sur la capturabilité des carpes asiatiques et des espèces de substitution (c.-à-d. le buffalo à petite bouche, la carpe commune et le carassin argenté, Carassius gibelio) sont présentées au Tableau 2. On s'attend à ce qu'un grand nombre des facteurs qui ont un effet sur la capturabilité influent sur la probabilité de capture. La variabilité des estimations de la capturabilité des carpes asiatiques laisse entendre que la probabilité de capture est susceptible de varier fortement entre les zones d'intervention et les sites.

Les objectifs de l'analyse consistaient à déterminer : 1) l'effort d'échantillonnage requis pour capturer un seul individu (c.-à-d. la détection) et capturer toutes les carpes asiatiques présentes (c.-à-d. le retrait local) pour les abondances susceptibles d'être rencontrées par les équipes de frappe; et 2) comment la taille de zone d'intervention, le plan d'échantillonnage (échantillonnage systématique, aléatoire, éclairé et répété), le regroupement des poissons et l'évitement des poissons dans la zone d'intervention influencent ces estimations. La probabilité d'un retrait local compte tenu de l'effort d'échantillonnage ainsi que la probabilité que certains poissons restent dans la zone d'intervention pour le nombre de passes d'échantillonnage sans captures ont également été examinées.

Tableau 1. Estimations de la capturabilité des carpes asiatiques et des espèces de substitution fondées sur la documentation scientifique décrivant la capture de carpes asiatiques et d'espèces de substitution avec des méthodes de pêche à l'électricité et à la senne. Certaines de ces estimations de la capturabilité correspondent à la définition de la probabilité de capture, tandis que d'autres évaluent la capturabilité à l'échelle des stocks.

Méthode	Espèce	Taux de capturabilité/ d'exploitation déclarés	Estimation de la capturabilité basée sur les captures déclarées ¹	Référence
Pêche à la senne	Carpe de roseau	-	0,64 à 0,93	Hockin <i>et al.</i> 1985
Pêche à la senne	Carpe commune	=	0,52 à 0,94	Bajer <i>et al.</i> 2011
Pêche à la senne	Carpe commune	0,090 à 0,429	_	Neess et al. 1957
Pêche à la senne	Carpe commune	0,008 à 0,427	_	Weber <i>et al.</i> 2016
Pêche à l'électricité	Carpe de roseau	_	0,07	Cumming <i>et al.</i> 1975
Pêche à l'électricité	Carpe commune	0,15 à 0,54	_	Jacobs et Swink 1982
Pêche à l'électricité	Carpe commune	_	0,33	Layher et Maughan 1984
Pêche à l'électricité	Carpe commune	_	0,00	Smith et al. 2017
Pêche à l'électricité	Carpe commune	0,001 à 0,268	_	Weber <i>et al.</i> 2016
Pêche à l'électricité	Carpe commune	$0,05 \ a) \ 0,4^2$	_	Bayley et Austen 2002
Pêche à l'électricité	Carpe commune	0,68423	_	Layher et Maughan 1984
Pêche à l'électricité	Buffalo à petite bouche	-	1,04	Layher et Maughan 1984
Pêche à l'électricité	Malachigan d'eau douce	0,00 à 0,1	_	Bayley et Austen 2002
Pêche à l'électricité	Espèces variées comprenant des carpes koïs, des carassins dorés et des carpes de roseau	0,47	-	Hicks <i>et al.</i> 2006

¹ Estimation basée sur le total des poissons capturés au filet ou sur les poissons capturés au filet pendant la première passe (si un échantillonnage à passes multiples a été effectué) par rapport à la taille totale estimée de la population.

² Le coefficient de capturabilité varie en fonction de la taille des poissons et des conditions de l'habitat.

³ L'intervalle de confiance à 95 % est de 0,4181 à 0,9503.

⁴ Estimation basée sur une abondance de deux poissons.

Tableau 2. Facteurs influant sur les taux de capture ou la capturabilité des carpes asiatiques et des espèces de substitution selon un échantillon d'articles décrivant des méthodes de pêche à l'électricité (électricité) ou au filet (filet).

Catégorie	Facteur	Incidence du facteur	Espèce	Référence
Habitat	Couverture de macrophytes (électricité)	L'augmentation de la couverture de macrophytes a conduit à des estimations plus faibles de la capturabilité prédite	Carpe commune	Bayley et Austen 2002
Stock	Taille des poissons (électricité)	Une valeur optimale de la capturabilité a été constatée dans la taille des poissons où la capturabilité prédite était la plus élevée pour un poisson de 30 cm, mais diminuait avec une longueur croissante ou décroissante	Carpe commune	Bayley et Austen 2002
Échantillonnage	Rassemblage du poisson – sons (filet)	L'utilisation des sons pour le rassemblage a augmenté les captures par unité d'effort (CPUE)	Carpe à grosse tête	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Rassemblage du poisson – électricité (filet)	L'utilisation de l'électricité pour le rassemblage a augmenté les CPUE	Carpe argentée	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Rassemblage du poisson – électricité (filet)	L'utilisation de l'électricité pour le rassemblage a augmenté les CPUE	Carpe à grosse tête	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Rassemblage du poisson – électricité (filet)	L'utilisation de l'électricité pour le rassemblage a augmenté les CPUE	Buffalo à petite bouche	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Construction des filets [filets en monofilament et en multifilament] (filet)	Les parois intérieures en monofilament et les parois extérieures en monofilament étaient plus efficaces pour capturer les poissons	Carpe commune	Balık et Çubuk 2004
Échantillonnage	Construction des filets [filets en monofilament et en multifilament] (filet)	Les parois intérieures en monofilament étaient plus efficaces pour capturer les poissons	Carassin argenté	Balık et Çubuk 2004
Échantillonnage	Diamètre du maillage (filet)	Les taux de capture étaient plus élevés dans les mailles de 6,4 cm	Carpe argentée	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Diamètre du maillage (filet)	Les taux de capture étaient plus élevés dans les mailles de 6,4 cm	Carpe à grosse tête	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Diamètre du maillage (filet)	Les taux de capture étaient plus élevés dans les mailles de 6,4 cm	Buffalo à petite bouche	Butler <i>et al.</i> 2019
Échantillonnage	Diamètre du maillage (filet)	La taille des poissons capturés était influencée par la taille des mailles et ne devrait pas être inférieure à 100 mm	Carpe commune	Balık et Çubuk 2004
Échantillonnage	Diamètre du maillage (filet)	La taille des poissons capturés était influencée par la taille des mailles et ne devrait pas être inférieure à 100 mm	Carassin argenté	Balık et Çubuk 2004
Échantillonnage	Couleur des mailles (filet)	Des taux de capture significativement plus faibles ont été constatés dans les couleurs de maille rouge, verte et violette par rapport aux mailles blanches. Les captures de carpes étaient nettement plus élevées dans les filets jaunes que dans les filets vert foncé.	Carpe commune	Jester 1973, Balık et Çubuk 2001
Échantillonnage	Courant alternatif (CA) par rapport au courant continu (CC) (électricité)	Les taux de capture étaient plus élevés en CA qu'en CC	Carpe noire	Basler et Schramm 2006
Échantillonnage	Courant alternatif (CA) par rapport au courant continu (CC) (électricité)	Les taux de capture étaient statistiquement plus élevés en CC qu'en CA	Carpe commune	McClelland et al. 2013
Échantillonnage	Courant constant par rapport au courant pulsé (électricité)	Le courant pulsé a donné lieu à une valeur de CPUE significativement plus élevée que le courant constant	Carpe argentée	Bouska <i>et al</i> . 2017

MÉTHODES

Des modèles de simulation ont été utilisés pour estimer l'effort requis pour détecter et retirer localement les carpes asiatiques dans la zone d'intervention en fonction de l'abondance des poissons et des probabilités de capture, ainsi que les effets des différents plans d'échantillonnage, de la taille de la zone d'intervention et des estimations de regroupement ou d'évitement des poissons. L'effort a été caractérisé soit par le nombre de sites échantillonnés (effort absolu), soit par le nombre de passes complètes dans la zone d'intervention (effort relatif) au cours desquels tous les sites sont échantillonnés, jusqu'à la détection ou le retrait local. Les modèles de simulation ont été conçus pour représenter les méthodes d'échantillonnage qui peuvent permettre de chercher activement dans toute la zone d'intervention, et reflètent donc les méthodes de pêche à l'électricité par bateau. Cependant, les modèles peuvent être appliqués à d'autres engins (p. ex. les filets trémails ou la pêche à l'électricité combinée aux filets trémails) si l'engin peut être pêché de manière active. En outre, le temps passé à échantillonner sur chaque site (utilisé pour limiter le temps d'échantillonnage potentiel requis) et la gamme des estimations de la probabilité de capture peuvent varier selon les différents types d'engins. En outre, les modèles de simulation englobent n'importe laquelle des guatre espèces de carpes asiatiques, car les différences interspécifiques dans la probabilité de capture et le comportement des poissons (p. ex. l'assignation dans la zone d'intervention) n'ont pas été intégrées. Toutes les analyses ont été effectuées en R v.3.6.3 dans l'interface RStudio (équipe RStudio 2018).

MODÈLE DE BASE

Une zone d'intervention d'environ 75 ha a été utilisée dans le modèle de base, ce qui représente la taille typique des zones d'intervention couvertes par les équipes de frappe du MPO (D. Marson, MPO, comm. pers.). Les zones d'intervention antérieures sont notamment : la rivière Grand (zone d'intervention d'env. 10 ha), les îles de Toronto (environ 90 ha), le port de Jordan (env. 130 ha) et le lac Gibson (env. 140 ha; données inédites du MPO). Pour des raisons de simplicité, la zone d'intervention a été divisée en une matrice carrée de 173 x 173, chacune des 29 929 cellules de la grille (appelées « sites ») représentant 0,0025 ha (25 m²). La résolution spatiale de la matrice de la zone d'intervention a été conçue pour gérer la complexité de calcul du modèle ainsi que pour refléter la zone effectivement échantillonnée par un bateau de pêche à l'électricité pendant quelques secondes de choc; cependant, les filets pourraient également être interprétés de manière similaire, selon les méthodes de déploiement. En supposant que l'échantillonnage d'un site nécessite 10 secondes, les équipes de frappe auraient besoin d'environ 83 heures d'échantillonnage systématique pour effectuer une seule passe dans la zone d'intervention d'environ 75 ha.

Plusieurs abondances de poissons dans la zone d'intervention ont été utilisées pour déterminer la façon dont l'effort de détection et de retrait local peut être influencé par le nombre de poissons occupant la zone d'intervention. Au total, huit abondances différentes de poissons dans la zone d'intervention ont été examinées : 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 et 25 poissons (densités correspondantes de 0,01 poisson/ha à 0,33 poisson/ha). Ces abondances ont été choisies parce que les carpes asiatiques ne se sont pas encore établies dans les eaux canadiennes et que, par conséquent, un nombre relativement faible d'individus est susceptible d'être présent dans les zones d'intervention à court terme, que ce soit en raison de rejets accidentels ou intentionnels dans les Grands Lacs ou en tant que migrants des zones de l'ouest du lac Érié, où la carpe de roseau a été trouvée. Cette gamme d'abondances est également bien en deçà du nombre de captures effectuées lors de précédentes interventions concernant les carpes

asiatiques dans les Grands Lacs, où, en supposant un retrait local complet, les équipes de frappe n'ont pas observé d'abondances supérieures à 25 poissons dans un lieu.

Après la sélection d'une valeur d'abondance, les poissons ont été assignés à des sites de manière aléatoire dans la matrice de la zone d'intervention. Une fois que les poissons ont été assignés à un site, ils sont restés dans ce site jusqu'à leur capture ultérieure. Il n'est pas certain que les carpes asiatiques se comportent de manière solitaire ou qu'elles coexistent dans de petites parcelles d'habitat, et que ce comportement de regroupement influence l'effort requis pour la détection et le retrait local. Le comportement de regroupement possible a été intégré dans le modèle en tenant compte de plusieurs taux de regroupement (0,0, 0,25, 0,5, 0,75 et 1,0) lors de l'assignation des poissons à leur site. Les taux de regroupement reflètent la probabilité qu'un individu (poisson) soit assigné à un site habité par d'autres poissons. Au fur et à mesure que le taux de regroupement augmente, le nombre total de sites occupés diminue et le nombre de poissons par site augmente (Figure 1); une valeur de 0,0 représente un scénario sans cooccurrence et une valeur de 1,0 représente un scénario où tous les poissons occupent un seul site. La gamme des taux de regroupement a été sélectionnée puisque des comportements d'exhaussement en laboratoire ont été observés chez les carpes asiatiques (Ghosal et al. 2016) et des regroupements de carpes communes ont été enregistrés dans des systèmes lacustres (Bajer et al. 2011). Cependant, les regroupements peuvent dépendre de la saison, car des regroupements plus importants ont eu lieu pendant l'hiver et pendant la fraie (Penne et Pierce 2008, Bajer et al. 2011). Des regroupements de carpes asiatiques peuvent se produire dans les zones d'intervention, car plusieurs carpes d'herbe ont été capturées dans le même filet (p. ex. au lac Gibson, où quatre, puis trois carpes de roseau ont été capturées dans un seul trémail; données inédites du MPO) et au même site (p. ex. au lac Gibson, où trois trémails ont permis de capturer huit carpes de roseau; données inédites du MPO).

L'échantillonnage par les équipes de frappe dans la zone d'intervention a été réalisé en utilisant une approche d'échantillonnage systématique, selon lequel les équipes de frappe devaient se déplacer (tout en échantillonnant) dans la matrice de la zone d'intervention, rangée par rangée. La simulation s'est poursuivie avec la visite de l'équipe de frappe sur chaque site. Lorsque l'équipe de frappe échantillonnait un site occupé, la capture d'un individu de carpe asiatique était basée sur la probabilité prédéterminée de capture. Plusieurs valeurs de probabilité de capture ont été prises en compte parmi les essais (c.-à-d. de 0,05 à 1,00 avec des incréments de 0,05); les taux de probabilité de capture individuels correspondent à des probabilités individuelles qui sont restées fixes pendant un essai. Par conséquent, si plusieurs poissons occupaient un site d'échantillonnage, les équipes de frappe pouvaient capturer plusieurs poissons en un seul événement d'échantillonnage. Cependant, la probabilité de capture d'un individu n'est pas influencée par la présence de poissons supplémentaires. La gamme des estimations de la probabilité de capture, allant d'une valeur faible (c.-à-d. 0,05) à une valeur élevée (c.-à-d. 0,70) a été signalée comme étant la gamme plausible des estimations de capturabilité pour les carpes asiatiques et les espèces de substitution.

Les modèles de simulation ont été exécutés à raison de 5 000 itérations pour chaque combinaison de valeurs d'abondance, de regroupement de poissons et de probabilité de capture (ci-après appelée « scénario »). Les poissons ont été réassignés dans la zone d'intervention pour chaque itération de chaque scénario en fonction des valeurs d'abondance et de regroupement sélectionnées. Pour chaque itération, l'équipe de frappe a échantillonné systématiquement chaque site de la zone d'intervention, en commençant par la cellule inférieure gauche de la matrice de la zone d'intervention, jusqu'à ce que les 29 929 sites de la zone d'intervention soient échantillonnés. Une fois que les équipes de frappe rencontraient un site occupé, la probabilité que chaque individu (poisson) soit capturé était basée sur la probabilité de capture pour le scénario. Si un poisson était capturé, le nombre de sites

échantillonnés jusqu'à la capture était enregistré. Le processus a été répété (c.-à-d. des passes systématiques supplémentaires) jusqu'à ce que tous les poissons aient été capturés et retirés de la zone d'intervention (retrait local). Le processus a été effectué pour les itérations suivantes d'un scénario et pour tous les scénarios jusqu'à ce que toutes les combinaisons d'abondance, de regroupement et de probabilité de capture aient été réalisées. L'effort absolu moyen (nombre de sites échantillonnés) et l'effort relatif moyen (nombre de passes complètes effectuées dans la zone d'intervention) jusqu'à la capture du premier poisson (c.-à-d. la détection) et du dernier poisson (c.-à-d. le retrait local) ont été calculés pour chaque scénario. La probabilité de retrait local a été estimée pour chaque scénario en fonction de la distribution centile de l'effort requis pour le retrait local dans les 5 000 itérations. Une probabilité cible de retrait local de 0,80 a été choisie comme valeur de référence pour comparer les résultats, ce qui correspond à l'effort requis pour obtenir une certitude de 80 % que le retrait local a eu lieu.

La probabilité qu'une abondance donnée de poissons reste dans la zone d'intervention a également été calculée pour chaque scénario et a été basée sur la distribution centile de l'effort requis pour la détection dans les 5 000 itérations.

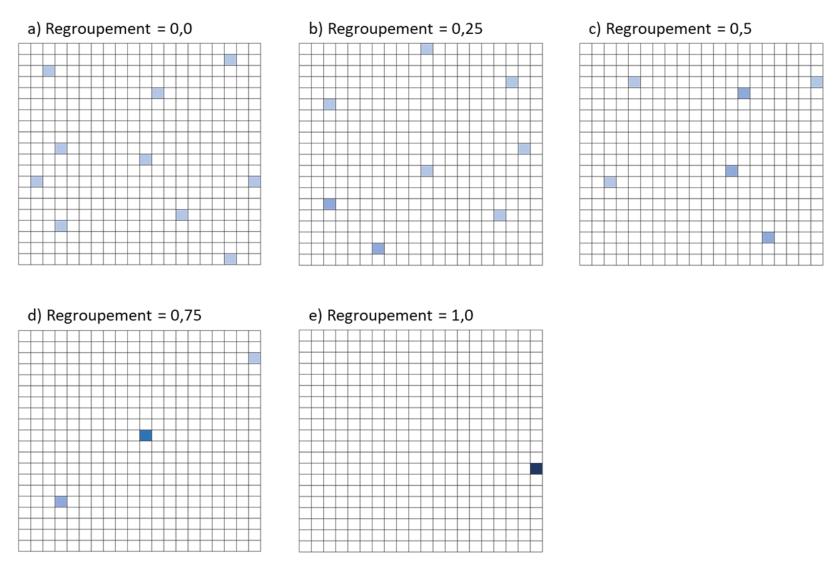


Figure 1. Exemples hypothétiques de 10 poissons répartis dans une matrice de zone d'intervention avec différents taux de regroupement. La nuance de couleur des cellules de la matrice représente l'abondance des poissons dans chaque cellule; les couleurs claires représentent une faible abondance (1 ou 2 poissons/cellule), les couleurs moyennement foncées représentant une abondance modérée (5 ou 6 poissons/cellule) et les couleurs foncées représentant une forte abondance (9 ou 10 poissons/cellule).

AUTRES SCÉNARIOS POSSIBLES

En plus du modèle de base, d'autres tailles de zones d'intervention, plans d'échantillonnage (échantillonnage systématique, aléatoire, répété et éclairé) et taux d'évitement des poissons ont été évalués afin de déterminer leur influence sur l'effort requis pour la détection et le retrait local. Ces scénarios ont été réalisés en utilisant la même gamme de valeurs plausibles de probabilité de capture (p = 0.05 à 1.00; p = 0.05 à 0.70 signalé) et les mêmes estimations d'abondance (1 à 25 poissons) que celles utilisées dans le modèle de base. Ces autres scénarios sont expliqués plus en détail ci-dessous. Un Tableau récapitulatif des différences de paramètres entre les autres scénarios et le modèle de base est fourni dans le Tableau 3.

Tableau 3. Résumé des paramètres des modèles et des valeurs correspondantes utilisés pour chaque modèle. Les paramètres qui diffèrent du modèle de base sont surlignés en gris.

Paramètre	Modèle de base (échantillonnage systématique)	Modèle d'échantillonnage aléatoire	Modèle de taille de la zone d'échantillonnage	Modèle d'échantillonnage éclairé	Modèle d'échantillonnage répété	Modèle d'évitement des poissons
Zone d'intervention	75 ha	75 ha	75 ha, 37,5 ha, 18,75 ha	75 ha	75 ha	75 ha
Zone d'échantillonnage	75 ha	75 ha	75 ha, 37,5 ha, 18,75 ha	75 ha (stratégie non informée), 37,5 ha (stratégie informée), 18,75 ha (stratégie informée)	75 ha	75 ha
Probabilité de capture	0,05 à 1,00	0,05 à 1,00	0,05 à 1,00	0,05 à 1,00	0,05 à 1,00	0,05 à 1,00
Taux de regroupement des poissons	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00
Plan d'échantillonnage	Systématique	Aléatoire	Systématique	Systéma-tique (éclairé)	Systématique (répété)	Systéma-tique
Événements d'échantillonnage par site	1	1	1	1	1, 3, 4, 5	1
Probabilité d'évitement des poissons	0	0	0	0	0	0,00, 0,05, 0,25, 0,50 et 0,75

Taille de la zone d'intervention

L'effort relatif (nombre de passes complètes dans la zone d'intervention) et l'effort absolu moyen (nombre de sites échantillonnés) requis pour détecter et retirer localement les poissons ont été évalués pour différentes tailles de zone d'intervention. Dans le modèle de base, l'effort requis pour capturer des poissons dans une zone d'environ 75 ha a été évalué; toutefois, la zone d'intervention est généralement délimitée sur le terrain en fonction de l'état du site et des caractéristiques environnementales locales plutôt que d'une taille fixe, comme l'indiquent les zones d'intervention antérieures allant d'environ 10 ha à environ 140 ha (données inédites du MPO). Par conséquent, des zones d'intervention d'environ 37,5 ha (50 % de la zone d'intervention du modèle de base) et d'environ 18,75 ha (25 % de la zone d'intervention du modèle de base) ont été utilisées pour évaluer l'incidence de la taille de la zone d'intervention. L'incidence de la taille de la zone d'intervention a été examinée par rapport à l'effort relatif (nombre de passes complètes dans la zone d'intervention) afin de déterminer si les résultats dépendaient de l'échelle et pouvaient être efficacement adaptés en fonction de la taille de la zone d'intervention.

Échantillonnage aléatoire

L'effet d'un plan d'échantillonnage aléatoire a été évalué en calculant l'effort absolu moyen (nombre de sites échantillonnés) requis pour détecter et éliminer localement les carpes asiatiques au moyen d'un échantillonnage aléatoire des sites (avec remplacement) dans une zone d'intervention. Contrairement à l'échantillonnage systématique utilisé dans le modèle de base, dans le scénario d'échantillonnage aléatoire, certains sites peuvent être échantillonnés plusieurs fois et d'autres peuvent rester non échantillonnés avant que toutes les carpes soient capturées. L'échantillonnage aléatoire sans remplacement (c.-à-d. que tous les sites doivent être échantillonnés avant qu'un site puisse être échantillonné de nouveau) n'a pas été évalué, car il est relativement semblable à l'approche d'échantillonnage systématique (dans les deux approches, tous les sites sont visités une fois avant le rééchantillonnage). On s'attendait à ce que l'échantillonnage aléatoire avec remplacement fournisse une comparaison plus distincte avec le modèle de base et des approches similaires ont été utilisées sur le terrain (p. ex. au lac Gibson) avec certains sites rééchantillonnés avant que la zone d'intervention entière soit terminée.

Échantillonnage éclairé

Dans le modèle de base, les poissons ont été répartis au hasard dans la zone d'intervention et les équipes de frappe ont échantillonné toute la zone d'intervention. Cependant, les carpes asiatiques peuvent privilégier des sites comportant certaines caractéristiques d'habitat, et l'effort d'échantillonnage au-delà de ces sites peut conduire à un gaspillage d'efforts. Par exemple, les zones d'intervention précédentes (p. ex. le lac Gibson et les îles de Toronto) comportent des habitats en eau profonde qui peuvent ne pas être utilisés par les carpes asiatiques, étant donné leur préférence pour les profondeurs de 1 m à < 5 m dans les habitats riverains (MacNamara et al. 2018, Prechtel et al. 2018). L'importance d'autres caractéristiques de l'habitat a été établie, comme le fait que la carpe de roseau préfère les habitats peu profonds et végétalisés (voir Cudmore et Mandrak 2004) ainsi que les structures complexes comme les grands débris ligneux (Weberg et al. 2020). L'influence de l'échantillonnage éclairé a été évaluée en assignant au hasard des carpes asiatiques à des sites situés dans une sous-section de la zone d'intervention d'environ 75 ha considérée comme appropriée (c.-à-d. 37,5 ha ou 18,75 ha). Ces regroupements spatiaux ont été fixés soit au côté droit de la matrice d'intervention (c.-à-d. 37.5 ha), soit au quadrant supérieur droit de la matrice d'intervention (18,75 ha). La proportion de sites inoccupés dans ces sous-sections de la zone d'intervention était plus faible que dans le

modèle de base: toutefois, l'ampleur de cette proportion variait selon l'abondance des poissons et les taux de regroupement. L'incidence de la connaissance de l'habitat propice par les équipes de frappe dans la zone d'intervention a été évaluée en comparant l'effort requis pour la détection et le retrait local lorsque les équipes de frappe échantillonnaient la totalité de la zone d'intervention d'environ 75 ha (c.-à-d. scénario de la stratégie non informée) et lorsque les équipes de frappe échantillonnaient seulement la sous-section de la zone d'intervention où les poissons étaient assignés (c.-à-d. scénario de la stratégie informée). Ces scénarios peuvent représenter des situations où les équipes de frappe ne connaissent pas les préférences en matière d'habitat, connaissaient les préférences en matière d'habitat mais ont échantillonné toute la zone d'intervention par souci de redondance, ou connaissaient les préférences en matière d'habitat mais n'ont pas été en mesure de définir un habitat propice dans la zone d'intervention. Dans le scénario de la stratégie non informée, les équipes de frappe ont été modélisées pour commencer l'échantillonnage dans le coin inférieur gauche de la zone d'intervention de 75 ha afin de représenter le pire des scénarios, car les équipes d'intervention échantillonneraient de grandes zones d'habitat inoccupé avant de commencer à échantillonner l'habitat propice. La sensibilité des lieux de regroupement spatial dans la zone d'intervention n'a pas été examinée dans cette analyse.

Échantillonnage répété

L'incidence de l'échantillonnage immédiat et répété à un site sur l'effort requis pour le retrait local a été déterminée. Dans le modèle de base, chaque site a été échantillonné une fois au cours d'une passe complète de la zone d'intervention; toutefois, en pratique, les équipes de frappe peuvent immédiatement rééchantillonner les sites où des carpes asiatiques sont capturées, en particulier lorsque la probabilité de capture est soupconnée d'être < 1,0 (p. ex. au lac Gibson, où trois mouillages de trémails ont eu lieu au même endroit et ont donné lieu à la capture de un, trois et quatre poissons, respectivement; données inédites du MPO). Le scénario d'échantillonnage répété reflétait la situation dans laquelle les équipes de frappe rééchantillonnent immédiatement un site après la capture d'un seul poisson lors de la visite initiale du site; toutefois, le rééchantillonnage immédiat n'a pas été effectué si aucun poisson n'a été détecté après l'échantillonnage initial d'un site. Plusieurs taux d'échantillonnage répétés ont été pris en compte (c.-à-d. 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total après la détection initiale), et l'effort requis pour le retrait local a été comparé aux résultats du modèle de base. Le nombre total d'événements d'échantillonnage par site était fixe tout au long du scénario, quel que soit le nombre de poissons capturés lors de l'événement d'échantillonnage initial ou si des poissons supplémentaires étaient capturés lors des événements d'échantillonnage ultérieurs. L'échantillonnage répété a été effectué avec des taux de regroupement fixés à 0,75 et 1,0, car l'échantillonnage répété serait probablement sensible à ce comportement.

Évitement des poissons

L'évitement des poissons a été intégré au modèle en examinant la probabilité que les poissons se déplacent entre les sites de la zone d'intervention en fonction de la présence d'équipes de frappe à proximité pendant une intervention. Les poissons peuvent réagir à l'activité des bateaux pendant la pêche à l'électricité ou le déploiement des filets, car les sons (par les hautparleurs et les moteurs des bateaux) ont été utilisés avec succès pour rassembler les poissons (Butler et al. 2019); il est donc possible que les poissons évitent activement les équipes de frappe et échappent à la capture. L'évitement des poissons a été intégré dans le modèle en tenant compte de la probabilité que les poissons puissent quitter un site immédiatement avant l'échantillonnage et être assignés aléatoirement à un autre site dans la zone d'intervention. Soit les poissons regroupés ont quitté le site et se sont déplacés, soit ils sont restés dans le site en

tant que groupe, car on a supposé que les regroupements de poissons resteraient intacts malgré le comportement d'évitement. Une large gamme de probabilités d'évitement possibles a été prise en compte (0,05, 0,25, 0,50 et 0,75) étant donné l'incertitude relative associée à l'évitement des carpes asiatiques lors d'une intervention.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

L'incidence de chaque autre scénario possible et de chaque comportement de regroupement sur l'effort d'intervention relatif a été déterminée en calculant la différence dans le nombre moyen de passes (ou le nombre de périodes d'échantillonnage où 29 929 sites ont été échantillonnés) et la variation en pourcentage dans l'effort absolu moyen requis pour la détection et le retrait local des carpes asiatiques. Quatre combinaisons possibles de valeurs d'abondance et de probabilité de capture, comportant un regroupement fixé à 0,5, ont été prises en compte pour illustrer des situations distinctes que les équipes de frappe peuvent rencontrer :

- 1. Faible abondance et faible probabilité de capture (3 poissons et une probabilité de capture de 0,05);
- 2. Faible abondance et probabilité élevée de capture (3 poissons et une probabilité de capture de 0,70);
- 3. Abondance élevée et faible probabilité de capture (25 poissons et une probabilité de capture de 0,05);
- 4. Abondance élevée et probabilité élevée de capture (25 poissons et une probabilité de capture de 0,70).

Les résultats du modèle de base de chaque combinaison ont été comparés aux résultats obtenus lorsque : le taux de regroupement était augmenté à 0,75 (regroupement), l'échantillonnage était aléatoire (échantillonnage aléatoire), l'échantillonnage répété a eu lieu avec 3 échantillons par site (échantillonnage répété), les poissons n'occupaient que 50 % de la zone d'intervention de base mais l'échantillonnage a eu lieu dans toute la zone d'échantillonnage de 75 ha (stratégie non informée), l'échantillonnage n'a eu lieu que dans 50 % de la zone d'intervention de base où il y avait des poissons (stratégie informée), et l'évitement des poissons était augmenté à 0,25. Ces valeurs ont été choisies pour représenter des changements modérés de la valeur des paramètres en fonction de la gamme de valeurs prise en compte pour chaque scénario. Au total, 24 scénarios du modèle ont été calculés pour évaluer la sensibilité des résultats aux paramètres et aux plans d'échantillonnage. Une analyse plus détaillée de la sensibilité des résultats à différents paramètres a été réalisée avec des taux de probabilité de capture de 0,05, 0,25, 0,50, 0,70 et 1,00; celle-ci est présentée à l'Annexe B.

RÉSULTATS

Un résumé des résultats est présenté ci-dessous. Les résultats détaillés de tous les scénarios modélisés sont fournis dans un rapport de données d'accompagnement (Smyth *et al.* 2021). L'éventail des résultats du modèle pour l'effort et des résultats concernant la probabilité variait considérablement d'un scénario à l'autre. Pour que les valeurs restent normalisées, les résultats sont présentés avec deux décimales; toutefois, ce niveau de précision peut être surestimé compte tenu de la nature des modèles de simulation.

RÉSULTATS DU MODÈLE DE BASE

L'effort requis pour détecter la présence de carpes asiatiques (c.-à-d. capturer au moins un poisson; détection) était influencé à la fois par la probabilité de capture et l'abondance des

poissons. L'effort relatif moyen requis pour la détection variait de 0,07 à 13,48 passes dans la zone d'intervention totale. L'effort requis pour la détection diminuait de manière non linéaire à mesure que la probabilité de capture augmentait, (Figure 2). Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,05, en moyenne 13,48 passes étaient nécessaires pour la détection lorsque l'abondance était d'un seul poisson. Cependant, lorsque la probabilité de capture était augmentée à 0,25, seulement 2,42 passes en moyenne étaient nécessaires pour la détection. L'effort requis pour la détection diminuait également avec une hausse de l'abondance des poissons. Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,05, seulement 4,64 passes étaient nécessaires en moyenne lorsque l'abondance était de trois poissons, contre 13,48 passes en moyenne, lorsque l'abondance était d'un seul poisson.

Le comportement de regroupement a eu une faible incidence sur l'effort relatif requis pour la détection, sauf lorsque l'abondance et les taux de regroupement étaient élevés (Figure 3). Par exemple, lorsque l'abondance était de 25 poissons et que la probabilité de capture était de 0,70, l'effort relatif moyen était de 0,50 passe lorsque le taux de regroupement était de 1,00, de 0,07 passe lorsque le taux de regroupement était de 0,04 passe lorsque le taux de regroupement était de 0,00. Lorsque la probabilité de capture était fixe, l'effort relatif requis pour la détection diminuait à mesure que la probabilité que les poissons occupent des sites proches du site d'échantillonnage initial augmentait. Lorsque les taux de regroupement étaient faibles (c.-à-d. de 0,00), chaque poisson occupait un site de manière isolée. Dans cette situation, la probabilité qu'au moins un poisson occupe un site proche du site d'échantillonnage initial était plus grande que lorsque les taux de regroupement étaient élevés (c.-à-d. de 1,00), où tous les poissons occupaient un seul site dans la zone d'intervention.

La probabilité que n poissons occupent la zone d'intervention diminuait avec l'augmentation du nombre de passes sans capture de carpes asiatiques (c.-à-d. des passes vides) (Figure 4). Le nombre de passes vides nécessaires pour atteindre une faible probabilité (p = 0,20) de présence de poissons dans la zone d'intervention diminuait avec l'augmentation de la probabilité de capture et de l'abondance (Figure 5). Par exemple, la probabilité que 15 poissons ou plus aient été présents était de p = env. 0,02 pour cinq passes vides, même avec des probabilités de capture très faibles (0,05). Ces résultats ont également démontré que cinq passes vides ont donné lieu à une probabilité modérée (p > 0,45) que les poissons soient restés dans la zone d'intervention (c.-à-d. abondance = 1 poisson) lorsque la probabilité de capture était faible (< 0,15) (Figure 4), ce qui démontre l'effort considérable requis pour assurer une fiabilité élevée de la détection, en particulier lorsque la probabilité de capture est faible.

L'effort relatif moyen requis pour le retrait local était considérablement supérieur à l'effort requis pour la détection et variait de 0,72 à 69,55 passes. À mesure que la probabilité de capture augmentait, la quantité d'effort requise pour le retrait local diminuait d'une manière non linéaire (Figure 6). Par exemple, lorsque l'abondance était de cinq poissons et que la probabilité de capture était de 0,05, une moyenne de 40,36 passes était nécessaire pour le retrait local, mais 7,16 passes, en moyenne, étaient nécessaires lorsque la probabilité de capture atteignait 0,25. L'effort requis pour le retrait local augmentait en fonction de l'abondance des poissons. Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,05, 13,48 passes, en moyenne, étaient nécessaires lorsque l'abondance était d'un seul poisson, comparativement à 31,25 passes, en moyenne, lorsque l'abondance était de trois poissons. De plus, le comportement de regroupement a eu un faible effet sur l'effort relatif moyen requis pour le retrait local (Figure 7).

La relation entre le retrait local et le nombre de passes dans la zone d'intervention a montré que même cinq passes étaient insuffisantes pour obtenir une probabilité élevée de retrait local dans de nombreuses situations (Figure 8). Lorsque l'effort était fixe, une plus grande probabilité de capture était nécessaire pour les grandes abondances afin d'obtenir des résultats semblables à ceux relatifs aux petites abondances. Par exemple, pour obtenir une probabilité élevée de retrait

local (p = 0.80) en cinq passes, la probabilité de capture devait être > 0,25 pour les faibles abondances (c.-à-d. 1 poisson) et > 0,55 pour les abondances élevées (c.-à-d. 20 poissons) (Figure 9). Compte tenu de la gamme de probabilités de capture possibles de 0,05 à 0,70, cinq passes dans la zone d'intervention donneraient lieu à une probabilité de retrait local de p = 0.22 à p > 0.99 aux faibles abondances (c.-à-d. 1 poisson) et de p < 0.01 à p = 0.95 aux abondances élevées (c.-à-d. 20 poissons).

Synthèse du modèle de base

Le modèle de base a démontré que l'effort requis pour détecter la présence de carpes asiatiques est plus faible lorsque l'abondance de carpes asiatiques est élevée, que la probabilité de capture est élevée et que les carpes asiatiques ont une plus faible propension à se regrouper. L'effort requis pour retirer toutes les carpes asiatiques dans la zone d'intervention est plus faible lorsqu'il y a moins de carpes asiatiques et lorsque la probabilité de capture est élevée. Des valeurs de probabilité de capture élevées (≥ 0,65) sont nécessaires pour assurer une fiabilité élevée du retrait local dans la zone d'intervention après cinq passes.

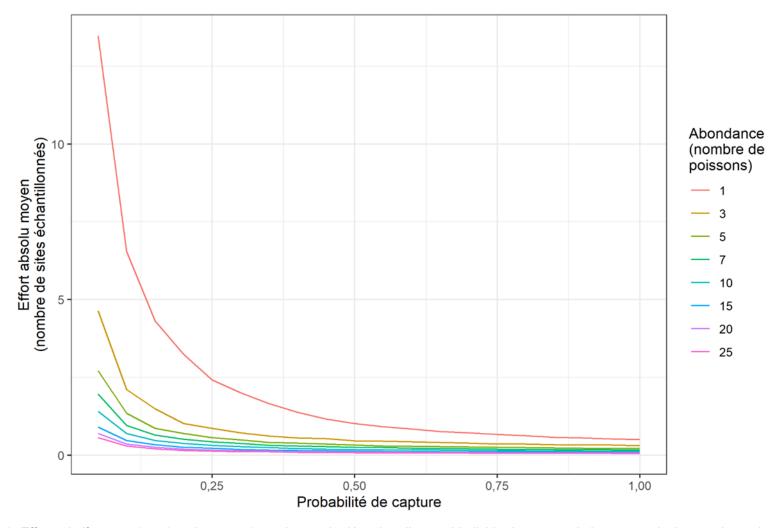


Figure 2. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection d'un seul individu de carpe asiatique pour plusieurs valeurs de probabilité de capture et abondances de poissons (c.-à-d. 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 et 25 poissons) pour un échantillonnage systématique et un taux de regroupement de 0,50.

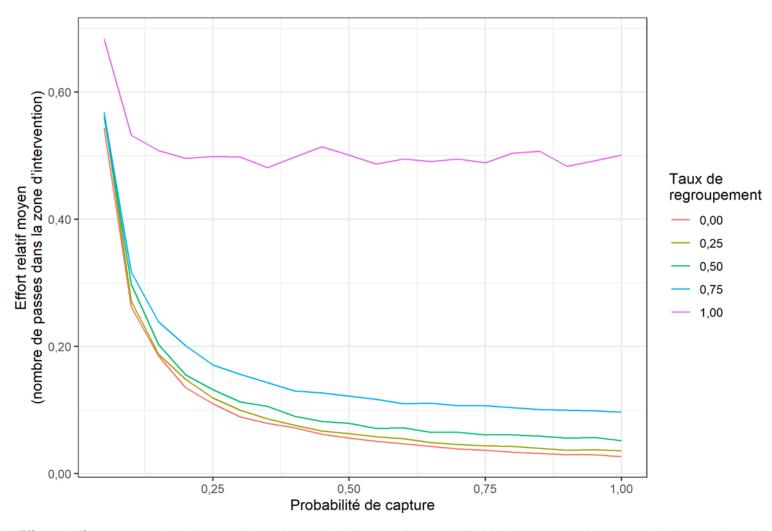


Figure 3. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection d'un seul individu de carpe asiatique pour plusieurs valeurs de probabilité de capture et taux de regroupement dans la zone d'intervention (c.-à-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00), compte tenu d'un échantillonnage systématique et d'une abondance de 25 poissons.

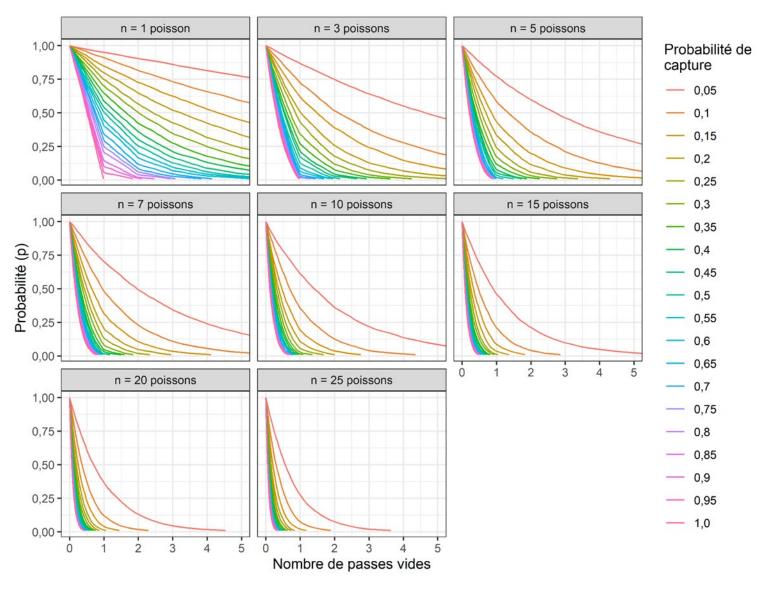


Figure 4. Probabilité que n carpes asiatiques occupent la zone d'intervention (voir les étiquettes sur les barres grises) en fonction du nombre de passes vides effectuées par les équipes de frappe lorsque le taux de regroupement est de 0,50 pour différentes abondances de poissons. Les lignes dans le graphique représentent des valeurs de probabilité de capture allant de 0,05 à 1,00.

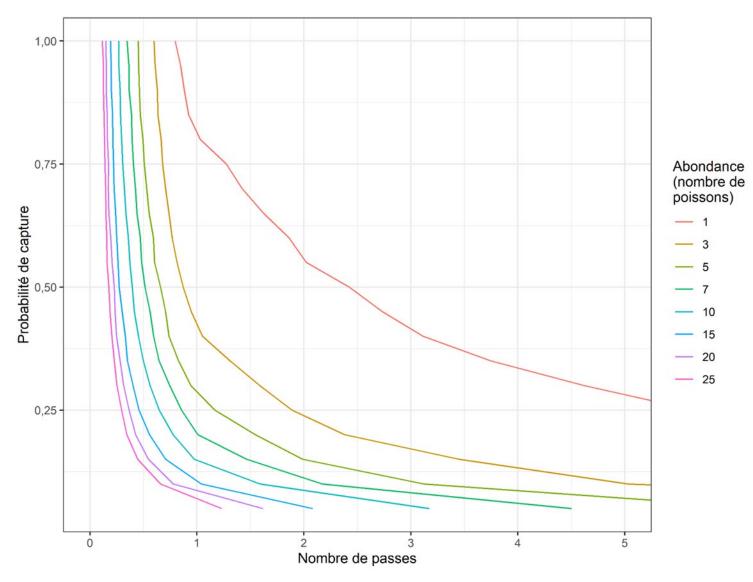


Figure 5. Probabilité minimale de capture requise pour obtenir une probabilité ≤ 0,20 qu'une abondance déterminée de carpes asiatiques occupe la zone d'intervention compte tenu du nombre de passes vides effectuées par les équipes de frappe. Les simulations sont basées sur un taux de regroupement de 0,50.

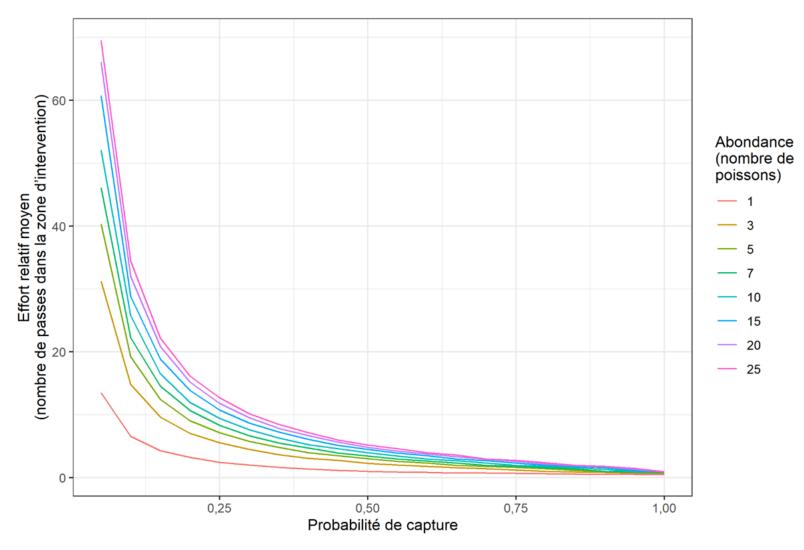


Figure 6. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de l'abondance des poissons dans la zone d'intervention (c.-à-d. 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 et 25 poissons), compte tenu d'un échantillonnage systématique et d'un taux de regroupement de 0,50.

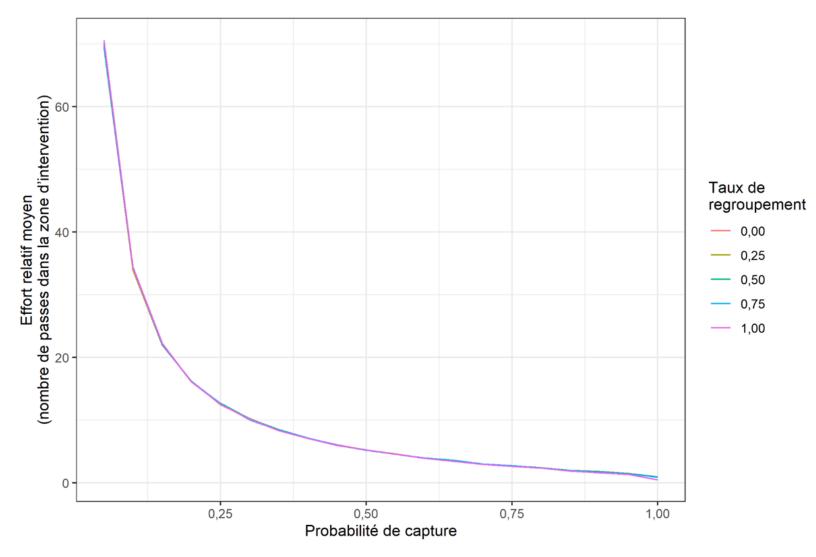


Figure 7. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local de 25 carpes asiatiques en fonction de la probabilité de capture et de plusieurs taux de regroupement (c.-à-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00).

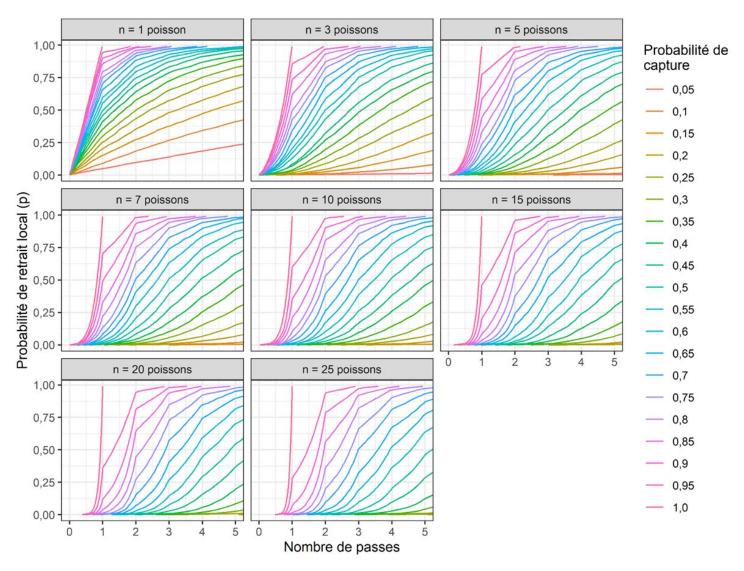


Figure 8. Probabilité de retirer localement n carpes asiatiques (voir les étiquettes sur les barres grises) dans la zone d'intervention pour différentes probabilités de capture (0,05 à 1,00; voir la légende) et un taux de regroupement de 0,50.

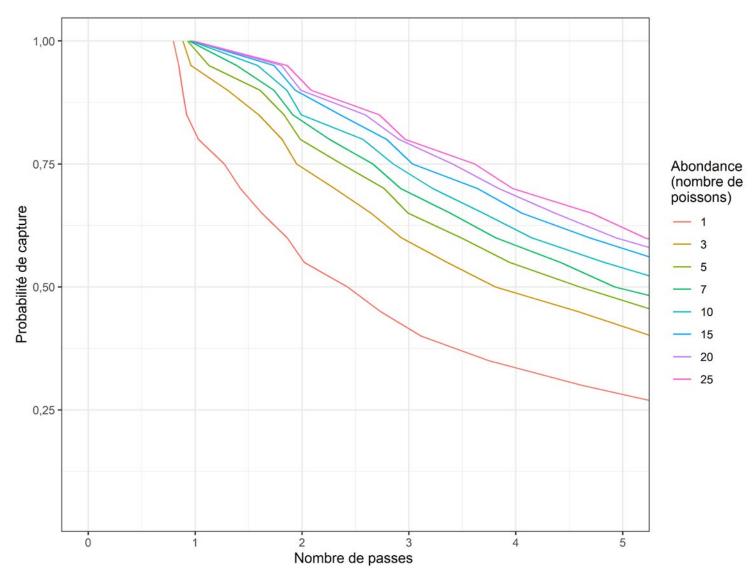


Figure 9. Probabilité minimale de capture requise pour une probabilité de 0,80 de retirer localement de 1 à 25 carpes asiatiques dans la zone d'intervention, compte tenu du nombre de passes effectuées par les équipes de frappe. Les simulations étaient basées sur un taux de regroupement de 0,50.

AUTRES SCÉNARIOS POSSIBLES

Taille de la zone d'intervention

Dans l'ensemble, la taille de la zone d'intervention n'a pas eu d'incidence sur l'effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection ou le retrait local (Figure 10 et Figure 11; respectivement), mais l'effort absolu moyen (nombre de sites) pour la détection ou le retrait local a diminué proportionnellement à la zone d'intervention. Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,05, l'effort relatif moyen requis pour la détection d'une abondance de 25 poissons allait de 0,55 à 0,59 passe pour toutes les tailles de zones d'intervention, mais l'effort absolu allait de 16 809 sites (zone = 75 ha) à 8 758 (zone = 37,5 ha) et 4 275 sites (zone = 18,75 ha). Des résultats similaires ont été observés dans le cas de l'effort requis pour le retrait local. Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,05, l'effort relatif requis pour le retrait local de 25 poissons allait de 69,55 à 71,17 passes pour toutes les tailles de zones d'intervention, mais l'effort absolu allait de 2 081 405 sites (zone = 75 ha) à 1 064 955 sites (zone = 37,5 ha) et 542 786 sites (zone = 18,75 ha). La comparabilité de l'effort relatif selon la taille des zones d'intervention a démontré que les résultats du modèle sont adaptables à différentes zones d'intervention.

Échantillonnage aléatoire

L'effet de l'échantillonnage aléatoire (avec remplacement) sur l'effort dépendait du comportement de regroupement ainsi que de la probabilité de capture. L'échantillonnage aléatoire n'a eu qu'une faible influence sur l'effort requis pour la détection en fonction de toutes les probabilités de capture, sauf pour les taux de regroupement élevés, où un effort substantiellement plus important était requis pour la détection (Figure 12). Par exemple, lorsque la probabilité de capture était de 0,70 et le taux de regroupement de 0,25, une moyenne de 1 430 sites était nécessaire pour la détection lors de l'échantillonnage systématique, contre 1 935 sites lors de l'échantillonnage aléatoire. Lorsque le taux de regroupement a été augmenté à 1,00, 14 821 sites ont été nécessaires pour la détection lors de l'échantillonnage systématique, mais 20 704 sites ont été nécessaires lors de l'échantillonnage aléatoire. L'explication de cette tendance est que l'échantillonnage aléatoire conduit à des situations où les sites inoccupés peuvent être rééchantillonnés plusieurs fois jusqu'à ce qu'un site occupé soit visité; ainsi, un effort d'échantillonnage supplémentaire est nécessaire pour la détection.

Dans le cas de l'effort requis pour le retrait local, l'échantillonnage aléatoire a eu une faible influence lorsque la probabilité de capture était faible (0,05); cependant, à mesure que la probabilité de capture augmentait, l'influence de l'échantillonnage aléatoire s'est accrue, en particulier pour les scénarios présentant des taux de regroupement faibles à modérés (c.-à-d. de 0.00 à 0.75) (Figure 13). Par exemple, lorsque le taux de regroupement était de 0.00 et que la probabilité de capture était faible (0,05), l'effort absolu moyen requis pour prélever 25 poissons au moyen d'un échantillonnage systématique était de 2 079 229 sites, et de 2 145 335 sites lorsque l'échantillonnage était aléatoire. Toutefois, lorsque la probabilité de capture était élevée (0,70), 89 516 sites étaient nécessaires pour le retrait local au moyen d'un échantillonnage systématique, contre 153 322 sites lorsque l'échantillonnage était aléatoire, soit une augmentation de 71 %. La différence observée à des taux de probabilité de capture élevés était attribuable au remplacement de sites au moyen de l'approche d'échantillonnage aléatoire. Dans le cas d'un échantillonnage aléatoire, la probabilité d'échantillonner un site occupé reste constante pendant l'échantillonnage; cependant, dans le cas d'un échantillonnage systématique, la probabilité d'échantillonner le site occupé augmente puisque chaque site est échantillonné une fois avant qu'une passe soit effectuée dans la zone d'intervention, ce qui entraîne une réduction de l'effort d'échantillonnage requis pour le retrait local.

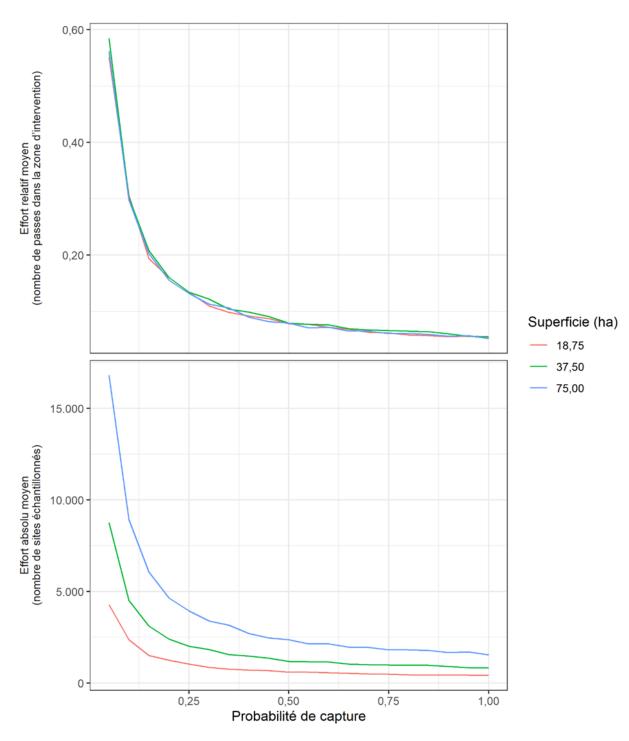


Figure 10. Effort relatif moyen (nombre de passes) (graphique supérieur) et effort absolu moyen (nombre de sites) (graphique inférieur) requis pour la détection en fonction de la probabilité de capture, pour trois tailles de zones d'intervention (75 ha, 37,5 ha et 18,75 ha). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50.

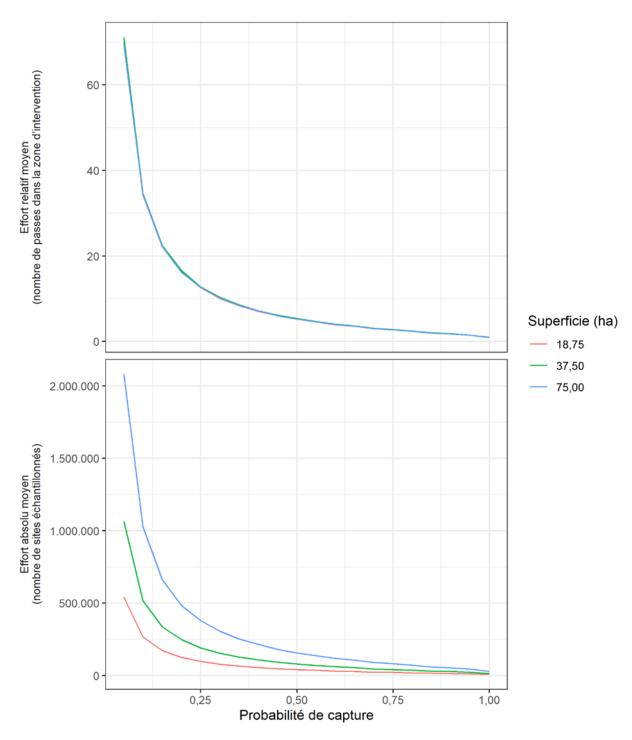


Figure 11. Effort relatif moyen (nombre de passes) (graphique supérieur) et effort absolu moyen (nombre de sites) (graphique inférieur) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture, pour trois tailles de zones d'intervention (75 ha, 37,5 ha et 18,75 ha). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50.

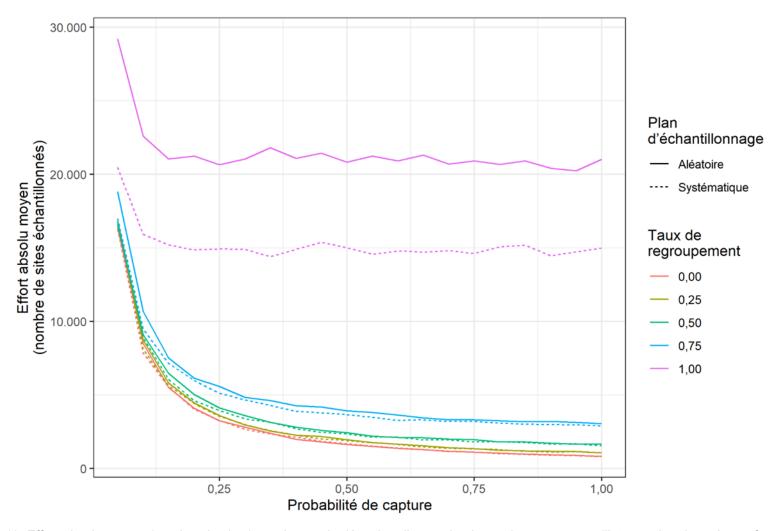


Figure 12. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour la détection d'un seul poisson dans une zone d'intervention de 75 ha en fonction de la probabilité de capture, pour cinq taux de regroupement (c.-à-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00). On voit également l'effet de l'échantillonnage aléatoire et systématique dans le cas d'une abondance de 25 poissons.

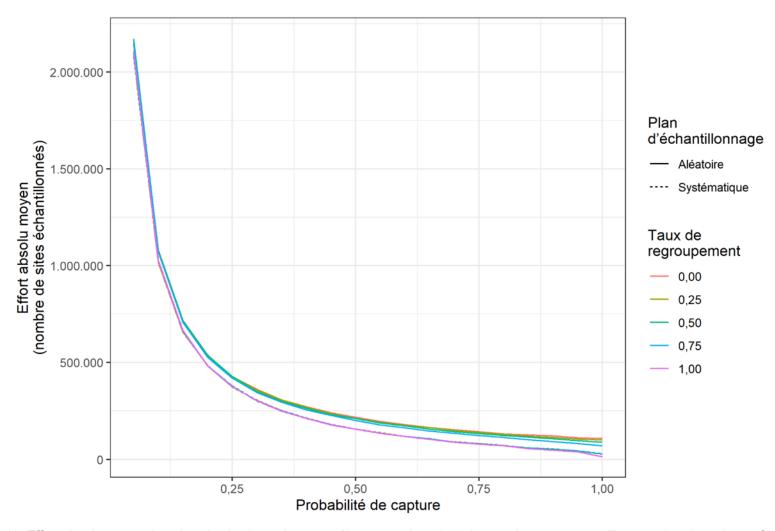


Figure 13. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour prélever sur place 25 poissons dans une zone d'intervention de 75 ha en fonction de la probabilité de capture, pour cinq taux de regroupement (c.-à-d. 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00). On voit également l'effet de l'échantillonnage aléatoire et systématique dans le cas d'une abondance de 25 poissons.

Échantillonnage éclairé

L'échantillonnage éclairé a influencé l'effort requis pour la détection (Figure 14) et le retrait local (Figure 15). L'échantillonnage éclairé a permis de réduire le nombre moven de sites pour la détection et le retrait local par rapport aux résultats du modèle de base et était proportionnel à la quantité d'habitats propices dans la zone d'intervention (c.-à-d. que l'effort nécessaire pour capturer un seul poisson était de 50 % des résultats de base lorsque 50 % de la zone d'intervention était appropriée). Par exemple, lorsque les équipes de frappe ont concentré leur échantillonnage sur les regroupements spatiaux de carpes asiatiques (c.-à-d. stratégie informée) et que la probabilité de capture était faible (0,05), l'effort absolu moyen requis pour la détection était de 16 809 sites lorsque l'habitat propice représentait 100 % de la zone d'intervention (c.-à-d. le modèle de base; 75,00 ha), de 8 758 sites lorsque l'habitat propice représentait 50 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 37,5 ha) et de 4 275 sites lorsque l'habitat propice représentait 25 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 18,75 ha). Ces résultats étaient semblables à ceux du scénario de la taille de la zone d'intervention, où la réduction de la zone d'intervention de 50 % ou de 25 % a entraîné une diminution de 50 % ou de 25 % de l'effort, respectivement, pour la détection et le retrait local. Des tendances similaires impliquant la mise en œuvre de la stratégie informée ont été observées pour le retrait local. Lorsque les équipes de frappe ont mis en place une stratégie informée et que la probabilité de capture était faible (0,05), l'effort absolu moyen requis pour la détection était de 2 081 405 sites lorsque l'habitat propice représentait 100 % de la zone d'intervention (c.-à-d. le modèle de base; 75 ha), de 1 064 955 sites lorsque l'habitat propice représentait 50 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 37,5 ha) et de 542 786 sites lorsque l'habitat propice représentait 25 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 18,75 ha).

Les efforts de détection et de retrait local ont été plus importants lorsque les équipes de frappe ont échantillonné la totalité de la zone d'intervention de 75 ha en présence de regroupements spatiaux de carpes asiatiques (c.-à-d. stratégie non informée) que dans les scénarios de petite zone tampon. Par exemple, lorsque les équipes de frappe ont utilisé une stratégie non informée et que la probabilité de capture était faible (0,05), l'effort absolu moyen requis pour la détection était de 18 938 sites lorsque l'habitat propice représentait 50 % de la zone d'intervention (par rapport à 8 758 sites lorsque les équipes de frappe ont utilisé une petite zone tampon), et de 19 977 sites lorsque l'habitat propice représentait 25 % de la zone d'intervention (par rapport à 4 275 sites lorsque les équipes de frappe ont utilisé une stratégie informée), tous ces sites étant comparés aux 16 809 sites provenant des résultats du modèle de base. Dans l'ensemble, le scénario de la stratégie non informée comportant un habitat propice qui couvrait 25 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 18,75 ha) a donné lieu au plus grand effort requis par rapport aux autres scénarios pour toutes les valeurs de probabilité de capture; toutefois, il peut s'agir d'un artéfact de la conception du modèle (c.-à-d. le pire scénario). L'effort requis pour le retrait local était plus comparable d'un scénario à l'autre. Par exemple, lorsque les équipes de frappe ont utilisé une stratégie non informée et que la probabilité de capture était faible (0,05), l'effort absolu moyen requis pour le retrait local était de 2 092 518 sites lorsque l'habitat propice représentait 50 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 37,50 ha), et de 2 095 421 sites lorsque l'habitat propice représentait 25 % de la zone d'intervention (c.-à-d. 18,75 ha), comparativement à 2 081 405 sites du modèle de base. Les résultats relativement à la grande zone tampon différaient sensiblement des résultats du modèle de base pour la détection (Figure 14), et non pour le retrait local (Figure 15), car relativement peu de sites devaient être échantillonnés pour la détection par rapport au retrait local.

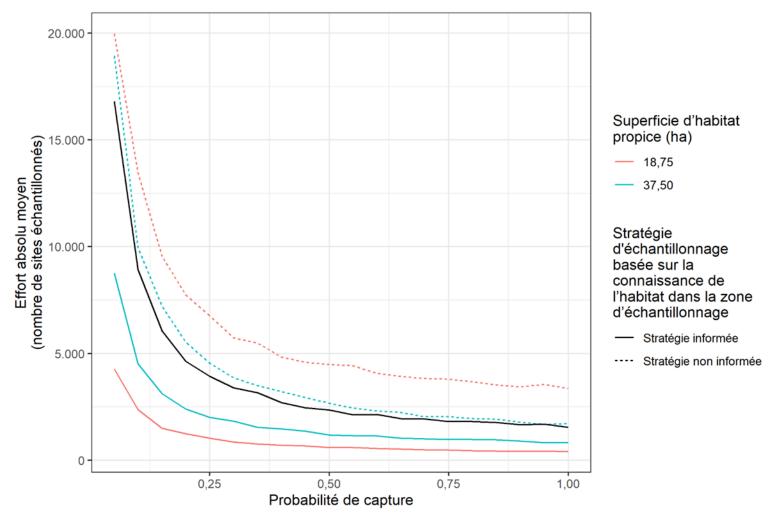


Figure 14. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour la détection selon une abondance de 25 poissons (taux de regroupement = 0,50) pour différentes valeurs de probabilité de capture. On voit l'effet des poissons, qui occupent différentes proportions de la zone d'intervention (37,5 ha et 18,75 ha), et si la zone tampon d'échantillonnage était grande ou petite. Les résultats sont présentés par rapport aux résultats du modèle de base (ligne noire).

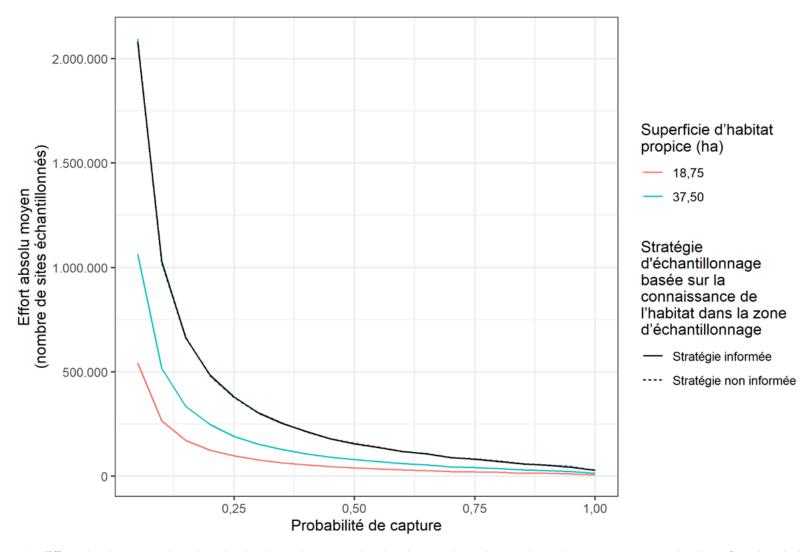


Figure 15. Effort absolu moyen (nombre de sites) requis pour retirer localement 25 poissons (taux de regroupement = 0,50) en fonction de la probabilité de capture, les poissons occupant des proportions différentes de la zone d'intervention (37,5 ha et 18,75 ha), et selon une zone tampon d'échantillonnage grande ou petite. Ces résultats sont comparés aux résultats du modèle (ligne noire).

Échantillonnage répété

L'inclusion du plan d'échantillonnage répété après la capture d'un poisson sur un site n'a influé que sur l'effort requis pour le retrait local. L'influence de l'échantillonnage répété a eu un effet plus important sur les scénarios présentant une probabilité de capture faible à modérée (Figure 16), un comportement de regroupement plus important (Figure 17) et une plus grande abondance de poissons (Figure 18). Les scénarios présentant une probabilité élevée de capture (> 0.70) n'ont pas changé considérablement en fonction des taux de rééchantillonnage, car la majorité, sinon la totalité, des poissons occupant un site ont été capturés lors du premier effort d'échantillonnage (ici, le rééchantillonnage n'a donné lieu à aucune capture supplémentaire). Ceci a été observé avec une probabilité de capture de 0,70, où l'effort relatif moyen pour retirer les carpes des lieux allait de 0,53 à 2,96 passes dans la zone d'intervention pour les scénarios d'échantillonnage répété, par rapport à une gamme de 39,44 à 70,60 passes dans la zone d'intervention lorsque la probabilité de capture était de 0,05. En outre, l'échantillonnage répété a permis de diminuer l'effort à mesure que la densité de poissons sur un site augmentait (c.-à-d. des taux de regroupement élevés et des abondances élevées dans une taille de zone d'intervention donnée). Par exemple, lorsque la probabilité de capture est de 0,05 et que cinq événements d'échantillonnage ont lieu par site après la détection, un effort absolu moyen de 39.37 passes dans la zone d'intervention est requis pour le retrait local lorsque le taux de regroupement est de 1,00 et de 59,26 passes dans la zone d'intervention lorsque le taux de regroupement est de 0,75 (par rapport à une valeur de base d'env. 70 passes comportant un événement d'échantillonnage par site). Enfin, l'influence de l'échantillonnage répété sur l'effort requis pour le retrait local était plus grande à des abondances plus élevées. Par exemple, par rapport au modèle de base, la réalisation de cinq événements d'échantillonnage a donné lieu. en moyenne, à 27,96 passes de moins dans la zone d'intervention pour le retrait local lorsque la probabilité de capture était de 0,05 et que l'abondance était de 20 poissons (c.-à-d. 38,12 passes nécessaires), et 31,23 passes de moins pour le retrait local lorsque l'abondance était de 25 poissons (c.-à-d. 39.37 passes nécessaires).

Évitement des poissons

La capacité des poissons à éviter les équipes d'échantillonnage et à se déplacer vers d'autres sites avant l'échantillonnage a entraîné une augmentation de l'effort de détection et de retrait local (Figure 19 et Figure 20, respectivement); toutefois, la relation entre l'évitement et l'effort n'était pas linéaire. Par exemple, l'effort relatif moyen requis pour la détection a augmenté avec l'évitement de 0,56 passes (évitement = 0,00) à 0,90 passe (évitement = 0,50) et à 1,53 passe (évitement = 0,75; toutes les situations ayant une probabilité de capture de 0,05 et 25 poissons présents). De même, l'effort absolu moyen pour retirer localement 25 poissons est passé de 69,55 passes (évitement = 0,00) à 106,02 passes (évitement = 0,50) et à 178,82 passes (évitement = 0,75; cela suppose une probabilité de capture de 0,05).

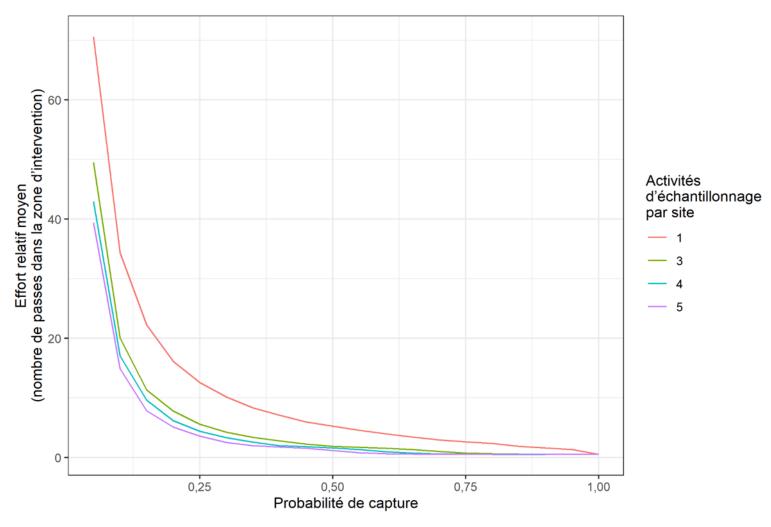


Figure 16. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de quatre plans d'échantillonnage répétés (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 1,00.

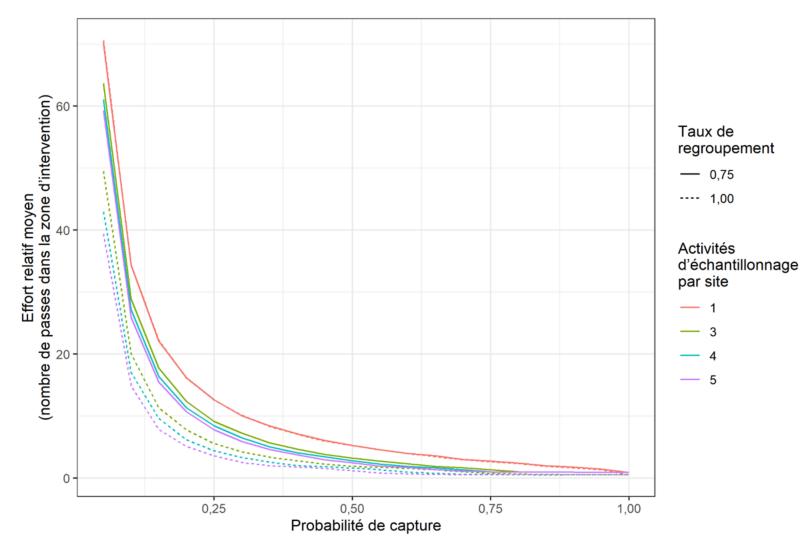


Figure 17. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour retirer localement 25 poissons en fonction de la probabilité de capture, avec plusieurs plans d'échantillonnage répété (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu), et selon un taux de regroupement des poissons de 0,75 ou de 1,00.

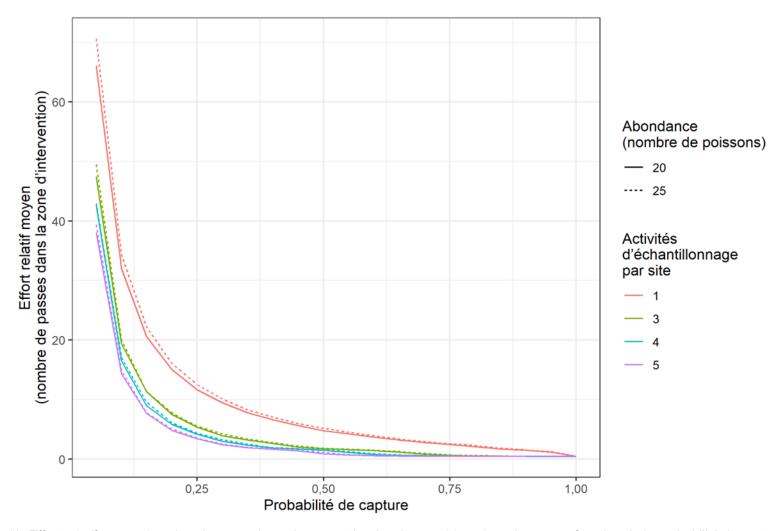


Figure 18. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour retirer localement 20 ou 25 poissons en fonction de la probabilité de capture, avec plusieurs plans d'échantillonnage répété (1, 3, 4 et 5 événements d'échantillonnage au total par site où une détection initiale a eu lieu). Les simulations étaient basées sur un taux de regroupement de 1,00.

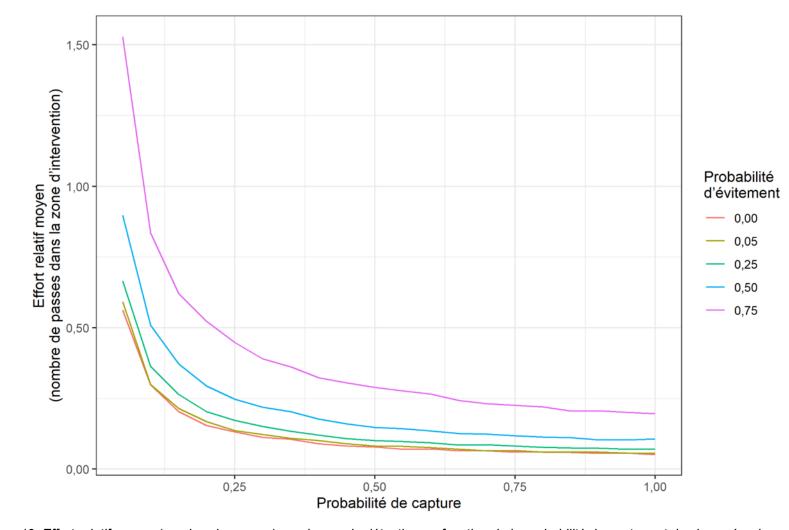


Figure 19. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour la détection en fonction de la probabilité de capture et de cinq scénarios d'évitement (c.-à-d. 0,00, 0,05, 0,25, 0,50 et 0,75). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50.

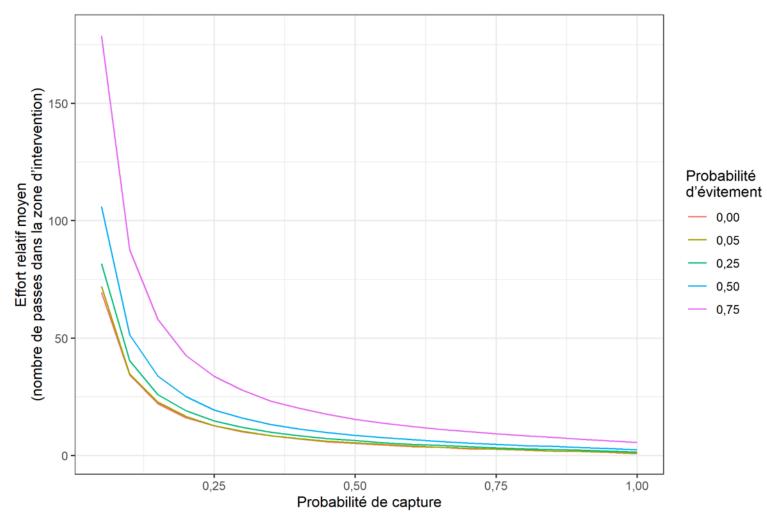


Figure 20. Effort relatif moyen (nombre de passes) requis pour le retrait local en fonction de la probabilité de capture et de cinq scénarios d'évitement (c.-à-d. 0,00, 0,05, 0,25, 0,50 et 0,75). Les simulations étaient basées sur une abondance de 25 poissons et un taux de regroupement de 0,50.

Synthèse des autres scénarios possibles

Selon les autres scénarios possibles, les conclusions suivantes peuvent être tirées concernant la zone d'intervention, le plan d'échantillonnage et l'évitement des poissons. Premièrement, la taille de la zone d'intervention n'a pas eu d'effet sur l'effort relatif (mesuré en nombre de passes dans la zone) requis pour la détection ou le retrait local. Cela indique que les résultats relatifs des simulations sont adaptables. Cependant, l'effort total a été proportionnel à la taille de la zone d'intervention, ce qui indique que le nombre de sites nécessaires pour détecter ou retirer les carpes asiatiques sera plus important dans les grandes zones d'intervention. Deuxièmement, le plan d'échantillonnage (systématique ou aléatoire, éclairé ou répété) a influé sur l'effort requis pour la détection et le retrait local. L'échantillonnage aléatoire (avec remplacement) a eu une faible influence sur l'effort requis pour la détection et le retrait local lorsque la probabilité de capture était faible, mais a exigé plus d'effort lorsque la probabilité de capture était élevée. Il y a eu une interaction entre le regroupement et l'échantillonnage aléatoire; l'échantillonnage aléatoire a nécessité plus d'efforts lorsque les taux de regroupement étaient élevés. Dans aucune situation l'échantillonnage aléatoire n'a donné de meilleurs résultats que l'échantillonnage systématique. L'échantillonnage éclairé a permis de réduire l'effort absolu requis pour la détection et le retrait local, l'ampleur de la réduction de l'effort étant proportionnelle à la réduction de la zone d'habitat à échantillonner. L'échantillonnage répété a réduit l'effort requis pour le retrait local, mais pas pour la détection, lorsque la probabilité de capture était faible à modérée, lorsque les taux de regroupement étaient plus élevés et lorsque l'abondance des carpes asiatiques était plus élevée. Enfin, la possibilité que les carpes asiatiques se déplacent dans la zone d'intervention a augmenté l'effort requis pour la détection et le retrait local. Plus les poissons sont susceptibles d'éviter les équipes de frappe, plus l'effort requis est important.

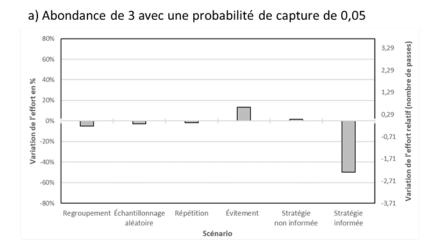
ANALYSE DE SENSIBILITÉ

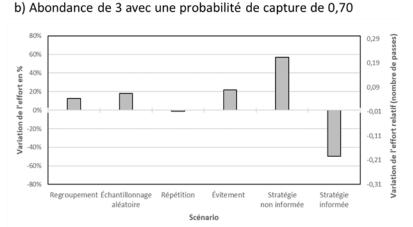
L'effort requis pour la détection et le retrait local a varié en fonction du plan d'échantillonnage. de la zone d'intervention et du comportement de regroupement et d'évitement dans chacun des quatre quadrants (de faible probabilité de capture et d'abondance à probabilité élevée de capture et d'abondance; Figure 21 et Figure 22). Lorsque la probabilité de capture était faible (c.-à-d. de 0,05), l'échantillonnage éclairé (stratégie informée) a entraîné le plus grand changement dans l'effort requis pour la détection (que ce soit à faible abondance ou à abondance élevée), avec une diminution relative de l'effort de 50 % (c.-à-d. une diminution absolue de 2,31 passes; Figure 21 a) et de 48 % (c.-à-d. une diminution absolue de 0,27 passe; Figure 21 c), respectivement. Bien que l'échantillonnage éclairé ait entraîné les diminutions les plus importantes et les plus constantes de l'effort requis pour la détection pour toutes les valeurs d'abondance et de probabilité de capture (Figure 21), le comportement de regroupement a entraîné les plus fortes augmentations de l'effort requis pour la détection lorsque l'abondance était de 25 poissons (avec une augmentation relative de 65 % et une augmentation absolue correspondante de 0,04 passe; Figure 21 d). Il est important de noter que, bien que le regroupement ait eu la plus grande influence (en augmentant l'effort requis pour la détection) lorsque l'abondance était de 25 poissons, la différence absolue entre ce scénario et le scénario de base était relativement faible (env. 1 000 sites) par rapport à la différence entre le scénario de la taille de la zone d'intervention et le scénario de base lorsque l'abondance était de 3 poissons (env. 8 000 sites).

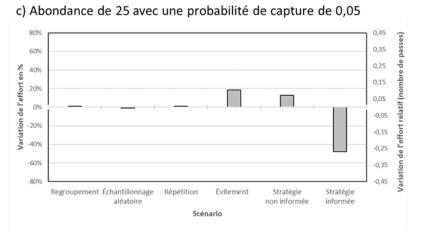
Comme pour la détection, le retrait local était sensible au plan d'échantillonnage, à la zone d'intervention et aux comportements de regroupement et d'évitement. L'échantillonnage éclairé (stratégie informée) a eu la plus grande influence sur le retrait local, diminuant l'effort relatif de

49 % lorsque la probabilité de capture était faible (c.-à-d. de 0,05) et que l'abondance était de 3 poissons (diminution de l'effort absolu de 15,25 passes; Figure 22 a) et de 25 poissons (diminution de l'effort absolu de 33,96 passes; Figure 22 c). L'échantillonnage éclairé a permis de diminuer l'effort relatif de retrait local de 48 % lorsque la probabilité de capture était élevée (c.-à-d. de 0,70) et que l'abondance était de 3 poissons (diminution de l'effort absolu de 0,68 passe; Figure 22 b). L'échantillonnage aléatoire (avec remplacement) a eu une influence légèrement plus importante sur l'effort requis pour le retrait local que l'échantillonnage éclairé lorsque la probabilité de capture était élevée (c.-à-d. 0,70) et que l'abondance était de 25 poissons (augmentation de l'effort relatif de 61 % et de l'effort absolu de 1,82 passe par rapport à la diminution de l'effort relatif de 49 % et de l'effort absolu de 1,46 passe; Figure 22 d).

Les analyses de sensibilité ont montré que lorsque la probabilité de capture est faible, il est important que l'échantillonnage soit aussi ciblé (c.-à-d. éclairé) que possible, tant pour la détection que pour le retrait local. Lorsque la probabilité de capture était élevée, l'effort était sensible à plus de variables; la détection était surtout sensible à l'évitement et au regroupement, tandis que le retrait local était principalement sensible à l'évitement et au plan d'échantillonnage (c.-à-d. l'échantillonnage aléatoire).







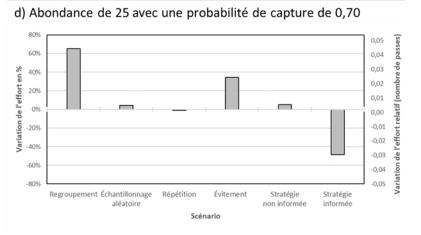
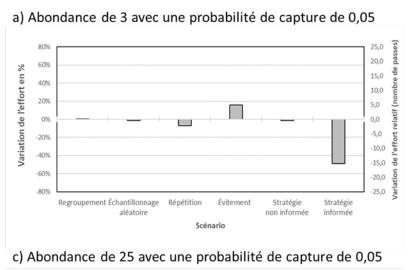
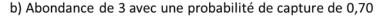
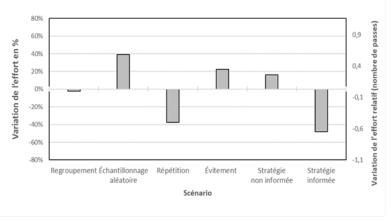
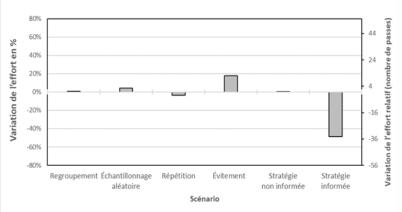


Figure 21. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour détecter des carpes asiatiques lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (répétition), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentage sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,50) pour les abondances de poissons et les probabilités de capture indiquées dans chaque graphique.









d) Abondance de 25 avec une probabilité de capture de 0,70

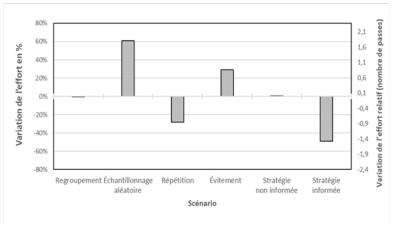


Figure 22. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour le retrait local des carpes asiatiques lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (répétition), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentage sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,50) pour les abondances de poissons et les probabilités de capture indiquées dans chaque graphique.

DISCUSSION

L'analyse a démontré qu'une seule passe d'échantillonnage dans la zone d'intervention peut permettre de détecter les carpes asiatiques et de les retirer des lieux, quels que soient les plans d'échantillonnage et les valeurs de probabilité de capture étavées par la littérature de 0.05 à 0,70. Cependant, des passes répétées dans la zone d'intervention seront nécessaires pour réussir à capturer et à retirer les carpes asiatiques, à moins que l'évitement soit limité et que la probabilité de capture soit élevée (> 0,95) pour la plupart des abondances (c.-à-d. ≥ 5 poissons). Étant donné qu'une seule passe dans une zone d'intervention de 75 ha peut nécessiter environ 83 heures d'échantillonnage (selon un temps de 10 secondes par site), la nécessité d'effectuer de nombreuses passes dans la zone d'intervention représente une tâche difficile pour les équipes de frappe. En outre, les résultats ont démontré que les passes sans captures peuvent être utilisées pour prédire la probabilité qu'une abondance donnée de carpes asiatiques reste dans la zone d'intervention, mais cela nécessite que la probabilité de capture avec l'engin utilisé puisse être déterminée. Par exemple, cing passes vides sont suffisantes pour conclure qu'il ne reste aucune carpe asiatique dans la zone d'intervention, à moins que la probabilité de capture soit faible (c.-à-d. ≤ 0,25). Les résultats ont également démontré que bon nombre des résultats relatifs (nombre de passes) peuvent être adaptés à différentes tailles de zones d'intervention. Bien que l'ampleur absolue de l'effort (nombre de sites) change au fur et à mesure que les équipes de frappe pêchent dans différentes zones d'intervention, les conclusions générales concernant les facteurs qui influencent l'effort relatif s'appliqueront à des interventions de taille variable. Les améliorations apportées aux protocoles d'intervention, notamment le fait de cibler uniquement les habitats propices pour les carpes asiatiques dans une zone d'échantillonnage (échantillonnage éclairé) ou de rééchantillonner les sites immédiatement après les captures (échantillonnage répété), peuvent réduire considérablement l'effort d'échantillonnage; toutefois, le rééchantillonnage n'est efficace que si les poissons présentent un comportement de regroupement. En outre, l'évitement des poissons a considérablement augmenté l'effort requis pour la capture et le retrait local.

Bien qu'il existe des possibilités de réduire l'effort requis pour détecter les carpes asiatiques et les retirer localement (c.-à-d. l'échantillonnage répété), ces approches ne sont pas garanties pour réduire l'effort d'échantillonnage ou augmenter la probabilité d'un retrait local. L'échantillonnage répété a permis de réduire considérablement l'effort requis pour le retrait local en cas de regroupement, mais n'aurait aucune influence lorsque le regroupement des poissons est très faible ou que la probabilité de capture est très élevée (> 0,90), ce qui est peu probable compte tenu de la gamme de valeurs de probabilité de capture étayées dans la littérature (Tableau 1). Par conséquent, si le regroupement des poissons est absent ou limité (c.-à-d. que le taux de regroupement est ≤ 0,25), la mise en œuvre d'un protocole d'échantillonnage répété peut ne pas diminuer l'effort requis pour le retrait local.

L'analyse de sensibilité a montré que quelques facteurs ont une influence constante sur l'effort requis pour la détection ou le retrait local. L'échantillonnage éclairé a obtenu la plus grande diminution de l'effort requis pour la détection et le retrait local dans toute la gamme des valeurs de probabilité de capture et d'abondance, sauf lorsque la probabilité de capture était élevée. Par conséquent, l'accent mis sur l'échantillonnage des habitats de prédilection offre la meilleure possibilité de réduire l'effort d'intervention par rapport à l'intégration de différents plans d'échantillonnage (échantillonnage systématique par rapport à l'échantillonnage aléatoire ou à l'échantillonnage répété après détection).

Compte tenu de l'incertitude des paramètres du modèle utilisés dans les simulations (probabilité de capture, nombre de poissons présents, taux de regroupement et taux d'évitement des poissons), il peut être utile de présumer le pire des scénarios lors de la détermination de l'effort

requis pour la détection et le retrait local. Dans le cas de la détection, le pire des scénarios comportait une faible probabilité de capture et peu de carpes présentes, et un taux d'évitement élevé. Dans le cas du retrait local, le pire des scénarios comportait une faible probabilité de capture, un nombre élevé de carpes présentes et des taux d'évitement élevés. Des analyses supplémentaires devraient prendre en compte les conséquences d'une erreur sur ces paramètres lors de la mise en œuvre des plans d'échantillonnage.

Plusieurs limites et incertitudes doivent être précisées. La première limite est qu'on a présumé que la probabilité de capture était semblable pour chaque individu (poisson) et dans toute la zone d'intervention. La capturabilité est influencée par de nombreux facteurs, notamment l'habitat et la taille des poissons (Tableau 2), qui sont tous censés varier au cours d'une intervention, ce qui influe sur la probabilité de capture. Par exemple, les poissons situés dans une zone d'intervention peuvent être de tailles différentes, chacun ayant des probabilités de capture variables en raison des effets relatifs à la taille. Les probabilités individuelles de capture peuvent varier encore plus si les poissons occupent des sites de structure physique différente (profondeur de l'eau, substrat, végétation, etc.). Un petit nombre de passes peut être suffisant pour capturer une grosse carpe asiatique dans un habitat dépourvu de structures complexes; cependant, plusieurs passes peuvent être nécessaires pour capturer des individus plus petits ou des individus dans un habitat complexe. Par conséguent, les estimations de l'effort pour une densité de poissons modérée à faible (c.-à-d. des taux de regroupement modérés à élevés avec des abondances modérées à faibles) peuvent être trop optimistes, en particulier dans les habitats plus complexes. En outre, la densité des poissons peut influer sur la probabilité de capture, car des facteurs tels que la saturation des engins peuvent diminuer la capturabilité (Schoenebeck et Hansen 2005) et ainsi, la probabilité de capture individuelle à des taux de regroupement faibles peut être plus élevée que la probabilité de capture individuelle à un regroupement élevé. La saturation des engins pour la pêche à l'électricité est probablement beaucoup plus importante que pour les densités de poissons intégrées dans la présente analyse (p. ex. Schoenebeck et Hansen 2005); toutefois, cela peut poser un plus grand problème pour l'échantillonnage au filet (Portt et al. 2006).

Les résultats présentés dans cette analyse fournissent des probabilités de capture simplifiées, qui doivent être prises en compte lors de l'évaluation des estimations de l'effort pour les engins de capture utilisés sur le terrain. Une autre limite est que l'émigration possible des carpes asiatiques à partir de la zone d'intervention n'a pas été intégrée. Certains lieux d'intervention visités par les équipes de frappe du MPO étaient relativement confinés, de sorte que l'émigration à partir de la zone d'intervention était peu probable (p. ex. le lac Gibson et le port de Jordan); cependant, d'autres lieux (p. ex. les îles Toronto) comportaient peu de confinements physiques, ce qui pouvait permettre aux carpes asiatiques de quitter la zone d'intervention et d'éviter ainsi la capture. Les données de télémétrie de la carpe de roseau dans les Grands Lacs indiquent que, bien qu'elle puisse se déplacer à grande échelle, la probabilité d'un tel déplacement est faible (Harris et al. 2021, complété par des données supplémentaires, T. Brenden, Michigan State University, données inédites; voir l'Annexe C); cependant, ces données ne permettent pas de documenter les déplacements à petite échelle (< 100 m) qui peuvent être suffisants pour que les individus (poissons) quittent les zones d'intervention. Bien que l'émigration à partir de la zone d'intervention n'ait pas été quantifiée, il s'agit d'une situation réaliste qui influencerait la capacité des équipes de frappe à capturer tous les poissons disponibles. La possibilité d'émigration augmente probablement avec le temps écoulé depuis la première détection, ce qui est à noter étant donné que certains scénarios ont nécessité plusieurs, voire des centaines, de passes dans la zone d'intervention pour réussir à en retirer les poissons. La possibilité que les poissons quittent la zone d'intervention avant d'être détectés par les équipes de frappe justifie une étude plus approfondie.

Une limite supplémentaire est qu'on a présumé que l'échantillonnage éclairé pouvait déterminer avec précision, a priori, les sites contenant des carpes asiatiques en fonction de facteurs externes (p. ex. l'état de l'habitat). Certaines préférences en matière d'habitat ont été cernées pour les carpes asiatiques (p. ex. la carpe de roseau préfère les habitats peu profonds et végétalisés [Cudmore et Mandrak 2004] ainsi que les habitats à structure complexe comprenant de gros débris ligneux [Weberg et al. 2020]); toutefois, bon nombre de ces études ont été menées à l'extérieur du bassin des Grands Lacs. Les espèces envahissantes peuvent présenter un comportement nouveau (y compris en ce qui concerne la préférence en matière d'habitat) dans de nouveaux environnements (p. ex. Kolar et al. 2007, Cucherousset et al. 2012, Liu et al. 2020). Les préférences des carpes asiatiques en matière d'habitat dans le bassin peuvent donc différer de ce qui est documenté dans la littérature. Bien que les résultats démontrent la valeur d'un échantillonnage éclairé, cet échantillonnage nécessite une détermination précise des sites occupés, sinon les poissons restants ne seront pas détectés.

Les modèles n'ont pas évalué directement l'avantage éventuel du rassemblage des poissons, qui peut se produire lorsque l'échantillonnage est effectué avec plusieurs engins. Lors des interventions relatives aux carpes asiatiques, les équipes de frappe déploient souvent des trémails et des bateaux de pêche à l'électricité dans la zone d'intervention. Les deux méthodes ont permis de capturer des carpes asiatiques; cependant, les captures dans les trémails peuvent augmenter lorsque la pêche à l'électricité en bateau est utilisée pour diriger les poissons vers les filets (Butler et al. 2019). Bien que l'incidence du rassemblage des poissons dans les filets au moyen d'un bateau n'ait pas été explicitement évaluée, l'avantage de cette méthode peut être représenté dans les modèles par des valeurs de probabilité de capture élevées (p. ex. près de la limite supérieure de capturabilité de 0,70 étayée dans la littérature) ou par des zones de réponse plus petites. Le rassemblage pourrait également être utilisé pour réduire l'effort requis pour le retrait local si les poissons qui sont initialement dispersés dans la zone d'intervention peuvent être rassemblés dans une petite zone à l'intérieur de la zone d'intervention. Si les poissons restaient piégés dans cette zone plus petite, l'effort requis serait semblable à la réduction de la taille de la zone d'intervention. Malgré les avantages éventuels du rassemblage pour réduire l'effort d'intervention, cette méthode pourrait également avoir l'effet involontaire d'augmenter les taux de déplacement des poissons, ce qui pourrait conduire à leur évitement ou possiblement à leur émigration à partir de la zone d'intervention.

Il est important de reconnaître que les résultats de cette analyse ne sont pas limités aux facteurs spécifiques aux carpes asiatiques. Les résultats sont donc transférables à d'autres espèces d'intérêt (envahissantes ou non). L'application des résultats à d'autres espèces nécessite d'évaluer la pertinence des valeurs des paramètres sous-jacents (abondance des poissons, probabilité de capture, comportement d'évitement et de regroupement) dans le contexte de chaque espèce d'intérêt.

Les simulations ont démontré que plusieurs passes dans la zone d'intervention seront probablement nécessaires pour capturer et retirer localement les carpes asiatiques dans la gamme de probabilités de capture de 0,05 à 0,70 pour les carpes asiatiques étayée dans la littérature, en fonction de la pêche à l'électricité (Tableau 1). Cependant, on ne sait toujours pas comment la probabilité de capture des trémails se compare à celle de la pêche à l'électricité ou à une approche conjointe utilisant les deux engins simultanément. Certaines données laissent entendre que les captures au trémail peuvent être comparables ou même supérieures à celles de la pêche à l'électricité (Herbst *et al.* 2021). Bien que la plupart des captures effectuées dans le cadre des interventions du MPO aient eu lieu à l'aide de trémails (p. ex. au lac Gibson), d'autres études ont montré qu'un plus grand nombre de carpes de roseau ont été capturées par la pêche à l'électricité comparativement à la pêche au filet (c.-à-d. au filet maillant et à la senne commerciale) (Herbst *et al.* 2021). Dans la plupart des cas, des efforts considérables ont été

nécessaires pour capturer les carpes asiatiques et d'autres espèces de carpes. Par exemple, un échantillonnage antérieur dans sept zones où l'ADN environnemental a été détecté pour la carpe de roseau a donné lieu à deux captures après 96 heures de pêche à l'électricité, alors que plusieurs filets (filets maillants et sennes commerciales) n'ont donné lieu à aucune capture de carpe (Herbst et al. 2021). Le carassin commun a échappé aux captures à la senne, au filet maillant et au filet-trappe et n'a été capturé avec succès qu'au moyen de la pêche à l'électricité, tandis que la carpe commune a été capturée avec succès par toutes les méthodes (Barthelmes et Brämick 2003). La pêche au filet maillant a donné lieu à une capture par unité d'effort (CPUE) plus élevée que la pêche à la bastude pour la carpe commune; toutefois, la pêche à l'électricité en bateau au cours de la même période a permis de capturer un nombre nettement plus élevé de carpes (Norris et al. 2014). La pêche à l'électricité peut avoir des taux de capture pour la carpe commune nettement supérieurs à ceux d'autres techniques, notamment la pêche à la ligne, le verveux, la senne et la palangre (Norris et al. 2014) et peut donner lieu à des valeurs de CPUE nettement supérieures à celles obtenues avec les filets maillants dans les habitats lagunaires (Norris et al. 2014).

Dans l'ensemble, les résultats ont démontré qu'un effort important est nécessaire pour le retrait local lorsque la probabilité de capture est faible (< 0.25), en particulier lorsque l'abondance est modérée à élevée (> 15 poissons). L'effort requis estimé pour le retrait local est conforme à la littérature. Par exemple, l'échantillonnage en trois passes a été jugé inefficace pour le retrait local efficace d'autres espèces de carpes, dont le carassin argenté (Card et al. 2020). Les tentatives d'éradication sans l'utilisation de méthodes de lutte chimique peuvent prendre des années, voire des décennies, d'échantillonnage annuel de retrait pour réussir à éradiquer les petites populations de poissons dans une zone (p. ex. la truite; Bosch et al. 2019), bien que les méthodes de lutte chimique (p. ex. la roténone) soient souvent nécessaires (p. ex. l'omble de fontaine; Banish et al. 2019). Par conséquent, si le retrait local des carpes asiatiques reste un objectif principal, il faudra déployer des efforts considérables ou utiliser des techniques permettant d'améliorer la probabilité de capture. Compte tenu de l'effort considérable nécessaire pour le retrait local (qui peut être irréalisable en raison de contraintes logistiques), l'intégration des connaissances sur la relation entre l'abondance des poissons et l'établissement des espèces peut aider à déterminer l'abondance critique de poissons restants qui seraient peu susceptibles d'établir une population reproductrice. Des modèles de simulation ont évalué la possibilité de réussite de l'établissement de la carpe asiatique avec relativement peu de propagules (< 25 adultes; Cuddington et al. 2014, Smyth et Drake 2021), mais plus le nombre d'individus retirés d'une zone d'intervention est élevé, plus la probabilité d'établissement diminue (Cassey et al. 2018). En l'absence d'une telle approche, les facteurs décrits ci-dessus (amélioration de la probabilité de capture et échantillonnage éclairé) offrent la meilleure possibilité d'améliorer la détection et l'efficacité du retrait local.

Bien que cette analyse ait permis d'estimer l'effort requis pour la détection et le retrait local des carpes asiatiques, ces estimations peuvent être affinées par des études et des expérimentations futures. L'une des plus grandes incertitudes concerne la probabilité de capture des carpes asiatiques. Des études d'épuisement sur le terrain ou des efforts d'échantillonnage répété avec des filets d'isolement pourraient aider à préciser la gamme des valeurs de probabilité de capture prises en compte dans le présent rapport. En outre, d'autres incertitudes entourant le déplacement des poissons, y compris l'émigration et le comportement d'évitement, pourraient être examinées par des études de déplacement à petite échelle dans lesquelles le déplacement des poissons pendant l'intervention et leur possibilité de regroupement sont estimés. De plus, une meilleure compréhension des préférences d'habitat des carpes asiatiques dans le bassin des Grands Lacs améliorerait la détermination d'un habitat propice lors des activités d'intervention, ce qui permettrait de profiter des avantages d'un

échantillonnage éclairé. Chacune de ces études possibles pourrait réduire considérablement les incertitudes concernant l'effort d'intervention requis pour la détection et le retrait local.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les participants à la réunion d'examen par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques, dont les commentaires ont considérablement amélioré ce document de recherche. Nous remercions également T. Brenden d'avoir fourni des données de télémétrie de la carpe de roseau afin d'éclairer le déplacement éventuel des carpes asiatiques. Nous sommes reconnaissants à D. Marson et J. Colm d'avoir fourni des données du Programme de lutte contre les carpes asiatiques et d'avoir fourni des détails sur les efforts d'intervention antérieurs.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Allard, L., Grenouillet, G., Khazraie, K., Tudesque, L., Vigouroux, R., and Brosse, S. 2014. Electrofishing efficiency in low conductivity neotropical streams: Towards a non-destructive fish sampling method. Fish. Manag. Ecol. 21(3): 234–243.
- Alós, J., Campos-Candela, A., and Arlinghaus, R. 2019. A modelling approach to evaluate the impact of fish spatial behavioural types on fisheries stock assessment. ICES J. Mar. Sci. 76(2): 489–500.
- Arreguín-Sánchez, F. 1996. Catchability: A key parameter for fish stock assessment. Rev. Fish Biol. Fish. 6: 221–242.
- Bajer, P.G., Chizinski, C.J., and Sorensen, P.W. 2011. Using the Judas technique to locate and remove wintertime aggregations of invasive common carp. Fish. Manag. Ecol. 18(6): 497–505.
- Balık, İ., and Çubuk, H. 2001. Effect of net colours on efficiency of monofilament gillnets for catching some fish species in Lake Beyşehir. Turkish J. Fish. Aquat. Sci. 1(2): 29–32.
- Balık, İ., and Çubuk, H. 2004. Effect of net twine on efficiency of trammel nets for catching Carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in Lake Beyşehir and Silver Crucian Carp (*Carassius gibelio* Bloch, 1782) in Lake Eğirdir. Turkish J. Fish. Aguat. Sci. 4(1): 39–44.
- Banish, N.P., Tinniswood, W.R., and Smith, T.A. 2019. Electrofishing, snorkel spearing, and piscicide eradicate Brook Trout from a small, isolated Bull Trout population. J. Fish Wildl. Manag.10(1): 219–227.
- Barthelmes, D., and Brämick, U. 2003. Variability of a cyprinid lake ecosystem with special emphasis on the native fish fauna under intensive fisheries management including Common Carp (*Cyprinus carpio*) and Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). Limnologica 33(1): 10–28.
- Basler, M.C., and Schramm, H.L. 2006. Evaluation of electrofishing and fyke netting for collecting Black Carp in small ponds. Trans. Am. Fish. Soc. 135(2): 277–280.
- Bayley, P.B., and Austen, D.J. 2002. Capture efficiency of a boat electrofisher. Trans. Am. Fish. Soc. 131(3): 435–451.
- Benejam, L., Alcaraz, C., Benito, J., Caiola, N., Casals, F., Maceda-Veiga, A., de Sostoa A., and García-Berthou, E. 2012. Fish catchability and comparison of four electrofishing crews in Mediterranean streams. Fish. Res. 123–124: 9–15.

- Bosch, J., Bielby, J., Martin-Beyer, B., Rincón, P., Correa-Araneda, F., Boyero, L. 2019. Eradication of introduced fish allows successful recovery of a stream-dwelling amphibian. PLoS ONE 14(4): e0216204.
- Bouska, W.W., Glover, D.C., Bouska, K.L., and Garvey, J.E. 2017. A refined electrofishing technique for collecting Silver Carp: Implications for management. N. Am. J. Fish. Manag. 37(1): 101–107.
- Butler, S.E., Porreca, A.P., Collins, S.F., Freedman, J.A., Parkos, J.J., Diana, M.J., and Wahl D.H. 2019. Does fish herding enhance catch rates and detection of invasive bigheaded carp? Biol. Invasions. 21: 775–785.
- Campbell, T.S. 2007. The role of early detection and rapid response in thwarting amphibian and reptile introductions in Florida. *In* Managing vertebrate invasive species: proceedings of an international symposium. Edited by G.W. Witmer, W.C. Pitt, and K.A. Fagerstone. USDA/APHIS Wildlife Services, National Wildlife Research Center, Fort Collins, Colorado, USA p. 6.
- Card, J.T, Hasler, C., Ruppert, J., Donadt, C., and Poesch, M. 2020. A three-pass electrofishing removal strategy is not effective for eradication of Prussian Carp in a North American stream network. J. Fish Wildl. Manag. 11(2): 485–493.
- Cassey, P., Delean, S., Lockwood, J.L., Sadowski, J.S., and Blackburn, T.M. 2018. Dissecting the null model for biological invasions: A meta-analysis of the propagule pressure effect. PLoS Biol. 16(4): e2005987.
- Chapman, D.C., Davis J.J., Jenkins, J.A., Kocovsky, P.M., Miner, J.G., Farver, J., and Jackson, P.R. 2013. First evidence of Grass Carp recruitment in the Great Lakes Basin. J. Great Lakes Res. 39(4): 547–554.
- Colm, J., Marson, D., and Cudmore, B. 2018. Results of Fisheries and Oceans Canada's 2016

 <u>Asian Carp Early Detection Field Surveillance Program</u>. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3147. vii + 67 p.
- Cucherousset, J., Boulêtreau, S., Azémar, F., Compin, A., Guillaume, M., and Santoul, F. 2012. "Freshwater Killer Whales": Breaching behavior of an alien fish to hunt land birds. PLoS ONE 7(12): e50840.
- Cuddington, K., Currie, W.J.S., and Koops, M.A. 2014. Could an Asian carp population establish in the Great Lakes from a small introduction? Biol. Invasions 16: 903–917.
- Cudmore, B., and N.E. Mandrak. 2004. <u>Biological synopsis of grass carp (*Ctenopharyngodon della*)</u>. Can. Manuscr. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 2705: v + 44 p.
- Cudmore, B., Mandrak, N.E., Dettmers, J.M., Chapman, D.C., and Kolar, C.S. 2011. <u>Binational ecological risk assessment of Bigheaded carps (*Hypophthalmichthys* spp.) for the Great <u>Lakes basin</u>. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2011/114. vi + 57 p.</u>
- Cudmore, B., Jones, L.A., Mandrak, N.E., Dettmers, J.M., Chapman, D.C., Kolar, C.S., and Conover, G. 2017. Ecological risk assessment of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) for the Great Lakes basin. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/118. vi + 115 p.
- Cumming, K.B., Burress, R.M., and Gilderhus, P.A. 1975. Controlling Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) With Antimycin, Rotenone and Thanite and by electrofishing. Prog. Fish-Cult. 37(2): 81–84.

- Embke, H.S., Kocovsky, P.M., Richter, C.A., Pritt, J.J., Mayer, C.M., and Qian, S.S. 2016. First direct confirmation of grass carp spawning in a Great Lakes tributary. J. Great Lakes Res. 42(4): 899–903.
- Ghosal, R., Xiong, P.X., Sorensen, P.W. 2016. Invasive bighead and silver carps form different sized shoals that readily intermix. PLoS ONE 11(6): e0157174.
- Harris, C., Brenden, T.O., Vandergoot, C.S., Faust, M.D., Herbst, S.J., Krueger, C.C. 2021. Tributary use and large-scale movements of grass carp in Lake Erie. J. Great Lakes Res. 47(1): 48–58.
- Herbst, S.J., Nathan, L.R., Newcomb, T.J., DuFour, M.R., Tyson, J., Weimer, E., Buszkiewicz, J., and Dettmers, J.M. 2021. An adaptive management approach for implementing multijurisdictional response to grass carp in Lake Erie. J. Great Lakes Res. 47(1) 96–107.
- Hicks, B.J., Jones, M.H., de Villiers, J.E., and Ling, N. 2015. Use of electrofishing for capturing invasive fish. *In* New Zealand Invasive Fish Management Handbook. Edited by K. J. Collier and N. P. J. Grainger. Lake Ecosystem Restoration New Zealand (LERNZ) & Department of Conservation, Hamilton, New Zealand. pp 72–79.
- Hicks, B.J., Osborne, M.W., and Ling, N. 2006. Quantitative estimates of fish abundance from boat electrofishing. *In* A guide to monitoring fish stocks and aquatic ecosystems. Edited by M. Phelan and H. Bajhau. Australian Society for Fish Biology Workshop 11-15th July 2005. Darwin, Northern Territory, Australia. pp. 104–111.
- Hockin, D.C., O'Hara K., Gragg-Hine D., and Eaton, J.W. 1985. Fish population estimation: the use of rotenone to evaluate the reliability of a removal technique. Aquacult. Fish. Manag. 16(4): 349–357.
- Jacobs, K.E., and Swink, W.D. 1982. Estimations of fish population size and sampling efficiency of electrofishing and rotenone in two Kentucky tailwaters. N. Am. J. Fish. Manag. 2(3): 239–248.
- Jester, D.B. 1973. Variations in Catchability of Fishes with Color of Gillnets. Trans. Am. Fish. Soc. 102(1): 109–115.
- Kolar, C.S., Chapman, D.C., Courtenay, W.R.J., Housel, C.M., Jennings, D.P., and Williams, J.D. 2007. Bigheaded Carps: A biological synopsis and environmental risk assessment. American Fisheries Society Special Publication 33., Bethesda, Maryland. 204 p.
- Lauretta, M.V., Camp, E.V., Pine, W.E., and Frazer, T.K. 2013. Catchability model selection for estimating the composition of fishes and invertebrates within dynamic aquatic ecosystems. Can. J. Fish. Aguat. Sci. 70: 381–392.
- Layher, W.G., and Maughan, O.E. 1984. Comparison efficiencies of three sampling techniques for estimating fish populations in small streams. Prog. Fish-Cult. 46(3): 180–184.
- Liu C., Wolter C., Xian W., and Jeschke J.M. 2020. Most invasive species largely conserve their climatic niche. PNAS 117(38): 23643–23651.
- MacNamara, R., Coulter, D.P., Glover, D.C., Lubejko, A.E., and Garvey, J.E. 2018. Acoustically derived habitat associations of sympatric invasive Bigheaded carps in a large river ecosystem. River Res. Appl. 34(6): 555–564.
- Marson, D., Colm, J., and Cudmore, B. 2018. Results of Fisheries and Oceans Canada's 2015

 <u>Asian Carp Early Detection Field Surveillance Program</u>. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3146: vii+ 63 p.

- McClelland, M.A., Irons, K.S., Sass, G.G., O'Hara, T.M., and Cook, T.R. 2013. A comparison of two electrofishing programmes used to monitor fish on the Illinois River, Illinois, USA. River Res. Appl. 29(1): 125–133.
- Neess, J.C., Helm, W.T., and Threinen, C.W. 1957. Some vital statistics in a heavily exploited population of Carp. J. Wildl. Manag. 21(3): 279–292.
- Norris, A., Hutchison, M., Chilcott, K., and Stewart, D. 2014. Effectiveness of carp removal techniques: options for local governments and community. Invasive Animals Cooperative Research Centre, Canberra, Australia, 103 p.
- Penne, C.R., and Pierce, C.L. 2008. Seasonal Distribution, Aggregation, and Habitat Selection of Common Carp in Clear Lake, Iowa. Trans. Am. Fish. Soc. 137(4): 1050–1062.
- Pierce, R.B., Tomcko, C.M., Pereira, D.L., Staples, D.F. 2010. Differing catchability among lakes: Influences of lake basin morphology and other factors on gill-net catchability of Northern Pike. Trans. Am. Fish. Soc. 139(4): 1109–1120.
- Portt, C.B., Coker, G.A., Ming, D.L., and Randall, R.G. 2006. <u>A review of fish sampling methods commonly used in Canadian freshwater habitats</u>. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2604: v + 51.
- Prechtel, A.R., Coulter, A.A., Etchison, L., Jackson, P.R., and Goforth, R.R. 2018. Range estimates and habitat use of invasive Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*): evidence of sedentary and mobile individuals. Hydrobiologia 805: 203–218.
- Rabaglia, R.J., Cognato, A.I., Hoebeke, E.R., Johnson, C.W., LaBonte, J.R., Carter, M.E., and Vlach, J.J. 2019. Early detection and rapid response: A 10-year summary of the USDA Forest Service Program of surveillance for non-native Bark and Ambrosia Beetles. Am. Entomol. 65(1): 29–42.
- Reaser, J.K., Burgiel, S.W., Kirkey, J., Brantley, K.A., Veatch, S.D., and Burgos-Rodríguez, J. 2020. The early detection of and rapid response (EDRR) to invasive species: a conceptual framework and federal capacities assessment. Biol. Invasions 22: 1–19.
- Rogers, M.W., Hansen, M.J., and Beard, T.D.J. 2003. Catchability of Walleyes to fyke netting and electrofishing in northern Wisconsin Lakes. N. Am. J. Fish. Manag. 23(4): 1193–1206.
- RStudio Team. 2018. RStudio: Integrated development for R. Boston, MA: RStudio Inc.
- Schoenebeck, C.W., and Hansen, M.J. 2005. Electrofishing catchability of Walleyes, Largemouth Bass, Smallmouth Bass, Northern Pike, and Muskellunge in Wisconsin Lakes. N. Am. J. Fish. Manag. 2(4)5: 1341–1352.
- Smith, B.J., Simpkins, D.G., and Strakosh, T.R. 2017. How quickly do fish communities recover from boat electrofishing in large lakes? J. Fish. Wildl. Manag. 8(2): 625–631.
- Smyth, E.R.B., Koops, M.A., and Drake, D.A.R. 2021. <u>Simulation Model Results to Estimate the Effort Required to Detect Asian Carps in the Laurentian Great Lakes Basin</u>. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1345: vii + 20 p.
- Smyth, E.R.B., and Drake, D.A.R. 2021. The role of propagule pressure and environmental factors on the establishment of a large invasive cyprinid: black carp in the Laurentian Great Lakes basin. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 79: 6–20.
- Vander Zanden, M.J., Hansen, G.J.A., Higgins, S.N., and Kornis, M.S. 2010. A pound of prevention, plus a pound of cure: Early detection and eradication of invasive species in the Laurentian Great Lakes. J. Great Lakes Res. 36(1): 199–205.

- Waugh, J. 2009. Neighborhood Watch: Early Detection and Rapid Response to Biological Invasion along US Trade Pathways. The International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland. 91 p.
- Weber, M.J., Hennen, M.J., Brown, M.L., Lucchesi, D.O., and St. Sauver T.R. 2016. Compensatory response of invasive common carp *Cyprinus carpio* to harvest. Fish. Res. 179: 168–178.
- Weberg, M.A., Murphy, B.R., Copeland, J.R., and Rypel, A.L. 2020. Movement, habitat use, and survival of juvenile grass carp in an Appalachian reservoir. Env. Biol. Fishes 103: 495–507.
- Westbrooks, R.G. 2004. New approaches for early detection and rapid response to invasive plants in the United States. Weed Technol. 18: 1468–1471.
- Westbrooks, R.G., and Eplee, R.E. 2011. Early detection and rapid response. *In* Encyclopedia of Biological Invasions. Edited by D. Simberloff and M. Rejmánek. University of California Press, California, U.S. pp. 169–177.
- Wilberg, M.J., Thorson, J.T., Linton, B.C., and Berkson, J. 2010. Incorporating time-varying catchability into population dynamic stock assessment models. Rev. Fish. Sci. 18(1): 7–24.

ANNEXE A. GLOSSAIRE DES PRINCIPAUX TERMES

Capturabilité : Probabilité que les poissons d'un site soient capturés pendant un événement d'échantillonnage selon l'unité d'effort ou l'intensité de pêche.

Détection: Effort requis pour capturer un poisson après la mise en œuvre d'une intervention.

Retrait local : Retrait de toutes les carpes asiatiques présentes dans une zone d'intervention.

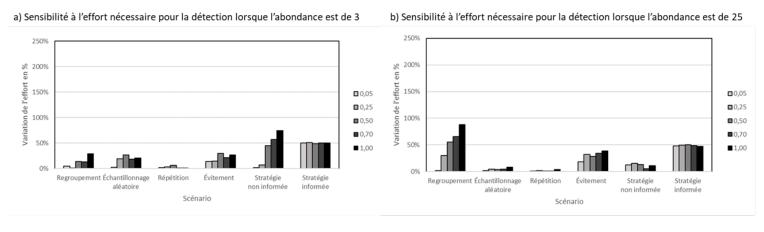
Probabilité de capture : Probabilité qu'un poisson dans un site soit capturé après un seul événement d'échantillonnage.

Zone d'intervention : Zone définie qui est utilisée pour délimiter l'échelle spatiale des activités d'intervention après la détection.

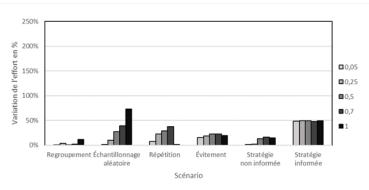
Zone d'échantillonnage : Zone définie dans la zone d'intervention où les équipes de frappe prélèvent des échantillons pour capturer des carpes asiatiques.

Site : Un carré de 5 m x 5 m à l'intérieur de la zone d'échantillonnage qui est échantillonné par les équipes de frappe et où des poissons pourraient être présents.

ANNEXE B. RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ







d) Sensibilité à l'effort nécessaire pour l'éradication lorsque l'abondance est de 25

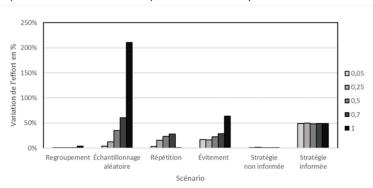


Figure B1. Variation en pourcentage dans l'effort requis pour la détection (graphiques a et b) et le retrait local (graphiques b et c) des carpes asiatiques pour toutes les probabilités de capture lorsque : des regroupements de poissons de l'ordre de 0,75 se produisaient (regroupement), un échantillonnage aléatoire était mis en œuvre (échantillonnage aléatoire), un échantillonnage répété avait lieu avec trois échantillons par site (échantillonnage répété), les poissons affichaient un comportement d'évitement avec un taux de 0,25 (évitement), les équipes échantillonnaient la totalité de la zone d'échantillonnage de 75 ha, mais seulement 50 % de la zone d'intervention convenait aux carpes asiatiques (stratégie non informée), et lorsque les équipes étaient informées et échantillonnaient seulement la zone appropriée pour les carpes asiatiques qui correspondait à 50 % de la zone d'intervention (stratégie informée). Les variations en pourcentages sont en fonction des résultats du modèle de base (regroupements de poissons à 0,5) pour des abondances de 3 poissons (graphiques a et c) et de 25 poissons (graphiques b et d).

ANNEXE C. RÉSUMÉ DES DONNÉES DE TÉLÉMÉTRIE DE LA CARPE DE ROSEAU

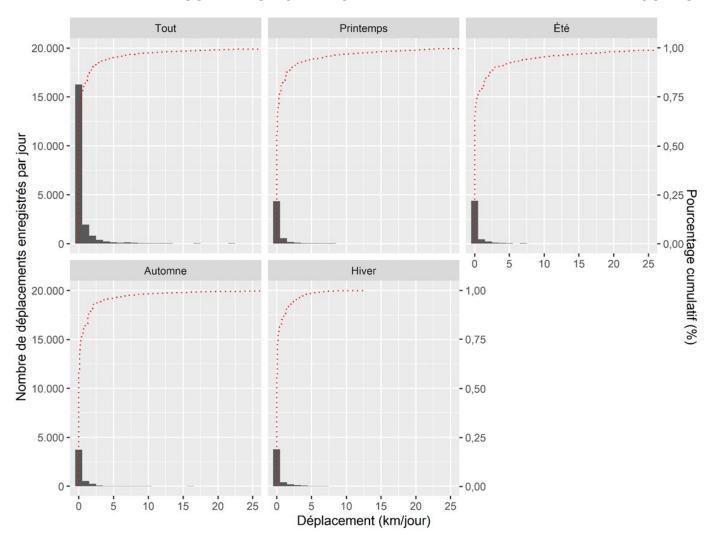


Figure C1. Fréquence et pourcentage cumulatif (%) des déplacements quotidiens de la carpe de roseau (km/jour) d'après les travaux de télémétrie effectués d'octobre 2014 à mars 2020 (Harris et al. 2021 et T. Brenden, Michigan State University, données inédites).

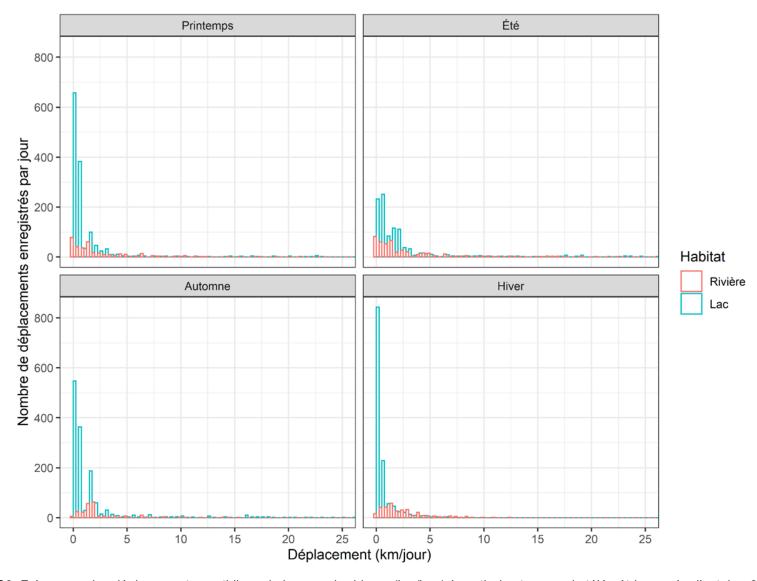


Figure C2. Fréquence des déplacements quotidiens de la carpe herbivore (km/jour) à partir des travaux de télémétrie menés d'octobre 2014 à mars 2020, en retirant les déplacements nuls, pour toutes les saisons et tous les habitats échantillonnés (Harris et al. 2021 et T. Brenden, Michigan State University, données inédites).