



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

**Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)**

---

**Document de recherche 2019/034**

**Région du Centre et de l'Arctique**

**Modélisation du potentiel de rétablissement du méné long  
(*Clinostomus elongatus*) au Canada**

**Adam S. van der Lee, Mark S. Poesch, D. Andrew R. Drake, et Marten A. Koops**

Pêches et Océans Canada  
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques  
867 Lake Shore Rd.  
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 de consultation scientifique  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>  
[csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020  
ISSN 2292-4272

### La présente publication doit être citée comme suit :

van de Lee, A.S., Poesch, M.S., Drake, D.A.R., et Koops, M.A. 2020. Modélisation du potentiel de rétablissement du méné long (*Clinostomus elongatus*) au Canada. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/034. v + 44 p.

### Also available in English :

van der Lee, A.S., Poesch, M.S., Drake, D.A.R., and Koops, M.A. 2020. Recovery Potential Modelling of Redside Dace (*Clinostomus elongatus*) in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/034. v + 40 p.

---

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	v
INTRODUCTION .....	1
MÉTHODES .....	1
SOURCES .....	2
MODÈLE .....	2
Estimations des paramètres .....	4
Croissance .....	5
Reproduction .....	7
Mortalité .....	8
Métapopulation .....	10
STOCHASTICITÉ .....	11
Fécondité .....	12
Mortalité .....	12
Taux de croissance de la population .....	13
ANALYSE DE SENSIBILITÉ .....	13
EFFORT DE RÉTABLISSEMENT ET DOMMAGES ADMISSIBLES .....	14
OBJECTIFS DE RÉTABLISSEMENT .....	15
Abondance : Population minimale viable (PMV) .....	15
Habitat essentiel : Superficie minimale pour une population viable (SMPV) .....	16
STRATÉGIES DE RÉTABLISSEMENT ET DURÉE DU RÉTABLISSEMENT .....	17
RÉSULTATS .....	18
ANALYSE DE SENSIBILITÉ .....	18
EFFORT DE RÉTABLISSEMENT ET DOMMAGES ADMISSIBLES .....	19
Effort de rétablissement et dommages chroniques admissibles .....	19
Dommages temporaires admissibles .....	22
OBJECTIFS DE RÉTABLISSEMENT .....	23
Abondance : Population minimale viable (PMV) .....	23
Habitat essentiel : Superficie minimale pour une population viable (SMPV) .....	25
STRATÉGIES DE RÉTABLISSEMENT ET DURÉE DU RÉTABLISSEMENT .....	26
DISCUSSION .....	28
ÉLÉMENTS .....	28
Élément 3 : Estimer les paramètres actuels ou récents du cycle biologique du méné long. ....	28
Élément 12 : Proposer des objectifs de rétablissement concernant l'abondance et la répartition .....	29
Élément 13 : Projeter les trajectoires attendues des populations sur une période raisonnable (minimum de 10 ans) sur le plan scientifique et des trajectoires au fil du temps jusqu'à l'atteinte des objectifs de rétablissement potentiels, en fonction des paramètres actuels de la dynamique des populations de méné long. ....	32
Élément 14 : Présenter un avis sur la mesure dans laquelle l'habitat approprié disponible répond aux besoins de l'espèce, tant actuellement que lorsque les objectifs de rétablissement de l'espèce proposés dans l'élément 12 sont atteints. ....	32

---

Élément 15 : Évaluer la probabilité que les objectifs possibles de rétablissement puissent être atteints selon les paramètres actuels de la dynamique des populations et comment cette probabilité pourrait varier selon différents paramètres de mortalité (en particulier selon des valeurs plus faibles) et de productivité (en particulier selon des valeurs plus élevées). .....	33
Élément 19 : Estimer la diminution attendue du taux de mortalité découlant de chaque mesure d'atténuation et activité de rechange énumérée dans l'élément 16, ainsi que l'augmentation de la productivité ou de la survie associée à chaque mesure de l'élément 17.....	33
Élément 20 : Projeter la trajectoire attendue des populations (et les incertitudes) sur une période raisonnable du point de vue scientifique et jusqu'au moment d'atteindre les objectifs de rétablissement, en fonction des taux de mortalité et des taux de productivité en rapport avec les mesures particulières aux fins d'examen énoncées dans l'élément 19. Inclure les objectifs qui présentent la plus forte probabilité possible de survie et de rétablissement pour des valeurs de paramètres réalistes sur le plan biologique.....	33
Élément 21 : Recommander des valeurs de paramètres sur les taux de productivité et de mortalité initiaux et, si nécessaire, des caractéristiques particulières concernant les modèles de population qui pourraient être requises pour permettre l'exploration d'autres scénarios dans le cadre de l'évaluation des incidences économiques, sociales et culturelles en appui au processus d'inscription. ....	34
Élément 22 : Évaluer le taux maximal de mortalité et de destruction de l'habitat anthropiques que l'espèce peut soutenir sans risque pour sa survie ou son rétablissement. ....	34
SOURCES D'INCERTITUDE .....	35
RÉFÉRENCES CITÉES.....	36
ANNEXE 1 .....	38
ANNEXE 2.....	40
ANNEXE 3.....	43

---

## RÉSUMÉ

Le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a désigné le méné long (*Clinostomus elongatus*) comme étant une espèce en voie de disparition au Canada. Ce document présente la modélisation de la population afin d'établir les objectifs de rétablissement en fonction de la population, d'évaluer les dommages admissibles, et de réaliser des prévisions à long terme du rétablissement de la population à l'appui d'une évaluation du potentiel de rétablissement (EPR). Des analyses démontrent que la dynamique des populations de méné long est particulièrement sensible aux perturbations qui ont des répercussions sur la survie des individus immatures (de l'éclosion à l'âge 2) et sur la fécondité à l'échelle de la population. Il faut réduire le plus possible les dommages à ces stades du cycle biologique si l'on veut éviter de mettre en péril la survie et le rétablissement futur des populations canadiennes. La structure de la métapopulation a été intégrée aux analyses. La manière dont les catastrophes ont affecté des segments de la métapopulation a influé sur les estimations des objectifs de rétablissement, ce qui indique qu'il est nécessaire de comprendre l'ampleur de la structure de la métapopulation dans toute l'aire de répartition de l'espèce pour améliorer les objectifs de rétablissement. En vue d'assurer la durabilité démographique (c.-à-d., une population autosuffisante à long terme) dans des conditions avec une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération, un seuil de quasi-disparition de 50 adultes et une probabilité d'extinction de 1 % sur 100 ans, l'abondance de la population devait varier de 18 000 à 75 000 individus. Il fallait donc entre 3,2 et 13,2 ha d'habitat convenable au méné long. Trois stratégies d'efforts de rétablissement axées sur l'amélioration des indices vitaux (survie et fécondité) ont été simulés. Une population en déclin ( $\lambda = 0,89$ ) exigeait une amélioration considérable des indices vitaux individuels (> 40 %) pour cesser le déclin de la population. Toutefois, si la survie de toutes les classes d'âge pouvait être améliorée simultanément, il fallait seulement une amélioration de 13 %. Selon la stratégie utilisée, le rétablissement prenait de 48 à 120 ans. Les efforts de rétablissement ayant une incidence sur la survie de toutes les classes d'âge amélioraient le plus le taux de croissance de la population, et entraînaient donc le rétablissement le plus rapide (48 ans).

---

## INTRODUCTION

Le méné long (*Clinostomus elongatus*) avait été précédemment évalué par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) en 2007 et avait été désigné comme étant en voie de disparition (COSEPAC 2007). Le méné long, réévalué par COSEPAC en 2017, a encore été jugé comme étant en voie de disparition (COSEPAC 2017), et a été inscrit par la suite à l'annexe 1 de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) canadienne en tant qu'espèce en voie de disparition. Conformément à la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), qui prévoit l'élaboration de stratégies pour la protection et le rétablissement d'espèces menacées d'extinction ou de disparition au Canada, Pêches et Océans Canada (le MPO) a élaboré l'évaluation du potentiel de rétablissement (EPR; MPO 2007a, 2007b) comme moyen de fournir de l'information et des avis scientifiques. Chaque EPR compte trois composantes – une évaluation de la situation de l'espèce, la portée du rétablissement, et les scénarios des mesures d'atténuation et des solutions de rechange – qui sont ensuite subdivisées en 22 éléments. Le présent rapport contribue aux composantes deux et trois, ainsi qu'aux éléments 3, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21 et 22 en relevant des objectifs de rétablissement, en évaluant les dommages admissibles, en prévoyant des délais de rétablissement et en déterminant des stratégies d'atténuation ainsi que l'incertitude associée pour les populations canadiennes de méné long.

Une EPR avait déjà été effectuée pour le méné long en 2008, après l'évaluation initiale du COSEPAC (Vélez-Espino et Koops 2008). L'analyse précédente estimait des objectifs de rétablissement fondés sur l'abondance au moyen d'une relation prédictive. Selon ces résultats, 4 711 poissons adultes auraient été un objectif de rétablissement acceptable, ce qui exigerait 17 308 m<sup>2</sup> d'habitat convenable par population. L'analyse des dommages admissibles a indiqué que le rétablissement de la population pourrait être difficile si la mortalité de toute classe d'âge augmentait de plus de 5 % ou si la fécondité diminuait de plus de 18 %. Une mise à jour de l'EPR antérieure est fournie en utilisant de nouvelles approches méthodologiques pour estimer les objectifs de rétablissement et les dommages admissibles, ainsi qu'en intégrant de nouvelles données pour les populations canadiennes de méné long recueillies depuis l'évaluation précédente (Poesch, données non publiées). Ce travail est basé sur une approche démographique élaborée par Vélez-Espino et Koops (2009, 2012) ainsi que par Vélez-Espino *et al.* (2010), qui détermine un objectif de rétablissement en fonction de la population fondé sur les projections de la population à long terme.

## MÉTHODES

L'analyse comportait cinq volets :

- i) On a compilé l'information sur les indices vitaux pour élaborer des matrices de projection en utilisant l'incertitude entourant le cycle biologique pour représenter la variation dans le cycle biologique dans les simulations stochastiques.  
Avec ces matrices de projection :
- ii) La sensibilité stochastique du taux de croissance de la population à des changements dans chaque indice vital a été établie et utilisée pour estimer les dommages chroniques admissibles en suivant la démarche adoptée par Vélez-Espino et Koops (2009).
- iii) Des simulations ont été effectuées pour estimer l'impact de dommages temporaires (prélèvement unique de poissons de différentes classes d'âge) sur la croissance de la population.

- iv) Des simulations ont été effectuées pour estimer la population minimale viable (PMV) et la superficie minimale permettant d'assurer la viabilité de la population (c.-à-d., la quantité d'habitat convenable nécessaire si l'on veut soutenir la population minimale viable).
- v) En utilisant la population minimale viable comme objectif de rétablissement, on a effectué des simulations pour estimer la probabilité de rétablissement au cours d'une période donnée et en déployant des efforts visant le rétablissement.

## SOURCES

Des ménés longs ont été capturés dans divers affluents du sud de l'Ontario entre juillet 2007 et octobre 2008 (Poesch données non publiées). Ces données ont fourni de l'information pour éclairer les estimations de la croissance, de la survie, de la fécondité, de la répartition et de l'abondance. De l'information supplémentaire sur le cycle biologique et la population a été tirée de la documentation spécialisée. Toutes les analyses et simulations ont été effectuées à partir du programme statistique R 3.3.2 (R Core Team 2016).

## MODÈLE

Le cycle biologique du méné long a été modélisé à partir d'un modèle matriciel structuré en fonction du de naissance instantanée (reproduction entière au jour de calendrier fixe de la date de naissance), de la période qui suit la reproduction et de l'âge, avec des intervalles de projection annuels (Caswell 2001). Les modèles matriciels de population se servent d'estimations des indices vitaux (croissance, survie et fécondité) pour prévoir la taille de population par âge ou stade. La valeur propre dominante de la matrice représente le taux de croissance de la population ( $\lambda$ ) et indique le statut à long terme de la population selon les conditions actuelles (Caswell, 2001). Une valeur  $\lambda > 1$  indique que la population augmente de manière exponentielle, une valeur  $\lambda = 1$  indique une population qui est stable, et une valeur  $\lambda < 1$  indique une population qui diminue vers 0. Le vecteur propre droit dominant de la matrice représente la structure du stade stable de la population et indique la répartition proportionnelle des individus parmi les stades ou âges. On peut se servir de cette information pour estimer le nombre d'individus dans tous les autres stades ou âges, si l'on connaît l'une de ces données.

La structure de matrice est définie par la longévité du méné long ( $t_{max}$ ) et l'âge de la première maturité ( $t_{mat}$ ). Le méné long est supposé vivre jusqu'à un âge maximal de quatre ans et atteindre la maturité à l'âge de deux ans (Koster 1939; McKee et Parker 1982). Le cycle biologique du méné long est représenté à la figure 1.

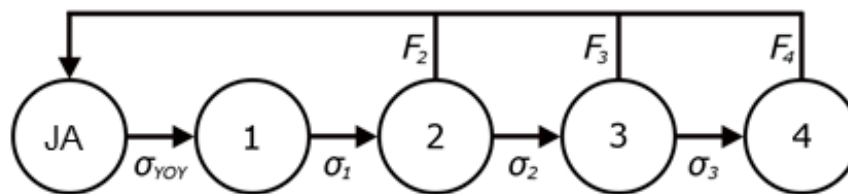


Figure 1. Cycle biologique généralisé, utilisé pour modéliser la dynamique des populations de méné long.  $F_i$  représente la fertilité annuelle propre à l'âge et  $\sigma_i$  représente la survie annuelle propre à l'âge.

Les éléments dans la matrice structurée en fonction de l'âge comprennent les taux de survie ( $\sigma_i$ ) et de fertilité ( $F_i$ ) annuels, propres à l'âge. Les coefficients de fertilité ( $F_i$ ) représentent la

contribution d'un adulte dans la classe d'âge  $t$  au prochain recensement d'individus d'âge 0. Plusieurs variables sont intégrées aux estimations du taux de fertilité annuel propre à l'âge. La fertilité dépend de la fécondité moyenne selon l'âge ( $f_t$ ) ou du nombre moyen d'œufs produits par événement de frai pour chaque femelle dans la classe d'âge  $t$ . Elle tient également compte de la proportion de la population qui est femelle ( $\varphi$ ; on suppose que celle-ci est de 0,5 pour la population de méné long) et de la proportion de la population qui est mature à l'âge- $t$  ( $\rho_t$ ). De plus, la fertilité comprend la périodicité du frai ( $T$ ) ou le nombre d'années entre événements de frai (une année pour le méné long). Finalement, parce que une structure matricielle est intégrée postreproduction, le coefficient de survie est inclus pour tenir compte de la mortalité qui survient entre le recensement de la population et le prochain événement de frai. La fertilité est calculée comme suit :

$$F_t = \frac{\varphi \rho_t f_t \sigma_t}{T}. \quad (1)$$

La matrice a cinq colonnes qui représentent les jeunes de l'année (JA), et les âges 1, 2, 3 et 4 du méné long :

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & F_2 & F_3 & F_4 & 0 \\ \sigma_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Comme le recensement de la population a lieu juste après la reproduction, les individus grossissent et gagnent en maturité au cours de l'année et frayent juste avant le prochain recensement. Pour tenir compte de ce calendrier, les coefficients de fertilité pour l'âge- $t+1$  sont intégrés à la colonne  $t$  de la matrice de projection (p. ex., la fertilité des poissons d'âge 2 est représentée dans la colonne d'âge-1 de la matrice). De plus, la structure de la matrice inclut une colonne de 0 pour représenter les poissons d'âge-4. Cela permet aux poissons d'âge-4 d'exister, mais pas de survivre jusqu'au prochain recensement ou de se reproduire comme poissons d'âge-5.

Les populations de méné long peuvent fonctionner comme des métapopulations dont plusieurs sous-populations occupent des bassins distincts séparés par un obstacle à la migration (p. ex., des rapides; Poos et Jackson 2012). La structure de la métapopulation peut avoir une incidence sur la résilience du méné long aux catastrophes ou à la sensibilité aux mesures de rétablissement si les sous-populations sont touchées de manière indépendante. Pour explorer ces effets, deux modèles de population pour le méné long ont été construits : un modèle de population unique, et un deuxième modèle qui intègre une structure de métapopulation avec des sous-populations distinctes et un mouvement défini entre elles.

Dans une matrice, un modèle de métapopulation comprend deux composantes :  $s \times s$ , une matrice de projection démographique (où  $s$  est le nombre de stades) ( $\mathbf{B}_p$ ; équation 2); et  $p \times p$ , une matrice de répartition  $\mathbf{M}_s$  (où  $p$  est le nombre de bancs [sous-populations]) (Hunter et Caswell 2005).  $\mathbf{B}_p$  représente les caractéristiques du cycle biologique du banc  $p$  et  $\mathbf{M}_s$  représente la probabilité de mouvement entre les bancs par poisson au stade  $s$ .  $\mathbf{M}_s$  est structuré comme suit :



$$\mathbf{M}_s = \begin{bmatrix} r_1 & d_{2 \rightarrow 1} & d_{3 \rightarrow 1} & d_{4 \rightarrow 1} \\ d_{1 \rightarrow 2} & r_2 & d_{3 \rightarrow 2} & d_{4 \rightarrow 2} \\ d_{1 \rightarrow 3} & d_{2 \rightarrow 3} & r_3 & d_{4 \rightarrow 3} \\ d_{1 \rightarrow 4} & d_{2 \rightarrow 4} & d_{3 \rightarrow 4} & r_4 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Où  $r$  représente la probabilité que les poissons du banc  $p$  demeurent dans ce banc alors que  $d$  représente la probabilité de se disperser d'un banc à un autre. Les colonnes dans  $\mathbf{M}$  représentent la probabilité de mouvement à partir d'un banc et doivent totaliser 1, et les rangées représentent la probabilité d'un mouvement vers un banc.

Les matrices propres au banc et au stade ( $\mathbf{B}_p$  et  $\mathbf{M}_s$ ) sont organisées selon des matrices diagonales en bloc ( $\mathbb{B}$  et  $\mathbb{M}$ ) pour représenter la métapopulation dans son ensemble, où :

$$\mathbb{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{B}_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{B}_4 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

et

$$\mathbb{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_0 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{M}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{M}_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{M}_4 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Les  $\mathbf{0}$  représentent  $s \times s$  et  $p \times p$ , les matrices de 0. En raison d'un manque d'information sur les indices vitaux propres à un banc et les mouvements propres à l'âge, les mêmes valeurs de paramètres ont été utilisées pour toutes les matrices propres au banc  $\mathbf{B}_p$  et propres à l'âge  $\mathbf{M}_s$ , à l'exception pour les jeunes de l'année (JA), pour lesquels on a supposé qu'il n'y avait aucun mouvement, et  $\mathbf{M}_0$  est représenté par une matrice d'identité. Cela suppose que le méné long a les mêmes indices vitaux dans tous les bancs et que les profils de déplacement sont indépendants de l'âge pour les âges  $> 0$ .

Finalement, à partir des matrices  $\mathbb{B}$  et  $\mathbb{M}$ , la matrice de projection de métapopulation ( $\mathbf{A}$ ) est calculée comme suit (Hunter et Caswell 2005) :

$$\mathbf{A} = \mathbf{P}^T \mathbb{M} \mathbf{P} \mathbb{B}. \quad (6)$$

Où  $\mathbf{A}$  représente les dimensions de  $sp \times sp$ ,  $\mathbf{P}$  représente la matrice de vecteur-permutation, et  $T$  représente l'opérateur de la transposition. La matrice de vecteur-permutation (Hunter et Caswell 2005) est une matrice de 0 et de 1 avec des dimensions  $sp \times sp$ ; elle sert à combiner et à organiser les matrices démographiques et de répartition dans la matrice de projection finale avec les dimensions appropriées. La formation de  $\mathbf{A}$  permet la mise en œuvre de la répartition avant que les changements démographiques (p. ex., mortalité et reproduction) se produisent. D'autres formes peuvent être utilisées lorsque la répartition suit la démographie (Hunter et Caswell 2005).

## Estimations des paramètres

Tous les paramètres du modèle sont présentés dans le tableau 1.

## Croissance

Des données sur la longueur selon l'âge étaient disponibles à partir d'âges établis selon des otolithes de ménés longs capturés dans les populations du sud de l'Ontario. Les données ont été ajustées au moyen d'une courbe de croissance de von Bertalanffy (figure 2) :

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)}), \quad (7)$$

Où  $L_t$  est la longueur totale (LT) en millimètres à l'âge- $t$ ,  $t_0$  est l'âge hypothétique auquel le poisson aurait une longueur de 0,  $L_\infty$  est la taille asymptotique, et  $K$  est un paramètre de croissance. Afin de bien représenter la croissance en début de vie, la relation a été forcée à partir de la longueur prévue à l'éclosion à l'âge 0. La longueur à l'éclosion a été estimée à partir de la relation avec le diamètre de l'œuf (Duarte et Alcaraz 1989). Le diamètre des œufs du méné long varie de 1,2 mm à 2,4 mm (Scott et Crossman 1973) ce qui donne une taille médiane à l'éclosion de 5,79 mm. Le résultat était une valeur  $L_\infty$  de 95,9, une valeur  $K$  de 0,48 et une valeur  $t_0$  de -0,13 (tableau 1).

Des données longueur-poids ont été compilées pour les ménés longs capturés en Ontario (figure 3). Ces données ont été adaptées sous forme d'un modèle linéaire ayant subi une transformation  $\log_e$ , qui a été retransformé en courbe de puissance pour prévoir le poids prévu, en grammes, selon une longueur donnée, en millimètres, ce qui donne la relation suivante :

$$W_t = 3.46 \times 10^{-6} L_t^{3.203}. \quad (8)$$

Tableau 1. Valeurs, symboles, descriptions et sources pour tous les paramètres utilisés pour modéliser le méné long.

	Symbole	Description	Valeur	Source/lieu
Âge	$t_{max}$	Longévité	4	Koster (1939); NY
	$t_{mat}$	Âge de la première maturité	2	McKee et Parker (1982); ON
	$\zeta$	Durée de génération	2,8	ON
Croissance	$L_\infty$	Longueur asymptotique	95,88	Poesch (données non publiées); ON
	$K$	Coefficient de croissance	0,48	
	$t_0$	Âge à 0 mm	-0,13	
Fécondité	$\alpha_F$	Exposants allométriques de la fécondité	$2,54 \times 10^{-5}$	Poesch (données non publiées); ON
	$\beta_F$	Interception allométrique de la fécondité	3,98	
	$sd_F$	Écart-type logarithmique de la fécondité	0,12	
	$\varphi$	Proportion de femelles	0,5	
	$T$	Périodicité du frai	1	McKee et Parker (1982); ON
	$\rho_0$	Proportion d'individus reproducteurs à l'âge 0	0	
	$\rho_1$	Proportion d'individus reproducteurs à l'âge 1	0	
	$\rho_2$	Proportion d'individus reproducteurs à l'âge 2	0,75	
	$\rho_3$	Proportion d'individus reproducteurs à l'âge 3	1	
	$\rho_4$	Proportion d'individus reproducteurs à l'âge 4	1	
Poids	$\alpha_W$	Exposants allométriques taille-poids	$3,46 \times 10^{-6}$	Poesch (données non publiées); ON
	$\beta_W$	Interception allométrique taille-poids	3,20	
Mortalité	$M_{min}$	Mortalité adulte instantanée avec $\lambda = 0,89$	1,13	Données ajustées/Poesch
	$M_{equil}$	Mortalité adulte instantanée avec $\lambda = 1$	1,07	
	$M_{moyen}$	Mortalité adulte instantanée avec $\lambda = 1,19$	0,99	

	Symbole	Description	Valeur	Source/lieu
	$M_{est}$	Mortalité adulte instantanée selon l'analyse de la courbe des prises avec $\lambda = 1,46$	0,90	(données non publiées); ON
	$M_{max}$	Mortalité adulte instantanée avec $\lambda = 1,91$	0,78	
	$CV_M$	Coefficient de variation de mortalité	0,2	Mertz et Myers (1995)
Répartition	$r_1$	Probabilité de demeurer dans le banc 1	0,60	
	$d_{1 \rightarrow 2}$	Probabilité de répartition du banc 1 au banc 2	0,32	
	$d_{1 \rightarrow 3}$	Probabilité de répartition du banc 1 au banc 3	0,05	
	$d_{1 \rightarrow 4}$	Probabilité de répartition du banc 1 au banc 4	0,03	
	$r_2$	Probabilité de demeurer dans le banc 2	0,71	
	$d_{2 \rightarrow 1}$	Probabilité de répartition du banc 2 au banc 1	0,15	
	$d_{2 \rightarrow 3}$	Probabilité de répartition du banc 2 au banc 3	0,06	Drake et Poesch (données non publiées); affluents de la rivière Rouge (ruisseau Berczy)
	$d_{2 \rightarrow 4}$	Probabilité de répartition du banc 2 au banc 4	0,08	
	$r_3$	Probabilité de demeurer dans le banc 3	0,65	
	$d_{3 \rightarrow 1}$	Probabilité de répartition du banc 3 au banc 1	0,1	
	$d_{3 \rightarrow 2}$	Probabilité de répartition du banc 3 au banc 2	0,07	
	$d_{3 \rightarrow 4}$	Probabilité de répartition du banc 3 au banc 4	0,18	
	$r_4$	Probabilité de demeurer dans le banc 4	0,88	
	$d_{4 \rightarrow 1}$	Probabilité de répartition du banc 4 au banc 1	0,06	
	$d_{4 \rightarrow 2}$	Probabilité de répartition du banc 4 au banc 2	0,01	
	$d_{4 \rightarrow 3}$	Probabilité de répartition du banc 4 au banc 3	0,05	

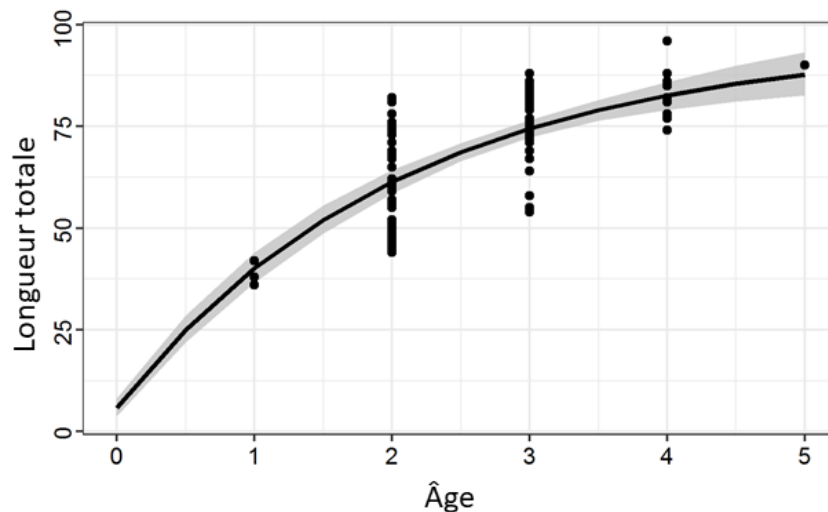


Figure 2. Données sur la longueur selon l'âge provenant de ménéages longs capturés d'affluents du sud de l'Ontario. La ligne noire représente le meilleur ajustement avec la courbe de croissance de von Bertalanffy forcé par la taille à l'éclosion (5,79 mm) et la zone grise représente des intervalles de confiance à 95 % estimés par la méthode de bootstrap.  $L_t = 95.9(1 - e^{-0.48(t+0.13)})$ .

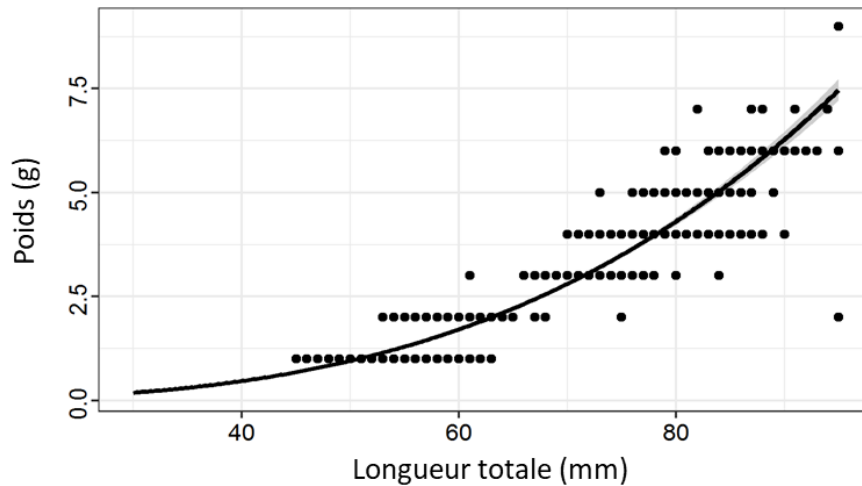


Figure 3. Données sur le poids selon l'âge provenant de ménés longs capturés d'affluents du sud de l'Ontario. La ligne noire représente la relation la mieux adaptée et la zone grise représente des intervalles de confiance de 95 %.  $W = 3.46 \times 10^{-6} L^{3.203}$ .

## Reproduction

Peu de données empiriques étaient disponibles du sud de l'Ontario pour éclairer les aspects de la reproduction du méné long. On croit que le méné long fraie une fois par année à la fin mai et maintient un rapport des sexes d'environ 1:1 (McKee et Parker 1982). Le premier frai survient habituellement après que les individus ont survécu à deux hivers (Koster 1939), selon des observations faites dans l'état de New York. McKee et Parker (1982) ont constaté que tous les individus d'âge 1+ étaient immatures, alors que presque tous ceux d'âge 2+ et tous ceux d'âge 3+ étaient matures. Par conséquent, un calendrier de maturation ont été intégré au modèle où 0 % des poissons d'âge 1, 75 % des poissons d'âge 2 et tous les poissons d'âge 3+ étaient matures (tableau 1).

Peu d'estimations de fécondité existent pour le méné long. Les estimations de fécondité dans la documentation étaient de 409 à 1 526 œufs par individu (Koster 1939) et de 423 à 1 971 œufs par individu (McKee et Parker 1982). Neuf mesures supplémentaires ont été effectuées à partir de femelles capturées au sud de l'Ontario et variaient de 690 à 1 272 par individu (Poesch données non publiées). Toutes les données disponibles sur la fécondité ont été compilées et adaptées selon un modèle linéaire ayant subi une transformation  $\log_e$  avec la longueur, qui a subi une retransformation comme fonction de puissance et qui a produit la relation (figure 4) suivante :

$$f_t = 2.54 \times 10^{-5} L_t^{3.98}, \quad (9)$$

Où  $L_t$  représente la longueur à l'âge- $t$  estimé à partir de l'équation 7.

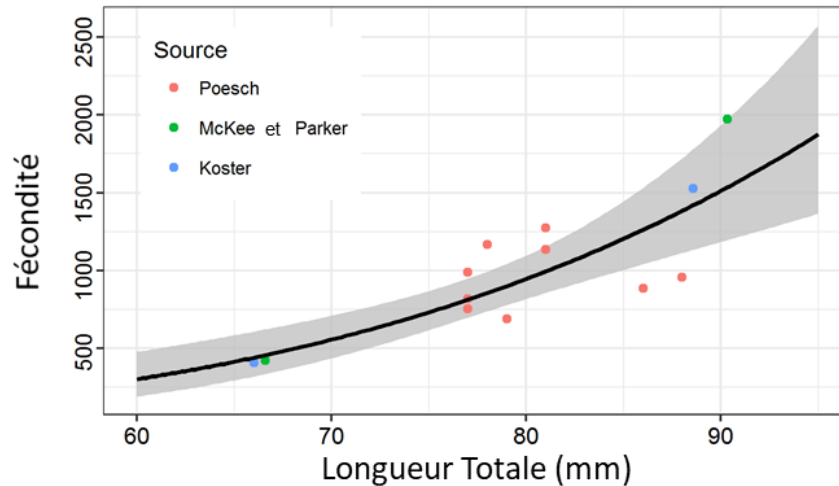


Figure 4. Données de fécondité pour les ménés longs capturés au sud de l'Ontario (McKee et Parker 1982; Poesch données non publiées) et dans l'état de New York (Koster 1939). La ligne noire représente la relation la mieux adaptée avec la longueur et la zone grise représente des intervalles de confiance de 95 %.  $f = 2.54 \times 10^{-5} L^{3.98}$ .

## Mortalité

Une seule estimation de la mortalité adulte était disponible à partir d'une analyse de la courbe des prises de poissons âgés par otolithe et capturés au sein de populations du sud de l'Ontario (figure 5). L'analyse de régression de la courbe des prises pondérées a été effectuée pour atténuer le biais possible de poissons plus âgés et plus rares (Maceina et Bettoli 1998). Cela s'est traduit par une mortalité adulte instantanée estimée de 0,90. Mortalité adulte constante (âges 2 et 3) a été supposée et la survie des classes d'âge plus jeunes a été estimée à partir d'une relation en fonction de la taille (Lorenzen 2000) :

$$M_t = \frac{m_0}{L_t}, \quad (10)$$

Où  $m_0$  est la mortalité à une seule unité de longueur. Si la valeur  $L_t$  est décrite par la courbe de croissance de von Bertalanffy (équation 7), la survie de l'âge- $t$  à  $t+1$  peut être calculée en combinant les équations 7 et 10, et en les intégrant (voir l'annexe A de l'ouvrage de van der Lee et de Koops 2016); ce qui donne :

$$\sigma_t = \left[ \frac{L_t e^{-K}}{L_{t+1}} \right]^{m_0 / K L_\infty}. \quad (11)$$

L'équation 11 a été utilisée pour estimer la survie des jeunes de l'année (JA) et des poissons d'âge-1.

Intégrer la mortalité adulte estimée ( $M = 0,90$ ) à la matrice de projection et effectuer des calculs rétrospectifs pour les classes d'âge plus jeunes a donné un taux de croissance de la population de 1,46. Il ne s'agit probablement pas d'une estimation représentative de la croissance de la population du méné long, comme une seule observation de la mortalité a été faite et certaines hypothèses de l'analyse de la courbe des prises peuvent avoir été enfreintes, comme l'effectif constant de la classe d'âge et la vulnérabilité égale de toutes les classes d'âge aux engins d'échantillonnage. Par conséquent la matrice de projection a été utilisée pour obtenir des taux de mortalité supplémentaires, ce qui a donné divers taux de croissance de la population. Des procédures d'optimisation ont été utilisés pour calculer la mortalité adulte (et été calculé rétrospectivement la survie des jeunes de l'année et des poissons d'âge-1), ce qui a permis

d'obtenir les taux de croissance de la population minimums, moyens, maximums et en équilibre prévus (tableau 1).

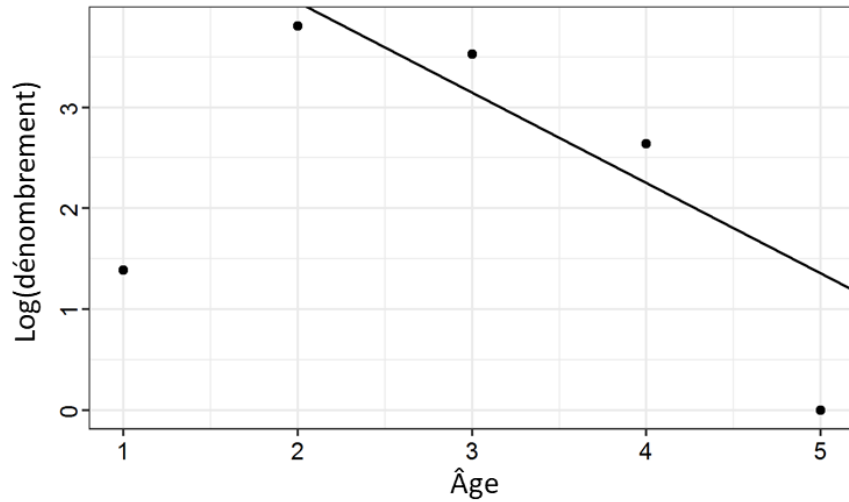


Figure 5. Analyse de la courbe des prises pondérée des données sur la fréquence selon l'âge des ménés longs capturés dans des affluents du sud de l'Ontario. Il a été estimé que la mortalité adulte instantanée était de 0,90, ce qui a donné un taux de croissance de la population ( $\lambda$ ) de 1,46.

Le taux de croissance minimal de la population a été calculé selon l'interprétation des critères d'évaluation du COSEPAC. Le critère A1 du COSEPAC définit une espèce en voie de disparition comme étant une espèce où il y a indication d'un déclin de 70 % de la taille de population au cours des dix dernières années ou trois générations, selon la période la plus longue. La durée de génération ( $\zeta$ ) du méné long a été estimée, d'après la matrice de projection, à 2,8 ans. À partir de cette information, le taux de croissance de la population minimum a été estimé comme suit :  $\lambda_{min} = 0.3^{1/10}$  résultant en une valeur  $\lambda_{min}$  de 0,89 et une valeur  $M_{min}$  de 1,12. La croissance de la population à l'équilibre, lorsque la valeur  $\lambda$  équivaut à 1, a donné une valeur  $M_{équil}$  de 1,07. Le taux de croissance maximal de la population, qui reflète le taux de croissance de la population le plus élevé possible pour l'espèce dans des conditions environnementales idéales, a été estimé à partir d'une relation allométrique (Randall et Minns 2000) :

$$\lambda_{max} = e^{2.64W^{-0.35}}, \quad (12)$$

Où  $W$  représente le poids moyen des adultes. Comme estimation conservatrice l'intervalle de prédiction inférieur de la relation adaptée (Randall et Minns 2000) a été utilisée, ce qui a donné une valeur  $\lambda_{max}$  de 1,91 et une valeur  $M_{max}$  de 0,78. Le taux de croissance moyen de la population a été estimé en équilibrant des estimations prudentes et optimistes de la valeur  $\lambda$  en prenant la moyenne géométrique des valeurs  $\lambda$  minimales et maximales et des valeurs  $\lambda$  en équilibre (Vélez-Espino et Koops 2007). Cela a donné lieu à un taux de croissance de la population de 1,19 et à une valeur  $M_{moyenne}$  estimée de 0,99. Cette valeur moyenne peut être considérée comme étant le point médian entre le taux de déclin de la population au moment de l'évaluation du COSEPAC et le taux le plus élevé de la croissance de la population dans des conditions environnementales idéales.

---

## Métapopulation

Les populations intra-affluents du méné long peuvent fonctionner comme des métapopulations (Poos et Jackson 2012). Une métapopulation se compose de sous-populations distinctes qui occupent des bancs définis séparés par un obstacle à la migration franchissable (p. ex., des rapides), permettant un certain niveau de connectivité et de mouvement entre les bancs.

Des données sur l'abondance et la répartition étaient disponibles pour le ruisseau Berczy, un affluent relativement non perturbé de la rivière Rouge (Poos et Jackson 2012, données non publiées de Drake et de Poesch). On a effectué un échantillonnage par marquage-recapture dans le ruisseau Berczy de 2007 à 2008. Le ruisseau a été sous-divisé en bassins avec 13 sites soumis à un échantillonnage intensif et cinq sites étendus en amont et en aval des sites soumis à un échantillonnage intensif; les données des cinq sites étendus en amont et en aval ont été regroupées, et on a désigné ces sites comme les bassins 0 et 14, respectivement. Les poissons individuels capturés dans un bassin soumis à un échantillonnage intensif ont fait l'objet d'un marquage propre au bassin et à la saison et ont été remis à l'eau. Les événements de recapture permettaient de quantifier la fidélité au site et les probabilités de mouvement entre les bassins en fonction du nombre annuel additionné de poissons capturés entre les bassins d'origine et de destination. Les estimations d'abondance propres à un bassin ont été réalisées au moyen des estimations de la méthode de retrait à plusieurs passages (Poos *et al.* 2012). Ces données ont été utilisées pour définir la structure de la métapopulation et pour paramétrer la matrice de répartition (équation 3) pour le modèle de métapopulation.

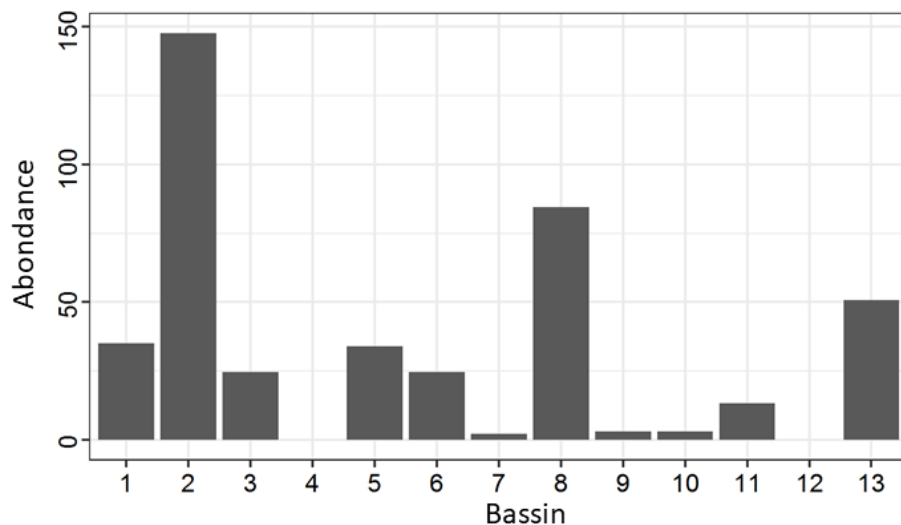


Figure 6. Estimations de l'abondance dans un bassin précis des ménés longs dans le ruisseau Berczy. Les estimations d'abondance ont été réalisées au moyen des estimations de la méthode de retrait à plusieurs passages (Poos *et al.* 2012).

Les métapopulations se composaient de quatre bancs (sous-populations). Dans le ruisseau Berczy, trois bassins (bassins 2, 8 et 13) ont maintenu la plus grande abondance (figure 6). Ces bassins présentaient également la plus grande fidélité au site; en effet, 59 %, 65 % et 53 % des poissons qui provenaient de chaque bassin y ont été recapturés dans la même bassin (figure 7). Par conséquent, les bancs défini (sous-populations) ont été centré autour de ces bassins. De plus, le bassin 1 et les bassins étendus en amont ont été considérés résentaient un seul banc, car il y avait beaucoup de mouvement en amont en provenance du

bassin 1. L'étendue spatiale de chaque banc a été défini en examinant visuellement la figure 7 et en déterminant la destination probable des poissons de chaque banc; p. ex., les bassins où les poissons étaient susceptibles de se déplacer vers le bassin 2 étaient considérés comme étant dans le bassin 2, alors que les bassins où les poissons se déplaçaient vers le bassin 8 étaient considérés comme étant dans le bassin 3. Les bancs ont été défini comme suit : banc 1 – bassins 0 à 1; banc 2 – bassins 2 à 5; banc 3 – bassins 6 à 10; et banc 4 – bassins 11 à 14. Les mouvements au sein des bancs et entre ceux-ci ont été additionnés pour donner des estimations de la probabilité de mouvement annuelle entre les bancs; ces estimations ont ensuite été intégrées à la matrice  $M$ . Le représentation d'une métapopulation de ménés longs ne se voulait pas une représentation détaillée d'une population précise de ménés longs, et ne s'applique pas non plus de façon générale à toutes les populations de ménés longs. Elle a plutôt comme objectif d'aider à établir l'importance potentielle d'une structure de métapopulation à la persistance et au rétablissement du méné long.

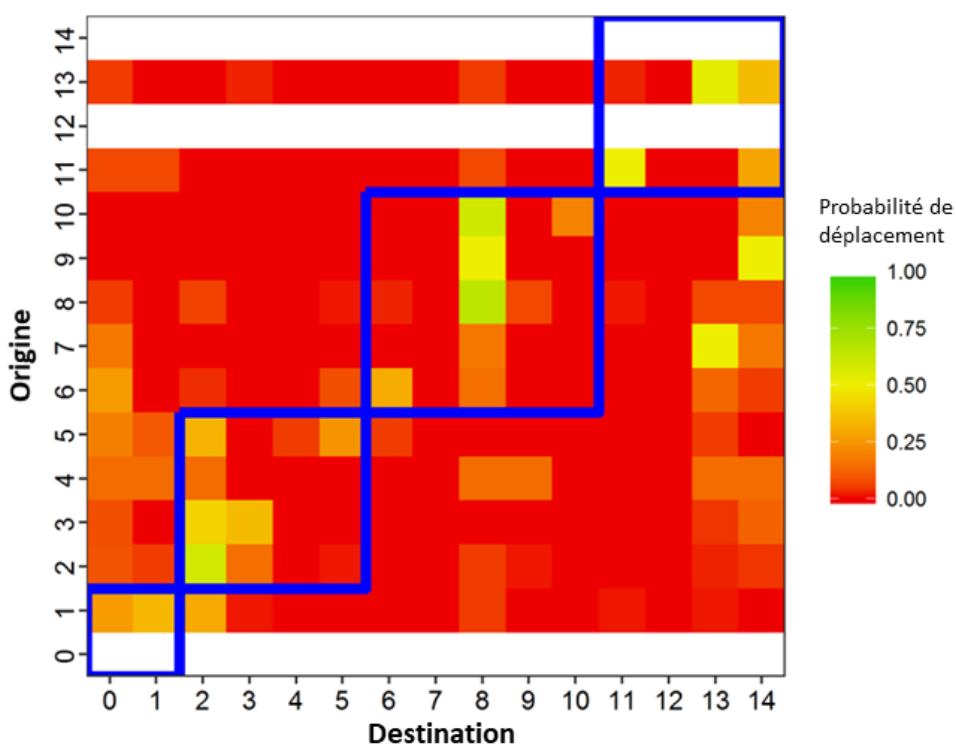


Figure 7. La probabilité de déplacement des ménés longs entre les bassins d'origine et les bassins de destination dans le ruisseau Berczy. Les points d'origine représentent les bassins dans lesquels les poissons ont été marqués et les destinations représentent les bassins dans lesquels on les a recapturés. Les valeurs propres à l'origine ont été calculées en divisant le nombre de recaptures dans chaque bassin par le nombre total de captures de chaque bassin d'origine. Les bassins 0 et 14 représentent les cinq bassins étendus en amont et en aval. Le blanc indique qu'on n'a pas recapturé de poisson dans le bassin d'origine. Les lignes bleues représentent les définitions de banc utilisées dans le modèle de métapopulation : Banc 1 – bassins 0 à 1; banc 2 – bassins 2 à 5; banc 3 – bassins 6 à 10; et banc 4 – bassins 11 à 14.

## STOCHASTICITÉ

La variabilité aléatoire et interannuelle a été intégrée aux simulations pour tenir compte de l'influence de la stochasticité environnementale sur les facteurs démographiques auxquels sont



exposées les populations de méné long. La variabilité a été intégrée à la fécondité et à la mortalité propre à l'âge (figure 8). On a supposé que les variables propres à l'âge variaient de manière indépendante d'un âge à l'autre, et d'une année à l'autre.

## Fécondité

Dans les simulations stochastiques, des valeurs moyennes et aléatoires sur la fécondité à l'échelle de la population ont été produites en supposant que la fécondité suit une distribution log-normale. Les moyennes propres à l'âge ont été générées à partir de l'équation 9 et la moitié de l'écart-type résiduel de l'ajustement du modèle (selon une échelle  $\log_e$ ) a servi comme écart-type ( $sd = 0,12$ ). Une moitié de l'écart-type résiduel a été utilisé, comme cela donnait une fourchette raisonnable de valeurs de fécondité à l'échelle de la population (panneau gauche de la figure 8). Par exemple, la fécondité moyenne à l'âge-4 était de 1 078 œufs par femelle par année, et 50 000 fécondités aléatoires avaient une fourchette d'environ 600 à 1 879 œufs par femelle par année. Cela correspond bien aux fourchettes de fécondité du méné long observées dans l'état de New York et au sud de l'Ontario (Koster 1939, McKee et Parker 1982, données non publiées de Poesch).

## Mortalité

Des simulations stochastiques indépendantes ont été effectuées au moyen de chaque estimation de la valeur  $M$ . L'ampleur de la variabilité interannuelle de la mortalité du méné long n'était pas connue. Bradford (1992) a constaté que la variance du taux de mortalité augmente proportionnellement à la valeur  $M$  ( $sd(M) = 0.39M^{1.12}$ ) chez toutes les espèces et tous les stades biologiques. Mertz et Meyers (1995) ont déterminé qu'il était probable que l'estimation de la variance soit gonflée par des erreurs provenant des estimations sur le terrain de la valeur  $M$  et ont proposé que la variabilité interannuelle de la valeur  $M$  pourrait être représentée par une distribution normale avec un coefficient de variation (CV) constant de 0,2. Un CV de 0,2 a été appliqué aux résultats des taux de mortalité des jeunes de l'année dans le cadre d'une répartition très large pour des taux de croissance de la population (lorsque la valeur  $\lambda$  moyenne = 1) ayant souvent des valeurs  $< 0,5$  (ce qui constitue une catastrophe dans les simulations de la population minimale viable). Afin d'en tenir compte, le CV du taux de mortalité des jeunes de l'année a été résolu de sorte que les valeurs  $\lambda$  de 0,5 se situent en dehors des intervalles de confiance de 99 %, et équivalait à une valeur de 0,165. Les taux de mortalité instantanée stochastiques ont été établis en supposant une distribution normale avec des CV de 0,165 pour les jeunes de l'année et de 0,2 pour les poissons d'âge-1+ (panneau droit de la figure 8).

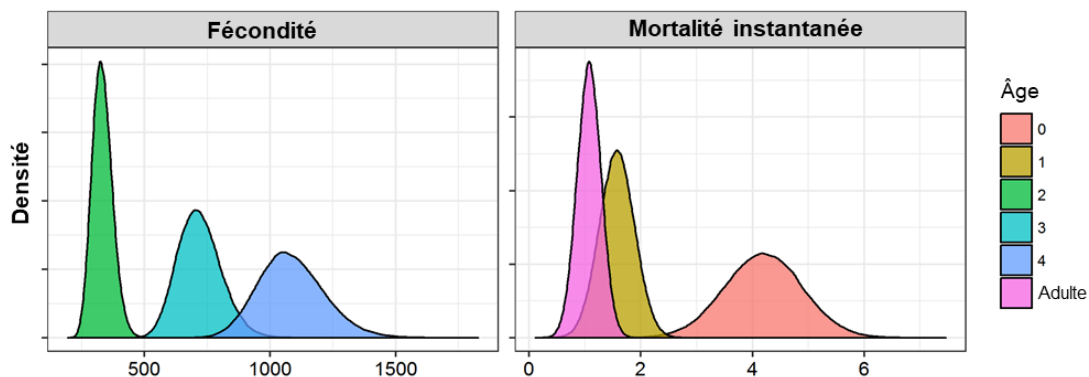


Figure 8. Graphique sur la densité qui représente les fonctions de densité de probabilité pour les paramètres stochastiques propres à l'âge (fécondité et mortalité instantanée) intégrés aux simulations de modèle. REMARQUE : L'âge augmente le long de l'axe X de la gauche à la droite pour la fécondité, mais diminue de la gauche à la droite pour la mortalité.

## Taux de croissance de la population

Intégrer la variabilité interannuelle des indices vitaux aux matrices de projection donne une distribution des valeurs  $\lambda$  qui dépend de la période sur laquelle le lambda est mesuré (figure 9). Sur une base annuelle, la distribution de la valeur  $\lambda$  est effectuée selon une distribution log-normale, et les populations de méné long ayant une moyenne géométrique de 1 pour la valeur  $\lambda$  avait une  $\log_e(sd) = 0.277$ . À plus long terme (c.-à-d., 10 ou 100 ans), le taux de croissance de la population annuel moyen a une distribution à peu près normale; lorsque la valeur  $\lambda$  moyenne était de 1, l'écart-type sur 10 ans était de 0,089, et sur 100 ans, elle était de 0,028 (c.-à-d., que l'écart par rapport à la valeur  $\lambda$  diminue à mesure que la période pendant laquelle elle est mesurée augmente). Sur une période de 100 ans, les valeurs moyennes annuelles  $\lambda$  variaient de 0,93 à 1,08. Par conséquent, bien que la population ait un taux de croissance moyen de 1, la variable environnementale stochastique sur une période allant jusqu'à cent ans fait en sorte que les populations individuelles peuvent chuter jusqu'à 7 % ou augmenter jusqu'à 8 %.

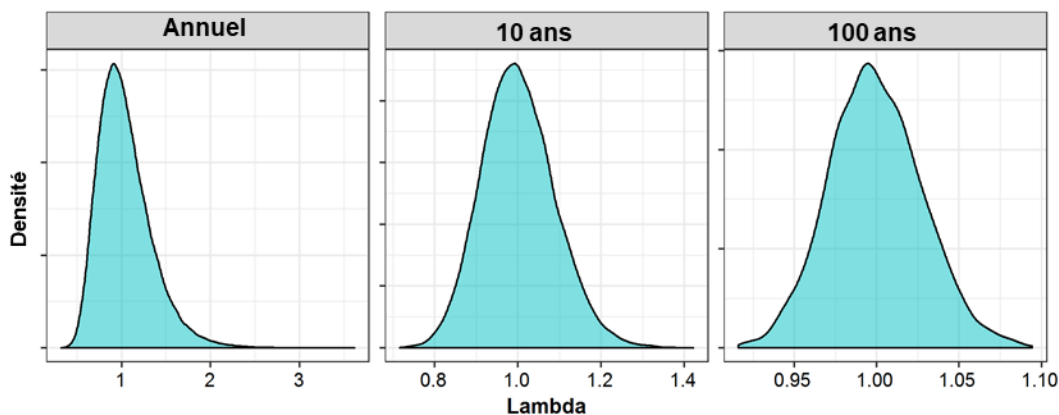


Figure 9. Graphiques sur la densité des valeurs moyennes annuelles et à long terme des taux de croissance de la population ( $\lambda$ ) qui découlent de la variation stochastique des indices vitaux. Les valeurs annuelles représentent la répartition des valeurs  $\lambda$  pour toute année donnée. Les valeurs moyennes à long terme représentent la répartition de la moyenne géométrique des valeurs  $\lambda$  sur 100 ans. Les répartitions étaient basées sur des matrices avec une valeur  $\lambda$  moyenne de 1.

## ANALYSE DE SENSIBILITÉ

On a réalisé des analyses de sensibilité sur les modèles matriciels de la population pour établir l'impact de changements dans les indices vitaux et les paramètres de niveau inférieur sur le taux de croissance annuel de la population ( $\lambda$ ). Les sensibilités ont été quantifiées par l'estimation des élasticités ( $\varepsilon_v$ ) qui décrivent le changement proportionnel à la valeur  $\lambda$  après une perturbation proportionnelle dans un indice vital ( $v$ ). Par exemple, une valeur d'élasticité de 0,2 pour la survie adulte ( $\varepsilon_a$ ) indiquerait qu'une augmentation de 20 % dans la survie adulte se traduirait par une augmentation de 4 % ( $20\% \times 0.2 = 4\%$ ) de la valeur  $\lambda$  (c.-à-d., qu'une valeur  $\lambda$  de 1,5 passerait à 1,56 ( $1.5 \times (1 + 0.04) = 1.56$ )). Les élasticités sont calculées en prenant les dérivés partiels réduits de la valeur  $\lambda$  par rapport à l'indice vital :

$$\varepsilon_v = \frac{v}{\lambda} \sum_{i,j} \frac{\partial \lambda}{\partial a_{i,j}} \frac{\partial a_{i,j}}{\partial v} \quad (13)$$

---

Où  $a_{ij}$  sont les éléments de la matrice de projection dans la rangée  $i$  et la colonne  $j$ . Les élasticités sont additives; par conséquent, les effets des perturbations qui agissent sur différents indices vitaux peuvent être évalués en additionnant les élasticités des indices vitaux concernés.

La variation des indices vitaux a été intégrée pour déterminer les effets des perturbations démographiques sur les réactions de la population (voir Vélez-Espino et Koops 2007). Des simulations par ordinateur ont été utilisées pour:

- i) produire 5 000 matrices avec des indices vitaux ( $\sigma_i$  et  $f_i$ ) tirés de répartitions ayant les valeurs moyennes et les écarts décrits ci-dessus;
- ii) calculer l'équivalent  $\varepsilon_v$  de la valeur  $\lambda$  par rapport à  $\sigma_i$  et  $f_i$  pour chaque matrice;
- iii) estimer les élasticités stochastiques moyennes et leurs intervalles de confiance de 95 %;
- iv) répéter les étapes i à iii pour les matrices avec des valeurs  $\lambda$  de 0,89, de 1, de 1,19, de 1,46 et de 1,91.

## **EFFORT DE RÉTABLISSEMENT ET DOMMAGES ADMISSIBLES**

Les dommages admissibles et l'effort de rétablissement minimal requis ont été évalués dans un cadre démographique en suivant la démarche adoptée par Vélez-Espino et Koops (2009). L'effort de rétablissement est défini comme étant l'amélioration de l'indice vital minimal qui permettra à une population de commencer à se rétablir. Les dommages admissibles sont définis comme étant le changement maximal d'un indice vital qui n'empêcherait pas le rétablissement de la population. Des efforts de rétablissement s'appliquent lorsque la valeur  $\lambda$  initiale d'une population est  $< 1$  et les dommages admissibles s'appliquent lorsque la valeur  $\lambda$  initiale est  $> 1$  (lorsque la valeur  $\lambda < 1$ , il n'est pas possible d'autoriser des dommages admissibles car tout dommage pourrait être interprété comme nuisant à la survie ou au rétablissement de l'espèce). Des estimations des dommages chroniques et des dommages temporaires admissibles sont fournies. Les dommages chroniques font référence au changement négatif permanent d'un ou plusieurs indices vitaux (y compris les perturbations annuelles répétées) alors que les dommages temporaires font référence à un événement de mortalité ponctuel (temporaire) ayant une incidence sur un ou plusieurs stades biologiques.

L'effort de rétablissement ( $\psi_v$ ) et les dommages chroniques admissibles ( $\tau_v$ ) ont été estimés de manière analytique comme suit :

$$\psi_v \text{ or } \tau_v = \left( \frac{1}{\varepsilon_v} \right) \left( \frac{\lambda_T - \lambda}{\lambda} \right) \quad (14)$$

où  $\varepsilon_v$  est l'élasticité de l'indice vital  $v$ , la valeur  $\lambda$  est le taux de croissance de la population actuel, et  $\lambda_T$  est le taux de croissance de la population ciblé. Si l'effort de rétablissement ou les dommages ont une incidence sur plus d'un indice vital, on le calcule en additionnant les valeurs d'élasticité ( $\varepsilon_v$ ) de chaque indice vital avant l'intégration à l'équation 14.

Les effets des dommages temporaires ont été modélisés comme suit :

- i) les matrices de projection annuelles ont été produites pour trois générations (environ huit années) en prélevant aléatoirement les indices vitaux comme dans l'analyse de sensibilité;
- ii) la survie de l'un ou de tous les stades a été réduite dans la première matrice aléatoire, afin de simuler une capture unique d'individus;
- iii) les taux de croissance de la population moyens, avec et sans prélèvement, ont été comparés au cours de la période étudiée;
- iv) cette simulation a été répétée 5 000 fois pour créer une répartition des changements du taux de croissance de la population découlant de la capture; et

- 
- v) on a examiné des taux de capture (nombre d'individus en tant que proportion de l'abondance totale) de 0,01 à 0,99 (tous les individus) avec des incréments de 0,02.

Les dommages temporaires admissibles ont été définis comme la capture unique d'individus dans une période de trois générations qui ne réduit pas le taux de croissance de la population moyen sur cette période au-delà d'une quantité prédéterminée (voir Résultats). Le taux de croissance de la population était considéré comme étant « réduit » lorsque le seuil inférieur de l'intervalle de confiance de la répartition des différences du taux avant et après la capture était supérieur à la quantité désignée.

## OBJECTIFS DE RÉTABLISSEMENT

### Abondance : Population minimale viable (PMV)

La durabilité démographique a été utilisée pour établir des objectifs de rétablissement potentiels du méné long grâce à des modèles de populations uniques (équation 2) et de métapopulations (équation 6) et selon plusieurs scénarios de catastrophe. La durabilité démographique est liée au concept de population minimale viable (PMV) (Shaffer 1981). Elle a été définie comme étant la taille minimale de la population d'adultes qui donne lieu à la probabilité souhaitée de persistance sur 100 ans (plus de 35 générations dans le cas du méné long).

Comme la croissance de la population ne peut pas être maintenue à long terme, la probabilité de persistance a été simulée pour une population stable à long terme. Afin d'atteindre une stabilité dans le modèle, la mortalité adulte ( $M$ , ayant une incidence sur l'ensemble du calendrier de mortalité [équation 11]) a été optimisée pour obtenir un taux de croissance moyen géométrique (dans les simulations stochastiques) ayant une valeur  $\lambda = 1$ , ce qui donne une valeur  $M = 1,072$ .

Les objectifs de rétablissement ont été estimés comme suit :

- i) On a produit 50 000 matrices de projection en prélevant aléatoirement les indices vitaux comme dans l'analyse de sensibilité de la population, en fonction d'un taux de croissance moyen géométrique d'une valeur  $\lambda = 1$ .
- ii) Des simulations individuelles ont été effectuées en prélevant aléatoirement des matrices de projection et en prévoyant la population avec différentes densités adultes initiales sur une période de 100 ans, avec des répercussions de catastrophes aléatoires.
- iii) Les catastrophes ont été simulées selon une probabilité d'occurrence prédéfinie et ont entraîné un déclin de 50 % de l'abondance de la population totale.
- iv) Les simulations ont été répétées 500 fois et le nombre d'extinctions (lorsque la population adulte est tombée sous un seuil donné) a été compté.
- v) Ce processus a été répété 10 fois de manière indépendante et ces réalisations ont servi à élaborer un modèle pour prévoir la probabilité d'extinction.
- vi) Les simulations ont été reproduites au moyen d'un plan factoriel ayant une probabilité de catastrophe de 0,10 ou de 0,15 par génération, avec des seuils de quasi-extinction de 2 ou de 50 adultes.

À partir de ces simulations, le nombre minimal d'adultes nécessaire pour la probabilité voulue de persistance (voir Résultats) sur 100 ans (population minimale viable) a été calculé.

Les estimations de population minimale viable ont été effectuées au moyen de la structure à population unique (équation 2) ainsi que la structure de métapopulation (équation 6) avec des scénarios de catastrophe multiples (3). Le modèle de population unique suppose que toute la population est touchée simultanément lorsqu'une catastrophe survient. L'utilisation d'une

structure de métapopulation permet d'explorer d'autres hypothèses. Les simulations ont incorporé trois scénarios de catastrophe de métapopulation :

- i) Catastrophes reliées : Chaque sous-population est touchée par une catastrophe simultanément. Cela devrait produire des résultats semblables à ceux du modèle de population unique.
- ii) Catastrophe avec population de secours : Une sous-population (banc 2) est touchée par des catastrophes de manière indépendante alors que les trois autres (bancs 1, 3 et 4) sont touchées par la catastrophe simultanément. Le banc 2 a été choisi arbitrairement comme sous-population de secours.
- iii) Catastrophe indépendante : Chaque sous-population est touchée par des catastrophes indépendantes.

Les simulations indépendantes et les valeurs de population minimale viable ont été calculées pour chacun des quatre scénarios de catastrophe décrits ci-dessus.

Tableau 2. Des répartitions stables selon le stade des modèles de matrice pour une population unique et une métapopulation structurées selon l'âge pour le méné long. Les valeurs de métapopulation sont séparées par banc (sous-population). Additionner les valeurs propres au banc pour un certain âge donnera le total de la valeur de la population unique.

Âge	Population unique	Métapopulation			
		Banc 1	Banc 2	Banc 3	Banc 4
0	0,9750	0,1876	0,2520	0,1282	0,4072
1	0,0200	0,0039	0,0052	0,0026	0,0084
2	0,0037	0,0007	0,0010	0,0005	0,0015
3	0,0010	0,0002	0,0003	0,0001	0,0004
4	0,0003	0,00006	0,00007	0,00004	0,0001

### Habitat essentiel : Superficie minimale pour une population viable (SMPV)

Selon Velez-Espino *et al.* (2010) et le travail de Young et Koops (2014), la superficie minimale pour une population viable a été estimée comme une quantification de premier ordre de la superficie d'habitat nécessaire pour soutenir une population viable. La SMPV représente l'exigence de superficie totale d'une population si l'on suppose une utilisation de l'habitat indépendante propre au stade (p. ex., l'habitat des jeunes de l'année est entièrement distinct de l'habitat adulte), et est calculée comme suit :

$$SMPV = \sum_{t=0}^{t_{max}} PMV_t \cdot SI_t, \quad (15)$$

Où la  $PMV_t$  est le plus petit nombre propre à l'âge d'individus requis pour atteindre la probabilité souhaitée de persistance sur 100 ans, comme il est estimé pour l'objectif de rétablissement; la  $SI_t$  est la surface requise par individu d'âge- $t$ . Les individus ont été répartis parmi les classes d'âge en fonction de la répartition stable selon le stade, qui est représentée par le vecteur propre droit dominant ( $w$ ) de la matrice de projection moyenne en fonction de  $\lambda = 1$  ( $Aw = \lambda w$ ) (de Kroon *et al.* 1986, tableau 2). La valeur  $SI_t$  a été estimée à partir d'une relation allométrique avec la longueur (équation 7), en mm, selon les densités de la communauté de poissons (Randall *et al.* 1995, Minns 2003) :

$$SI_t = e^{a_{si}} \cdot L_t^{b_{si}}, \quad (16)$$

Avec  $a_{si} = -13,28$  et  $b_{si} = 2,904$ . Les valeurs de la SMPV calculées au moyen de ces paramètres fournissent des estimations des exigences d'habitat propres au méné long. Dans

les milieux naturels, les interactions avec d'autres espèces mèneront à des exigences spatiales accrues par poisson individuel. Des mesures de densité pour le méné long étaient disponibles pour sept affluents dans le sud de l'Ontario (n = 40; données non publiées de Poesch). On a supposé que les données sur la densité ne représentent que des poissons adultes et que des estimations des API de Redside Dace adultes moyens et minimaux spécifiques à l'espèce ont été faites. La superficie moyenne par individu adulte a été estimée au moyen des valeurs médianes des échantillons et la superficie minimale par individu a été estimée au moyen du 5<sup>e</sup> centile des valeurs. La superficie par individu (SI) des jeunes de l'année et des ménés longs juvéniles a été calculée en augmentant l'allométrie de la superficie par individu en supposant la même pente ( $b_{si}$ ) mais en modifiant l'interception ( $a_{si}$ ) en fonction des SI adultes et de la longueur adulte moyenne géométrique. On a obtenu des valeurs  $a_{si}$  variant de -11,42 à -12,68 pour les relations de SI minimales et médianes respectivement.

Les besoins en espace d'une classe d'âge peuvent augmenter ou diminuer tout au long de l'année selon les calendriers de mortalité et de croissance propres à l'âge. L'espace requis pour une cohorte donnée peut être décrit comme étant proportionnel à l'âge en combinant les équations 7, 11, 15 et 16 comme suit :

$$SMPV_t = PMV_t \left( \frac{L_t e^{-Kt}}{L_{t+1}} \right)^{m_0/KL_\infty} e^{a_{si} L_t b_{si}}. \quad (17)$$

En prenant la dérivée de cette fonction, on peut estimer l'âge auquel les besoins en espace d'une cohorte sont les plus élevés ( $t_{superficie}$ ) (Young et Koops 2014) :

$$t_{superficie} = t_0 - \frac{1}{K} \log_e \frac{m_0}{b_{si} K L_\infty}. \quad (18)$$

L'espace requis par une cohorte a augmenté jusqu'à l'âge  $t_{superficie}$  et a diminué par la suite. Afin d'assurer suffisamment d'espace pour la croissance d'une classe d'âge, on a utilisé les valeurs de longueur ( $L_t$ ) et la densité ( $PMV_t$ ) pour estimer la SMPV avec la  $t_{superficie}$ . Lorsque les valeurs  $t < t_{superficie}$  reflètent la fin de la classe d'âge, les valeurs  $t > t_{superficie}$  reflètent le début d'une classe d'âge, et les valeurs  $t_{superficie}$  tombent dans la classe d'âge  $t$ , l'utilisation de la superficie est estimée selon  $t_{superficie}$ . Pour ce faire, on tient compte de la survie de  $t$  à  $t_{superficie}$  dans la valeur  $PMV_t$  intégrée.

## STRATÉGIES DE RÉTABLISSEMENT ET DURÉE DU RÉTABLISSEMENT

Les effets de trois scénarios de rétablissement hypothétiques ont été comparés au moyen des scénarios de catastrophe unique et de métapopulation avec l'amélioration de la survie des jeunes de l'année ( $\sigma_0$ ), de la survie des adultes ( $\sigma_2$  et  $\sigma_3$ ) et de la survie de tous les âges ( $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$ , et  $\sigma_3$ ). Comme le méné long est considéré comme étant en voie de disparition, un taux de croissance de la population initial inférieur à 1 ( $\lambda_{min} = 0,89$ ) a été supposé, ce qui reflète le taux présumé de déclin de la population au moment de l'évaluation du COSEPAC. Chaque type de survie a été amélioré par une proportion qui permettait une croissance de la population positive. Dans les simulations indépendantes, la survie des jeunes de l'année s'est améliorée de 75 %, la survie des adultes s'est améliorée de 75 %, et la survie de toutes les classes d'âge s'est améliorée de 25 %, ce qui a donné des taux de croissance de la population moyens de 1,08, de 1,06 et de 1,10 respectivement.

Les simulations ont été effectuées de manière semblable aux simulations de la PMV. Des matrices aléatoires ont été produites en se servant des indices vitaux améliorés comme valeurs moyennes ainsi que des hypothèses d'écart et de répartition précisées précédemment. Une abondance initiale a été choisie et les populations ont été simulées sur cent ans, en intégrant les répercussions des catastrophes à un taux de 0,10 et de 0,15 par génération. Les simulations ont été répétées 500 fois, et l'ensemble du processus a été reproduit 10 fois. Le

nombre de rétablissements réussis après chaque étape temporelle ont été comptés, avec un rétablissement réussi est défini comme toute population supérieure à la population minimale viable. Les résultats ont été ajustés à l'aide de la régression logistique pour prévoir la probabilité de rétablissement au fil du temps.

L'abondance initiale a été choisie selon l'abondance estimée dans certains affluents précis du sud de l'Ontario (Poos *et al.* 2012). Comme estimation conservatrice, l'intervalle de confiance inférieur des estimations d'abondance a été utilisé en supposant une faible proportion d'habitat optimal. On a obtenu une moyenne géométrique de 737 adultes, qui a été utilisée comme abondance initiale dans les simulations.

## RÉSULTATS

### ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le taux de croissance de la population du méné long était principalement sensible au taux de survie des classes d'âge immatures. Les sensibilités pour la survie des jeunes de l'année et les poissons d'âge-1 étaient égales (tableau 3, figure 10). La sensibilité de la valeur  $\lambda$  à la survie et à la fécondité diminuait avec l'âge. L'ampleur de ce déclin dépendait cependant de la valeur  $\lambda$  – les populations ayant des valeurs  $\lambda$  plus élevées étaient plus sensibles aux perturbations des indices vitaux des classes d'âge plus jeunes et moins sensibles à celles des classes d'âge plus vieilles.

Tableau 3. Résumé de l'analyse de la sensibilité stochastique du taux de croissance de la population ( $\lambda$ ) du méné long aux perturbations des indices vitaux (survie ( $\sigma$ ) et fécondité ( $f$ ; somme des valeurs  $f_i$  dans la figure 10)) propres aux stades (jeunes de l'année (JA), juvéniles (j) et adultes (a)). Les résultats sont présentés sous forme de valeurs d'élasticité ( $\epsilon_v$ ) (valeurs moyennes, et intervalles de confiance inférieurs et supérieurs (ICI et ICS)), et ont été estimés pour les différentes valeurs  $\lambda$ .

Taux de croissance de la population ( $\lambda$ )		Estimation	Élasticité			
			$\sigma_y$	$\sigma_j$	$\sigma_a$	$f$
Minimum	0,886	Moyenne	0,352	0,352	0,295	0,346
		ICI	0,316	0,316	0,247	0,300
		ICS	0,399	0,399	0,336	0,408
Équilibre	1	Moyenne	0,356	0,356	0,287	0,351
		ICI	0,319	0,319	0,242	0,206
		ICS	0,400	0,400	0,328	0,410
Moyenne	1,191	Moyenne	0,363	0,363	0,273	0,359
		ICI	0,328	0,328	0,230	0,315
		ICS	0,405	0,405	0,312	0,415
Estimation	1,464	Moyenne	0,372	0,372	0,257	0,368
		ICI	0,338	0,338	0,218	0,326
		ICS	0,410	0,410	0,294	0,419
Maximum	1,907	Moyenne	0,382	0,382	0,235	0,380
		ICI	0,350	0,350	0,200	0,339
		ICS	0,417	0,417	0,271	0,428

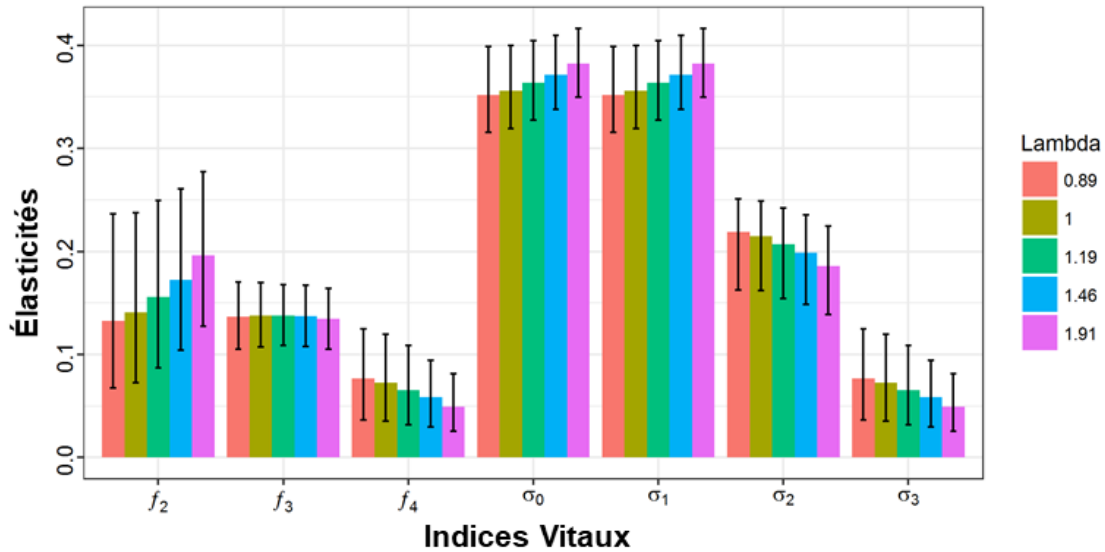


Figure 10. Résultats de l'analyse de la sensibilité stochastique du taux de croissance de la population ( $\lambda$ ) du méné long aux perturbations des indices vitaux propres à l'âge (survie ( $\sigma$ ) et fécondité ( $f$ )). Les résultats sont présentés sous forme de valeurs d'élasticité ( $\varepsilon_v$ ; valeurs moyennes, et intervalles de confiance inférieurs et supérieurs) et ont été estimés pour différentes valeurs  $\lambda$ , afin de représenter le minimum, l'équilibre, la moyenne, l'estimation et le maximum de la valeur  $\lambda$ , respectivement.

## EFFORT DE RÉTABLISSEMENT ET DOMMAGES ADMISSIBLES

### Effort de rétablissement et dommages chroniques admissibles

Les estimations de l'effort de rétablissement et des dommages chroniques admissibles (tableau 4) étaient basées sur les limites inférieures et supérieures des intervalles de confiance de valeurs d'élasticité propres au stade provenant d'une analyse de sensibilité stochastique respectivement, en fonction d'une approche de précaution. Les valeurs représentent le changement proportionnel aux indices vitaux qui résulterait en une valeur  $\lambda = 1$ . On a ainsi pu obtenir une estimation de l'effort de rétablissement (c.-à-d., une augmentation du taux de survie ou de fertilité) nécessaire pour rétablir une population stable à partir du taux de déclin au moment de l'évaluation du COSEPAC (c.-à-d.,  $\lambda = 0,89$ ), ainsi qu'une estimation des dommages admissibles (c.-à-d., diminutions des taux de survie et de fertilité) qui pourraient être appliqués à une population croissante (c.-à-d., une valeur  $\lambda = 1,19, 1,46$  ou  $1,91$ ), et donner une valeur  $\lambda = 1$ . Des valeurs de dommages admissibles inférieures à -1 indiquent un manque de répercussions importantes des dommages sur cet indice vital si tous les autres sont maintenus constants pour un niveau donné de croissance de la population. Les valeurs de dommages chroniques admissibles sont présentées pour trois valeurs de croissance de la population ( $\lambda = 1,19, 1,47$  et  $1,91$ ); cependant, à long terme, il est peu probable que des taux de croissance de la population élevés soient maintenus par une population dans un milieu naturel et, par conséquent, les valeurs de dommages sont probablement non représentatives de populations naturelles.

Une population en déclin ( $\lambda = 0,89$ ) exigeait une amélioration considérable des indices vitaux individuels (> 40 %) pour cesser le déclin de la population. Toutefois, si la survie de toutes les classes d'âge pouvait être améliorée simultanément, il fallait seulement une amélioration de 13 %.



L'ampleur des dommages chroniques admissibles pour une population dépendait du taux de croissance supposé de la population; par contre, les tendances entre les stades étaient semblables. La population adulte était la moins sensible aux dommages alors que les autres stades (survie des jeunes de l'année et des juvéniles, et fécondité) étaient touchés de manière semblable par les dommages. Si on suppose que notre estimation du taux de croissance moyen de la population ( $\lambda = 1,19$ ) est la représentation la plus raisonnable de la croissance à long terme, les dommages admissibles nuisant à la survie de toutes les classes d'âge ne pourraient pas être plus élevés que 15 %.

*Tableau 4. Résumé des estimations de l'effort de rétablissement et des dommages chroniques admissibles pour les indices vitaux individuels du méné long. L'effort de rétablissement s'applique aux populations ayant des taux de croissance de la population inférieurs à 1 alors que les dommages admissibles s'appliquent aux populations ayant des taux de croissance de la population supérieurs à 1. Les valeurs ont été estimées au moyen des intervalles de confiance inférieurs (efforts de rétablissement) ou supérieurs (dommages chroniques admissibles) des élasticités des indices vitaux (tableau 3).*

Taux de croissance de la population ( $\lambda$ )	Indice vital				
	$\sigma_y$	$\sigma_j$	$\sigma_a$	$\sigma$	$f$
<b>Effort de rétablissement</b>					
0,886	0,406	0,406	0,518	0,134	0,426
<b>Dommages admissibles</b>					
1,191	-0,397	-0,397	-0,515	-0,154	-0,387
1,464	-0,773	-0,773	-1,079	-0,305	-0,756
1,907	< -1	< -1	< -1	-0,460	< -1

Afin d'examiner davantage les effets des dommages, on a effectué des simulations de populations de méné long soumises à différents niveaux de dommages. Une population de méné long avec une valeur  $\lambda$  moyenne de 1,19 a été utilisée et les différents niveaux de dommages (décès par 100 individus par année) à des stades biologiques précis (jeunes de l'année, âge-1+ et toutes les classes d'âge) ont été appliqués à la population. La probabilité d'un déclin de la population ( $\lambda < 1$ ) sur un an, dix ans et cent ans a été estimée. Les dommages appliqués variaient de 1 à 99 décès par 100 individus. Les dommages appliqués dans les simulations s'ajoutaient aux taux de mortalité naturelle moyens d'une population indemne et ne prenaient pas en considération la dépendance à la densité. Par conséquent, les estimations représentent probablement des scénarios de la pire éventualité en l'absence de processus compensatoires. Cela pourrait s'avérer d'une importance particulière en ce qui concerne les dommages aux jeunes de l'année.

50 000 matrices de prévision stochastique ont été générées de la même manière que dans notre analyse de sensibilité. La valeur  $\lambda$  de chaque matrice de projection ont été estimées et la moyenne géométrique de la valeur  $\lambda$  sur des périodes de 10 ans (5 000 répétitions) et 100 ans (500 répétitions) a été calculée. La proportion de valeurs  $\lambda < 1$  donne une estimation de la probabilité du déclin de la population au cours de chaque période selon différents types et niveaux de dommages à la population pour la quantité donnée de variabilité intégrée à la simulation de la valeur  $\lambda$  initiale.

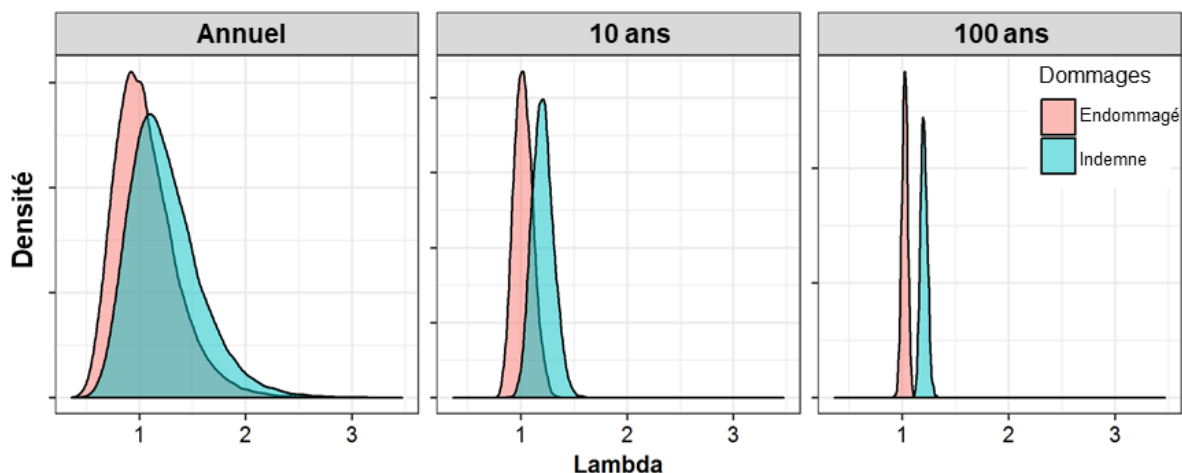


Figure 11. Répartitions de probabilité de la valeur  $\lambda$  pour trois périodes (un an, 10 ans et 100 ans) pour une population de méné long indemne (valeur  $\lambda$  moyenne = 1,19) et soumise à des dommages (maximum de dommages admissibles; valeur  $\lambda$  moyenne  $\approx$  1,02).

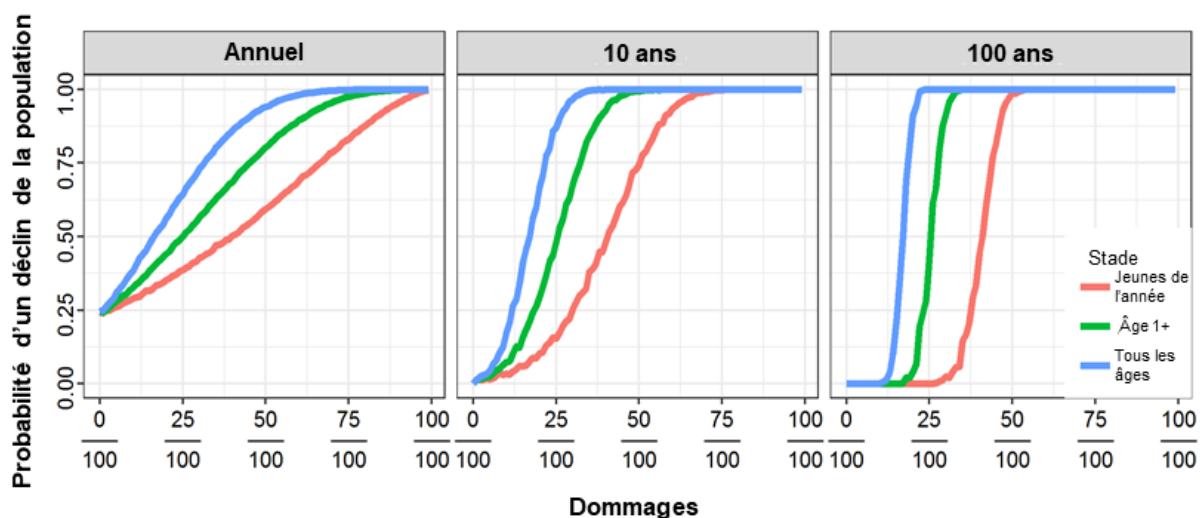


Figure 12. La probabilité d'un déclin d'une population de méné long ( $\lambda < 1$ ) après qu'elle ait subi des niveaux croissants de dommages (décès par 100 individus par années) aux jeunes de l'année, aux poissons d'âge-1+ et à toutes les classes d'âge pendant les trois périodes de temps. [probabilité d'un déclin de la population, an, 10 ans, 100 ans, dommages, stade, jeunes de l'année, âge1+, tous les âges]

Comparer les répartitions de probabilité de la valeur  $\lambda$  de chaque période de temps (figure 11) pour une population indemne ( $\lambda = 1,19$ ) et une population qui subit le maximum de dommages chroniques admissibles (tableau 4) démontre le changement à la valeur  $\lambda$  associé aux dommages par rapport à la durée de temps pendant laquelle les effets des dommages sont mesurés. La probabilité d'observer un déclin de la population chez une population indemne sur un an, dix ans et cent ans était de 24 %, de 0,1 % et de 0 %, compte tenu d'un taux de croissance de la population initial ayant une valeur  $\lambda = 1,19$ . Selon les dommages admissibles (environ 15 décès par 100 poissons), il y avait une probabilité de 48 % du déclin de la population chaque année. Sur dix ans, la probabilité de déclin a diminué à 41 %, alors que sur cent ans, elle a diminué à 21 %.

---

La probabilité d'un déclin de la population, à différents stades biologiques (jeunes de l'année, âge-1+, et toutes les classes d'âge), augmente en fonction du niveau de dommages (figure 12). À partir de la figure 12, le risque (sous forme de probabilité de déclin) associé aux taux de mortalité des poissons peut être déterminé pour un an, dix ans et cent ans. Le taux d'augmentation de la probabilité de déclin dépend de la durée sur laquelle la valeur  $\lambda$  est mesurée; l'augmentation est plus lente sur une base annuelle et plus prononcée sur cent ans. Cela indique que le risque au rétablissement de la population augmente considérablement lorsqu'elle est soumise à des périodes prolongées (c.-à-d., 100 ans) de dommages chroniques, avec des augmentations plutôt faibles des dommages. Sur dix ans, la probabilité de déclin de la population dépassait 50 % après 18 décès par 100 individus par année pour toutes les classes d'âge, 26 décès par 100 individus par année pour les classes d'âge 1+, et 41 décès par 100 individus de ménés longs nés au cours de l'année. Ces valeurs ont atteint 100 % après des décès proportionnels de 35, de 53 et de 73 par 100 individus, respectivement.

### **Dommages temporaires admissibles**

Les dommages temporaires admissibles (prélèvement unique permis, mais effectué au maximum une fois toutes les trois générations) peuvent être extraits de la figure 13 en déterminant le pourcentage de prélèvement qui est associé à une réduction acceptable du taux de croissance de la population au cours de cette période (en suivant la courbe pour le stade biologique soumis au prélèvement). Les dommages temporaires admissibles peuvent varier en fonction du taux de croissance de la population; une population croissante pourra soutenir une capture plus importante sans connaître de déclin qu'une population stable. Les figures ici représentent les taux de prélèvement (p. ex., une proportion de la population). Les chiffres absolus peuvent être déterminés à partir des taux de prélèvement en les multipliant par l'abondance de la population pour le stade biologique approprié. Les chiffres absolus d'individus peuvent également être calculés de manière déterministe (p. ex., ignorer la variation environnementale) compte tenu de l'abondance de la population ( $N_0$ ), le changement acceptable du taux de croissance moyen de la population ( $\Delta\lambda$ ), et le taux de survie de la classe d'âge  $t$  ( $\sigma_t$ ).

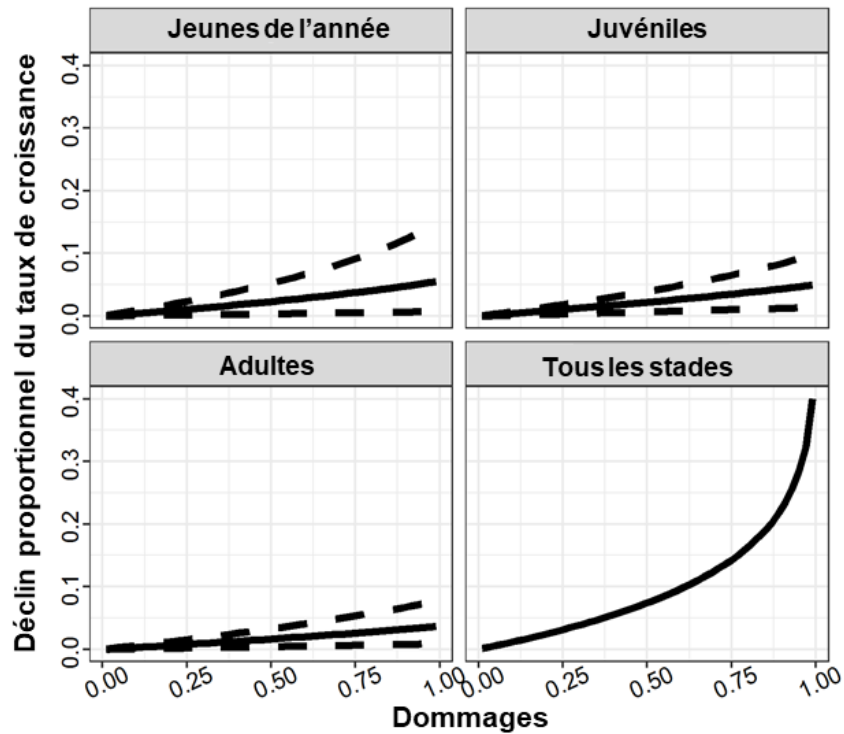


Figure 13. Le déclin proportionnel du taux de croissance de la population en raison de dommages temporaires (prélèvement unique d'individus dans la simulation) ayant une incidence sur les stades précisés. La ligne pleine représente les répercussions moyennes et les lignes pointillées représentent les intervalles de confiance de 95 %. Les simulations ont été effectuées avec une valeur  $\lambda$  initiale de 1,19.

## OBJECTIFS DE RÉTABLISSEMENT

### Abondance : Population minimale viable (PMV)

La probabilité d'extinction ( $P[ext.]$ ) diminue selon une fonction de puissance de la taille de la population adulte ( $N_a$ ) [figure 14]. Fonctions de la forme :  $P[ext.] = a_{PMV} N_a^{b_{PMV}}$ . On a intégré des éléments non linéaires à moindres carrés pour prévoir les probabilités d'extinction pour chaque combinaison de seuils de quasi-extinction, de taux de catastrophe, et de scénario de catastrophe (tableau 5). Ces équations peuvent être revues et utilisées pour estimer les objectifs de rétablissement minimums pour une probabilité souhaitée de persistance sur 100 ans compte tenu des critères de population, de catastrophe et d'extinction prédéfinis. Lorsqu'on choisit les objectifs de rétablissement, il faut établir un équilibre entre les risques associés à la probabilité d'extinction et les coûts associés à un objectif plus ambitieux (effort de rétablissement accru, durée plus longue du rétablissement, etc.). Des valeurs cibles de rétablissement pour tous les scénarios simulés, sont présentées selon un risque d'extinction de 5 % et de 1 % (tableau 6, annexe 1); toutefois, on peut estimer des objectifs supplémentaires selon d'autres risques d'extinction en utilisant les relations fonctionnelles (tableau 5) et la répartition stable selon le stade (tableau 2). Les estimations de PMV ont augmenté considérablement avec des seuils de quasi-extinction plus élevés, des taux de catastrophe plus élevés, et une probabilité d'extinction plus faible (annexe 1). L'approche plus prudente consisterait à utiliser un seuil de quasi-extinction de 50 adultes, une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération et une probabilité d'extinction de 1 % (tableau 6). Cette approche

conservatrice permet une définition plus raisonnable de l'extinction de la population, un taux de catastrophe conforme aux autres vertébrés, et une probabilité d'extinction conservatrice.

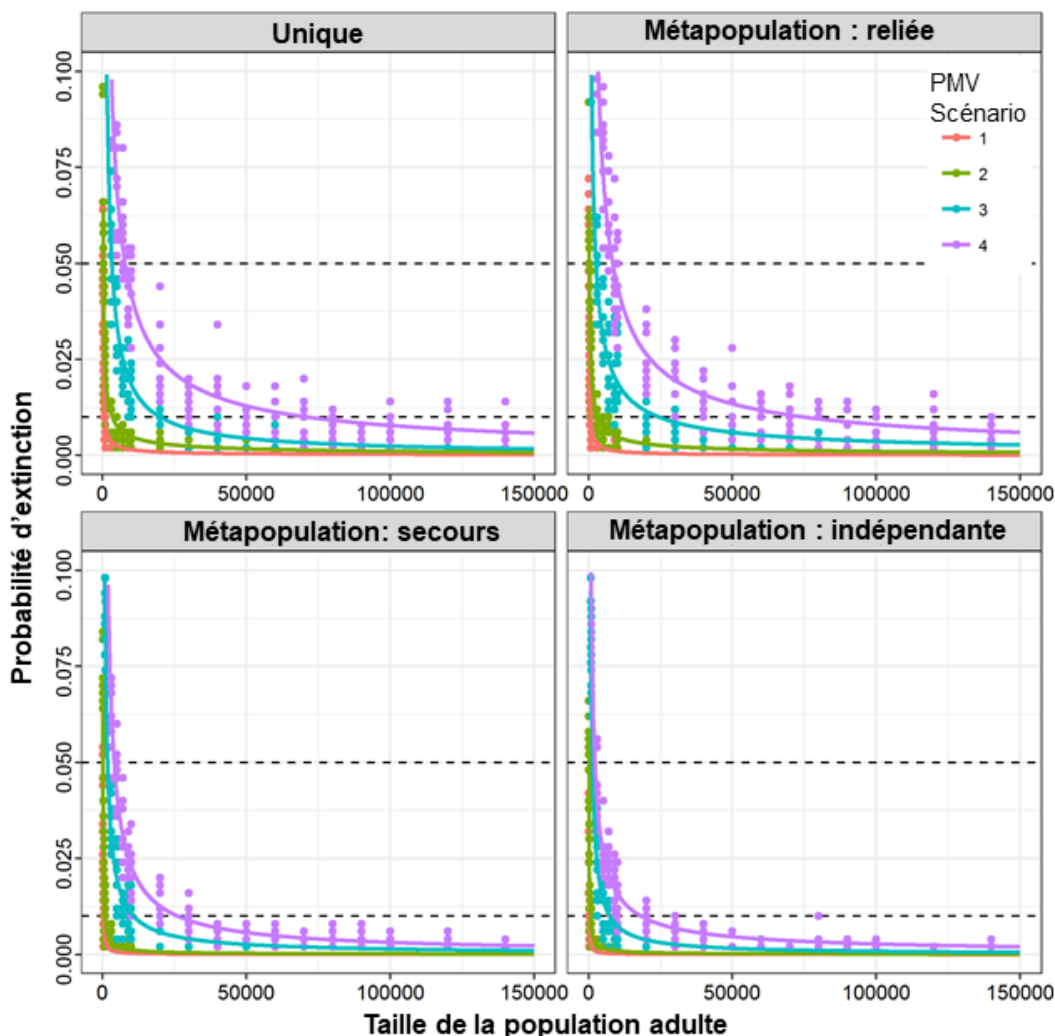


Figure 14. Probabilité d'extinction de la population selon des simulations d'objectif de rétablissement. Des simulations ont été effectuées pour quatre scénarios de catastrophe et quatre scénarios de population minimale viable. Les scénarios de catastrophe comprenaient le modèle de population unique (population unique), trois modèles de métapopulation avec des catastrophes affectant chaque sous-population simultanément (métapopulation reliée), des catastrophes affectant une sous-population de manière indépendante (métapopulation de secours) et des catastrophes affectant chaque sous-population de manière indépendante (métapopulation indépendante). Ces scénarios de PMV ont pris en considération la probabilité de catastrophe par génération et le seuil de quasi-extinction suivants : 1 – 0,10 et 2 adultes; 2 – 0,15 et 2 adultes; 3 – 0,1 et 50 adultes; et 4 – 0,15 et 50 adultes.

La structure de population et le scénario de catastrophe utilisés dans la simulation avaient une influence importante sur les estimations de la PMV (tableau 6). Comme prévu, le modèle de population unique et le modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées ont donné des estimations semblables des objectifs de rétablissement, avec des estimations prudentes de la population minimale viable se chiffrant à environ 75 000 adultes. Cette valeur diminuait de façon marquée lorsqu'on intégrait d'autres scénarios de catastrophe. Le scénario de secours, où une

sous-population (dans ce cas, le banc 2) a été assujettie à des catastrophes de manière indépendante alors que les trois autres bancs subissaient les catastrophes simultanément, a donné une estimation de PMV d'environ 26 000 adultes. Le scénario indépendant, où chaque banc a été affecté par les catastrophes de manière indépendante, avait une valeur de PMV considérablement plus petite de 18 000 adultes. Ces scénarios de catastrophe ont fourni une représentation des autres scénarios potentiels par rapport à la dynamique d'une population unique. Ces simulations visent à donner un aperçu de l'importance potentielle de maintenir une structure de métapopulation et la complexité de l'habitat qui le permet, ainsi que de la vulnérabilité relative de différentes structures de population à un déclin catastrophique.

Tableau 5. Valeurs de paramètres pour les relations de probabilité d'extinction ( $P[ext.] = \alpha_{PMV} N_a^{b_{PMV}}$ ) utilisées pour estimer la population minimale viable (PMV; tableau 6, annexe 1). Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Dans les scénarios de catastrophe, les relations ont été ajustées pour une simulation avec des seuils de quasi-extinction de 2 ou de 50 adultes et des probabilités de catastrophe de 0,10 et de 0,15 par génération.

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	$\alpha_{PMV}$	$\beta_{PMV}$
Population unique	0,10	2	1,538	-0,753
	0,15	2	2,081	-0,656
	0,10	50	64,097	-0,885
	0,15	50	34,234	-0,729
Métapopulation : Catastrophes reliées	0,10	2	3,014	-0,860
	0,15	2	2,207	-0,666
	0,10	50	14,048	-0,717
	0,15	50	39,448	-0,738
Métapopulation : Population de secours	0,10	2	4,301	-1,029
	0,15	2	4,323	-0,889
	0,10	50	35,303	-0,880
	0,15	50	65,436	-0,864
Métapopulation : Catastrophes indépendantes	0,10	2	4,037	-1,081
	0,15	2	2,946	-0,875
	0,10	50	50,060	-0,957
	0,15	50	17,969	-0,764

### Habitat essentiel : Superficie minimale pour une population viable (SMPV)

Les estimations de l'habitat essentiel requis (SMPV) présument une utilisation de l'habitat indépendante par les jeunes de l'année, les juvéniles et les adultes, et tiennent compte des changements aux besoins en espace au cours de l'année provenant des effets interactifs de croissance et de mortalité au moyen d'estimations de la valeur  $t_{superficie}$  (équation 18). La valeur de  $t_{superficie}$  a été estimée comme étant de 0,95 année (figure 15). Cela représente l'âge d'une cohorte où les besoins en espace sont les plus élevés. Par conséquent, la SMPV propre au stade a été établie à l'âge de 0,95 an pour les jeunes de l'année, à l'âge 1 pour les juvéniles, et aux âges cumulatifs 2, 3 et 4 pour les poissons adultes. On a estimé la SMPV en multipliant la population minimale viable propre à l'âge au moment du besoin maximal en matière d'espace pour cet âge par la superficie par individu à ce moment. Trois estimations pour la superficie par individu ont été utilisées (tableau 7). Les valeurs de la SMPV ont été estimées pour des simulations prudentes de la PMV (tableau 8) et toutes les autres simulations (annexe 2) au

moyen de chaque estimation de la surface par individu. Les estimations de la SMPV reposent sur l'hypothèse d'un taux de catastrophe de 0,15 par génération et d'un seuil de quasi-disparition de 50 adultes selon le scénario de catastrophe simulé, et une estimation de la superficie par individu qui s'échelonnait entre 1,7 et 46,3 ha. De plus petites estimations de la SMPV ont été établies à l'aide des valeurs de la superficie par individu produites au moyen de l'allométrie de Minns (2003), qui est une relation générique tirée de la documentation basée sur des mesures des densités de l'assemblage de poissons. Ces valeurs seraient donc représentatives de l'habitat exclusif du méné long et ne tiendraient pas compte de la concurrence avec les autres espèces ou stades biologiques pour l'habitat. Les autres relations de la superficie par individus étaient basées sur les densités mesurées du méné long et pourraient mieux refléter l'habitat requis pour une population de méné long dans une communauté d'espèces. Toutefois, comme on s'attend à ce que les populations de méné long soient en déclin, leurs densités pourraient être inférieures à celles d'une population stable ou croissante, ce qui donnerait des surestimations de la superficie par individu pour une population en rétablissement. Les valeurs sont donc présentées en utilisant la valeur médiane et le 5<sup>e</sup> centile des surfaces par individu estimées pour fournir une estimation plus prudente des besoins en habitat (ces estimations comprennent la communauté d'espèces au sens plus large). De plus, les observations sur la densité, même si elles ont été mesurées dans plusieurs affluents du sud de l'Ontario, ont été faites au cours d'une seule année et ne tiennent pas compte du potentiel de variation interannuelle de la taille des populations et des besoins en matière d'habitat.

Tableau 6. Estimations de la population minimale viable (PMV) propre au stade pour les ménés longs, pour deux probabilités d'extinction ( $P[ext.]$ ). Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Les résultats sont présentés avec des scénarios de simulation d'une PMV qui utilisent un seuil de quasi-extinction de 50 adultes et une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération. Les résultats d'autres scénarios de simulation de la PMV sont présentés dans l'annexe 1 (tableau A1.1).

Scénario de catastrophe	Stade	PMV	
		$P[ext]= 5 \%$	$P[ext]= 1 \%$
<b>Population unique</b>	Jeunes de l'année	1 992 413	18 142 236
	Juveniles	32 294	294 058
	Adultes	7 791	70 943
<b>Métapopulation : Catastrophes reliées</b>	Jeunes de l'année	2 156 758	19 099 783
	Juveniles	34 958	309 578
	Adultes	8 434	74 687
<b>Métapopulation : Population de secours</b>	Jeunes de l'année	1 036 993	6 681 718
	Juveniles	16 808	108 300
	Adultes	4 055	26 128
<b>Métapopulation : Catastrophes indépendantes</b>	Jeunes de l'année	566 769	4 660 889
	Juveniles	9 186	75 546
	Adultes	2 216	18 226

## STRATÉGIES DE RÉTABLISSEMENT ET DURÉE DU RÉTABLISSEMENT

Des simulations ont été effectuées pour étudier la probabilité de rétablissement d'une population au fil du temps, et pour estimer le temps requis pour un rétablissement probable en

vertu de trois scénarios de programme de rétablissement : une amélioration de 75 % de la survie des jeunes de l'année; une amélioration de 75 % de la survie des adultes; une amélioration de 25 % de la survie de toutes les classes d'âge. Les simulations ont commencé avec une taille de population de 737 adultes, et on a jugé que les populations étaient rétablies lorsque leur taille atteignait la taille de la population minimale viable. Des simulations ont été effectuées pour toutes les PMV et scénarios de catastrophe (métapopulation) [annexe 3] et le nombre de rétablissements réussis au fil du temps ont été intégrés comme régression logistique au moyen de la relation suivante :  $P[rec.] = \frac{1}{1+e^{-(a_{rec}+b_{rec}\log_e(année))}}$ , où  $P[rét.]$  est la probabilité de rétablissement (figure 16). Cette relation a été revue et a été utilisée pour prédire le temps requis pour atteindre une probabilité de rétablissement de 95 % (tableau 9).

Tableau 7. Valeurs de superficie par individu (SI) [m<sup>2</sup>] utilisées pour estimer la superficie minimale pour une population viable (SMPV). Les valeurs dans chaque stade sont fournies à l'âge auquel la SMPV est la plus importante.

Stade	Âge	Longueur du poisson	Relation avec la SI		
			Minns	Minimum	Médiane
Jeunes de l'année Juvéniles	0,95	38,8	0,070	0,128	0,450
	1	40,1	0,077	0,141	0,495
Adultes	2	61,4	0,266	0,486	1,701
	3	74,5	0,467	0,854	2,990
	4	82,7	0,631	1,154	4,041

Le succès relatif de chaque stratégie de rétablissement se rapportait au taux de croissance de la population moyen qui découlait de la stratégie. Améliorer la survie de toutes les classes d'âge a donné le rétablissement le plus rapide ( $\lambda = 1,10$ ), et ensuite, c'était l'amélioration de la survie des jeunes de l'année ( $\lambda = 1,08$ ). Améliorer la survie des adultes a donné le rétablissement le plus lent ( $\lambda = 1,06$ ). Le rétablissement était généralement lent, et le temps de rétablissement augmentait à mesure que l'objectif de rétablissement augmentait. La durée minimale du rétablissement avec un taux de catastrophe de 0,15 par génération, un seuil de quasi-disparition de 50 adultes et une probabilité de persistance de 1 % s'établissait à 48,1 ans pour une métapopulation avec des catastrophes indépendantes; si les catastrophes touchant les sous-populations étaient reliées, cette valeur augmentait à 73,1 années.

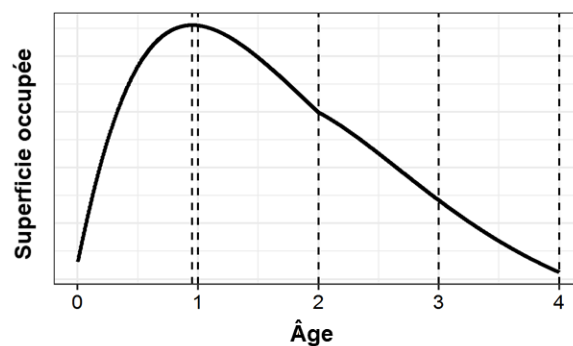


Figure 15. Superficie relative de l'habitat occupée par une cohorte au fil du temps. Les lignes pointillées verticales indiquent l'âge de l'utilisation de la superficie maximale pour chaque classe d'âge.



## DISCUSSION

### ÉLÉMENTS

#### Élément 3 : Estimer les paramètres actuels ou récents du cycle biologique du méné long.

Les meilleures données disponibles ont été rassemblées pour fournir les paramètres du cycle biologique du méné long. La valeur de chaque paramètre du cycle biologique utilisée dans la modélisation du rétablissement est présentée au tableau 1. Les détails concernant la manière dont les paramètres ont été estimés et les données sources utilisées sont présentés à la section Méthodes du présent rapport.

*Tableau 8. Estimations de la superficie minimale (ha) pour une population viable (SMPV) propre à l'âge du méné long avec une probabilité d'extinction (P[ext.]) de 1 %. La SMPV a été estimée à partir de trois estimations de la région avant l'arrivée de l'individu : au moyen d'une allométrie tirée de la documentation (Minns 2003), au moyen d'une estimation faible (5<sup>e</sup> centile), et une estimation médiane des densités de ménés longs (tableau 7). Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Les résultats sont présentés avec des scénarios de simulation d'une PMV qui utilisent un seuil de quasi-extinction de 50 adultes et une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération. Les résultats d'autres scénarios de simulation de la PMV et de seuils de quasi-extinction sont présentés dans l'annexe 2 (tableau A2.1).*

Scénario de catastrophe	Stade	SMPV		
		SI selon Minns	SI minimale	SI médiane
Population unique	Jeunes de l'année	2,164	3,955	13,852
	Juveniles	2,162	3,950	13,837
	Adultes	2,544	4,649	16,285
	Total	6,871	12,555	43,975
Métapopulation : Catastrophes reliées	Jeunes de l'année	2,279	4,164	14,583
	Juveniles	2,276	4,159	14,567
	Adultes	2,679	4,895	17,145
	Total	7,233	13,217	46,296
Métapopulation : Population de secours	Jeunes de l'année	0,797	1,457	5,102
	Juveniles	0,796	1,455	5,096
	Adultes	0,937	1,712	5,998
	Total	2,530	4,624	16,196
Métapopulation : Catastrophes indépendantes	Jeunes de l'année	0,556	1,016	3,559
	Juveniles	0,555	1,015	3,555
	Adultes	0,654	1,194	4,184
	Total	1,765	3,225	11,297

---

## **Élément 12 : Proposer des objectifs de rétablissement concernant l'abondance et la répartition**

Des objectifs d'abondance basés sur une analyse de la population minimale viable (PMV) reposant sur un seuil de quasi-extinction de 50 adultes, une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération et une probabilité d'extinction de 1 % sur cent ans. Des estimations du PMV sont fournies (tableau 6) pour quatre scénarios de catastrophe, qui dépendaient de la structure de population (population unique ou métapopulation) et de la manière dont les catastrophes touchent les sous-populations. Ces scénarios comprenaient le modèle de population unique (population unique), un modèle de métapopulation avec des catastrophes affectant chaque sous-population simultanément (métapopulations reliées), un modèle de métapopulation avec des catastrophes affectant trois sous-populations simultanément et une sous-population de manière indépendante (métapopulation de secours) et un modèle de métapopulation avec des catastrophes affectant chaque sous-population de manière indépendante (métapopulation indépendante).

Les scénarios de population unique et de métapopulations reliées ont donné lieu à des estimations de PMV d'environ 75 000 adultes. L'application de différents scénarios de catastrophe s'est traduite par des réductions importantes des estimations de PMV. Le scénario de métapopulation de secours a donné une estimation de PMV de 26 000 adultes alors que le scénario de métapopulation indépendante a donné une estimation de PMV de 18 000. Ces scénarios de catastrophe se veulent seulement des représentations d'autres scénarios potentiels par rapport à la dynamique d'une population unique et ne sont pas nécessairement directement représentatifs des populations de ménés longs au Canada. Ces simulations visent plutôt à donner un aperçu de l'importance potentielle de maintenir une structure de métapopulation et la complexité de l'habitat qui le permet. De plus, les estimations de PMV d'une métapopulation seront probablement sensibles au nombre de sous-populations incluses dans la simulation, alors que dans le scénario de secours, les estimations de PMV seront probablement sensibles au choix du banc indépendant et des probabilités de mouvement entre les bancs.

Tableau 9. Temps requis (en année) pour qu'une population ait une probabilité de 95 % d'atteindre les objectifs de rétablissement (SMPV; tableau 6) compte tenu d'un taux de croissance de la population initial de 0,89 pour trois stratégies de rétablissement. Voici les trois stratégies de rétablissement étudiées : accroître la survie des jeunes de l'année de 75 %; accroître la survie des adultes de 75 %; accroître la survie de toutes les classes d'âge de 25 %. Les valeurs ont été estimées à partir de la probabilité des relations de rétablissement (annexe 3). Les résultats sont présentés avec des scénarios de simulation d'une PMV qui utilisent un seuil de quasi-extinction de 50 adultes et une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération.

Scénario de catastrophe	Stratégie	Années jusqu'au rétablissement	
		P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %
<b>Population unique</b>	Jeunes de l'année	65,7	97,0
	Adultes	82,3	118,8
	Tous	46,8	71,1
<b>Métapopulation : Catastrophes reliées</b>	Jeunes de l'année	68,6	100,2
	Adultes	84,7	120,3
	Tous	48,4	73,1
<b>Métapopulation : Population de secours</b>	Jeunes de l'année	48,9	74,0
	Adultes	59,2	89,2
	Tous	35,1	54,8
<b>Métapopulation : Catastrophes indépendantes</b>	Jeunes de l'année	35,2	63,2
	Adultes	43,4	78,6
	Tous	25,9	48,1

L'évaluation antérieure du potentiel de rétablissement du méné long (Vélez-Espino et Koops 2008) a produit une estimation de PMV de 4 711 adultes. Cette valeur a été estimée à partir d'une relation prédictive tirée de la documentation (Reed *et al.*, 2003b) en fonction d'estimations de PMV de 102 espèces vertébrées avec une PMV définie comme une probabilité d'extinction de 1 % sur 40 générations; toutefois, une seule espèce de poisson a été incluse dans l'analyse. Vélez-Espino et Koops (2012) ont inclus le méné long dans leur évaluation de PMV pour les poissons d'eau douce, et ont estimé la PMV du méné long à 24 614 pour une probabilité d'extinction de 5 % sur 250 années (environ 83 générations). Des estimations mises à jour étaient basées sur une modélisation de simulations propres à l'espèce avec de l'information mise à jour sur le cycle biologique et sont probablement une meilleure représentation de la dynamique des populations de méné long.

Le choix d'objectif de rétablissement ne se limite pas aux scénarios présentés ici. Des estimations supplémentaires pour la PMV pour d'autres seuils de quasi-extinction et de probabilités de catastrophe sont présentées à l'annexe 1 et des estimations pour des probabilités de persistance supplémentaires peuvent être faites au moyen des valeurs de paramètres qui figurent au tableau 5.

Selon Reed *et al.* (2003a), des événements catastrophiques (un déclin ponctuel de l'abondance d'au moins 50 %) surviennent à une probabilité moyenne de 0,14 fois par génération chez les vertébrés. On ne sait pas à quelle fréquence des événements catastrophiques affectant les populations de ménés longs surviennent. Les objectifs de rétablissement ont été modélisés en supposant une population stable avec le scénario de catastrophe le plus prudent, selon le travail de Reed et de ses collègues (2003a), de 15 %. Il faudra déterminer le motif de déclin ainsi que les répercussions sur la métapopulation pour assurer la persistance du méné long.

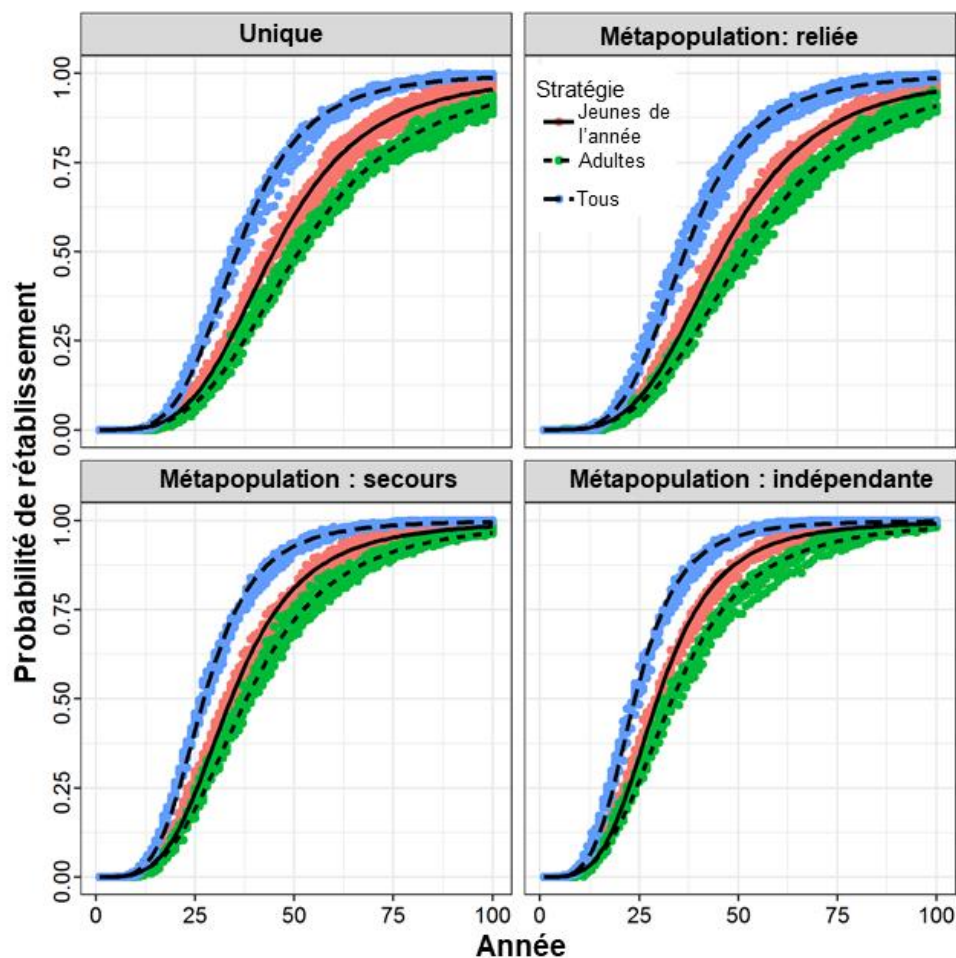


Figure 16. Probabilité de rétablissement au fil du temps pour une population de méné long ayant une abondance initiale de 737 adultes, lorsque le rétablissement est défini comme l'atteinte d'une PMV (tableau 6). Des simulations ont été effectuées avec un taux de catastrophe de 0,15 par génération et un objectif de PMV ayant une probabilité d'extinction de 1 % et un seuil de quasi-extinction de 50 adultes pour chaque scénario de catastrophe. Les lignes représentent les relations adaptées au moyen de la régression logistique; les valeurs de paramètres reposant sur la régression logistique pour tous les scénarios de simulation sont présentées à l'annexe 3.

Les objectifs de rétablissement basés sur la PVM peuvent être facilement mal interprétés comme un point de référence pour l'exploitation ou les dommages admissibles. Un objectif de rétablissement n'est ni l'une ni l'autre de ces choses, car il se rapporte exclusivement à un niveau d'abondance minimal pour lequel la probabilité de persistance à long terme dans le cadre d'un cadre de rétablissement est élevée. Par conséquent, les objectifs de rétablissement fondés sur l'abondance sont particulièrement pertinents aux populations qui se situent en deçà de ce seuil, et sont utiles pour optimiser les efforts et les ressources en sélectionnant ces populations qui ont le plus besoin d'efforts de rétablissement. Ces objectifs de PMV font référence au nombre d'adultes seulement. Si les juvéniles sont inclus dans des estimations d'abondance, alors la PMV doit aussi inclure ces classes d'âge.

De plus, des estimations de PMV pour le méné long ont été calculées à partir d'un modèle de matrice postreproduction. Cela signifie que des estimations d'abondance ont été faites directement après la ponte et avant que la mortalité propre à l'âge soit survenue. Par

---

conséquent, des estimations d'abondance tirées de l'analyse de la PMV représentent l'abondance annuelle maximale pour une population donnée. Lorsqu'on fait la comparaison avec les observations sur le terrain de l'abondance, la date de prélèvement d'échantillons par rapport à la date de frai doit être prise en considération, et il faut tenir compte de la mortalité prévue au cours de cette période.

**Élément 13 : Projeter les trajectoires attendues des populations sur une période raisonnable (minimum de 10 ans) sur le plan scientifique et des trajectoires au fil du temps jusqu'à l'atteinte des objectifs de rétablissement potentiels, en fonction des paramètres actuels de la dynamique des populations de méné long.**

Les trajectoires des populations actuelles de méné long au Canada ne sont pas connues en raison d'un manque de données de surveillance normalisées dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce qui a dirigé une exploration entre le potentiel de rétablissement selon une série de scénarios présumés de déclin et de croissance de la population. Dans les projections de rétablissement, on a supposé que les populations initiales pourraient être en déclin selon la définition du COSEPAC d'une espèce en voie de disparition : un déclin de 70 % de la taille de population au cours des dix dernières années se traduisant par un taux de croissance de la population estimé de 0,89. Selon cette hypothèse, les populations continueront de diminuer et il n'y aura pas de possibilité de rétablissement à moins que des mesures d'atténuation soient prises. La même conclusion s'applique à n'importe quel taux de croissance de la population inférieur à 1.

**Élément 14 : Présenter un avis sur la mesure dans laquelle l'habitat approprié disponible répond aux besoins de l'espèce, tant actuellement que lorsque les objectifs de rétablissement de l'espèce proposés dans l'élément 12 sont atteints.**

À l'heure actuelle, les densités des populations de méné long semblent être plus basses que ce que l'habitat actuellement disponible pourrait soutenir (Poos *et al.* 2012); toutefois, l'étendue d'habitat optimal au sein de la répartition actuelle du méné long est inconnue (Poos *et al.* 2012) et l'urbanisation continue partout dans le sud de l'Ontario détériorera davantage l'habitat approprié du méné long par l'intermédiaire de différents mécanismes (COSEPAC 2017).

La superficie minimale requise pour soutenir une taille de population minimale viable a été calculée pour chaque PMV et scénario de catastrophe (annexe 2) au moyen de trois estimations des besoins de superficie par individu (SI). La première estimation de SI, fondée sur une allométrie tirée de la documentation (Minns 2003), donne une estimation de l'habitat exclusif du méné long, et est conforme aux rapports antérieurs d'évaluation du potentiel de rétablissement. Les autres estimations étaient basées sur les répartitions des besoins en superficie du méné long (selon les estimations de densité) et fournissent les besoins en superficie minimums (5<sup>e</sup> centile) ainsi que la valeur médiane de ces besoins. Comme on s'attend à ce que les populations de méné long aient une faible abondance, l'estimation médiane de la superficie par individu peut surestimer les besoins en superficie d'une population saine. Ces valeurs, toutefois, fournissent des estimations des besoins en superficie inclusives de la communauté d'espèces complète et peuvent mieux refléter les besoins en habitat naturels. Les SMPV estimées pour le méné long reposant sur l'estimation minimale de la superficie par individu des densités du méné long, selon une hypothèse de probabilité de catastrophe de 0,15 par génération et un seuil de quasi-extinction de 50 adultes étaient d'environ 13 ha pour les simulations de la population unique et des métapopulations reliées, et de 4,6 ha et de 3,2 ha pour les scénarios de métapopulations de secours et indépendantes, respectivement. Lors de l'évaluation du potentiel de rétablissement antérieure du méné long, on

---

a calculé une SMPV de 1,7 ha, en fonction d'une plus petite PMV et d'une superficie par individu estimée au moyen de l'allométrie de Minns (2003) [Vélez-Espino et Koops 2008].

**Élément 15 : Évaluer la probabilité que les objectifs possibles de rétablissement puissent être atteints selon les paramètres actuels de la dynamique des populations et comment cette probabilité pourrait varier selon différents paramètres de mortalité (en particulier selon des valeurs plus faibles) et de productivité (en particulier selon des valeurs plus élevées).**

Un taux de croissance de la population initial de 0,89 a été assumé. Selon ce scénario, le rétablissement de la population ne serait pas possible sans des efforts pour améliorer la survie ou la production du méné long. Les effets de trois efforts de rétablissement visant à améliorer la survie : une augmentation de 75 % de la survie des jeunes de l'année, une augmentation de 75 % de la survie des adultes (de deux à quatre ans), et une augmentation de 25 % de la survie de toutes les classes d'âge ont été simulés. Ces efforts de rétablissement se traduisent par une croissance de population positive ayant des valeurs  $\lambda$  de 1,08, de 1,06 et de 1,10, respectivement. Les simulations stochastiques fournissent des estimations de la probabilité de rétablissement au fil du temps, où le rétablissement est défini comme l'atteinte d'une PMV, et permettent l'estimation du temps requis pour atteindre une probabilité de rétablissement de 95 %. La durée du rétablissement peut être estimée pour toutes les PMV et tous les scénarios de catastrophe à partir des valeurs de paramètres dans l'annexe 3. Les estimations de durée du rétablissement ont été faites pour les simulations ayant une probabilité de catastrophe de 0,15 par génération et un seuil de quasi-extinction de 50 adultes (tableau 9). Les rétablissements les plus rapides sont survenus après avoir amélioré la survie de toutes les classes d'âge, avec des durées de rétablissement variant de 48,1 à 73,1 années. Ces valeurs étaient le résultat de valeurs de taux de croissance de la population moyens relativement modestes pour une espèce de cette taille (Randall et Minns 2000). Le taux de croissance de la population maximal a été estimé, au moyen de l'intervalle de prédiction inférieur d'une allométrie (Randall et Minns 2000), et avons obtenu une valeur de 1,91. La croissance de la population ne devrait pas être aussi importante de façon constante à mesure que les densités augmentent, mais on pourrait s'attendre à des taux supérieurs à 1,19, ce qui se traduirait par des durées de rétablissement plus courtes.

**Élément 19 : Estimer la diminution attendue du taux de mortalité découlant de chaque mesure d'atténuation et activité de rechange énumérée dans l'élément 16, ainsi que l'augmentation de la productivité ou de la survie associée à chaque mesure de l'élément 17.**

Sans un lien direct entre les mesures d'atténuation et les taux de mortalité ou de productivité du méné long cette information ne peut pas être fournie.

**Élément 20 : Projeter la trajectoire attendue des populations (et les incertitudes) sur une période raisonnable du point de vue scientifique et jusqu'au moment d'atteindre les objectifs de rétablissement, en fonction des taux de mortalité et des taux de productivité en rapport avec les mesures particulières aux fins d'examen énoncées dans l'élément 19. Inclure les objectifs qui présentent la plus forte probabilité possible de survie et de rétablissement pour des valeurs de paramètres réalistes sur le plan biologique.**

Sans liens directs entre les mesures d'atténuation et les taux de mortalité ou de productivité du méné long, cette information ne peut pas être fournie.

---

**Élément 21 : Recommander des valeurs de paramètres sur les taux de productivité et de mortalité initiaux et, si nécessaire, des caractéristiques particulières concernant les modèles de population qui pourraient être requises pour permettre l'exploration d'autres scénarios dans le cadre de l'évaluation des incidences économiques, sociales et culturelles en appui au processus d'inscription.**

Les valeurs de paramètres présentées au tableau 1 reposent sur les meilleures données disponibles pour cette population et devraient être utilisées pour toute modélisation de la population future.

**Élément 22 : Évaluer le taux maximal de mortalité et de destruction de l'habitat anthropiques que l'espèce peut soutenir sans risque pour sa survie ou son rétablissement.**

Afin de pouvoir évaluer les dommages admissibles, il faut connaître le taux de croissance de la population du méné long au Canada. En raison d'un manque de données de surveillance de la population normalisées dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, les taux de croissance de la population du méné long sont en grande partie inconnus, bien que les critères d'évaluation du COSEPAC (et des observations empiriques sur le terrain) indiquent que des preuves démontrent un déclin de la population. Si le taux de croissance de la population actuel est de 0,89, il n'est pas possible d'autoriser des dommages admissibles, car toute mortalité ou destruction de l'habitat d'origine anthropique compromettrait la survie ou le rétablissement. Toutefois, une analyse des dommages admissibles a été effectuée en supposant des taux de croissance de la population moyens de 1,19, de 1,47 et de 1,91, pour illustrer les dommages admissibles pour différentes projections de croissance de la population, comme il est prévu après la mise en œuvre de mesures d'atténuation.

Les populations de ménés longs étaient les plus sensibles aux perturbations de la survie avant le stade adulte et de la fécondité, ce qui confirme les résultats de modélisations précédentes de la sensibilité de populations de poissons aux perturbations des indices vitaux (van der Lee et Koops 2016). Il faut donc réduire au minimum les dommages d'origine anthropique aux stades préadultes et pendant le frai. Si une population affichait un taux de croissance ayant une valeur  $\lambda$  de 1,19, réduire la survie des jeunes de l'année ou des juvéniles de  $\geq 39,7\%$  ou la fécondité de 38,7 % compromettrait le rétablissement de la population. Si toutes les classes d'âge subissent des dommages d'origine anthropique, une réduction de la survie de  $\geq 15,4\%$  menacerait le rétablissement. Si la population augmentait moins rapidement, les dommages admissibles seraient moindres.

La figure 12 permet une estimation des risques associés à différents niveaux de dommages chroniques (décès par 100 individus par année) à différents stades biologiques, si on suppose un taux de croissance de la population moyen de 1,19. À mesure que le niveau de dommage augmente, le risque d'observer un déclin de la population augmente, selon une relation sigmoïde. Il est important de noter que les résultats présentés à la figure 12 sont propres au taux de croissance de la population indemne ( $\lambda = 1,19$ ) et que l'ampleur du risque de déclin de la population pour un niveau donné de dommages augmentera avec des valeurs  $\lambda$  moyennes plus faibles.

Des dommages temporaires peuvent être infligés sans mettre en péril la survie ou le rétablissement de l'espèce, mais seulement si la population n'est pas en déclin. Un prélèvement ponctuel d'environ 37,5 % de la population totale se traduira par un déclin d'environ 5 % du taux de croissance de la population si celle-ci augmente selon une valeur  $\lambda = 1,19$ . La population aurait un déclin de la population, en moyenne, si on effectuait un prélèvement supérieur à

---

environ 85 % de la population. Un taux de croissance de la population moyen plus faible augmenterait les répercussions des dommages temporaires.

## SOURCES D'INCERTITUDE

Les données se rapportant au cycle biologique et à la dynamique des populations du méné long étaient limitées. Tout d'abord, il y avait un manque d'information normalisée sur les tendances des populations du méné long. Par conséquent, tous les calculs où le taux de croissance de la population était requis (p. ex., dommages admissibles ou durée du rétablissement) étaient basés sur des tendances démographiques présumées. Plus d'information se rapportant aux trajectoires des populations à différents sites, qui nécessiterait de longues séries chronologiques d'abondance de la population, aiderait à préciser les estimations des valeurs  $\lambda$  aux fins d'utilisation dans l'estimation des dommages admissibles ou de l'effort de l'établissement, et des durées de rétablissement ou des répercussions des efforts d'atténuation prévues. Il y avait également peu de données empiriques concernant des indices vitaux importants, comme la survie et la fécondité. Une seule estimation empirique de la mortalité adulte était disponible et il est possible qu'elle aille à l'encontre des hypothèses de l'analyse de la courbe des prises. De plus, il n'y avait pas de données empiriques concernant la survie des classes d'âge plus jeunes. On a plutôt utilisé une relation allométrique pour estimer la survie des jeunes de l'année et des juvéniles, et il a été supposé que la mortalité adulte était constante. On ne sait pas en quoi ces hypothèses pourraient différer des populations subsistantes du méné long au sud de l'Ontario, et il est important de souligner que les estimations du taux de croissance de la population étaient sensibles aux perturbations des taux de survie avant le stade adulte. Les valeurs sur la fécondité utilisées dans notre analyse étaient basées sur une relation développée à partir de seulement quelques ( $n = 13$ ) observations de la fécondité du méné long. Il faut plus de données se rapportant à la fécondité individuelle pour améliorer la confiance à l'égard de ces estimations.

La variabilité interannuelle des indices vitaux est également largement inconnue. La variation de la fécondité intégrée aux simulations stochastiques était basée sur la moitié de l'erreur-type relative de la relation de fécondité, qui a été choisie pour refléter une variation raisonnable. Toutefois, l'erreur-type relative reflète l'ampleur de la variation parmi les femelles individuelles qui, même si elle est réduite de moitié, peut représenter une surestimation de la variabilité interannuelle à l'échelle de la population. De plus, la variabilité du taux de survie était complètement inconnue. Une relation constante entre la mortalité instantanée et sa variation ont été assumées (Bradford 1992) par l'utilisation d'un coefficient de variation de 0,2 appliqué aux taux de mortalité à l'âge-1+ (Mertz et Meyers 1995). On ne sait pas à quel point cette hypothèse se rapproche de la variation de la mortalité du méné long. L'ampleur de la variation intégrée aux simulations stochastiques peut avoir une incidence importante sur les estimations de PMV (Vélez-Espino et Koops 2012). Les augmentations de l'écart-type de la fécondité tendent à mener à des estimations de la PMV plus petites, alors que des augmentations de l'écart-type de la survie peuvent mener à des estimations de la PMV beaucoup plus élevées (Vélez-Espino et Koops 2012). Ces hypothèses doivent être prises en considération lorsqu'on applique des objectifs d'abondance basés sur des valeurs de PMV ayant des estimations futures ajustées à mesure que l'on dispose de plus d'information sur la variabilité de l'indice vital.

Finalement, la fréquence, la configuration spatiale, et les répercussions des événements catastrophiques pour le méné long ne sont pas connues, et ont été présumées dans cette analyse. Des simulations ont été effectuées avec deux différentes fréquences (0,10 et 0,15 par génération) et quatre scénarios d'impact, selon la structure de métapopulation. Le choix de la fréquence et du scénario de catastrophe avait une incidence importante sur la PMV et les estimations de durée de rétablissement. Les scénarios indépendants et de secours,



---

caractérisés par une ou plusieurs sous-populations qui subissent des catastrophes de manière indépendantes, démontreraient plus de résilience par rapport aux catastrophes reliées (simultanées) touchant toutes les sous-populations. Ces structures de population dépendent toutefois de la structure spatiale qui permet l'isolation des catastrophes et l'existence de sous-populations de secours. En général, les métapopulations avaient des PMV plus petites et des durées de rétablissement plus courtes par rapport aux scénarios à population unique. Comme peu d'information existe sur l'ampleur de la structure des métapopulations ou sur la synchronie des événements catastrophiques, des travaux de recherche qui détermineraient la magnitude et la fréquence de ces facteurs atténueraient considérablement l'incertitude par rapport aux estimations des tailles des PMV; il s'agit donc d'une recommandation pour la conservation du méné long.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Bradford, M.J. 1992. Precision of recruitment prediction from early life stages of marine fishes. *Fish Bull.* 90: 439-453.
- Caswell, H. 2001. *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation.* Sinauer Associates, Sunderland, MA. 722 p.
- COSEPAC 2007. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le méné long (*Clinostomus elongatus*) au Canada – Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. ON. vii + 68 p.
- COSEPAC. 2017. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le méné long (*Clinostomus elongatus*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. ON. xiii + 70 p.
- de Kroon, H., Plaiser, A., Groenendael, J.V., and Caswell, H. 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. *Ecology* 67: 1427-1431.
- Duarte, C.M, and Alcaraz, M. 1989. To produce many small or few large eggs: a size-independent reproductive tactic of fish. *Oecologia* 80: 401-404.
- Hunter, C.M. and Caswell, H. 2005. The use of vec-permutation matrix in spatial matrix population models. *Ecol. Model.* 188: 15-21.
- Koster, J. 1939. Some phases of the life history and relationships of the Cyprinid, *Clinostomus elongates*. *Copeia* 1939: 201-208.
- Lorenzen, K. 2000. Allometry of natural mortality as a basis for assessing optimal release size in fish-stocking programmes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 2374-2381.
- Maceina, M.J. and Bettoli, P.W. 1998. Variation in largemouth bass recruitment in four mainstream impoundments of the Tennessee River. *N. Am. J. Fish. Manage.* 18: 998-1003.
- McKee, P.M. and B.J. Parker. 1982. The distribution, biology, and status of the fishes *Compostoma anomalum*, *Clinostomus elongatus*, *Notropus photogenis* (Cyprinidae), and *Fundulus notatus* (Cyprinodontidae) in Canada. *Can. J. Zool.* 60: 1347-1358.
- Mertz, G. and Myers, R.A. 1995. Estimating the predictability of recruitment. *Fish Bull.* 93: 657-665.
- Minns, C.K. 2003. [An area-per-individual \(API\) model for estimating critical habitat requirements in aquatic species-at-risk.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec.: Res. Doc. 2003/074. i + 21 pp.

- 
- MPO. 2007a. [Documentation de l'utilisation de l'habitat par les espèces en péril et quantification de la qualité de l'habitat](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2007/038.
- MPO. 2007b. [Protocole révisé pour l'exécution des évaluations du potentiel de rétablissement](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2007/039.
- Poos, M.S. and Jackson, D.A. 2012. Impact of species-specific dispersal and regional stochasticity on estimates of population viability in stream metapopulations. *Landscape Ecol.* 27: 405-416.
- Poos, M. Lawrie, D, Tu, C., Jackson, D.A, and Mandrak, N.E. 2012. Estimating local and regional population sizes for an endangered minnow, Redside Dace (*Clinostomus elongatus*), in Canada. *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* 22: 47-57.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Randall, R.G., and Minns, C.K. 2000. Use of fish production per unit biomass ratios for measuring the productive capacity of fish habitats. *C. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 1657-1667.
- Randall, R.G., Minns, C.K., and Kelso, J.R.M. 1995. Fish production in freshwaters: are rivers more productive than lakes? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 631–643. doi:10.1139/f95-063
- Reed, D.H., O'Grady, J.J., Ballou, J.D., and Frankham, R. 2003a. The frequency and severity of catastrophic die-offs in vertebrates. *Animal Cons.* 6: 109-114.
- Reed, D.H., O'Grady, J.J., Brook, B.W., Ballou, J.D., and Frankham, R. 2003b. Estimates of minimum viable population sizes for vertebrates and factors influencing those estimates. *Biol. Conserv.* 113: 23-34.
- Scott, W.B., and Crossman, E.J. 1973. Freshwater fishes of Canada. *Bull. Fish. Res. Board Can.* No. 184: 966 p.
- Shaffer, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. *BioScience* 31: 131-134.
- van der Lee and Koops 2016. Are small fishes more sensitive to habitat loss? A generic size-bases model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 716-726.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2007. [A quantitative approach to assessing allowable harm in species at risk: application to the Laurentian black redhorse \(\*Moxostoma duquesnei\*\)](#). *Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Res. Doc.* 2007/051. iv + 28 p.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2008. [Recovery potential assessment of Redside Dace \(\*Clinostomus elongates\*\) in Canada](#). *Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Res. Doc.* 2008/005. iii + 23 p.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2009. Quantifying allowable harm in species at risk: application to the Laurentian black redhorse (*Moxostoma duquesnei*). *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 19: 676–688. doi:10.1002/aqc.1023.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2012. Capacity for increase, compensatory reserve, and catastrophes as determinants of minimum viable population in freshwater fishes. *Ecol. Model.* 247: 319-326.
- Vélez-Espino, L.A., Randall, R.G., and Koops, M.A. 2010. [Quantifying habitat requirements of four freshwater species at risk in Canada: Northern Madtom, Spotted Gar, Lake Chubsucker, and Pugnose Shiner](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Res. Doc.* 2009/115. iv + 21 p.
-

Young, J.A.M. and Koops, M.A. 2014. [Population modelling of balck redhorse \(\*Moxostoma duquesni\*\) in Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Res. Doc. 2014/020.

## ANNEXE 1

Tableau A1.1. Estimations de la population minimale viable (PMV) propre au stade pour les ménés longs, pour deux probabilités d'extinction ( $P[ext.]$ ). Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Dans les scénarios de catastrophe, les estimations ont été fournies pour une simulation avec des seuils de quasi-extinction de 2 ou de 50 adultes et des probabilités de catastrophe de 0,10 et de 0,15 par génération.

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stade	PMV	
				$P[ext.] = 5\%$	$P[ext.] = 1\%$
Population unique	0,10	2	Jeunes de l'année	24 269	206 032
			Juveniles	393	3 339
			Adultes	95	806
	0,15	2	Jeunes de l'année	75 111	872 917
			Juveniles	1 217	14 149
			Adultes	294	3 413
	0,10	50	Jeunes de l'année	831 386	5 124 691
			Juveniles	13 475	83 063
			Adultes	3 251	20 039
	0,15	50	Jeunes de l'année	1 992 413	18 142 236
			Juveniles	32 294	294 058
			Adultes	7 791	70 943
Métapopulation : Catastrophes reliées	0,10	2	Jeunes de l'année	30 071	195 469
			Juveniles	487	3 168
			Adultes	118	764
	0,15	2	Jeunes de l'année	75 601	848 141
			Juveniles	1 225	13 747
			Adultes	296	3 317
	0,10	50	Jeunes de l'année	663 602	6 258 536
			Juveniles	10 756	101 441
			Adultes	2 595	24 473
	0,15	50	Jeunes de l'année	2 156 758	19 099 783
			Juveniles	34 958	309 578
			Adultes	8 434	74 687
Métapopulation : Population de secours	0,10	2	Jeunes de l'année	19 373	92 523
			Juveniles	314	1 500
			Adultes	76	362

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stade	PMV	
				<i>P[ext.] = 5 %</i>	<i>P[ext.] = 1 %</i>
Métapopulation : Catastrophes indépendantes	0,15	2	Jeunes de l'année	38 563	235 691
			Juveniles	625	3 820
			Adultes	151	922
	0,10	50	Jeunes de l'année	443 376	2 763 555
			Juveniles	7 186	44 793
			Adultes	1 734	10 807
	0,15	50	Jeunes de l'année	1 036 993	6 681 718
			Juveniles	16 808	108 300
			Adultes	4 055	26 128
	0,10	2	Jeunes de l'année	14 855	65 830
			Juveniles	241	1 067
			Adultes	58	257
0,15	2	Jeunes de l'année	26 992	169 888	
		Juveniles	438	2 754	
		Adultes	106	664	
0,10	50	Jeunes de l'année	348 993	1 875 519	
		Juveniles	5 657	30 399	
		Adultes	1 365	7 334	
0,15	50	Jeunes de l'année	566 769	4 660 889	
		Juveniles	9 186	75 546	
		Adultes	2 216	18 226	

## ANNEXE 2

Tableau A2.1. Estimations de la superficie minimale (ha) pour une population viable (SMPV) propre au stade du méné long avec deux probabilités d'extinction (P[ext.]). La SMPV a été estimée à partir de trois estimations de la superficie par individu : allométrie tirée de la documentation (Minns 2003), estimation faible (5e centile) tirée des observations du méné long, et estimation médiane tirée des observations du méné long. Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Dans les scénarios de catastrophe, les estimations ont été fournies pour une simulation avec des seuils de quasi-extinction de 2 ou de 50 adultes et des probabilités de catastrophe de 0,10 et de 0,15 par génération.

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stade	SMPV					
				SI selon Minns		SI minimale		SI médiane	
				P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %	P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %	P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %
Population unique	0,10	2	Jeunes de l'année	0,003	0,025	0,005	0,045	0,019	0,157
			Juveniles	0,003	0,025	0,005	0,045	0,019	0,157
			Adultes	0,003	0,029	0,006	0,053	0,022	0,185
			Total	0,009	0,078	0,017	0,143	0,059	0,499
	0,15	2	Jeunes de l'année	0,009	0,104	0,016	0,19	0,057	0,667
			Juveniles	0,009	0,104	0,016	0,19	0,057	0,666
			Adultes	0,011	0,122	0,019	0,224	0,067	0,784
			Total	0,028	0,331	0,052	0,604	0,182	2,116
	0,10	50	Jeunes de l'année	0,099	0,611	0,181	1,117	0,635	3,913
			Juveniles	0,099	0,611	0,181	1,116	0,634	3,909
			Adultes	0,117	0,719	0,213	1,313	0,746	4,6
			Total	0,315	1,941	0,575	3,546	2,015	12,422
	0,15	50	Jeunes de l'année	0,238	2,164	0,434	3,955	1,521	13,852
			Juveniles	0,237	2,162	0,434	3,95	1,52	13,837
			Adultes	0,279	2,544	0,511	4,649	1,788	16,285
			Total	0,755	6,871	1,379	12,555	4,829	43,975

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stade	SMPV					
				SI selon Minns		SI minimale		SI médiane	
				P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %	P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %	P[ext.] = 5 %	P[ext.] = 1 %
Métapopulation : Catastrophes reliées	0,10	2	Jeunes de l'année	0,004	0,023	0,007	0,043	0,023	0,149
			Juveniles	0,004	0,023	0,007	0,043	0,023	0,149
			Adultes	0,004	0,027	0,008	0,05	0,027	0,175
			Total	0,011	0,074	0,021	0,135	0,073	0,474
	0,15	2	Jeunes de l'année	0,009	0,101	0,016	0,185	0,058	0,648
			Juveniles	0,009	0,101	0,016	0,185	0,058	0,647
			Adultes	0,011	0,119	0,019	0,217	0,068	0,761
			Total	0,029	0,321	0,052	0,587	0,183	2,056
	0,10	50	Jeunes de l'année	0,079	0,747	0,145	1,364	0,507	4,779
			Juveniles	0,079	0,746	0,144	1,363	0,506	4,773
			Adultes	0,093	0,878	0,17	1,604	0,596	5,618
			Total	0,251	2,37	0,459	4,331	1,608	15,17
0,15	50	Jeunes de l'année	0,257	2,279	0,47	4,164	1,647	14,583	
		Juveniles	0,257	2,276	0,47	4,159	1,645	14,567	
		Adultes	0,302	2,679	0,553	4,895	1,936	17,145	
		Total	0,817	7,233	1,493	13,217	5,228	46,296	
Métapopulation : Population de secours	0,10	2	Jeunes de l'année	0,002	0,011	0,004	0,02	0,015	0,071
			Juveniles	0,002	0,011	0,004	0,02	0,015	0,071
			Adultes	0,003	0,013	0,005	0,024	0,017	0,083
			Total	0,007	0,035	0,013	0,064	0,047	0,224
	0,15	2	Jeunes de l'année	0,005	0,028	0,008	0,051	0,029	0,18
			Juveniles	0,005	0,028	0,008	0,051	0,029	0,18
			Adultes	0,005	0,033	0,01	0,06	0,035	0,212
			Total	0,015	0,089	0,027	0,163	0,093	0,571
	0,10	50	Jeunes de l'année	0,053	0,33	0,097	0,602	0,339	2,11
			Juveniles	0,053	0,329	0,097	0,602	0,338	2,108

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stade	SMPV					
				SI selon Minns		SI minimale		SI médiane	
				<i>P[ext.]</i> = 5 %	<i>P[ext.]</i> = 1 %	<i>P[ext.]</i> = 5 %	<i>P[ext.]</i> = 1 %	<i>P[ext.]</i> = 5 %	<i>P[ext.]</i> = 1 %
Métapopulation : Catastrophes indépendantes	0,15	50	Adultes	0,062	0,388	0,114	0,708	0,398	2,481
			Total	0,168	1,047	0,307	1,912	1,075	6,699
			Jeunes de l'année	0,124	0,797	0,226	1,457	0,792	5,102
			Juveniles	0,124	0,796	0,226	1,455	0,791	5,096
	0,10	2	Adultes	0,145	0,937	0,266	1,712	0,931	5,998
			Total	0,393	2,53	0,718	4,624	2,514	16,196
			Jeunes de l'année	0,002	0,008	0,003	0,014	0,011	0,05
			Juveniles	0,002	0,008	0,003	0,014	0,011	0,05
	0,15	2	Adultes	0,002	0,009	0,004	0,017	0,013	0,059
			Total	0,006	0,025	0,01	0,046	0,036	0,16
			Jeunes de l'année	0,003	0,02	0,006	0,037	0,021	0,13
			Juveniles	0,003	0,02	0,006	0,037	0,021	0,13
	0,10	50	Adultes	0,004	0,024	0,007	0,044	0,024	0,152
			Total	0,01	0,064	0,019	0,118	0,065	0,412
			Jeunes de l'année	0,042	0,224	0,076	0,409	0,266	1,432
			Juveniles	0,042	0,223	0,076	0,408	0,266	1,43
0,15	50	Adultes	0,049	0,263	0,089	0,481	0,313	1,684	
		Total	0,132	0,71	0,242	1,298	0,846	4,546	
		Jeunes de l'année	0,068	0,556	0,124	1,016	0,433	3,559	
		Juveniles	0,068	0,555	0,123	1,015	0,432	3,555	
0,079	0,654	Adultes	0,079	0,654	0,145	1,194	0,509	4,184	
		Total	0,215	1,765	0,392	3,225	1,374	11,297	

### ANNEXE 3

Tableau A3.1. Valeurs de paramètres pour les relations de probabilité de rétablissement ( $P[rec.] = \frac{1}{1+e^{-(a_{rec}+b_{rec} \log(\text{année}))}}$ ) utilisées pour estimer le temps de rétablissement (tableau 9). Trois stratégies de rétablissement ont été étudiées : accroître la survie des jeunes de l'année de 75 %; accroître la survie des adultes de 75 %; accroître la survie de toutes les classes d'âge de 25 %. Les valeurs sont fournies pour différents scénarios de catastrophe : le modèle de population unique, un modèle de métapopulation avec des catastrophes reliées, une métapopulation avec une sous-population de secours, et un modèle de métapopulation avec des catastrophes indépendantes. Dans les scénarios de catastrophe, les relations ont été ajustées pour une simulation avec des seuils de quasi-extinction de 2 ou de 50 adultes et des probabilités de catastrophe de 0,10 et de 0,15 par génération. La mention sans objet (S.O.) indique que l'objectif de rétablissement (SMPV) était plus petit que la taille de population initiale.

Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stratégie	Probabilité de rétablissement			
				P[ext.] = 5 %		P[ext.] = 1 %	
				a <sub>rét</sub>	b <sub>rét</sub>	a <sub>rét</sub>	b <sub>rét</sub>
Population unique	0,10	2	Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	-1,672	1,413
			Adultes	S.O.	S.O.	-0,824	1,059
			Tous	S.O.	S.O.	-0,882	1,397
	0,15	2	Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	-6,742	2,437
			Adultes	S.O.	S.O.	-6,193	2,171
			Tous	S.O.	S.O.	-6,809	2,708
	0,10	50	Jeunes de l'année	-6,597	2,410	-11,629	3,335
			Adultes	-6,049	2,144	-10,869	3,008
			Tous	-6,643	2,673	-12,054	3,699
	0,15	50	Jeunes de l'année	-9,163	2,893	-14,511	3,816
			Adultes	-8,496	2,594	-13,752	3,495
			Tous	-9,368	3,201	-15,193	4,254
Métapopulation : Catastrophes reliées	0,10	2	Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	-1,416	1,334
			Adultes	S.O.	S.O.	-0,604	1,010
			Tous	S.O.	S.O.	-0,610	1,332
	0,15	2	Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	-6,602	2,387
			Adultes	S.O.	S.O.	-6,209	2,173
			Tous	S.O.	S.O.	-6,666	2,665
	0,10	50	Jeunes de l'année	-5,821	2,235	-11,894	3,343
			Adultes	-5,462	2,031	-11,250	3,063
			Tous	-5,815	2,494	-12,620	3,792
	0,15	50	Jeunes de l'année	-9,273	2,889	-14,490	3,784
			Adultes	-8,714	2,626	-13,783	3,492
			Tous	-9,639	3,243	-15,298	4,250
0,10	2	Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		Adultes	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	



Scénario de catastrophe	Taux de catastrophe	Seuil d'extinction	Stratégie	Probabilité de rétablissement				
				<i>P[ext.] = 5 %</i>		<i>P[ext.] = 1 %</i>		
				<i>a<sub>ré</sub></i>	<i>b<sub>ré</sub></i>	<i>a<sub>ré</sub></i>	<i>b<sub>ré</sub></i>	
Métapopulation : Population de secours	0,15	2	Tous	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	-2,404	1,689	
			Adultes	S.O.	S.O.	-1,725	1,371	
	0,10	50	Tous	S.O.	S.O.	-1,757	1,706	
			Jeunes de l'année	-4,807	2,168	-10,924	3,355	
			Adultes	-4,468	1,957	-10,267	3,058	
	0,15	50	Tous	-4,557	2,333	-11,261	3,716	
			Jeunes de l'année	-7,844	2,773	-13,364	3,789	
			Adultes	-7,392	2,532	-12,520	3,443	
	Métapopulation : Catastrophes indépendantes	0,10	2	Tous	-7,948	3,062	-13,868	4,200
				Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
				Adultes	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
0,15		2	Tous	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			Jeunes de l'année	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			Adultes	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
0,10		50	Tous	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			Jeunes de l'année	-4,021	2,093	-10,417	3,393	
			Adultes	-3,785	1,908	-9,448	2,997	
0,15		50	Tous	-3,703	2,236	-10,345	3,627	
			Jeunes de l'année	-6,016	2,517	-13,183	3,890	
			Adultes	-5,566	2,257	-12,054	3,437	
			Tous	-5,735	2,668	-13,352	4,208	