



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/014

Région du Pacifique

Examen des introductions récentes et proposées d'alevins de saumon rouge de l'Okanagan (*Oncorhynchus nerka*) dans les lacs Skaha et Okanagan : historique, incertitudes et répercussions

Kim Hyatt, Ruth Withler et Kyle Garver

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

Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Hyatt, K., Withler, R., Garver, K. 2019. Examen des introductions récentes et proposées d'alevins de saumon rouge de l'Okanagan (*Oncorhynchus nerka*) dans les lacs Skaha et Okanagan : historique, incertitudes et répercussions. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/014. vi + 43 p.

Also available in English :

Hyatt, K., Withler, R., Garver, K. 2019. Review of recent and proposed Okanagan Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) fry introductions to Skaha and Okanagan lakes: history, uncertainties, and implications. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/014. vi + 38 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	vi
1. INTRODUCTION	1
2. CONTEXTE	1
ÉVALUATION DES DONNÉES DÉMONSTRANT QUE LE SAUMON ROUGE FAIT PARTIE DE LONGUE DATE DE L'ÉCOSYSTÈME DU LAC OKANAGAN	3
3. ANALYSE ET RÉPONSE.....	4
INCIDENCES POTENTIELLES SUR LA STRUCTURE ET LA FONCTION DES RÉSEAUX TROPHIQUES EXISTANTS OU RÉSULTATS DE PRODUCTION DÉTECTABLES POUR LE BIOTE AQUATIQUE VULNÉRABLE.....	4
Observations de l'abondance, de la croissance et de la survie du saumon rouge dans le lac Osoyoos.....	5
Abondance, croissance et survie du saumon rouge et du saumon kokani dans le lac Skaha	6
Observations de l'abondance, de la croissance et de la survie du saumon kokani dans le lac Okanagan.....	9
Possibilité d'interactions dans le lac entre le saumon kokani du lac Okanagan et le saumon rouge introduit pour une plage d'abondance.....	11
Incertitudes soulevées par les études sur les réseaux trophiques, le saumon rouge et le saumon kokani dans d'autres lacs.....	14
Résumé des preuves essentielles pour anticiper les répercussions de l'introduction d'alevins de saumon rouge d'élevage sur les réseaux trophiques pélagiques et le saumon kokani du lac Okanagan.....	17
Résumé des autres incertitudes concernant les réseaux trophiques pélagiques et le saumon kokani dans le lac Okanagan.....	20
RÉPERCUSSIONS POSSIBLES CAUSÉES PAR UNE INTROGRESSION GÉNÉTIQUE ET UNE RÉSIDUALISATION	21
Formation et résistance des écotypes	21
Renseignements de base sur le saumon kokani du lac Okanagan.....	22
Répercussions génétiques de l'introduction de saumons rouges juvéniles de la rivière Okanagan	24
POSSIBILITÉS DE TRANSFERT D'AGENTS PATHOGÈNES OU D'ÉLARGISSEMENT DE L'AIRE DE RÉPARTITION	26
4. SOURCES D'INCERTITUDE	28
5. CONCLUSIONS.....	29
6. TABLEAUX.....	32
7. FIGURES.....	36
6. RÉFÉRENCES CITÉES.....	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Comparaison des valeurs moyennes des « paramètres de production » possibles pour les lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan.....	32
Tableau 2. Contributions des saumons rouges et kokanis d'âge 0 aux communautés de poissons pélagiques des lacs en question a) en nombre ou b) en poids.	33
Tableau 3. Contributions possibles des alevins de saumon rouge provenant d'écloseries en nombre et en tant que proportion de la biomasse moyenne de tous les poissons pélagiques dans le lac Okanagan dans une plage de niveaux d'ensemencement d'alevins d'écloserie.	34
Tableau 4. Contributions du saumon rouge provenant d'écloseries en nombre et en tant que proportion de tous les saumons rouges et kokanis d'âge 0 dans le lac Skaha par lac-année....	35
Tableau 5. Résumé de liens entre les variations annuelles de l'abondance du saumon kokani d'âge 0 et son abondance observée aux âges suivants dans le lac Okanagan ou comme nombre total d'adultes dans les frayères estuariennes. Les valeurs de l'abondance du saumon kokani d'âge 0 à 3 sont exprimées en millions, tandis que celles des adultes reproducteurs sont exprimées en milliers.	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de la rivière Okanagan. Source de la carte : Hyatt et al. 2003. 2

*Remarque : L'abondance de 2011 des Mysis a été exclue du résumé concernant le lac Osoyoos en raison de la diapositive de Testalinden de 2010 qui a causé un échec du recrutement en 2011. L'abondance totale des Mysis en 2011 n'a atteint que 27 animaux/m² (Hyatt et al. 2018).32

Figure 2. Relations entre la taille en automne (g poids humide) des alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan et a) l'abondance totale des alevins de saumon kokani (nombre par ha) ou b) la biomasse de tous les saumons kokanis de plus de 0 an. Les données comprennent la production d'alevins d'automne provenant des années d'éclosion de 1988 à 2013 inclusivement (données du ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique fournies avec l'aimable autorisation de Tara White et Tyler Weir). Les points circulaires indiquent les valeurs prévues d'ici l'automne 2017, d'après les prévisions de l'abondance des alevins d'automne dans le tableau a, tirées des données à la figure 3 et de la biomasse d'automne dans le tableau b, tirées de l'abondance moyenne de 2001 à 2010 des saumons kokanis d'âge 1 à 3 par rapport à leur biomasse (données non présentées).....36

Figure 3. Nombre total d'alevins de saumon kokani présents dans le lac Okanagan à l'automne de l'année n+1 comme une fonction du nombre total d'adultes reproducteurs à l'automne de l'année n. Le point de données circulaire représente le nombre d'alevins de saumon kokani prévus à l'automne 2017 d'après un total de 127 849 saumons kokanis adultes observés frayant dans les cours d'eau et sur les plages du lac Okanagan à l'automne 2016. Les données comprennent la production d'alevins d'automne provenant des années d'éclosion de 1988 à 2013 inclusivement (données du ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique fournies avec l'aimable autorisation de Tara White et Tyler Weir).37

RÉSUMÉ

Le bassin du fleuve Columbia abrite un agrégat de saumons rouges (*Oncorhynchus nerka*) composé de trois populations de saumons rouges. Le saumon rouge anadrome et le saumon kokani, qui réside en eau douce, sont deux écotypes de l'espèce *Oncorhynchus nerka* qui sont souvent présents en tant que populations sympatriques qui partagent un lac d'alevinage (habitat de croissance des juvéniles). Actuellement, le lac Okanagan n'est pas accessible au saumon rouge. Il renferme toutefois des saumons kokanis qui fraient sur les rives et en cours d'eau qui présentent peu de différences morphologiques et génétiques. Ces derniers peuvent constituer des écotypes initiaux. Ces travaux ont été entrepris pour déterminer les risques potentiels, les répercussions et les incertitudes liés à des introductions d'importances variables d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan – par une perturbation de la bioénergie ou du réseau trophique, un transfert d'agents pathogènes ou des impacts génétiques.

En se basant sur les résultats d'une expérience menée dans un lac situé à proximité (lac Skaha) et sur les données des lacs avoisinants (en tenant compte des différences sur le plan de la taille du lac, de sa profondeur et de sa productivité, et en adaptant les résultats en fonction de la proportion de la biomasse totale de poissons pélagiques représentée par le *O. nerka*, on a étudié l'impact qu'auraient des introductions d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan. Les introductions d'alevins de saumon rouge, dans l'ensemble de la plage d'abondance actuellement proposée pour le lac Okanagan, sont considérées comme étant peu susceptibles de provoquer des changements perceptibles dans les réseaux trophiques pélagiques (phytoplancton et zooplancton) ou le biote aquatique vulnérable (poisson pélagique de tous les âges et toutes les catégories de taille) dans le lac.

Le transfert de bactéries, de parasites et d'agents pathogènes viraux a été étudié dans le cadre de l'évaluation des répercussions. Comme ils peuvent se transmettre de la mère à sa progéniture, certains virus comme le virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI) et le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI) ont été notés comme étant préoccupants. Néanmoins, à la lumière des résultats de l'introduction dans le lac Skaha et compte tenu des procédures de confinement et de désinfection des œufs employées par le demandeur, le risque de transfert de ces agents pathogènes est faible. En effet, aucun VNPI, VNHI ou autre agent de réplication en culture cellulaire n'a été détecté depuis le lancement du programme d'écloserie, en 2003.

Des écotypes distincts sur le plan génétique peuvent se développer au sein d'une espèce lorsqu'il y a plus d'une niche sélective à occuper dans l'environnement et qu'il existe, au sein d'une même espèce, une diversité génétique suffisante pour contrebalancer les forces sélectives divergentes au moyen d'un processus d'adaptation du développement des écotypes (Wellborn et Langerhans 2015). Le processus de développement et de maintien des écotypes n'est pas toujours constant et irréversible, particulièrement dans un contexte de dégradation de l'environnement. On prévoit qu'une introduction unique de 750 000 alevins de saumon rouge de l'Okanagan dans le lac aurait peu de répercussions sur la génétique des populations de saumon kokani, y compris le développement des écotypes, leur résistance ou leur dégradation. En revanche, une introduction continue d'environ 0,75 à 3,5 millions d'alevins entraînerait sans doute une hybridation entre le saumon rouge résident et le saumon kokani dans le lac Okanagan, pour laquelle on ne peut prédire les effets

1. INTRODUCTION

Le bassin du fleuve Columbia abrite un agrégat de saumons rouges (*Oncorhynchus nerka*) composé de trois populations de saumons rouges, c'est-à-dire la population de l'Okanagan en Colombie-Britannique (C.-B.), au Canada, la population du lac Wenatchee, dans l'État de Washington, et la petite population du lac Redfish, en Idaho, laquelle est désignée en vertu de l'*Endangered Species Act* (ESA) des États-Unis. En moyenne, au cours de la dernière décennie, la population de l'Okanagan comptait pour plus de 80 % de tous les saumons rouges qui reviennent au bassin du Columbia. Dans le passé, le fleuve Columbia a fait l'objet d'importantes pêches commerciales aux États-Unis, de pêches tribales en vertu d'un traité ou en l'absence d'un traité, ainsi que de pêches de Premières Nations au Canada. La production de saumons rouges a diminué de façon importante de la moitié jusqu'à la fin du XX^e siècle, ce qui a donné lieu à l'ouverture sporadique de la pêche commerciale depuis 1972, ainsi qu'à une réduction importante de la pêche autochtone au cours des 35 années suivantes.

En 2004, l'Okanagan Nation Alliance (ONA) a entrepris d'introduire des alevins de saumon rouge d'élevage dans le lac Skaha, dans le cadre d'un projet en collaboration de 12 ans (projet de réintroduction dans le lac Skaha) afin d'éclairer les futures introductions du saumon rouge dans le lac Okanagan. L'ONA a plus d'une dizaine d'années d'expérience dans la propagation à partir d'écloseries et l'introduction d'alevins de saumon rouge d'élevage (de 2004 à aujourd'hui), par l'intermédiaire de son programme de réintroduction du saumon rouge du lac Skaha, y compris la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires et écologiques sur trois ans, préalable au lancement du programme (2000-2002). L'évaluation des risques de maladies portait sur la probabilité d'introduire de nouveaux agents pathogènes ou d'étendre l'aire de répartition des agents pathogènes connus, et désignait plus particulièrement cinq agents pathogènes préoccupants dans le cadre du programme de réintroduction. L'évaluation générale du risque écologique a permis d'étudier les répercussions potentielles de l'introduction d'alevins de saumon rouge sur les populations de poissons résidentes et les autres biotes aquatiques. Depuis le lancement du programme, des données d'observation servant à évaluer les maladies et d'autres répercussions écologiques ont été recueillies sur une base continue par l'ONA, et ont fait l'objet d'un examen annuel par les trois partenaires (ONA, Pêches et Océans Canada [MPO], ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique) du groupe de travail technique canadien du bassin de l'Okanagan (Alexander et Hyatt éd. 2015).

L'ONA a demandé l'autorisation de relâcher jusqu'à 750 000 alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan en 2017, et a indiqué que son écloserie a la capacité d'élever 7 millions d'alevins, l'introduction annuelle maximale étant estimée à 3,5 millions d'alevins. Pour fournir une recommandation quant à l'autorisation d'introduction, un Comité fédéral-provincial des introductions et des transferts (CIT) exige des avis scientifiques concernant les perturbations écosystémiques, le transfert d'agents pathogènes ou les interférences génétiques potentiels associés à l'introduction proposée.

2. CONTEXTE

Un ou plusieurs écotypes de saumon rouge qui passent leur cycle biologique complet en eau douce (c.-à-d. le saumon kokani) ou en eaux douce et marine (c.-à-d. le saumon rouge anadrome) représentent la plus abondante des espèces de poissons limnétiques qui effectuent leur croissance dans trois des plus grands lacs de la vallée de l'Okanagan (lacs Okanagan, Skaha et Osoyoos) (figure 1). Le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*), une espèce introduite, et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), une espèce indigène, occupent

également les eaux profondes de ces lacs, bien qu'en moins grand nombre. Bien qu'elles ne soient pas identiques, les communautés de poissons pélagiques et leurs réseaux trophiques de soutien qui caractérisent les eaux libres des lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan sont similaires (Northcote *et al.* 1972; Andrusak *et al.* 2002). Toutes les classes d'âge du saumon rouge, du saumon kokani et du grand corégone qui occupent ces lacs se nourrissent principalement de zooplancton. En revanche, les truites arc-en-ciel au stade de juvéniles se nourrissent de petits invertébrés aquatiques et de plancton, alors que les truites des classes d'âge supérieures sont piscivores et consomment des saumons rouges ou kokanis au large des côtes (Scott et Crossman 1973, Parkinson *et al.* 1989). Une espèce non indigène de crevettes d'eau douce (*Mysis diluviana*) est devenue le macro-invertébré dominant dans la zone limnétique des trois lacs depuis son introduction intentionnelle dans le lac Okanagan par des biologistes de Colombie-Britannique à la fin des années 1960 (Andrusak *et al.* 2002).

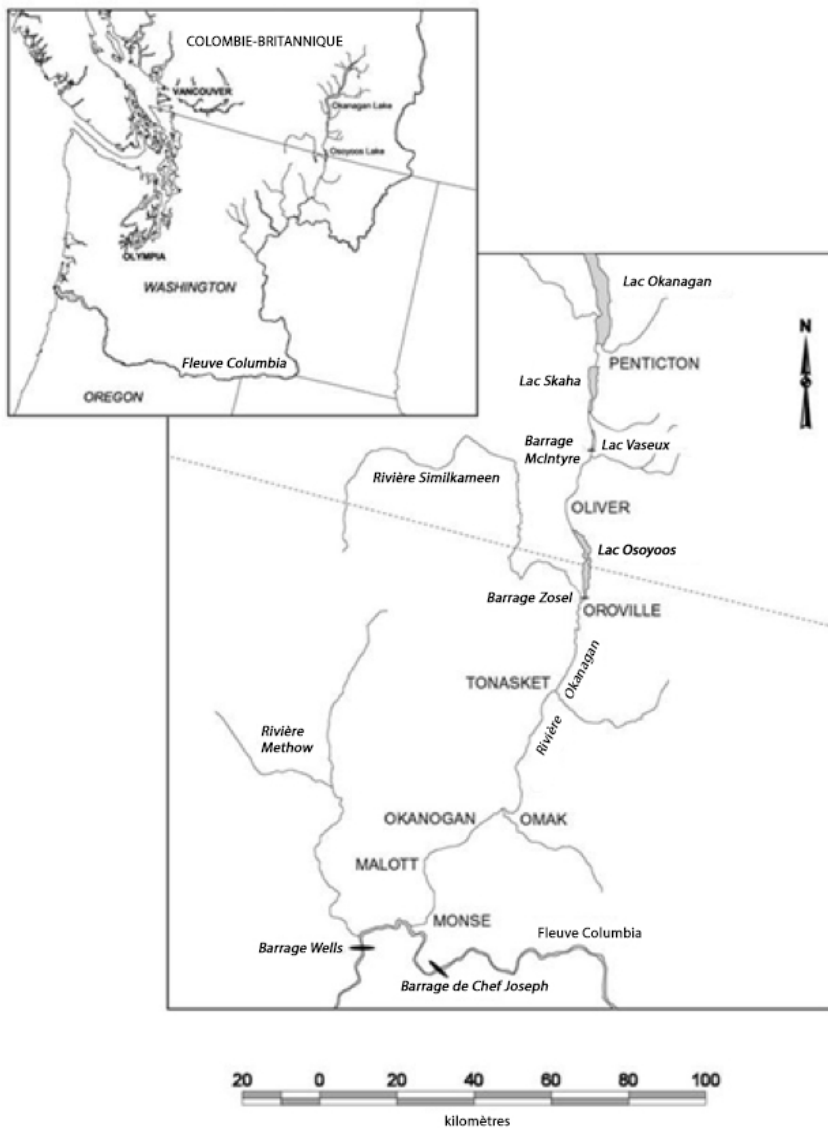


Figure 1. Carte de la rivière Okanagan. Source de la carte : Hyatt *et al.* 2003.

ÉVALUATION DES DONNÉES DÉMONTRANT QUE LE SAUMON ROUGE FAIT PARTIE DE LONGUE DATE DE L'ÉCOSYSTÈME DU LAC OKANAGAN

La population de saumons rouges de l'Okanagan est la dernière population de saumons anadromes autonome, parmi plus d'une dizaine de populations de saumons qui rejoignaient habituellement les eaux canadiennes chaque année en passant par le fleuve Columbia (Fryer 1995, Hyatt et Rankin 1999). Avant et jusqu'à la période de colonisation européenne dans la vallée de l'Okanagan, on sait qu'une pêche autochtone importante du saumon rouge, du saumon quinnat et du saumon kokani existait aux chutes Okanagan, immédiatement en aval du lac Skaha (Bouchard et Kennedy 1975). L'aire de répartition potentielle du saumon est une source d'incertitude. Certains récits historiques laissent entendre que les chutes Okanagan représentaient le terminal en amont de la répartition du saumon dans la vallée de l'Okanagan, tandis que les témoignages oraux de l'Okanagan Nation Alliance (ONA) semblent indiquer que le saumon anadrome, y compris le saumon rouge, était connu pour être présent en amont des chutes Okanagan dans les lacs Skaha et Okanagan, avant la construction de barrages et de systèmes d'irrigation qui a bloqué l'accès par le saumon, commençant à la fin des années 1980 jusqu'au début des années 1900.

Étant donné que l'on reconnaît qu'une population importante, d'origine naturelle, de saumons rouges qui fraient dans les lacs et les cours d'eau est présente dans le lac Okanagan depuis la période précédant l'arrivée de colons européens (Rae 2005) et que les populations naturelles de saumons kokanis se développent à partir de la colonisation de saumons rouges anadromes (références dans Burger 1991), il est évident que le saumon rouge colonisait le lac Okanagan, bien que la période historique durant laquelle la colonisation a eu lieu ne soit pas connue. Bien qu'il n'existe pas de preuve écrasante de la présence d'une principale population de saumons rouges occupant le lac Okanagan au cours des 100 à 150 dernières années (correspondant à peu près à la période de l'histoire de l'occupation européenne), comme cela a été mentionné plus haut, des témoignages oraux de l'ONA semblent indiquer que la présence du saumon anadrome, y compris du saumon rouge, était connue en amont des chutes Okanagan. Compte tenu de la taille et de la performance natatoire du saumon rouge de l'Okanagan, ainsi que des hauteurs de marche des chutes Okanagan, déduites à partir de l'examen de photographies historiques, il est probable que les chutes Okanagan n'auraient pas constitué un obstacle absolu pour la remontée du saumon rouge anadrome (Shepherd 1996). Étant donné que les chutes Okanagan représentent le seul obstacle hydraulique potentiel au libre passage du saumon entre le fleuve Columbia et le lac Okanagan, il est peu probable que le saumon anadrome ait été entièrement absent du système avant la construction de barrages infranchissables au début des années 1900 visant à appuyer les travaux d'irrigation qui coïncidaient avec la colonisation européenne dans la vallée de l'Okanagan (Rae 2005). Les photographies historiques avant la présence des barrages datant du début des années 1900 (p. ex. Wilson 2011) fournissent la preuve de l'existence d'une population de saumons kokanis pêchés par les Premières Nations dans le lac Okanagan, ainsi que de l'abondance de grandes truites arc-en-ciel qui pourraient avoir été dépendantes de l'abondance de grands saumons kokanis pour la recherche de nourriture (Parkinson *et al.* 1989).

3. ANALYSE ET RÉPONSE

INCIDENCES POTENTIELLES SUR LA STRUCTURE ET LA FONCTION DES RÉSEAUX TROPHIQUES EXISTANTS OU RÉSULTATS DE PRODUCTION DÉTECTABLES POUR LE BIOTE AQUATIQUE VULNÉRABLE

Bien qu'elles ne soient pas identiques, les communautés de poissons pélagiques et leurs réseaux trophiques de soutien qui caractérisent les eaux libres des lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan sont très similaires (Northcote *et al.* 1972; Andrusak *et al.* 2002). Les trois espèces de poissons planctonophages dont la croissance a lieu dans les eaux de mer ouvertes des lacs en question présentent des niveaux variables de chevauchement du régime alimentaire qui changent chaque saison et à chaque stade de développement (Hyatt *et al.* 2015a, 2015b) et elles pourraient, en théorie, participer à une compétition pour la nourriture. Cependant, la mesure dans laquelle de telles interactions émergeront dépend non seulement de la structure du réseau trophique et de la population de poissons dans un lac donné, mais aussi de la production intrinsèque potentielle du lac et de sa capacité connexe à favoriser la croissance et la survie des poissons pélagiques comme le saumon rouge et le saumon kokani.

Le rapport actuel ne prétend pas produire une analyse quantitative de la série complète de facteurs probablement impliqués dans le contrôle des variations de production annuelles et saisonnières, du stade de plancton à celui de poisson pélagique dans les lacs au fond de la vallée de l'Okanagan. Cependant, des variables limnologiques, comme le phosphore total, la transparence au Secchi et la chlorophylle a, peuvent être utilisées comme des indicateurs généraux efficaces de l'état trophique du lac ou du réservoir qui a une incidence sur la production de poissons, la biomasse et le rendement (voir les références dans Carlson 1977, Rieman et Myers 1992). Ces indicateurs ont été utilisés dans des études sur les lacs pauvres en nutriments (4 à 45 µg de phosphore par litre) pour examiner les associations entre l'abondance, la croissance et la taille selon l'âge du kokani. Les observations de ces mêmes types d'associations dans les trois lacs de la vallée de l'Okanagan (tableau 1) sont utilisées dans le présent document comme fondement des conclusions initiales concernant la capacité de production relative de ces lacs et la présence possible d'interactions fortes ou faibles entre les alevins de saumon rouge d'élevage et le saumon kokani résident, compte tenu de futures introductions possibles de ces alevins dans le lac Okanagan.

Les observations de la profondeur moyenne du lac, de la concentration de phosphore au printemps (juin), de la concentration moyenne de chlorophylle en été, de la profondeur d'après le disque de Secchi, de l'abondance des proies (cladocères) et de l'espèce *Mysis* sp. révèlent toutes des valeurs (tableau 1) qui semblent indiquer que le lac Osoyoos est probablement plus productif que les lacs Skaha ou Okanagan. Les deux derniers lacs mentionnés pourraient être relativement proches de la productivité globale, c.-à-d. que le lac Skaha a des concentrations de phosphore légèrement plus élevées en juin (7,7 p/r à 6 µg par litre), mais dans le lac Okanagan, des niveaux moyens plus élevés de chlorophylle (2,5 p/r à 1,81 µg par litre) et des valeurs de Secchi plus élevées sont maintenus (moyenne de 6,9 p/r à 5,3 m) au cours de la saison de croissance. Les densités moyennes en été de *Mysis* sp. ne sont pas particulièrement instructives. Elles ne tendent qu'à indiquer que les populations de cette espèce introduite sont bien établies dans les trois lacs (tableau 1). La biomasse moyenne de poissons maintenue dans la zone pélagique de ces lacs correspond à une déduction du potentiel de production la plus élevée à la plus faible survenant dans le lac Osoyoos, puis dans le lac Skaha et enfin dans le lac Okanagan (colonne 3 du tableau 2b), conformément à l'observation générale selon laquelle le phosphore est le nutriment qui limite le plus souvent la production à tous les niveaux trophiques dans de nombreux lacs de Colombie-Britannique (Hyatt et Stockner 1985, Hyatt *et al.* 2004). Cependant, la biomasse moyenne de poissons maintenue à l'heure actuelle dans un

lac donné ne représente pas invariablement sa capacité de charge ou sa production potentielle maximales pour soutenir les populations de *O. nerka*. Par exemple, même si la biomasse moyenne des poissons pélagiques qui a perduré à l'automne au cours de neuf années d'observation dans le lac Osoyoos est de 26 kg par hectare, la valeur moyenne au cours des cinq années les plus récentes d'observation a été maintenue à une moyenne de plus de 35 kg par hectare, étant donné que l'échappée de saumons rouges adultes et le recrutement d'alevins de saumons rouges ont plus que doublé sans que cela ne se soit accompagné de changements substantiels de la charge en éléments nutritifs ou de la production de zooplancton (Hyatt et Rankin 1999, Hyatt *et al.* 2015a, Hyatt *et al.* 2018). Ce résultat laisse entendre que le potentiel de production de poissons pélagiques dans les trois lacs pourrait se rapprocher davantage de l'extrémité supérieure de la plage de valeurs actuellement observée (tableau 2b, colonne 4) comparativement à la moyenne annuelle de la biomasse des poissons pélagiques. Cette dernière est restreinte par divers facteurs qui limitent le recrutement d'un nombre suffisant d'alevins pour tester l'extrémité supérieure de la capacité de production d'un lac à assurer la survie des poissons.

Observations de l'abondance, de la croissance et de la survie du saumon rouge dans le lac Osoyoos

De nombreuses études visant à examiner les variations de l'abondance, de la croissance et de la survie de *O. nerka* dans de nombreux lacs et réservoirs ont démontré que leur croissance et leur survie sont susceptibles de diminuer à mesure que l'abondance dans le lac augmente (voir les références dans Rieman et Myers 1992 et Hyatt *et al.* 2011). Hyatt et Rankin (1999) ont combiné des données d'enquête historiques et récentes sur l'abondance de *O. nerka* dans le lac Osoyoos et ont déterminé que même si l'augmentation de l'abondance des alevins de saumon rouge avait une incidence sur leur croissance subséquente, pratiquement toute l'étendue des répercussions de l'augmentation de l'abondance des alevins sur la croissance jusqu'à l'âge 1 était épuisée une fois que les alevins de saumon rouge atteignaient des niveaux d'abondance supérieurs à 1 500 par hectare. Neuf années supplémentaires de surveillance systématique de la croissance et de la survie de *O. nerka* face à des niveaux d'abondance dépassant 7 000 alevins par hectare ont confirmé l'absence d'effets importants de la densité sur la croissance ou la survie, une fois que les populations d'alevins augmentaient au-delà d'un seuil d'abondance d'environ 1 500 alevins par hectare (c.-à-d. environ 4,5 kg par hectare d'ici à l'automne) dans le lac Osoyoos (figure 2.7 dans Alexander et Hyatt 2015, Hyatt *et al.* 2015a, Hyatt *et al.* 2018). Ces constatations semblent concorder avec celles de Rieman et Myers (1992) et Beauchamp *et al.* (1995) selon lesquelles de fortes interactions dépendantes de la densité dans les populations de *O. nerka* (kokani) dans les lacs oligotrophes sont principalement attribuables à des saumons kokanis (âges 2 et 3), mais pas à des alevins ou des poissons d'un an. Ils ont conclu que la compétition intraspécifique augmentait probablement avec l'âge et la taille du poisson et qu'il est peu probable qu'elle soit importante chez les saumons kokanis d'âge 0 et d'âge 1 à des densités inférieures à 1 000 poissons par hectare.

L'absence de preuve d'une forte limitation de la croissance des alevins de saumon rouge d'âge 0 à des niveaux d'abondance beaucoup plus élevés (c.-à-d. jusqu'à 7 000 par hectare) dans le lac Osoyoos par rapport au seuil de 1 000 poissons par hectare proposé par Rieman et Myers dans leurs études sur les populations de saumon rouge pourrait être la conséquence de l'abondance relativement faible de poissons plus gros et plus âgés (principalement le saumon kokani et le grand corégone) dans la population de poissons pélagiques du lac Osoyoos. Les poissons de *O. nerka* d'âge 0 dominent la communauté de poissons pélagiques par leur nombre dans tous ces lacs. Cependant, des poissons plus âgés et plus gros continuent systématiquement à représenter la majorité de la biomasse des poissons pélagiques dans ces lacs et sont probablement les concurrents les plus importants des saumons rouges juvéniles et

des saumons kokanis dans la mesure où ils partagent les mêmes sources de nourriture. Cela semblerait être le cas même dans le lac Osoyoos où les poissons planctonophages plus âgés et plus gros continuent à représenter 66 % (tableau 2b, colonne 7) de la biomasse des poissons pélagiques (p. ex. voir Hyatt *et al.* 2018 pour l'analyse fondée sur la bioénergétique de l'ampleur relative de la consommation de zooplancton par les alevins du saumon rouge d'âge 0, les poissons plus âgés et plus gros et les mysidacés). Les poissons plus âgés et plus gros représentant une plus petite portion de la biomasse des poissons pélagiques dans le lac Osoyoos (66,4 %) par rapport aux lacs Skaha (92,2 %) ou Okanagan (93,7 %) (voir le tableau 2, colonne 7 et le texte ci-dessous), cela pourrait permettre au lac Osoyoos de faire vivre des abondances d'alevins de *O. nerka* d'âge 0 beaucoup plus élevées que dans les lacs Skaha et Osoyoos, sans présenter une forte compétition intraspécifique pour la nourriture. Cependant, cela semble également indiquer, conformément aux résultats de Rieman et Myers, que les interactions intraspécifiques, et par déduction, les interactions interspécifiques compétitives les plus fortes sont les plus susceptibles de survenir entre des classes d'âge plus importantes et plus âgées de poissons planctonophages qu'entre les alevins dans des situations où tous partagent une source de nourriture commune.

Abondance, croissance et survie du saumon rouge et du saumon kokani dans le lac Skaha

À leurs niveaux d'abondance les plus élevés, ces dernières années, les saumons rouges d'âge 0 dans le lac Osoyoos dominent non seulement la communauté de poissons pélagiques d'un point de vue numérique, mais ils peuvent également parfois dominer la biomasse des poissons pélagiques, car le recrutement des saumons kokanis et des grands corégones au lac Osoyoos est sporadique (Hyatt *et al.* 2015a). Ainsi, les observations dans le lac Osoyoos sont limitées à titre de base servant à clarifier les incertitudes concernant tout l'éventail d'interactions potentielles entre les saumons rouges d'âge 0 et d'autres poissons pélagiques, y compris des populations plus complexes, structurées selon l'âge et la taille, de saumons kokanis. L'introduction expérimentale des alevins de saumon rouge d'élevage dans le lac Skaha était destinée à aborder plus précisément ces incertitudes et à fournir une base pour anticiper les futures répercussions des introductions de saumons rouges dans le système beaucoup plus vaste du lac Okanagan. Un programme de surveillance et d'évaluation a fourni plus d'une décennie d'observations saisonnières à annuelles sur la chimie de l'eau, la production de zooplancton, la structure de la communauté de poissons pélagiques, la croissance et la survie de *O. nerka* d'élevage et sauvages (Hyatt *et al.* 2015b), ainsi que des résultats sommaires (McQueen *et al.* 2014, Alexander et Hyatt éd. 2015). Les répercussions observées et potentielles des introductions d'alevins de saumon rouge sur le réseau trophique et la communauté de poissons pélagiques du lac Skaha sont résumées brièvement ci-dessous à titre de base pour anticiper les répercussions possibles de futures introductions d'alevins de saumon rouge sur la population de saumons kokanis et le réseau trophique pélagique du lac Okanagan.

Les alevins de *O. nerka* dans le lac Skaha, composés d'alevins de saumon kokani sauvage et de saumon rouge d'élevage, bien qu'encore dominants d'un point de vue numérique (tableau 2a, colonne 5) représentent une proportion plus faible (7,8 %) de la biomasse totale de poissons pélagiques que dans le lac Osoyoos. Des saumons kokanis plus âgés et plus gros, ainsi qu'un nombre beaucoup plus faible de grands corégones représentent plus de 92 % de la biomasse des poissons pélagiques dans le lac Skaha (tableau 2b, colonne 7). En outre, parce que tous les âges et toutes les tailles de *O. nerka* et de grands corégones présentent un chevauchement du régime alimentaire (c.-à-d. qu'ils consomment tous des quantités importantes de daphnies [*Daphnia* spp.]), le plus grand potentiel d'interactions de compétition existe, les gros poissons entrant en compétition entre eux et avec les alevins de *O. nerka*. Des interactions de compétition fortes entre les alevins de saumon rouge et des alevins de saumon

kokani sont moins probables, compte tenu de la biomasse relative et de la consommation déduite de proies de zooplancton. L'analyse fondée sur la bioénergétique de la production de zooplancton, de la production de poissons et de la consommation de zooplancton par les poissons dans le lac Skaha (McQueen *et al.* 2014, p. 49) a indiqué que pour les huit années examinées :

- (i) les taux de consommation de zooplancton par les poissons et les mysidacés dépassaient rarement les taux de production de zooplancton;
- (ii) les mysis (*Mysis*) consommaient plus de zooplancton que tous les autres poissons combinés;
- (iii) le saumon rouge d'élevage d'âge 0 consommait uniquement 2 à 5 % du total de zooplancton consommé à la fois par les poissons pélagiques et les mysidacés.

Ces résultats laissent également entendre que les interactions de compétition intraspécifiques et interspécifiques sont probablement les plus intenses entre les poissons pélagiques plus gros et plus âgés, ainsi qu'entre les poissons et les mysidacés. D'après la proportion du total de zooplancton consommé par le saumon rouge, il semblerait peu probable que les alevins de saumon rouge influent sur la structure du réseau trophique pélagique dans le lac Skaha ou sur la croissance ou la survie de chacun d'eux, des alevins de saumon kokani, de poissons de classes d'âge supérieures ou de mysidacés, même si les quatre classes de poissons planctonophages exploitent certains taxons de zooplancton communs.

Les analyses d'observations empiriques des variations annuelles de l'abondance, de la croissance, de la taille et de la survie de diverses catégories de poissons pélagiques (c.-à-d. alevins de saumon rouge, alevins de saumon kokani, saumons kokanis plus gros et plus âgés) étayaient généralement les inférences mentionnées plus haut (voir les résultats dans McQueen *et al.* 2014, Alexander et Hyatt 2015). Par exemple, les alevins de saumon rouge et de saumon kokani semblent croître à des vitesses semblables et atteignent des tailles similaires à la fin de l'année (près de 9,5 et 7 cm de longueur, respectivement), quelles que soient les variations de l'abondance durant les huit années d'enregistrement (figure 2.12a d'Alexander et Hyatt 2015). Cependant, les paramètres de croissance et d'abondance laissent entendre des interactions de compétition potentielles : 1) l'apparence d'une diminution importante de la longueur moyenne des saumons kokanis entre la période antérieure et celle postérieure aux ajouts de saumons rouges, 2) un lien significatif entre la diminution du poids des alevins de saumon rouge d'âge 0 en hiver et la densité de mise en charge initiale (figure 2.12c d'Alexander et Hyatt 2015). Le lien avec le poids en hiver du saumon rouge est fortement influencé par une observation unique au niveau le plus bas de l'abondance de l'ensemencement d'alevins de saumon rouge et n'a pas été corroboré par des liens parallèles entre l'abondance subséquente moyenne au cours de la période de croissance du saumon rouge ou du saumon kokani et la baisse de son poids en hiver qui s'ensuit (figure 2.12b dans Alexander et Hyatt 2015). Les estimations ponctuelles uniques de la taille du saumon kokani entre l'été et l'automne durant les cinq années précédant l'introduction de saumons rouges sont disponibles (figure 2.15 dans Alexander et Hyatt 2015). Ces données semblent indiquer qu'en présence d'alevins de saumon rouge, les saumons kokanis sont environ 0,5 cm (~ 8 %) plus petits en été que lorsque le saumon rouge est absent. Cependant, cette différence de taille disparaît en grande partie en hiver, étant donné que la taille du saumon kokani pour toutes les années converge vers une longueur d'environ 7 cm (voir les figures 2.12a et 2.15 dans Alexander et Hyatt 2015).

La preuve que des processus ascendants (p. ex. effet de chasse d'eau de la rivière) contrôlent la biomasse du plancton, plutôt que la prédation par des poissons, appuie l'observation selon laquelle il est peu probable que la croissance des alevins de saumon rouge et de saumon kokani soit limitée par une compétition intense pour les proies de zooplancton. Les observations

récentes de McQueen *et al.* (figure 8 dans McQueen *et al.* 2014) semblent indiquer une relation inverse entre le débit saisonnier moyen de la rivière Okanagan et la biomasse moyenne de zooplancton (à l'exclusion des mysis [*Mysis*]) maintenue dans les lacs Osoyoos ($r = 0,74$; $P < 0,01$, $n = 8$) et Skaha ($r = 0,58$, $p = 0,01$, $n = 8$) au moyen de l'intervalle de production au printemps et en automne. Au cours de huit années de surveillance, la biomasse du zooplancton dans les deux lacs a fluctué, en passant d'une biomasse moyenne faible d'environ 70 μg par litre (en poids sec) durant les années de débit plus élevé ($> 30 \text{ m}^3/\text{s}$) à une biomasse moyenne élevée de 155 μg par litre durant les années de débit plus faible ($< 10 \text{ m}^3/\text{s}$). Cependant, rien n'indique que le retrait, sous l'action de chasse d'eau par la rivière Okanagan, de plus de 50 % des proies de zooplancton dans les deux lacs exerçait des répercussions négatives détectables sur la croissance des alevins, ce qui réaffirme la théorie selon laquelle les alevins de *O. nerka* ne se livrent généralement pas à une compétition intense, dépendante de la densité, pour la nourriture. En revanche, il existe des preuves que la biomasse saisonnière moyenne du zooplancton dans le lac Osoyoos est fortement liée à une augmentation de la survie des alevins de saumon rouge à cet endroit (Hyatt *et al.* 2018). Étant donné que la rivière Okanagan, plutôt que les poissons, contrôle les variations annuelles de l'abondance du zooplancton dans les lacs Osoyoos et Skaha, le lien observé entre les variations de la biomasse du zooplancton et la survie de *O. nerka* est la conséquence d'une incidence ascendante de la rivière sur le zooplancton et les poissons et ne constitue pas une preuve que les alevins de *O. nerka* contrôlent les réserves limitées de proies de zooplancton ou se livrent à une compétition à l'égard de celles-ci dans ces lacs.

Les observations d'interactions de compétition faibles à non-existantes entre les alevins de saumon rouge et de saumon kokani de l'an contraste avec des données probantes beaucoup plus solides de répercussions dépendantes de la densité des saumons kokanis plus gros et plus âgés dans le système du lac Skaha sur leur propre taille à la maturité (figure 2.14, données inédites de P. Askey dans Alexander et Hyatt 2015) ainsi que sur la taille atteinte par les alevins de saumon kokani dans le lac Skaha durant l'hiver de leur première année (figure 2.16 dans Alexander et Hyatt 2015). Dans le dernier cas, le poids en hiver des alevins de saumon kokani semblait diminuer en passant de près de 5 g à moins de 3,5 g à mesure que l'abondance totale des saumons kokanis âgés de 1 à 3 ans augmentait, passant d'environ 100 par hectare à 350 par hectare (c.-à-d. de 4,5 à 11,2 kg par ha). En outre, étant donné que les échappées annuelles du saumon kokani du lac Skaha dépassent 40 000 adultes, la taille du saumon kokani à la maturité, correspondant à 25 à 26 cm de longueur, est relativement constante. Cependant, à des échappées inférieures à 15 000, la taille adulte moyenne dépasse 31 cm et la forme de la relation dépendante de la densité est conforme à la forme exponentielle en déclin que Rieman et Myers (1992) et Askey (2016) ont déterminée comme une caractéristique de plusieurs populations de saumons kokanis (y compris le lac Okanagan).

Les saumons kokanis plus gros et plus âgés (un à trois ans) ont une incidence non seulement sur leur propre taille à la maturité, mais ils semblent également avoir une incidence sur le poids en hiver de leurs propres alevins dans le lac Skaha. La possibilité de compétition entre les saumons kokanis plus âgés et plus gros et les alevins de *O. nerka* serait même plus importante, sauf que les poissons plus gros et plus âgés consomment des mysis (*Mysis*), tandis que les alevins se nourrissent de daphnies (*Daphnia*) qui représentent les proportions les plus élevées de leur régime alimentaire en poids. En outre, l'analyse de modélisation fondée sur la bioénergétique (McQueen *et al.* 2014) indique que les gros poissons dans le lac Skaha peuvent faire diminuer suffisamment l'abondance saisonnière des mysidacés pour entraîner une compétition pour cette source de nourriture. Cependant, il n'y a aucune preuve que les poissons diminuent systématiquement les daphnies (*Daphnia*) en tant que proies de zooplancton communes partagées par toutes les classes d'âge de poissons pélagiques (McQueen *et al.* 2014). Par conséquent, l'étendue de la forte compétition qui émerge entre les saumons

kokanis plus âgés et les alevins d'âge 0 de *O. nerka* dans le lac Skaha semble être modérée par la présence de la mysis (*Mysis*). Les niveaux d'abondance de la population de saumons kokanis dans le lac Skaha sont demeurés plus élevés (moyenne de toutes les années > 30 000 adultes matures) pendant l'intervalle 2004-2015 d'introduction d'alevins de saumon rouge dans le lac Skaha que pendant l'intervalle de « contrôle » de plus de deux décennies (moyenne de toutes les années < 10 000 adultes matures) avant l'introduction d'alevins de saumon rouge (figure 2 dans Webster 2015). Cependant, la variabilité interdécennale du niveau de recrutement présentée par cette population de saumons kokanis, en l'absence de saumons rouges, est nettement plus importante que la variation observée au cours des années d'introduction d'alevins de saumon rouge. Par conséquent, une tendance en baisse au cours des observations les plus récentes de saumons kokanis adultes sous la forme d'alevins pendant l'introduction de saumons rouges ne constitue pas une preuve statistiquement significative de l'existence ou de l'absence d'interactions de compétition entre les alevins de saumon rouge d'élevage et les saumons kokanis.

La pertinence des observations d'interactions entre le saumon rouge et le saumon kokani dans le lac Skaha à ce jour par rapport à la proposition de l'ONA favorable à une future introduction d'un nombre variable d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan sera abordée plus loin. À l'heure actuelle, du point de vue du groupe de travail technique canadien du bassin de l'Okanagan, il « n'existe pas de preuve de répercussions graves de l'introduction d'alevins de saumon rouge (nombre maximal dépassant 800 par ha) dans le lac Skaha sur la croissance, la survie la production ou les caractéristiques du cycle biologique du saumon kokani » [*traduction libre*] (p. 109 dans Alexander et Hyatt 2015).

Observations de l'abondance, de la croissance et de la survie du saumon kokani dans le lac Okanagan

Pendant l'intervalle couvrant trois décennies, du début des années 1970 à la fin des années 1990, la population de kokanis dans le lac Okanagan a connu un déclin abrupt en passant d'un pic d'adultes reproducteurs d'environ 1 000 000 de poissons à une moyenne observée sur quatre ans inférieure à 25 000 adultes pendant la période 1995-1998 (Askey et Johnston 2013). Par conséquent, de 1996 à 2007, le ministère des Pêches de la Colombie-Britannique, avec le financement de la Habitat Conservation Trust Foundation de la Colombie-Britannique, a lancé un plan d'action pour le lac Okanagan (l'Okanagan Lake Action Plan [OLAP]) qui comprenait un programme annuel d'études scientifiques sur les causes de la baisse des populations de kokanis. Les résultats de ces études ont été publiés sous la forme d'une série de rapports de projet de pêches par le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique. Le rapport définitif de cette série (Andrusak *et al.* 2008) fournit non seulement des observations de 2006 et 2007 correspondant aux dernières années de l'étude de l'OLAP, mais également la portée historique des observations sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du lac Okanagan. Ainsi, le rapport de 2008 par Andrusak *et al.* a servi de principale source de renseignements résumée dans le présent document. En outre, le personnel du ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique a fourni l'accès à des observations non publiées tirées des sources de données suivantes :

- (i) échantillonnage de l'abondance totale fondé sur les relevés acoustiques et au chalut et caractéristiques biologiques (âge, taille selon l'âge) de la population de kokanis d'élevage dans le lac Okanagan entre 1988 et 2013 (Tyler Weir, ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique);
- (ii) relevés d'automne du nombre de kokanis adultes reproducteurs sur les plages et dans les affluents du lac Okanagan entre 1992 et 2016 (Tara White, ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique).

L'examen des méthodes de relevé utilisées par les équipages du ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique pour recueillir ces données indique que les observations réunies sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème du lac Okanagan permettent une comparaison avec celles déjà résumées ci-dessus concernant les écosystèmes aquatiques des lacs Osoyoos et Skaha.

La structure selon l'âge et la taille de la communauté de poissons pélagiques dans le lac Okanagan est similaire à celle décrite précédemment pour le lac Skaha. Dans le lac Okanagan, les alevins de *O. nerka* comprenaient 65 % de tous les poissons pélagiques en nombre par rapport à 66,5 % dans le lac Skaha (tableau 2a, colonne 5). En revanche, ils ne représentaient que 6,3 % de la biomasse des poissons pélagiques (c.-à-d. un taux similaire aux 7,8 % observés pour le lac Skaha), les 94,7 % comprenant principalement des kokanis plus âgés et plus gros (tableau 2b, colonne 7). Par conséquent, les spectres de taille et de biomasse des communautés de poissons pélagiques dans les lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan étayent tous la supposition selon laquelle la compétition entre les alevins de l'année de *O. nerka* est probablement faible, voire inexistante, tandis que la compétition intraspécifique et interspécifique sera possiblement la plus importante entre les poissons pélagiques plus âgés et plus gros (p. ex. le saumon kokani et/ou le grand corégone) ce qui, en fonction du chevauchement du régime alimentaire et de la production de proies, pourrait avoir des effets négligeables à graves sur la croissance et la survie des alevins de *O. nerka*.

Il existe peu de renseignements sur les régimes alimentaires saisonniers des diverses catégories de taille et classes d'âge du saumon kokani dans le lac Okanagan (Askey et Andrusak 2008), mais le peu d'information qui existe laisse entendre que leurs habitudes alimentaires pourraient être similaires aux habitudes alimentaires bien documentées de catégories de taille comparables du saumon rouge et du saumon kokani dans les lacs Osoyoos ou Skaha (Hyatt *et al.* 2015a, 2015b, 2018). Les résultats des deux derniers lacs mentionnés indiquent que *Daphnia* spp. et le grand copépode *Epischura* sp. dominant généralement le régime alimentaire des alevins du saumon rouge et du saumon kokani en nombre et en poids, ce qui concorde avec les observations limitées des habitudes alimentaires des alevins du saumon kokani dans le lac Okanagan. En revanche, Askey et Andrusak (2008) ont remarqué que même si tous les saumons kokanis se nourrissaient de *Daphnia* spp. et de *Epischura*, les *Mysis* représentaient l'élément le plus important du régime alimentaire des saumons kokanis plus âgés (âge 1 et 2) et plus gros (> 8 cm de longueur) du lac Okanagan en poids, même si les *Mysis* composaient moins de 1 % du régime alimentaire en nombre. Cette observation correspondait à une seule période saisonnière (automne), mais elle concorde avec les résultats de McQueen *et al.* (2014) et de Hyatt *et al.* (2015a et b) sur la dominance des *Mysis* en poids dans les régimes alimentaires de poissons plus gros et plus âgés de l'espèce *O. nerka* échantillonnés dans le lac Osoyoos et en particulier dans le lac Skaha.

Compte tenu de la similarité dans la structure générale selon l'abondance, l'âge et la taille et de la similarité apparente dans les habitudes alimentaires des populations de kokanis dans les lacs Okanagan et Skaha, il semble qu'il soit peu probable que les alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan, et possiblement les alevins de saumon rouge introduits, exercent une influence déterminante sur leurs proies de zooplancton, comme cela semble être le cas dans le lac Skaha. L'examen des relations actuelles (1988-2013) entre le poids du saumon kokani d'âge 0 au moment des relevés d'automne et les variations de leur propre abondance (figure 2a, le présent rapport) ou la biomasse totale de tous les saumons kokanis de plus de 0 an (figure 2b, le présent rapport) dans le lac Okanagan indique l'absence d'une influence permanente de la densité des alevins ou de la biomasse du saumon kokani sur le poids des alevins d'automne dans une plage de valeurs relativement vaste. Comme pour le saumon rouge d'âge 0 dans le lac Osoyoos, des éléments démontrent l'augmentation des résultats de croissance des alevins

d'âge 0 si leurs densités ou la biomasse des poissons pélagiques passent sous un seuil inférieur (p. ex. < 100 alevins par ha et/ou < 5 kg par ha). Cependant, au-dessus de ces seuils, les variations de croissance demeurent pratiquement insensibles à l'abondance des alevins ou la biomasse des saumons kokanis augmente pour atteindre les valeurs les plus élevées enregistrées à ce jour (figure 2a et b du présent rapport).

Les résultats de croissance relativement constants des saumons kokanis d'âge 0 dans une vaste fourchette d'abondance du poisson pélagique sont conformes à l'hypothèse d'une augmentation continue de la compétition pour les proies de zooplancton à mesure que la population de poissons pélagiques augmente ou diminue, sauf à ses limites les plus inférieures. Cependant, les poissons plus gros et plus âgés, en combinaison avec une population relativement importante de *Mysis* du lac Okanagan (tableau 1) pourraient avoir une incidence sur leurs proies de zooplancton communes, ce qui aurait un effet sur la croissance et la survie des kokanis. À l'heure actuelle, le lien entre les variations des productions saisonnière et annuelle de proies de zooplancton et leurs associations potentielles avec la croissance ou la survie de toutes les classes d'âge et catégories de taille du kokani du lac Okanagan demeure vague.

Plusieurs décennies après leur introduction dans le lac Okanagan en 1966, les mysidacés sont clairement devenus les principaux consommateurs de la nourriture de base au zooplancton dans les lacs Okanagan, Skaha et Osoyoos, ce qui a eu des répercussions sur la structure du réseau trophique (Schindler *et al.* 2012) et les résultats de production d'autres espèces (McQueen *et al.* 2014). Cependant, le rôle particulier des mysidacés dans chaque système lacustre demeure vague. À ce jour, l'hypothèse commune est que les mysidacés « envahissants », ici et ailleurs, ont pour effet dominant d'être des concurrents des alevins du saumon kokani (Northcote 1991, Andrusak *et al.* 2002) et du saumon rouge (Hyatt *et al.* 2005) dans les lacs où les *O. nerka* et *mysidacés* sont présents. Ainsi, les biologistes de l'OLAP ont proposé que la compétition entre les mysis envahisseurs et les kokanis pour des ressources de zooplancton limitées précipitait le déclin de la population dans les deux écotypes (c.-à-d. les reproducteurs de rivage et les reproducteurs de cours d'eau) du saumon kokani dans le lac Okanagan (Walters 1995, Ashley *et al.* 1999, Walters et Korman dans Andrusak *et al.* 2004, Andrusak *et al.* 2006). Cependant, de nouvelles observations selon lesquelles les *Mysis* sont également devenues une source principale de nourriture pour les classes d'âge de saumons kokanis plus âgés et plus gros (McQueen *et al.* 2014, Hyatt *et al.* 2015b, Askey et Andrusak 2008) portent à croire que les interactions entre les kokanis et les mysidacés pourraient s'avérer plus complexes que cela. Le rétablissement de l'un des écotypes du saumon kokani au cours des dix dernières années en passant de moins de 25 000 à une moyenne de 165 000 adultes en frai de rivage (fourchette de 78 000 à 304 860), en l'absence d'une diminution importante de l'abondance de la mysis, pourrait indiquer que l'introduction et l'augmentation importante qui s'ensuit de la population de mysis n'a pas complètement limité la possibilité d'une augmentation du saumon kokani dans le lac Okanagan, malgré la compétition possible pour les proies de zooplancton communes.

Possibilité d'interactions dans le lac entre le saumon kokani du lac Okanagan et le saumon rouge introduit pour une plage d'abondance

L'Okanagan Nation Alliance a demandé l'autorisation d'introduire jusqu'à 750 000 alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan au printemps de l'année 2017. Il est également prévu que l'introduction d'un plus grand nombre (plus de 3,5 millions) d'alevins de saumon rouge d'élevage puisse être demandée au cours des années suivantes. L'information présentée ci-dessus est examinée avec les prévisions de ce qu'une plage d'abondance supposée d'alevins de saumon rouge (750 000 à 3 500 000) pourrait représenter en tant qu'événements à impact

sur une seule année ou sur plusieurs années ayant une incidence sur le réseau trophique pélagique ou sur les populations résidentes de poissons dans le lac Okanagan.

Le lac Okanagan représentant plus de 30 fois la taille des lacs Osoyoos ou Skaha, l'incidence potentielle d'une introduction donnée d'alevins de saumon rouge dans l'écosystème du lac Okanagan a été appliquée à une série d'unités communes (p. ex. nombre par ha, kg par ha, tableau 3) pour effectuer une comparaison pertinente des résultats, de l'introduction d'alevins de saumon rouge du lac Skaha aux prévisions des répercussions dans le lac Okanagan.

La proposition d'introduire 750 000 alevins de saumon rouge d'élevage en 2017 est associée à une abondance dans le lac d'au plus 30,2 alevins de saumon rouge par hectare dans le lac Okanagan (c.-à-d. que l'on suppose que seulement 24 828 hectares des eaux de la zone pélagique sont occupés sur une superficie totale du lac de 35 008 ha). Cela représenterait environ 10 % de la moyenne annuelle de l'abondance d'alevins de saumon rouge (c.-à-d. un rapport de 1:10 entre le saumon rouge et le saumon kokani en nombre) et juste 1,08 % de la moyenne annuelle de la biomasse des poissons pélagiques dans le lac Okanagan (tableaux 3) déterminée au moyen de méthodes fondées sur les relevés acoustiques et au chalut par le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique (données inédites du MFTERN de la C.-B.). Le nombre total d'alevins d'automne de kokani sauvage et de saumon rouge d'élevage dans le lac Skaha (qui comprend le saumon rouge d'élevage relâché ainsi que les alevins de saumon rouge produits par des saumons rouges adultes qui fraient dans la nature) variait de 156 à 800 alevins par hectare en nombre et de 0,44 à 2,94 kg d'alevins par hectare en poids (tableau 4). De 2004 à 2012, les rapports entre le nombre d'alevins de saumon rouge et le nombre d'alevins de saumon kokani ne représentaient pas plus de 1:10 et pas moins de 1:1,25. Ces rapports changent s'ils sont exprimés comme la biomasse qui s'ensuit, car les alevins de saumon rouge d'élevage sont plus gros que les alevins de saumon kokani au moment de leur introduction et ils conservent cette différence de taille (McQueen et al. 2014) de sorte qu'à l'automne, les rapports de la biomasse ne représentent pas plus de 1:3,4, lorsque les alevins de saumon kokani constituent la majeure partie de la biomasse, et pas moins de 11,6:1 lorsque le saumon rouge constitue la majeure partie de la biomasse globale d'alevins dans le lac Skaha (tableau 4). Malgré ces vastes plages de l'abondance totale d'alevins d'été, la biomasse totale d'alevins d'automne et les rapports fluctuants entre les alevins de saumon rouge et le saumon kokani, aucune preuve convaincante de fortes répercussions sur le réseau trophique (p. ex. réductions provoquées par les alevins des proies principales) ou de compétition entre les alevins de saumon rouge et de saumon kokani n'a découlé de l'analyse d'une décennie de résultats de l'introduction de saumons rouges du lac Skaha.

D'après l'hypothèse de niveaux de productivité similaires entre les lacs Okanagan et Skaha appuyée par les valeurs de l'indice énumérées dans le tableau 1, il est peu probable que l'introduction de 30 alevins de saumon rouge par hectare pour interagir potentiellement avec une moyenne annuelle de 242 alevins de saumon kokani par hectare (moyenne sur dix ans la plus récente provenant du ministère de l'Environnement de la C.-B., données inédites) dans le lac Okanagan exerce plus qu'un effet mineur sur la croissance ou la survie des alevins du saumon kokani du lac Okanagan. En outre, en raison de leur taille relativement petite lors de la première introduction, les alevins de saumon rouge représenteront généralement seulement une petite fraction de la biomasse totale des planctivores vertébrés dans les lacs tels que les lacs Skaha (Hyatt et al. 2015b) et Okanagan (p. ex. environ 1 % de la biomasse d'automne de tous les poissons pélagiques d'Okanagan, tableau 3, colonne 7), alors que les kokanis et/ou les grands corégones plus âgés et beaucoup plus gros représentent la majeure partie de la biomasse des poissons et, par conséquent, ils produisent une plus grande pression de diminution sur la nourriture de base au zooplancton (McQueen et al. 2014). Il est prévu que la plupart des alevins de saumon rouge introduits migrent vers le large au printemps de l'année

suiuante. Par conséquent, l'effet permanent dans le lac de ces poissons sur les réseaux trophiques du lac Okanagan, le saumon kokani ou même la truite arc-en-ciel plus grande, mais plus rare à un âge plus avancé est minime.

Les données et observations empiriques provenant précisément du lac Okanagan étayent davantage cette conclusion. Les observations durant l'automne 2016 ont indiqué une population reproductrice de 127 849 kokanis adultes dans l'ensemble du lac Okanagan et les cours d'eau connexes. La production d'alevins de saumon kokani depuis l'échappée de 2016 devrait donner lieu au recrutement d'environ 5,6 millions d'alevins d'automne (c.-à-d. 226 par ha) dans le lac Okanagan en 2017 (figure 3 du présent rapport). L'ajout potentiel de 750 000 alevins de saumon rouge représente au plus l'ajout de 30 alevins d'automne à l'abondance d'alevins d'automne prévue (figure 2a du présent rapport). Par conséquent, il semblerait peu possible que l'introduction d'alevins de saumon rouge proposée pour 2017 modifie suffisamment l'abondance des alevins pour produire des répercussions détectables sur la croissance des alevins de saumon kokani. En raison de leur taille relativement petite lors de la première introduction (1,49 g poids humide, d'après les poids moyens actuels des alevins de saumon rouge d'élevage introduits dans le lac Skaha), les alevins de saumon rouge représenteront généralement seulement une petite fraction de la biomasse totale des planctivores vertébrés dans les lacs tels que les lacs Skaha (Hyatt *et al.* 2015b) et Okanagan (p. ex. environ 1 % de la biomasse d'automne de tous les poissons pélagiques d'Okanagan, tableau 3, colonne 7), alors que les kokanis et/ou les grands corégones plus âgés et beaucoup plus gros représentent la majeure partie de la biomasse des poissons et, par conséquent, ils produisent une plus grande pression de diminution sur la nourriture de base au zooplancton (McQueen *et al.* 2014). En supposant que le poids de 1 gramme des alevins de saumon rouge serait multiplié par quatre au moment de l'introduction d'ici l'automne, l'ajout précis de 750 000 alevins de saumon rouge en 2017 pourrait ajouter au plus 0,18 kg par hectare à la biomasse d'automne des poissons pélagiques autres que les alevins de saumon kokani. Par conséquent, il semblerait peu possible que l'introduction d'alevins de saumon rouge proposée pour 2017 modifie suffisamment la biomasse des poissons pélagiques pour produire des répercussions détectables sur la croissance des alevins de saumon kokani (figure 2b du présent rapport).

Les analyses sommaires des variations de l'abondance totale des alevins de saumon kokani du lac Okanagan et des variations de l'abondance aux âges suivants (tableau 5) indiquent qu'il existe des associations statistiquement significatives entre le saumon kokani d'âge 0 et les abondances subséquentes du saumon kokani d'âge 1 et d'âge 2 dans le lac Okanagan. Cependant, les variations annuelles des alevins de saumon kokani ne sont pas statistiquement associées à des variations annuelles de l'abondance du saumon kokani d'âge 3 présent dans les eaux de mer ouverte du lac Okanagan ou du nombre total d'adultes qui fraient dans les cours d'eau et les rivages. L'absence d'un lien durable et significatif entre l'abondance du saumon kokani d'âge 0 et l'abondance subséquentes du saumon kokani d'âge 3 dans le lac pourrait être attribuable à la résolution inférieure des méthodes de relevés acoustiques et au chalut pour estimer de manière fiable l'abondance de ces poissons plus gros et âgés. Cependant, les observations de faible résolution ne peuvent pas tenir compte de l'absence d'une association importante entre les variations importantes de saumon kokani d'âge 0 et les variations subséquentes du nombre total d'adultes en frai, dont la grande majorité fraie également à l'âge 3 (Askey et Johnston 2013). Ainsi, bien que les variations annuelles du recrutement d'alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan soient touchées de manière importante par les variations de l'abondance des adultes (figure 3 du présent rapport), celles-ci ne sont pas grandement influencées par un large éventail de variations de l'abondance des alevins (c.-à-d. 2 millions à 8,4 millions). Par conséquent, il semble que l'introduction de 750 000 alevins de saumon rouge influe peu sur le recrutement du saumon kokani adulte dans le lac Okanagan, même si les alevins de saumon rouge devaient avoir une incidence

significative sur la survie des alevins de saumon kokani au cours du premier été de leur élevage en milieu lacustre.

Des conclusions similaires sembleraient s'appliquer à l'introduction au printemps, dans le lac Okanagan, d'au moins 3 500 000 alevins de saumon rouge, ce qui représenterait un ajout de 141 alevins par hectare en nombre, soit une moyenne de 36 % de l'abondance totale en automne de tous les alevins de *O. nerka* (c.-à-d. le saumon rouge plus le saumon kokani) et moins de 6 % de la biomasse d'automne prévue de tous les poissons pélagiques dans le lac Okanagan (tableau 3, colonne 7). Ces valeurs demeurent inférieures ou légèrement supérieures aux valeurs annuelles moyennes et bien en deçà des valeurs maximales en ce qui concerne le nombre d'alevins de saumon rouge ou la biomasse introduite dans le lac Skaha, sans que des répercussions importantes sur le réseau trophique du lac Skaha ou sur le saumon kokani résidant dans le lac ne soient démontrées.

Incertitudes soulevées par les études sur les réseaux trophiques, le saumon rouge et le saumon kokani dans d'autres lacs

Les observations tirées des études sur les réseaux trophiques, les variations annuelles de l'abondance de *O. nerka*, les changements connexes en matière de croissance et de survie de *O. nerka* et les tendances des populations dans deux autres grands lacs de Colombie-Britannique (lacs Quesnel et Kootenay) pourraient être pertinentes pour déterminer si l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan est susceptible d'avoir des répercussions importantes sur les réseaux trophiques ou les poissons résidents dans ce lac.

Le lac Quesnel, comme le lac Okanagan, est vaste (20 700 ha), a un temps de séjour de l'eau modérément long (10,8 années), des concentrations moyennes en période de croissance de 3 µg de phosphore par litre, une population résidente de saumons kokanis et, à l'instar des lacs Okanagan et Skaha, est classé en tant que lac oligotrophe (Dolighan *et al.* 2012). Cependant, il est probable que le lac Quesnel ait une productivité moyenne plus faible que celle des lacs Skaha ou Okanagan, étant donné qu'il a un régime thermique moyen plus froid en été, que sa production est considérée comme étant fortement limitée par le phosphore (Hume *et al.* 1996) et que ses valeurs P moyennes sont inférieures à celles des lacs dans l'Okanagan. Les réseaux trophiques du lac Quesnel sont également différents par rapport au lac Okanagan dans d'autres aspects, compte tenu de l'absence de mysidacés, de la présence de populations sympatriques de saumons rouges et de saumons kokanis et d'une population abondante de poissons piscivores qui comprend la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et le touladi (*Salvelinus malma*), ce dernier n'étant pas présent dans le lac Okanagan (Dolighan *et al.* 2012). Indépendamment de ces différences, il est surtout pertinent de se demander si les observations tirées du lac Quesnel fournissent la preuve d'une croissance dépendante de la densité ou d'interactions de survie pour les alevins de saumon rouge et de saumon kokani et, le cas échéant, de savoir ce que nous pourrions conclure concernant les résultats probables d'interactions possibles entre les alevins de saumon rouge et de saumon kokani dans le lac Okanagan.

Les observations de séries chronologiques tirées du lac Quesnel indiquent qu'il n'existe pas d'effet détectable d'une très grande fourchette d'échappées d'adultes (et implicitement de l'abondance d'alevins) sur la taille que l'espèce *O. nerka* atteint en tant qu'alevins d'été, mais que la taille des alevins d'automne diminue de façon logarithmique avec l'abondance croissante de reproducteurs ($P : 0,05$, $r^2 = 0,45$; figure 23A dans Dolighan *et al.* 2012). Cependant, l'importance de cette relation exponentielle négative concernant les alevins d'automne dépend largement d'un seul point de données où l'abondance des femelles reproductrices a chuté en dessous de 30 000 poissons et les alevins d'automne subséquents ont atteint un poids de 9 à 10 g. Une inspection plus poussée de ces données indique que pratiquement toute l'étendue de l'augmentation de la croissance existe à des niveaux d'abondance inférieurs à 50 000 femelles

reproductrices et que la taille des alevins d'été et d'automne est relativement « stable » et insensible aux changements de l'abondance des alevins d'automne, entre environ 7 000 et 1 000 000 de femelles reproductrices. La dernière gamme de reproducteurs équivaut à une gamme comprise entre moins de 200 et plus de 4 000 alevins par hectare (estimée à partir des données des figures 23 A et B de Dolighan *et al.* 2012). Ces auteurs ont aussi démontré que la biomasse totale de classes d'âge supérieures de saumons kokanis pélagiques a fait l'objet d'une baisse rapide entre 2001 et 2002, passant de 5,3 à 1,9 kg par hectare, en lien avec la plus grande échappée de saumons rouges enregistrée qui a donné lieu à une biomasse totale des alevins d'automne de l'ordre de 6,5 kg par hectare. La biomasse totale des saumons kokanis plus âgés est ensuite revenue à 4 à 5 kg par hectare au cours des années 2008 et 2009, lorsque la biomasse des alevins d'automne de saumon rouge a diminué à moins de 1 kg par hectare. La pertinence de ces observations par rapport à l'anticipation des répercussions de l'introduction d'alevins de saumon rouge sur le saumon kokani du lac Okanagan est la suivante. Premièrement, le lac Okanagan étant au moins aussi productif que le lac Quesnel, il est peu probable que l'introduction de l'équivalent de 30 à 140 alevins d'automne de saumon rouge dans le lac Okanagan influe sur la croissance ou la survie du saumon kokani, comme cela a déjà été mentionné dans le présent rapport. De même, l'ajout de l'équivalent de 30 à 140 alevins d'automne de saumon rouge à 5 g par individu ajoutera, au plus, 0,15 à 0,70 kg par hectare à la biomasse de tous les alevins de *O. nerka* dans le lac Okanagan. Cet ajout à la biomasse, qui provient de l'introduction d'alevins de saumon rouge, lorsqu'il s'applique à la biomasse observée maximale de 0,7 kg par hectare de saumons kokanis en tant qu'alevins d'automne (figure 2a dans le présent rapport) donne lieu à une estimation de la fourchette de la biomasse d'alevins d'automne de *O. nerka* dans le lac Okanagan comprise entre 0,85 et 1,40 kg par hectare. Cette fourchette de la biomasse d'alevins se rapproche du seuil déterminé de façon approximative dans le lac Quesnel auquel les populations de saumons kokanis semblent se maintenir sans subir de répercussions (c.-à-d. < 1 kg par ha) provenant de la compétition interspécifique avec les alevins de saumon rouge sauvage et elle est bien en deçà des valeurs de la biomasse des alevins pélagiques dont il semble qu'elles ont résulté d'un déclin de la population de saumons kokanis à cet endroit (c.-à-d. environ 6,5 kg par ha).

Le lac Kootenay fournit encore une autre source importante de données sur le lac qui permet d'examiner l'influence relative des variations annuelles du recrutement d'alevins de *O. nerka* (dans ce cas, exclusivement le saumon kokani) sur leur propre croissance et survie ou l'influence de classes d'âge plus importantes et supérieures de congénères (Bassett *et al.* 2016). Dans le lac Kootenay, le poids des alevins d'automne au cours d'un intervalle de 22 ans (de 1992 à 2013) ne présentait pas de liens significatifs à une fourchette de variation de l'abondance de 185 à 817 alevins par hectare et à une fourchette de variations de la biomasse du saumon kokani pélagique (c.-à-d. la somme des saumons kokanis d'âge 1, 2 et 3) de 3,25 à 18,59 kg par hectare (K. Hyatt, analyse d'observations non publiée tirée de l'annexe 8 de Bassett *et al.* 2016). De même, l'abondance des alevins d'automne dans le lac Kootenay variait directement en fonction de l'abondance des reproducteurs du ruisseau Meadow ($y = 1,068x - 0,193$, $r^2 = 0,84$, $n = 23$), indiquant ainsi l'absence d'une survie dépendante de la densité, étant donné que l'abondance des alevins dans le lac variait entre moins de 5 millions d'alevins et plus de 30 millions d'alevins (c.-à-d. 129 à 848 alevins par hectare). Cependant, Bassett *et al.* ont laissé entendre que des taux de croissance et de survie dépendant de la densité ont dû survenir à un moment donné durant le cycle vital complet des cohortes d'alevins de saumon kokani de 2009 et 2010 en lien avec le printemps inhabituellement froid et humide en 2011 et 2012, de sorte que la taille des kokanis en cours de maturation a diminué pour atteindre la valeur la plus faible jamais enregistrée au cours de la période 2011-2012. Par la suite, le saumon kokani du lac Kootenay a connu un effondrement de sa population sans précédent en atteignant seulement 2 % de son abondance moyenne à long terme, de 1954 à aujourd'hui. Il convient

d'indiquer que Bassett *et al.* (2016) font remarquer que cela s'est produit « à un moment donné durant le cycle vital », preuves directes qui laissent supposer que les diminutions de la croissance et de la survie dépendantes de la densité n'ont pas eu lieu au cours de la première année de vie des cohortes d'alevins de saumon kokani de 2009 et 2010, période durant laquelle les niveaux relatifs à la taille et à l'abondance des alevins d'automne étaient bien dans les fourchettes annuelles observées au cours de l'intervalle de 1992 à 2013 dans le lac Kootenay.

Les déclinés marqués de l'effectif et de la biomasse totale de la population de saumon kokani dans le lac Kootenay ont également été observés dans les lacs Arrow et Okanagan à une époque qui coïncidait avec un printemps anormalement froid et humide observé deux années de suite, en 2011 et 2012. Bassett *et al.* (2016) ont conclu qu'une série commune de facteurs environnementaux régionaux défavorables à la production de saumons kokanis en 2011 et 2012 était la source ultime probable du déclin de la population dans ces trois systèmes, malgré quelques différences fondamentales entre eux (p. ex. notamment l'abondance relative et l'identité des prédateurs, l'état de fertilisation par rapport à celui de non-fertilisation, la présence ou l'absence d'alevins de saumon rouge en tant que concurrents). Par conséquent, les observations tirées des évaluations du saumon kokani dans le lac Kootenay semblent indiquer, comme cela a déjà été mentionné en ce qui concerne les résultats dans les lacs Okanagan et Skaha, qu'il soit peu probable que les résultats d'interactions de compétition intraspécifiques et interspécifiques au sein des populations de saumons rouges et de saumons kokanis ou entre celles-ci aient été régis par des variations de l'abondance, de la croissance ou de la survie d'alevins d'âge 0 dans la fourchette d'abondance pour laquelle des observations ont été obtenues à ce jour.

Les décennies d'observations détaillées d'interactions entre les réseaux trophiques, les saumons rouges d'âge 0 et les saumons kokanis dans les trois lacs de la vallée de l'Okanagan ont été prises en considération dans le présent document pour tirer des conclusions concernant la probabilité d'incidences négatives liées à l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan. Bien que le poids de la preuve tiré de ces observations semble indiquer une probabilité faible de fortes répercussions négatives, diverses incertitudes demeurent quant aux contrôles ultimes sur la production de poissons dans ces lacs. Par exemple, les profondeurs relativement faibles des lacs Osoyoos et Skaha pourraient mener à des résultats contradictoires concernant les interactions entre les poissons pélagiques planctonophages et les mysidacés (Whall et Lasenby 2009, Schoen *et al.* 2015). Whall et Lasenby (2009) ont présenté peu de données probantes indiquant que la production de l'espèce *Mysis* sp. dans le lac Kalamalka relativement peu profond reposait, dans une plus large mesure, sur un niveau élevé de consommation de zooplancton, tandis que la production de l'espèce *Mysis* sp. dans le lac Okanagan beaucoup plus profond dépendait, dans une plus large mesure, de la consommation de phytoplancton et de zooplancton en tant que nourriture. Ces auteurs ont conclu que les mysidacés dans le lac Okanagan ne se nourrissaient pas continuellement au même niveau trophique que le saumon kokani, ce qui indique qu'il pourrait y avoir moins de compétition pour la nourriture entre les mysidacés et le saumon kokani dans ce lac que ce que l'on croyait auparavant. Schoen *et al.* (2015) ont proposé que la profondeur et la structure thermique d'un lac influeront sur les interactions des espèces, de sorte que les lacs plus petits et moins profonds exerceront un contrôle descendant plus fort que les réseaux plus vastes et plus profonds. Dans cette perspective, Schoen *et al.* ont proposé une hypothèse refuge d'eaux profondes et ont fourni des preuves à l'appui démontrant que les mysidacés étaient plus vulnérables à la prédation par des poissons (c.-à-d. les touladis) dans les eaux moins profondes que dans les eaux extrêmement profondes. Si cela est généralement le cas, alors les observations précédentes selon lesquelles les mysidacés dans le lac Skaha sont très importants dans le régime alimentaire de classes d'âge supérieures de saumons kokanis pourraient ne pas s'appliquer au lac Okanagan. Cependant, les observations limitées indiquent que les saumons

kokanis plus âgés et plus gros (> 8 cm de longueur à la fourche) dans le lac Okanagan utilisent les mysidacés en tant que source de nourriture dans une plus large mesure que ce qui était reconnu auparavant (Askey et Andrusak 2008), ce qui augmente l'incertitude quant au rôle de la compétition interspécifique entre les mysidacés et les saumons kokanis dans le contrôle des populations de ces derniers. Le double rôle que les mysidacés jouent manifestement dans les lacs Osoyoos et Skaha en tant que concurrents et proies du saumon kokani et/ou du saumon rouge pourrait différer dans le lac Okanagan. Cependant, le rôle des mysidacés dans le lac Okanagan ne peut pas être plus précisé dans le présent document sans un échantillonnage représentatif saisonnier des mysidacés et de toutes les classes d'âge et catégories de taille du saumon kokani dans le lac Okanagan permettant de quantifier les parts des diverses catégories du biote dans les régimes alimentaires des mysidacés et du saumon kokani.

Moore et Schindler (2004) ont fait remarquer que le saumon anadrome importait non seulement des nutriments dans les écosystèmes d'eau douce, mais il exportait également des nutriments en lien avec les migrations vers la mer des saumoneaux qui quittent l'eau douce chaque année. Dans une étude connexe, Selbie *et al.* (2011) ont fourni des preuves selon lesquelles l'introduction d'alevins de saumon rouge dans le lac Tuya (Colombie-Britannique) entraînait une diminution de la disponibilité de nutriments essentiels (azote et phosphore) qui régissent la production épilimnétique du printemps à l'automne. Une analyse plus poussée a révélé que les pertes de nutriments épilimnétiques dues à une exportation par des saumoneaux migrateurs étaient mineures par rapport aux charges totales en nutriments et, par conséquent, elles ne pouvaient pas représenter l'ampleur des pertes de nutriments pendant la période de croissance. Ces auteurs ont conclu que la diminution des nutriments épilimnétiques pendant l'été était plus probablement liée à l'établissement d'une population de poissons pélagiques se nourrissant de zooplancton qui, auparavant, n'était pas présente dans le lac Tuya, ainsi qu'à un meilleur transport des nutriments de l'épilimnion à l'hypolimnion par la sédimentation de matières fécales. L'exportation de nutriments depuis le lac Okanagan par les saumoneaux rouges et depuis son épilimnion en été, par l'intermédiaire d'une sédimentation accrue des matières fécales provenant de l'ajout progressif d'espèces planctonophages pélagiques, surviendra en lien avec l'introduction d'alevins de saumon rouge si celle-ci a lieu. Cependant, l'ampleur de ces pertes à partir des deux sources devrait être proportionnelle à la biomasse des saumons rouges juvéniles pendant leur élevage dans le lac et lorsqu'ils quittent le lac ce qui, comme cela a déjà été mentionné, devrait sans doute représenter une petite portion de la charge annuelle en nutriments présente au début de la période de croissance dans l'épilimnion (tableau 1) ou de la biomasse de tous les poissons pélagiques (tableau 2) assurant le transport de nutriments dans le lac Okanagan.

Résumé des preuves essentielles pour anticiper les répercussions de l'introduction d'alevins de saumon rouge d'élevage sur les réseaux trophiques pélagiques et le saumon kokani du lac Okanagan

- Les taux d'ensemencement d'alevins de saumon rouge dans le lac Skaha au cours des 12 dernières années ont dépassé la fourchette de valeurs requise pour anticiper l'éventail complet des répercussions possibles dans le lac de l'introduction d'alevins de saumon rouge proposée pour le lac Okanagan.
- Les alevins de saumon rouge et tous les groupes d'âge de saumon kokani partagent les mêmes taxons de zooplancton en tant que nourriture. Par conséquent, les interactions de compétition interspécifiques et intraspécifiques sont des sources possibles de préoccupation.

-
- Plus d'une décennie d'évaluations des résultats de la bioénergétique, des populations de poissons et des réseaux trophiques liés à l'introduction d'alevins de saumon rouge dans le lac Skaha a été exécutée, sous la supervision du groupe de travail technique canadien du bassin de l'Okanagan, afin d'éclairer les futures introductions dans le lac Okanagan (Alexander et Hyatt éd., 2015).

Évaluations de la bioénergétique et du réseau trophique pour recueillir des preuves de répercussion

- Dans les lacs qui font vivre les populations de saumons kokanis, de saumons rouges juvéniles ou les deux populations combinées, les alevins de *O. nerka* dominent communément les communautés de poissons pélagiques en nombre (p. ex. 65 à 85 % dans les lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan), mais ils représentent une proportion beaucoup plus petite des totaux de la biomasse des poissons pélagiques (p. ex. seulement 6,3 à 7,8 % dans les lacs Skaha et Okanagan).
- La similitude des productivités des lacs (tous sont considérés comme des lacs oligotrophes; tableau 1), la composition des espèces de zooplanctons, l'âge, l'espèce, la structure de la biomasse et les régimes alimentaires de la communauté de poissons pélagiques dans les lacs Skaha et Okanagan (tableau 2) indiquent, du point de vue de la bioénergétique, que la pression exercée par les alevins d'âge 0 sur leur nourriture de base sera proportionnelle à la représentation de leur biomasse dans leurs communautés de poissons pélagiques respectives.
- Les analyses bioénergétiques reposant sur plus d'une décennie d'observations sur le terrain détaillées des fourchettes actuelles de la production de zooplancton, de l'abondance et de la taille des poissons pélagiques dans les lacs Skaha et Osoyoos (McQueen *et al.* 2014, Hyatt *et al.* 2018) indiquent que les poissons pélagiques plus gros et plus âgés consomment plus de 90 % des proies de zooplancton courantes dont se nourrissent tous les poissons pélagiques, tandis que les alevins de saumon rouge et de saumon kokani en consomment systématiquement moins de 8 %. Par conséquent, il existe un potentiel important de fortes interactions de compétition entre les saumons kokanis plus âgés et plus gros et les alevins de *O. nerka*, mais le potentiel de compétition intraspécifique et interspécifique entre les alevins d'âge 0 est faible.
- L'introduction proposée de jusqu'à 3,5 millions d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan devrait comprendre des ajouts progressifs équivalant à un maximum de 5 % de la moyenne annuelle de la biomasse des poissons pélagiques. Étant donné que les répercussions sur la nourriture de base au zooplancton seront sans doute proportionnelles à la biomasse des alevins de saumon rouge introduits, comme le révèlent les analyses bioénergétiques du rôle des alevins de *O. nerka* dans les lacs Osoyoos et Skaha, il est peu probable que l'éventail proposé d'introductions d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan exercera une influence détectable sur le réseau trophique du lac ou ses poissons pélagiques.

Évaluations des populations de poissons pour recueillir des preuves de répercussion

- Les démonstrations d'associations statistiquement significatives entre l'augmentation de l'abondance du poisson et la diminution de la croissance ou de la survie des diverses catégories de poissons (espèces, groupes d'âge, etc.) sont généralement considérées comme étant une preuve de la présence d'interactions de compétition au sein d'une espèce ou entre les espèces d'une communauté lacustre.
- Les évaluations multitrophiques des interactions entre les alevins de saumon rouge introduits, le saumon kokani et les réseaux trophiques dans le lac Skaha ont relevé des

conséquences mineures pour la croissance du saumon kokani et l'absence de preuve directe de répercussions sur la survie des alevins de saumon ou les réseaux trophiques du lac Skaha au cours des 12 années de l'étude.

- L'analyse des ensembles de données à l'échelle décennale de tous les lacs examinés dans le rapport actuel semble indiquer la présence fréquente, mais statistiquement variable, d'un profil de croissance dépendant de la densité concernant la taille des alevins d'automne et des saumoneaux subséquents avec une augmentation de l'abondance des alevins (voir la figure 2a dans le rapport actuel concernant le lac Okanagan, la figure 2.7 dans Alexander et Hyatt 2015 concernant le lac Osoyoos, la figure 5 de Hume *et al.* 1996 concernant les lacs Shuswap, Quesnel et Chilko).
- La forme commune de cette taille des alevins d'automne et des saumoneaux liée à l'abondance est celle d'une relation exponentielle négative de sorte qu'une dépendance à la densité faible, voire inexistante, de la taille des alevins d'automne et des saumoneaux survient dans l'éventail complet de l'abondance des alevins dans lequel les populations de saumons rouges et de saumons kokanis sont normalement gérées, y compris la population de saumons kokanis dans le lac Okanagan.
- Une compensation de la croissance dépendante de la densité pourrait survenir chez les alevins de saumon kokani du lac Okanagan, mais si tel est le cas, elle semble n'exister qu'à une abondance extrêmement faible des alevins (c.-à-d. moins de 2,8 millions d'alevins d'automne ou moins de 110 alevins par ha; figure 2a du présent rapport) liée à des niveaux de populations d'adultes extrêmement faibles (c.-à-d. un total dans le système lacustre inférieur à 20 000 alevins par rapport à une moyenne dans le système lacustre proche de 150 000 adultes reproducteurs; figure 3).
- Les abondances actuelles et prévues des alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan sont comprises dans l'éventail où des modifications progressives et beaucoup plus importantes de l'abondance des alevins (figure 2a du présent rapport) ou de la biomasse des poissons pélagiques (figure 2b du présent rapport), par rapport à celles découlant de l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge, seraient nécessaires pour produire un effet détectable sur la croissance saisonnière des alevins de saumon kokani ou d'autres éléments de la communauté de poissons pélagiques.
- Il y a des preuves que le recrutement d'alevins de saumon kokani à l'automne de l'année en cours démontre un lien dépendant de la densité avec l'augmentation du nombre d'adultes reproducteurs, de sorte que l'abondance totale varie généralement entre au maximum 4,6 à 8,8 millions d'alevins d'automne à des niveaux d'échappée de plus de 100 000 adultes (figure 3 du présent rapport).
- Ces observations indiquent que les alevins de saumon kokani sont assujettis à un goulot d'étranglement de la survie entre les stades de développement d'incubation des œufs et des alevins d'automne. Toutefois, les données actuelles disponibles ne suffisent pas à déterminer de manière fiable si cela limite, dans les frayères ou dans le lac, la production d'alevins d'automne.
- Malgré ces observations, il semble qu'il n'existe pas de lien fort entre les variations annuelles importantes du nombre d'alevins d'automne de saumon kokani et le recrutement subséquent des adultes à partir de leurs cohortes d'alevins d'automne (tableau 5), ce qui pourrait indiquer que les variations annuelles chez le saumon kokani adulte sont régies par des interactions supplémentaires dans le lac (p. ex. entre des classes d'âge plus importantes et supérieures de poissons pélagiques ou entre des poissons pélagiques et des mysidacés).

-
- Quoi qu'il en soit, compte tenu de l'éventail limité de l'abondance progressive (30 par ha) et de la biomasse (0,18 kg par ha) découlant de l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge en 2017 par rapport à la biomasse de poissons pélagiques et au nombre d'alevins de saumon kokani déjà présents dans le lac Okanagan (200 à 250 par ha et 9 à 11 kg par ha; figure 2a et 2b du présent rapport), il est peu probable que les alevins de saumon rouge exercent un effet détectable sur les interactions de compétition cruciales impliquant la croissance ou la survie de saumons kokanis d'âge 0, même si de telles interactions existent à l'heure actuelle.

Résumé des autres incertitudes concernant les réseaux trophiques pélagiques et le saumon kokani dans le lac Okanagan

- Les indices de production en général semblent indiquer que les lacs Okanagan, Skaha et Osoyoos entrent tous dans la catégorie des lacs oligotrophes à l'heure actuelle. Cependant, ils ne sont pas identiques et les différences exactes concernant le niveau de production entre ces lacs, ainsi que les différences déterminées de manière précise dans les limites supérieures relatives à leurs capacités biotiques pour les poissons pélagiques demeurent mal définies.
- Le niveau général de la productivité du lac Okanagan a été décrit de manière variée comme étant limité par l'azote, par le phosphore ou comme étant limité à la fois par l'azote et le phosphore, en fonction du nombre précis d'années au cours desquelles les observations de la dynamique des nutriments et du phytoplancton ont été prises en considération. Par conséquent, la vraie influence de ces nutriments ou du rapport changeant entre l'azote et le phosphore sur la production et la rapidité à laquelle l'état de production change pourrait avoir lieu dans le lac Okanagan, étant donné que son temps de séjour de l'eau relativement long (plus de 50 ans) demeure incertain.
- Les classes d'âge supérieures de saumon kokani représentent probablement la principale source de compétition pour les proies de zooplancton avec le saumon kokani d'âge 0 dans le lac Okanagan. Cependant, l'ampleur de cette interaction de compétition intraspécifique potentielle demeure incertaine en l'absence d'observations fiables de la productivité de taxons de zooplancton essentiels servant de proies, de l'abondance et de la croissance saisonnières des saumons kokanis de tout âge et de la consommation saisonnière de taxons de zooplancton par les poissons pélagiques et les mysidacés de taille, d'âge et de stades de développement divers dans le lac Okanagan.
- Il existe des preuves démontrant que le rôle joué par le *Mysis diluviana* dans le déclin spectaculaire du saumon kokani au cours des années 1980 a été surestimé (c.-à-d. qu'il pourrait se nourrir de phytoplancton dans une plus large mesure que ce que l'on pensait au départ; il pourrait constituer une source de proies pour le saumon kokani plus âgé contrairement aux hypothèses précédentes). Par conséquent, le statut du *Mysis diluviana* en tant que principal facteur des changements historiques liés à la diminution de l'abondance du saumon kokani dans le lac Okanagan durant l'intervalle 1980-1995 demeure incertain sans des observations fiables des taux annuels de production de zooplancton et de consommation des principaux taxons de zooplancton par les divers groupes de prédateurs pélagiques (c.-à-d. alevins de saumon kokani, saumons kokanis plus âgés, grand corégone, espèce *Mysis* sp.).
- Plusieurs articles, ainsi que des réflexions théoriques, semblent indiquer que les différences de taille, de profondeur et de productivité d'un lac influenceront sur les résultats des interactions entre les poissons et dans les réseaux trophiques. Dans la mesure du possible, l'application des résultats tirés du lac Osoyoos et notamment du lac Skaha pour déduire les

répercussions de futures introductions d'alevins de saumon rouge sur le lac Okanagan a été mise à l'échelle afin de tenir compte de ces différences. Cependant, les différences dans la production et le flux d'énergie entre ces lacs n'ont toujours pas été résolues de façon parfaite.

- Les données actuelles tirées du lac Okanagan sont insuffisantes pour déterminer de manière fiable si un goulot d'étranglement de la survie du saumon kokani dans le lac Okanagan limite dans les frayères ou dans le lac la production d'alevins d'automne (conformément à la figure 3).
- La plupart des analyses des observations annuelles à l'échelle décennale des relations entre les poissons pélagiques et leurs réseaux trophiques aquatiques et au sein de ceux-ci, dans tous les lacs examinés dans le présent document, supposent implicitement que les répercussions du changement climatique à long terme pourraient être ignorées en tant que facteur de la dynamique des nutriments, de la productivité des lacs et de la dynamique des populations de poissons. Bien que cette hypothèse soit probablement justifiée à une échelle temporelle décennale, elle devient de plus en plus douteuse à mesure que les observations de séries chronologiques se rapprochent d'une échelle temporelle centennale.

RÉPERCUSSIONS POSSIBLES CAUSÉES PAR UNE INTROGRESSION GÉNÉTIQUE ET UNE RÉSIDUALISATION

Le saumon kokani, le saumon rouge anadrome et le saumon rouge résiduel (progéniture non anadrome de saumon rouge anadrome) sont tous les écotypes d'une seule espèce, *Oncorhynchus nerka* (Ricker 1940). Sur le plan de l'évolution, le saumon rouge anadrome colonise un habitat d'eau douce récemment disponible et, à certains endroits, fait augmenter le nombre d'individus résiduels qui ne migrent pas et les populations autosuffisantes de saumons kokanis résidant en eau douce. À l'instar des populations de saumons rouges anadromes qui engendrent la présence d'individus résiduels, les populations de saumons kokanis peuvent générer la présence d'individus anadromes (Nichols *et al.* 2016) et, potentiellement, inverser l'anadromie s'ils découlent récemment de saumons rouges d'eau douce (Godbout *et al.* 2011). Le niveau de différenciation génétique entre les populations sympatriques de saumons rouges et de saumons kokanis est variable (Wood *et al.* 2008). Les deux écotypes peuvent être maintenus à certains endroits, malgré un transfert génétique considérable entre eux qui résulte vraisemblablement d'une sélection divergente (Craig et Foote 2001, Wood *et al.* 2008). Ainsi, la différenciation génétique et la plasticité phénotypique sont à la base de la diversité écotypique observée chez cette espèce.

Formation et résistance des écotypes

Chez les salmonidés et d'autres organismes, de nouveaux phénotypes peuvent apparaître au sein d'une population par l'intermédiaire de la plasticité phénotypique (expansion écologique) qui survient lorsque des individus dans une population deviennent capables d'exploiter des ressources qui n'étaient jusqu'alors pas disponibles (Shedd *et al.* 2015). Sinon, de nouveaux phénotypes peuvent apparaître par l'intermédiaire de l'établissement d'une population ou de la formation d'un écotype nouveau (spéciation écologique) résultant d'une adaptation génétique visant à exploiter des ressources nouvellement disponibles (c.-à-d. nouvelle niche) qui exerce une nouvelle sélection naturelle dans la population déjà existante. Dans ces circonstances, la nouvelle population est caractérisée par des échanges génétiques limités avec la population d'origine à mesure qu'elle s'adapte à l'utilisation des nouvelles ressources (Wellborn et Langerhans 2015). Dans certains cas, l'expansion écologique (réponse individuelle au sein d'une population) peut précéder la spéciation écologique (développement d'une deuxième population).

Selon Wellborn et Langerhans (2015), on peut s'attendre à ce qu'une spéciation écologique apparaisse lorsque deux conditions sont remplies : i) la présence de plus d'une niche écologique, chacune ayant des caractéristiques suffisamment distinctes pour susciter un différentiel de sélection pour l'exploitation des ressources et ii) une diversité génétique suffisante au sein d'une population pour contrebalancer de nouvelles forces sélectives au moyen d'un processus d'adaptation génétique. Le processus de développement et de maintien des écotypes n'est pas constant et irréversible, particulièrement dans un contexte de dégradation de l'environnement (Wellborn et Langerhans 2015). Après la formation initiale, les écotypes peuvent ne pas former des obstacles à l'accouplement et ainsi ne pas se développer en populations très distinctes. Même après l'établissement de populations distinctes, celles-ci peuvent revenir à des niveaux de croisement supérieurs ou à une panmixie complète (croisement aléatoire) si la modification de l'environnement atténue ou modifie les forces sélectives qui étaient responsables de la divergence initiale (Wellborn et Langerhans 2015, Taylor *et al.* 2006).

Renseignements de base sur le saumon kokani du lac Okanagan

Il n'existe pas de point de distinction clair (pour ce qui est de la différenciation génétique) entre une population unique présentant une expansion écologique et deux populations contenant des écotypes distincts tant que l'isolement reproductif n'est pas clairement établi (Hendry 2009). Le saumon kokani du lac Okanagan qui fraie dans les cours d'eau et sur la rive présente des différences morphologiques limitées et n'est pas systématiquement distinct sur le plan génétique à des loci génétiques neutres, mais il achemine des fréquences des haplotypes d'ADN mitochondrial et des fréquences des allèles d'ADN nucléaire à certains loci d'importance adaptative supposée (Taylor *et al.* 1997, Winans *et al.* 2003, Lemay et Russello 2015). Cela indique que les poissons provenant des deux habitats de frai ne sont pas isolés sur le plan de la reproduction, mais qu'ils se situent dans un spectre de différenciation qui caractérise la transition d'une seule population à deux populations distinctes. Le saumon kokani du lac Okanagan peut faire partie d'une seule population ou de deux écotypes initiaux ou en formation.

Le lac Okanagan est un grand lac comprenant plusieurs affluents et lieux de frai sur le rivage disponibles pour le saumon *O. nerka*. La présence de deux écotypes initiaux chez le saumon kokani du lac Okanagan révèle l'existence d'un certain niveau d'occasion écologique (plusieurs niches écologiques) dans le réseau existant du lac Okanagan, mais le faible niveau de différenciation génétique entre les deux écotypes de saumon kokani pourrait indiquer que ces niches ne sont pas suffisamment différentes pour donner lieu à une adaptation et un isolement reproductif rapides ou que des perturbations environnementales antérieures (p. ex. la construction de barrages, de chenaux de frai, l'introduction à long terme du saumon kokani du lac Kootenay, l'ajout de saumons kokanis d'élevage du lac Okanagan, la modification du débit saisonnier dans de nombreux cours d'eau réglementés, l'introduction de *Mysis diluviana*) ont déséquilibré le processus de différenciation entre les écotypes. Sinon, la diversité génétique existante au sein des populations actuelles de saumons kokanis peut limiter le degré d'adaptation et d'isolement reproductif qu'elles étaient capables d'atteindre même en présence d'une forte sélection divergente (Wellborn et Langerhans 2015). Ainsi, la trajectoire actuelle dans l'évolution des écotypes kokanis du lac Okanagan (différenciation génétique stable, à la hausse ou à la baisse) n'est pas connue.

Des œufs œillés et des alevins de saumons kokanis provenant du lac Kootenay sont transplantés dans le lac Okanagan depuis les années 1920 (Andrusak *et al.* 2000). Le lac Kootenay contient des populations de saumons kokanis diverses sur le plan génétique dans ses bras nord et ouest, y compris des reproducteurs de cours d'eau et des rives (Lemay et Russello 2012). Environ 1,5 million d'œufs/alevins ont été transplantés dans le lac Okanagan et

ses affluents à partir des emplacements sur le bras ouest du lac Kootenay au cours des années 1920 et 1930, tandis que 2,1 millions d'œufs/alevins ont été transplantés à partir des emplacements du bras nord du lac Kootenay entre 1941 et 1951. Entre 1970 et 1991, plus de deux millions d'œufs et d'alevins du lac Kootenay ont été transplantés dans le lac Okanagan et l'ajout de saumons kokanis d'élevage du ruisseau Mission du lac Okanagan a également été entrepris, plus de 3,6 millions d'œufs œillés et d'alevins ayant été relâchés durant deux décennies (Andrusak *et al.* 2000).

Aucune évaluation des répercussions génétiques des transplantations du lac Kootenay ou de l'ajout de saumons kokanis d'élevage du lac Okanagan (principalement l'écotype de cours d'eau) sur les écotypes du lac Okanagan n'a été réalisée. Le saumon kokani du lac Kootenay se distingue, sur le plan génétique, du saumon kokani du lac Okanagan (Iwamoto *et al.* 2012), ce qui indique que l'introgression provenant de l'introduction de saumons du lac Kootenay, dans la mesure où elle s'est produite, était limitée pour la majeure partie du génome. Cependant, l'un des gènes (TAP2) différenciant de manière importante les fréquences des allèles entre les deux écotypes du lac Okanagan différenciait également les reproducteurs dans les cours d'eau et sur les rives du lac Kootenay (Frazer et Russello 2013). Les variantes génétiques partagées dans le gène TAP2 pourraient refléter les antécédents évolutifs des populations de *O. nerka* des lacs Kootenay et Okanagan, comme le suggèrent Frazer et Russello (2013), mais il est aussi possible que les transplantations de saumons kokanis du lac Kootenay aient été la source d'une variation génétique, comme la variante du gène TAP2, qui a entamé ou facilité le processus de différenciation des écotypes dans le lac Okanagan. Une différenciation écotypique survenant dans les années 1920 aurait certainement produit le niveau initial de différenciation observé entre les écotypes du lac Okanagan. Sinon, l'introduction à long terme du saumon kokani du lac Kootenay dans le lac Okanagan pourrait avoir entraîné peu ou pas d'introgression chez le saumon kokani du lac Okanagan et peu de répercussions génétiques sur la diversité génétique de celui-ci. Cela indiquerait que le saumon kokani du lac Okanagan montre une certaine résilience à l'égard de l'introgression d'individus de *O. nerka* d'affiliation étroite, comme le saumon kokani du lac Kootenay et le saumon rouge du lac Okanagan.

La population canadienne de saumons rouges de la rivière Okanagan, dont l'habitat de frai est la rivière Okanagan, entre les lacs Skaha et Osoyoos, en dessous du barrage McIntyre, est la source de géniteurs destinée à un programme d'écloserie (McQueen *et al.* 2013). Le lac d'alevinage pour cette population est le lac Osoyoos (c.-à-d. que les alevins migrent en aval dans le lac Osoyoos pour l'élevage). Le saumon kokani du lac Osoyoos fraie aussi dans cette partie de la rivière Okanagan et à cet endroit, les populations sympatriques de saumons kokanis et de saumons rouges indigènes maintiennent une différenciation génétique par des différences dans le moment du frai, le lieu de frai ou le choix du partenaire (ou une combinaison de ceux-ci). Seuls des saumons hybrides rouges-kokanis sont parfois détectés dans les échantillons d'adultes reproducteurs de la rivière Okanagan ou de juvéniles du lac Osoyoos.

La réintroduction d'alevins de saumon rouge d'élevage dans le lac Skaha, qui abrite une population de saumons kokanis similaire, sur le plan génétique, aux saumons kokanis du lac Okanagan, a commencé en 2004. Le site de remise à l'eau d'alevins d'élevage a été la rivière Okanagan, entre les lacs Skaha et Okanagan. Cette partie de la rivière, communément appelée le « canal Penticton », est fortement modifiée et offre un habitat de frai adéquat dans une zone limitée entourant l'embouchure de l'affluent du ruisseau Shingle. Tous les saumons rouges juvéniles, ou une grande partie de ceux-ci, qui sont relâchés à partir du canal Penticton, migrent en aval et croissent dans le lac Skaha.

Une fois que le lac Skaha était accessible au saumon rouge adulte au moment de sa migration de retour (en raison de niveaux d'eau élevés et de modifications apportées au barrage McIntyre), le saumon rouge introduit de la rivière Okanagan est revenu avec une fidélité élevée,

en passant par le lac Skaha, dans son site de remise à l'eau dans le canal Penticton, bien qu'il ait traversé la frayère natale de ses parents (en aval du lac Skaha) pour le faire. Un grand nombre de saumons rouges adultes ont rejoint l'habitat de frai limité dans le canal Penticton et leur présence a entraîné une rapide augmentation de l'hybridation entre les écotypes (Veale et Russello 2016). La proportion de génotypes de saumon hybride rouge-kokani a augmenté, passant de moins de 5 % à 15 % chez les saumons de *O. nerka* juvéniles dans le lac Skaha, dans les quatre ans suivant le retour du saumon rouge adulte dans le site de remise à l'eau du lieu de frai (Veale et Russello 2016). En 2016, quatre individus identifiés sur le plan génétique comme des saumons rouges à partir de 81 carcasses de saumons de *O. nerka* adultes prélevées dans les frayères ont été classés, sur le plan phénotypique (longueur et âge) comme des individus résidant en eau douce. Ils étaient probablement composés de saumons rouges résiduels qui ont atteint leur maturité en eau douce dans le réseau hydrographique canadien du lac Okanagan (Paul Askey, communication personnelle).

Le résultat quant à l'évolution du niveau élevé et rapide d'introggression des gènes du saumon rouge dans la population de saumons kokanis du lac Skaha sera établi au fil du temps. Veale et Russello (2016) ont suggéré que même si une invasion génétique ou un mélange de la population des saumons rouges et de saumons kokanis était possible, l'extinction ou la perte de la population de saumons kokanis étaient peu probables. L'introggression rapide des gènes du saumon rouge dans la population de saumons kokanis du lac Skaha et les observations initiales d'un certain niveau de survie des saumons hybrides jusqu'à leur maturité concordent avec la suggestion que les populations de salmonidés résidant en eau douce sont particulièrement sujettes à une introggression provenant d'une introduction intraspécifique, probablement en raison de la valeur adaptative plus élevée des saumons hybrides dans les populations résidant en eau douce par rapport aux populations anadromes (Utter 2000).

Répercussions génétiques de l'introduction de saumons rouges juvéniles de la rivière Okanagan

A. Répercussions sur le saumon kokani du lac Okanagan

À l'heure actuelle, il n'existe aucun accès naturel au lac Okanagan disponible pour le saumon rouge adulte, bien que l'émigration des juvéniles à partir du lac soit possible. Si le saumon rouge ne dispose pas d'un accès au lac Okanagan au moment de sa migration de retour, la présence limitée d'individus de saumon rouge adultes dans le lac Okanagan (uniquement ceux qui découlent du résidualisme) et plusieurs habitats de frai disponibles sont susceptibles d'influer sur l'évolution et le moment des résultats à long terme. Il est possible, mais pas certain, que le saumon rouge anadrome et un ou deux écotypes du saumon kokani coexistent dans le lac Okanagan si le saumon rouge de la rivière Okanagan est introduit dans le lac de manière continue. Le saumon rouge et le saumon kokani étroitement apparentés qui coexistent dans de nombreux grands lacs et maintiennent un certain niveau d'indépendance génétique et démographique s'établissent généralement naturellement, la présence de saumons rouges semblant faire augmenter la population subséquente de saumon kokani. Les résultats génétiques liés à la réintroduction de saumons rouges dans un lac contenant des saumons kokanis étroitement apparentés qui ont subi une divergence écotypique initiale ne peuvent pas être prévus de façon fiable, étant donné que le croisement d'un ou de deux écotypes de saumon kokani de l'Okanagan avec les saumons rouges de l'Okanagan pourrait augmenter ou diminuer leur valeur adaptative (Utter 2001, McClelland et Naish 2007).

L'introduction unique en été 2017 dans le lac Okanagan de 750 000 alevins de saumon rouge pourrait faire augmenter le nombre de saumons rouges adultes résiduels dans le lac en 2020. Ces saumons rouges n'auraient pas d'habitat natal dans le lac pour le frai. Ils pourraient rejoindre les habitats de frai dans les alentours de leur site de remise à l'eau ou des habitats de

frai plus propices disponibles ailleurs dans le lac. Si les saumons rouges frayaient avec succès, il y aurait une forte probabilité que tous ou certains d'entre eux frayent avec le saumon kokani en utilisant les mêmes habitats de frai. Cependant, le faible nombre de saumons rouges par rapport à l'abondance du saumon kokani dans le lac, la disponibilité de plusieurs sites de frai et la probabilité que la plupart des saumons rouges et/ou des descendants hybrides quittent le lac en tant que saumoneaux excluraient le croisement à grande échelle et en cours du saumon rouge et du saumon kokani.

Il n'est pas possible de prévoir les répercussions sur la génétique liées à l'introduction en cours de 750 000 à 3,5 millions d'alevins de saumon rouge pendant au moins dix ans sur les écotypes de saumon kokani, mais les résultats à court terme qui paraissent probables sont une introgression négligeable (le résultat apparent des introductions en cours de saumons kokanis juvéniles du lac Kootenay) à importante des gènes du saumon rouge à un ou deux écotypes du saumon kokani (les résultats observés lorsque les saumons rouges adultes de l'Okanagan accèdent aux lieux de frai du lac Skaha). La présence d'une diversité génétique supplémentaire découlant du saumon rouge dans la population reproductrice de *O. nerka* du lac Okanagan pourrait fournir le matériel génétique permettant une divergence plus prononcée ou un croisement complet des deux écotypes de saumon kokani existants. L'établissement possible d'un nouvel écotype de saumon kokani isolé sur le plan de la reproduction est moins probable. Le résultat à long terme (évolution) d'une introgression importante des gènes du saumon rouge au saumon kokani du lac Okanagan pourrait avoir une incidence (augmentation ou diminution) sur le nombre d'écotypes de *O. nerka* qui est maintenu dans le lac et sur la valeur adaptative globale de l'espèce *O. nerka* dans le lac.

En résumé, le processus de spéciation écologique qui déclenche plusieurs écotypes chez les salmonidés dépend probablement de la diversité génétique présente et introduite dans la population d'origine, ainsi que du nombre de niches écologiques distinctes disponibles dans l'environnement pour appuyer des écotypes distincts. Les populations de *O. nerka* ont souvent une diversité suffisante permettant la formation d'écotypes et le lac Okanagan peut offrir plusieurs niches destinées à être utilisées par des écotypes anadromes distincts et/ou résidents de *O. nerka*. La formation d'écotypes est grandement influencée par les conditions et les perturbations environnementales et n'est pas un processus évolutif irréversible. Une hybridation du saumon rouge et du saumon kokani et l'introgression des gènes de saumon rouge aux populations de saumons kokanis existantes devraient se produire si des saumons rouges adultes sont présents dans le lac Okanagan. Il est impossible de prévoir les résultats à long terme de l'hybridation en cours découlant de l'introduction pluriannuelle d'alevins de saumon rouge sur le plan de la valeur adaptative de *O. nerka* dans le lac Okanagan et le nombre d'écotypes anadromes ou résidents qui se développent par la suite.

B. Répercussions sur d'autres populations de *O. nerka* du réseau hydrographique canadien du lac Okanagan

On peut s'attendre à ce que les saumons rouges adultes en remonte qui proviennent des alevins de saumon rouge de la rivière Okanagan relâchés dans le lac Okanagan tentent de rejoindre fidèlement les sites de remise à l'eau et d'élevage du lac Okanagan, comme ils l'ont fait dans le lac Skaha/canal Penticton. Les structures de contrôle du débit à l'extrémité sud du lac Okanagan, à partir de laquelle la rivière Okanagan draine le lac, empêchent à l'heure actuelle le saumon rouge en remonte d'accéder au lac. Le saumon rouge relâché dans le lac Okanagan peut être récolté lors de sa migration de retour par l'intermédiaire du bassin hydrographique du fleuve Columbia aux États-Unis ou au Canada (dans les lacs Skaha et/ou Osoyoos). On peut s'attendre à ce que les adultes en remonte qui ne sont pas récoltés se rassemblent en aval du lac Okanagan, dans le canal Penticton. À partir de ce lieu, ils peuvent se disperser en aval dans l'agrégat de frai de saumons rouges et de saumons kokanis du lac

Skaha, près de l'embouchure du ruisseau Shingle, dans le canal Penticton. Les autres saumons rouges qui frayent à cet endroit augmenteraient probablement le taux d'introggression des gènes de saumon rouge à la population de saumons kokanis du lac Skaha. Certains poissons bloqués peuvent se déplacer plus loin en aval, en passant par le lac Skaha, dans la rivière Okanagan, entre les lacs Skaha et Osoyoos. Dans cette partie de la rivière, les saumons rouges devraient se reproduire avec la population de saumons rouges de la rivière Okanagan d'où leurs parents proviennent, ce qui entraînerait peu de conséquences génétiques, étant donné que les poissons d'élevage présentent une diversité génétique et ne sont pas très domestiqués (McQueen *et al.* 2013, Veale et Russello 2016).

POSSIBILITÉS DE TRANSFERT D'AGENTS PATHOGÈNES OU D'ÉLARGISSEMENT DE L'AIRE DE RÉPARTITION

L'ONA a évalué les risques de maladie sur trois ans (de 2000 à 2002), dans le cadre de la réintroduction expérimentale de 12 ans de saumons rouges (*Onchorynchus nerka*) dans le lac Skaha (Evelyn et Lawrence 2003). L'évaluation des risques portait sur la probabilité d'introduire de nouveaux agents pathogènes ou d'étendre l'aire de répartition des agents pathogènes connus, et désignait plus particulièrement cinq agents pathogènes préoccupants dans le cadre du programme de réintroduction. Les cinq agents pathogènes étudiés étaient les suivants : le virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI), le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI), le virus de corps d'inclusion érythrocytaire, *Myxobolus cerebralis* et *Ceratomyxa shasta*. Pour évaluer la possibilité de la translocation des agents pathogènes par la réintroduction de saumons rouges, les poissons capturés en amont du barrage des chutes Okanagan et en aval du barrage McIntyre ont été analysés chaque année pour vérifier la présence de chacun des cinq agents pathogènes, au cours de la période d'évaluation des risques de trois ans. À la fin de l'analyse, il a été déterminé qu'il n'y avait aucune différence entre les populations de poissons en amont et en aval des emplacements de forte abondance de saumon rouge anadrome, en ce qui concerne les cinq agents pathogènes faisant l'objet de l'évaluation. Par conséquent, on a conclu que le transfert des agents pathogènes préoccupants posait un faible risque d'introduction dans le lac Skaha (Kieser et Harrower 2003).

Étant donné que le lac Skaha et le lac Okanagan sont reliés sur le plan hydrographique et qu'ils avaient probablement en commun des échanges historiques entre les populations de poissons, compte tenu de l'absence d'obstacles hydrauliques majeurs après la déglaciation de la vallée de l'Okanagan, on s'attendrait à ce que ces lacs aient également une diversité et une présence d'agents pathogènes équivalentes. Par conséquent, les résultats de Kieser et Harrower (2003) sont très pertinents pour l'évaluation des répercussions possibles des agents pathogènes en raison de l'introduction d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan. Cependant, il importe de reconnaître que l'évaluation de Kieser et Harrower se penchait sur les introductions de saumons rouges aux stades d'alevin et d'adulte dans le lac Skaha. Par conséquent, l'examen ci-dessous se concentre uniquement sur l'introduction d'alevins de saumon rouge et sur la possibilité d'introduction de nouveaux agents pathogènes ou d'élargissement de l'aire de répartition d'agents pathogènes connus dans le lac Okanagan.

Quant au risque des agents pathogènes, dû en particulier aux introductions d'alevins de saumon rouge, les virus tels que le VNHI et le VNPI sont préoccupants en raison de leur capacité à être transmis verticalement (transmission du virus mère-enfant) et de causer des maladies chez les alevins. À l'heure actuelle, l'existence du VNPI en Colombie-Britannique n'est pas connue, mais il a été décelé dans l'État de Washington et serait considéré comme un nouvel agent pathogène introduit dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan. À l'inverse, le VNHI est présent dans l'ensemble du bassin hydrographique de la rivière Okanagan. Cependant, l'introduction d'une souche non indigène serait préoccupante. Par conséquent, pour atténuer le risque de

maladies virales chez les alevins de saumon rouge, l'écloserie de l'Okanagan Nation Alliance met en œuvre des procédures de prélèvement et de désinfection des œufs fondées sur des pratiques d'évitement et de confinement, comme le prescrit le manuel Alaska Sockeye Salmon Culture (manuel sur l'élevage du saumon rouge de l'Alaska) (McDaniel *et al.* 1994). Depuis le début de l'amélioration des écloseries de saumon rouge de l'Okanagan, les tests de diagnostic annuels chez les alevins ont permis de confirmer l'absence du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI), du virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI) ou de tout autre agent de réplication en culture cellulaire. En outre, il est utile de mentionner que l'absence d'infection au VNHI chez les alevins d'écloserie a tout de même donné lieu à une forte prévalence du virus (jusqu'à 85 %) dans le stock de géniteurs adultes, ce qui appuie également l'efficacité des procédures de désinfection des œufs d'écloserie.

Dans le cadre de la réintroduction expérimentale de saumons rouges dans le lac Skaha, un dépistage des poissons, mené sur des saumons rouges adultes de l'Okanagan, a révélé la présence de la myxosporidie *Parvicapsula minibicornis*. Ce parasite a été décrit pour la première fois chez le saumon rouge du fleuve Fraser (Kent *et al.* 1997) où il a été associé à un taux de mortalité important avant le frai (Raverty *et al.* 2000, Bradford *et al.* 2010). On ignore si le parasite est présent chez les poissons en amont du barrage McIntyre. Cependant, on sait que ce parasite ne se transmet pas par les œufs de salmonidés et, par conséquent, son risque de propagation par l'introduction d'alevins de saumon rouge est minime. En outre, cette infection parasitaire ne survient que lorsque les poissons sont exposés à des stades infectieux des parasites qui sont libérés à partir de certains vers polychètes qui se trouvent dans des zones benthiques précises absentes en milieu d'écloserie. De même, les parasites pathogènes *Myxobolus cerebralis* et *Ceratomyxa shasta* présentent un risque faible d'introduction avec les alevins de saumon rouge, étant donné qu'ils ne sont pas non plus transmis par les œufs et que les stades infectieux des parasites exigent un hôte, le ver polychète.

En guise de facteur déterminant supplémentaire de l'état de santé du saumon rouge d'écloserie, il convient de tenir compte des exigences relatives au permis d'aquaculture visant l'empoissonnement octroyé en vertu de la *Loi sur les pêches*. À l'heure actuelle, Okanagan Nation Aquatic Enterprises Ltd détient un permis d'aquaculture valide pour la culture du saumon rouge dans l'écloserie de l'ONA située à Penticton (Colombie-Britannique). Pour se conformer aux exigences du permis, l'écloserie doit aviser son vétérinaire spécialiste du poisson (VSP) immédiatement si l'on soupçonne un événement lié à la santé des poissons ou un événement de mortalité, ou qu'une preuve les confirme. De plus, si l'on soupçonne une maladie mentionnée par le Programme national sur la santé des animaux aquatiques, il faut, en vertu de la *Loi sur la santé des animaux*, informer l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Si l'on soupçonne une maladie infectieuse, il faut accroître la surveillance, consulter le VSP et présenter des échantillons à un laboratoire de diagnostic approuvé par le VSP aux fins de diagnostic, au besoin. En outre, si les poissons doivent être transférés, le stock à déplacer ne doit pas présenter de signes de maladie clinique et si des mortalités sont survenues, leur taux attribuable à des maladies infectieuses ne doit pas dépasser 1 % par jour, pendant quatre jours consécutifs au cours de la période d'élevage. Enfin, les poissons ne peuvent pas non plus être transférés si l'on sait que l'un des stocks de poissons de l'écloserie a présenté l'une des maladies suivantes :

- Nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI) (agent responsable : virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse [rhabdovirus])
- Nécrose pancréatique infectieuse (NPI) (agent responsable : virus de la nécrose pancréatique infectieuse [birnavirus])

-
- Septicémie hémorragique virale (SHV) – souche européenne (agent responsable : virus de la septicémie hémorragique virale [rhabdovirus])
 - Anémie infectieuse du saumon (AIS) (agent responsable : virus de l'anémie infectieuse du saumon [orthomyxovirus])
 - Herpès-virose de l'*Oncorhynchus masou* (agent responsable : virus de l'*Oncorhynchus masou* [virus de l'herpès])
 - Tout agent filtrable causant des effets cytopathologiques dans les cultures tissulaires autres que ceux ci-dessus.
 - Tournis (agent responsable : *Myxobolus cerebralis*)
 - Vibriose en eau froide (maladie d'Hitra) (agent responsable : *Vibrio salmonicida*)

Par conséquent, en se conformant aux conditions de permis, plusieurs mesures de protection ont été établies pour atténuer le risque de maladie chez les alevins de saumon rouge provenant d'écloserie. Ensemble, ces mesures ainsi que les procédures rigoureuses de prélèvement et de désinfection des œufs mises en œuvre par l'écloserie, permettent de réduire au minimum le risque que l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan ait pour effet d'apporter de nouveaux agents pathogènes ou d'agrandir l'aire de répartition des agents pathogènes connus pour les poissons de cette partie du bassin de l'Okanagan. Dans l'ensemble, l'introduction de 750 000 alevins (printemps 2017) ou les introductions en cours de 350 000 à 3,5 millions d'alevins de saumon rouge d'élevage (chaque année, entre 2017 et 2026) dans le lac Okanagan posent un faible risque de propagation des nouveaux agents pathogènes ou d'augmentation de l'aire de répartition des agents pathogènes connus pour cette partie du bassin hydrographique.

4. SOURCES D'INCERTITUDE

D'après les renseignements fournis plus haut, les répercussions possibles de l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge provenant d'écloserie sur les réseaux trophiques et les populations de poissons résidentes du lac Okanagan ne devraient pas être immédiates (c.-à-d. survenir en lien avec une seule année d'introduction d'alevins) ou de grande ampleur. Cependant, des incertitudes concernant l'effet ultime d'une série d'introductions d'alevins de saumon rouge pendant plusieurs années demeurent. En voici quelques-uns :

- La détermination de la limite supérieure pour la capacité de charge du lac Okanagan pour la production de poissons pélagiques.
- Les taux actuels de croissance et de survie des alevins de saumon rouge après l'introduction et l'ampleur subséquente de la production de saumoneaux et de saumons adultes anadromes à partir du lac Okanagan.
- La fourchette réelle de production annuelle de saumons rouges adultes résiduels qui serait établie à partir d'une abondance donnée d'alevins de saumon rouge introduits.
- Les lieux des sites de frai privilégiés que les saumons rouges résiduels adultes viendraient occuper parmi ceux actuellement disponibles dans le lac Okanagan et le niveau de croisement et d'introgression génétique avec les écotypes du saumon kokani qui en découlerait.

L'interaction complexe de facteurs supplémentaires qui continueront à régir les variations de production des deux écotypes du saumon kokani dans le lac Okanagan avec ou sans l'introduction d'alevins de saumon rouge demeure en grande partie non résolue, notamment :

-
- L'influence de la *Mysis* sur le succès historique et actuel du recrutement du saumon kokani du lac Okanagan, compte tenu de nouvelles preuves démontrant qu'elle fait partie d'un triangle trophique dans lequel elle agit en tant que compétitrice éventuelle et en tant que source de nourriture possible pour diverses catégories de taille et classes d'âge de saumons kokanis dans le lac Okanagan.
 - La mesure dans laquelle les classes de poissons pélagiques plus gros et plus âgés pourraient contrôler la croissance et la survie des alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan.
 - La mesure dans laquelle les poissons pélagiques et les *Mysis* dans le lac Okanagan contrôlent les niveaux de population et de production de leurs proies de zooplancton et si cela fait en sorte que la croissance et la survie des alevins de saumon kokani sont très limitées par la nourriture.
 - Les origines des deux écotypes du saumon kokani du lac Okanagan, leurs niveaux actuels d'isolement reproductif et le statut de ces écotypes soit en tant que population hybride unique présentant une divergence phénotypique, soit en tant que deux populations distinctes qui pourraient diverger ou converger sur le plan génétique.
 - La mesure dans laquelle l'abondance actuelle de l'écotype de plus grande taille du saumon kokani frayant dans les cours d'eau est contrôlée par des modifications de l'habitat fluviatile historique et récent.

5. CONCLUSIONS

La plage proposée pour les introductions dans le lac Okanagan d'alevins de saumon rouge provenant d'écloserie, comprise entre 750 000 et 3,5 millions d'alevins, représente un ajout progressif relativement petit au nombre moyen d'alevins de saumon kokani pélagique ou à la biomasse d'autres poissons pélagiques présents à l'heure actuelle dans le lac Okanagan. Cependant, comme cela a été mentionné plus haut, il existe plusieurs incertitudes liées aux répercussions possibles si les introductions se poursuivent au-delà d'une année.

Les principaux risques possibles de la mesure proposée sont notamment une introgression génétique avec les saumons kokanis frayant dans les cours d'eau et l'hybridation potentielle. La possibilité de transmission de maladies ou d'interactions dans le réseau trophique (c.-à-d. phytoplancton et zooplancton) ou de répercussions sur le biote aquatique sensible (toutes les classes d'âge et catégories de taille des poissons pélagiques dans le lac Okanagan) est actuellement jugée faible d'après les renseignements disponibles. Cependant, les effets cumulatifs qui pourraient augmenter les facteurs limitants actuels pour les populations de saumon kokani dans le lac Okanagan n'ont pas été étudiés pour le présent compte rendu.

Le taux d'ensemencement d'alevins de saumon rouge, pour lequel une surveillance et une évaluation détaillées ont été effectuées dans le lac Skaha, ont déjà dépassé la plage des valeurs proposées des introductions d'alevins de saumon rouge pour le lac Okanagan. L'examen des répercussions possibles de cette plage d'ajouts d'alevins de saumon rouge, dans le contexte de variations annuelles existantes de l'abondance et de la croissance des alevins de saumon kokani du lac Okanagan ou de la survie des alevins et du recrutement de saumons kokanis adultes, indique qu'il est peu probable que l'introduction d'alevins de saumon rouge ait des répercussions écologiques majeures sur le saumon kokani résident ou la communauté de poissons pélagiques.

Les exemples de lacs similaires en Colombie-Britannique ne fournissent pas de preuves précises d'une croissance ou d'une survie dépendante de la densité dans la plage de variation de

l'abondance des alevins dans laquelle ces populations sont normalement gérées. Ces résultats pourraient illustrer des effets stochastiques qui pourraient justifier un examen plus poussé.

Une hybridation du saumon rouge et du saumon kokani et l'introgression des gènes de saumon rouge aux populations de saumons kokanis existantes devraient se produire si des saumons rouges adultes sont présents dans le lac Okanagan. Étant donné que le saumon rouge anadrome adulte n'aura pas accès au lac Okanagan, l'introgression génétique dépendra du croisement entre le saumon rouge adulte résiduel (qui pourrait provenir d'alevins de saumon rouge introduits) et les deux écotypes du saumon kokani adulte du lac Okanagan.

Le processus de développement et de maintien des écotypes n'est pas toujours constant et irréversible, particulièrement dans un contexte de dégradation de l'environnement. Le lac Okanagan a connu une perturbation environnementale importante au cours des 100 dernières années, et la trajectoire dans l'évolution des écotypes kokanis qui fraient sur les rives et en cours d'eau (différenciation génétique stable, à la hausse ou à la baisse) n'est pas connue.

Des œufs et des alevins de saumons kokanis génétiquement distincts provenant d'un autre lac du fleuve Columbia supérieur (le lac Kootenay) ont maintes fois été transplantés dans le lac Okanagan entre 1920 et 1991, mais il y a eu peu ou pas d'introgression observée des gènes de saumon kokani du lac Kootenay aux saumons kokanis du lac Okanagan dans l'analyse génétique limitée d'échantillons récents de saumons kokanis du lac Okanagan. En revanche, l'introduction récente de saumons rouges élevés en éclosérie dans le lac Skaha, qui abrite une population de saumon kokani semblable sur le plan génétique à celle de saumon kokani du lac Okanagan, a entraîné une rapide augmentation de l'hybridation entre les écotypes de saumon rouge et de saumon kokani. Le niveau élevé d'introgression des gènes de saumon rouge à la population de saumons kokanis résidents du lac Skaha est initialement susceptible de causer un mélange génétique complet des deux populations chez le saumon kokani du lac Skaha, bien que le résultat à long terme quant à l'évolution des deux écotypes soit inconnu (Veale et Russello 2016).

Les résultats génétiques divergents observés depuis l'introduction de saumon kokani du lac Kootenay dans le lac Okanagan sur les saumons kokanis indigènes (pas ou peu d'introgression génétique) ainsi que depuis l'introduction de saumon rouge de la rivière Okanagan dans le lac Skaha sur les saumons kokanis indigènes (introgression à grande échelle) indiquent que le saumon kokani du lac Okanagan montre une certaine résilience à l'égard de l'introgression (mais n'y sont probablement pas immunisés) comparativement aux autres populations de saumon rouge dans le bassin hydrographique du fleuve Columbia supérieur. On s'attend à peu de répercussions sur la génétique des populations de saumon kokani, y compris le développement ainsi que la persistance ou la dégradation d'écotypes, attribuables à une introduction unique de 750 000 alevins de saumon rouge de l'Okanagan dans le lac, en raison de l'impact apparemment limité des introductions répétées de saumons kokanis du ruisseau Meadow.

La libération continue d'entre 0,75 et 3,5 millions d'alevins de saumon rouge de l'Okanagan devrait entraîner l'hybridation entre le saumon rouge résiduel et le saumon kokani dans le lac Okanagan, compte tenu de l'hybridation observée entre le saumon rouge et le saumon kokani dans le canal Penticton (population du lac Skaha). Le niveau d'introgression ultime des gènes de saumon rouge aux populations de saumons kokanis et le nombre d'écotypes de *O. nerka* qui s'établiraient et persisteraient dans le lac Okanagan ne peuvent pas être prévus.

L'introduction de 750 000 alevins (printemps 2017) ou les introductions en cours de 350 000 à 3,5 millions d'alevins de saumon rouge d'élevage (chaque année, entre 2017 et 2026) dans le lac Okanagan posent un faible risque de propagation des nouveaux agents pathogènes ou

d'augmentation de l'aire de répartition des agents pathogènes connus pour cette partie du bassin hydrographique.

L'ONA a évalué les risques de maladie sur trois ans (de 2000 à 2002), dans le cadre de la réintroduction expérimentale de 12 ans de saumons rouges (*Onchorynchus nerka*) dans le lac Skaha (Evelyn et Lawrence 2003). À la fin de l'analyse, il a été déterminé qu'il n'y avait aucune différence entre les populations de poissons en amont et en aval des emplacements de forte abondance de saumon rouge anadrome, en ce qui concerne les cinq agents pathogènes faisant l'objet de l'évaluation. Par conséquent, on a conclu que le transfert des agents pathogènes préoccupants posait un faible risque d'introduction dans le lac Skaha par rapport au transfert d'alevins ou d'adultes.

Depuis le début de l'amélioration des écloseries de saumon rouge de l'Okanagan, les tests de diagnostic annuels chez les alevins ont permis de révéler l'absence du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI), du virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI) ou de tout autre agent de réplication en culture cellulaire. L'absence d'infection au VNHI chez les alevins d'écloserie a tout de même donné lieu à une forte prévalence du virus (jusqu'à 85 %) dans le stock de géniteurs adultes.

Les exigences relatives aux permis d'aquaculture visant l'empoissonnement, associées aux procédures rigoureuses de prélèvement et de désinfection des œufs mises en œuvre par l'écloserie, permettent de réduire au minimum le risque que l'introduction proposée d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan ait pour effet d'apporter de nouveaux agents pathogènes ou d'agrandir l'aire de répartition des agents pathogènes connus pour les poissons de cette partie du bassin de l'Okanagan. Dans l'ensemble, l'introduction de 750 000 alevins (printemps 2017) ou les introductions en cours de 350 000 à 3,5 millions d'alevins de saumon rouge d'élevage (chaque année, entre 2017 et 2026) dans le lac Okanagan posent un faible risque de propagation des nouveaux agents pathogènes ou d'augmentation de l'aire de répartition des agents pathogènes connus pour cette partie du bassin hydrographique.

Un programme de surveillance et d'évaluation qui fournit de précieux renseignements et qui veille à une détection et à une atténuation précoces des répercussions possibles aiderait à constituer la base d'une approche de gestion adaptative rigoureuse pour l'introduction possible d'alevins de saumon rouge dans le lac Okanagan. Il est possible que le programme actuel de surveillance et d'évaluation pour le lac Skaha soit complété par de nouveaux éléments afin de fournir des renseignements pour vérifier ou réviser les prévisions des répercussions du saumon rouge sur le réseau trophique du lac Okanagan et ses poissons résidents.

6. TABLEAUX

Tableau 1. Comparaison des valeurs moyennes des « paramètres de production » possibles pour les lacs Osoyoos, Skaha et Okanagan

Osoyoos

Valeur	Profondeur (m)	Temps de séjour de l'eau (années)	P total en juin	Moyenne de la chlorophylle-a d'été (ug/L)	Profondeur d'après le disque de Secchi (m)	Cladocères (n ^{bre} /m ²)	Mysis sp. (densité moyenne annuelle en été)	Source des données
Moyenne	14,0	< 1	10,0	3,26	3,19	1 980	173	Hyatt <i>et al.</i> 2015a
Plage	0 - 63	-	7,0 - 14,0	1,1 - 5,4	1,0 - 4,4	960 - 2 640	132 - 223	-
n	s.o.	-	5	30	30	90	8 ans*	-

Skaha

Valeur	Profondeur (m)	Temps de séjour de l'eau (années)	P total en juin	Moyenne de la chlorophylle-a d'été (ug/L)	Profondeur d'après le disque de Secchi (m)	Cladocères (n ^{bre} /m ²)	Mysis sp. (densité moyenne annuelle en été)	Source des données
Moyenne	26,0	< 1	7,7	1,81	5,33	1 990	99	Hyatt <i>et al.</i> 2015b
Plage	0 - 57	-	6,0 - 9,6	0,7 - 3,6	2,3 - 7,3	1 790 - 2 530	69 - 176	-
n	s.o.	-	5	30	64	93	9 ans	-

Okanagan

Valeur	Profondeur (m)	Temps de séjour de l'eau (années)	P total en juin	Moyenne de la chlorophylle-a d'été (ug/L)	Profondeur d'après le disque de Secchi (m)	Cladocères (n ^{bre} /m ²)	Mysis sp. (densité moyenne annuelle en été)	Source des données
Moyenne	75,0	> 60	6,0	2,5	6,86	1 333	360	Andrusak <i>et al.</i> 2008
Plage	0 - 242	-	2,0 - 12,0	1,2 - 5,7	3,5 - 10,7	666 - 2 000	257 - 552	Ministère de l'Environnement de la C.-B. – Janvier 2006
n	s.o.	-	11	s.o.	61	s.o.	9 ans	-

*Remarque : L'abondance de 2011 des *Mysis* a été exclue du résumé concernant le lac Osoyoos en raison de la diapositive de Testalinden de 2010 qui a causé un échec du recrutement en 2011. L'abondance totale des *Mysis* en 2011 n'a atteint que 27 animaux/m² (Hyatt *et al.* 2018).

Tableau 2. Contributions des saumons rouges et kokanis d'âge 0 aux communautés de poissons pélagiques des lacs en question a) en nombre ou b) en poids.

A) Contributions en n^{bres}

	Lac- années	Poissons pélagiques : x n ^{bres} /ha	Plage	% de poissons d'âge 0	Plage	% de poissons d'âge > 0	Plage	n	Source
Osoyoos	2005-2013	3 811	1300-8500	88,0	68-100	12,0	0.2-32	9	Hyatt <i>et al.</i> 2015a, Hyatt <i>et al.</i> 2018
Skaha	2005-2013	424	198-618	66,5	54-87	33,5	13-46	9	Hyatt <i>et al.</i> 2015b Andrusak <i>et al.</i> 2008, MFTERN
Okanagan	1988-2010	358	125-548	65,0	57-83	35,0	17-51	23	de la C.-B.

B) Contributions en poids

	Lac- années	Poissons pélagiques : x kg/ha	Plage	% de poissons d'âge 0	Plage	% de poissons d'âge > 0	Plage	n	Source
Osoyoos	2005-2013	26,00	13,5-43,5	33,6	12,0-51,7	66,4	48,3-88,0	9	Hyatt <i>et al.</i> 2015a, Hyatt <i>et al.</i> 2018
Skaha	2005-2013	20,2	14,6-24,2	7,8	3,4-14,5	92,2	85,5-96,6	9	Hyatt <i>et al.</i> 2015b Andrusak <i>et al.</i> 2008, MFTERN
Okanagan	1988-2010	8,99	2,8-21,3	6,31	3,2-15,4	93,7	85,0-97,0	23	de la C.-B.

Tableau 3. Contributions possibles des alevins de saumon rouge provenant d'écloseries en nombre et en tant que proportion de la biomasse moyenne de tous les poissons pélagiques dans le lac Okanagan dans une plage de niveaux d'ensemencement d'alevins d'écloserie.

N ^{bre} d'alevins de saumon rouge d'écloserie	N ^{bre} /ha	Biomasse moyenne estimée de printemps des alevins d'écloserie (hg/ha)	Biomasse moyenne estimée d'automne des alevins d'écloserie (hg/ha)	Limite inférieure de la fourchette (kg/ha)	Limite supérieure de la fourchette (kg/ha)	Biomasse des alevins de saumon rouge d'automne comme % de la moyenne de tous les poissons pélagiques d'Okanagan	Biomasse des alevins de saumon rouge d'automne comme % du nombre moyen de tous les alevins de saumon rouge et de saumon kokani
5 000	0,2	0,000	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08
10 000	0,4	0,001	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15
20 000	0,8	0,001	0,00	0,00	0,00	0,03	0,31
40 000	1,6	0,002	0,01	0,00	0,01	0,06	0,61
100 000	4,0	0,006	0,01	0,01	0,02	0,14	1,51
200 000	8,1	0,011	0,03	0,02	0,04	0,29	2,98
400 000	16,1	0,023	0,05	0,04	0,09	0,57	5,79
750 000	30,2	0,042	0,10	0,07	0,16	1,08	10,34
1 500 000	60,4	0,085	0,19	0,14	0,33	2,15	18,74
3 000 000	120,8	0,169	0,39	0,28	0,65	4,30	31,56
3 500 000	140,9	0,198	0,45	0,33	0,76	5,01	38,86

1. Supposer que les alevins provenant d'écloseries ont le même poids (moyenne = 1,49 g) que les alevins d'écloserie introduits dans le lac Skaha.

2. Supposer que le poids des alevins de saumon rouge est de 1,49 g au moment de l'introduction, puis qu'il augmente pour atteindre une moyenne de 3,2 g dans le lac Skaha selon le recensement de septembre.

Remarque : 3,2 g est la moyenne de neuf années d'observations dans le lac Skaha où les taux de croissance sont probablement plus rapides que dans le lac Okanagan.

3. Appliquer l'abondance moyenne observée de la population de saumons kokanis d'âge 0 dans le lac Okanagan de 262 saumons par ha au cours des 23 dernières années.

Tableau 4. Contributions du saumon rouge provenant d'écloseries en nombre et en tant que proportion de tous les saumons rouges et kokanis d'âge 0 dans le lac Skaha par lac-année.

Lac-année	Alevins de saumon rouge d'écloserie à l'introduction (n ^{bre} /ha)	Alevins de saumon rouge d'écloserie à l'introduction (kg/ha)	Alevins d'automne de saumon rouge (n ^{bre} /ha)	Alevins d'automne de saumon rouge (kg/ha)	Alevins d'automne de saumon kokani (n ^{bre} /ha)	Alevins d'automne de saumon kokani (kg/ha)	N ^{bre} total d'alevins d'automne d'âge 0 (n ^{bre} /ha)	N ^{bre} total d'alevins d'automne d'âge 0 (kg/ha)	Alevins de saumon rouge comme % du n ^{bre} total d'alevins d'automne
2004	622	0,62	301	2,38	99	0,56	400	2,94	75,25
2005	709	1,49	100	0,41	148	0,27	248	0,68	40,32
2006	761	1,29	154	1,00	112	0,20	266	1,20	57,89
2007	457	0,78	41	0,22	115	0,22	156	0,44	26,28
2008	827	0,91	152	0,81	318	0,64	470	1,44	32,34
2009	231	0,39	88	0,47	85	0,16	173	0,63	50,87
2010	462	0,51	203	0,91	225	0,27	428	1,18	47,43
2011	0	0	634	1,97	166	0,17	800	2,13	79,25
2012	0	0	33	0,16	261	0,55	294	0,70	11,22
Moy.	-	0,86	190	0,92	170	0,34	359	1,26	46,76

Tableau 5. Résumé de liens entre les variations annuelles de l'abondance du saumon kokani d'âge 0 et son abondance observée aux âges suivants dans le lac Okanagan ou comme nombre total d'adultes dans les frayères estuariennes. Les valeurs de l'abondance du saumon kokani d'âge 0 à 3 sont exprimées en millions, tandis que celles des adultes reproducteurs sont exprimées en milliers.

Associations de fratries	r ²	p	n
âge-1 = 0,28 (âge-0) + 0,02	0,68	<0,01	23
âge-2 = 0,22 (âge-0) - 0,05	0,44	<0,05	23
âge-3 = 21,03 (âge-0) + 116,96	0,03	valeurs non	20
Reproducteurs = 7,13 (âge-0) +	0,04	valeurs non	23

7. FIGURES

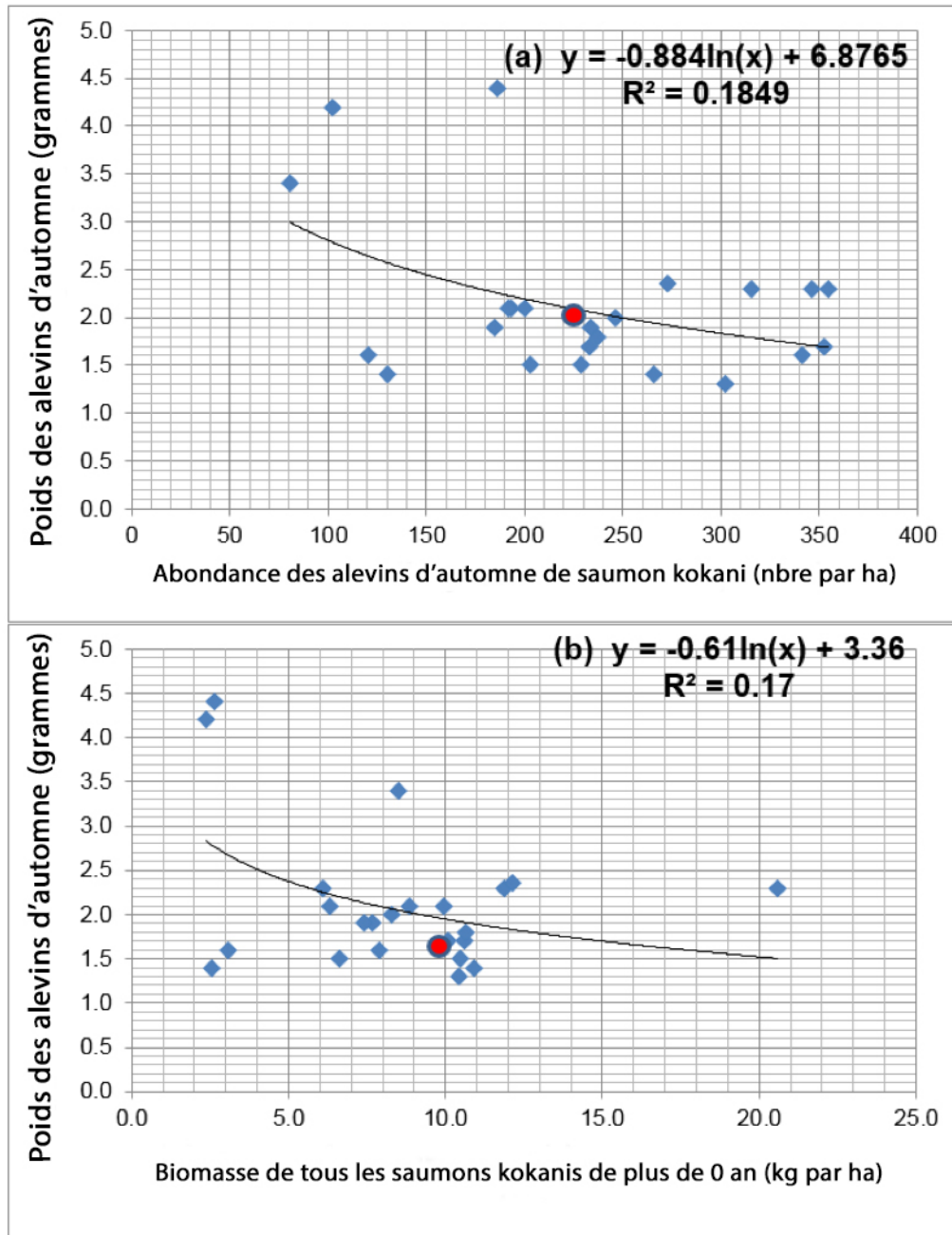


Figure 2. Relations entre la taille en automne (g poids humide) des alevins de saumon kokani dans le lac Okanagan et a) l'abondance totale des alevins de saumon kokani (nombre par ha) ou b) la biomasse de tous les saumons kokanis de plus de 0 an. Les données comprennent la production d'alevins d'automne provenant des années d'éclosion de 1988 à 2013 inclusivement (données du ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique fournies avec l'aimable autorisation de Tara White et Tyler Weir). Les points circulaires indiquent les valeurs prévues d'ici l'automne 2017, d'après les prévisions de l'abondance des alevins d'automne dans le tableau a, tirées des données à la figure 3 et de la biomasse d'automne dans le tableau b, tirées de l'abondance moyenne de 2001 à 2010 des saumons kokanis d'âge 1 à 3 par rapport à leur biomasse (données non présentées).

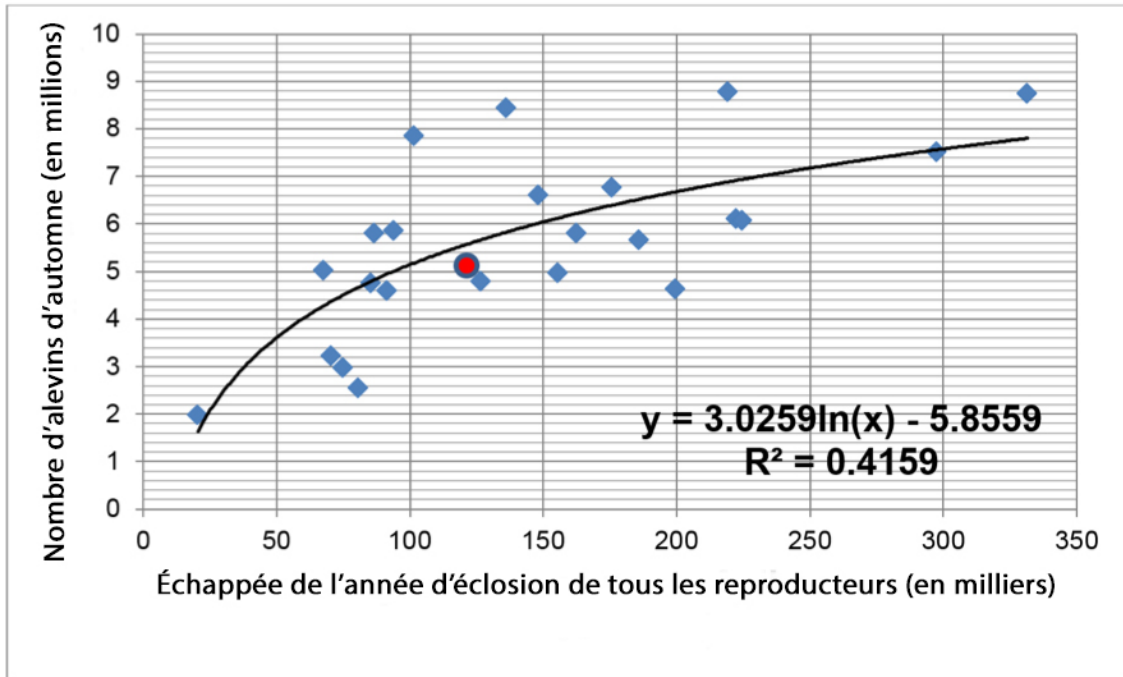


Figure 3. Nombre total d'alevins de saumon kokani présents dans le lac Okanagan à l'automne de l'année n+1 comme une fonction du nombre total d'adultes reproducteurs à l'automne de l'année n. Le point de données circulaire représente le nombre d'alevins de saumon kokani prévus à l'automne 2017 d'après un total de 127 849 saumons kokanis adultes observés frayant dans les cours d'eau et sur les plages du lac Okanagan à l'automne 2016. Les données comprennent la production d'alevins d'automne provenant des années d'éclosion de 1988 à 2013 inclusivement (données du ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique fournies avec l'aimable autorisation de Tara White et Tyler Weir).

6. RÉFÉRENCES CITÉES

- Alexander, C.A.D., Hyatt, K.D. (éd.) 2015. Proceedings of the Peer Review Workshop for the Okanagan Sockeye Re-introduction Experiment, Final Draft. Summary report to the Okanagan Nation Alliance and Canadian Okanagan Basin Technical Working Group. 125 p. Available from the Okanagan Nation Alliance, 101-3535 Old Okanagan Highway, Westbank, B.C. V4T 3L7.
- Andrusak, H., Sebastian, D., McGregor, I., Matthews, S., Smith, D., Ashley, K., Pollard, S., Scholten, G., Stockner, J., Ward, P., Kirk, R., Lasenby, D., Webster, J., Whall, J., Wilson, G., Yassien, H. 2000. Okanagan Lake action plan year 4 (1999) report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 83.
- Andrusak, H., Matthews, S., McGregor, I., Ashley, K., Wilson, G., Vidmanic, L., Stockner, J., Sebastian, D., Scholten, G., Woodruff, P., Cassidy, D., Webster, J., Gaboury, M., Slaney, P., Lawrence, G., Oldham, W.K., Janz, B., Mitchell, J. 2002. Okanagan Lake Action Plan report for year 7 (2003). Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 106. Fisheries Management Branch, Ministry of Water, Land and Air Protection, Province of British Columbia.
- Andrusak, H., Matthews, S., McGregor, I., Ashley, K., Rae, R., Wilson, A., Sebastian, D., Scholten, G., Woodruff, P., Vidmanic, D. L., Stockner, J., Wilson, G., Janz, B., Webster, J., Wright, H., Walters, C., Korman, J. 2004. Okanagan Lake Action Plan Year 8 (2003) Report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 108. Fisheries Management Branch, Ministry of Water Land and Air Protection, Province of British Columbia.
- Andrusak, H., Matthews, S., Wilson, A., Andrusak, G., Webster, J., Sebastian, D., Scholten, G., Woodruff, P., Rae, R., Vidmanic, L., Stockner, J. 2006. Okanagan Lake Action Plan Year 10 (2005) Report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 115. Ecosystems Branch, Ministry of Environment, Province of British Columbia.
- Andrusak, H., Andrusak, G., Matthews, S., Wilson, A., White, T., Askey, P., Sebastian, D., Scholten, G., Woodruff, P., Webster, J., Vidmanic, L., Stockner, J. 2008. Okanagan Lake Action Plan Years 11 (2006) and 12 (2007) Report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 123, Ecosystems Branch, Ministry of Environment, Province of British Columbia.
- Ashley, K.I., Shepherd, B., Sebastian, D., Matthews, S., Vidmanic, L., Ward, P., Yassien, H., McEachern, L., Andrusak, H., Lasenby, D., Quirt, J., Whall, J., Tayloer, E., Kuiper, A., Troffe, P.M., Wong, C., Scholten, G., Zimmerman, M., Epp, P., Jensen, V., Finnegan, R. 1999. Okanagan Lake Action Plan Year 3 (1998-99) Report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 78. Fisheries Management Branch, Ministry of Fisheries, Province of British Columbia.
- Askey, P., Andrusak, H. 2008. Okanagan Lake kokanee food habits- Do mysids (*Mysis relicta*) contribute to the kokanee diet. Pp 237-246 in Andrusak, H., G. Andrusak, S. Matthews, A. Wilson, T. White, P. Askey, D. Sebastian, G. Scholten, P. Woodruff, J. Webster, L. Vidmanic, J. Stockner 2008. Okanagan Lake Action Plan Years 11 (2006) and 12 (2007) Report. Province of British Columbia, Fisheries Project Report No. 123, Ecosystems Branch, Ministry of Environment, Province of British Columbia.
- Askey, P.J., Johnston, N.T. 2013. Self-regulation of the Okanagan Lake kokanee recreational fishery: Dynamic angler effort response to varying fish abundance and productivity. N. Am. J. Fish. Manage, 33(5), pp. 926-939.

-
- Askey, P.J. 2016. Managing Dynamic Fisheries with Static Regulations: An Assessment of Size-Graded Bag Limits for Recreational Kokanee Fisheries. *N. Am. J. Fish. Manage.* 36(2), pp. 241-253.
- Bassett, M., Schindler, E.U., Johner, D., Weir, T., Sebastian, D., Vidmanic L., Ashley, K.I. 2016. Kootenay Lake restoration program year 22 (North Arm) and year 10 (South Arm) (2013) report. Fisheries Project Report No. RD. 149.
- Beauchamp, D.A., Larivierre, M.G., Thomas, G.L. 1995. Evaluation of competition and predation as limits to juvenile kokanee and Sockeye Salmon production in Lake Ozette, Washington. *N. Am. J. Fish. Manage.* 15: 193-207, DOI: 10.1577/1548-8675(1995)015<0193:EOCAPA>2.3.CO:2.
- Bouchard, R., Kennedy, D.I.D. 1975. Utilization of fish by the Colville Indian people. Unpublished Ms of the British Columbia Indian Language Project, Victoria, B.C.
- Bradford, M.J., Lovy, J., Patterson, D.A., Speare, D.G., Bennett, W.R., Stobbart, A.R., Tovey, C.P. 2010. [Parvicapsula minibicornis infections in gill and kidney and the premature mortality of adult sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) from Cultus Lake, British Columbia.](#) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2010, 67(4): 673-683. (Consulté le 15 janvier 2018).
- Burgner, R.L. 1991. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). University of British Columbia Press, Vancouver.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- Craig, J.K., Foote, C.J. 2001. Countergradient variation and secondary sexual color: phenotypic convergence promotes genetic divergence in carotenoid use between sympatric anadromous and nonanadromous morphs of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Evolution* 55: 380-391.
- Dolighan, R.B., Weir, T., Sebastian, D., Hume, J., Shortreed, K. 2012. Interactions between sockeye salmon, kokanee and piscivorous rainbow trout populations in Quesnel Lake, British Columbia. Stock Management Report No. 39. Province of British Columbia.
- Evelyn, T., Lawrence, S. 2003. OBJECTIVE 1 Disease Risk Assessment. Contribution No. 1 to an evaluation of an experimental re-introduction of sockeye salmon into Skaha Lake year 3 of 3. Presented to Colville Confederated Tribes. 78 pp.
- Frazer, K.K., Russello, M.A. 2013. Lack of parallel genetic patterns underlying the repeated ecological divergence of beach and stream-spawning Kokanee salmon. *J. Evol. Biol.* 26: 2606-2621.
- Fryer, J.K. 1995. Columbia Basin Sockeye Salmon: Causes of their past declines, factors contributing to their present low abundance, and future outlook. PhD Thesis, University of Washington, Seattle.
- Godbout, L., Wood, C.C., Withler, R.E., Latham, S., Nelson, R.J., Wetzel, L., Barnett-Johnson, R., Grove, M.J., Schmitt, A.K., McKeegan, K.D. 2011. Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) return after an absence of nearly 90 years: A case of reversion to anadromy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 1590-1602.
- Hendry, A.P. 2009. Ecological speciation! Or the lack thereof? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 1383-1398.
- Hume, J.M.B., Shortreed, K.S., Morton, K. 1996. Juvenile sockeye rearing capacity of three lakes in the Fraser River system. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 719-733.

-
- Hyatt, K.D., Stockner, J.G. 1985. Responses of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) to fertilization of British Columbia coastal lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 320-331.
- Hyatt, K.D., Rankin, D.P. 1999. A habitat based evaluation of Okanagan Sockeye Salmon escapement objectives. PSARC Working Paper S99-18. Canada Department of Fisheries and Oceans, Pacific Science Advisory Review Committee, Pacific Biological Station, Nanaimo, BC.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., Rankin, P.D. 2003. Impact and adaptation responses of Okanagan River Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) to climate variation and change effects during freshwater migration: Stock restoration and fisheries management implications. *Can. Water Resour. J.* 28: 689-713.
- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Shortreed, K.S., Rankin, D.P. 2004. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) nursery lake fertilization. Review and summary of results. *Environ. Rev.* 12: 133-162.
- Hyatt, K.D., Ramcharan, C., McQueen, D.J., Cooper, K.L. 2005. Trophic triangles and competition among vertebrate (*Oncorhynchus nerka*, *Gasterosteus aculeatus*) and invertebrate (*Neomysis mercedis*) planktivores in Muriel Lake, British Columbia, Canada. *Ecoscience* 12(1): 11-26.
- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Rankin, D.P., Demers, E. 2011. Density dependent growth in juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Open Fish Sci. J.* 4: 49-61.
- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Rankin, D.P., Stockwell, M.M., Wright, H., Lawrence, S., Stevens, A. 2015a. Methods and summary data for limnology and food-web structure in Osoyoos Lake, B.C. (2005-2013). *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No.* 1258, 71 p.
- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Rankin, D.P., Stockwell, M.M., Wright, H., Lawrence, S., Stevens, A. 2015b. Methods and summary data for limnology and food-web structure in Skaha Lake, B. C. (2005-2013). *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No.* 1259, 76 p.
- Hyatt, K. D., D. J. McQueen, A. D. Ogden 2018. Have invasive mysids (*Mysis diluviana*) altered the capacity of Osoyoos Lake to produce Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*)? *Open Fish. Sci. J. [online serial]* 11: 3-28.
- Iwamoto, E.M., Myers, J.M., Gustafson, R.G. 2012. Resurrecting an extinct salmon evolutionarily significant unit: archived scales, historical DNA and implications for restoration. *Mol. Ecol.* 21: 1567-1582.
- Kent, M.L., Whitaker, D.J., Dawe, S.C. 1997. *Parvicapsula minibicornis* n. sp. (Myxozoa, *Myxosporea*) from the kidney of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) from British Columbia, Canada. *J. Parasitol.* 83: 1153-1156.
- Kieser, D., Harrower, B. 2003. Aquatic organism risk analysis: Reintroduction of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) to Skaha Lake, British Columbia. Prepared for the British Columbia Introductions & Transfers Committee.
- Lemay, M.A., Russello, M.A. 2012. Neutral loci reveal population structure by geography, not ecotype, in Kootenay Lake Kokanee. *N. Am. J. Fish. Manage* 32: 282-291. DOI: 0.1080/02755947.2012.676383.
- Lemay, M.A., Russello, M.A. 2015. Genetic evidence for ecological divergence in Kokanee salmon. *Mol. Ecol.* 24: 798-811. DOI: 10.1111/mec.13066.
-

-
- McClelland, E.K., Naish, K.A. 2007. What is the fitness outcome of crossing unrelated fish populations? A meta-analysis and an evaluation of future research directions. *Conserv. Genet.* 8: 397-416.
- McDaniel, T.R., Pratt, K.M., Meyers, T.R., Ellison, T.D., Follett, J.E., Burke, J.A. 1994. Alaska Sockeye Salmon Culture Manual. Special Publication No. 6., Alaska Department of Fish and Game, Commercial Fisheries Management Division, Juneau, Alaska, 99802-5526.
- McQueen, D., Hyatt, K.D., Stockwell, M., Wright, H., Bussanich, R., Stevens, A. 2013. Evaluation of the experimental introduction of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) into Skaha Lake and assessment of Sockeye rearing in Osoyoos Lake: Okanagan Aquatic Enterprises Ltd, Westbank, BC.
- McQueen, D., Hyatt, K., Wright, H., Bussanich, R., Stevens, A., Stockwell, M., Rankin, P. 2014. Evaluation of the experimental introduction of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) into Skaha Lake and Sockeye rearing in Osoyoos Lake: Synthesis of the first 8 years. Okanagan Nation Alliance Report for the Canadian Okanagan Basin Technical Working Group. 66 p.
- Moore, J.W., Schindler, D.E. 2004. Nutrient export from freshwater ecosystems by anadromous salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61(9): 1582-1589.
DOI: 10.1139/f04-103.
- Nichols, K.M., Kozfkay, C.C., Narum., S.R. 2016. Genomic signatures among *Oncorhynchus nerka* ecotypes to inform conservation and management of endangered Sockeye Salmon. *Evol. Appl.* 2016: 1-16.
- Northcote, T.G., Halsey, G., MacDonald., S.J. 1972. Fish as indicators of water quality in the Okanagan Basin lakes, British Columbia. Report No. 22, Canada-B.C. Okanagan Basin Agreement.
- Northcote, T.G. 1991. Success, problems and control of introduced mysid populations in lake and reservoirs *in* T. Nesler and E. Bergusen eds. *Mysids in Fisheries*, Am. Fish. Soc. Symp. No. 9.
- Parkinson, E.A., Hume, J.M., Dolighan, R., 1989. Size selective predation by rainbow trout on two lacustrine *Oncorhynchus nerka* populations. Province of British Columbia, Ministry of Environment.
- Rae, R. 2005. The state of fish and fish habitat in the Okanagan and Similkameen basins. Prepared for the Canadian Okanagan Basin Technical Working Group (COBTWG), Westbank, B.C. 110 p. Available from the COBTWG Secretariat, Westbank, B.C.
- Raverty, S., Kieser, D., Bagshaw, J., St-Hilaire, S. 2000. Renal infestation with *Parvicapsula minibicornis* in wild sockeye salmon from the Harrison and Adams rivers in British Columbia. *Can. Vet. J.* 41: 317-318.
- Ribble, C., Stitt, T. 2016. Okanagan River Sockeye Epidemiology Project: Final Report. Prepared for Okanagan Nation Aquatic Enterprises Ltd and Department of Fisheries and Oceans Canada. Available upon request from the authors at Vancouver Island University, Department of Biology, Nanaimo, BC.
- Rieman, B.E., Myers, D.L. 1992. Influence of fish density and relative productivity on growth of kokanee in ten oligotrophic lakes and reservoirs in Idaho. *Trans. Am. Fish. Soc.* 121: 178-191.
- Ricker, W.E. 1940. On the origin of kokanee, a fresh-water type of sockeye salmon. *Trans. R. Soc. Can.* 34: 121-135.

-
- Schindler, D.E., Carter, J.L., Francis, T.B., Lisi, P.J., Askey, P.J., Sebastian, D.C. 2012. *Mysis* in the Okanagan Lake food web: A time-series analysis of interaction strengths in an invaded plankton community. *Aquat. Ecol.* 46: 215-227. DOI: 10.1007/s10452-012-9393-0.
- Schoen, E.R., Beauchamp, D.A., Buettner, A.R., Overman, N.C. 2015. Temperature and depth mediate resource competition and apparent competition between *Mysis diluviana* and kokanee. *Ecol. Appl.*, 25(7), pp.1962-1975.
- Scott, W.B., Crossman, E.J. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Bulletin 184, Office des recherches sur les pêcheries du Canada, Ottawa. 1026 p.
- Selbie, D.T., Sweetman, J.N., Etherton, P., Hyatt, K.D., Rankin, D.P., Finney, B.P., Smol, J.P. 2011. Climate change modulates structured and functional lake ecosystem responses to introduced anadromous salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 675-692.
- Shedd, K.R., von Hippel, F.A., Willacker, J.J., Hamon, T.R., Schlei, O.L., Wenburg, J.K., Miller, J.L., Pavey, S.A. 2015. Ecological release leads to novel ontogenetic diet shift in kokanee (*Oncorhynchus nerka*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 1718-1730.
- Shepherd, B. 1996. "History Mystery" Solved! Draft report of B. C. Environment, Okanagan Sub-region Fisheries Section, 3547 Skaha Lake Road, Penticton, B.C.
- Taylor, E.B., Harvey, S., Pollard, S., Volpe, J. 1997. Postglacial genetic differentiation of reproductive ecotypes of Kokanee *Oncorhynchus nerka* in Okanagan Lake, British Columbia. *Mol. Ecol.* 6, p. 503-517.
- Taylor, E.B., Boughman, J.W., Groenenboom, M., Sniatynski, M., Schluter, D., Gow, J.L. 2006. Speciation in reverse: morphological and genetic evidence of the collapse of a three-spined Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) species pair. *Mol. Ecol.* 15: 343-355.
- Utter, F. 2000. Patterns of subspecific anthropogenic introgression in two salmonid genera. *Rev. Fish Biol. Fish.* 10: 265-279.
- Utter, F.M. 2001. Patterns of subspecific anthropogenic introgression in two salmonid genera. *Rev. Fish Biol. Fish.* 10: 265-279.
- Veale, A.J., Russello, M.A. 2016. Sockeye salmon repatriation leads to population re-establishment and rapid introgression with native kokanee. *Evol. Appl.* 9: 1301-1311.
- Walters, C.J. 1995. Model for Kokanee populations responses to changes in lake carrying capacity. Contract report to the Fisheries Research and Development Section, Fisheries Branch, Province of BC. 5 pp.
- Wellborn, G.A., Langerhans, R.B. 2015. Ecological opportunity and the adaptive diversification of lineages. *Ecol. Evol.* 5: 176-195.
- Whall, J.D., Lasenby, D.C. 2009. Differences in the trophic role of *Mysis diluviana* in two intermontane lakes. *Aquat. Biol.* 5: 2818-292.
- Wilson, B. 2011. Okanagan-Similkameen fisheries. *Archivos: Quarterly Journal of the Okanagan Archive Trust Society* Volume 2, Issue 1. 23 pp.
- Winans, G.A., Pollard, S., Kuligowski, D.R. 2003. Two reproductive life history types of Kokanee, *Oncorhynchus nerka*, exhibit multivariate morphometric and protein genetic differentiation. *Environ. Biol. Fishes* 77: 87-100.
- Webster, J. 2015. Enumeration and biological sampling of stream spawning kokanee from the Okanagan basin's main lakes, 2014. Report prepared by Chara Consulting for B.C. Ministry of Forests, Lands and Natural resource Operations, Feb 2015, Penticton, B.C.

Wood, C.C., Bickham, J.W., Nelson, R.J., Foote, C.J., Patton, J.C. 2008. Recurrent evolution of life history ecotypes in Sockeye Salmon: implications for conservation and future evolution. *Evol. Appl.* 1: 207-221.