



Fisheries and Oceans
Canada

Pêches et Océans
Canada

Science

Sciences

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2013/022

Région du Centre et de l'Arctique

Modélisation du potentiel de rétablissement de l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*) au Canada

Jennifer A. M. Young et Marten A. Koops

Pêches et Océans Canada
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6 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.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013
ISSN 1919-5044

La présente publication doit être citée comme suit :

Young, J.A.M, et Koops, M.A. 2013. Modélisation du potentiel de rétablissement de l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*) au Canada. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/022. iv + 14 p.

Also available in English :

Young, J.A.M. and Koops, M.A. 2013. Recovery potential modelling of Hickorynut (Obovaria olivaria) in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/022. iv + 13 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	1
Modèle	1
Oovarie olivâtre	1
Esturgeon jaune	3
Dépendance à l'hôte	3
Sensibilité de la population.....	6
Modèle indépendant de l'hôte	6
Modèle dépendant de l'hôte	6
Dommages admissibles	7
RÉSULTATS.....	7
Sensibilité de la population.....	7
Modèle indépendant de l'hôte	7
Modèle dépendant de l'hôte	9
DISCUSSION.....	12
Sources d'incertitudes	13
RÉFÉRENCES	14

RÉSUMÉ

Le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a évalué l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*) comme étant espèce *en voie de disparition* au Canada (COSEPAC 2011). Afin d'appuyer l'évaluation du potentiel de rétablissement (EPR), nous présentons ici une modélisation de la population d'obovarie olivâtre, y compris sa dépendance à son poisson hôte (esturgeon jaune) au stade parasitaire. L'information sur le cycle biologique de l'espèce et des populations n'a pas suffi pour paramétrer un modèle propre à l'obovarie olivâtre. C'est pourquoi nous nous sommes appuyés sur des données générales concernant les indices et le cycle vital des unionidés pour estimer la sensibilité de la croissance de la population aux changements de la survie, de la croissance et de la fécondité de l'obovarie olivâtre. Nous avons également examiné les effets de la dépendance à l'hôte sur l'abondance de la population de moules. Les résultats du modèle montrent que la croissance de la population d'obovarie olivâtre est probablement plus sensible aux perturbations proportionnelles affectant la survie des juvéniles et des adultes. La modélisation a montré que si une population de moule est stable ou croissante, son abondance est déterminée par : l'abondance de l'hôte (si elle est stable), la trajectoire de la population hôte, le cycle biologique de la moule et la probabilité de fixation des glochidies sur l'hôte en question. Quand la population hôte est stable, l'abondance de la moule est stable et prévisible. Cet équilibre est sensible au cycle biologique de l'obovarie olivâtre et très sensible à la disponibilité d'esturgeons jaunes juvéniles hôtes, alors qu'il est moins sensible à la disponibilité d'hôtes adultes.

ABSTRACT

The Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada (COSEWIC) has assessed Hickorynut (*Obovaria olivaria*) as *Endangered* in Canada (COSEWIC 2011). In support of a recovery potential assessment (RPA) we present population modelling of Hickorynut, including its dependence on a host fish (Lake Sturgeon) for its parasitic phase. Species and population specific information on the life history of Hickorynut was not sufficient to parameterize a species specific model of Hickorynut. Instead we used general knowledge of the life cycle and vital rates of unionid mussels to estimate the sensitivity of population growth to changes in the survival, growth, and fecundity of Hickorynut. We also explored how host-dependence affects mussel population abundance. Model results show that Hickorynut population growth is likely most sensitive to proportional perturbations that affect juvenile or adult survival. Modelling showed that when a mussel population is stable or growing, mussel population abundance is determined by: host abundance (if stable), host population trajectory, the life history of the mussel, and host-specific probability of glochidial attachment. When the host population was stable, a predictable, stable mussel abundance was reached. This equilibrium was sensitive to the life history of Hickorynut, and was very sensitive to the availability of juvenile Lake Sturgeon as hosts but less so to the availability of adult hosts.

INTRODUCTION

En 2011, l'obovarie olivâtre (*Obovaria Olivaria*) a été désignée espèce *en voie de disparition* par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2011) en raison du déclin de l'aire de répartition de l'espèce, d'une menace continue posée par des dreissénidés envahissants et de menaces potentielles pesant sur le poisson hôte, l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*). Conformément à la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), qui prévoit l'élaboration de programmes de protection et de rétablissement des espèces en péril d'extinction ou de disparition du Canada, Pêches et Océans Canada (MPO) a réalisé une évaluation du potentiel de rétablissement (EPR) (MPO 2007a, 2007b) afin de fournir des renseignements et des avis scientifiques sur l'espèce. Toute évaluation du potentiel de rétablissement se compose de trois éléments : évaluation du statut de l'espèce, portée du rétablissement et enfin scénarios d'atténuation et solutions de rechange. Le dernier élément nécessite de définir des cibles et un calendrier de rétablissement et la mesure des incertitudes associées aux résultats de l'action de rétablissement. L'information sur le cycle biologique de l'espèce et des populations n'a pas suffi pour paramétrer un modèle propre à l'obovarie olivâtre. C'est pourquoi nous nous sommes appuyés sur des données générales concernant les indices et le cycle vital des unionidés pour estimer la sensibilité de la croissance de la population aux changements de la survie, de la croissance et de la fécondité de l'obovarie olivâtre. Nous avons également examiné les effets de la dépendance à l'hôte sur l'abondance de la population de moules. Les résultats permettront de cerner les lacunes les plus importantes dans la connaissance de l'obovarie olivâtre et participeront à son plan de rétablissement.

MÉTHODES

L'analyse s'est divisée en trois parties : (i) compilation des renseignements sur les indices vitaux des unionidés pour établir des matrices de projection, en utilisant les incertitudes du cycle biologique afin de représenter la variation du cycle vital dans des simulations stochastiques; (ii) emploi de ces matrices dans une perturbation stochastique pour déterminer la sensibilité des taux de croissance de la population aux changements de chaque indice vital suivant la méthode de Vélez-Espino et Koops (2007, 2009a, 2009b); (iii) création d'un modèle à deux espèces pour simuler la dépendance de l'obovarie olivâtre à son espèce hôte. La sensibilité du modèle à l'abondance de l'hôte, à la trajectoire de la population hôte, au cycle biologique de la moule et à la probabilité de fixation à l'hôte a été examinée.

MODÈLE

Obovarie olivâtre

À l'aide d'une démarche par matrice, le cycle vital de l'obovarie olivâtre a été représenté avec des intervalles de projection annuels et une matrice de projection structurée par stades antérieurs à la reproduction (Caswell 2001). Le cycle vital a été divisé en trois stades : incubation des glochidies, juvéniles et adultes matures (Figure 1). Le modèle suppose que les femelles adultes fécondées couvent les glochidies en hiver et les libèrent au printemps. Les glochidies libérées doivent ensuite se métamorphoser sur un poisson hôte, se fixer au stade juvénile puis survivre à l'hiver suivant pour que les juvéniles puissent être comptés comme juvéniles d'un an au recensement suivant. Les moules restent au stade juvénile jusqu'à l'atteinte de la maturité; elles sont alors considérées comme adultes.

Les éléments de la matrice par stades étaient : le coefficient de fécondité par classe de stade i (F_i), la probabilité de survivre au stade i et de rester au stade i (P_i) et la probabilité de

transition de survivre à un stade et de passer au suivant (G_i , Figure 1). P_i et G_i sont subdivisés en la probabilité pour un individu de rester au stade i ($1-\gamma_i$) ou de passer du stade i à $i+1$ (γ_i) et la probabilité de survie annuelle de l'individu (σ_i); $P_i = \sigma_i (1-\gamma_i)$ et $G_i = \sigma_{i+1} \gamma_i$. Le terme γ_i est calculé par la formule :

$$(1) \quad \gamma_i = \frac{(\sigma_i)^{T_i} - (\sigma_i)^{T_i-1}}{(\sigma_i)^{T_i} - 1}$$

où T_i est la durée du stade i en années et la distribution par âge dans chaque stade est supposée stable (Caswell 2001).

Les éléments de la matrice structurée par stade sont : le coefficient de fécondité par classe d'âge i (F_i) et la probabilité annuelle par âge de survie de l'âge $i-1$ à l'âge i (σ_i). Les coefficients de fécondité (F_i) sont calculés comme étant le nombre annuel de glochidies par femelle (f) multiplié par la survie des descendants au recensement suivant. Puisque le modèle se fonde sur les femelles, les valeurs de fécondité ont été multipliées par 0,5 pour ne tenir compte que des femelles (hypothèse d'un sex-ratio de 1:1). Étant donné que la première étape est celle des glochidies incubées dans la femelle, la survie est représentée par la survie annuelle des adultes. La transition du stade de glochidie au stade de juvénile (σ_{gloch}) dépend des probabilités de réussite de la fixation, de la métamorphose et de l'établissement dans un substrat convenable ainsi que de la survie du juvénile à son premier hiver.

Estimation des paramètres

La fécondité de l'obovarie olivâtre a été estimée à partir de la longueur de la coquille (L) au moyen de la relation fécondité selon la taille (ci-dessous) d'une espèce apparentée *Obovaria unicolor*, présentée dans Haag (2013).

$$(2) \quad f = 572,16L^{1,31}.$$

La longueur moyenne de coquille d'obovaries olivâtres prélevées dans le fleuve Saint-Laurent a été utilisée (47,7 mm \pm 2,2 mm d'écart-type; A. Paquet, MNRF, données non publiées). La fécondité est ainsi estimée à ~ 90 000 glochidies (IC de 95 % : 85 000 – 96 000). D'autres estimations de la fécondité de l'obovarie olivâtre ont été calculées par observation (c.-à-d. sans calcul direct), par exemple : 40 000 – 80 000 (N. Eckert, Genoa National Fish Hatchery, communication personnelle) et 50 000 – 500 000 (A. Martel, Musée canadien de la nature, communication personnelle). Dans toutes les explorations de modèle, l'estimation de base était de 90 000 glochidies.

La longévité et l'âge à la maturité s'appuient sur des échantillons prélevés dans la rivière des Outaouais. L'âge d'environ 15 moules adultes a été estimé à entre 7 et 14 ans, d'après leurs stries externes sombres (COSEPAC 2011). Les obovaries olivâtres peuvent toutefois probablement vivre jusqu'à plus de 20 ans (A. Martel, communication personnelle). Il a été supposé par une estimation de base que l'âge à la maturité est de 7 ans et l'âge minimal possible de 4 ans (B. Sietman, Minnesota Department of Natural Resources, communication personnelle). L'âge maximal est supposé entre 14 et 20 ans avec une moyenne de 17 ans.

La survie annuelle à toutes les étapes est supposée cohérente avec les valeurs générales indiquées pour les unionidés dans Young et Koops (2011). Toutes les analyses et les simulations ont été effectuées au moyen du programme statistique R (R Development Core Team 2012). Tous les paramètres de modèle sont définis dans le Tableau 1.

Esturgeon jaune

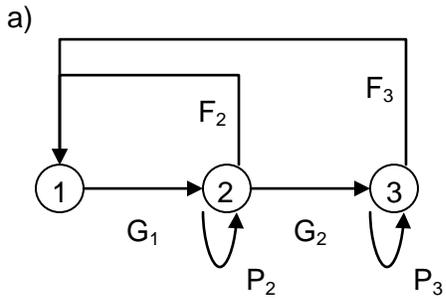
Le cycle vital de l'esturgeon jaune a été représenté par le modèle de matrice de projection mis au point dans Vélez-Espino et Koops (2009b). Les valeurs de paramètres correspondent à la population d'esturgeon jaune du fleuve Saint-Laurent [unité désignable (UD) 8c].

Dépendance à l'hôte

Il a été observé que les glochidies d'obovarie olivâtre se transformaient sur des esturgeons jaunes dont l'âge pouvait être de seulement 1 an et la taille de seulement 10 cm environ (N. Eckert, communication personnelle). Nous avons alors posé l'hypothèse que tous les esturgeons jaunes de plus d'un an étaient susceptibles d'être infestés. La probabilité de fixation des glochidies (c.-à-d. de survie la première année, σ_{gloch}) est supposée déterminée par le taux de rencontre entre les hôtes et les moules. En particulier, la probabilité de fixation a été réduite à une fonction du rapport entre l'abondance d'esturgeons jaunes de plus d'un an (H) et l'abondance de moules adultes (M), comme suit :

$$(3) \quad \sigma'_{gloch} = \begin{cases} \sigma_{gloch} c \frac{H}{M} & \text{if } cH \leq M \\ 1 & \text{if } cH > M \end{cases}$$

Ici, σ_{gloch} est la survie des moules la première année, en supposant que la disponibilité des hôtes n'est pas un facteur limitant, c est une constante scalaire représentant la probabilité annuelle moyenne de rencontre entre un hôte et chaque moule et σ'_{gloch} est la survie réelle des moules la première année (après réductions de la dépendance à l'hôte). La constante c peut aussi être interprétée comme la capacité biotique proportionnée des moules en fonction de l'abondance de l'hôte. Ainsi, la survie des moules est affectée uniquement si $H < M/c$. En l'absence de données sur la mortalité induite par l'infestation du poisson hôte, le taux de mortalité est supposé négligeable pour que le modèle reste simple.



b)

$$A = \begin{pmatrix} 0 & F_2 & F_3 \\ G_1 & P_2 & 0 \\ 0 & G_2 & P_3 \end{pmatrix}$$

c)

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 2\,080 & 32\,764 \\ 2,55e^{-5} & 0,69 & 0 \\ 0 & 0,05 & 0,73 \end{pmatrix}$$

Figure 1. Cycle vital général (a), correspondant à la matrice de projection structurée par stade (b), et valeurs moyennes des éléments de la matrice (c) utilisés pour modéliser la dynamique des populations d'obovarie olivâtre. F_i représente les fécondités annuelles réelles et σ_i les probabilités de survie du stade $i-1$ au stade i . On constate que la fécondité est positive pour les juvéniles depuis le recensement précédant la reproduction, ces individus sont sur le point d'atteindre leur maturité et de produire une descendance (Caswell 2001).

Tableau 1. Valeurs, symboles, descriptions et sources de tous les paramètres utilisés pour modéliser l'obovarie olivâtre et l'esturgeon jaune.

Catégorie	Description	Symbole	Estimation	Source/Référence
Paramètres des moules	Survie des glochidies	σ_{gloch}	2,55 E-5 (1,8 E-5 – 3,3 E-5)	(Young et Koops 2011)
	Survie des glochidies dépendant de l'hôte	σ'_{gloch}	$\sigma'_{\text{gloch}} = \sigma_{\text{gloch}} \frac{H}{M}$	Équation (3)
	Constante scalaire de rencontre de l'hôte par moule	c	Indéterminée	
	Survie des juvéniles	σ_{juv}	0,74 (0,54 – 0,93)	(Young et Koops 2011)
	Survie des adultes	σ_{adult}	0,75 (0,51 – 0,99)	(Young et Koops 2011)
	Fécondité	f	90 000 (85 000 – 96 000)	
	Âge à la maturité	T_{mat}	7 (4 – 7)	(COSEPAC 2011)
	Âge maximal	T_{max}	17 (14 – 20)	
	Longueur moyenne de la coquille	L	47,7 mm (45,5 - 49,9)	A. Paquet, MNRF
Paramètres des hôtes	Survie la première année	σ_1	0,00082	(Vélez-Espino et Koops 2009b)
	Survie des juvéniles (2 classes de stade)	σ_2, σ_3	0,28; 0,71	
	Survie des adultes (2 classes de stade)	σ_4, σ_4	0,90; 0,90	
	Fécondité (2 classes de stade)	f_4, f_5	24 361, 33 667	
Éléments de la matrice	Fécondité réelle des moules (descendance femelle des adultes survivants)	F_i	Figure 1c	(Caswell 2001)
	Taux de moules restant au stade j	P_i		
	Transition du stade $j-1$ au stade j	G_i		
Analyse	Taux de croissance annuel de la population	λ	S.O.	(Caswell 2001)
	Indice vital général (survie, maturité, fertilité)	v		
	Élasticité (sensibilité proportionnelle du taux v)	ϵ_v		
Abondance de la population	Abondance de la population moule adulte (équilibre)	$(M^*) M$	Dépend des paramètres du modèle	
	Abondance des hôtes (poissons de plus d'1 an) disponibles (équilibre)	$(H^*) H$		

SENSIBILITÉ DE LA POPULATION

Nous avons examiné la sensibilité du modèle de deux manières. Nous avons d'abord examiné un scénario dans lequel l'abondance de l'hôte est supérieure aux besoins de la population de moules et n'affecte pas ainsi la fixation (et donc la survie) des glochidies de moules (H est suffisamment grand pour que $\sigma'_{\text{gloch}} = \sigma_{\text{gloch}}$ dans l'équation (3) pour tous les H). Il s'agit du modèle indépendant de l'hôte. Nous avons aussi étudié la sensibilité du modèle dépendant de l'hôte, dans lequel l'abondance de l'hôte a un effet sur la survie de glochidies ($\sigma'_{\text{gloch}} < \sigma_{\text{gloch}}$ pour certains ou tous les H).

Modèle indépendant de l'hôte

Nous nous intéressons à la sensibilité du taux de croissance annuel estimé de la population (λ) aux perturbations de l'indice vital v . Le taux annuel de croissance de la population peut être estimé comme la plus grande valeur propre de la matrice de projection (Caswell 2001). La sensibilité du modèle est quantifiée par des élasticités, qui sont une mesure de la sensibilité du taux de croissance de la population aux perturbations de l'indice vital v et sont données par les dérivés partiels proportionnés de λ par rapport à l'indice vital :

$$(4) \quad \varepsilon_v = \frac{v}{\lambda} \sum_{i,j} \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} \frac{\partial a_{ij}}{\partial v}.$$

Ici, a_{ij} représente les éléments de la matrice.

En plus de calculer les élasticités des indices vitaux de manière déterministe, comme dans la description ci-dessus, nous avons également incorporé la variation des indices vitaux pour déterminer les effets des perturbations démographiques sur les réponses de la population. Des simulations par ordinateur ont servi à (i) produire 5 000 matrices, avec des indices vitaux issus de distributions aux moyennes et étendues correspondant à la description ci-dessus (Tableau 1) (voir Vélez-Espino et Koops 2007), (ii) calculer λ pour chaque matrice, (iii) calculer la valeur ε_v de σ_j et f_j pour chaque matrice et (iv) estimer les élasticités stochastiques moyennes et leurs intervalles de confiance paramétriques de 95 % calculés selon la méthode de *bootstrap*.

Modèle dépendant de l'hôte

Une projection des populations futures de moules et d'hôtes a été réalisée au moyen des valeurs moyennes de paramètres du Tableau 1. À chaque période, la survie des glochidies était rectifiée conformément à l'équation (3). La projection a été poursuivie jusqu'à obtenir une dynamique des populations constante (c.-à-d. que les deux populations aient atteint l'extinction, la stabilité ou un taux de croissance constant). La sensibilité des trajectoires et équilibres (le cas échéant) a été comparée en (i) rectifiant la trajectoire des populations d'hôtes ou de moules pour tester différentes combinaisons de croissance, de stabilité et de déclin, (ii) en modifiant les indices vitaux en cas de trajectoires stables pour déterminer la sensibilité des équilibres à ces changements et (iii) en réduisant la disponibilité ou l'efficacité des hôtes aux différents stades biologiques.

Le dernier cas a été ajouté parce que le modèle suppose que tout poisson hôte est également susceptible d'être infesté par des glochidies, quels que soient sa taille et son âge. Il est cependant possible que les poissons plus âgés soient moins susceptibles de l'être en raison d'une immunité acquise ou que les plus jeunes puissent contenir moins de glochidies étant donné qu'ils sont plus petits. Nous avons examiné les quatre scénarios suivants de disponibilité des hôtes, où la disponibilité aux quatre stades de l'hôte (début du stade juvénile, fin du stade juvénile, début du stade adulte, fin du stade adulte) a été pondérée en conséquence :

-
- i. Des variations dans la sensibilité aux glochidies en fonction de la taille ou l'âge peuvent exister ou se contrebalancent de sorte que tous les esturgeons jaunes de plus d'un an aient une sensibilité égale; facteurs de pondération = (1, 1, 1, 1).
 - ii. Plus l'hôte est grand, plus il peut contenir de glochidies. Les facteurs de pondération sont choisis arbitrairement pour lisser les profils de croissance du poisson; facteurs de pondération = (0,5; 0,75; 0,95; 1).
 - iii. À l'inverse de ii, plus le poisson est âgé, moins il est sensible aux infestations; facteurs de pondération = (1; 0,95; 0,75; 0,5).
 - iv. Les hypothèses ii et iii sont toutes les deux vraies; les hôtes les plus petits et les plus âgés peuvent contenir moins de glochidies que les hôtes de taille et d'âge moyens. Les facteurs de pondération égalent le produit des scénarios ii et iii; facteurs de pondération = (0,5; 0,7; 0,7; 0,5).

DOMMAGES ADMISSIBLES

Les dommages admissibles sont définis comme des dommages causés à la population qui ne mettront pas en péril le rétablissement ou la survie de la population. Les dommages chroniques désignent les modifications nuisibles d'indice vital (survie, fécondité, etc.) qui entraînent un déclin du taux de croissance annuel de la population de façon permanente ou à long terme. Les dommages temporaires désignent un prélèvement unique d'individus qui affecte la survie (et donc le taux de croissance de la population) seulement l'année du prélèvement.

L'estimation des dommages admissibles dépend surtout de la trajectoire de la population et des indices vitaux propres à l'espèce. Étant donné que de nombreux éléments du cycle biologique de l'obovarie olivâtre sont inconnus, aucune valeur n'est précisément attribuée aux dommages admissibles dans le présent document. Nous avons préféré fonder notre avis concernant les dommages admissibles sur la sensibilité du modèle. Plus le modèle est sensible aux changements d'un paramètre donné, plus la population est susceptible d'être affectée à ce stade biologique.

RÉSULTATS

SENSIBILITÉ DE LA POPULATION

Modèle indépendant de l'hôte

Le taux de croissance de la population d'obovarie olivâtre devrait être plus sensible aux changements proportionnels de la survie des juvéniles et des adultes, moyennement sensible à l'âge à la maturité et relativement insensible aux changements proportionnels de la survie des glochidies, de la fécondité ou de l'âge maximal (Tableau 2; Figure 2). Ceci est vrai non seulement pour les valeurs moyennes des paramètres estimées, mais aussi pour toutes les étendues des valeurs testées (Tableau 1). Ceci est particulièrement important étant donné l'incertitude des estimations de survie pour tous les stades biologiques de l'obovarie olivâtre. L'incertitude des élasticités (intervalles de confiance) peut s'expliquer par la corrélation entre les indices vitaux et les valeurs d'élasticité d'autres indices. L'importance (élasticité) de la survie des adultes est corrélée négativement à la valeur de survie des juvéniles ($r = -0,67$), tandis que l'importance de la survie des juvéniles est corrélée négativement à la valeur de survie des adultes ($r = -0,66$) et à l'âge à la maturité ($r = 0,47$). En d'autres termes, plus le taux de survie est faible à l'un des stades (juvéniles ou adultes), plus la population est sensible aux taux de survie de l'autre stade.

Tableau 2. Sommaire des élasticités des indices vitaux (ϵ_v) de l'obovarie olivâtre dans le modèle indépendant de l'hôte. Les élasticités indiquées sont celles des probabilités de survie annuelle à chaque stade, de la fécondité, de l'âge à la maturité et de l'âge maximal.

	σ_{gloch}	σ_{juv}	σ_{adult}	f	T_{mat}	T_{max}
Moyenne stochastique	0,11	0,73	0,48	0,11	-0,24	0,05
Moyenne déterministe	0,14	0,57	0,50	0,14	-0,20	0,03
Intervalle de confiance inférieure à 95 %	0,18	0,67	0,69	0,18	-0,17	0,06
Intervalle de confiance supérieure à 95 %	0,06	0,38	0,44	0,06	-0,24	0,00

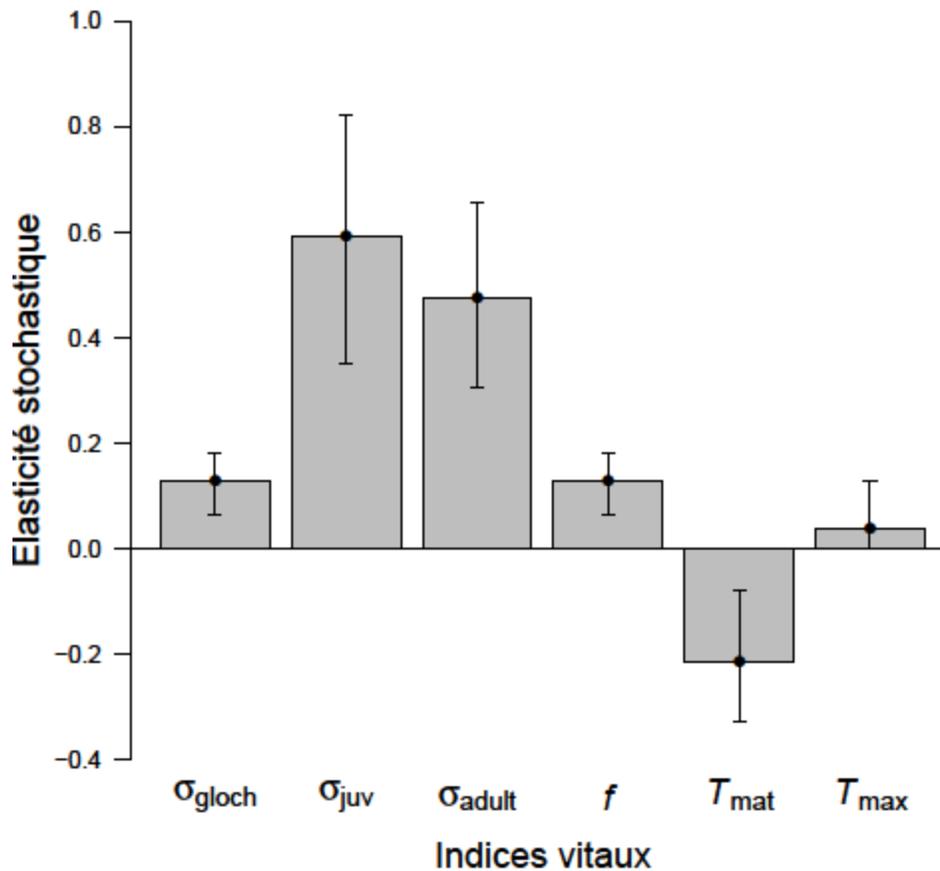


Figure 2. Résultats de l'analyse de perturbation stochastique montrant les élasticités (ϵ_v) des indices vitaux (probabilité de survie annuelle à chaque stade, fécondité, âge à la maturité et âge maximal) pour le modèle indépendant de l'hôte de l'obovarie olivâtre. Les résultats comprennent des intervalles de confiance connexes de 95 % calculés selon la méthode de « bootstrap ». Les valeurs exactes sont indiquées dans le Tableau 2.

Modèle dépendant de l'hôte

Sauf indication contraire, toutes les simulations supposent que les valeurs moyennes des paramètres pour l'obovarie olivâtre et l'esturgeon jaune sont celles indiquées au Tableau 1, la constante $c = 1$ et un scénario de disponibilité de l'hôte (facteurs de pondération = (1, 1, 1, 1).)

Si la population de l'hôte est en déclin, les populations d'hôtes et de moules diminuent jusqu'à l'extinction, quelle que soit la trajectoire de la population de moules (Figure 3a). Il faut noter que la population de moules adultes peut toutefois augmenter avant de décliner en cas d'abondance initiale de l'hôte supérieure aux besoins de la moule ou de passage d'un grand nombre de juvéniles au stade adulte. Dans la deuxième situation, la population totale de moules décline même si le nombre d'adultes augmente temporairement. La diminution de la constante c entraîne une réduction plus rapide de l'abondance de la moule, mais ne modifie pas le profil de la trajectoire de la population (Figure 3a). Ceci se vérifie pour toutes les trajectoires examinées.

Si la population de l'hôte est stable, une population de moules croissante (c.-à-d. une population qui continuerait de croître en l'absence de limitation par l'hôte) se stabilise à une abondance à l'équilibre (M^*) qui est déterminée par l'abondance stable de l'hôte (H^*), la constante c et les paramètres du cycle biologique de la moule (équation (5)). Nous avons déterminé la relation en trouvant l'équation de la valeur propre dominante de la matrice générale de la population de moules (y compris la dépendance à la densité de l'hôte), en définissant qu'elle était égale à 1 (à l'équilibre) et en la résolvant pour M .

$$(5) \quad M^* = \frac{f\sigma_{gloch}\sigma_{adult}\gamma_{juv}cH^*}{(\sigma_{juv}\gamma_{juv} - \sigma_{juv} + 1)(\sigma_{adult}\gamma_{adult} - \sigma_{adult} + 1)}$$

Il est important de remarquer que l'équation (5) est valide seulement si $M^* > cH^*$. Sinon, les valeurs de paramètres sont telles que le taux de croissance $\lambda < 1$ et que la population de moules décline à zéro ($M^* = 0$). En supposant une population stable d'hôtes, l'équilibre prévu d'une population de moules croissante augmente linéairement en cas de modifications de la fécondité et de façon exponentielle en cas de modifications de la survie des adultes ou des juvéniles (Figure 4, équation (5)). L'abondance à l'équilibre est indépendante de la population initiale de moules (Figure 3b), mais dépend du cycle biologique et du taux de croissance naturel de la moule (Figure 3c).

Si la population de l'hôte est croissante, le taux de croissance de la population de moules ne peut être indéfiniment supérieur à la population de l'hôte (Figure 3d). En effet, la population de moules croîtra plus rapidement jusqu'à parvenir à sa capacité de croissance dépendant de l'hôte, qui se produit quand la réduction dépendante de l'hôte pour la survie de la première année abaisse le taux de croissance de la population de moules au taux de croissance de l'hôte.

L'abondance de la population de moules est très sensible à la disponibilité d'hôtes juvéniles alors qu'elle l'est nettement moins à celle des hôtes adultes (Figure 5). En d'autres termes, la diminution de la capacité de l'hôte à contenir des glochidies en raison de sa petite taille nuit beaucoup moins à la moule qu'une diminution due à une augmentation de l'âge ou à l'acquisition d'une immunité. Notons que ces diminutions de la disponibilité de l'hôte supposent seulement que les hôtes n'accueillent pas de glochidies et non qu'ils ne font plus partie de la population. Le prélèvement des hôtes modifiera le taux de croissance de la population et son abondance à l'équilibre. Une diminution de l'abondance à l'équilibre de l'hôte affectera l'abondance de la moule linéairement (équation (5)).

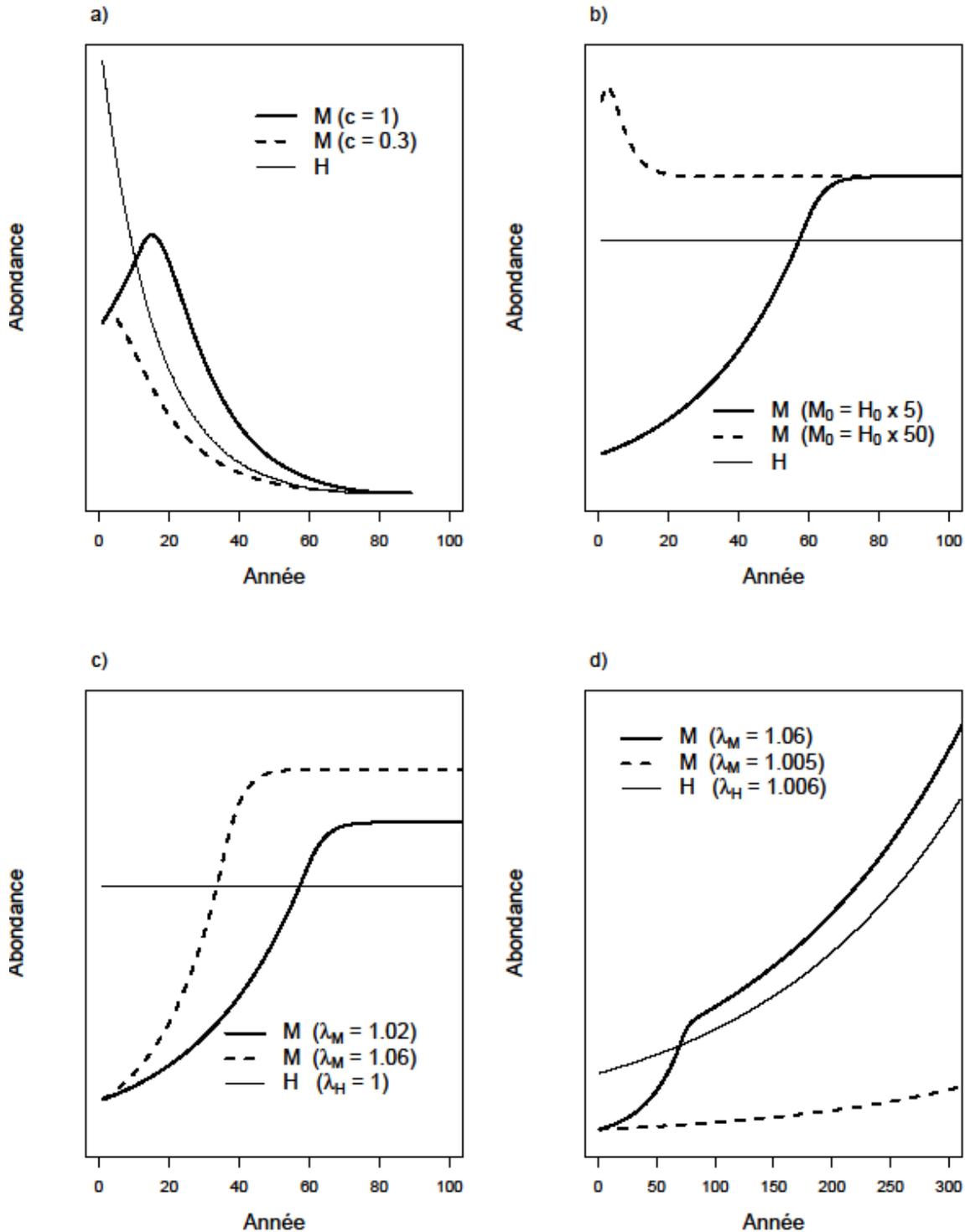


Figure 3. Trajectoires de l'abondance de l'esturgeon jaune et de l'obovarie olivâtre dépendant de l'hôte supposant a) une population d'hôtes en déclin ($\lambda = 0,94$), une population de moules croissante ($\lambda = 1,02$) et des valeurs variables de la constante c (équation (3)), b) une population d'hôtes stable ($\lambda = 1$), une population de moules croissante ($\lambda = 1,02$) et des populations initiales de moules variables, c) une population d'hôtes stable et des populations de moules croissant à des taux variables et d) une population d'hôtes croissante et des populations de moules croissant à des taux variables.

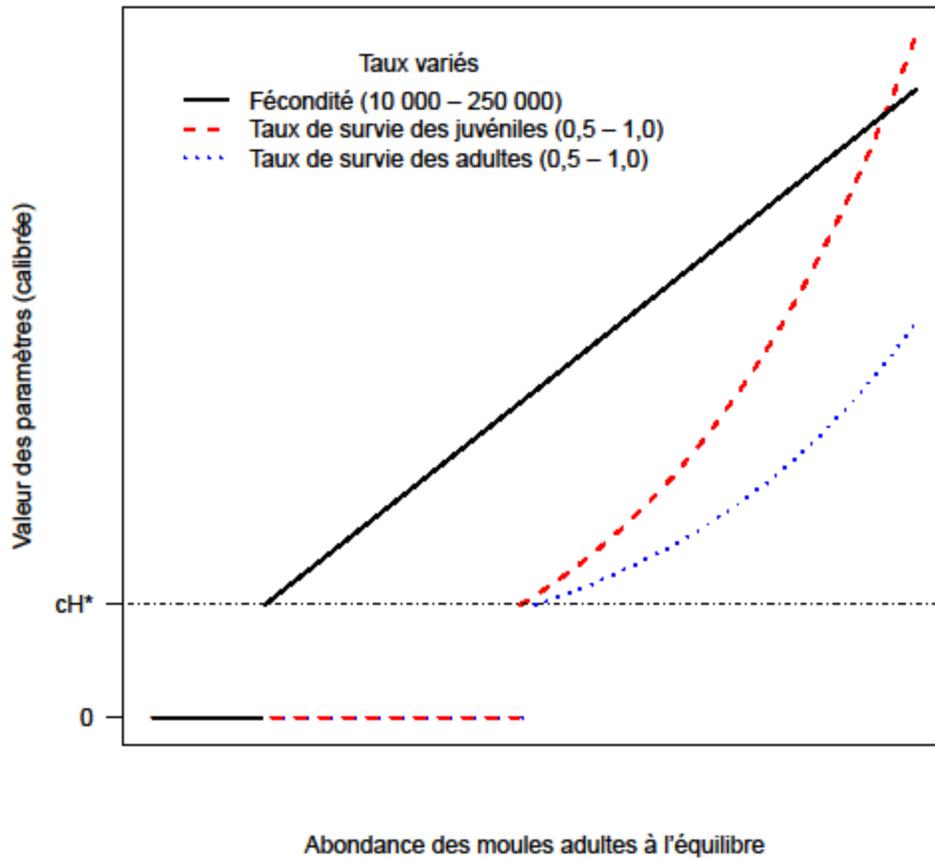
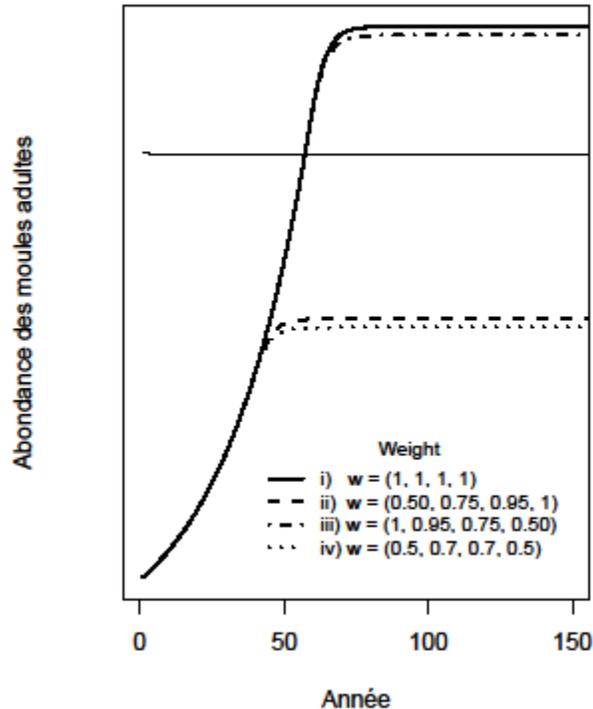


Figure 4. Abondance des moules adultes à l'équilibre (M^*) en tant que fonction des paramètres du cycle biologique : fécondité entre 10 000 et 250 000 glochidies, survie des juvéniles entre 50 et 100 % et survie des adultes entre 50 et 100 %. Toutes les valeurs supposent une population d'hôtes stable et identique, avec une abondance à l'équilibre H^* . La ligne de référence à ch^* indique la division entre une abondance des moules positive et stable et leur disparition (taux entraînant un déclin de la population avec un équilibre à 0).

a)



b)

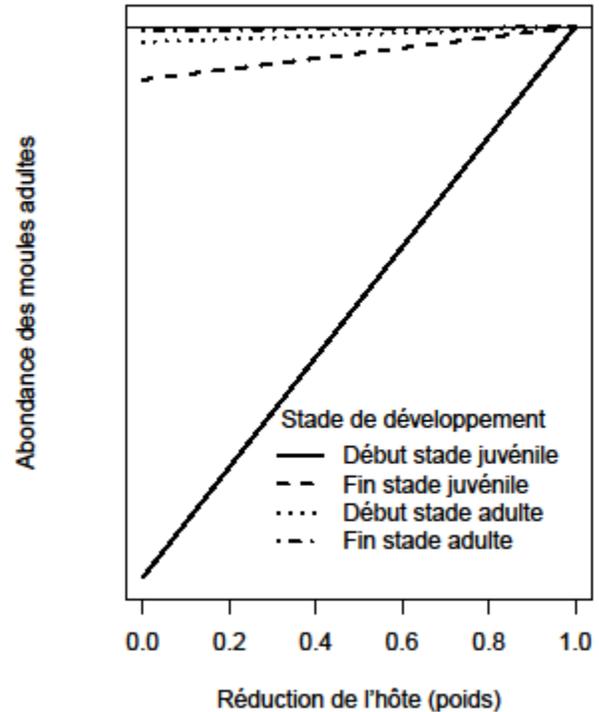


Figure 5. (a) Trajectoires de population de moules adultes dans plusieurs scénarios de disponibilité de l'hôte : i) pas de diminution de la disponibilité des adultes; ii) réduction de la capacité des petits poissons à accueillir des glochidies; iii) réduction de la capacité des poissons âgés à accueillir des glochidies; iv) réductions dues à la fois à des tailles plus petites et à une augmentation de l'âge. (b) Abondance des moules adultes en tant que fonction de réductions indépendantes à chaque stade de l'hôte.

DISCUSSION

En raison des lacunes dans les connaissances du cycle biologique de l'obovarie olivâtre, de la nature de sa dépendance à son hôte, l'esturgeon jaune, et de l'abondance des deux espèces, nous avons été incapables de construire un modèle qui permettrait d'estimer de façon significative les cibles de rétablissement de l'obovarie olivâtre, les délais de rétablissement et les dommages admissibles. C'est pourquoi nous nous sommes appuyés sur toutes les connaissances disponibles concernant l'espèce et les moules en général pour examiner les sensibilités du modèle le plus plausible possible en vue d'éclairer la gestion et les recherches futures.

Nos résultats montrent que la survie et le rétablissement futur de l'obovarie olivâtre nécessitent une minimisation des dommages anthropiques nuisant à la survie annuelle des moules juvéniles et adultes. Les populations d'obovarie olivâtre sont nettement moins sensibles aux changements proportionnels de la survie des glochidies et nous soulignons le fait que des changements proportionnellement élevés de la survie des glochidies peuvent avoir une très faible importance (c.-à-d. biologiquement faible). C'est pourquoi les comparaisons

proportionnelles entre les taux de survie par stade sont parfois trompeuses. Par exemple, les résultats ont montré que l'abondance des moules était potentiellement sensible aux réductions de la disponibilité de l'hôte, qui agit seulement sur le stade de glochidie. Ceci est particulièrement vrai pour les hôtes les plus jeunes.

L'étude a déterminé que si la population d'hôtes est stable, la population de moules est vouée à l'extinction (si elle est en déclin) ou se stabilise à un équilibre prévisible (si elle est croissante). L'équilibre varie en fonction de l'abondance de l'hôte, la trajectoire de la population hôte, le cycle biologique de la moule et la probabilité de fixation des glochidies à cet hôte. Cet équilibre est sensible au cycle biologique de l'obovarie olivâtre et très sensible à la disponibilité d'esturgeons jaunes juvéniles hôtes, alors qu'il est moins sensible à la disponibilité d'hôtes adultes. Ces résultats ne tiennent compte ni de la variance environnementale ni des incertitudes et doivent être interprétés comme des tendances générales et non comme des prévisions exactes.

SOURCES D'INCERTITUDES

La survie annuelle de l'obovarie olivâtre est inconnue pour tous les stades biologiques et le reste du cycle biologique de l'obovarie olivâtre a été supposé à partir de données éparses (âge à la maturité et longévité) ou de données sur des espèces proches (fécondité). Parce que ces paramètres élémentaires du cycle biologique peuvent considérablement peser sur le rétablissement de l'espèce, leur étude devrait être approfondie.

De grandes incertitudes persistent aussi sur la nature de la dépendance de l'obovarie olivâtre à son hôte. L'exactitude et l'efficacité des modèles hôtes-moules reposent particulièrement sur la compréhension de cette relation qu'il faudrait étudier davantage. La probabilité de fixation des glochidies et son rapport à l'abondance des hôtes et des moules sont insuffisamment compris. Étant donné l'insuffisance des données, nous avons choisi la relation la plus simple possible et supposé que la réussite de la fixation dépendait du rapport entre les hôtes et les moules. Cette hypothèse doit être mise à l'épreuve par des expériences.

On ne connaît pas non plus la capacité de l'esturgeon jaune à contenir des glochidies. À notre connaissance, des expériences d'infestation ont été réalisées uniquement sur des esturgeons jaunes juvéniles et les répercussions de la taille du poisson sur le nombre de glochidies fixées sont inconnues. De plus, on conjecture que les esturgeons jaunes les plus âgés sont moins sensibles aux glochidies, mais nul ne sait dans quelle mesure. Il faudrait aussi vérifier que l'habitat des esturgeons juvéniles (et non pas seulement l'habitat des adultes) chevauche celui de l'obovarie olivâtre.

Si les connaissances progressent dans ces domaines, il sera possible de concevoir un modèle plus représentatif de l'obovarie olivâtre et de l'esturgeon jaune pour définir des cibles de rétablissement de l'obovarie olivâtre ainsi que des besoins en matière d'hôte plus précis. L'estimation de l'abondance et les trajectoires réelles des populations de moules et d'hôtes seront aussi des éléments essentiels de ce modèle.

RÉFÉRENCES

- Caswell, H. 2001. Matrix population models: construction, analysis, and interpretation. 2^e éd. Sunderland (MA) : Sinaur Associates.
- COSEPAC. 2011. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xi + 52 p.
- Haag, W.R. 2013. The role of fecundity and reproductive effort in defining life history strategies of North American freshwater mussels. Biol. Rev. [sous presse].
- 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.
- R Development Core Team. 2012. [R: A language and environment for statistical computing](#). Vienne (Autriche) : R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2007. Assessing allowable harm and recovery efforts in Lake Ontario Atlantic Salmon (*Salmo salar*). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/083. 27 p.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2009a. Quantifying allowable harm in species at risk: Application to the Laurentian Black Redhorse (*Moxostoma duquesnei*). Aquat. Conserv.: Mar. Freshwat. Ecosyst. 19: 676-688.
- Vélez-Espino, L.A., and Koops, M.A. 2009b. Recovery potential assessment for lake sturgeon in Canadian designatable units. N. Am. J. Fish. Manage. 29: 1065-1090.
- Young, J.A.M., and Koops, M.A. 2011. Recovery potential modelling of Eastern Pondmussel (*Ligumia nasuta*), Fawnsfoot (*Truncilla donaciformis*), Mapleleaf (*Quadrula quadrula*), and Rainbow (*Villosa iris*) in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/119. iv + 10 p.