Pêches et Océans Canada
Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans
Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Compte rendu 2021/045

Région du Pacifique

Compte rendu de l'examen par les pairs de la région du Pacifique sur l'évaluation et la mise à jour des cibles biologiques aux fins de contributions améliorées aux populations de saumon quinnat

Du 31 août au 1er septembre 2017
Nanaimo (Colombie-Britannique)

Présidente : Lesley MacDougall
Rapporteurs: Steven Schut et Lesley MacDougall

Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Novembre 2021

Canada

Avant-propos

Le présent compte rendu a pour but de consigner les principales activités et discussions qui ont eu lieu au cours de la réunion. Il peut contenir des recommandations sur les recherches à effectuer, des incertitudes et les justifications des décisions prises pendant la réunion. Le compte rendu peut aussi faire l'état de données, d'analyses ou d'interprétations passées en revue et rejetées pour des raisons scientifiques, en donnant la raison du rejet. Bien que les interprétations et les opinions contenues dans le présent rapport puissent être inexactes ou propres à induire en erreur, elles sont quand même reproduites aussi fidèlement que possible afin de refléter les échanges tenus au cours de la réunion. Ainsi, aucune partie de ce rapport ne doit être considérée en tant que reflet des conclusions de la réunion, à moins d'une indication précise en ce sens. De plus, un examen ultérieur de la question pourrait entraîner des changements aux conclusions, notamment si des renseignements supplémentaires pertinents, non disponibles au moment de la réunion, sont fournis par la suite. Finalement, dans les rares cas où des opinions divergentes sont exprimées officiellement, celles-ci sont également consignées dans les annexes du compte rendu.

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

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021
ISSN 2292-4264
ISBN 978-0-660-40450-9 N° cat. Fs70-4/2021-045F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2021. Compte rendu de l'examen par les pairs de la région du Pacifique sur l'évaluation et mise à jour des cibles biologiques aux fins de contributions améliorées aux populations de saumon quinnat; du 31 août au 1er septembre 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Compte rendu 2021/045.

Also available in English:

DFO. 2021. Proceedings of the Pacific regional peer review of the evaluation and update of biologically-based targets for enhanced contributions to Chinook populations; August 31-September 1, 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2021/045.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE iv
INTRODUCTION 1
EXAMEN 2
PRÉSENTATION DU DOCUMENT DE TRAVAIL 2
PRÉSENTATION DES RÉVISIONS ÉCRITES 3
- JEFF HARD 3
- PATRICK O'REILLY 3
- RÉPONSE DES AUTEURS AUX RÉVISEURS 4

DISCUSSION GÉNÉRALE 5
- ÉPIGÉNÉTIQUE 5
- SUCCÈS DE REPRODUCTION RELATIF 5
- PROPORTION DE GÉNITEURS D'ÉCLOSERIE DANS LA NATURE (EFFICACE ET DÉNOMBRÉE) 6
- PARAMÈTRES DE SÉLECTION ET AUTRES PARAMÈTRES DU MODÈLE 6
- CLARIFICATION DE L'INFLUENCE NATURELLE PROPORTIONNELLE 6
- STOCHASTICITÉ DU MODÈLE 7
- DÉFINITION DE « SAUVAGE » ET IMPACTS DE L'ERRANCE 7
- CONSIDÉRATIONS POUR LES TRAVAUX FUTURS 7
- AUTRES CONSIDÉRATIONS 7

CONCLUSIONS 8
RÉVISIONS POUR LE DOCUMENT DE TRAVAIL 8
REMERCIEMENTS 9
ANNEXE A : CADRE DE RÉFÉRENCE 10
ANNEXE B : RÉSUMÉ DU DOCUMENT DE TRAVAIL 12
ANNEXE C : ORDRE DU JOUR 13
ANNEXE D : PARTICIPANTS 15
ANNEXE E : RÉVISION ÉCRITE DE JEFF HARD 17
ANNEXE F : RÉVISION ÉCRITE DE PATRICK O'REILLY 32

SOMMAIRE

Le présent compte rendu résume l'essentiel des discussions et des conclusions de la réunion régionale d'examen par des pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) de Pêches et Océans Canada (MPO), qui s'est tenue les 31 août et 1er septembre 2017 à la Station biologique du Pacifique de Nanaimo, en Colombie-Britannique.

Depuis longtemps, le Programme de mise en valeur des salmonidés de la région du Pacifique du MPO dispose de lignes directrices sur la mise en valeur des stocks concernant les programmes d'ensemencement, lesquelles intègrent plusieurs objectifs biologiques et socio-économiques. Des progrès politiques et scientifiques majeurs ont été réalisés depuis la mise en œuvre des lignes directrices existantes sur la mise en valeur des stocks. Le présent processus d'examen par les pairs vise à fournir un avis scientifique sur les cibles génétiques concernant la mise en valeur des populations de saumons chinooks (aussi appelés « saumons quinnats »), qui reflète la nouvelle politique canadienne, les nouvelles données génétiques, les outils d'évaluation et les paramètres de mesure des effets génétiques de l'élevage en écloserie et de la mise en valeur des stocks sur les poissons sauvages.

Un document de travail sur les cibles génétiques pour la mise en valeur des populations de saumons chinooks du Pacifique canadien a été présenté aux fins d'examen par les pairs. Après la présentation du document dans le cadre de l'examen régional par les pairs, on a notamment discuté des sujets suivants : le contexte, la pertinence de l'influence naturelle proportionnelle (INP) et du modèle présenté, les paramètres choisis pour le modèle et les analyses de sensibilité subséquentes. Les discussions étaient diversifiées et souvent axées sur les conséquences de la mise en œuvre des recommandations et sur la manière dont l'avis devrait y répondre. On a déterminé que ces considérations sur la mise en œuvre dépassaient la portée de l'avis demandé. Les participants ont convenu que l'utilisation de l'INP et l'effort de modélisation étaient bien adaptés aux objectifs énoncés dans le cadre de référence, et le document a été accepté tel quel, avec des changements très mineurs. Des travaux futurs ont été envisagés, notamment la catégorisation des écloseries actuelles selon l'INP.

Parmi les participants, qui ont assisté à la réunion en personne ou en ligne, on comptait des employés des Sciences, de la Gestion des écosystèmes et de la Gestion des pêches de Pêches et Océans Canada (MPO), ainsi que des représentants externes de la NOAA, des Premières Nations, d'organisations non gouvernementales et du secteur de la pêche récréative.

Le document de recherche et le compte rendu seront publiés sur le site Web du Secrétariat canadien des avis scientifiques.

INTRODUCTION

Le Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) de Pêches et Océans Canada (MPO) a tenu une réunion régionale d'examen par les pairs les 31 août et 1er septembre 2017 à la Station biologique du Pacifique de Nanaimo en vue d'évaluer les cibles génétiques concernant la mise en valeur des populations de saumons chinooks (aussi appelés « saumons quinnats ») dans le Pacifique canadien.

Le cadre de référence de l'examen scientifique (annexe A) a été élaboré en réponse à une demande d'avis émanant de la Gestion des écosystèmes du MPO, plus précisément du Programme de mise en valeur des salmonidés (PMVS). Les avis concernant l'examen scientifique et les conditions de participation à la réunion ont été envoyés aux représentants de la NOAA, des Premières Nations, d'organisations non gouvernementales et du secteur de la pêche récréative possédant une expertise pertinente.

Le document de travail suivant a été préparé et mis à la disposition des participants avant la réunion (résumé du document de travail fourni à l'annexe B) :

> *Withler, R., Bradford, M., Willis D., and Holt, C. 2017. Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations. CSAP Working Paper 2013SEP02*.

La présidente de la réunion, Lesley MacDougall, souhaite la bienvenue aux participants, passe en revue le rôle du SCAS dans la formulation de l'avis examiné par les pairs et donne un aperçu général du processus du SCAS. Elle décrit le rôle des participants ainsi que la définition et le processus à suivre pour en arriver à des décisions et à des avis consensuels. Chaque personne est invitée à participer pleinement à la discussion et à faire part de ses connaissances pendant le processus, dans le but de formuler des conclusions et des avis défendables sur le plan scientifique. Les participants confirment qu'ils ont tous reçu une copie du cadre de référence, des renseignements généraux et des documents à l'appui.

La présidente passe en revue le cadre de référence et l'ordre du jour (annexe C) de la réunion. Elle examine ensuite les règles de base et le processus de mise en commun, puis rappelle aux participants que la réunion leur offre l'occasion de donner leur avis sur le cadre proposé. Le rapporteur de la réunion est Steven Schut.

On rappelle aux personnes présentes qu'elles sont toutes sur un pied d'égalité en tant que participantes à la réunion et qu'elles sont censées apporter leur contribution au processus d'examen si elles ont des renseignements ou des questions concernant le document de travail faisant l'objet des discussions. Au total, 39 personnes ont participé à l'examen régional par les pairs (annexe D).

EXAMEN

Document de travail : *Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations* par Withler, R., M. Bradford, D. Willis et C. Holt. (2013SEP02).

Rapporteur : Steven Schut

Présentateurs : Ruth Withler, Mike Bradford, David Willis et Carrie Holt

PRÉSENTATION DU DOCUMENT DE TRAVAIL

La présentation du document de travail est divisée en cinq sous-exposés portant sur différentes composantes du travail, les quatre auteurs présentant différentes parties des exposés.

David Willis fournit une introduction du document de travail, y compris un aperçu du PMVS en Colombie-Britannique, et explique les raisons de la demande d'information et d'avis scientifique originale soumise par le PMVS. Il ajoute des renseignements sur la taille et la portée du programme régional de mise en valeur du saumon chinook, sur les liens avec la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) et sur le processus décisionnel socio-économique lié à la planification des activités. Les résultats et l'avis découlant du processus d'examen par les pairs seront utilisés dans de futurs exercices de planification, mais il est important de préciser que les conséquences de l'application de cet avis dépassent la portée de l'examen actuel.

Le deuxième exposé, présenté par Ruth Withler, est un aperçu de l'état des connaissances sur l'aspect génétique de la mise en valeur des stocks de saumons du Pacifique. Ruth Withler centre sa discussion sur les répercussions observées de la mise en valeur des stocks à l'aide d'individus d'écloserie sur l'expression phénotypique des populations sauvages. Les effets génétiques peuvent être regroupés en deux catégories : les changements démographiques et les effets liés à la valeur adaptative. L'exposé est consacré aux mécanismes et aux paramètres des changements de la valeur adaptative, y compris l'environnement et l'épigénétique, en plus de la génétique. Ruth Withler se penche sur les problèmes et les approches générales de la gestion génétique des populations mixtes de saumons sauvages et d'écloserie. Elle termine par une discussion sur les conséquences génétiques à long terme de la mise en valeur des stocks.

Mike Bradford présente la troisième section sur les lignes directrices pour la gestion du risque génétique. Sa discussion porte sur l'influence naturelle proportionnelle (INP), une heuristique utilisée pour quantifier l'équilibre génétique entre les saumons sauvages et d'écloserie dans les populations sauvages. L'exposé couvre l'application de l'INP aux États-Unis par le Hatchery Scientific Reform Group (HSRG) et une discussion sur l'application de cette approche au Canada.

Dans le quatrième exposé, Carrie Holt décrit le modèle de simulation qui a été utilisé dans le document de travail : ses composantes, ses paramètres, ainsi que les hypothèses utilisées pour prédire les changements dans les paramètres de l'INP par rapport à différentes mesures de gestion des écloseries. Elle présente ensuite une série de figures démontrant la relation prévue entre les mesures de gestion et les résultats de l'INP. Les résultats de diverses analyses de sensibilité constituent un élément important de cet exposé, qui se termine par une discussion sur les limites du modèle, notamment les incertitudes de l'exercice de modélisation par simulation, les effets des hypothèses sur les résultats, de même que les utilisations appropriées et inappropriées de l'INP.

Carrie Holt présente également les 10 recommandations du document de travail regroupées sous trois principes différents d'élaboration d'objectifs pour les populations influencées par des écloseries, de programmes d'écloserie scientifiquement défendables, ainsi que de suivis et d'évaluations continus.

PRÉSENTATION DES RÉVISIONS ÉCRITES

JEFF HARD

Veuillez consulter l'annexe E pour l'ensemble des révisions écrites.

Jeff Hard a apprécié l'approche adoptée et la rigueur de la modélisation effectuée par les auteurs. Il reconnaît qu'en général, les limites du travail résultent principalement de la portée limitée des objectifs. Sinon, la plupart de ses commentaires concernent davantage des travaux futurs ou sont de nature plus rédactionnelle.

Considérations principales

1. L'approche du modèle et l'utilisation de l'influence naturelle proportionnelle sont des outils relativement simplistes, limités dans leur capacité à prédire avec précision ou à incorporer la portée plus large du risque génétique posé par la propagation dans les écloseries de saumons. Les auteurs devraient préciser que les différences de performance des poissons d'écloserie et des poissons sauvages dans l'environnement naturel peuvent refléter plusieurs facteurs environnementaux et génétiques.
2. Le modèle n'est pas expressément génétique; étant donné qu'elle est axée sur un phénotype générique, la relation entre l'INP et la valeur adaptative est complexe et peut être difficile à caractériser de manière adéquate.
3. L'INP est très sensible à la proportion de géniteurs d'écloserie dans la nature et il est difficile de l'estimer avec précision.
4. Le modèle ne tient pas compte des effets hérités de la reproduction en écloserie ni des changements génétiques cumulatifs à plus long terme.
5. L'utilisation d'un modèle déterministe sur une très longue période est insensible aux fluctuations naturelles qui peuvent se produire pour de nombreux paramètres du modèle. Recommander une analyse de sensibilité élargie; en définitive, l'utilisation d'un modèle stochastique mérite d'être approfondie.
6. Les paramètres de sélection (directionnels ou stabilisants) et le succès de reproduction relatif doivent faire l'objet d'une étude plus approfondie pour que l'on puisse étayer la façon dont ils sont utilisés dans le modèle.
7. Les auteurs devraient inclure des directives sur la façon d'évaluer le compromis entre le risque génétique de la propagation en écloserie et l'augmentation de l'abondance pour soutenir la pêche.

PATRICK O'REILLY

Veuillez consulter l'annexe F pour l'ensemble des révisions.

Patrick O'Reilly se présente comme un généticien, pas un modélisateur. Il mentionne également que très peu de rivières de la côte est du Canada (régions des Maritimes et du Golfe) sont maintenant ensemencées de saumons atlantiques, et que *dans la plupart des cas* où on a recours à des écloseries, l'ensemencement est effectué principalement à des fins de conservation (pour empêcher la disparition imminente des populations des rivières).

Le réviseur a suivi et apprécié le document de travail et sa progression logique, et n'a trouvé aucun problème majeur dans l'approche, les méthodes ou les analyses. Son principal commentaire est que l'on a de plus en plus de raisons de soupçonner qu'*une partie* (et non la totalité) de la perte de valeur adaptative entre les saumons d'écloserie de première génération et les saumons sauvages signalée dans la littérature scientifique peut être due à des facteurs

non génétiques, y compris des effets épigénétiques induits par l'environnement qui peuvent être transmis de génération en génération. La pertinence ici est que ces effets épigénétiques ont peut-être eu une incidence sur les estimations de la sélection et de l'héritabilité de la valeur adaptative tirées de la littérature et utilisées dans le modèle.

Patrick O'Reilly mentionne que, bien qu'il n'existe pas beaucoup de renseignements disponibles à l'heure actuelle pour permettre l'intégration de possibles effets épigénétiques dans le modèle, les auteurs pourraient peut-être spéculer brièvement (en une ou deux phrases) sur les effets d'éventuelles influences épigénétiques non détectées sur les estimations de l'héritabilité et de la sélection produites dans la littérature et utilisées dans le modèle, ainsi que sur l'incidence que cela aurait pu avoir sur les résultats de la modélisation.

Considérations principales

1. Certains des paramètres du modèle sont extrêmement difficiles à estimer, par exemple l'héritabilité et la sélection, et les recherches indiquent que ces valeurs peuvent varier considérablement d'une étude à l'autre et selon les environnements dans lesquels elles sont évaluées.
2. Il existe un risque associé à l'interprétation des changements épigénétiques comme des changements génétiques. Il est important que l'avis comprenne une discussion plus générale sur les conséquences des répercussions génétiques par rapport aux répercussions épigénétiques de la mise en valeur des stocks.

RÉPONSE DES AUTEURS AUX RÉVISEURS

- La réponse des auteurs concernant les questions épigénétiques poursuit le thème académique de la discussion. On reconnaît que l'épigénétique joue un rôle beaucoup plus important que ce que l'on croyait jusqu'à présent dans les baisses de la valeur adaptative observées chez les saumons d'écloserie. De nouvelles recherches émergent en permanence sur ces sujets.
- On a discuté davantage des composantes et des contributions des effets épigénétiques, notamment la méthylation à court terme par rapport aux facteurs de stress à long terme, les effets transgénérationnels, la plasticité et son importance adaptative et l'inversion des effets épigénétiques.
- Il est important de parler de l'épigénétique, et il est trop simple de supposer que tout s'inverse; il faut donc prendre en compte l'accumulation à long terme des changements. De plus, les modifications du phénotype résultant de l'élevage en écloserie pourraient empêcher le flux de gènes qui pourraient améliorer la valeur adaptative vers la population sauvage.
- Les auteurs reconnaissent que le document n'accorde probablement pas assez d'attention aux effets de la diversité génétique liés à la démographie, et ils incluront davantage de discussions sur la perte de diversité génétique générale.
- Ils admettent que le succès de reproduction relatif a été utilisé dans le modèle davantage comme un facteur de correction, combinant plusieurs effets différents sur la valeur adaptative, que comme des changements touchant uniquement le succès de reproduction relatif.
- Les auteurs indiquent que les analyses de sensibilité ont démontré la robustesse relative du modèle et notent que les trois paramètres liés aux valeurs phénotypiques optimales sont tous interdépendants. On pourrait inclure davantage de paramètres.

- Les auteurs n'étaient pas certains que la sélection directionnelle plutôt que stabilisante aurait un effet important sur les résultats, mais ils conviennent que ces sélections devraient peut-être être prises en compte de façon plus attentivement dans les travaux futurs.
- Les auteurs remercient les réviseurs de leurs commentaires positifs et ajoutent qu'en raison de certaines des questions générales soulevées et de l'évolution rapide des connaissances sur ce sujet, les recommandations du document de travail devraient être revues prochainement.

DISCUSSION GÉNÉRALE

ÉPIGÉNÉTIQUE

- Il ressort clairement de la littérature scientifique que les écloseries entraînent une réduction, parfois assez forte, de la valeur adaptative. Dans certains cas, la force et la rapidité observées de ces effets ne peuvent être attribuées uniquement à des facteurs génétiques. Les effets épigénétiques sont un facteur plausible.
- Des recherches qui paraîtront bientôt montrent une méthylation accrue des gènes chez les saumons d'écloserie, qui est associée à une régulation négative des gènes sans modification de la structure génétique de base.
- On ne connaît pas l'incidence qu'elle pourrait avoir sur les résultats du présent avis. Les effets génétiques et épigénétiques ont des conséquences différentes sur la valeur adaptative à long terme.
- Des changements génétiques se produisent en permanence, mais des changements épigénétiques s'y superposent. Les changements épigénétiques se manifestent plus fortement chez la première génération, mais leurs effets transgénérationnels sont discutables et on ne sait pas si ces changements s'inversent ni comment ils pourraient s'inverser.
- L'épigénétique est un mécanisme de plasticité, et la plasticité elle-même peut être héréditaire.
- Il est trop facile de supposer que les changements plastiques sont réversibles; toutefois, on ne connaît pas les effets génétiques cumulatifs des poissons qui n'apportent aucune contribution sur le plan génétique à cause d'effets épigénétiques.
- Il est important de reconnaître que toutes les modifications de la valeur adaptative ne sont pas génétiques.
- On ne sait pas si l'effet de réduction pour les saumons d'écloserie dans le modèle peut tenir compte des effets épigénétiques possibles.

SUCCÈS DE REPRODUCTION RELATIF

- L'utilisation de l'expression « succès de reproduction relatif » dans le document de recherche n'est probablement pas appropriée. Il s'agit plutôt d'un « facteur arbitraire » utilisé dans le modèle pour tenir compte d'un amalgame de différents facteurs. Il ne s'agit donc pas strictement du « succès de reproduction relatif », tel qu'appliqué dans les études précédentes.
- Il est admis que les saumons d'écloserie ont un succès de reproduction moindre dans la nature, quel que soit le mécanisme. Un facteur de correction du modèle est nécessaire pour en tenir compte.

- Le facteur de correction n'a pas une grande incidence sur le modèle et, en tant que tel, il sert plutôt de valeur provisoire. Il est appliqué au stade de fraie, mais il existe d'autres effets de réduction dans d'autres étapes du modèle.
- Les participants discutent de la difficulté de déterminer les valeurs et les mécanismes sous-jacents du succès de reproduction relatif dans la nature. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer ce point, mais elles dépassent la portée du présent processus.

PROPORTION DE GÉNITEURS D'ÉCLOSERIE DANS LA NATURE (EFFICACE ET DÉNOMBRÉE)

- L'utilisation de la proportion de géniteurs d'écloserie dénombrée (une mesure du nombre total d'individus) par rapport à la proportion de géniteurs d'écloserie efficace (une mesure intégrant un facteur de correction pour le succès de reproduction) est brièvement examinée.
- Le Hatchery Scientific Reform Group (HSRG) des États-Unis recommande l'utilisation de la proportion de géniteurs d'écloserie efficace pour tenir compte des facteurs non génétiques influençant le succès de reproduction relatif.
- Il y a une confusion quant à l'utilisation du facteur de correction du succès de reproduction relatif dans le modèle et de la proportion de géniteurs d'écloserie efficace; les auteurs précisent que l'application du succès de reproduction relatif dans le contexte de leur document de travail est un facteur de correction général, comme indiqué dans la section sur le succès de reproduction relatif. Le consensus est de continuer l'utilisation de la proportion de géniteurs d'écloserie efficace dans le modèle, et d'utiliser un terme plus générique pour le succès de reproduction relatif, comme « facteur de correction ».

PARAMÈTRES DE SÉLECTION ET AUTRES PARAMÈTRES DU MODÈLE

- On a testé la sensibilité de nombreux paramètres du modèle, y compris la force de sélection, et le modèle s'est révélé relativement peu sensible à la plupart des facteurs. Le facteur le plus important est la taille relative des écloseries.
- D'après les figures présentées dans le document de travail, l'outil le plus efficace à la disposition des gestionnaires d'écloserie semble être la réduction de la taille des écloseries. Les participants demandent s'il existe d'autres outils de gestion disponibles qui n'ont pas fait l'objet d'une modélisation. Aucun autre outil de gestion n'est déterminé pendant la discussion.

CLARIFICATION DE L'INFLUENCE NATURELLE PROPORTIONNELLE

- L'utilisation de l'INP est examinée et, de façon générale, les participants conviennent qu'il s'agit d'un outil relativement « grossier » (paramètre), mais qu'à l'heure actuelle, l'INP est le meilleur outil disponible en vue d'atteindre les objectifs de la présente demande d'avis scientifique.
- Les participants mentionnent qu'il est important de clarifier que l'INP n'est pas une mesure de la valeur adaptative, qui est difficile à obtenir; il s'agit plutôt d'une mesure de la contribution de la sélection en écloserie par rapport à la sélection naturelle. Il est donc peu probable qu'elle exprime ou quantifie l'ensemble du risque génétique possible associé aux influences des écloseries au sein des populations sauvages de saumons chinooks.
- Les participants admettent qu'il est important de souligner la recommandation du HSRG, selon laquelle l'INP devrait être calculée sur une période d'au moins cinq ans, et qu'il est

important de savoir que l'INP ne doit pas être utilisée de manière tactique, mais plutôt dans le but d'étayer des décisions stratégiques.

STOCHASTICITÉ DU MODÈLE

- Le groupe discute de la longueur de l'exécution du modèle et du choix d'un modèle déterministe par rapport à un modèle stochastique. Un modèle stochastique pourrait inclure des paramètres de sélection variables dans le temps pour imiter la variabilité des pressions de sélection dans le monde réel.
- L'accord général est qu'un modèle stochastique à long terme serait utile, mais pas nécessaire pour les objectifs du présent processus. Le modèle déterministe est suffisant pour les questions actuelles.

DÉFINITION DE « SAUVAGE » ET IMPACTS DE L'ERRANCE

- Les participants examinent la définition du terme « sauvage » utilisée dans le document de travail, conformément à la PSS. Toutefois, l'avis ne dépend pas de cette définition et peut être appliqué indépendamment de la façon dont les gestionnaires décident de définir le terme « sauvage ».
- Les participants conviennent que l'utilisation des définitions des écloseries intégrées et séparées dans le document de travail est conforme à celle du HSRG.
- On discute longuement des répercussions de l'errance, en particulier sur la côte ouest de l'île de Vancouver. On convient que le phénomène existe et qu'il a des répercussions potentiellement importantes, mais il est très difficile d'en tenir compte ou de l'intégrer dans le cadre décisionnel actuel.

CONSIDÉRATIONS POUR LES TRAVAUX FUTURS

- Le groupe examine des options de travaux futurs, y compris :
  - améliorer le modèle avec la stochasticité;
  - étudier les effets cumulatifs de plusieurs caractères;
  - étudier les mécanismes sous-jacents de la réduction du succès de reproduction relatif chez les saumons d'écloserie et les relations avec d'autres caractéristiques du cycle vital;
  - élaborer un paramètre plus précis que l'INP;
  - étudier les interactions tridirectionnelles de l'errance, des écloseries et de la nature.

En outre, plusieurs participants demandent que les valeurs de l'INP soient calculées pour les programmes d'écloserie de la Colombie-Britannique, ou que la recherche nécessaire pour acquérir les renseignements permettant de calculer les valeurs de l'INP soit déterminée.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

- On discute longuement des problèmes de mise en œuvre des catégories appliquées à la Colombie-Britannique. Plusieurs propositions visent à inclure une formulation sur la manière dont les recommandations devraient être mises en œuvre, mais on juge qu'elles dépassent la portée des objectifs du présent processus.
- Les participants soulignent l'importance de reconnaître, dans l'avis scientifique et le document de travail, que les écloseries et la planification connexe ne sont pas dissociées.

Ils s'intéressent à la façon dont les écloseries actuelles s'inscrivent dans les catégories proposées.

- Élaborer des lignes directrices pour les programmes d'écloserie ayant un objectif de conservation.

CONCLUSIONS

- Le document de travail est accepté avec les révisions mineures indiquées dans la section qui suit.
- Le consensus est que même si l'INP et la méthodologie de modélisation choisie présentent des lacunes identifiables, elles constituent le meilleur choix parmi les options possibles et sont appropriées pour l'atteinte des objectifs définis dans le cadre de référence.

RÉVISIONS POUR LE DOCUMENT DE TRAVAIL

- Changer l'utilisation du terme « succès de reproduction relatif » pour « facteur de correction » dans le modèle et inclure une discussion plus approfondie sur les composantes du facteur de correction « succès de reproduction relatif ».
- Clarifier l'utilisation de « proportion de géniteurs d'écloserie dénombrée » par rapport à « proportion de géniteurs d'écloserie efficace » en ce qui concerne l'effet de réduction du facteur de correction « succès de reproduction relatif ».
- Préciser que l'utilisation de l'INP se fait à l'échelle de la population et reconnaître que cela peut ne pas correspondre à l'échelle de l'UC.
- Élargir l'examen de la littérature pour inclure plus de discussions sur la perte de la diversité génétique générale en ce qui concerne les effets démographiques, la gestion des stocks de géniteurs ainsi que la sélection stabilisante par rapport à la sélection directionnelle.
- Inclure les nouvelles données publiées par le HSRG dans la discussion.
- Ajouter une ou deux phrases de spéculation sur la sélection génétique par rapport aux effets épigénétiques.
- Préciser que la taille de l'écloserie fait référence à l'effectif de la population de l'écloserie, et non à la taille physique de l'établissement.
- Inclure la taille actuelle des écloseries sous forme d'histogramme (ou dans un travail futur).
- Clarifier l'utilisation de la notation « visuelle » dans le document, rédiger les recommandations de notation de manière plus explicite.
- Modéliser des plages plus étendues pour le succès de reproduction relatif et l'héritabilité.
- Modifier la recommandation n° 1 pour qu'elle corresponde au tableau de la page 36 du document de travail et de la PSS (reformuler « non touché par la mise en valeur »).
- Reconnaître l'incertitude en recommandant un délai de réévaluation compte tenu de l'émergence rapide de nouvelles données issues de la recherche dans le domaine.
- Préciser dans les recommandations que tous les changements doivent être traités de manière intégrée, et non pas séparément de l'habitat et de la pêche (cette idée figure dans le corps du texte, mais n'est pas explicite dans les recommandations).

- Clarifier l’utilisation de la terminologie de la gestion intégrée par rapport à celle de la population d’écloserie intégrée dans la recommandation 6.
- Éviter le langage de la gestion adaptative dans la recommandation 10.

REMERCIEMENTS

Le SCAS tient à remercier les nombreuses personnes qui ont contribué de façon notable aux travaux, y compris les réviseurs externes Patrick O’Reilly et Jeff Hard, les auteurs et les présentateurs Ruth Withler, Mike Bradford, David Willis et Carrie Holt, la présidente Lesley MacDougall et l’assistante Erika Anderson.

ANNEXE A : CADRE DE RÉFÉRENCE

ÉVALUATION ET MISE À JOUR DES CIBLES BIOLOGIQUES POUR LA MISE EN VALEUR DES POPULATIONS DE SAUMONS CHINOOKS

Processus d'examen régional par les pairs – Région du Pacifique

Les 31 août et 1er septembre 2017

Nanaimo (Colombie-Britannique)

Présidente : Lesley MacDougall

Contexte

Les lignes directrices concernant la gestion du programme d'écloserie du Programme de mise en valeur des salmonidés (PMVS) du MPO sont en place depuis longtemps dans la Région du Pacifique et ont été utilisées dans le cadre d'un processus intégré de planification de la mise en valeur des stocks pour atteindre différents objectifs biologiques et socio-économiques. Si les objectifs primordiaux du PMVS sont couramment formulés en des termes socio-économiques généraux, la gestion des risques pour les populations naturelles exige une évaluation détaillée de la nature, de l'ampleur et de la durée de la mise en valeur en fonction de l'espèce, de la population et du site.

Des progrès importants ont été réalisés depuis la mise en œuvre des lignes directrices actuelles concernant la mise en valeur des stocks, y compris l'élaboration de la *Politique du Canada pour la conservation du saumon atlantique sauvage* (la Politique concernant le saumon sauvage ou PSS), l'élaboration du cadre de gestion des risques biologiques du PMVS (CGR du PMVS) et la collecte de nouvelles données scientifiques sur le niveau et la nature des interactions directes en termes de flux génétique et de génétique (c.-à-d. fondées sur la concurrence pour les ressources ou les régimes de pêche modifiés) entre les poissons d'écloserie et les poissons sauvages. De plus, le processus de réforme des écloseries des États-Unis (du Hatchery Scientific Review Group [HSRG]) a mis en relief la distinction entre les programmes d'écloseries « intégrées »et « séparées » et la nécessité d'élaborer des points de référence conformes aux objectifs biologiques précis établis pour les programmes d'écloserie. Le processus du HSRG a également mené à l'élaboration du paramètre de l'influence naturelle proportionnelle (INP) comme indicateur de l'influence génétique de la mise en valeur sur une population naturelle. Des mises à jour des lignes directrices sur la mise en valeur du saumon chinook pouvant être appliquées à l'échelle de la population sont nécessaires pour permettre : a) d'élaborer des lignes directrices pour gérer les risques pour le succès reproducteur des populations naturelles découlant des influences génétiques des populations coexistantes de saumons d'origine et de saumons d'élevage; b) de planifier et de gérer les programmes de saumon d'élevage de manière à mieux reconnaître et quantifier les risques biologiques tout en tirant les avantages socio-économiques du poisson mis en valeur; c) d'évaluer les risques biologiques de la mise en valeur des écloseries de façon plus transparente par rapport aux avantages socio-économiques prévus.

Le Programme de mise en valeur des salmonidés du MPO a demandé au Secteur des sciences du MPO de formuler un avis sur des objectifs fondés sur la génétique afin d'accroître les contributions aux populations de saumons chinooks. Cet avis reflètera la nouvelle politique canadienne, les nouvelles données génétiques, les outils d'évaluation et les paramètres de mesure des effets génétiques de l'élevage en écloserie et de la mise en valeur sur le poisson sauvage. Il servira à appuyer la gestion des risques génétiques liés aux types actuels de programmes de mise en valeur dans le contexte de la politique canadienne, des pêches et de la gestion des écloseries, en plus de fournir un cadre permettant de mieux quantifier les risques génétiques possibles de la mise en valeur des stocks sur les populations sauvages et de

prendre des décisions explicites concernant les compromis entre les risques et les avantages socio-économiques.

Objectifs

Le document de travail suivant sera examiné et servira de fondement aux discussions et aux avis sur les différents objectifs énumérés ci-après.

Withler, R., M. Bradford, D. Willis et C. Holt. 2017. Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations. Document de travail du CASP 2013SEP02

1. Décrire les catégories d'état biologique des populations de saumons chinooks, mesuré en termes d'« influence naturelle ». Ces catégories devraient incorporer les principes des approches employées par les États-Unis et d'autres pays, ainsi que la PSS canadienne, et devraient être bien caractérisées de façon à permettre l'élaboration de points de référence pour surveiller les risques possibles des effets génétiques directs sur les populations ciblées et non ciblées.
2. Examiner la compréhension scientifique actuelle des risques génétiques, possibles et observés pour les populations sauvages, liés à la propagation en écloserie. Déterminer les risques liés aux programmes de mise en valeur intégrée et séparée et les risques pour les populations sauvages qui pourraient profiter d'un meilleur flux génétique grâce à la population mise en valeur. Décrire le type et le niveau de risque prévu avec chaque catégorie de mise en valeur décrite au point (1).
3. Décrire la façon d'évaluer l'influence de l'écloserie sur les populations naturelles de saumon, en utilisant le paramètre de l'influence naturelle proportionnelle (INP), y compris sa justification et son applicabilité au contexte canadien.
4. Fournir un avis sur les points de référence quantitatifs concernant l'INP et/ou d'autres paramètres adéquats pour les catégories d'état décrites au point (1), de même que des mesures de gestion pour obtenir ces points de référence.
5. Résumer les principaux obstacles et contraintes pour la gestion des risques génétiques liés à la mise en valeur du saumon chinook dans l'environnement actuel canadien de la gestion, de la réglementation et de la politique entourant la mise en valeur des stocks et les pêches. Formuler un avis sur l'élimination, l'amélioration ou une meilleure gestion de ces obstacles.
6. Résumer l'avis et les directives en vue de l'élaboration de nouvelles lignes directrices sur la mise en valeur des stocks dans la section consacrée aux recommandations.

Publications prévues

Dans une liste à puces, énumérer les types de publications qui découleront de cette réunion.

- Comptes rendus
- Avis scientifique
- Document de recherche

Participation prévue

- Pêches et Océans Canada (MPO) (Secteur des sciences, Gestion des pêches et Programme de mise en valeur des salmonidés)

ANNEXE B : RÉSUMÉ DU DOCUMENT DE TRAVAIL

La Politique concernant le saumon sauvage (PSS) établit la conservation des stocks de saumons sauvages du Pacifique et de leur habitat comme la plus grande priorité pour la prise de décisions de gestion concernant les saumons du Pacifique. La production d'écloserie dans le cadre du Programme de mise en valeur des salmonidés du MPO est utilisée en tant qu'outil de conservation des populations sauvages et peut se traduire par une augmentation de la disponibilité des poissons pour la pêche. Cependant, elle constitue un facteur de risque pour la diversité génétique dans la nature qui nécessite des mesures de gestion et d'atténuation pour la protection de la biodiversité des saumons du Pacifique au Canada. Nous recommandons d'utiliser l'influence naturelle proportionnelle (INP) ainsi que des paramètres connexes élaborés par le U.S. Hatchery Scientific Review Group (groupe d'examen scientifique des écloseries des États-Unis) pour évaluer et suivre l'état adaptatif des populations d'écloserie intégrées et pour déterminer les populations influencées par les écloseries qui pourraient être incluses dans les évaluations réalisées en vertu de la PSS. Nous élaborons un système de classification des populations de saumons du Pacifique présentes au Canada, qui reflète l'état adaptatif de la population d'après les proportions de saumons sauvages et de saumons d'écloserie. Parmi les catégories biologiques, un risque génétique accru est associé à une augmentation de l'incidence des écloseries et à une diminution de la proportion de saumons sauvages. Nous avons modélisé la dynamique d'une population de saumons chinooks, notamment les répercussions génétiques sur la valeur adaptative des individus d'écloserie, afin d'évaluer l'utilisation de trois mesures de gestion visant l'atteinte d'une cible INP donnée, soit la taille des écloseries, la proportion de saumons d'écloserie marqués et la proportion de saumons marqués ayant été capturés de manière sélective. Sauf pour les populations qui présentent un risque de disparition, le fait de limiter la taille d'une écloserie en la mettant à l'échelle d'une production naturelle constitue un moyen efficace de réduire le plus possible le risque génétique posé par la mise en valeur pour les populations sauvages. Cette mesure limite également la production de saumons pour la pêche, ce qui se traduit par un compromis entre le risque génétique et les avantages socio-économiques découlant des programmes de mise en valeur mis en œuvre aux fins d'augmentation des prises. On peut réduire au minimum le risque génétique associé à une production d'écloserie élevée en diminuant la proportion des saumons d'écloserie qui font partie du stock de géniteurs d'une écloserie ou qui peuvent frayer en milieu naturel. La manipulation des proportions de saumons d'origine naturelle et de saumons d'écloserie dépend du type et du degré de marquage permettant la différenciation entre les individus provenant des deux milieux avant la fraie. Dans le cadre des programmes de conservation, on doit équilibrer le risque de domestication associé à de faibles valeurs d'INP en tenant compte des risques génétiques et démographiques qui pèsent sur les populations de petite taille en l'absence d'une proportion élevée de saumons d'écloserie. Nous fournissons des recommandations sur la classification et la gestion de populations mises en valeur, conformément aux principes d'établissement de cibles biologiques explicites pour les populations qui subissent l'incidence des écloseries, sur la mise en œuvre de programmes d'écloseries défendables sur le plan scientifique et sur l'utilisation de la gestion adaptative au sein des programmes d'écloseries pour l'atteinte des objectifs selon une approche de précaution.

ANNEXE C : ORDRE DU JOUR

Secrétariat canadien de consultation scientifique

Centre des avis scientifiques du Pacifique

Évaluation et mise à jour des cibles biologiques pour la mise en valeur des populations de saumons chinooks

31 août et 1er septembre 2017

Station biologique du Pacifique, Nanaimo (C.-B.)

Présidente : Lesley MacDougall

JOUR 1 – 31 août 2017

Heure	Sujet	Présentateur
9 h	Présentations Examen de l'ordre du jour et gestion interne Aperçu et procédures du SCAS	Présidente
9 h 15	Examen du mandat	Présidente
9 h 30	Présentation du document de travail	Auteurs
10 h 30	***Pause***	
10 h 50	Présentation du document de travail (suite)	Auteurs
12 h	***Pause repas***	
13 h	Examen 1	Patrick O'Reilly et auteurs
13 h 30	Examen 2	Jeff Hard et auteurs
14 h 45	***Pause***	
15 h	Discussion générale – Document de travail, examens, points importants	Participants à l'examen régional par les pairs
16 h 30	Suite de la discussion – Déterminer les points importants	Participants à l'examen régional par les pairs
17 h	Levée de la réunion pour la journée	

JOUR 2 – 1er septembre 2017

Heure	Sujet	Présentateur
9 h	Présentations Examen de l'ordre du jour et gestion interne Récapitulation du jour 1	Présidente
9 h 45	Reprise des questions en suspens du jour 1	Participants à l'examen régional par les pairs
10 h	Établissement d'un consensus sur l'acceptabilité du document et sur les révisions convenues	Participants à l'examen régional par les pairs
10 h 30	***Pause***	
10 h 50	*Avis scientifique* Établissement d'un consensus sur les éléments suivants en vue de leur inclusion : • Sources d'incertitude • Résultats et conclusions Avis supplémentaire pour la direction (au besoin)	Participants à l'examen régional par les pairs
11 h 30	***Pause repas***	
13 h	*Avis scientifique* Établissement d'un consensus sur les éléments suivants en vue de leur inclusion : • Sources d'incertitude • Résultats et conclusions Avis supplémentaire pour la direction (au besoin)	Participants à l'examen régional par les pairs
14 h 45	***Pause***	
15 h	Prochaines étapes – Examen par la présidente • Processus d'examen et d'approbation de l'avis scientifique, et calendrier • Calendrier relatif au document de recherche et au compte rendu • Autres suivis ou engagements (*au besoin*)	Présidente
15 h 45	Autres questions découlant de l'examen	Présidente et participants
16 h	***Levée de la réunion***	

ANNEXE D : PARTICIPANTS

Nom de famille	Prénom	Organisme d'appartenance
Ackerman	Paige	PMVS – ACR
Anderson	Erika	Sciences
Ayers	Cheri	Tribus des Cowichan
Bailey	Richard	Sciences – Saumon du Fraser
Bocking	Robert	LGL
Bradford	Mike	Sciences
Brown	Gayle	Sciences – Saumon, programme essentiel
Campbell	Kelsey	Atlegay
Candy	John	Sciences
Churchland	Carolyn	PMVS – ACR
Desrochers	Dale	PMVS – Côte sud
Dobson	Diana	Sciences – Saumon, côte sud
Dunlop	Roger	Conseil tribal Nuu-chah-nulth
Fraser	Kathryn	Sciences – PMR
Gale	Rupert	CCPS
Godbout	Lyse	Sciences – MEQ
Grant	Sue	Sciences – Saumon du Fraser
Grout	Jeff	Gestion des pêches – ACR
Hard	Jeff	NOAA, Washington North Fisheries Science Centre
Holt	Carrie	Sciences – Saumon, programme essentiel
Holt	Kendra	Sciences
Huang	Ann-Marie	Sciences – Équipe du saumon
Hyatt	Kim	Sciences – Saumon, programme essentiel
Irvine	Jim	Sciences – Saumon, programme essentiel
Jenewein	Brittany	Sciences
Kennedy	Eddy	Sciences
Luedke	Wilf	Sciences – Saumon, côte sud
Lynch	Cheryl	CGE – PMVS
MacDonald	Bronwyn	Sciences
MacDougall	Lesley	Sciences – SCAS
Mahoney	Jason	PMVS – ACR
Maxwell	Marla	Gestion des pêches – Fraser
McDuffee	Misty	Raincoast/Comité de la conservation de la ressource maritime
McHugh	Diana	Sciences – Saumon, côte sud
O'Reilly	Patrick	MPO, Atlantique
Parken	Chuck	Sciences – Saumon du Fraser
Porszt	Erin	Sciences – Saumon, côte sud
Riddell	Brian	FSP

Nom de famille	Prénom	Organisme d'appartenance
Rosenberger	Andy	Comité de la conservation de la ressource maritime/Pêches de Lake Babine Nation
Schut	Steven	Sciences
Staley	Mike	Fraser River Aboriginal Fisheries Secretariat
Tadey	Joe	Sciences, MPO
Taylor	Nathan	Sciences
Thiess	Mary	Sciences
Tompkins	Arlene	Sciences – Saumon, programme essentiel
Townsend	Matthew	Sciences – Fraser
Willis	David	CGE – PMVS
Winther	Ivan	Sciences – Saumon, côte nord
Withler	Ruth	Sciences – Génétique du saumon

ANNEXE E : RÉVISION ÉCRITE DE JEFF HARD

Date : 18 août 2017

Réviseur : Jeffrey J. Hard, U.S. National Marine Fisheries Service, Northwest Fisheries Science Center, Document de travail du CSAS : 2013SEP02

Titre du document de travail : Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations

Commentaires généraux :

Tout d'abord, je tiens à remercier les organisateurs de m'avoir donné l'occasion de réviser ce rapport. Il s'agit d'un travail impressionnant; le document est bien organisé et clairement rédigé. Je crois qu'il sera au cœur des efforts de Pêches et Océans Canada (MPO) et du Programme de mise en valeur des salmonidés visant à évaluer soigneusement les programmes de mise en valeur et d'ensemencement du saumon chinook au Canada. Le rapport reflète clairement un examen minutieux des connaissances scientifiques actuelles et une quantité considérable de réflexions de la part des auteurs, qui ont tenté d'adapter les principes et les concepts appliqués dans les eaux américaines de la côte nord-ouest du Pacifique à la situation au Canada. Bien que le document soit très technique par endroits, il est présenté de manière à ce que les idées principales soient accessibles à des lecteurs ayant des antécédents et une expérience diversifiés dans le domaine de l'évaluation des effets possibles des programmes de salmoniculture sur la production sauvage.

Le rapport vise principalement à élaborer des lignes directrices qui sont fondées sur la science pour la mise en valeur du saumon chinook canadien et qui réduiront le risque génétique pour les populations sauvages. Les auteurs y effectuent un examen opportun et assez complet de la compréhension scientifique actuelle des risques génétiques pour le saumon sauvage associés à la propagation en écloserie. Ils appliquent les lignes directrices de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) du Canada pour décrire l'état biologique des populations naturelles par rapport à différents niveaux de production en écloserie, tels qu'indexés par la proportion de saumons sauvages parmi les géniteurs. Ils recommandent des critères de seuil pour cet indice et les paramètres associés, comme la proportion de saumons d'écloserie dans les frayères, et donnent quelques conseils de gestion sur la façon de respecter ces critères et d'élaborer des lignes directrices révisées pour les activités du programme d'écloseries intégrées au Canada. Les recommandations du rapport se limitent au risque génétique de la propagation en écloserie et n'abordent pas directement le risque écologique concomitant, et le risque génétique évalué dans ce rapport ne traite pas des effets indirects ou hérités de l'introgression chez les poissons d'écloserie. Le rapport présente des recommandations associées aux trois grands types de risques génétiques pour les populations sauvages : la perte de diversité au sein des populations, la perte de diversité entre les populations et la perte de valeur adaptative (généralement mesurée par le succès de reproduction sur toute la vie).

J'ai trouvé que ce document représentait une approche assez complète pour l'évaluation de plusieurs paramètres clés qui ont une forte incidence sur l'effet génétique des saumons d'écloserie sur les populations naturelles connexes et pour caractérisation de l'importance des principales mesures de contrôle à la disposition des gestionnaires visant à atténuer cet effet. Selon moi, la modélisation qui est au cœur de ce document est bien pensée et clairement décrite et résumée. J'ai un certain nombre de commentaires précis sur l'approche et la discussion concernant le modèle et ses résultats (présentés plus bas), mais dans l'ensemble, j'ai trouvé qu'il s'agissait d'une approche réfléchie visant à aborder l'objectif principal au moyen d'un modèle déterministe relativement simple reprenant celui de Ford (2002). J'ai également aimé le fait que les auteurs aient effectué des analyses de sensibilité pour plusieurs paramètres qui auraient une grande influence sur les répercussions génétiques de la production d'écloserie,

et qu'ils aient pris soin de reconnaître et d'indiquer clairement les limites les plus importantes de leur modèle. Idéalement, il serait préférable d'utiliser un modèle stochastique dont les paramètres sont tirés de distributions susceptibles de changer de manière réaliste durant la période considérée ici (100 générations), mais il s'agit d'un domaine de recherche qui reste largement peu étudié et qui serait difficile à mettre en œuvre rapidement. Les auteurs semblent reconnaître que le modèle est largement heuristique et qu'il n'est pas destiné à être prédictif à des moments précis; néanmoins, je recommanderais de limiter les scénarios explorés à 5-10 générations (25-50 ans), à moins que des changements temporels touchant les paramètres clés soient autorisés et suivis attentivement au fil du temps.

Le modèle est fortement inspiré de celui publié par Mike Ford dans Conservation Biology en 2002, qui est lui-même une extension du modèle classique d'évolution phénotypique de Russ Lande (1976). Le modèle déterministe simule l'évolution d'une population effectivement infinie qui est exposée à deux environnements distincts, avec une sélection naturelle et artificielle, mais sans aucune génétique explicite; il repose sur les travaux précurseurs de Fisher (1918, 1958), qui supposait une sélection très faible sur un phénotype de caractère influencé à la fois par l'environnement et par un grand nombre de loci non spécifiés ayant un effet très faible (le modèle « infinitésimal »).

Le document révisé est principalement axé sur l'influence naturelle proportionnelle (INP), un paramètre qui reflète l'influence par l'entremise du flux génétique entre les saumons sauvages (définis comme des individus nés dans la nature et issus de la fraie naturelle) et un stock de géniteurs d'écloserie. L'INP tend également à refléter les productivités relatives des deux environnements. Le Hatchery Scientific Review Group (HSRG) s'est également concentré sur l'INP, pour laquelle il a dérivé des valeurs critiques fondées sur la relation entre la proportion de géniteurs d'écloserie d'origine naturelle (pNOB) et la proportion de géniteurs d'écloserie dans la nature (pHOS). La valeur la pHOS, c'est-à-dire la proportion de saumons d'écloserie qui fraient naturellement, est un paramètre d'une importance fondamentale pour une population naturelle connexe et doit être surveillée indépendamment pour que l'on puisse évaluer pleinement et réduire le risque génétique. Dans de nombreux cas, la pHOS est présumée ou estimée à partir de dénombrements aux barrières ou de l'abondance des remontes d'individus d'écloserie, mais les recommandations de l'INP sont plus réalistes et plus efficaces si des relevés sur les géniteurs ou, de préférence, des études de parenté permettent d'estimer la pHOS avec plus de précision. La combinaison de ces deux paramètres détermine le flux génétique entre les composantes d'écloserie et naturelles et donc le potentiel de sélection naturelle, de divergence génétique et phénotypique, ainsi que la diversité et la productivité globales de chaque composante.

Je pense que le rapport s'avérera très utile pour l'évaluation des effets possibles des programmes d'ensemencement actuels du saumon sur les populations naturelles au Canada, selon le processus du HSRG dans une grande partie de la côte nord-ouest américaine du Pacifique, et pour la recommandation de changements précis à apporter à ces programmes en ce qui concerne l'échelle et le fonctionnement, à l'avenir. Personnellement, j'aimerais beaucoup qu'une version modifiée de ce modèle ou un modèle semblable soit disponible en ligne afin que des gestionnaires et des chercheurs puissent l'examiner facilement. J'invite vivement les auteurs à affiner le code de leur modèle afin de fournir une interface conviviale en ligne permettant aux gestionnaires et aux chercheurs de manipuler les paramètres clés du modèle à l'aide du progiciel « Shiny » dans l'espace R. Ces utilisateurs pourraient ainsi manipuler de manière interactive des paramètres clés, tels que la pHOS, l'héritabilité, la force de sélection et le succès de reproduction relatif, et examiner leurs effets individuels et collectifs sur l'INP, la pNOB, les recrues par géniteur, les prises et les estimations de la productivité naturelle en temps réel. Un exemple simple d'une interface Shiny pour un programme de traçage; le code pourrait facilement être modifié pour générer des tracés de contour 2D. Il existe d'autres

exemples d'applications de tracé de contour/de surface de réponse avec Shiny. Une interface Shiny permettrait à un utilisateur de modifier directement une ou plusieurs entrées de contrôle à l'aide de valeurs limitées par le programmeur (c.-à-d., réalistes) tirées de distributions, et de voir rapidement les résultats tracés.

Un lecteur pourrait déduire du rapport que les approches du HSRG sont des approches américaines. Un de mes collègues responsable des politiques m'a rappelé que même si le HSRG a été financé par le gouvernement fédéral (par l'intermédiaire de membres influents du Congrès américain à Washington), l'acceptation des lignes directrices du HSRG a été ponctuelle. Elles font généralement l'objet d'une politique dans l'État de Washington, sont appliquées ou non à l'échelle locale en Oregon, et sont largement acceptées en Idaho. La Californie est un cas partagé en raison de l'approche plus flexible qui y est adoptée.

L'acceptation des lignes directrices du HSRG parmi les groupes ayant de forts intérêts de pêche a généralement été faible. Le problème fondamental est que l'application stricte des lignes directrices sur la pHOS et l'INP en ce qui concerne les applications de la *Endangered Species Act* fait en sorte que de nombreux programmes axés sur la pêche semblent surdimensionnés. On travaille encore à la résolution de ces enjeux.

Pour répondre aux questions d'orientation relatives à l'examen, j'ai trouvé que :

- les objectifs du rapport révisé sont clairement exposés et concis, et ils correspondent au cadre de référence de l'examen du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS);
- en général, l'approche adoptée dans le rapport pour déterminer les cibles génétiques fondées sur la biologie concernant la mise en valeur du saumon chinook au Canada est réfléchie, complète et constitue un prolongement raisonnable des lignes directrices du HSRG pour la gestion des populations de saumons d'écloserie dans les eaux américaines de la côte nord-ouest du Pacifique;
- les données, les méthodes et les résultats sont expliqués de manière suffisamment détaillée pour permettre d'évaluer les conclusions du rapport et leurs limites;
- les recommandations fournies à la fin du rapport correspondent bien aux objectifs décrits dans le cadre de référence et, bien qu'assez générales dans l'ensemble, elles décrivent un ensemble concis de mesures claires à prendre lors du lancement, du suivi ou de la gestion de la propagation en écloserie. J'aurais aimé voir des recommandations plus détaillées dans certains cas, mais je reconnais qu'elles devraient généralement être formulées au cas par cas, après l'évaluation des renseignements relatifs à un programme donné dans le cadre, par exemple, d'un plan de gestion génétique des écloseries semblable à celui du HSRG (HSRG 2009);
- l'avis fourni intègre à un degré raisonnable l'incertitude associée à plusieurs aspects du modèle, et il est influencé par les analyses de sensibilité de plusieurs paramètres clés. J'ai quelques recommandations concernant l'élaboration du modèle sur le plan de la chronologie et de la structure (c.-à-d., stochastique plutôt que déterministe; voir la section sur les commentaires détaillés plus bas), mais cela nécessiterait un travail supplémentaire considérable. Quelques suggestions de recherches futures figurent dans mes commentaires détaillés; voici les principales : 1) étudier la sélection sur plusieurs caractères corrélés qui sont connus pour être influencés par la domestication en écloserie, comme l'âge, la taille, la fertilité et la phénologie (moment de la montaison et de la fraie) du saumon adulte, en plus de la survie propre au stade (eau douce, mer); 2) permettre une évaluation directe du succès de reproduction relatif sur le risque génétique grâce à la manipulation d'un paramètre de succès de reproduction relatif dans le modèle. Deux raisons expliquent ces propositions : 1) l'évaluation indirecte des effets du succès de reproduction relatif par

l'entremise de son influence sur la pHOS et, par conséquent, sur l'INP, peut être problématique en raison de l'inflation de l'INP (voir les commentaires détaillés plus bas); 2) je recommanderais d'évaluer également les données de sortie du modèle en tant que fonction d'une plage de valeurs du succès de reproduction relatif (p. ex., 0,2 à 0,7 plutôt que 0,8 seulement), compte tenu de ce que nous savons maintenant d'après les études sur le saumon chinook.

Je présente mes commentaires détaillés sur le rapport, en citant des passages précis dans l'ordre, dans la section ci-dessous. Bien qu'ils soient assez longs, la plupart de ces commentaires portent sur des éléments qui ne remettent pas en cause les conclusions générales du rapport, et beaucoup sont axés sur des modifications mineures proposées pour la modélisation ou des suggestions pour le développement ultérieur du modèle. La plupart d'entre eux sont simplement soumis aux fins d'examen par les auteurs.

Commentaires détaillés :

Il est essentiel de connaître la littérature scientifique croissante sur le succès de reproduction relatif des salmonidés sauvages et d'écloserie est essentielle pour comprendre les conséquences de la production d'écloserie sur les populations naturelles. Ces documents, qui ont foisonné grâce à la meilleure accessibilité des outils permettant d'évaluer la parenté et d'autres relations étroites entre des individus dans la nature, sont principalement axés sur le saumon arc-en-ciel (*O. mykiss*), le saumon chinook (*O. tshawytscha*), le saumon coho (*O. kisutch*) et le saumon atlantique (*Salmo salar*). Il est important de reconnaître que le succès de reproduction relatif peut varier considérablement entre les espèces, les populations et les milieux, et qu'il peut exister une variabilité temporelle due aux changements environnementaux. La littérature indique que des déclins forts et rapides de la valeur adaptative dus à la propagation en écloserie sont possibles, et que des effets environnementaux (p. ex., la sélection de l'habitat) et génétiques peuvent en être responsables.

Je ne vois aucune mention de l'effet Ryman-Laikre. Dans le contexte des écloseries de saumons, il s'agit d'un corrélat de l'INP qui est pertinent pour la question du maintien de la diversité dans un groupe frayant de façon naturelle où les contributions génétiques des parents dans les composantes peuvent différer considérablement. [Modification : Je vois que ce concept est abordé en haut de la p. 21 (mais pas indiqué comme l'effet Ryman-Laikre), avec la citation de Christie *et al.* (2012)].

Page 12 : « Cette approche permet un flux génétique entre les individus de la population naturelle et les individus d'écloserie, ce qui atténue les effets potentiellement négatifs de la divergence génétique entre les saumons issus de la fraie naturelle et d'écloserie dans la population (MPO 2013b). » [traduction] Cette citation et les résultats présentés dans le document de Waters *et al*. (2015) sont cohérents avec l'idée que le flux génétique entre les populations d'écloserie et les populations naturelles peut limiter le taux de sélection par domestication. Cependant, je pense qu'il est important de noter que la production d'écloserie intégrée ne permet pas à elle seule de tenir compte, de manière adéquate, de la perte de valeur adaptative due à la diminution de l'adaptation locale qui peut découler de la domestication en écloserie. En outre, les méthodes appliquées dans ce document permettent de détecter des signaux génétiques qui sont compatibles avec un changement sélectif, mais qui ne sont pas une indication directe de la sélection.

Page 14 : Comme indiqué dans le rapport, la mise en valeur pour des objectifs de pêche peut entraîner la mise en œuvre de programmes d'ensemencement plus proches de la ségrégation que de l'intégration, bien qu'il n'y ait aucune intention officielle d'empêcher les géniteurs issus des écloseries de rester dans le milieu naturel. Cette question est centrée sur l'une de mes principales préoccupations concernant l'état actuel des lignes directrices concernant la pHOS pour les programmes d'ensemencement de production ou de transition.

Lignes directrices générales existantes formulées dans le document *A Compilation of Operational and Planning Guidelines for the Salmonid Enhancement Program* (Compilation des lignes directrices opérationnelles et de planification du Programme de mise en valeur des salmonidés) : pHOS ≤ 50 % (afin de limiter le risque d'hybridation entre géniteurs d'écloserie et ceux issus de la fraie naturelle), ≤ 30 % de la remonte de la rivière incluse dans le stock de géniteurs d'une écloserie (afin de limiter « l'extraction » du stock de géniteurs naturels). Pour les programmes de conservation, ce dernier paramètre pourrait atteindre 50 %. S'il est peu probable que la productivité naturelle soit compromise, en général, pour les programmes d'écloseries intégrées, le pNOB devrait être égal ou supérieur à (1-pHOS) ou p(NN). La modélisation dans le rapport aborde la façon dont la variabilité de ces paramètres peut être influencée par la valeur adaptative des saumons qui fraient naturellement, par l'entremise du paramètre de la pHOS efficace, mais j'aimerais voir une évaluation plus directe de l'utilisation de la connaissance du succès de reproduction relatif en vue de déterminer des critères de l'INP et de la pHOS démontrables.

Comme indiqué, à l'heure actuelle, il n'existe pas non plus de directive précise sur la durée appropriée de la mise en valeur des stocks, sur les seuils fondés sur des données biologiques visant à déclencher la transition entre les programmes de conservation et de rétablissement ni sur la gestion de la tolérance au risque. J'espère que ces questions seront également abordées prochainement, car elles constituent toutes des outils importants permettant de limiter les effets de la propagation en écloserie sur la production naturelle.

Page 15 : « Les interactions écologiques à grande échelle entre les saumons d'écloserie et les saumons sauvages ont été déterminées comme étant préoccupantes dans le golfe du Prince William (Amoroso *et al*. 2017), tout comme l'errance de saumons chinooks d'écloserie dans des cours d'eau autres que leur cours d'eau natal, mais aucune directive concernant les écloseries fondée sur les risques de flux génétique entre les individus d'écloserie et les individus sauvages n'a été élaborée, ce qui est peu utile dans le contexte canadien. » [traduction] Ce n'est pas tout à fait vrai; l'Alaska Department of Fish and Game a mis en place depuis longtemps une politique génétique visant les poissons à nageoires afin de réglementer certains aspects de la production de saumons d'écloserie (maintien de la variabilité génétique dans les stocks d'écloserie et sauvages et protection des stocks sauvages contre les individus d'écloserie errants et l'exploitation des stocks de géniteurs) et le transport des poissons entre les régions et les bassins hydrographiques (ADF&G 1985). Cette politique fournit des directives générales pour réduire les risques de flux génétique entre les poissons d'écloserie et les poissons sauvages dans l'État. L'Alaska Department of Fish and Game, en collaboration avec les usines de transformation et les producteurs de saumon, soutient aussi actuellement un vaste effort de recherche visant à estimer le succès de reproduction relatif chez le saumon rose et le saumon kéta dans le golfe du Prince William et le sud-est de l'Alaska afin de répondre aux préoccupations entourant les répercussions de la production de saumons d'écloserie sur la productivité des saumons sauvages en Alaska.

Page 16 (sec. 2.2) : Je dois mentionner que le terme « ensemencement » a un sens plus précis ici, aux États-Unis. Il est utilisé uniquement pour les programmes visant à utiliser la technologie des écloseries pour accroître la production naturelle.

Page 17 : On fait remarquer qu'au Canada, les programmes d'ensemencement du saumon sont généralement exploités comme des programmes intégrés parce que dans la plupart des bassins hydrographiques, les installations sont incapables de limiter la fraie naturelle des individus d'écloserie en raison de l'absence de barrières, etc. même si un marquage de tous les individus pouvait être réalisé. Dans ce cas, il faut examiner attentivement, au cas par cas, les compromis probables entre la réduction des possibilités de croisement (en gardant les saumons d'écloserie et les saumons sauvages aussi séparés que possible pour réduire les interactions génétiques et écologiques néfastes, comme le prévoient certains programmes d'écloseries

séparées) et la réduction des conséquences de l'hybridation lorsqu'elle se produit (en essayant de maintenir les saumons d'écloserie et les saumons sauvages aussi semblables que possible pour limiter les effets négatifs de l'introgression de gènes d'écloserie « mal adaptés » dans les génomes sauvages, comme le prévoient les programmes d'ensemencement des écloseries intégrées).

Pages 18 à 20 (sec. 2.3) : Il s'agit d'un résumé concis des facteurs qui peuvent influencer la valeur adaptative des individus d'écloserie frayant naturellement. La littérature sur lequel il est fondé repose principalement sur des études sur le saumon arc-en-ciel et le saumon chinook du bassin du fleuve Columbia. Voici un exemple important et souvent cité : les chercheurs qui ont examiné le succès de reproduction relatif du saumon arc-en-ciel de la rivière Hood, dans le bassin du Columbia, ont constaté que le succès de reproduction relatif des individus d'écloserie dans l'environnement naturel est généralement considérablement inférieur à celui des individus issus de la fraie naturelle dans cet environnement, et que de tels déclins de la valeur adaptative peuvent se produire en une ou deux générations de propagation dans l'écloserie, vraisemblablement en raison de l'adaptation au milieu de l'écloserie (sélection par domestication par rapport à des mécanismes génétiques ou épigénétiques). Je ne suis pas convaincu qu'il s'agisse d'un résultat général pour les salmonidés, mais il pourrait être courant pour une espèce comme le saumon arc-en-ciel.

Cette section est essentielle pour savoir comment les lignes directrices reflètent les données scientifiques disponibles sur ce sujet. Cela dit, l'accent est mis sur une possible incompatibilité génotype-phénotype, ce qui, bien que je trouve cette hypothèse tentante et raisonnable, me paraît quelque peu spéculatif. Ce que presque toutes les études du succès de reproduction relatif à ce jour, dont j'ai connaissance, ne définissent pas rigoureusement, c'est la manière dont la sélection naturelle opère réellement dans les deux milieux. Il me semble qu'il s'agit là d'une importante lacune dans les connaissances qui doit être mieux comblée, idéalement en l'intégrant directement aux programmes de suivi des écloseries. Il sera essentiel de caractériser la forme et l'intensité de la sélection, en se fondant sur le succès de reproduction pendant toute la vie en tant qu'indicateur de la valeur adaptative, pour évaluer d'autres hypothèses concernant les mécanismes de réduction du succès de reproduction relatif chez les stocks issus d'écloseries. Je suis d'accord avec les auteurs sur le fait que plusieurs caractéristiques de la plupart des programmes d'ensemencement réduisent probablement le succès de reproduction relatif, mais elles masquent également les véritables mécanismes responsables, notamment une valeur élevée de la pHOS dans les frayères, les interactions écologiques entre les saumons d'écloserie et les saumons sauvages, juvéniles ou adultes (en particulier à des densités élevées en raison de la forte production en écloserie), et les effets de l'introgression hérités, qui sont exacerbés par une capacité limitée à distinguer les adultes d'écloserie et les adultes sauvages (p. ex., en raison des faibles taux de marquage) dans la nature.

Page 19 : « Voici deux facteurs de contrôle que la gestion peut utiliser afin d'éviter ou de réduire la perte de valeur adaptative, et peut-être la capacité d'autonomie, dans un programme d'écloseries intégrées : 1) maintenir une certaine proportion de saumons adultes issus de la fraie naturelle en milieu sauvage; 2) maintenir une certaine proportion de saumons issus de la fraie naturelle dans les stocks de géniteurs d'écloserie. » [traduction] Ces facteurs sont respectivement la pNOS (1- pHOS) et l'INP. Bien sûr, ils ne sont pas indépendants les uns des autres; l'INP dépend de la pHOS (et donc de la pNOS) ainsi que de la pNOB :

« Voici la conclusion générale découlant de la compréhension du processus susmentionné : dans les situations visant la coexistence (plutôt que le remplacement) de l'ensemencement issu des écloseries intégrées et des populations de géniteurs frayant naturellement, qui sont connectées, mais diverses sur le plan génétique (comme celles qui composent une UC canadienne), l'une des exigences principales est de limiter le nombre de saumons d'écloserie frayant dans les bassins hydrographiques ensemencés à proximité (McClure *et al.* 2008,

Paquet *et al.* 2011, Flagg 2015, HSRG 2014, Trushenski *et al*. 2015). » [traduction] Je suis tout à fait d'accord avec cette déclaration. Pour assurer la durabilité à long terme de la production de saumons sauvages, il est essentiel d'élaborer des lignes directrices qui tiennent compte de l'interaction entre l'INP et la pHOS pour déterminer le flux génétique réel entre les individus d'écloserie et les individus sauvages.

Ford et ses collaborateurs (2016, PLoS ONE et données inédites) et Williamson et ses collaborateurs (JCSHA 2010) ont constaté que dans la rivière Wenatchee, le succès de reproduction relatif du saumon chinook et du saumon arc-en-ciel est souvent faible, mais qu'il varie selon les années d'éclosion, surtout pour le saumon arc-en-ciel. Ils ont également trouvé des preuves d'un fort effet du stock de géniteurs, soit un effet génétique « au sens large », chez le saumon arc-en-ciel de cette rivière; le succès de reproduction relatif était le plus faible lorsque l'un des parents ou les deux provenaient d'une écloserie. Là encore, la variabilité temporelle était très évidente. Il n'y avait aucune preuve d'un effet du stock de géniteurs chez le saumon chinook dans la rivière Wenatchee, mais il y avait manifestement un fort effet dû à l'emplacement de la frayère, soit un effet environnemental, sur le succès de reproduction relatif de cette espèce. Les espèces réagissent donc différemment aux effets d'une écloserie dans le même bassin hydrographique et on ne peut pas supposer l'existence d'une cause commune pour le faible succès de reproduction relatif.

Qu'indiquent les éléments probants disponibles de la sélection naturelle sur les saumons géniteurs? Malheureusement, il y a encore peu d'études qui traitent directement de ce sujet. Les études qui le font mettent en cause la taille, la morphologie du corps des individus ou la phénologie de la reproduction (moment de la montaison ou de la fraie); il existe quelques éléments probants de la sélection qui varient entre les mâles et les femelles adultes. La sélection naturelle semble souvent relativement faible (coefficients de sélection normalisés allant de < 0,1 à 0,4 écart-type [ET] phénotypique, avec une efficacité statistique adéquate pour détecter des coefficients de sélection aussi faibles que peut-être 0,2 à 0,3 ET), mais variable dans sa forme (stabilisante, directionnelle) ainsi que dans son intensité au cours d'années différentes.

Pages 21 à 24 (sec. 2.4) : Cette section est un résumé judicieux des caractéristiques de la propagation en écloserie et de la sélection ou de la collecte d'individus pour le stock de géniteurs, qui doivent être prises en compte pour peser les avantages et les risques d'un programme pour une population qui fraie naturellement. Il est essentiel de prendre en compte les phénotypes (en particulier ceux qui sont susceptibles d'influencer le succès de la reproduction dans les frayères, comme le moment de la fraie, l'âge et la taille) dans les protocoles de sélection du stock de géniteurs pour réduire les changements indésirables dans la composition d'une population, qui peuvent découler des forces conjointes de la propagation en écloserie (collecte et élevage des individus du stock de géniteurs) et de la pêche sélective. Le compromis entre les objectifs de pêche et de conservation dans la gestion des programmes d'ensemencement n'est pas toujours reconnu explicitement, ce qui me semble un peu étrange parce qu'on ne peut pas toujours séparer complètement les effets de la propagation en captivité et de la pêche sur la variation de la survie et de la composition phénotypique.

Je suis d'accord avec l'accent mis sur le flux génétique bidirectionnel et sur l'INP à titre d'indice approprié pour faciliter l'évaluation des effets possibles des poissons d'écloserie sur les populations sauvages auxquelles ils sont associés. Je ne pense pas, cependant, que l'INP soit le moyen le plus direct pour évaluer les forces relatives de la sélection naturelle dans les deux environnements. Comme mentionné ci-dessus, il est possible d'évaluer plus précisément ces éléments de façon directe en estimant le succès de reproduction relatif à partir des travaux sur la parenté et des données phénotypiques associées. Lorsque cela n'est pas possible, l'INP est un indicateur approprié, mais possiblement beaucoup moins précis. Ma principale préoccupation concernant l'utilisation de l'INP à titre de mesure principale de l'influence des

écloseries est qu'elle n'est qu'indirectement liée aux valeurs phénotypiques optimales et à la valeur adaptative, deux caractéristiques d'une population qui déterminent le sens et le taux de l'évolution adaptative. La relation entre ces variables dépend de la façon dont les modèles qui les incorporant sont construits, notamment des hypothèses sur la forme et la force de la sélection concernant les valeurs phénotypiques optimales associées aux écloseries et aux milieux naturels. En effet, le choix de l'INP revient à accepter tacitement les coûts qu'elle entraînera pour la valeur adaptative, sans que l'on comprenne clairement toutes les conséquences sur la variation de la valeur adaptative et du phénotype.

« Les mesures du succès de reproduction relatif pour le saumon chinook d'écloserie ont tendance à se situer entre 0,8 et 1,0 (HSRG 2014), bien que des valeurs inférieures aient été observées. » [traduction] En fait, je pense qu'il y a de plus en plus d'éléments probants indiquant que des valeurs inférieures peuvent être plus courantes chez le saumon chinook. Ford et ses collaborateurs (2016) ont trouvé des valeurs du succès de reproduction relatif d'environ 0,2 à 0,7 pour les saumons chinooks de la rivière Wenatchee (par rapport à 0,4 à 0,7 pour le même réseau hydrographique dans le document de Williamson *et al.* 2010); le succès de reproduction relatif peut donc être assez faible, mais comme susmentionné, les estimations peuvent varier considérablement entre les cohortes. Dans leur examen, Christie et ses collaborateurs (2014) citent aussi une autre étude sur le saumon chinook, soit celle de Hess et ses collaborateurs (2012) qui cible le ruisseau Johnson, un affluent de la rivière Salmon en Idaho. Hess et ses collaborateurs (2012) ont trouvé des estimations du succès de reproduction relatif qui varient de 0,4 à 1,3. Cependant, la façon dont le succès de reproduction relatif a été estimé dans ce document présentait, selon moi, un grave défaut. En effet, d'après les documents supplémentaires, il est clair que les auteurs ont estimé le succès de reproduction relatif après avoir retiré les parents possibles qui n'ont pas produit de descendance, ce qui aura tendance à gonfler le succès de reproduction relatif des poissons d'écloserie. Je pense que ce n'est pas une bonne manière d'estimer le succès de reproduction relatif. Cette méthode ne répond pas aux questions suivantes : Les saumons d'écloserie ont-ils réussi à frayer avec succès? Dans l'affirmative, leur progéniture était-elle viable? À quels stades du cycle vital les petits sont-ils morts? Les caractéristiques des saumons d'écloserie qui ont réussi à frayer diffèrent-elles de celles des saumons d'écloserie qui ont échoué? Les réponses à ces questions permettent d'obtenir les principales caractéristiques de la sélection naturelle ou sexuelle dans les frayères, qui sont importantes pour la détermination de l'évolution du mélange des géniteurs naturels au fil du temps. Il serait également essentiel de tenir compte de ces renseignements pour comparer la productivité des deux groupes (p. ex., le nombre de recrues par géniteur).

Pages 22 à 25 (sec. 2.4.3 et 2.5) : Il s'agit d'une discussion utile sur les protocoles concernant le stock de géniteurs et les pratiques de fraie en écloserie. Les auteurs ont la prudence de souligner l'importance de maximiser la diversité des populations d'écloserie, en particulier pour compléter la production naturelle (comme dans les programmes de conservation). La discussion sur la reconstruction généalogique et les approches relatives à l'apparentement moyen est particulièrement pertinente pour ce sujet. J'ajouterais que la maximisation de la diversité et de l'abondance réelle de la population et la réduction du taux de consanguinité au minimum par l'entremise des pratiques de fraie devraient entraîner une certaine prise en compte de l'effet Ryman-Laikre sur la diversité globale de la population regroupant les individus d'écloserie et les saumons sauvages, en particulier dans le cadre d'un programme intégré. Toutefois, il faut reconnaître que ces mesures en elles-mêmes ne confèrent pas nécessairement une meilleure valeur adaptative dans la nature. Pour atteindre cet objectif, il faudra mieux comprendre les mécanismes qui influencent la capacité de survie et de reproduction et, en fin de compte, rétablir l'influence sélective dominante du milieu naturel. J'ajouterais à la discussion des auteurs sur le succès de reproduction relatif qu'en fin de compte, une étude ciblée des facteurs qui influencent la sélection et le succès ultérieur de la reproduction, dans la nature et en écloserie, sera nécessaire. Cette étude consistera en un suivi

systématique des principales données phénotypiques et génétiques à l'échelle de l'individu (p. ex., le sexe, l'âge, la taille, la phénologie), et l'évaluation des facteurs fixes (ou aléatoires) qui pourraient influencer le succès de reproduction relatif (comme le stock de géniteurs, la cohorte, le lieu de fraie, la densité d'occupation ou de la fraie). Je soutiens la recommandation des auteurs concernant le marquage visuel et le marquage génétique pour le suivi de la diversité et des réponses adaptatives à l'environnement parce que ces méthodes sont associées à une capacité non létale accrue dans le milieu naturel.

Page 26 (sec. 3.1) : Le deuxième paragraphe de cette section me semble un peu fort. L'INP permet simplement d'estimer la proportion de saumons d'origine naturelle parmi tous les géniteurs à un endroit donné. Bien que l'on s'attende à ce que cette proportion soit positivement corrélée avec le degré de dominance de l'INP du milieu naturel, il ne s'agit pas d'une mesure directe de cette incidence. (On fait référence à une « série d'hypothèses simplificatrices », qui sont brièvement abordées à la section 3.1.1. Principalement, pour les équations de récursion du modèle de générations distinctes de Ford, il s'agit du fait que la valeur adaptative ou le phénotype est distribué normalement avec une variance constante, que la sélection sur le caractère est stabilisante, que les changements dans le caractère moyen sont dus uniquement à la sélection et que les corrélations avec d'autres caractères n'ont pas d'incidence). Il est plus probable qu'il y ait une incidence dans le cas où les saumons sauvages ont peu ou pas d'antécédents d'introgression en écloserie, ce que l'on connaîtra rarement connu, sauf pour les populations suivies avec attention dont on connaît la généalogie à long terme. Cela dit, le quatrième paragraphe résume bien certaines des limites de l'INP à titre d'outil d'étude de l'incidence des écloseries. Le résumé du modèle de Ford et sa relation avec l'équation 1 dans la section 3.1.1 est une description utile de leur relation générale, mais il faut noter que cette relation peut se briser si la sélection n'est pas gaussienne ou si les phénotypes moyens de la composante de la population sont loin de l'équilibre par rapport aux valeurs optimales. En outre, le modèle de Ford décrit l'héritabilité de la « valeur adaptative » (c.-à-d., le succès de reproduction pendant toute la vie), qui est modélisée à une valeur plus élevée que celle qui a généralement été démontrée pour les populations sauvages (p. ex., Gustafsson 1986; Merilä et Sheldon 1999, 2000; Teplitsky *et al.* 2009; MacFarlane *et al.* 2014). Cela dit, les faibles estimations de l'héritabilité de la valeur adaptative semblent davantage dues à une variance environnementale résiduelle élevée qu'à une variance génétique réduite. (Remarque : ce commentaire est également pertinent pour la section 4, paragraphe 3, p. 39.)

Page 28 (sec. 3.1.2) : Il faut noter que l'abréviation de « relative reproductive success » est généralement « RRS », et non « RSS » (faute de frappe?).

Je cite ici mon collègue Craig Busack, du bureau régional de la côte ouest du NMFS, qui a déclaré ceci lors d'une discussion sur l'utilisation de la pHOS efficace :

La méthode repose en grande partie sur l'utilisation de la pHOS efficace plutôt que de la pHOS dénombrée. Alors que la pHOS est évidemment un substitut du flux génétique, et qu'il semble donc logique que tout ajustement de la pHOS permette de se rapprocher du flux génétique, il se peut que ce ne soit pas le cas. Le bureau régional de la côte ouest du NMFS a consulté Mike Ford à ce sujet, et il considère clairement que ce type d'ajustement peut être une réduction excessive de l'effet des écloseries. Par conséquent, à l'heure actuelle, le NMFS ne fait qu'une utilisation limitée de la pHOS efficace dans les consultations sur les écloseries. Le libellé suivant apparaît actuellement dans tous les avis biologiques du NMFS sur les programmes d'écloserie :

> « Le NMFS estime que l'ajustement de la pHOS dénombrée par le succès de reproduction relatif doit être fait très prudemment, et non pas aussi librement que l'indique le document du HSRG. La raison en est très simple : le modèle de Ford (2002), qui est à la base des lignes directrices du HSRG sur les flux génétiques, inclut

implicitement une composante génétique du succès de reproduction relatif. Dans ce modèle, on prévoit que les saumons d'écloserie ont un succès de reproduction relatif inférieur à 1 (par rapport aux saumons sauvages) en raison de la sélection en l'écloserie. Un élément de réduction du succès de reproduction relatif des saumons d'écloserie est donc déjà incorporé dans le modèle et, par extension, dans le calcul de l'INP. Par conséquent, la réduction des valeurs de la pHOS en les multipliant par le succès de reproduction relatif entraînera une sous-estimation de la valeur pertinente de la pHOS et donc une surestimation de l'INP. De tels ajustements seraient particulièrement inappropriés pour les programmes d'ensemencement associés à une faible valeur de la pNOB, car ces programmes peuvent très bien entraîner une réduction substantielle du succès de reproduction relatif en raison de facteurs génétiques déjà incorporés dans le modèle.

Dans certains cas, il peut cependant être approprié d'ajuster la pHOS à la baisse, notamment s'il existe des preuves solides d'une composante non génétique du succès de reproduction relatif. Un exemple de cas dans lequel un ajustement par le succès de reproduction relatif pourrait être justifié est celui du saumon chinook qui remonte la rivière Wenatchee au printemps (Williamson *et al.* 2010), où la répartition spatiale des géniteurs sauvages et d'écloserie diffère et où les saumons d'écloserie ont tendance à frayer dans des milieux plus pauvres. Toutefois, même dans une situation comme celle-ci, il n'est pas évident de déterminer l'ampleur de l'ajustement qui serait approprié. Selon la même logique, il pourrait également être approprié d'ajuster la pNOB dans certaines circonstances. Par exemple, si les juvéniles d'écloserie issus de stocks de géniteurs sauvages ont tendance à atteindre une maturité précoce et à devenir résiduels (en raison d'effets non génétiques de l'élevage), comme cela a été documenté dans certains programmes sur le saumon chinook qui remonte au printemps et de saumon arc-en-ciel, la valeur de la pNOB « efficace » pourrait être beaucoup plus faible que celle de la pNOM dénombrée. » [traduction]

Page 29 (sec. 3.1.3) : Je ne saisis pas très bien la façon dont la force de sélection est modélisée ici. Les valeurs données (ω = 10 ou 100) s'appliquent-elles à σ ou à $\sigma 2$ (comme indiqué dans la légende de la figure 3.2)? La largeur de la fonction de valeur adaptative, ω, est généralement donnée en unités de σ. Dans leurs analyses d'études empiriques, Hoekstra et ses collaborateurs (2001) et Kingsolver et ses collaborateurs (2001) ont conclu que les éléments probants provenant de populations naturelles de différents taxons montrent que la force de sélection stabilisante ou perturbatrice est généralement faible, avec une moyenne proche de 0, ce qui donne à penser que la sélection stabilisante n'est pas plus courante ou plus forte dans la nature que la sélection perturbatrice. Mais la définition de « faible » proposée par les auteurs semble différente de celle du paramètre en question. En supposant que $1 + \omega 2/E = 20$, où E est la variance environnementale (on présume qu'elle est de 0,5; Turelli 1984), alors ω est de 3,1. La largeur de la fonction de valeur adaptative ω est liée au gradient de sélection quadratique Υ par approximativement $\Upsilon = -1/\omega 2$ (Arnold *et al.* 2001), de sorte qu'une valeur de $\omega = 4$ correspond à une valeur de Υ d'environ 0,06, ce qui s'approche de la valeur médiane indiquée par Kingsolver et ses collaborateurs (2001).

Pour en venir au fait (car je réalise que ce qui précède est plus détaillé que ce qui est probablement justifié pour le rapport), une plage de ω de 1σ à 4σ devrait englober la plupart des scénarios de sélection, la sélection forte étant représentée par l'ordre de 1 à 2σ et la sélection plus faible par peut-être 4 à 5σ. On n'est peut-être pas trop loin de ce qui semble être modélisé ici (sélection forte : $10\sigma 2$ ou ~3σ; sélection faible : $100\sigma 2$ ou 10σ), mais il convient de préciser que c'est le cas dans le modèle du MPO. Le scénario de sélection forte pourrait être un peu plus faible que prévu. Quoi qu'il en soit, cette question mérite d'être examinée dans le cadre de la modélisation.

Page 30 (sec. 3.2) : Cette section est très utile pour décrire les options que les gestionnaires peuvent prendre en considération pour manipuler l'INP en vue de gérer le risque de la production d'écloserie sur les populations de saumons sauvages. Il s'agit également d'un examen concis des normes du HSRG en vigueur dans les eaux américaines de la côte nord-ouest du Pacifique, qui fournit un contexte pratique pour l'approche canadienne proposée.

En examinant les résultats indiqués dans le premier paragraphe, je pense qu'il est également important de considérer la durée du programme d'ensemencement en ce qui concerne la tolérance et la gestion des risques pour les populations sauvages. Toutes choses étant égales par ailleurs, il pourrait être bon de recommander une INP plus élevée si le programme d'ensemencement est à long terme. Il est généralement très difficile de mettre fin à un programme une fois qu'il a été lancé, à moins qu'il s'agisse de l'intention de départ, mais je pense que cette option devrait être considérée. Il est difficile de savoir si les saumons d'écloserie ensemencés ont eu une incidence (positive ou négative) sur la productivité naturelle pendant la durée d'un programme, à moins d'entreprendre un suivi annuel systématique associé à une généalogie soigneusement reconstituée.

« Lorsque plus de 60 à 70 % du stock de géniteurs sont des individus issus d'écloseries, l'augmentation du nombre de géniteurs issus de la fraie naturelle dans ce stock peut être une mesure particulièrement efficace visant à accroître l'INP. » [traduction] Cependant, selon la figure 3.3, l'augmentation attendue de l'INP sera plus ou moins proportionnelle à celle de la fraction de saumons issus de la fraie naturelle dans le stock de géniteurs si le succès de reproduction relatif est d'environ 0,8; si le succès de reproduction relatif est sensiblement inférieur à cette valeur, l'amélioration de l'INP devrait augmenter plus fortement. La figure 3.4 montre l'efficacité du retrait des saumons d'écloserie à titre de géniteurs naturels, ce qui, dans la plupart des circonstances (mais surtout lorsque la pHOS est élevée), devrait avoir une plus grande influence sur l'amélioration de l'INP que l'augmentation de la pNOB. Cependant, il faut disposer d'un moyen fiable de capturer et de trier les adultes avant la fraie.

Page 33 (sec. 3.3) : « Unités importantes sur le plan de l'évolution (UES) ».

Page 34 (« Approche proposée au Canada ») : Les cinq désignations proposées pour les populations de saumons en fonction du degré d'influence des écloseries et les lignes directrices connexes sur la gestion génétique me semblent tout à fait sensées, tout comme les valeurs prévues de la pHOS, de la pNOB et de l'INP, d'après les équations fournies. L'adoption d'une norme de pHOS de < 0,05 est une mesure prudente. Il est facile de montrer, à l'aide des équations de récursion de Ford (2002) (équations 5 et 6), qu'une valeur de 0,05 pour la pHOS ne permet pas nécessairement la même limitation des effets génétiques qu'une INP de 0,67.

En examinant les entrées et la note de bas de page du tableau 3.2 à la page 37, il convient de noter que les valeurs de h2 et de ω utilisées pour estimer l'INP lorsque la pNOB est égale à 0 sont centrales pour les résultats; mes commentaires sur la section 3.1.3 sont pertinents ici. Je suggère fortement d'élargir une analyse de sensibilité des résultats aux variations de ces variables et des autres variables d'entrée (succès de reproduction relatif, ϴH, ϴW et σ).

De plus, la disparité entre la pHOS dénombrée et la pHOS efficace est plus grande pour les valeurs intermédiaires de la pHOS dénombrée, et elle s'accroît pour les valeurs inférieures du succès de reproduction relatif, à moins que la pHOS dénombrée ait une valeur très basse ou très élevée. Par exemple, la pHOS dénombrée = 0,50 et la pHOS efficace = 0,44 lorsque le succès de reproduction relatif = 0,8, et la pHOS efficace = 0,33 lorsque le succès de reproduction relatif = 0,5.

Étant donné que la valeur inférieure du succès de reproduction relatif peut être tout aussi réaliste pour le saumon chinook d'après des études récentes, les valeurs de la pHOS efficace dans le tableau 3.2 doivent faire l'objet d'une réflexion plus approfondie si l'objectif est d'avoir

une approche plus prudente dans les situations où l'on sait que les saumons d'écloserie ont une valeur adaptative inférieure dans la nature.

Page 35 : « Il faut noter que la définition du terme "sauvage" dans la Politique concernant le saumon sauvage exige que les deux parents d'un poisson sauvage soient nés dans des milieux naturels. » [traduction] Cette définition appliquée dans le cadre de la PSS est plus stricte que celle généralement appliquée aux États-Unis, et il est difficile de surestimer son importance. Aux États-Unis, certains ont appliqué le terme « sauvage » aux poissons nés dans la nature, indépendamment de leur parenté. Mais d'autres peuvent confondre les deux termes. Je pense que la définition de la PSS représente une utilisation plus appropriée du terme « sauvage ».

Pages 38 à 54 (sec. 4) : La modélisation décrite dans cette section et dans l'annexe B représente le cœur du document de travail; elle est complète et réfléchie. Elle est également illustrative. Je fournis des commentaires plus détaillés ci-après, mais je pense que les auteurs devraient envisager, probablement pour un futur exercice, d'utiliser une approche de modélisation stochastique plutôt que déterministe, pour le modèle d'une analyse de la viabilité de la population. La raison principale de cette recommandation découle des niveaux élevés de variation ou d'incertitude associés à la mesure de la pHOS, de la sélection et de la valeur adaptative dans la nature. La sélection naturelle sur les phénotypes est notoirement variable dans le temps et dans l'espace, la valeur adaptative sur toute la vie est difficile à estimer sans des données généalogiques rigoureuses et systématiques, et même la valeur de la pHOS est difficile à déterminer sans un suivi attentif des géniteurs. Je suis également préoccupé par le fait de se fier aux résultats d'un modèle déterministe qui n'intègre pas la variation d'un ou de plusieurs paramètres, mais évalue les résultats après une période de projection prolongée (dans ce cas, 100 générations).

Compte tenu des objectifs de nombreux programmes canadiens pour les écloseries de saumons chinook, j'ai aimé les tentatives de mettre à l'échelle, aux fins d'analyse, les programmes d'ensemencement proposés selon la taille de la population de géniteurs naturels et la tentative de maximiser la pNOB, d'utiliser des marqueurs externes en vue de retirer les saumons d'écloserie avant la fraie au moyen de la capture ou d'une barrière, et de limiter le potentiel d'extraction des géniteurs naturels pour les stocks de géniteurs des écloseries. Comme le notent les auteurs, l'estimation de l'abondance des saumons sauvages, de façon directe ou par l'entremise du potentiel intrinsèque ou de la taille du bassin, est importante pour la mise à l'échelle de nouveaux programmes d'ensemencement et pour que l'on puisse se fier à l'INP, à titre d'indice du risque génétique posé par les saumons d'écloserie.

J'ai trouvé que les tracés de contour (figures 4.2 à 4.4) étaient extrêmement utiles et intuitifs pour résumer les sensibilités de l'INP, de la pNOB et de la pHOS efficace aux points de contrôle de gestion clés représentant la taille de l'écloserie, le taux de marquage et le retrait sélectif des saumons d'écloserie. Ces résultats démontrent de façon convaincante que le fait de réduire la taille des écloseries à une petite fraction de la production naturelle dans un bassin hydrographique connexe, surtout si cette méthode est combinée à un taux de marquage sélectif élevé, est l'outil le plus efficace à la disposition des gestionnaires en vue de réduire les répercussions génétiques à court terme sur les saumons sauvages grâce au contrôle de l'INP, de la pHOS et de la pHOS efficace.

De même, les figures 4.5 à 4.7 montrent clairement les résultats essentiellement intuitifs de la modélisation. Il pourrait être intéressant de décomposer les recrues en fonction des géniteurs de la rivière et de tracer un corollaire de la figure 5, où les recrues sont limitées aux géniteurs sauvages (stock d'origine naturelle). Mais il serait encore mieux, à mon avis, de retracer la figure 5 pour trois niveaux de succès de reproduction relatif : p. ex., 0,4, 0,6 et 0,8. Compte tenu de la variabilité du succès de reproduction relatif pour le saumon chinook, cela semble être une question qui mérite d'être étudiée, à moins que quelque chose m'ait échappé.

Pages 48 et 49 (sec. 4.4) : Je préférerais une approche stochastique pour la simulation de ces variables pour les raisons susmentionnées, surtout pour une période d'évaluation aussi longue, mais les analyses de sensibilité effectuées dans le rapport sont utiles pour l'évaluation de l'incidence relative des paramètres les plus importants du modèle sur le risque génétique. Les résultats sont résumés succinctement dans le texte associé. Les figures 4.8 à 4.11 montrent, pour les mesures de contrôle de gestion décrites sur les figures 4.2 à 4.7 (taille de l'écloserie, proportion de saumons marqués et retrait sélectif des individus marqués), la sensibilité relativement faible de l'INP à l'augmentation de l'héritabilité du caractère visé par la sélection (h2 = 0,5 par rapport à 0,25), la réduction de la force de sélection sur ce caractère (ω2 = 100 par rapport à 1 000), la réduction du succès de reproduction relatif des saumons d'écloserie frayant de façon naturelle (succès de reproduction relatif = 0,5 par rapport à 0,8) et la baisse de la survie en mer des saumons d'écloserie (0,001, 0,0024 et 0,005) et sauvages (0,01, 0,02 et 0,05).

Je m'interroge sur certains des graphiques de la figure 4.11. Par exemple, je ne m'attendais pas à voir des contours dans les graphiques a), d), g) et j), et une explication supplémentaire pourrait être utile. Cette progression semble démontrer la forte dépendance de l'INP à la survie naturelle en mer ou, plus précisément, le différentiel entre la survie en mer des saumons d'écloserie et sauvages.

J'ai remarqué, à partir des valeurs du tableau B-1 de l'annexe, que la variance phénotypique, les valeurs optimales des caractères dans les deux environnements et la force de sélection modélisée indiquent que 6 ET séparent les valeurs optimales de la population, soit environ 60 % de la largeur de la fonction de valeur adaptative pour une sélection forte. Dans le cas d'une sélection faible, les valeurs optimales sont inférieures à 20 % de la largeur de la fonction de valeur adaptative. Je pense que la plage de valeurs simulée dans cette section est raisonnable, sauf peut-être que : 1) les deux forces de sélection modélisées pourraient être considérées comme étant « faibles » et il pourrait être intéressant de simuler une situation où le coefficient de sélection est plus fort, soit de l'ordre de 0,5 à 1,0 (je sais que les valeurs modélisées dans ce document proviennent de celles de Ford (2002); 2) la plage de l'héritabilité pour la « valeur adaptative » est trop élevée et serait probablement plus réaliste entre 0,05 et 0,25 (d'autres phénotypes à caractère unique, tels que la taille et la phénologie, auront probablement des héritabilités dans la plage modélisée ici, soit de 0,25 à 0,50). Un autre point à noter, propre au modèle de Ford (2002), est que la sélection est toujours considérée comme stabilisante dans ces scénarios. Cependant, la plupart des travaux que je connais sur les populations de saumons sauvages dont la sélection a été estimée ont démontré que la sélection est souvent directionnelle, parfois plus souvent que stabilisante. Cela reflète probablement des valeurs optimales mobiles plutôt que stationnaires, notamment dans la nature. La sélection par domestication, au moins dans ses phases initiales, peut avoir un caractère directionnel prédominant, et la sélection stabilisante autour d'une valeur optimale fluctuant dans le temps peut évoquer une bonne dose de sélection directionnelle sur une courte période, soit peut-être une génération ou deux. Voilà un domaine de recherche future très riche!

Page 54 : « Ce modèle décrit les répercussions de l'équilibre à long terme sur la valeur adaptative du système d'écloseries intégrées (Ford 2002). Ainsi, il peut fournir des directives stratégiques relativement au choix des mesures de gestion visant à réduire les répercussions génétiques sur les populations frayant naturellement, mais pas de conseils à court terme ou tactiques qui nécessitent des renseignements sur les tendances au fil du temps ou la variabilité intergénérationnelle de la valeur adaptative de la population, des répercussions génétiques ou de l'INP. » [traduction] Il s'agit d'une qualification importante des résultats de la modélisation et je suis heureux que les auteurs l'aient incluse ici.

Pages 58 et 59 (sec. 5.3) : Cette partie du rapport décrit le concept de programme de conservation en quatre étapes du HSRG. Si ce concept semble logique et séduisant, le

document fournit très peu de renseignements justificatifs tirés de la littérature et ne donne aucune directive réelle visant à déterminer quand une population est passée d'une phase à une autre. En outre, il y a un débat considérable au sein du NMFS pour savoir s'il est approprié de retarder l'ajustement de la pHOS et de l'INP jusqu'à la phase de l'adaptation locale.

Pages 60 et 61 (sec. 6) : Je suis d'accord avec ces principes et ces objectifs. Le premier objectif, qui consiste à élaborer des objectifs clairs pour la gestion des populations naturelles influencées par la production des écloseries intégrées, est souvent si évident qu'il peut être négligé dans une évaluation complète et appropriée d'un programme d'ensemencement, comme un plan de gestion génétique des écloseries dans le cadre du HSRG. Le dernier objectif, lié au suivi et à l'évaluation, ne reçoit souvent guère plus qu'un soutien tacite (c.-à-d., il doit être réalisé si les ressources existantes le permettent).

En ce qui concerne les recommandations du rapport, il s'agit généralement d'un ensemble de suggestions solides, conformes aux résultats du modèle et aux conclusions des auteurs. Pour ce qui est de la recommandation 4, il serait utile de fournir quelques directives de base sur la manière d'évaluer les compromis entre le risque génétique de la propagation dans les écloseries intégrées et l'augmentation de l'abondance naturelle requise pour soutenir la pêche. Quelles sont la « devise » ou les autres considérations à utiliser pour évaluer ces compromis? Il ne s'agit pas d'une question strictement technique, mais d'une question politique. Dans ce cas, on pourrait peut-être utiliser une sorte de cadre décisionnel théorique, comme un réseau de Bayes ou une logique floue, pour incorporer l'opinion d'experts ou d'autres paramètres afin d'effectuer une analyse. Il conviendrait au moins d'indiquer les considérations permettant d'illustrer efficacement les conséquences de ces compromis. Une situation similaire est associée à la recommandation 9.

Pages 70 à 73 (sec. 9, annexe B) : Je n'ai pas trouvé d'erreurs dans les équations 1 à 16.

Références

Alaska Department of Fish & Game (ADF&G). 1985. Alaska Department of Fish & Game Genetic Policy. Genetic Policy Review Team, Alaska Department of Fish & Game. Fisheries Rehabilitation, Enhancement and Development Division Special Report, Juneau, AK, June 1985, 25 p.

Arnold, S. J., Pfrender, M.E., and Jones, A.G. 2001. The adaptive landscape as a conceptual bridge between micro-and macroevolution. Genetica 112:9-32.

Fisher, R. A. 1918. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 52:399-433.

Fisher, R. A. 1958. The Genetical Theory of Natural Selection. Dover, New York, 291 p.

Ford, M. J., Murdoch, A.R., Hughes, M.P., Seamons, T.R., and LaHood, E. 2016. Broodstock history strongly influences natural spawning success in hatchery steelhead (*Oncorhynchus mykiss).* PLoS ONE (doi.org/10.1371/journal.pone.0164801).

Gustafsson, L. 1986. Lifetime reproductive success and heritability: empirical support for Fisher's fundamental theorem. American Naturalist 128:761-764.

Hoekstra H. E., Hoekstra, J.M., Berrigan, D., Vignieri, S.N., Hoang, A., Hill, C.E., Beerli, P., and Kingsolver, J.G. 2001. Strength and tempo of directional selection in the wild. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 98:9157-9160.

Kingsolver, J. G., Hoekstra, H.E., Hoekstra, J.M., Berrigan, D., Vignieri, S.N., Hill, C.E., Hoang, A., Gibert, P., and Beerli, P. 2001. The strength of phenotypic selection in natural populations. American Naturalist 157:245-261.

Lande, R. 1976. Natural selection and random genetic drift in phenotypic evolution. Evolution 30:314- 334.

MacFarlane, S. E., Gorrell, J.C., Coltman, D.W., Humphries, M.M., Boutin, S., and McAdam, A.G. 2014. Very low levels of direct additive genetic variance in fitness and fitness components in a red squirrel population. Ecology and Evolution 4:1729-1738.

Merilä, J., and Sheldon, B.C. 1999. Genetic architecture of fitness and non-fitness traits: empirical patterns and development of ideas. Heredity 83:103–109.

Merilä, J., and Sheldon, B.C. 2000. Lifetime reproductive success and heritability in nature. American Naturalist 155:301–310.

Teplitsky, C., Mills, J.A., Yarrall, J.W., and Merila, J. 2009. Heritability of fitness components in a wild bird population. Evolution 63:716-726.

Turelli, M. 1984. Heritable genetic variation via mutation-selection balance: Lerch's zeta meets the abdominal bristle. Theoretical Population Biology 25:138-203.

ANNEXE F : RÉVISION ÉCRITE DE PATRICK O'REILLY

Date : Le 15 août 2017

Réviseur : Patrick O'Reilly

Document de travail du SCAS : 2013SEP02

Titre du document de travail : Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations

Commentaires généraux :

L'approche globale proposée dans le document de Withler *et al.* 2017 pour l'établissement de points de référence fondés sur l'INP visant à catégoriser les populations de saumons chinooks semble à la fois appropriée sur le plan biologique (d'après les meilleures données scientifiques disponibles compte tenu des objectifs énoncés) et adaptée à un contexte « canadien » ou de la « région du Pacifique »; les unités de conservation et le saumon sauvage sont définis selon la description donnée dans la PSS. Il est logique de fonder la catégorisation (et la gestion) des populations de saumons chinooks sur l'INP pour les raisons suivantes : **a)** la mise en valeur des stocks sur la côte ouest du Canada (par opposition à la situation typique sur la côte est) est une composante importante du régime de gestion général de ces populations (et a probablement un effet important sur la valeur adaptative et la persistance des populations sauvages); **b)** l'INP tient compte, simultanément : i) des répercussions des géniteurs d'écloserie dans l'environnement des écloseries; ii) des répercussions des géniteurs d'écloserie dans la nature; iii) du flux génétique dans les deux sens (le cas échéant), le tout dans un cadre (référence) évolutif (adaptatif). En plus de sembler très utile et scientifiquement crédible pour ce réviseur, l'INP (initialement élaborée par le HSRG des États-Unis) semble avoir été largement examinée et est utilisée pour gérer les populations de saumons du Pacifique aux États-Unis. L'approche modifiée présentée ici intègre également la définition du saumon sauvage de la PSS; le saumon sauvage tel qu'il est utilisé ici comprend à la fois le saumon sauvage et le saumon de transition, comme définis dans la PSS, et le saumon mis en valeur semble être équivalent au saumon d'écloserie utilisé ici. Les méthodes et les formules correspondantes appliquées en vue d'estimer des paramètres importants tels que la pHOS efficace, la pNOB, l'INP et la proportion de la progéniture produite par différents types de croisements (NN, NH et HH) sont bien expliquées (et toutes sont logiques); elles sont à la base des lignes directrices proposées pour la catégorisation des populations de saumons chinooks, qui sont également bien expliquées.

De nombreux paramètres inclus dans le modèle sont difficiles à estimer, notamment l'héritabilité des caractères <u>dans un environnement donné</u> (les estimations de l'héritabilité varient probablement d'un environnement à l'autre) et les coefficients de sélection. Les renseignements sur d'autres variables telles que la survie et le succès de reproduction relatif ne seront sans doute pas disponibles pour chaque rivière. Toutefois, des analyses de sensibilité ont été effectuées (section 4.4) pour les quatre catégories; les variations attendues pour trois d'entre elles ne devraient avoir qu'une incidence minime sur les conclusions, seule la force de sélection étant possiblement préoccupante. Les auteurs indiquent que si la sélection est faible au lieu d'être forte, les répercussions seront grandement réduites, ce qui se traduit par un programme d'ensemencement autorisé plus important. En d'autres termes, les résultats fournis sont, en un sens, prudents ou relatifs à l'approche de précaution.

Les résultats d'études supplémentaires sur le succès de reproduction relatif des saumons d'écloserie par rapport aux saumons sauvages, ainsi que les estimations de l'héritabilité et de la sélection, seraient utiles à un moment donné, compte tenu notamment des effets possibles portant à confusion et de l'hérédité épigénétique, qui pourraient être mieux compris et quantifiés à l'avenir.

Les auteurs mentionnent les effets épigénétiques possibles de l'environnement de l'écloserie sur la survie des descendants dans la nature, y compris : a) le degré d'intérêt pour ce sujet en ce qui concerne la gestion ou la conservation du saumon; b) la raison de cette importance possible dans le contexte actuel (p. ex., cela pourrait être à l'origine, *en partie,* de la perte très rapide de valeur adaptative liée aux écloseries souvent signalée pour les salmonidés). Cependant, il pourrait être utile de discuter des implications possibles des effets transgénérationnels épigénétiques de l'environnement de l'écloserie sur les résultats présentés ici.

Les chercheurs commencent maintenant à réfléchir aux conséquences possibles des effets transgénérationnels épigénétiques ou non génétiques sur d'autres études de l'évolution contemporaine, y compris les taux d'évolution contemporains rapportés. Par exemple, Salinas et Munch (2012), dans leur étude des effets des régimes de température des parents sur les taux de croissance des descendants, mentionnent ce qui suit :

« La variation de la croissance sur une seule génération (30 %) dépasse d'un ordre de grandeur le taux d'évolution adaptative sur une seule génération. S'ils sont généralisés, les effets transgénérationnels sur la performance thermique peuvent avoir des conséquences importantes sur la physiologie, l'écologie et l'évolution contemporaine [...] ». [traduction]

Salinas, S. et S.B. Munch. 2012. Thermal legacies: transgenerational effects of temperature on growth in a vertebrate. Ecology Letters, 15: 159-163.

Bien que, de toute évidence, il n'existe pas suffisamment de renseignements (presque aucun) pour intégrer des effets transgénérationnels non génétiques dans le travail de modélisation effectué ici, les auteurs pourraient envisager de spéculer sur les types de répercussions (sens?) d'une découverte ultérieure indiquant qu'une partie (1/2?) du changement intergénérationnel (G0 à G1 ou G1 à G2) de la valeur adaptative présenté dans la documentation est due à des facteurs transgénérationnels non génétiques. Plus précisément, comment les éventuelles (?) découvertes d'effets transgénérationnels non génétiques contribuant à la perte de valeur adaptative intergénérationnelle liée aux écloseries rapportées par d'autres pourraient-elles influencer : 1) les estimations de l'héritabilité génétique du caractère de la « valeur adaptative » utilisé ici; 2) les estimations des taux de changement évolutif adaptatif; 3) les estimations de l'INP; 4) les points de référence proposés?

Les éventuels effets négatifs des activités de mise en valeur des stocks sur les populations sauvages ou ensemencées sont souvent formulés dans le contexte des « répercussions sur la diversité génétique sauvage ». Il semble s'agir d'une approche « fourre-tout » destinée à inclure la perte éventuelle d'UC, la perte éventuelle de populations locales et de diversité dans les populations, la perte d'adaptation locale, la perte de lignées sauvages (diversité dans les populations) et éventuellement la perte de variation génétique dans les populations (nombre d'allèles, hétérozygotie observée, etc.). Bien que cela soit, d'une certaine manière, très logique, cela réduit également l'attention portée aux effets de la mise en valeur des stocks liés à la valeur adaptative sur la population sauvage, ainsi qu'aux effets probablement importants de l'adaptation à la captivité et de la diminution de la sélection sur la survie des descendants dans la nature. Même si les effets sur la valeur adaptative sont abordés (et, en fait, constituent une grande partie des fondements de la gestion de l'INP), ils sont souvent imbriqués dans les discussions sur l'influence des écloseries et l'INP, et ne sont pas mis en évidence. En outre, étant donné les effets précis publiés de la mise en valeur des stocks sur la variance de la taille des familles, l'abondance réelle de la population et les taux prévus de perte de variation génétique (p. ex., Ryman-Laikre 1991), le lecteur (du moins au début) peut penser que les auteurs parlent d'effets directs sur l'abondance réelle de la population et la variation génétique au sein de la population.

Réponses précises aux objectifs 1 à 5 du cadre de référence

1. Examiner la compréhension scientifique actuelle des risques génétiques, possibles et observés pour les populations sauvages, qui sont liés à la propagation en écloserie.

2. Dans plusieurs sections du document de travail, mais surtout dans la section 2, la plupart des risques possibles de l'apport en poissons des écloseries que je connais ont été abordés (dans une certaine mesure), y compris l'adaptation à la captivité, la diminution de la sélection dans la nature, les changements phénotypiques induits par l'environnement, les effets épigénétiques induits par l'environnement, l'échantillonnage initial des variantes génétiques et les changements involontaires dans les distributions de fréquences des allèles en raison des effets de la petite taille de l'échantillon, la représentation des phénotypes et la sélection involontaire, l'augmentation de la variance dans la taille des familles et les taux plus élevés de perte de variation génétique et d'accumulation de la consanguinité, etc. Une grande partie de la discussion portait sur les effets médiés par la sélection, ce qui est logique compte tenu des objectifs précis 2 à 5 ci-dessous et de l'objectif général du programme, qui est de réduire les répercussions associées à la domestication issue des activités des écloseries (fraie artificielle et élevage en captivité) sur la valeur adaptative dans la nature.

3. Décrire les catégories d'état biologique pour les populations de saumons chinooks mises en valeur, mesurées comme la proportion de saumons sauvages selon la définition donnée dans la PSS. Décrire la façon d'évaluer l'influence des écloseries sur les populations de saumons chinooks en utilisant le paramètre de l'INP, y compris sa justification et son applicabilité au contexte canadien.

4. Les auteurs ont fait de l'excellent travail pour définir et décrire les désignations ou les catégories proposées de populations de saumons chinooks mises en valeur, en fonction de la proportion de saumons sauvages (ou, à l'inverse, de saumons d'écloserie réussissant à se reproduire) frayant dans l'environnement fluvial; le terme « sauvage » est défini comme dans la PSS (voir le tableau 3.2 et le texte connexe dans le rapport). Les auteurs discutent également de l'importance de l'influence des écloseries en utilisant l'INP, qui prend en compte à la fois la proportion de saumons naturels dans le groupe de géniteurs qui ont frayé dans l'écloserie et la proportion de saumons d'écloserie qui réussissent à se reproduire dans l'environnement de la rivière (ainsi que le flux génétique entre les deux composantes de la population). On a adapté l'INP au contexte canadien en utilisant la définition du saumon sauvage donnée dans la PSS et en incorporant cette définition dans les calculs de l'INP. Les désignations actuelles des populations, notamment « sauvage », « sauvage-influencée par les saumons errants », « intégrée-sauvage », « intégrée-transition » et « intégrée-écloserie », ont un sens intuitif. Les valeurs associées de la pHOS efficace, de la pNOB et de l'INP, et les contributions des saumons naturels (NN), hybrides (NH) et d'écloserie (HH) (d'après la PSS) sont toutes cohérentes au niveau interne, et logiques dans le contexte et compte tenu de la littérature disponible.

5. Fournir un avis sur les points de référence quantitatifs concernant l'INP ou d'autres paramètres adéquats pour les catégories d'état biologique, de même que des mesures de gestion permettant d'obtenir ces points de référence.

6. Les points de référence associés aux différentes désignations des populations de saumons chinooks fondées sur l'INP sont indiqués dans le tableau 3.2 (et dans le texte connexe). Les paramètres associés sont la pHOS dénombrée, la pHOS efficace, la pNOB (le cas échéant), l'INP et la proportion de descendants issus de parents NxN, de parents NxH et de parents HxH, où H représente une origine en écloserie et N, une origine naturelle. On y trouve également le fondement biologique de chacun des paramètres ci-dessus, ainsi que la justification des associations entre les paramètres (p. ex. pHOS efficace et NN selon la

PSS). En outre, les valeurs des points de référence elles-mêmes (p. ex., pHOS efficace < 0,02) sont logiquement intuitives et, dans la mesure du possible, fondées sur des résultats publiés. Enfin, les désignations elles-mêmes semblent appropriées compte tenu des valeurs et des commentaires connexes (p. ex., pHOS efficace sauvage-influencée par les saumons errants > 0,03, pNOB = s.o.; intégrée-sauvage ≤ 0,28 et pNOB = 0,72).

7. Résumer les renseignements et les analyses nécessaires à la mise en œuvre des lignes directrices sur la gestion des risques génétiques fondées sur l'INP.

8. On a fourni les renseignements nécessaires à la mise en œuvre des lignes directrices fondées sur l'INP, tel que décrits dans le document de Withler *et al.* 2017, pour les programmes existants et nouveaux (voir la section 5.2 et ailleurs). Les auteurs présentent des exemples de renseignements importants nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion axée sur l'INP pour les nouveaux projets (fournis dans le rapport), comme l'abondance moyenne de la population reproductrice d'origine naturelle, la production d'écloserie, les taux de survie des saumons d'écloserie en captivité, les taux de montaison prévus des saumons d'écloserie et, pour les programmes existants, les estimations de la pHOS et de la pNOB. On formule également des recommandations sur la manière d'obtenir des estimations des éléments ci-dessus, sur certains des problèmes susceptibles d'être rencontrés et sur la manière de les atténuer. Ailleurs dans le rapport (y compris dans les analyses de sensibilité), les auteurs discutent également des données supplémentaires qui peuvent être collectées ou obtenues dans d'autres sources (p. ex., le succès de reproduction relatif du saumon d'écloserie par rapport au saumon sauvage) en vue d'améliorer davantage la gestion axée sur l'INP.

9. Résumer l'avis et les directives en vue de l'élaboration de nouvelles lignes directrices sur la mise en valeur.

10. L'avis et les directives en vue de l'élaboration de nouvelles lignes directrices sur la mise en valeur ont été fournis dans la section 5.2. Tout d'abord, les auteurs passent en revue les idées pertinentes du HSRG, y compris les exigences en matière d'évaluation de l'état des populations, de l'habitat et des objectifs de pêche, l'importance d'une approche écosystémique, le respect des principes de précaution et les effets synergiques possibles de l'apport de poissons d'écloserie, de la qualité ou la quantité d'habitats et des pressions de pêche sur les populations sauvages. Tout cela semble important pour l'avenir. Les auteurs proposent ensuite des directives qui reflètent les conditions ou les politiques actuelles du Canada (en fait, de la région du Pacifique). Par exemple, il est recommandé de faciliter la mise en œuvre des lignes directrices en assignant d'abord les populations d'une UC à l'une des cinq catégories biologiques du tableau 3.2 (sauvage, intégrée-écloserie, etc.) et de considérer le risque global du régime de gestion (catégorie) dans le contexte de l'état de l'UC elle-même, y compris le nombre de populations. Cela est logique, surtout si l'on tient compte de la définition de l'UC dans la PSS. On fournit des directives plus précises, y compris les renseignements requis, afin d'élaborer des lignes directrices pour les programmes existants et nouveaux, y compris la nécessité de marquer une certaine partie (selon les circonstances locales) des saumons d'écloserie afin de faire la distinction entre les saumons d'écloserie et les saumons d'origine naturelle lors de la capture de géniteurs et dans les frayères. Les auteurs donnent également des conseils plus généraux, suggérant notamment qu'il n'est pas nécessaire de procéder à des ajustements annuels, mais que l'INP doit être surveillée et ajustée de temps en temps.