



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2023/009

Région du Pacifique

Lignes directrices pour la définition des points de référence limites pour les unités de gestion des stocks de saumons du Pacifique

Carrie. A. Holt¹, Kendra Holt², Luke Warkentin¹, Catarina Wor¹, Brendan Connors²,
Sue Grant³, Ann-Marie Huang³, Julie Marentette⁴

¹Station biologique du Pacifique

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

²Institut des sciences de la mer

Pêches et Océans Canada, 9860 chemin W Saanich
Sidney (C.-B.) V8L 4B2

³Bureau régional de l'île d'Annacis

Pêches et Océans Canada, 3-100 promenade Annacis
Delta (C.-B.) V3M 6A2

⁴Administration centrale nationale

Pêches et Océans Canada, Ottawa (Ont.)

Avant-propos

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

Publié par:

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

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



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, 2023

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-46976-8 N° cat. Fs70-5/2023-009F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Holt, C.A., Holt, K., Warkentin, L., Wor, C., Connors, B., Grant, S., Huang, A.-M., et Marentette, J. 2023. Lignes directrices pour la définition des points de référence limites pour les unités de gestion des stocks de saumons du Pacifique. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/009. iv + 79 p.

Also available in English:

Holt, C.A., Holt, K., Warkentin, L., Wor, C., Connors, B., Grant, S., Huang, A.-M., and Marentette, J. 2023. Guidelines for Defining Limit Reference Points for Pacific Salmon Stock Management Units. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/009. iv + 66 p.

TABLEAU DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
1. INTRODUCTION	1
1.1. CONTEXTE	1
1.2. OBJECTIFS, COMPOSANTES ET PORTÉE DU DOCUMENT DE RECHERCHE	6
2. EXAMEN DES POINTS DE RÉFÉRENCE ET DE LEURS RÔLES POUR LE SAUMON DU PACIFIQUE	9
2.1. INDICATEURS ET POINTS DE RÉFÉRENCE POUR LES SAUMONS DU PACIFIQUE	9
2.2. RÔLES DES PRL AU CANADA	11
3. PRINCIPES POUR L'ÉLABORATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)	13
3.1. PRINCIPES	13
3.2. APPLICATION DES PRINCIPES À L'ÉLABORATION DES PRL	15
4. MÉTHODES PROPOSÉES DE DÉTERMINATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL) POUR LE SAUMON DU PACIFIQUE	16
4.1. CONTRIBUTION DES ÉCLOSERIES	17
4.2. ESTIMATION DE L'ÉTAT DES UC	21
4.3. ESTIMATION DES PRL	24
5. LIGNES DIRECTRICES POUR L'APPLICATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)	35
5.1. APPROCHE ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR LA SÉLECTION DES PRL	35
6. DISCUSSION	52
6.1. PRINCIPALES INCERTITUDES AYANT UNE INCIDENCE SUR LES ESTIMATIONS DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)	52
6.2. INCIDENCE DE L'ABSENCE D'UC SUR L'ÉTAT AU NIVEAU DE L'UGS	56
6.3. RECHERCHES FUTURES	57
7. REMERCIEMENTS	61
8. RÉFÉRENCES CITÉES	63
ANNEXE A. ÉTUDES DE CAS	72
ANNEXE B. RESSOURCES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)	77
ANNEXE C. MÉTA-ANALYSE DES CORRÉLATIONS DANS L'ABONDANCE DES GÉNITEURS ENTRE LES UNITÉS DE CONSERVATION (UC) AU SEIN DES UNITÉS DE GESTION DES STOCKS (UGS)	78

RÉSUMÉ

Les points de référence limites (PRL) définissent l'état du stock en deçà duquel on s'attend à ce que le stock subisse des dommages graves. Les PRL sont requis pour les principaux stocks de poissons, ou unités de gestion des stocks (UGS), qui sont prescrits par règlement en vertu des modifications apportées à la *Loi sur les pêches* (2019) du Canada. Les saumons du Pacifique sont uniques parmi les stocks de poissons marins en raison de leur haut niveau de diversité intraspécifique, ce qui donne lieu à un large éventail de données disponibles, de considérations et d'approches pour les évaluations et l'élaboration du PRL. Dans ce document, nous présentons six principes pour l'élaboration de PRL pour le saumon du Pacifique, qui sont adaptés de principes utilisés plus largement parmi les espèces marines. Un principe propre au saumon du Pacifique est que les PRL doivent être harmonisés avec l'objectif de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) du Canada de préserver la biodiversité du saumon à l'échelle des unités de conservation (UC), qui sont souvent imbriquées dans les UGS. Nous avons élaboré des méthodes de calcul des PRL et établi des lignes directrices sur la manière de les mettre en œuvre, y compris les conditions dans lesquelles elles doivent ou ne doivent pas être appliquées. Nous proposons que les PRL soient déterminés à partir de la proportion d'UC dont l'état est supérieur à la zone rouge pour les évaluations de l'état prévues par la PSS, comme approche par défaut. Cela permet d'assurer une certaine cohérence avec les évaluations de l'état déjà produites dans le cadre de la PSS, et peut éclairer les décisions de gestion concernant la récolte, l'habitat et les écloséries qui se prennent souvent à des échelles plus fines, celles des UC. Pour compléter l'approche par défaut, nous fournissons des PRL fondés sur des mesures d'abondances agrégées (globales) pour l'ensemble de l'UGS, ce qui peut être nécessaire à des fins de gestion des pêches dans certains cas. Ces derniers PRL sont dérivés pour avoir une probabilité souhaitée que toutes les UC composantes soient au-dessus de l'état rouge étant donné une relation supposée entre l'abondance globale et la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de l'état rouge. Nous cernons les incertitudes associées à chaque approche, et décrivons comment elles peuvent être appliquées à une gamme de types, de qualités et de quantités de données. Les analyses visant à soutenir l'élaboration de lignes directrices se sont appuyées sur trois études de cas : le saumon coho du Fraser intérieur *Oncorhynchus kisutch*, le saumon chinook de la côte ouest de l'île de Vancouver, *O. tshawytscha*, et le saumon kéta de la côte sud intérieure, *O. keta*, à l'exclusion du fleuve Fraser.

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

KEY POINTS :

- La *Loi sur les pêches* révisée comprend de nouvelles dispositions sur les stocks de poissons qui introduit l'obligation légale de déterminer des points de référence limites (PRL) pour les principaux stocks de poissons prescrits par règlement.
- Aux termes du cadre de l'approche de précaution du MPO, les PRL définissent l'état du stock en deçà duquel on s'attend à ce que le stock subisse des dommages graves.
- L'un des objectifs de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) du Canada est de préserver de la diversité génétique du saumon sauvage du Pacifique par le maintien et la protection des unités de conservation (UC), qui font l'objet d'évaluations biologiques dans le cadre de la PSS.
- La version révisée de la *Loi sur les pêches* indique qu'un seul PRL est nécessaire pour chaque stock de poisson important, défini comme unités de gestion des stocks (UGS) pour le saumon du Pacifique, qui sont des groupes d'UC gérées comme une unité pour atteindre un état commun.
- Cette disposition a créé le besoin d'élaborer des méthodes pour estimer des PRL aux fins de l'évaluation et de la gestion au niveau de l'UGS, tout en considérant la nécessité de maintenir les UC au sein d'une UGS au-dessus de leurs points de référence inférieurs dans le cadre de la PSS.

Les modifications apportées à la *Loi sur les pêches* (2019) du Canada comprennent de nouvelles dispositions sur les stocks de poissons qui introduisent l'obligation légale de gérer les stocks de manière à en favoriser la durabilité et d'éviter les PRL biologiques (MPO 2021a). Les dispositions exigent également des plans de rétablissement des stocks de poissons qui ont diminué jusqu'à un PRL ou en dessous de ce dernier, tout en tenant compte de la biologie du poisson et des conditions environnementales rencontrées par le stock. Ces obligations s'appliquent aux principaux stocks de poissons visés par règlement. Elles renforcent les politiques du MPO établies précédemment pour gérer les stocks conformément à l'approche de précaution. Il s'agit notamment du [Cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#) (MPO 2009a), également connu sous le nom de Cadre de l'approche de précaution du MPO au sein du [Cadre pour la pêche durable](#) et de la [Politique concernant le saumon sauvage](#) (MPO 2005) du Canada.

Aux termes du Cadre de l'approche de précaution du MPO, les PRL représentent l'état du stock en deçà duquel on s'attend à ce que le stock subisse des dommages graves. Les définitions de « dommage grave » dans la documentation du MPO ont tendance à se concentrer sur la productivité réduite, mais d'autres aspects des dommages graves sont parfois pris en compte (voir l'encadré gris ci-dessous, adapté de Marentette et al. (en préparation)¹).

¹Marentette, J.R., Barrett, T., Cogliati, K.M., Ings, D., Ladell, J., Thiess, M. Operationalizing Serious Harm : Existing Guidance and Contemporary Canadian Practices. Can. Sci Avis. Secr. Res. Doc. In prep.

1.1.1. Interprétations de la notion de dommage grave

Un dommage grave a été interprété comme tout changement des propriétés biologiques du stock qui fait que la croissance ou le rétablissement aux niveaux cibles cesse d'être considéré comme rapide et sécuritaire¹. Ces changements sont considérés comme difficiles à inverser^{2,3}, et peuvent être associés à ce qui suit :

- une baisse de la productivité¹⁻⁶ résultant de changements dans les processus biologiques tels que le recrutement, la croissance, la maturation et la survie^{1,4} ;
- une perte de résilience⁵ (une capacité réduite à se rétablir ou à se remettre d'une perturbation)⁶ ;
- un risque accru d'anticompensation ou d'effets Allee⁴ ; et/ou
- plus généralement, les états où la dynamique des populations cesse d'être bien comprise⁴.

Lorsque le stock atteint ce niveau, il peut également y avoir des répercussions sur l'écosystème et sur les espèces associées, ainsi qu'une diminution à long terme des possibilités de pêche. Les dommages graves peuvent être dus à la pêche, à une autre mortalité d'origine humaine ou à des changements dans la dynamique des populations sans rapport avec la pêche⁴.

¹(MPO 2016a) ; ²(Kronlund et al. 2018) ; ³(Shelton et Rice 2002) ; ⁴(MPO 2006) ; ⁵(Smith et al. 2012) ; ⁶(MPO 2009a)

La définition des dommages graves figurant dans le MPO (2009a) indique que les PRL doivent se situer *au-dessus* du niveau où l'on s'attend à ce que le dommage grave se produise, et non au niveau où il se produit, et que les pertes à long terme des possibilités de pêche peuvent se produire en dessous de ce niveau. Définir le niveau avant qu'un dommage grave ne soit causé à une espèce ou à un écosystème est un défi omniprésent, car le dommage n'est souvent pas détecté avant qu'il se produise (Hilborn et Walters 1992) et la dynamique des populations n'est pas bien comprise à de faibles tailles de population (MPO 2006 ; Keith et Hutchings 2012). En outre, cette définition des dommages graves inclut les répercussions possibles sur d'autres composants de l'écosystème, qui sont souvent difficiles à identifier en raison des données limitées et de la mauvaise compréhension des liens et de la dynamique des écosystèmes (mais voir Chagaris et al. 2020).

Le saumon du Pacifique est unique parmi les espèces de poissons marins en raison de son haut niveau de diversité intraspécifique, ce qui donne lieu à un large éventail de données disponibles, de considérations et d'approches pour les évaluations et l'élaboration du PRL. Ces différences nécessitent une orientation sur les méthodes de PRL qui soit propre au saumon du Pacifique, tout en étant cohérente avec les principes d'élaboration du PRL pour toutes les espèces (Marentette et al. en préparation).

La PSS du Canada représente la mise en œuvre par le MPO du cadre de l'approche de précaution pour le saumon du Pacifique. L'objectif de la PSS est de rétablir et maintenir des populations de saumon diversifiées et en bonne santé, ainsi que leur habitat, pour le bénéfice et le plaisir perpétuels des Canadiens (MPO 2005). L'un des objectifs de la PSS est de préserver la diversité génétique du saumon sauvage du Pacifique en maintenant et en protégeant les UC, une UC étant définie comme un « groupe de saumons sauvages suffisamment isolé des autres groupes qui, s'il disparaît, a très peu de chances de se recoloniser naturellement dans un délai acceptable, comme la durée d'une vie humaine ou un nombre précis de générations de saumons » (MPO 2005).

La diversité génétique et phénotypique entre les UC est importante, car elle permet de diversifier les réponses aux menaces et aux facteurs environnementaux, contribuant ainsi à la durabilité des espèces et des services écosystémiques qu'elles fournissent (Price et al. 2021). Il a été démontré que les effets de portefeuille atténuent l'écart interannuel des abondances au niveau des agrégats en raison de la dynamique indépendante des populations ou des UC qui les composent (Schindler et al. 2010). La diversité des populations et des cycles biologiques peut protéger les espèces de la variabilité environnementale et contribuer à la stabilité à long terme grâce à des réponses différentes aux changements environnementaux. Cependant, une détérioration des effets de portefeuille a été observée pour le saumon du Pacifique au Canada en raison de tendances synchrones à la baisse des abondances liées aux changements climatiques et aux habitats marins et d'eau douce, ainsi qu'aux pratiques de pêche dans le cadre desquelles on a indiqué une surpêche historique des faibles populations (Price et al. 2021).

Dans le cadre de la PSS, l'état des UC individuelles est déduit en comparant les indicateurs d'état aux repères biologiques délimitant trois zones : vert, ambre et rouge. Ces zones représentent une préoccupation croissante en matière de conservation, du vert au rouge, nécessitant une intervention de gestion croissante. Le point de référence inférieur, qui délimite les zones rouge et ambre, est censé se situer au niveau permettant de « garantir qu'il y a une zone tampon substantielle entre ce niveau et tout autre niveau d'abondance qui pourrait amener à conclure qu'une UC est considérée en péril ou menacée de disparaître selon le COSEPAC », le COSEPAC étant le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (MPO 2005 ; Holt et al. 2009). En pratique, les UC de la zone rouge de la PSS ont tendance à s'harmoniser avec les statuts « menacé » ou « en voie de disparition » du COSEPAC, et la zone verte avec les catégories du COSEPAC correspondant au statut « non en péril ».

1.1.2. Échelles spatiales d'évaluation

Le saumon possède une structure hiérarchique complexe de populations qui s'étend des espèces taxonomiques aux dèmes locaux ou aux lieux de fraie (fig. 1). Les UC sont imbriquées dans les espèces taxonomiques et les principales variantes du cycle biologique, comme le type d'océan et le type de cours d'eau pour le saumon chinook, *Oncorhynchus tshawytscha*, et les populations sont imbriquées dans les UC (MPO 2005). Alors que les évaluations du saumon du Pacifique dans le cadre de la PSS se sont concentrées sur l'établissement de points de référence pour les UC de saumon individuelles (MPO 2005), la version révisée de la *Loi sur les pêches* indique qu'un seul PRL est nécessaire pour chaque stock de poisson principal (MPO 2021a). Dans le contexte du saumon du Pacifique, les principaux stocks de poissons sont définis comme des UGS, qui sont des groupes d'UC gérées comme une unité pour atteindre un état commun (MPO 2021b). La délimitation des UGS était en partie une réponse à l'exigence nationale de délimiter les principaux stocks de saumon du Pacifique prévue par la *Loi sur les pêches*. Cette disposition a créé le besoin d'élaborer des méthodologies pour estimer les PRL pour l'évaluation et la gestion des pêches au niveau de l'UGS, tout en considérant la nécessité de maintenir toutes les UC au sein d'une UGS dans les zones ambre ou verte, c'est-à-dire au-dessus de l'état rouge.

En plus des raisons biologiques intrinsèques de l'évaluation de l'état à l'échelle de l'UC, cette échelle est également pertinente pour diverses utilisations et activités de gestion du saumon du Pacifique, par exemple les pêches locales ou terminales, les pêches à des fins alimentaires, sociales et rituelles, la mise en valeur des écloséries, ainsi que la restauration et la planification des bassins hydrographiques (fig. 1). Alors que les dispositions relatives aux stocks de poissons concernent les pêches à des échelles pertinentes pour la gestion des récoltes marines, pour de nombreuses UGS, ces pêches ont été restreintes au cours des dernières décennies (Grant

et al. 2020b), de sorte que la gestion de l'habitat et des écloséries joue un rôle de plus en plus dominant dans les réponses de gestion. L'utilisation du saumon à des fins alimentaires, sociales et rituelles par les Premières Nations se fait à diverses échelles, souvent au sein des UC au niveau des populations ou des lieux de fraie précis. En outre, les menaces et les mesures d'intervention de gestion s'étendent à des échelles plus grandes, régionales ou globales de l'UGS, et entre les espèces, par exemple dans le cas des répercussions liées aux changements climatiques. Par conséquent, l'évaluation et la gestion des stocks sont nécessaires à une hiérarchie d'échelles spatiales allant de l'intérieur des UC aux échelles régionales, pour toutes les espèces.

Étant donné le cadre existant pour l'évaluation de la situation du saumon du Pacifique par UC (Holt et al. 2009) et l'intention similaire entre les PRL définis par le cadre de l'approche de précaution du MPO et les repères inférieurs en vertu de la PSS, la situation par rapport aux repères inférieurs peut être utilisée comme une approximation de la situation par rapport aux PRL, mais appliquée à l'échelle des UC au lieu des UGS. Le présent travail élargit les méthodes d'évaluation élaborées dans le cadre de la PSS en intégrant les états des UC au sein d'une UGS et en fournissant des conseils sur l'établissement des PRL à l'échelle des UGS de saumon du Pacifique. Bien que les UC soient imbriquées dans les UGS, le nombre d'UC dans chaque UGS varie selon les espèces de saumon. Par exemple, les UGS du saumon rouge, *Oncorhynchus nerka*, ont tendance à contenir un plus grand nombre d'UC que celles des autres espèces de saumon en raison des niveaux relativement élevés d'adaptation locale et de biodiversité parmi les populations de fraie, et de la petite échelle spatiale des UC du saumon rouge par rapport aux autres espèces.

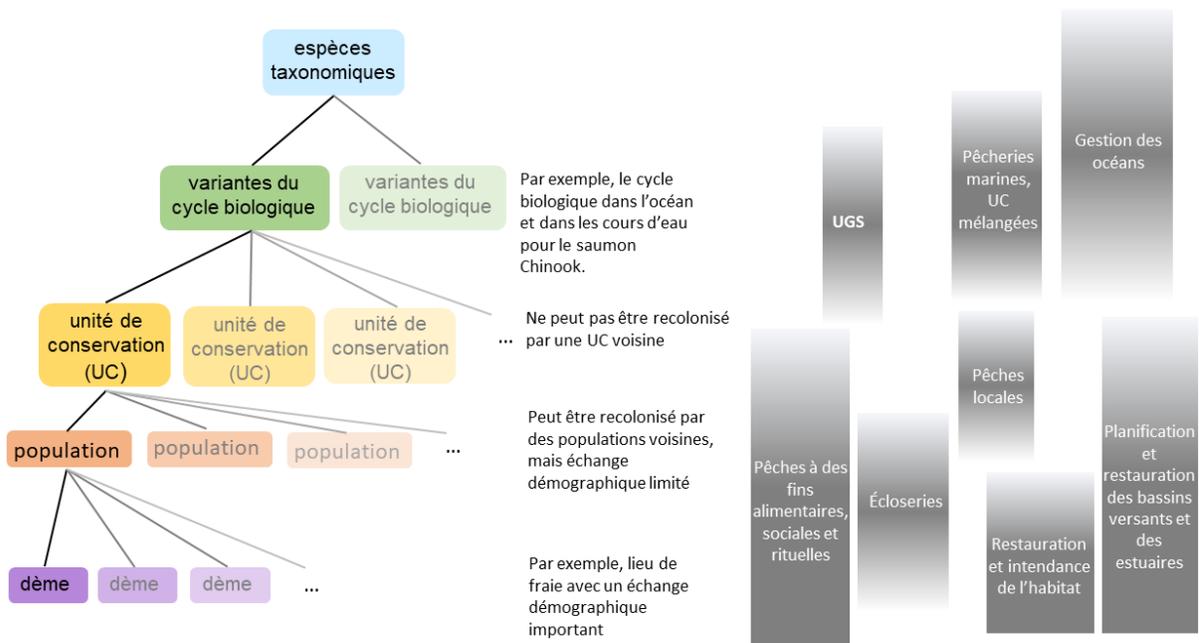


Figure 1. Schéma de la structure hiérarchique et imbriquée de la population de saumon du Pacifique (à gauche) avec les échelles spatiales des utilisations et des activités de gestion sélectionnées harmonisées avec ces échelles, y compris l'échelle de l'UGS (à droite).

Le cadre existant pour les évaluations des UC comprend la prise en compte de la répartition à petite échelle des géniteurs au sein des UC, par exemple au niveau des cours d'eau (MPO

2016b). Nous prenons également en compte la répartition des populations au sein des UC dans l'évaluation lorsqu'elle est considérée comme importante pour la durabilité de l'UC ou de l'UGS. La détermination d'échelles spatiales pertinentes au sein des UC lors de l'évaluation de l'état peut s'avérer difficile en raison de l'incertitude et de la variabilité temporelle de la dynamique des métapopulations et des répercussions de cette dynamique sur la viabilité à long terme, ce qui représente une source d'incertitude clé lors de la définition des PRL.

D'autres échelles spatiales d'évaluation et de gestion sont utilisées par des organismes autres que le MPO pour le saumon du Pacifique, notamment les unités désignables utilisées par le COSEPAC, qui s'harmonisent en grande partie avec les UC du MPO, et les groupes de stocks en vertu du Traité sur le saumon du Pacifique, qui cadrent dans une certaine mesure avec les UGS. Ces unités ne sont pas examinées plus avant ici. Bien que les PRL présentés soient destinés à être appliqués à l'échelle de l'UGS, ces méthodes pourraient également être appliquées à des échelles plus petites ou plus grandes pour éclairer diverses décisions de gestion.

Nous soulignons les recommandations précédentes visant à élaborer des processus de gestion intégrée où les objectifs de gestion (y compris ceux liés à la biodiversité et à la durabilité) et les mesures de gestion sont intégrés à l'ensemble des échelles biologiques et socio-économiques pertinentes, des secteurs et organes décisionnels (Withler et al. 2018). Surtout, Withler et al. (2018) recommande des systèmes de gestion qui répondent de manière adaptative aux états obtenus des évaluations périodiques à des échelles spatiales pertinentes.

1.2. OBJECTIFS, COMPOSANTES ET PORTÉE DU DOCUMENT DE RECHERCHE

PRINCIPAUX POINTS :

- Les objectifs de ce document de recherche sont résumés comme suit :
 - Élaborer des méthodes potentielles de détermination des PRL pour le saumon du Pacifique qui sont compatibles avec l'objectif de conservation de la biodiversité du PSS.
 - Documenter les méthodes potentielles d'élaboration des PRL, y compris les exigences en matière de données et les hypothèses.
 - Documenter les principales incertitudes qui ont une incidence sur les estimations du PRL.
 - Fournir des conseils et des recommandations sur l'application des méthodes potentielles relativement à un éventail de types et de disponibilités de données.
- Les sections du présent document sont les suivantes :
 - **Section 1.** Introduction : contexte et objectifs
 - **Section 2.** Un examen des points de référence et de leurs rôles pour le saumon du Pacifique
 - **Section 3.** Principes d'élaboration des PRL pour le saumon du Pacifique
 - **Section 4.** Méthodes proposées d'établissement des PRL pour le saumon du Pacifique
 - **Section 5.** Lignes directrices sur la mise en œuvre des PRL, y compris des recommandations concernant le choix d'utiliser ou non les méthodes potentielles de détermination des PRL.
 - **Section 6.** Recommandations sur les recherches futures
- Le présent document est axé sur l'estimation des PRL avec les lignes directrices correspondantes, et ne comprend pas une évaluation quantitative complète de ces PRL. Cette étape est incluse en tant que domaine important de recherche future.

1.2.1. Objectifs

Les objectifs du présent document de recherche décrits dans le cadre de référence sont les suivants :

- Mettre au point des méthodes possibles de détermination des PRL à l'échelle de l'UGS pour les saumons du Pacifique qui sont compatibles avec l'objectif de la PSS de conserver la biodiversité en maintenant les UC au-dessus des points de référence biologiques inférieurs. Ces méthodes possibles comprennent des PRL fondés sur l'état des UC visées et sur l'abondance agrégée dans plusieurs UC, et où les évaluations des UC pourront être élaborées au moyen d'approches multidimensionnelles ou à mesure unique, selon le cas. (Section 4)
- Documenter les méthodes potentielles de détermination de PRL à l'échelle des UGS, y compris les exigences et les hypothèses en matière de données. (Section 4 et annexe B). Plus de détails sont fournis dans Holt et al. (2023).
- Documenter les principales incertitudes qui influent sur les estimations du PRL pour chaque méthode envisagée, notamment les incertitudes découlant de données manquantes à l'échelle des UC. (Section 6)

-
- Fournir des conseils et des recommandations sur l'application des méthodes potentielles relativement à un éventail de types et de disponibilités de données. (Section 5)

1.2.2. Que contient le présent document de recherche ?

Le présent document de recherche aborde ces quatre objectifs, tandis que le document de recherche complémentaire (Holt et al. 2023) fournit une description plus détaillée et technique des méthodes possibles pour l'élaboration des PRL et démontre de manière plus complète leur mise en œuvre dans trois études de cas. Les résumés des méthodes sont inclus ici pour l'exhaustivité de ces directives.

En particulier, ce document comporte six sections :

1. Introduction
2. Un examen des points de référence et de leurs rôles pour le saumon du Pacifique
3. Principes d'élaboration des PRL pour le saumon du Pacifique
4. Une description des méthodes potentielles de détermination des PRL, avec plus de détails dans Holt et al. (2023). L'annexe A résume leur application à trois études de cas.
5. Lignes directrices sur la mise en œuvre des PRL, y compris des recommandations concernant le choix d'utiliser ou non chaque méthode potentielle de détermination des PRL.
6. Discussion des incertitudes et recommandations sur les recherches futures

Ce travail a été soutenu par un groupe de travail technique composé d'analystes du MPO et des Premières Nations ayant une expertise analytique en matière d'évaluation des stocks et du fondement biologique des dommages graves. Le groupe de travail technique n'était pas destiné à être un lieu de consultation ou à saisir les perspectives des parties prenantes et les objectifs socio-économiques. Bien que ces considérations soient pertinentes lors de l'élaboration de réponses de gestion aux évaluations de stocks, elles n'ont pas été jugées nécessaires pour l'élaboration de méthodes analytiques pour les PRL.

1.2.3. Portée

Bien que les PRL potentiels aient été évalués dans une certaine mesure au moyen d'analyses de sensibilité et d'analyses rétrospectives, une évaluation plus rigoureuse par simulation en boucle fermée des PRL potentiels, qui dépassait la portée des deux documents de recherche, est recommandée comme prochaine étape. De plus, nos applications des méthodes de PRL aux études de cas ne sont données qu'à titre d'exemple et ne constituent pas une estimation officielle des PRL pour ces UGS. D'autres méthodes de PRL pourraient être élaborées à l'avenir, selon les principes clés décrits ici (section 3).

Les processus de population qui varient dans le temps, tels que les changements de productivité, ont une incidence importante sur les points de référence biologiques, les PRL et l'évaluation par rapport aux PRL. Bien que nous décrivions certaines approches récentes pour prendre en compte ces répercussions dans la section 6, un examen et une évaluation complets des répercussions des paramètres variables dans le temps sur les PRL dépassent le cadre de cette étude. Ce thème est un domaine important pour les futurs travaux de recherche.

Lors de l'élaboration des PRL, nous suivons les recommandations de Withler et al. (2018) pour retirer les populations influencées par les écloséries des évaluations biologiques dans le cadre de la PSS lorsque la production des écloséries prédomine sur la production naturelle, comme il est décrit dans la section 4. En suivant les évaluations récentes de la PSS, nous avons également

retiré l'influence démographique de la production des écloséries des séries chronologiques d'abondance lorsque des données sur la proportion de poissons d'écloserie par rapport aux poissons d'origine naturelle dans les frayères étaient disponibles dans nos études de cas. Une évaluation des méthodes permettant d'estimer la proportion de géniteurs issus d'écloséries ou de les prendre en compte dans les évaluations biologiques dépassait le cadre de cette étude.

Nous suivons ici la recommandation de Holt et al. (2009) d'évaluer l'état des UC à l'aide de plusieurs mesures, et nous avons mis en œuvre cette approche en utilisant l'outil, soit l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique (ou l'explorateur des saumons), documenté dans Pestal et al. (en préparation)². L'explorateur des saumons a été créé à partir de la mise en œuvre d'évaluations officielles, revues par les pairs, de la PSS pour les UC de saumon du Pacifique au Canada (section 4). Un examen par les pairs de l'explorateur des saumons est prévu pour 2022 et dépasse le cadre du présent document.

Les décisions concernant la hiérarchisation des UC pour une intervention de gestion au sein d'une UGS dépassaient également notre champ d'action, et nécessitent une discussion plus large avec les gestionnaires, les Premières Nations et les intervenants. Il s'agit notamment d'évaluer les coûts et les avantages de la conservation des UC individuelles compte tenu de leur vulnérabilité différentielle au changement climatique ou à d'autres menaces.

Si l'un des rôles des PRL est de déclencher l'élaboration de plans de rétablissement en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons, le contenu et la mise en œuvre des plans de rétablissement dépassent le cadre du présent document. Un examen complet de la façon dont les PRL peuvent être intégrés dans les processus de gestion du saumon en dehors des dispositions sur les stocks de poissons (p. ex. y compris la gestion de l'habitat et des écloséries) dépasse également notre portée et constitue une lacune qui mérite une discussion plus approfondie. Nous soulignons quelques rôles possibles pour les PRL dans la section 2.2. Enfin, nous ne révisons pas la définition actuelle de « grand stock de poisson » en tant qu'UGS pour le saumon du Pacifique en vertu des dispositions sur les stocks de poisson.

²Pestal, G., MacDonald, B, Grant, S, and Holt, C. Rapid Status Approximations from Integrated Expert Assessments Under Canada's Wild Salmon Policy. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. In prep.

2. EXAMEN DES POINTS DE RÉFÉRENCE ET DE LEURS RÔLES POUR LE SAUMON DU PACIFIQUE

2.1. INDICATEURS ET POINTS DE RÉFÉRENCE POUR LES SAUMONS DU PACIFIQUE

PRINCIPAUX POINTS :

- Les points de référence limites (PRL) ont été largement adoptés dans les pêches canadiennes.
- Les PRL peuvent être déterminés en plus de différents indicateurs, et ces indicateurs peuvent être classés en tant que paramètres naturels, substituts de paramètres naturels ou composites de paramètres.
- Dans le cadre de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) du Canada, un ensemble de paramètres (« approche multidimensionnelle ») est utilisé dans les évaluations de l'état des stocks, y compris des mesures sur l'abondance actuelle des géniteurs, les tendances à court et à long terme de l'abondance et la répartition de la reproduction, entre autres.
- Pêches et Océans Canada (MPO) a récemment mis au point l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique, un outil qui permet de reproduire rapidement l'approche multidimensionnelle des évaluations du saumon.
- Dans certains cas, des approches à un seul paramètre dans lesquelles l'abondance des géniteurs est comparée à un point de référence basé sur l'abondance ont été utilisées comme approximations de l'état dans le cadre de la PSS.

Les PRL sont courants dans l'évaluation et la gestion des pêches marines où ils sont utilisés, entre autres, pour déterminer et communiquer la situation, comme composantes des objectifs, et pour déclencher des changements dans les taux de récolte (Kronlund et al. 2021 ; Marentette et al. 2021) (Section 2.2). Les PRL ont été largement adoptés dans les pêches canadiennes. Une étude basée sur un relevé portant sur 177 stocks canadiens, à l'exclusion des salmonidés et des stocks transfrontaliers, a révélé qu'un PRL avait été adopté pour 58 % d'entre eux, mais que les méthodes utilisées pour estimer le PRL variaient considérablement d'un stock à l'autre (Marentette et al. 2021).

Les PRL et les indicateurs d'état peuvent être catégorisés de manière à démontrer la diversité des approches disponibles pour les types de données et les cycles biologiques des espèces. En particulier, les PRL peuvent être dérivés de relations théoriques (p. ex. points de référence fondés sur le stock-recrutement), de modèles historiques (p. ex. abondance à partir de laquelle un rétablissement a été observé dans le passé) ou d'analyses empiriques sur les abondances ou les caractéristiques du cycle biologique (Marentette et al. en préparation). Pour les espèces de poissons marins, les PRL sont généralement estimés comme un niveau minimum de biomasse reproductrice (ou valeur de substitution) qui ne doit pas être dépassé (Shelton et Rice 2002 ; Kronlund et al. 2018 ; Marentette et al. 2021). MPO (2009a) indique des indicateurs supplémentaires, tels que les indices de taux de capture, les profils de taille et d'âge et les sex-ratios, qui « peuvent et doivent être pris en considération pour définir un dommage grave et orienter la prise de décision concernant l'état des stocks » (MPO 2009a). En général, les indicateurs de l'état peuvent être catégorisés comme étant des mesures naturelles (p. ex. l'abondance totale ou d'autres caractéristiques biologiques ou de population), un substitut d'une mesure naturelle (p. ex. l'abondance des stocks indicateurs) ou un composite d'indicateurs qui combinent

l'information sur plusieurs dimensions ou mesures biologiques de l'état (Marentette et al. en préparation).

L'approche composite ou multidimensionnelle de l'évaluation de l'état, parfois appelée approche des « feux de circulation » (Shelton et Rice 2002), est particulièrement utile lorsque les paramètres théoriques ou historiques basés sur l'abondance ne sont pas estimables ou applicables, ou lorsque les données sont limitées (Dowling et al. 2015). Les approches multidimensionnelles permettent de prendre en compte de nombreuses sources de données, y compris souvent des connaissances spécialisées, afin d'intégrer des paramètres contradictoires dans les évaluations. Par exemple, des points de référence multidimensionnels ont été appliqués au crabe des neiges, *Chionoecetes opilio*, au Canada, où les données sur les captures par unité d'effort, les pontes et les rejets sont intégrées dans les évaluations des stocks (Mullowney et al. 2018). Les approches multidimensionnelles peuvent également être utiles pour remédier aux disparités d'échelles entre les stocks biologiques, l'unité de gestion et l'échelle spatiale de la collecte de données, lorsque les mesures saisissent des processus à diverses échelles. Ces décalages d'échelle ne sont pas rares chez les espèces marines, en particulier chez les invertébrés et les espèces de salmonidés (MPO 2016a ; Mullowney et al. 2020). Ils peuvent créer des difficultés lors de la détermination des PRL à l'échelle des principaux stocks (MPO 2021a), et peuvent rendre les états indésirables des populations de poissons difficiles à détecter et à atténuer.

Les méthodes d'estimation des points de référence pour le saumon du Pacifique sont diverses, et tirent souvent parti de son cycle biologique sémelpare et anadrome, des limites de sa capacité en eau douce et d'autres caractéristiques de la population (Chaput et al. 2012 ; Portley et Geiger 2014). Dans le cadre de la PSS du Canada, les évaluations de l'état intègrent des données sur de nombreux indicateurs ou paramètres représentant différentes caractéristiques de la population, notamment l'abondance actuelle des géniteurs, les tendances à court et à long terme de l'abondance, la répartition de la fraie et la mortalité par pêche par rapport à la productivité de la population (Holt et al. 2009). Des valeurs de référence sont établies pour chaque paramètre et une estimation multidimensionnelle globale de l'état de l'unité de conservation (UC) est obtenue en intégrant l'état aux paramètres (Grant et Pestal 2013 ; MPO 2015 ; MPO 2016b ; Grant et al. 2020a). Un avantage de cette approche est que les UC manquant de données pour un paramètre peuvent toujours être évaluées par rapport aux autres paramètres, ce qui rend le cadre applicable à une gamme relativement large de types de données et donc d'UC. Des processus dirigés par des experts pour intégrer des paramètres souvent contradictoires dans le cadre multidimensionnel ont été mis en œuvre pour de nombreuses UC de saumon du Pacifique au Canada, comme le saumon rouge du fleuve Fraser (Grant et al. 2012, 2020a ; Grant et Pestal 2013), le saumon coho du Fraser intérieur, *Oncorhynchus kisutch* (MPO 2015), et le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique (MPO 2016b). Toutefois, la mise en œuvre à grande échelle et en temps voulu de ces processus dirigés par des experts peut s'avérer difficile en raison de la forte demande de temps et de ressources humaines en jeu. Selon les cohérences qui ont émergé des évaluations où l'intégration de plusieurs paramètres a été appliquée, Pestal et al. (en en préparation) ont élaboré un algorithme pour reproduire approximativement l'état global selon la PSS en combinant ces paramètres dans un arbre de décision, à l'échelle des UC. Cet algorithme a été intégré à l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique, puis vérifié par des experts locaux en évaluation et testé avec des UC « hors échantillon » non incluses dans la formulation originale (Pestal et al. en préparation).

Dans certains cas, des approches à mesure unique dans lesquelles l'abondance des géniteurs est comparée à un point de référence basé sur l'abondance ont été utilisées comme approximations de l'état selon la PSS, à la fois par des organisations externes au MPO (Commission 2016 ;

Pacific Salmon Foundation 2020) et, à l'occasion, au sein du MPO (p. ex. le saumon rouge de Barkley, Chaput et al. 2012). L'un des points de référence inférieurs recommandés sur l'abondance des géniteurs dans le cadre de la PSS du Canada est $G_{\text{gén}}$, l'abondance qui permet le rétablissement au G_{RMD} en une génération de saumon dans des conditions d'équilibre (Holt 2009). Des points de référence sur l'abondance des géniteurs dans des contextes où les données sont limitées ont également été indiqués en reconnaissance du fait que les données requises pour estimer les points de référence basés sur le rapport géniteurs-recrues ne sont souvent pas disponibles (par exemple, Parken et al. 2006, section 4.2). Les repères biologiques dans le cadre de la PSS se distinguent des déclencheurs dans les règles de contrôle des prises qui intègrent des considérations socio-économiques supplémentaires en plus des considérations biologiques (Holt et Irvine 2013).

2.2. RÔLES DES PRL AU CANADA

PRINCIPAUX POINTS :

- Les rôles des PRL pour les stocks de poissons marins au Canada sont notamment les suivants :
 - déclencher des plans de rétablissement conformément aux dispositions relatives aux stocks de poissons ;
 - communiquer les risques pour la conservation aux décideurs et au public ;
 - éclairer les décisions de gestion concernant les pêches dans le cadre d'objectifs mesurables ou de points de contrôle opérationnels ;
 - en tant que composante des paramètres de rendement dans un cadre de procédures de gestion.
- La détermination des PRL est la responsabilité de la Direction des sciences du MPO.
- Pour le saumon du Pacifique, l'application des PRL a été limitée, car la gestion des pêches repose souvent sur un large éventail de décisions de gestion prises à différentes échelles spatiales (p. ex. objectifs d'échappée au niveau des cours d'eau, fermetures spatio-temporelles, limites d'exploitation des complexes de stocks).

Pour les stocks de poissons marins au Canada, les PRL jouent plusieurs rôles, notamment celui de déclencher des plans de rétablissement conformément au cadre de l'approche de précaution du MPO (MPO 2009a) et de la *Loi sur les pêches*, de communiquer les risques pour la conservation aux décideurs et au public, et d'éclairer les décisions de gestion concernant les pêches. Par exemple, les PRL peuvent être utilisés dans le cadre d'objectifs mesurables et peuvent également être appliqués comme points de contrôle opérationnels, c'est-à-dire des points où des mesures de gestion sont déclenchées dans le cadre de règles de contrôle des prises. Un objectif de conservation pourrait être d'éviter les faibles niveaux de biomasse où l'on s'attend à ce que des dommages graves se produisent, ce qui peut se traduire par un objectif mesurable consistant à éviter que l'abondance des géniteurs soit inférieure à un PRL avec une forte probabilité (par exemple, 95 %) sur une période donnée. Cet objectif peut ensuite servir de base à l'établissement de points de contrôle opérationnels dans la règle de contrôle des prises. Cependant, il peut y avoir plusieurs points de contrôle opérationnels dans la règle de contrôle des prises et ceux-ci peuvent être établis de manière à atteindre une série d'objectifs biologiques et socio-économiques au-delà de ceux associés aux dommages graves, généralement par une diversité de gestionnaires, de Premières Nations et de parties prenantes. En revanche, la

Direction des sciences du MPO est chargée de déterminer les PRL en se fondant uniquement sur des considérations biologiques (MPO 2021a).

En outre, le PRL peut être utilisé comme mesure de rendement d'un cadre de procédure de gestion (ou d'une évaluation de stratégie de gestion) pour déterminer les procédures potentielles qui atteignent les objectifs de conservation (par exemple, une probabilité de 95 % de rester au-dessus d'un PRL pendant une période donnée) parmi d'autres objectifs (MPO 2021c). Cette approche tient compte explicitement d'une série d'incertitudes concernant la biologie du stock, la dynamique de la flotte, les observations des abondances et des âges à la montaison, et la mise en œuvre des décisions de gestion. L'évaluation par simulation des procédures de gestion est largement considérée comme une pratique exemplaire pour éclairer les décisions de gestion en cas d'incertitude (Punt et al. 2020). Pour les pêches dans lesquelles les procédures de gestion ont été testées par simulation, l'évaluation de l'état du stock par rapport à un PRL n'est pas nécessaire tant qu'il a été démontré que la procédure de gestion choisie permet d'atteindre les objectifs de conservation (et éventuellement d'autres objectifs) avec une gamme d'incertitudes (c'est-à-dire des scénarios modélisés) concernant la dynamique du stock et de la pêche. Un avantage de cette approche est qu'il n'est pas nécessaire d'indiquer un seul meilleur modèle sous-jacent (ou PRL) décrivant la dynamique de la population et de la flotte. Au contraire, les procédures de gestion peuvent être évaluées par rapport à une série de modèles ou d'hypothèses sous-jacentes plausibles.

Pour le saumon du Pacifique, l'application des PRL au niveau de l'unité de gestion des stocks (UGS) a été plus limitée. La gestion des pêches du saumon du Pacifique repose souvent sur un large éventail de décisions de gestion prises à différentes échelles spatiales (p. ex. objectifs d'échappée au niveau des cours d'eau, fermetures spatio-temporelles, limites d'exploitation sur les agrégats), plutôt que sur les PRL *en tant que tels*. De plus, l'application des cadres de procédures de gestion n'est pas courante pour le saumon du Pacifique où l'incidence des divers leviers de gestion et leurs interactions sont souvent difficiles à quantifier (par exemple, les écloséries et la récolte, voir cependant le modèle de l'évaluation des dommages admissible documenté par HSRG (Hatchery Scientific Review Group) 2009). Les rôles des PRL évolueront probablement pour le saumon du Pacifique au fil du temps, et un examen exhaustif dépasse la portée du présent document.

3. PRINCIPES POUR L'ÉLABORATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)

3.1. PRINCIPES

PRINCIPAUX POINTS :

- Les principes de détermination des PRL du saumon du Pacifique sont adaptés des directives nationales sur les PRL.
- **Principe 1.** Les PRL doivent être choisis en fonction des meilleures informations disponibles.
- **Principe 2.** Les PRL doivent être compatibles avec l'objectif d'éviter tout dommage grave.
- **Principe 3.** Les PRL doivent être opérationnels, c'est-à-dire calculables et pertinents pour le contexte stratégique et la gestion.
- **Principe 4.** Les PRL doivent être plausibles et pouvoir être estimés de manière fiable.
- **Principe 5.** Au moment de choisir entre plusieurs méthodes pour déterminer les PRL, il faut tenir compte de l'incertitude.
- **Principe 6.** Les PRL du saumon du Pacifique doivent être compatibles avec les buts et objectifs de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS).
- Ces principes visent à guider notre approche pour l'élaboration des PRL du saumon du Pacifique tout en offrant une certaine souplesse en raison des différences entre les espèces et les stocks de saumon pour ce qui touche les caractéristiques biologiques locales ainsi que la qualité des données et leur quantité.

Nous présentons ici les principes d'élaboration des PRL pour le saumon du Pacifique, adaptés de ceux développés pour les directives nationales sur les PRL (Marentette et al. en préparation). Ces lignes directrices permettent une certaine souplesse dans l'élaboration des PRL afin de respecter les différences dans les cycles biologiques des espèces et les types, quantités et qualités de données, et ne se veut pas prescriptive. En suivant des principes similaires, les PRL du saumon du Pacifique sont harmonisés avec les directives nationales.

Principe 1. Les PRL doivent être choisis selon les meilleures informations disponibles pour l'unité de gestion des stocks (UGS), y compris les signes de dommages graves, les données et les connaissances sur les processus biologiques sous-jacents, les connaissances autochtones et la comparaison avec des UGS similaires (Marentette et al. en préparation). Les critères d'évaluation des meilleures informations scientifiques élaborés pour les normes nationales américaines peuvent s'appliquer ici (« US Code of Federal Regulations » 2021). Ces critères sont les suivants : la pertinence, l'inclusivité, l'objectivité, la transparence et l'ouverture, le caractère opportun, la vérification et la validation, et l'examen par les pairs. En outre, les informations scientifiques doivent inclure une évaluation des incertitudes et cerner les lacunes dans notre compréhension ou nos informations. Lorsqu'il existe une incertitude dans la détermination de l'approche la plus appropriée pour définir un PRL, ces incertitudes doivent être reconnues et prises en compte lors de la formulation de recommandations sur le PRL. Lorsque le poids de la preuve soutient un ensemble de suppositions ou d'hypothèses associées à un PRL potentiel, alors ce PRL peut être recommandé. Lorsque les preuves ne sont pas concluantes, cette incertitude doit être intégrée dans l'estimation de l'état et les incertitudes doivent être clairement communiquées.

Dans le cadre de ce principe, il est reconnu que la science n'est pas statique et que de nouvelles découvertes font continuellement progresser notre compréhension des meilleures informations disponibles. En particulier, l'examen par les pairs est nécessaire pour garantir que la qualité et la crédibilité des données et des méthodes d'élaboration du PRL répondent aux normes de la communauté scientifique. Pour déterminer s'il y a lieu de procéder à un examen par les pairs, il faut tenir compte du niveau de nouveauté et de complexité, ainsi que de toute évaluation de stock antérieure examinée par les pairs. Bien que les mises à jour régulières puissent ne pas nécessiter d'examen officiel par les pairs, les nouveaux PRL ou l'application des points de référence et des PRL à de nouvelles unités de conservation (UC) et UGS peuvent nécessiter un examen par les pairs.

De même, les meilleures pratiques, ou les pratiques dont il a été démontré qu'elles fonctionnent bien, peuvent être utilisées pour éclairer les points de référence, tels que définis par Sainsbury (2008) : « Le concept de pratique exemplaire est basé sur la pratique exemplaire qui a été démontrée par l'utilisation, et reconnaît que les points de vue sur ce qui est meilleur s'amélioreront continuellement avec l'expérience. Les pratiques exemplaires ne sont pas une entité absolue ou fixe, ni une garantie d'adéquation. Elles sont fondées sur l'expérience acquise à ce jour et devraient évoluer avec le temps ».

Principe 2. Les PRL doivent être compatibles avec l'objectif d'éviter tout dommage grave à l'UGS, comme il est décrit dans DFO (2009a) et dans la section 1 du présent document. Le PRL devrait être fixé au-dessus du niveau où des dommages graves se produisent et devrait éviter les pertes à long terme qui peuvent accompagner ces états indésirables, comme celles liées à la pêche et aux composantes de l'écosystème, par exemple les prédateurs dépendants (MPO 2009a, 2009b). En outre, les PRL doivent être représentatifs de l'ensemble de l'UGS. Dans les cas où seuls les composants d'une UGS sont surveillés (par exemple, les UC), le composant surveillé peut être utilisé pour évaluer l'état de l'UGS lorsqu'il est considéré comme représentant l'ensemble de l'UGS (section 5).

Principe 3. Les PRL doivent être opérationnels. Ils doivent pouvoir être calculés selon les données disponibles et pertinentes pour le contexte stratégique et la gestion de la pêche dans les UGS. La disponibilité des données varie considérablement entre les UC et les UGS, ce qui nécessite diverses approches pour les évaluations au niveau des UC et des UGS. Aucune méthode ne sera opérationnelle dans tous les cas. De plus, il est avantageux que les PRL soient faciles à communiquer aux gestionnaires, aux Premières Nations et aux intervenants, de manière à éclairer les décisions à des échelles de temps pertinentes pour la gestion. D'autres considérations opérationnelles sont le rapport coût-efficacité et la simplicité de compréhension.

Principe 4. Les PRL doivent être estimés de manière fiable. Dans la mesure du possible, les PRL doivent indiquer un niveau au-dessus duquel un préjudice grave se produit avec une exactitude et une précision acceptables, au lieu de saisir le bruit aléatoire ou les erreurs d'observation. La fiabilité de l'estimation dépendra de la qualité et de la fréquence de la collecte des données, de la spécification du modèle et des preuves à l'appui des relations sous-jacentes et de la dynamique des populations utilisées pour dériver les PRL. La fiabilité peut être abordée en vérifiant la sensibilité des PRL aux incertitudes des données, des modèles ou des hypothèses sous-jacentes au moyen d'analyses de sensibilité ou d'évaluations par simulation, ou simplement en évaluant la plausibilité compte tenu des informations biologiques ou du cycle biologique de l'UGS (Marentette et al. en préparation).

Les PRL peuvent être calculés à l'aide de plusieurs approches analytiques. Si les PRL ne peuvent pas être estimés de manière fiable à l'aide d'une méthode ou d'une approche, il est conseillé

d'envisager d'autres approches basées sur des ensembles d'hypothèses et/ou de données différents. Lorsque les estimations du PRL convergent à l'aide de différentes approches, cela renforce le fait que les méthodes saisissent la dynamique sous-jacente de la population malgré des hypothèses différentes et l'utilisation des données disponibles.

Dans la mesure du possible, il convient d'envisager une approche statistiquement intégrée pour l'estimation des PRL afin de propager les incertitudes tout au long des analyses et de se conformer aux meilleures pratiques actuelles en matière d'évaluation des stocks de pêche (Punt et al. 2020). Staton et al. (2017) et DeFilippo et al. (2021) fournissent des exemples récents de modèles intégrés utilisés pour l'évaluation des saumons. Les deux études montrent que la propagation de l'incertitude augmente le réalisme des estimations du modèle et de l'incertitude associée. Cependant, Staton et al. (2017) ont démontré que des estimations ponctuelles similaires de l'état actuel peuvent être obtenues en utilisant des approches d'estimation séquentielles et que les avantages des approches statistiquement intégrées peuvent ne pas être suffisamment importants pour justifier une analyse intégrée dans tous les cas.

Principe 5. Lors de la sélection parmi plusieurs méthodes pour définir les PRL, le choix doit tenir compte de l'incertitude. Les méthodes candidates pour les PRL varient dans la manière et l'étendue de leur prise en compte de l'incertitude des données sous-jacentes, de la dynamique de la population modélisée (hypothèses de paramètres et structure du modèle), et de l'établissement des états à l'échelle des UC. Ces incertitudes créent des risques que les PRL fournissent un seuil trompeur de dommage grave. Toutes choses égales par ailleurs, il convient de privilégier les méthodes qui reposent sur des données de haute qualité, comportent moins d'hypothèses et tiennent compte explicitement des incertitudes sous-jacentes.

Lors de l'examen des PRL en fonction d'autres hypothèses de modèle, les PRL peuvent être choisis en fonction de la force des preuves pour les hypothèses sous-jacentes ou en fonction de la moyenne lorsque d'autres hypothèses sont tout aussi plausibles. En outre, la sensibilité des PRL à diverses hypothèses de modèles sous-jacents ou à des qualités et quantités de données peut être évaluée par simulation, les PRL les moins sensibles aux principales incertitudes étant préférables.

Principe 6. En plus des principes dérivés pour les espèces marines en général (principes 1 à 5) et pour atteindre l'objectif d'éviter les dommages graves en vertu de la politique de l'approche de précaution du MPO (principe 2), les PRL du saumon du Pacifique devraient être conformes aux buts et objectifs de la PSS. La PSS exige à la fois la définition d'unités biologiques et l'évaluation de leur état selon des paramètres biologiques, les points de référence inférieurs étant utilisés pour représenter le niveau qui évite le risque d'extinction. Cette approche est compatible avec la volonté d'éviter tout préjudice grave à l'UC. Au-dessus des points de référence inférieurs (au-dessus de l'état rouge), les répercussions irréversibles ou lentement réversibles sont évitées. Ignorer l'état au niveau de l'UC en se concentrant uniquement sur l'état au niveau de l'UGS peut entraîner l'épuisement en série (ou la perte) d'UC faibles au sein d'une UGS, entraînant un état indicateur éventuellement trompeur et un dommage grave. Par conséquent, par souci de cohérence avec la PSS, les PLR doivent prendre en compte l'états des UC composant l'UGS.

3.2. APPLICATION DES PRINCIPES À L'ÉLABORATION DES PRL

Notre objectif est de fournir des directives générales sur l'élaboration des PRL en suivant les principes énumérés ci-dessus tout en offrant une certaine souplesse en raison des différences entre les espèces de saumon du Pacifique et les UGS sur le plan des caractéristiques biologiques, du type de données, de la quantité de données et de la qualité des données. Nous indiquons

dans quelle mesure les méthodes de PRL potentiels proposés ici sont conformes à ces principes. D'autres méthodes de détermination des PRL pourraient être élaborées à l'avenir afin de saisir un plus large éventail de disponibilité, de qualité et de types de données, et/ou de dimensions de l'état biologique ; l'élaboration de ces méthodes supplémentaires devrait s'harmoniser avec les principes clés résumés ici.

Dans la section suivante, les méthodes d'estimation de l'état des UC sont décrites, telles qu'elles ont été mises en œuvre dans les évaluations précédentes de l'état des UC dans le cadre de la PSS, et des PRL potentiels sont proposés. Les directives sur la façon de choisir parmi les PRL sont décrites dans la section 5.

4. MÉTHODES PROPOSÉES DE DÉTERMINATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL) POUR LE SAUMON DU PACIFIQUE

Les méthodes de détermination des PRL nécessitent des évaluations de l'état à l'échelle des unités de conservation (UC). Les données d'abondance requises pour les évaluations des UC sont parfois influencées par l'aménagement des stocks au moyen de poissons d'écloserie, ce qui nécessite des considérations supplémentaires. Cette section comprend les méthodes recommandées pour déterminer l'état des UC et estimer les PRL. Dans les évaluations de l'état des UC, nous décrivons d'abord notre approche pour tenir compte de l'apport des écloseries.

4.1. CONTRIBUTION DES ÉCLOSERIES

PRINCIPAUX POINTS :

- Bien que les écloseries soient un outil utile pour accroître la production aux fins de la récolte et de la conservation, elles peuvent réduire la diversité génétique et la valeur adaptative des espèces sauvages et sont considérées comme un facteur de risque pour la persistance à long terme des UC.
- Les saumons provenant des écloseries ne sont pas considérés comme « sauvages » au sens de la Politique concernant le saumon sauvage et ne sont généralement pas inclus dans les évaluations de l'état biologique.
- Les données utilisées pour évaluer la contribution des écloseries à la fraie sont associées à de fortes incertitudes liées à la méthode de marquage utilisée, aux taux d'échantillonnage, à l'incertitude entourant la survie des poissons d'origine naturelle par rapport aux poissons d'écloserie, et aux erreurs d'observation.
- Les populations dominées par des poissons sauvages, mais influencées par des saumons d'écloserie provenant de l'extérieur du bassin sont généralement incluses dans l'évaluation des UC, mais ces poissons errants peuvent biaiser les estimations de la production naturelle et les évaluations qui en découlent.
- Suivant les évaluations précédentes de l'état selon la PSS, lorsque les données sont disponibles, l'influence démographique de la production des écloseries peut être retirée des séries chronologiques d'abondance. Cette étape s'applique aux populations incluses dans les analyses, après avoir éliminé les populations fortement influencées par les écloseries. Lorsque les données permettant de différencier les géniteurs d'origine naturelle des géniteurs d'écloserie ne sont pas disponibles, l'abondance totale des géniteurs inclut les poissons provenant des écloseries, ce qui représente une source clé d'incertitude pour les populations influencées par les écloseries.
- Les méthodes de traitement des données sur les contributions des écloseries dans le cadre des évaluations et les lignes directrices sur les pratiques exemplaires au sein du MPO continuent d'évoluer.

Les écloseries contribuent à l'abondance des géniteurs chez de nombreuses populations de saumon et peuvent être utilisées comme un outil de conservation et un moyen d'augmenter la disponibilité des poissons pour la récolte. Les écloseries peuvent également réduire la diversité génétique et la valeur adaptative des espèces sauvages, définies comme le succès de la reproduction entre adultes, et sont considérées comme un facteur de risque pour la persistance à long terme des UC (Withler et al. 2018). Les saumons issus d'écloseries, ainsi que leur progéniture, ne sont pas considérés comme « sauvages » au sens de la Politique concernant le saumon sauvage. Généralement, seules les populations dominées par le saumon sauvage sont incluses dans les évaluations de l'état biologique. Cependant, il est difficile de distinguer l'influence des écloseries dans les séries chronologiques de l'abondance des géniteurs et du recrutement, en partie parce que les saumons provenant des écloseries ne sont souvent pas marqués, par exemple par des entailles sur les nageoires ou au moyen d'étiquettes à poisson, et ne peuvent donc pas être distingués des géniteurs d'origine naturelle. De plus, de nombreux programmes d'échappées de saumons, comme ceux où les géniteurs sont comptés depuis des hélicoptères (Parken et al.

2003), ne disposent pas de programmes d'échantillonnage biologique permettant de recueillir des données de marquage sur des saumons individuels.

4.1.1. Prise en compte des risques génétiques de la production en éclosérie

Conformément à Withler et al. (2018), nous recommandons de n'inclure que les populations sans apport important des écloséries dans les analyses de l'état biologique des UC et de l'unité de gestion des stocks (UGS), conformément à la Politique concernant le saumon sauvage (PSS). L'influence naturelle proportionnelle, INP, est une mesure du risque génétique des écloséries sur les populations naturelles, les valeurs $< 0,5$ indiquant des populations d'écloséries intégrées, où plus de la moitié des géniteurs sont issus d'écloséries, les valeurs $\geq 0,5$ et $< 0,72$ indiquant des populations de transition intégrées où les poissons d'origine naturelle prédominent, et les valeurs $\geq 0,72$ indiquant des populations sauvages intégrées, où plus de la moitié des géniteurs sont considérés comme «sauvages» dans le cadre de la PSS (Withler et al. 2018). Bien que ces lignes directrices aient été proposées pour le saumon chinook, où l'amélioration des écloséries est la plus courante, elles sont également applicables à d'autres espèces de saumon (Withler et al. 2018).

Tableau 1. Lignes directrices potentielles pour la mise en œuvre de populations d'écloséries intégrées dans les évaluations de la PSS en fonction de leur désignation biologique et de leur INP, tirées de Withler et al. (2018).

Désignation	INP	Inclusion dans les évaluations de la PSS
Sauvage	Sans objet	Oui
Sauvage–influencée par les saumons errants	Sans objet	Provisoire
Intégrée–sauvage	$\geq 0,72$	Oui
Intégrée–transition	$\geq 0,5, < 0,72$	Provisoire
Intégrée–éclosérie	$< 0,5$	Non

Lors de l'évaluation de l'état des populations, Withler et al. (2018) recommandent d'inclure les populations sauvages intégrées dans les évaluations biologiques effectuées dans le cadre de la PSS, et provisoirement, les populations intégrées en transition (c'est-à-dire, $INP \geq 0,5$). Par conséquent, seules les populations présentant des valeurs d'INP $\geq 0,5$ ont été incluses dans l'évaluation de l'état des UC et de l'UGS dans nos applications d'étude de cas. Des définitions plus strictes de l'amélioration des écloséries peuvent être envisagées en n'incluant que les populations ayant des valeurs d'INP $\geq 0,72$. En pratique, l'application de ce seuil plus strict pour notre étude de cas sur le saumon chinook a entraîné l'exclusion de la plupart des données, car des séries chronologiques fiables de valeurs d'INP et d'abondances de géniteurs ne sont disponibles que pour les populations indicatrices du taux d'exploitation, qui sont généralement des populations disposant d'écloséries. L'adoption de la moitié des géniteurs d'origine naturelle, a été le résultat d'un compromis entre l'évaluation d'un seuil de $\geq 0,5$, un niveau associé à plus

de la biodiversité restante au niveau des UC et l'exclusion des répercussions significatives des écloséries. Pour certaines populations, les premières périodes il y a un apport important de poissons d'écloserie peuvent être supprimées des séries chronologiques et les évaluations peuvent se concentrer sur les périodes récentes sans apport important (Grant et al. 2012). Dans le cas des écloséries visant à rétablir des populations gravement appauvries, la production peut être dominée par des poissons provenant d'écloséries pendant une période jusqu'à ce que les abondances soient supérieures aux seuils de conservation inférieurs. Des lignes directrices sur l'évaluation et la gestion de ces écloséries de conservation sont actuellement élaborées par le Programme de mise en valeur des salmonidés du ministère des Pêches et des Océans (MPO), y compris des évaluations régulières de la proportion de la fraie associée aux poissons d'écloserie.

Les données utilisées pour évaluer la contribution des écloséries à la fraie et estimer les valeurs d'IPN sont associées à de fortes incertitudes. Pour notre étude de cas sur le saumon chinook, les proportions de géniteurs issus d'écloséries ont été déterminées à partir des relevés sur les frayères pour le marquage thermique des saumons issus d'écloséries. Lorsque les données sur le marquage thermique n'étaient pas disponibles, des micromarques magnétisées codées (MMC) ont été utilisées pour indiquer les géniteurs issus d'écloséries, mais elles étaient associées à une incertitude accrue. Une grande variabilité interannuelle de la proportion de géniteurs issus d'écloséries peut résulter de la variabilité naturelle de la survie des géniteurs issus d'écloséries par rapport aux géniteurs d'origine naturelle, de faibles taux d'échantillonnage des géniteurs issus d'écloséries et d'erreurs d'observation élevées, ce qui nécessite des décisions sur le calcul de la moyenne temporelle. Pour l'étude de cas sur le saumon chinook de la côte ouest de l'île de Vancouver, nous avons établi une moyenne sur les séries chronologiques disponibles où les objectifs des écloséries sont restés constants, mais nous recommandons des recherches supplémentaires pour quantifier les sources d'incertitudes et évaluer la sensibilité des résultats aux diverses périodes de calcul de la moyenne (p. ex. la génération récente par rapport à la période entière).

En plus des lignes directrices sur les évaluations biologiques prévues par la PSS, Withler et al. (2018) recommandent également d'élaborer des objectifs biologiques pour les populations influencées par les écloséries et de documenter les compromis entre d'une part le risque génétique accru que pose la production en écloserie pour les populations sauvages, et d'autre part l'abondance accrue requise pour soutenir d'autres objectifs. Des plans de mise en valeur sont en cours d'élaboration pour les populations influencées par les écloséries par le Programme de mise en valeur des salmonidés du MPO, qui comprend des objectifs liés à l'IPN, à la récolte, à l'évaluation et à l'intendance ainsi que des mesures pour atteindre les objectifs. Une fois élaborés, les plans de mise en valeur peuvent être intégrés à la planification de la récolte et de l'habitat dans le cadre de plans de gestion intégrée et/ou de rétablissement. Les lignes directrices et les méthodes d'estimation des valeurs de l'IPN sont également documentées par le Programme de mise en valeur des salmonidés du MPO (MPO, en préparation)³.

³MPO. Guidelines for Calculating the Proportionate Natural Influence Index as a Metric of the Genetic Influence of Enhanced Pacific Salmon on Wild Populations. Report of the Salmonid Enhancement Program, Vancouver, BC. In prep.

4.1.2. Populations sauvages influencées par les saumons errants provenant d'écloseries

En outre, Withler et al. (2018) recommandent que les populations dominées par des poissons sauvages, mais influencées par la présence de poissons d'écloserie (appelées populations « sauvages–influencées par les saumons errants ») soient incluses dans les évaluations des UC dans le cadre de la PSS. Ces populations reçoivent des poissons errants provenant de programmes d'écloserie hors bassin, mais ne contiennent pas d'écloseries elles-mêmes. Bien que la majorité des poissons puissent être sauvages dans ces populations, la modélisation du flux génétique unidirectionnel laisse entendre qu'au fil du temps, les valeurs d'INP diminueront jusqu'à des niveaux compatibles avec les systèmes dominés par les écloseries, avec une errance continue. Dans la pratique, l'errance des écloseries hors bassin et les impacts génétiques ne sont généralement pas suivis ou évalués, et les errances hors bassin sont donc incluses dans les abondances totales dans les évaluations biologiques. Cependant, cela représente une lacune dans notre connaissance des impacts des écloseries et dans notre capacité à mettre en œuvre les recommandations de Withler et al. (2018). Deux exceptions : Candy et Beacham (2000) qui décrivent les modèles d'errance du saumon chinook dans le bassin hydrographique du Fraser et sur l'île de Vancouver, et plus en détail sur la côte ouest de l'île de Vancouver où des études estimant l'étendue de l'errance du saumon chinook sont en cours et peuvent éclairer l'évaluation des répercussions des écloseries dans les évaluations biologiques futures (W. Luedke, comm. pers.)

4.1.3. Supprimer l'influence démographique de la production en écloserie

Pour certaines évaluations de la PSS qui incluent des populations intégrées-transition et intégrées-sauvages, l'influence démographique de la production d'écloserie est supprimée des séries chronologiques d'abondance lorsque des données sur la proportion de poissons provenant d'écloseries par rapport aux poissons d'origine naturelle dans les frayères sont disponibles (p. ex, à partir du marquage des poissons d'écloserie ou d'autres données sur la survie relative des poissons d'écloserie, MPO 2015). Plus précisément, la contribution de la production d'écloserie est supprimée à la fois de l'estimation de référence et de la mesure de l'abondance des géniteurs. Pour les points de référence fondés sur les valeurs de stock-recrutement, la contribution des poissons provenant des écloseries est retirée des estimations du recrutement, mais pas de l'échappée, car on suppose que tous les géniteurs naturels se reproduisent avec succès dans la nature et contribuent à la production naturelle. De cette façon, la relation géniteur-recrues représente la production dérivée des géniteurs dans l'environnement naturel. Pour la mesure de l'abondance des géniteurs, la contribution des poissons provenant d'écloseries peut être retirée des séries chronologiques des géniteurs afin de réduire l'influence de la variabilité de la production annuelle des écloseries sur l'état (DFO 2015). Bien que le fait de retirer les poissons provenant d'écloseries des analyses soit incompatible avec la recommandation de Withler et al. (2018) d'inclure tous les géniteurs dans les évaluations biologiques lorsque la fraie naturelle prédomine ($INP \geq 0,5$), cela est cohérent avec les évaluations de la PSS publiées sur lesquelles nos analyses se sont appuyées, et l'élaboration de nouvelles séries chronologiques dépassait la portée de cette étude.

Dans la plupart des cas où les poissons originaires d'écloseries ne sont pas marqués ou échantillonnés dans les frayères, les données sur la proportion de géniteurs originaires d'écloseries ne sont pas disponibles. Dans ces cas, les évaluations de la PSS s'appuient généralement sur l'abondance totale des géniteurs, y compris la contribution des écloseries, tant que l'on estime que l'abondance des géniteurs est principalement d'origine naturelle (p. ex. $INP \geq 0,5$) (p. ex. le saumon chinook

du sud de la Colombie-Britannique, MPO 2016b), conformément aux recommandations de Withler et al. (2018). Dans ces cas, il peut y avoir un risque que l'état actuel soit confondu par la production en éclosérie, laquelle peut masquer les changements dans la production naturelle et embrouiller les inférences pour les populations non aménagées dans l'UC. Ce risque est partiellement atténué, mais pas éliminé, par l'exclusion des évaluations des populations dominées par des poissons provenant d'écloséries. En général, nous recommandons une certaine souplesse dans la prise en compte des populations influencées par les écloséries dans les évaluations, alors que les méthodes de prise en compte des poissons d'éclosérie et les directives connexes évoluent.

4.2. ESTIMATION DE L'ÉTAT DES UC

PRINCIPAUX POINTS :

- Nous recommandons que l'état au niveau des UC prenne en compte plusieurs paramètres, qui seront intégrés au moyen d'évaluations officielles de l'état ou de **l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique**, également appelé l'explorateur des saumons.
- L'explorateur des saumons fournit un état à partir d'un ensemble de paramètres et de points de référence sur l'abondance des géniteurs, ainsi que les tendances à long et à court terme de l'abondance des géniteurs.
- Divers points de référence sur l'abondance des géniteurs ont été déterminés pour tenir compte des différences entre les UC en ce qui a trait aux types de données, à la quantité de données et la qualité des données, dont ceux basés sur les relations stock-recrutement, les centiles des abondances historiques de géniteurs et la capacité de fraie et d'alevinage en eau douce.
- Des paramètres de répartition de la fraie ont été inclus dans les évaluations officielles de la PSS.
- Aux fins de l'élaboration des PRL, l'état des UC a été déterminé de deux façons : en utilisant divers paramètres appliqués dans l'explorateur des saumons et un seul paramètre sur l'abondance des géniteurs afin de démontrer la cohérence dans ces approches et de mettre en évidence les différences.

Pour être cohérent avec l'approche multidimensionnelle des évaluations de l'état de la PSS décrite dans Holt et al. (2009), nous recommandons que l'état au niveau des UC prenne en compte plusieurs paramètres, qui seront intégrés au moyen d'évaluations officielles de l'état (Grant et Pestal 2013 ; MPO 2015 ; MPO 2016b ; Grant et al. 2020a) ou d'autres approches multidimensionnelles comme l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique (Pestal et al. en préparation). Dans les applications de notre étude de cas Holt et al. (2023), nous démontrons l'application de l'outil, soit l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique, comme moyen d'estimer rapidement des évaluations plus détaillées de l'état de la PSS. L'explorateur des saumons i) estime les états pour les paramètres individuels de la PSS et ii) applique un algorithme d'arbre de décision pour intégrer les estimations d'état multiples dans une seule estimation d'état (par exemple, rouge, ambre, vert) basée sur le type de données et la disponibilité des données. En utilisant plusieurs paramètres (tableau 2), l'explorateur de l'état des saumons permet d'évaluer l'état à partir d'un large éventail de données disponibles. Lorsque les données d'un seul paramètre ne sont pas disponibles, d'autres paramètres

peuvent être utilisés pour éclairer l'état. L'algorithme de l'arbre de décision a été vérifié à l'aide de données et de l'expertise locale (Pestal et al. en préparation). Il est prévu d'intégrer à l'application de cet outil un examen par des experts des résultats rapides de l'état pour chaque UC (S. Grant, comm. pers.) L'explorateur des saumons peut fournir des évaluations dans les contextes où les données sont limitées, et des méthodes pour tenir compte des incertitudes résultant de ces limitations de données sont en cours d'intégration dans l'explorateur.

Tableau 2. Paramètres actuellement utilisés dans l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique.

Catégorie	Paramètres	Exemples de points de référence (citations démontrant des niveaux supérieurs à ceux associés à un dommage grave)
Paramètres relatifs à l'abondance	Abondance absolue de géniteurs par rapport au point de référence d'abondance absolue	1 000 géniteurs (1,2)
	Abondance absolue ou indice d'abondance de géniteurs par rapport aux points de référence estimés	G _{gén} (3) ou 25e centile des abondances de géniteurs observées (4)
Paramètres relatifs à la tendance	Variation en pourcentage de l'abondance des géniteurs au cours des trois dernières générations	déclin de 25% (1,5)
	Rapport entre la moyenne géométrique de la génération actuelle et la moyenne géométrique de la série chronologique	0,5 (5,6,7)

(1) (Mace et al. 2008 ; COSEPAC 2021) ; (2) (Cultus Sockeye Recovery Team 2005) ; (3) (Holt 2009) ; (4) (Holt et al. 2018) ; (5) (Holt et al. 2009) (6) (Grant et Pestal 2013) ; (7) (Porszt et al. 2012)

Divers points de référence sur l'abondance des géniteurs ont été établis pour tenir compte des différences entre les UC quant au type de données, à la quantité de données et à la qualité des données. Pour les UC riches en données où les relations géniteur-recrutement peuvent être estimées de manière fiable, Holt (2009) recommande un point de référence inférieur, à savoir l'abondance qui permet le rétablissement à l'abondance des géniteurs au rendement maximal durable, G_{RMD} , en une génération de saumons dans des conditions d'équilibre, $G_{gén}$. Lors de l'application des analyses stock-recrutement, l'échelle spatiale de la densité-dépendance doit être soigneusement considérée, celle-ci pouvant être plus petite ou plus grande que l'UC. Lorsque les séries chronologiques de recrutement ne sont pas disponibles et que la productivité est supposée être modérée ou élevée, et les taux de récolte modérés ou faibles, des centiles précis des séries chronologiques de géniteurs observés (p. ex., 25^e) peuvent être utilisés comme une approximation des points de référence de la relation géniteur-recrutement (Holt et al. 2018). Pour le saumon chinook, le saumon rouge et le saumon coho, dont la production est souvent limitée par la quantité d'habitat d'eau douce, l'abondance des géniteurs à l'équilibre peut être prédite à partir des caractéristiques de l'habitat afin d'établir des points de référence fondés sur

l'abondance (Parken et al. 2006 ; Noble et al. 2015). Par exemple, Parken et al. (2006) utilisent la relation entre la superficie du bassin versant et les points de référence fondés sur le recrutement des géniteurs dans une méta-analyse des populations de saumon chinook de toute la région Pacifique pour prédire les points de référence des populations de saumon chinook sans données de recrutement. De plus, l'information sur la capacité de l'habitat en eau douce peut être utilisée pour créer des valeurs a priori informatives pour les points de référence du stock-recrutement estimés avec des techniques bayésiennes (p. ex., Atlas et al. (2020) pour le saumon rouge).

De même, des paramètres et des points de référence sur les tendances à long terme et à court terme de l'abondance des géniteurs sont inclus dans l'explorateur des saumons. Les tendances à long terme sont mesurées par le rapport entre la moyenne géométrique de l'abondance des géniteurs des générations récentes et la moyenne géométrique à long terme, et les tendances à court terme sont mesurées par le pourcentage de changement dans l'abondance des géniteurs sur trois générations, la période utilisée dans les évaluations du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) (Holt 2009). Les points de référence inférieurs de ces paramètres représentent des niveaux en dessous desquels le risque de disparition est accru (Holt et al. 2009).

De plus, les paramètres de la répartition de la fraie au sein d'une UC peuvent être prises en compte dans les évaluations de la PSS (Peacock et Holt 2010 ; Peacock et Holt 2012 ; MPO 2016b), mais ne sont pas forcément nécessaires pour toutes les espèces de saumon et n'ont pas encore été incluses dans l'explorateur des saumons. Dans un exemple, la répartition des géniteurs entre les sites de fraie et les réductions de cette répartition au fil du temps ont été examinées dans une évaluation de la PSS visant le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique (MPO 2016b). En outre, les objectifs de rétablissement du saumon coho du Fraser intérieur tiennent compte de la répartition des géniteurs entre les sous-populations (Interior Fraser Coho Recovery Team 2006). L'un des défis de l'application de paramètres de répartition consiste à indiquer des points de référence permettant de distinguer les populations présentant un risque accru de disparition.

Aux fins de l'élaboration des PRL, l'état des UC pour les applications des études de cas ont été déterminés de deux façons, en utilisant plusieurs paramètres appliquées dans l'explorateur des saumons et un seul paramètre sur l'abondance des géniteurs. Nous avons appliqué les deux afin de démontrer la cohérence de ces approches et de souligner les différences éventuelles. Lorsqu'un seul paramètre est appliqué pour déterminer l'état, il existe un risque de fournir une évaluation trompeuse si d'autres paramètres qui auraient été utilisés dans une approche multi-dimensionnelle fournissent des informations contraires, mais ne sont pas inclus. Une revue complète de l'explorateur des saumons sera fournie dans Pestal et al. (en préparation).

4.3. ESTIMATION DES PRL

PRINCIPAUX POINTS :

- **Les PRL basés sur l'état des UC** sont calculés à partir de la proportion d'UC au sein d'une UGS qui sont évaluées comme étant au-dessus de l'état « rouge », avec 100% comme PRL recommandé.
- Les PRL basés sur l'état des UC sont recommandés comme approche par défaut pour estimer les PRL du saumon du Pacifique et déclencher les plans de rétablissement en vertu de la *Loi sur les pêches*.
- Les PRL le long d'un gradient d'abondances agrégées au niveau de l'UGS (**PRL fondés sur l'abondance globale**) peuvent être nécessaires pour les décisions de gestion des pêches à l'échelle de l'UGS, et sont considérés comme complémentaires aux PRL fondés sur l'état des UC.
- Deux types de PRL fondés sur l'abondance globale sont indiqués : **PRL de régression logistique** et **PRL de projection**.
 - Les deux s'appuient sur la relation entre les abondances globales observées et les états des UC composantes, mais les PRL de régression logistique s'appuient directement sur des données empiriques alors que les PRL de projection sont dérivés de projections de la dynamique des populations au niveau des UC, généralement paramétrées à partir de données empiriques.
 - Les deux PRL d'abondance globale sont de nature probabiliste, indiquant les abondances globales associées à une probabilité acceptable que toutes les UC atteignent un état supérieur à « rouge ».
- Une hypothèse des PRL de régression logistique est que la relation entre l'abondance globale et l'état au niveau des UC observé historiquement représente la relation actuelle (et future). Si la covariance de la dynamique de la population parmi les UC n'est pas stationnaire, les PRL par régression logistique peuvent ne pas représenter des niveaux supérieurs à celui associé à des dommages graves.
- Les PRL de projection peuvent intégrer des fourchettes plausibles d'incertitudes des paramètres qui peuvent différer de celles observées historiquement, contrairement aux PRL de régression logistique.

Dans cette section, des PRL qui intègrent les états des UC composantes sont proposés. Ces PRL se divisent en deux catégories : ceux basés sur la proportion d'UC composantes au-dessus de la zone rouge, appelés PRL fondés sur l'état des UC, et ceux basés sur les abondances globales, appelés PRL fondés sur l'abondance globale. Les PRL d'abondance globale sont ensuite subdivisés en PRL de régression logistique et PRL de projection (fig. 2). Une description plus détaillée des PRL est présentée dans Holt et al. (2023).

4.3.1. PRL fondés sur l'état des UC

Les PRL fondés sur l'état des UC sont calculés à partir de la proportion d'UC au sein d'une UGS qui sont évaluées comme étant au-dessus de l'état « rouge » (fig. 3). Pour être cohérent avec l'intention de la PSS de préserver la biodiversité au niveau des UC, nous indiquons un PRL à 100 % des UC ayant un état supérieur à rouge (c.-à-d. ambre ou vert). Voir la section 5 pour une approche progressive de l'identification des PRL qui prend davantage en compte les limitations

des données lors de l'identification de la proportion d'UC au-dessus de la zone rouge, et la section 6 pour une description des incertitudes connexes. Les états des UC sont déterminés au moyen des approches décrites à la section 4.2, et sont soumis à un examen par les pairs, comme il est décrit à la section 5.

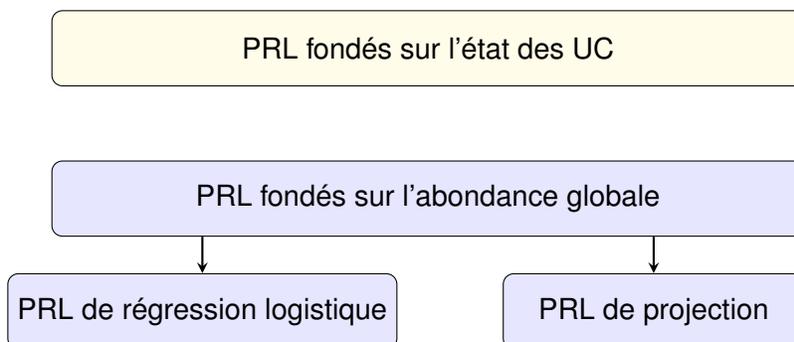


Figure 2. Types de PRL pour le saumon du Pacifique, montrant la nature imbriquée des PRL de régression logistique et de projection dans la catégorie des PRL d'abondance globale.

Harmonisation avec les principes de PRL

Les PRL fondés sur l'état des UC peuvent être basés sur la meilleure information disponible (principe 1) en incorporant de multiples dimensions de l'état au moyen d'évaluations officielles de l'état des UC examinées par les pairs, ou par l'utilisation de l'explorateur des saumons avec un examen par les pairs. En utilisant l'état dérivé de la mise en œuvre annuelle de l'explorateur des saumons, des informations pertinentes et opportunes sont utilisées pour informer l'état d'une manière qui est transparente et ouverte. Les PRL fondés sur l'état des UC représentent un dommage grave (principe 2), comme l'indique l'état de n'importe quelle UC composant l'UGS qui se trouve dans la zone rouge de la PSS, étant donné que la détérioration de la structure du stock (c'est-à-dire la perte de diversité) peut elle-même être une forme de dommage grave. Les PRL fondés sur l'état des UC sont opérationnels (principe 3), car ils sont simples à calculer et à communiquer en tant que proportion des états des UC. Pour les UGS où la récolte est gérée à l'échelle globale de l'UGS, cependant, les PRL fondés sur l'état des UC ne sont pas facilement incorporés dans les règles de contrôle des prises à cette échelle. La fiabilité de l'estimation (principe 4) dépend en partie des données sous-jacentes et dépend des UC et de l'UGS. Les incertitudes ne sont pas actuellement propagées des points de référence et états au niveau des UC de l'explorateur des saumons, aux PRL et aux états de l'UGS (principe 5). Les PRL fondés sur l'état des UC sont bien harmonisés avec le principe 6, étant donné qu'ils sont directement dérivés des paramètres d'état des UC de la PSS.

Un autre avantage de cette méthode est qu'elle peut facilement être étendue à d'autres échelles spatiales dans lesquelles le saumon du Pacifique est géré. Par exemple, les UC peuvent être évaluées individuellement lorsque les menaces et les réponses sont localisées dans des bassins versants spécifiques, comme c'est le cas par exemple des habitats de fraie et d'alevinage du saumon rouge du lac Cultus, sur lesquels pèsent de menaces uniques. L'état des UC peut également être agrégé à diverses échelles et pour plusieurs espèces lorsque les menaces et les réponses sont plus larges, par exemple pour la gestion de nombreuses espèces de saumon et d'UC touchées par le glissement de terrain de Big Bar survenu en 2019.

En plus des PRL fondés sur l'état des UC, nous avons élaboré des PRL le long d'un gradient d'abondance agrégé au niveau de l'UGS en tenant compte des états au niveau des UC composantes. Ces « PRL fondés sur l'abondance globale » peuvent être nécessaires pour les décisions de gestion des pêches à l'échelle de l'UGS, mais sont considérés comme complémentaires aux LPR fondés sur l'état des UC aux fins des dispositions relatives aux stocks de poissons. Nous avons indiqué deux types de PRL d'abondance globale : (1) PRL de régression logistique et (2) PRL de projection (fig. 2). Les deux PRL s'appuient sur la relation entre les abondances globales observées et les états des UC composantes, mais ils diffèrent en ce que les PRL de régression logistique s'appuient directement sur des données empiriques, alors que les PRL de projection sont dérivés de projections de la dynamique des populations au niveau des UC, habituellement paramétrées à partir de données empiriques. De plus, les deux PRL sont de nature probabiliste, indiquant les abondances globales associées à une probabilité acceptable que toutes les UC atteignent un état supérieur à la zone rouge. Dans une certaine mesure, l'incertitude dans la relation sous-jacente entre les abondances globales observées et les états au niveau des UC composantes est représentée dans la nature probabiliste de ces PRL ; des incertitudes plus grandes entraînent des valeurs de PRL plus élevées et vice versa, toutes choses restant égales. La capacité des PRL d'abondance globale à représenter de manière fiable les seuils de dommages graves au niveau des UC dépend de la force de la relation sous-jacente entre l'abondance globale et les états des UC, telle que déduite des données observées.

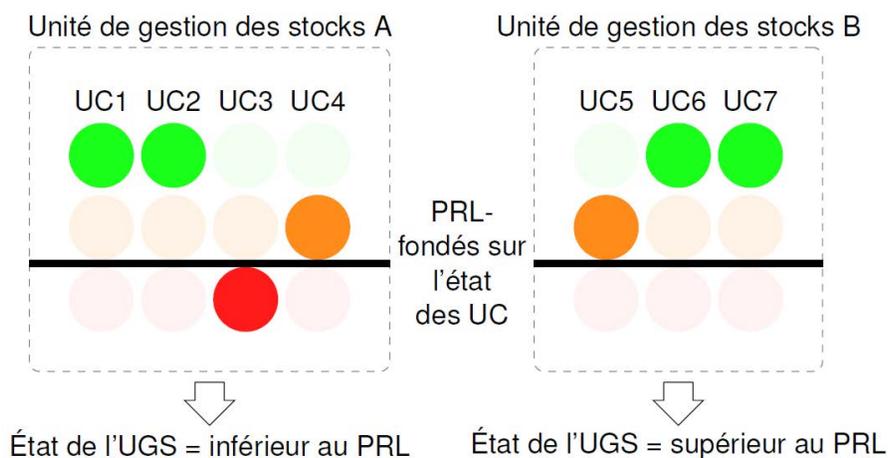


Figure 3. Schéma du « PRL fondé sur l'état des UC » appliqué à deux exemples d'UGS. L'unité de gestion des stocks A (à gauche) se compose de quatre UC, dont deux ont un état vert, une un état orange et une un état rouge. L'unité de gestion des stocks B (à droite) se compose de trois UC, dont deux ont un état vert et une un état ambre. L'« unité de gestion des stocks A » serait évaluée comme étant inférieure au PRL, tandis que l'« unité de gestion des stocks B » serait évaluée comme étant supérieure au PRL.

4.3.2. PRL fondés sur l'abondance agrégée

PRL fondés sur la régression logistique

Les PRL fondés sur la régression logistique peuvent être dérivés d'une relation estimée empiriquement entre les états au niveau des UC et l'abondance globale de l'UGS. Cette méthode étend le PRL fondé sur l'état des UC en indiquant le niveau d'abondance globale qui a historiquement été associé à toutes les UC composantes ayant un état supérieur à la zone rouge, tel qu'estimé

à partir de l'état sur un seul paramètre d'abondance des géniteurs par rapport à un point de référence inférieur. Pour chaque année de données observées, l'état au niveau de l'UGS est quantifié comme une variable de Bernoulli : 1 (succès) = toutes les UC ont un état estimé supérieur au point de référence inférieur et 0 (échec) = toutes les UC n'ont pas eu un état supérieur au point de référence inférieur, c'est-à-dire qu'au moins une UC a été évaluée en dessous du point de référence inférieur. Une régression logistique est ensuite ajustée à ces résultats afin d'estimer la probabilité que toutes les UC aient des abondances supérieures à leurs points de référence inférieurs en fonction des abondances globales de géniteurs au niveau de l'UGS. Étant donné la différence dans le nombre d'UC composantes entre les espèces de saumon (plus pour le saumon rouge que pour les autres espèces), la probabilité qu'au moins une UC composante ait l'état rouge est plus grande pour le saumon rouge. L'équation de régression logistique suivante est utilisée pour estimer les PRL,

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = B_0 + B_1 \sum_{i=1}^{i=nUCs} S_{i,t} \quad (1)$$

où, p est la probabilité, B_0 et B_1 sont les paramètres estimés de la régression logistique et $S_{i,t}$ est l'abondance des géniteurs pour l'UC i au cours de l'année t . L'équation 1 est ensuite réarrangée pour calculer le PRL comme l'abondance globale des géniteurs associée au seuil de probabilité préétabli de p^* ,

$$LRP = \frac{\log\left(\frac{p^*}{1-p^*}\right) - B_0}{B_1} \quad (2)$$

Un exemple d'ajustement de régression logistique est présenté à la figure 4, avec les PRL associés à quatre seuils de probabilité, soit 0,5, 0,66, 0,90 et 0,99, qui représentent les niveaux minimaux au-dessus desquels le niveau de probabilité est respectivement plus probable qu'improbable, probable, très probable et pratiquement certain, comme le définit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC (Mastrandrea et al. 2010, tableau 3). Mastrandrea et al. (2010) mettent également en évidence la fourchette 33 % à 66 % comme représentant « aussi probable qu'improbable », englobant des probabilités légèrement supérieures à la moyenne (50 % à 66 %). Le point médian de 50 % représente une probabilité égale que toutes les UC soient au-dessus de l'état rouge et qu'elles ne le soient pas. Un autre élément à prendre en compte dans cette étape est le seuil de probabilité de déclenchement des PRL décrit dans les lignes directrices pour la mise en œuvre des plans de rétablissement du MPO (MPO 2021d). Selon les lignes directrices, à moins d'indication contraire dans les cadres de l'approche de précaution propres aux stocks, le PRL devrait être considéré comme dépassé si l'indicateur d'état des stocks pour l'année terminale est égal ou inférieur au PRL avec une probabilité supérieure à 50 %, ou si l'indicateur d'état des stocks projeté bascule sous le PRL avec une probabilité supérieure à 50 % dans une projection sur un an avec un scénario de prises nulles. Bien que l'utilisation d'un seuil de probabilité de 50 % pour qu'une ou plusieurs UC aient un état rouge ne soit pas directement analogue, dans les deux cas, le seuil de probabilité choisi représente la probabilité que le stock évite un dommage grave.

Nous recommandons de positionner les PRL comme des seuils avec une probabilité d'au moins 50 % que toutes les UC composantes soient au-dessus de l'état rouge, mais nous ne recommandons pas un niveau de probabilité précis au-dessus de ce minimum. Au lieu de cela, nous démontrons les PRL avec différents choix de niveaux de probabilité. Bien que les PRL déterminés par les Sciences sont censés représenter la meilleure estimation scientifique du niveau en dessous duquel un dommage grave est susceptible de se produire (MPO 2021a) sans nécessairement introduire une précaution

supplémentaire en cas d'incertitude, il n'existe aucune base scientifique pour choisir une probabilité plutôt qu'une autre. Nous distinguons la base biologique d'un dommage grave (n'importe quelle UC ayant un état rouge) de la probabilité que cela se produise, ce qui implique de prendre une décision sur la tolérance au risque.

Tableau 3. Définitions des probabilités adaptées du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Probabilité	Définition
33 % - 66 %	fourchette correspondant à « environ aussi probable qu'improbable » que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur
50 %	point central de la fourchette 33 % - 66 %
>50 %	plus probable qu'improbable que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur
>66 %	probable que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur
>90 %	très probable que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur
>99 %	pratiquement certain que toutes les UC sont au-dessus de leur point de référence inférieur

L'incertitude des estimations de PRL par régression logistique peut être quantifiée au moyen d'intervalles de confiance ou de crédibilité sur l'estimation du PRL. Voir en exemple notre application au saumon coho du Fraser intérieur Holt et al. (2023). Nous recommandons d'évaluer l'ajustement de la régression logistique avant l'élaboration des PRL afin de déterminer sa fiabilité pour la détermination des dommages graves aux UC composantes. Les diagnostics couramment utilisés pour la régression logistique de données distribuées suivant la loi de Bernoulli sont fournis dans Holt et al. (2023). Par exemple, les diagnostics peuvent évaluer les hypothèses selon lesquelles : a) les abondances globales sont linéairement liées aux cotes logarithmiques que toutes les UC soient supérieures à leurs points de référence inférieurs, b) les observations sont indépendantes, et c) il n'y a pas de valeurs aberrantes influentes. En outre, la signification statistique de la variable prédictive (abondance globale) et la qualité de l'ajustement du modèle logistique peuvent renseigner sur sa fiabilité pour déterminer les PRL. En outre, l'exactitude de la classification des PRL élaborés à partir d'une régression logistique peut être évaluée sur les données observées à l'aide d'un paramètre de rendement appelé le taux de réussite.

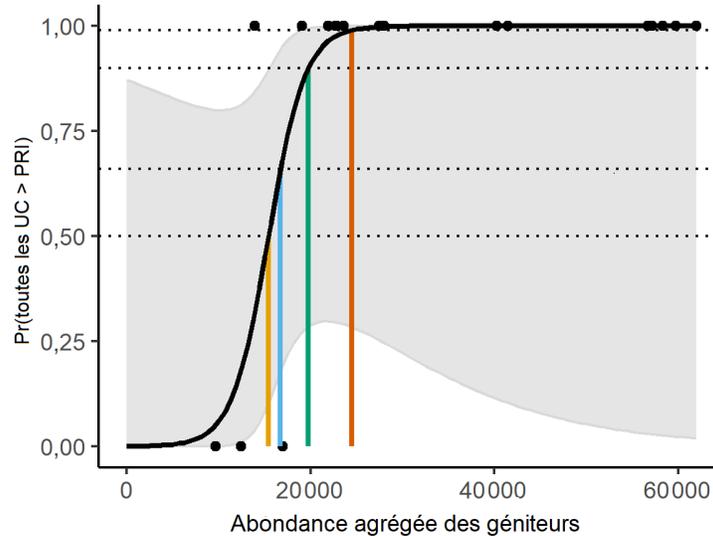


Figure 4. Régression logistique ajustée aux données annuelles de Bernoulli pour prédire la probabilité que toutes les UC composantes soient au-dessus de leur point de référence inférieur (PRI) en fonction de l'abondance globale de l'UGS. Chaque point noir représente une année dans la série temporelle observée en tant qu'indicateur de Bernoulli montrant si l'exigence de «toutes les UC au-dessus de leur PRI» a été satisfaite (succès = 1) ou non (échec = 0) en fonction de l'abondance de géniteurs agrégée de l'UGS. La ligne noire continue représente l'ajustement du modèle de vraisemblance maximale, et la région grisée montre l'intervalle de confiance à 95% concernant le modèle ajusté. Les lignes colorées illustrent les PRL d'abondance globale pour 4 seuils de probabilité différents : $p^* = 0,5$ (jaune), $0,66$ (bleu), $0,90$ (vert) et $0,99$ (orange) – probabilité que toutes les UC composantes soient supérieures à leur PRI respectif. Les lignes horizontales en pointillés coupent l'axe des y à chaque seuil de probabilité, tandis que les lignes verticales pleines indiquent l'échappée globale correspondante qui représentera le PRL.

Ce ratio représente la proportion de classifications réussies au-dessus ou au-dessous du PRL dérivé de la régression logistique, par rapport au nombre total de classifications ou d'années. Des méthodes de validation croisée hors échantillon peuvent également être appliquées afin que les PRL basés sur des modèles n'incluent pas les données observées utilisées pour l'évaluation dans cette mesure de rendement.

Nous avons utilisé une seule mesure de l'abondance annuelle des géniteurs pour estimer l'état des UC lors de l'utilisation de l'approche de régression logistique, bien que les évaluations de la PSS utilisent généralement plusieurs paramètres, notamment les tendances de l'abondance, et appliquent un lissage générationnel. L'incorporation de paramètres sur les tendances et le lissage des séries chronologiques d'abondance avant de déterminer l'état d'une UC introduit une autocorrélation dans les états d'UC observés, ce qui contrevient à l'hypothèse d'observations indépendantes dans le modèle de régression logistique. Cela crée une différence systématique dans le calcul des PRL selon la façon dont l'état des UC est évalué. Les recherches futures pourraient envisager des modèles de régression logistique qui incluent des résidus autocorrélés pour élaborer des PRL fondés sur des états des UC dérivés de paramètres multiples (p. ex. l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique).

L'un des avantages des PRL à régression logistique est que les incertitudes des points de référence et des évaluations au niveau des UC peuvent être prises en compte explicitement. Nous avons

utilisé une approche d'estimation statistiquement intégrée, où les modèles de stock-recrutement au niveau des UC et les points de référence connexes au niveau des UC ont été estimés dans le même modèle que la régression logistique et la dérivation du PRL. De cette façon, les incertitudes des points de références et des évaluations au niveau des UC ont été propagées dans l'estimation du PRL. Bien que les méthodes d'estimation bayésiennes n'aient été appliquées pour l'approche de régression logistique intégrée dans aucune de nos applications d'étude de cas, cette extension pourrait être faite à l'avenir.

En outre, les incertitudes structurelles dans les hypothèses sous-jacentes telles que la forme de la relation géniteur-recrutement, peuvent être traitées d'au moins trois manières. Tout d'abord, le poids de la preuve pour diverses hypothèses peut être évalué afin de déterminer l'hypothèse la plus soutenue, qui est ensuite utilisée pour l'élaboration du PRL. Il peut s'agir de s'appuyer sur le soutien de diverses formes de modèles fournies dans des évaluations de stocks antérieures ou à partir de méta-analyses. Deuxièmement, diverses hypothèses peuvent être fournies sous forme d'analyses de sensibilité démontrant l'incidence des hypothèses concernant la dynamique des UC sur les estimations du PRL et l'état actuel. Troisièmement, on peut calculer la moyenne des PRL, par exemple en combinant les estimations de probabilité postérieure. Lors du calcul de la moyenne, les PRL peuvent être pondérés en fonction de l'inverse des variances, de la force de la preuve pour chaque hypothèse selon des critères statistiques (p. ex. critère d'information d'Akaike [CIA]), de la performance rétrospective ou de l'opinion d'un expert (Rossi et al. 2019 ; Jardim et al. 2021). Un exemple simple de moyenne de modèles, dans lequel deux autres modèles ont été pondérés de façon égale, a été démontré pour les PRL de projection dans l'étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur. Lors du calcul de la moyenne des modèles, il est important de prendre en compte la plausibilité des différents modèles et la répartition des paramètres incertains (par exemple, leurs variances et leurs biais)(Millar et al. 2015 ; Dormann et al. 2018). Il peut être plus approprié de sélectionner un modèle plutôt que de faire la moyenne des modèles lorsqu'ils fournissent des hypothèses concurrentes (c'est-à-dire des distributions bimodales) avec des répercussions de gestion différentes (Millar et al. 2015).

Harmonisation avec les principes de PRL

Les PRL de régression logistique n'utilisent pas les meilleurs renseignements disponibles pour les états des UC dans tous les cas (principe 1), parce qu'ils n'utilisent qu'une seule mesure de l'abondance des géniteurs, omettant les mesures sur les tendances qui peuvent être particulièrement informatives dans des contextes où les données sont limitées. Les UC qui n'ont pas de points de référence fondés sur l'abondance sont exclues de la prise en compte des dommages graves dans cette approche, même lorsque des tendances sont disponibles pour estimer l'état. De plus, les PRL de régression logistique se rapprochent de l'état des UC en comparant les abondances annuelles de géniteurs à des points de référence au lieu des abondances de géniteurs lissées de génération en génération et peuvent donc capturer le bruit aléatoire dans les tendances d'abondance au lieu de l'état réel qui est probablement autocorrélé dans le temps. Dans certains cas, l'état basé sur la seule mesure de l'abondance des géniteurs peut diverger de celui basé sur des approches multidimensionnelles, par exemple, l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique. Les PRL de régression logistique sont harmonisés avec le principe 2 dans la mesure où un dommage grave est indiqué par l'état de toute UC se trouvant dans la zone rouge de la PSS et que la relation estimée entre les abondances globales et la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur se maintient.

Les PRL de régression logistique sont opérationnels (principe 3) lorsque la gestion de la récolte se fait au niveau agrégé et nécessite des PRL d'abondance agrégée pour éclairer les décisions de gestion. Cependant, ils sont plus difficiles à communiquer étant donné qu'ils sont dérivés de sorties de modèles, et ils nécessitent le choix de la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs, ce qui est difficile à justifier d'un point de vue scientifique.

La fiabilité de l'estimation (principe 4) dépend de la fiabilité des données sous-jacentes et de l'ajustement de la régression logistique tel qu'il est décrit par les diagnostics du modèle. Une hypothèse de cette méthode est que la relation entre l'abondance globale et l'état au niveau des UC observée historiquement représente la relation actuelle (et future). Si la covariance de la dynamique entre les UC ou les productivités ou capacités relatives des UC ne sont pas stationnaires, un phénomène de plus en plus courant pour le saumon du Pacifique, les PRL de régression logistique peuvent ne pas représenter de manière fiable les dommages graves dans les conditions actuelles ou futures. De plus, les PRL peuvent ne pas être fiables si les stratégies de récolte changent au fil du temps de telle sorte que l'exploitation relative des UC varie (par exemple, en raison de changements vers une gestion des stocks faibles ou lorsque l'exploitation varie avec l'abondance d'autres espèces). Les incertitudes concernant l'état des UC sont prises en compte de manière explicite lorsque les modèles au niveau des UC et des UGS sont intégrés statistiquement, et les intervalles de confiance ou crédibles peuvent fournir des mesures quantitatives de l'incertitude de l'estimation (principe 5). Les PRL de régression logistique sont harmonisés avec le principe 6 dans la mesure où les abondances globales sont un prédicteur fiable et acceptable des états au niveau des UC, avec la mise en garde que l'état des UC sur un seul paramètre peut s'écarter de l'approche multidimensionnelle recommandée dans le cadre de la PSS.

PRL fondés de projection

Tout comme le PRL de régression logistique, les PRL fondés sur la projection reposent sur la relation sous-jacente entre les abondances globales et l'état des UC composantes. Cependant, à la différence des PRL de régression logistique, l'abondance agrégée pour laquelle il existe une probabilité spécifiée que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs est indiquée à partir de projections plutôt que directement à partir de données historiques.

Dans cette approche, la dynamique de la population des UC individuelles est projetée avec la variabilité naturelle des processus de population (par exemple, le recrutement et les âges à maturité) et avec la covariance entre les UC. Les projections sont faites en utilisant les taux d'exploitation actuels caractérisés par une incertitude de mise en œuvre annuelle. D'autres scénarios d'exploitation peuvent également être envisagés. Les projections sont exécutées sur une période d'initialisation pour éliminer les répercussions des conditions de départ, puis sur plusieurs générations pour déterminer les abondances agrégées caractérisées par un état d'équilibre où la répartition des abondances est stable. Les PRL projetés sont ensuite estimés en utilisant ces abondances projetées d'UC pour caractériser la relation entre l'abondance globale des géniteurs au niveau de l'UGS et la probabilité que toutes les UC dépassent leurs points de référence inférieurs (p. ex. $G_{\text{gén}}$). Pour les UGS que nous avons considérées pour nos études de cas, nous avons estimé l'approche de gestion avec des taux d'exploitation constants avec une erreur de mise en œuvre, bien que des procédures de gestion plus réalistes qui comprennent des objectifs d'échappement et des limites d'exploitation, ou une série fixe de taux d'exploitation qui varient avec les abondances pourraient être considérées dans des itérations futures. Comme

pour les PRL de régression logistique, l'état a été estimé à partir d'un seul paramètre plutôt qu'à partir de l'approche multidimensionnelle de l'explorateur des saumons.

Un avantage des PRL fondés sur la projection par rapport au PRL de régression logistique est que les projections permettent de prendre en compte explicitement l'incertitude des hypothèses sous-jacentes concernant les paramètres du modèle et la covariance entre les UC en incluant ces incertitudes comme composantes aléatoires des projections. En outre, contrairement aux PRL de régression logistique, cette méthode n'est pas limitée par les données historiques sur l'état des UC. Pour mettre en œuvre les PRL de projection, nous avons adapté un progiciel en R précédemment élaboré pour réaliser des modèles de simulation en boucle fermée, samSim (Holt et al. 2020 ; Freshwater et al. 2020), tel que décrit dans l'annexe pour Holt et al. (2023) et fourni en ligne (voir annexe B).

Après avoir fourni des répartitions de paramètres décrivant la dynamique de la population et l'exploitation au niveau des UC à samSim, les projections comprenaient quatre étapes principales :

1. Projeter les abondances de géniteurs sur 30 ans après une période d'initialisation et sur $nTrial$ simulations stochastiques, où $nTrials$ a été choisi pour stabiliser les résultats. Dans des analyses préliminaires, nous avons fait des projections sur 100 ans et avons trouvé des résultats similaires.
2. Pour chaque combinaison année-essai simulée après initialisation, caractérisez les abondances comme suit :
 - Attribuer l'abondance globale des géniteurs au niveau de l'UGS pour chaque combinaison année-essai à une case d'abondance basée sur des intervalles de 200 poissons, par exemple, 0 :200, 201 :400, 401 :600, etc.
 - Déterminer si toutes les UC pour chaque combinaison année-essai étaient au-dessus de leurs points de référence inférieurs au niveau des UC sur les abondances, ou non.
3. Pour chaque case d'abondance globale, calculez la proportion des combinaisons d'essais annuels où toutes les UC étaient supérieures à leur point de référence inférieur par rapport à toutes les combinaisons d'essais annuels tombant dans cette case. Ces proportions sont ensuite tracées par rapport aux abondances agrégées pour la case annuelle (prise comme point médian de la case).
4. Indiquer le PRL comme étant le point médian de la case d'abondance globale dont la proportion d'UC au-dessus de leur point de référence inférieur est la plus proche du seuil de probabilité souhaité (p. ex. 0,5, 0,66, 0,9 ou 0,99).

Des exemples de projection des PRL dérivés de l'abondance globale de chaque case tracée en fonction de la proportion de combinaisons année-essai où toutes les UC étaient supérieures à leur point de référence inférieur sont présentés à la figure 5. Le choix de 200 poissons a été un compromis entre l'augmentation de la régularité de la courbe avec des segments couvrant une plus petite gamme d'abondances globales et les limitations informatiques des petits bacs nécessitant un très grand nombre de simulations stochastiques pour permettre un nombre suffisant de combinaisons année-essai dans chaque bac pour stabiliser les résultats. De plus, pour nos études de cas, 200 poissons se situaient dans la plage d'incertitude des abondances de géniteurs observées. Comme dans le cas du PRL de régression logistique, l'incertitude des points de référence et de l'état des UC est explicitement prise en compte dans le PRL fondé sur la projection lors du calcul de la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs. Cependant, contrairement au PRL de régression logistique, il n'y a pas d'incertitude d'estimation dans le PRL fondé sur la projection, car l'estimation du modèle

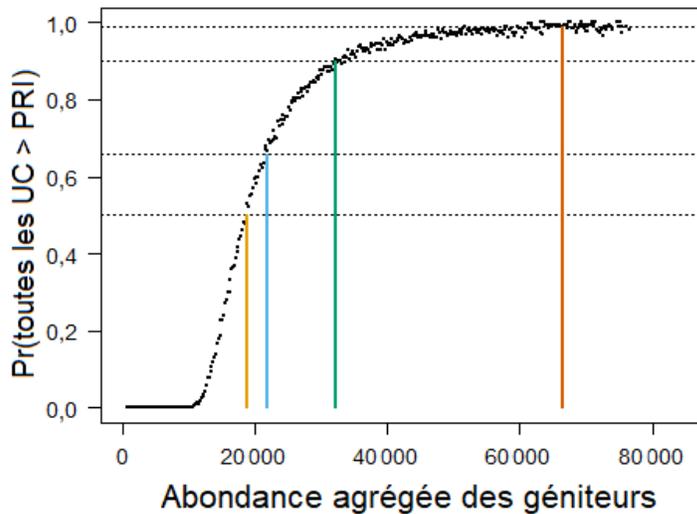


Figure 5. Exemple de courbe de probabilité prévisionnelle dérivée de projections sur 30 ans et 10 000 essais de Monte Carlo. La courbe montre les proportions projetées des combinaisons année-essai où toutes les UC étaient au-dessus de leur point de référence inférieur en fonction de l'abondance globale de l'UGS, où les abondances globales sont indiquées par tranches de 200 poissons. Chaque point de la courbe représente une seule combinaison d'année et d'essai de simulation. Les lignes colorées représentent les PRL candidats calculés pour 4 seuils de probabilité différents, 0,5 (jaune), 0,66 (bleu), 0,90 (vert) et 0,99 (orange). Les lignes horizontales en pointillés coupent l'axe des y à chaque seuil de probabilité, tandis que les lignes verticales pleines montrent l'échappée globale correspondante qui représente le PRL.

statistique n'est pas nécessaire. Les probabilités sont dérivées directement des projections et les incertitudes sous-jacentes sont intégrées directement dans la probabilité globale. Par conséquent, les intervalles de confiance ne sont pas fournis.

De plus, comme dans le cas des PRL de régression logistique, l'incertitude structurelle de la dynamique sous-jacente de la population peut être prise en compte au moyen d'analyses de sensibilité ou de moyennes de modèles en combinant les résultats des essais aléatoires stochastiques pour ces hypothèses structurelles. Voir notre mise en œuvre pour le saumon coho du Fraser intérieur dans Holt et al. (2023) pour plus de détails.

Harmonisation avec les principes de PRL

Comme pour le PRL de régression logistique, le PRL fondé sur la projection n'utilise qu'un seul paramètre (l'abondance annuelle des géniteurs) et n'utilise donc pas nécessairement les meilleurs renseignements disponibles (principe 1) si les états des UC peuvent être estimés à l'aide d'autres paramètres. Également semblables aux PRL de régression logistique, les PRL fondés sur la projection représentent des niveaux supérieurs à celui associé à un dommage grave (principe 2) tel qu'indiqué par l'état de toute UC se trouvant dans la zone rouge en vertu de la PSS, étant donné la relation basée sur la projection entre les abondances globales et la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leur point de référence inférieur.

Tout comme le PRL de régression logistique, le PRL de projection est opérationnel (principe 3) lorsque la gestion de l'exploitation se fait au niveau de l'ensemble des UGS et qu'un PRL d'abondance globale est nécessaire pour éclairer les décisions. Cependant, cette forme de PRL peut être plus difficile à communiquer, car elle est dérivée de projections avec des hypothèses d'équilibre, et elle nécessite de choisir la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs, un choix difficile à justifier sur une base purement scientifique. La fiabilité de l'estimation (principe 4) dépend des distributions des paramètres sous-jacents et de la structure du modèle capturant la gamme plausible de la véritable dynamique sous-jacente. Comme pour les PRL de régression logistique, les incertitudes peuvent être propagées des points de référence et de l'état au niveau des UC aux PRL (principe 5). Cependant, contrairement aux PRL de régression logistique, cette méthode peut également intégrer des plages plausibles ou des attentes futures des paramètres et des incertitudes structurelles qui peuvent différer de celles observées historiquement. Comme pour le PRL de régression logistique, le PRL fondé sur la projection est harmonisé avec le principe 6 dans la mesure où les abondances globales sont un prédicteur fiable des états des UC, avec la mise en garde que l'état des UC sur une seule mesure peut s'écarter de l'approche multidimensionnelle recommandée dans le cadre de la PSS. Tout comme les PRL de régression logistique, les PRL basés sur la projection sont harmonisés avec le principe 6 dans la mesure où les abondances globales sont capables de prédire de façon fiable les états au niveau des UC.

5. LIGNES DIRECTRICES POUR L'APPLICATION DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)

5.1. APPROCHE ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR LA SÉLECTION DES PRL

PRINCIPAUX POINTS :

- Nous recommandons une approche par étapes pour l'élaboration des PRL qui met en évidence les étapes, les considérations et les décisions importantes lors de la détermination des PRL. Ces étapes constituent nos lignes directrices pour le choix et la mise en œuvre des méthodes candidates de PRL.
- **Étape 1.** Compiler les données
- **Étape 2.** Évaluer les lacunes dans les données de l'unité de conservation (UC)
- **Étape 3.** Évaluer si les UC sans données peuvent être représentées par des UC avec des données.
- **Étape 4.** Déterminer quelle proportion d'UC au-dessus de l'état rouge (parmi celles disposant de données) est nécessaire pour éviter un dommage grave. Nous recommandons 100
- **Étape 5.** Évaluer l'état de l'unité de gestion des stocks (UGS) par rapport au PRL fondé sur l'état des UC
- **Étape 6.** Effectuer un examen par les pairs de l'état par rapport au PRL fondé sur l'état des UC
- **Étape 7.** Déterminer si les PRL fondés sur l'abondance globale sont nécessaires pour la gestion des pêches.
- **Étape 8.** Si oui, estimer les PRL fondés sur l'abondance globale et évaluer dans quelle mesure les hypothèses sous-jacentes sont respectées.
- **Étape 9.** Si oui, appliquer les PRL fondés sur l'abondance globale pour obtenir un état au niveau de l'UGS.

Nous recommandons une approche progressive pour déterminer les PRL, avec la proportion d'UC composantes dont l'état est supérieur à rouge comme méthode par défaut (fig. 6). C'est la méthode recommandée pour répondre à l'exigence de la *Loi sur les pêches* pour les PRL, et étant basée sur l'unité biologique de l'UC, elle peut être appliquée à de nombreux aspects de la gestion du saumon, y compris l'éclosion, la récolte et la gestion de l'habitat. Les PRL d'abondance globale sont présentés comme une option pour les cas où ils sont requis pour la gestion des pêches (par exemple, à l'échelle locale ou internationale), mais ils sont considérés comme complémentaires à la proportion d'UC dont l'état est supérieur à rouge. L'approche par étapes présentée ci-dessous tient compte de la disponibilité des données pour les méthodes potentielles d'établissement du PRL et fournit des conseils lorsque des incohérences dans l'état apparaissent suite à l'application de plusieurs méthodes de PRL. Ces étapes peuvent être adaptées à l'avenir, à mesure que d'autres méthodes sont élaborées et/ou que ces méthodes sont appliquées et évaluées dans d'autres UGS et contextes. Ces étapes ont été élaborées pour être cohérentes avec les principes décrits dans la section 3.

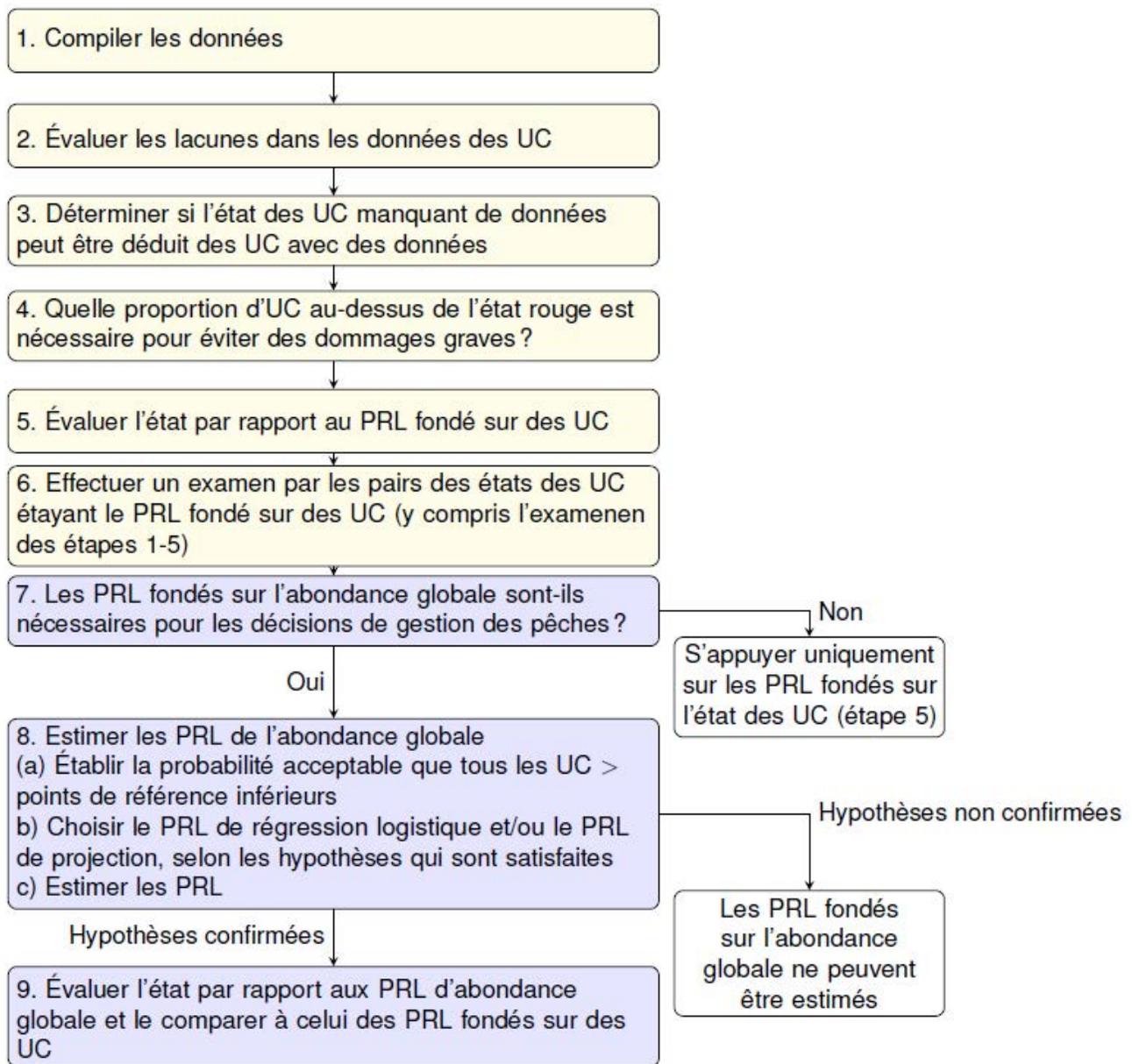


Figure 6. Étapes de l'établissement des PRL et de l'évaluation de l'état. Les cases jaune et bleues indiquent celles pour l'estimation des PRL fondés sur les UC et sur l'abondance globale, respectivement.

5.1.1. Étape 1 : Compilation des données

La première étape consiste à colliger les données au niveau des UC pour soutenir les évaluations de l'état biologique, comme le décrit la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) (Holt et al. 2009 ; Holt et al. 2018). Ces données comprennent (mais sans s'y limiter) des séries chronologiques d'abondances de géniteurs, de recrutement, de contributions d'éclosion, de productivité et de points de référence biologiques sur les abondances de géniteurs. Cette étape comprend généralement le regroupement des données au niveau du site de fraie ou du cours d'eau jusqu'au niveau de l'UC.

Dans certains cas, des échelles spatiales plus fines que les UC (par exemple, les bassins versants ou les sous-populations au sein des UC) peuvent être considérées pour définir un dommage grave à une UGS. Bien que les UC soient l'unité de population d'évaluation et de conservation requise par la PSS, la répartition de la fraie au sein des UC (par exemple, parmi les bassins versants ou les sous-populations) peut être une composante importante de l'état (Holt et al. 2009) et ces échelles plus fines peuvent être prises en compte lorsque les données ou les informations justificatives le permettent. La répartition est une composante communément citée de la viabilité et du rétablissement du saumon (McElhany et al. 2000). Lors de l'application à la détermination des objectifs de rétablissement du saumon du Pacifique, Bradford et Wood (2004) ont défini l'échelle de répartition pertinente en unités de sous-populations qui sont démographiquement indépendantes, où la dynamique de la population d'une sous-population est peu susceptible d'affecter la dynamique d'une autre. Les échanges génétiques entre les sous-populations devraient se produire à des taux plus élevés que ceux observés entre les UC (ou les populations), et dépasseraient probablement 10 migrants effectifs par génération. En appliquant ces critères au saumon coho du Fraser intérieur, Bradford et Wood (2004) ont défini des sous-populations en fonction de grands bassins versants ou de lacs, ou d'obstacles partiels à la migration.

Nous recommandons que la décision sur la répartition et l'échelle spatiale de conservation pour les évaluations biologiques fasse partie du processus d'examen par les pairs pour les évaluations des UC et de l'UGS, et qu'elle soit basée sur les principes biologiques de conservation et de viabilité (McElhany et al. 2000 ; p. ex., comme il est examiné dans Bradford et Wood 2004).

Dans le cadre de cette étape, les informations sur l'apport des écloséries sont utilisées pour identifier les populations où la production est dominée par des poissons provenant d'écloséries. Ces populations (identifiées par des valeurs de l'influence naturelle proportionnelle (INP) $< 0,5$, ou par l'avis d'experts lorsque les données sur la proportion de géniteurs issus d'écloséries ne sont pas disponibles) sont généralement exclues des analyses, tandis que celles qui sont dominées par des poissons d'origine naturelle (par exemple, les valeurs de l'INP sont $\geq 0,5$), sont généralement incluses (Withler et al. 2018). De plus, lorsque des séries chronologiques de la proportion de saumons issus d'écloséries dans les frayères sont disponibles et que la production est dominée par des poissons d'origine naturelle, ces proportions peuvent être utilisées pour générer des séries chronologiques du recrutement d'origine naturelle pour l'estimation des points de référence et des géniteurs d'origine naturelle pour l'évaluation de l'état par rapport aux points de référence. Lorsque l'influence de la production en éclosérie est ainsi éliminée, les évaluations sont moins sensibles à la présence d'écloséries et à la variation annuelle des pratiques d'éclosérie.

En ce qui concerne les cours d'eau et les sites de fraie, le comblement pour les années où il y a des données manquantes est couramment utilisé lors de la compilation des séries d'abondance des géniteurs au niveau des UC (p. ex., voir Grant et al. 2012 ; Brown et al. 2020). Lorsque des séries chronologiques comblées sont utilisées pour estimer les PRL et surveiller l'état des stocks par rapport aux PRL, il faut tenir compte de l'échelle à laquelle le comblement est effectué. Si les PRL sont basés sur le maintien de la diversité au niveau des UC, le comblement des données manquantes ne devrait généralement pas être basé sur les échappées provenant de l'extérieur de l'UC. Le comblement entre les UC augmente l'incertitude et peut fournir un état trompeur pour l'UC qui est remplie, si les UC divergent sur le plan de l'état et de tendances (voir étape 3). En outre, l'apport des écloséries doit être soigneusement pris en compte lors du comblement afin d'éviter de surestimer les abondances lorsque les chiffres du comblement sont basés sur des sites qui sont artificiellement renforcés et lorsque les niveaux d'aménagement varient au cours de la série chronologique.

5.1.2. Étape 2 : Évaluer les lacunes dans les données des UC

Ensuite, les UC disposant de données pour soutenir les évaluations biologiques sont identifiées ; celles qui ne disposent pas de données suffisantes sont considérées comme manquant de données. Les UC sont évaluées en fonction de divers paramètres, dont l'abondance et les tendances, et les exigences en matière de données pour ces paramètres varient. Au minimum, une UC doit avoir un indice des séries chronologiques de l'abondance des géniteurs. Ces données peuvent être utilisées pour estimer les tendances dans le temps par rapport à des points de référence communs à toutes les UC (Holt et al. 2009). Pour les analyses de tendances à court terme, les données sont considérées comme insuffisantes lorsqu'elles incluent moins de la moitié des années disponibles dans les trois dernières générations ou qu'elles sont de faible qualité et ne représentent que la présence/l'absence. Ces critères de détection des tendances sont similaires aux critères décrits dans Brown et al. (2020) et appliqués aux sites de fraie du saumon chinook dans le sud de la Colombie-Britannique.

En outre, l'abondance actuelle des géniteurs peut être comparée à des repères basés sur l'abondance, où l'abondance actuelle des géniteurs est généralement définie comme la moyenne géométrique de l'abondance des géniteurs sur la génération la plus récente. Pour cette mesure, il est nécessaire de disposer d'au moins une année d'abondance de géniteurs dans la génération actuelle pour pouvoir la comparer à des références. Les repères spécifiques à l'UC sur l'abondance des géniteurs peuvent être dérivés de modèles de recrutement de géniteurs, de percentiles de séries temporelles de géniteurs, ou de caractéristiques d'habitat. Les besoins en données pour l'estimation de points de référence sur l'abondance des géniteurs diffèrent selon les méthodes appliquées et ne sont pas explicitement définis ici. Une expertise biologique locale est nécessaire pour examiner les données et les points de référence disponibles avant les évaluations afin d'identifier les lacunes dans les données. Par exemple, les changements dans les conditions environnementales au fil du temps peuvent entraîner des données historiques qui ne sont plus représentatives des conditions actuelles, ce qui entraîne des lacunes dans les données.

5.1.3. Étape 3 : Déterminer si l'état des UC manquant de données peut être déduit des UC avec des données

Troisièmement, la mesure dans laquelle l'état des UC manquant de données peut être déduit des UC disposant de données est évaluée. Par définition, les UC pauvres en données ne disposent pas de données sur la dynamique des populations pour évaluer rigoureusement dans quelle mesure d'autres UC disposant de données pourraient être utilisées pour représenter leur état, bien que des informations sur les menaces et les caractéristiques biologiques puissent être disponibles. Pour déduire l'état des UC avec peu de données, nous recommandons au minimum de fournir des preuves que : i) les menaces ayant une incidence sur les UC à données insuffisantes sont probablement les mêmes que pour les UC avec des données et leur ampleur est similaire, ii) les facteurs environnementaux dominants sont similaires entre les UC, par exemple, comme le reflète la répartition des UC dans les écosystèmes d'eau douce et marins, iii) les caractéristiques biologiques, telles que le type de cycle biologique et l'âge dominant à la maturité des UC sans données, sont représentées dans les UC avec données, et iv) la capacité de charge des UC sans données est probablement du même ordre que celle des UC avec données. Les preuves à l'appui de ces critères doivent être clairement documentées et examinées par des experts locaux. Le poids de la preuve est d'indiquer que les UC manquant de données ont des propriétés similaires aux UC voisines, avec l'hypothèse par défaut que chaque UC représente une biodiversité unique dont l'état et les tendances ne peuvent être représentés par d'autres UC. Nous donnons

un aperçu des quatre critères dans le tableau 4 et décrivons chacun d'eux plus en détail ci-dessous.

Tableau 4. Critères d'évaluation de la représentativité des UC au sein des UGS.

Critères	Justification	Exemples de caractéristiques	Exemples de sources d'information
Menaces	Les menaces propres à l'UC peuvent avoir une incidence sur les taux de survie, la croissance et/ou le succès de la reproduction et, par conséquent, sur les états et les tendances	Les modifications de l'écosystème, y compris l'extraction de l'eau, la foresterie, les incendies, l'agriculture ainsi que le développement, la pêche, la pollution, l'aquaculture et les impacts génétiques des écloséries	Évaluations publiées sur les menaces et l'habitat par UC
Facteurs environnementaux	Les conditions climatiques propres à l'UC peuvent avoir une incidence sur la survie, la croissance, la maturation ou le succès de reproduction et donc sur l'état et les tendances, soit en raison des facteurs environnementaux eux-mêmes, soit en raison de l'interaction de différents environnements avec des menaces anthropiques communes	Eau douce : gradient fluvial, connectivité, macroclimat de l'habitat de fraie et d'élevage, régime hydrologique (p. ex., (1) pour le saumon chinook). Milieu marin : remontée d'eau, courants, productivité de l'environnement littoral à l'entrée de l'océan	Répartition des zones d'adaptation d'eau douce et marine (2), zones biogéoclimatiques décrivant les macroclimats, comme dans (3), caractéristiques de l'habitat fournies dans les évaluations des stocks propres à l'UC, savoir autochtone
Caractéristiques du cycle biologique	Les UC ayant les mêmes caractéristiques du cycle biologique, comme l'âge à l'entrée dans l'océan, sont plus susceptibles de se chevaucher dans la répartition spatiale et temporelle et donc de répondre de manière similaire aux menaces communes et aux facteurs environnementaux, par rapport à celles qui ont des caractéristiques divergentes	Type de cycle biologique (type fluvial par opposition à type océanique pour le saumon chinook), âge à l'entrée dans l'océan, âge au retour, période de migration	Informations biologiques propres aux UC provenant des évaluations de stocks, savoir autochtone

Critères	Justification et exemples de caractéristiques	Exemples de sources d'information	
Capacité de charge	La taille de la population est liée à la probabilité de tomber en dessous des seuils critiques de conservation et donc à la vulnérabilité aux menaces et/ou aux perturbations aléatoires	Abondance des géniteurs	Les informations biologiques propres à l'UC provenant d'évaluations de stocks, taille du bassin versant (4), savoir autochtone

(1) (Beechie et al. 2006) (2) (Holtby et Ciruna 2007) (3) (Medinger et Pojar 1991) (4) (Parken et al. 2006)

Les menaces sont définies comme une activité ou un processus anthropique qui cause des dommages à une espèce, sa mort ou des modifications de son comportement, ou la destruction, la détérioration ou la perturbation de son habitat jusqu'au point où des effets sur la population peuvent se produire (MPO 2014). Les UC qui sont exposées à différentes menaces en eau douce et en milieu marin au sein d'une UGS peuvent diverger en termes de caractéristiques biologiques telles que la survie, la croissance et le succès de la reproduction et, par conséquent, d'états et de tendances.

Les UC peuvent varier dans leur exposition aux **conditions environnementales** liées à la variabilité des écosystèmes d'eau douce et marins, du macroclimat et de l'hydrologie dans une UGS. Bien que les UGS soient généralement définies comme des groupes d'UC cohésives dans l'espace, les différences de conditions environnementales entre UC voisines peuvent entraîner des différences d'état et de tendances.

Les UC ayant des caractéristiques similaires **sur le plan du cycle biologique** sont plus susceptibles de répondre de la même manière aux menaces communes et aux facteurs environnementaux que celles ayant des caractéristiques divergentes. Des différences dans les caractéristiques du cycle biologique ont évolué parmi les UC en raison de l'exposition à des conditions environnementales différentes et de la disponibilité de la nourriture (p. ex., Bourret et al. 2016). Dans certains cas, les UGS ont été définies pour harmoniser les UC avec des cycles biologiques similaires (par exemple, le saumon chinook du Fraser où les UGS sont définies en partie selon les âges dominants à la maturité et le moment de la montaison des adultes). Dans d'autres UGS, les UC de divers types de cycle biologique sont combinées en fonction de leur emplacement géographique (p. ex. l'UGS du saumon chinook du bras de mer continental qui contient des UC de poissons de type océanique et de type fluvial).

Les UC ayant des **capacités de charge** différentes peuvent réagir différemment à des menaces similaires. Par exemple, les très petites UC peuvent être plus vulnérables à une pression de pêche modérée si les abondances baissent en dessous des seuils critiques de conservation (p. ex., 1 500 poissons, un seuil d'abondance dans l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique), alors que les UC plus grandes peuvent être plus résilientes aux menaces communes.

La covariation de la productivité intrinsèque entre les populations qui sont situées à proximité l'une de l'autre est bien documentée chez les diverses espèces de saumon du Pacifique (Peterman et al. 1998 ; Pyper et al. 2002 ; Dorner et al. 2018), ce qui fournit un certain appui pour l'utilisation des UC riches en données pour éclairer les UC sans données.

Dans une méta-analyse des séries chronologiques de géniteurs pour les espèces de saumon du Pacifique dans toute la Colombie-Britannique, à l'aide de données extraites de l'outil Pacific Salmon Explorer (Fondation du saumon du Pacifique 2020), les corrélations par paires dans les abondances de géniteurs entre les UC au sein des UGS avaient tendance à être positives (annexe C, fig. C.1).

Dans l'ensemble, nous suggérons d'être prudent lorsque l'on représente l'état des UGS avec seulement un sous-ensemble d'UC, et nous recommandons d'évaluer et de documenter les risques d'attribuer incorrectement un état aux UC manquant de données d'après les UC voisines. Nous recommandons également une évaluation quantitative plus poussée de ces critères en utilisant des données empiriques désagrégées en groupes d'UC ayant des conditions environnementales, des types de cycle biologique et une intensité de gestion similaires, entre autres variables. Ces critères ne se veulent pas normatifs, mais visent à fournir des directives générales pour tirer des conclusions pour les UC dont les données sont insuffisantes.

Si les UC manquant de données ne répondent pas aux critères d'inférence à partir des UC restantes au sein d'une UGS, nous recommandons la collecte de données au niveau des UC pour éclairer les évaluations biologiques. La collecte de données serait donc prioritaire pour les UC qui divergent des UC voisines sur le plan des menaces, des facteurs environnementaux, des caractéristiques du cycle biologique et/ou de la capacités de charge.

5.1.4. Étape 4 : Quelle proportion d'UC au-dessus de l'état rouge est nécessaire pour éviter un dommage grave ?

Afin d'appliquer des PRL basés sur l'état des UC, il faut définir une limite inférieure à la proportion d'UC au-dessus de l'état rouge. Le MPO (2009a) indique que les PRL sont basés sur des critères biologiques identifiés par les Sciences, indépendamment des processus de gestion. Étant donné que l'objectif de la PSS est de protéger la biodiversité du saumon du Pacifique en partie en maintenant les UC au-dessus des points de référence biologiques inférieurs, nous avons indiqué un seuil de 100 % des UC au-dessus de l'état rouge comme un PRL qui évitera un dommage grave. Des exceptions à ce PRL peuvent survenir lorsqu'il y a une incertitude ou une mauvaise identification dans la délimitation des UC (p. ex., comme pour certaines UC transfrontalières, Holtby et Ciruna 2007) ou des UC sont désignées comme étant disparues. Ces UC seraient omises du nombre total d'UC (existantes) au sein de l'UGS.

Cette étape omet les décisions sur la façon de prioriser les UC pour la conservation étant donné la variabilité de leur capacité à se rétablir. Pour certaines UC, le potentiel de rétablissement au-dessus de la zone rouge peut être extrêmement faible en raison de conditions naturelles ou de menaces anthropiques. Par exemple, certaines UC sont naturellement plus vulnérables aux menaces en raison de leurs caractéristiques biologiques (par exemple, la disponibilité limitée de l'habitat), ce qui les place dans la zone rouge. Toutefois, cette vulnérabilité naturelle ne diminue pas le dommage grave associé à la perte de biodiversité si cette UC est perdue. Le rétablissement peut également être limité par des menaces anthropiques telles que le changement climatique. De récentes évaluations de la vulnérabilité indiquent que de nombreuses populations de saumon ne résisteront pas au changement climatique au cours des prochaines décennies (Crozier et al. 2019, 2021). Ces considérations peuvent être indiquées dans les analyses du potentiel de rétablissement afin d'éclairer les décisions sur l'affectation des ressources dans tout plan de rétablissement ultérieur élaboré (par exemple, Carwardine et al. 2019).

En outre, contrairement à de nombreuses autres pêches marines, les menaces et les leviers de gestion du saumon du Pacifique vont au-delà de ceux associés aux pêches qui sous-tendent

la définition des UGS et des PRL. L'échelle des UGS est souvent incongrue avec l'échelle des menaces dominantes et des leviers de gestion. Par conséquent, les PRL fondés sur le fait que 100 % des UC sont au-dessus de l'état rouge peuvent déclencher l'élaboration de plans de rétablissement en vertu des dispositions sur les stocks de poissons lorsqu'une seule composante (p. ex. une seule UC) nécessite une intervention. De plus, les interventions les plus appropriées au niveau des UC peuvent ne pas être liées à la récolte (par exemple, les écloséries ou l'amélioration de l'habitat). Néanmoins, nous avons mentionné que 100 % des UC au sein de l'UGS devraient être au-dessus de leurs points de référence pour éviter un dommage grave en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons. Les déclencheurs et les interventions à des échelles spatiales plus fines et plus grossières seront également essentiels pour assurer la pérennité du saumon du Pacifique.

5.1.5. Étape 5 : Évaluer l'état par rapport à un PRL fondé sur l'état des UC

Nous recommandons que les PRL fondés sur l'état des UC soient l'approche par défaut pour déterminer les PRL du saumon du Pacifique. Cette méthode assure la cohérence avec les évaluations publiées précédemment dans le cadre de la PSS (Grant et Pestal 2013 ; MPO 2015 ; MPO 2016b ; Grant et al. 2020a) et permet d'évaluer l'état à une hiérarchie d'échelles pertinentes pour le rétablissement du saumon. .

En utilisant cette approche, l'état des UC individuelles est évalué et la proportion d'UC avec un état supérieur à rouge est ensuite comparée au PRL indiqué à l'étape 4. Lorsqu'elles sont disponibles, nous recommandons d'appliquer les évaluations des UC provenant d'évaluations récentes de l'état de la PSS évaluées par des pairs, dans lesquelles de multiples paramètres, tels que les abondances et les tendances à court et à long terme, sont intégrés pour attribuer l'état des UC dans le cadre d'un processus dirigé par des experts (Holt et al. 2009 ; MPO 2015 ; MPO 2016b ; Grant et al. 2020a). En règle générale, nous suggérons que le terme « récent » signifie la génération la plus récente, bien que des perturbations majeures telles que des glissements de terrain puissent rendre les évaluations récentes non représentatives de l'état actuel.

Étant donné que les évaluations officielles de l'état selon la PSS, qui sont examinées par les pairs, sont des processus qui exigent beaucoup de ressources, notamment de grands groupes d'experts pendant plusieurs jours (Grant et Pestal 2013), et qu'elles ne sont pas disponibles pour la plupart des UC, nous démontrons l'application d'un outil pour déterminer rapidement l'état : l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique (Pestal et al. en préparation). Dans ce cadre multidimensionnel, l'état des UC dépend de divers paramètres de population, où le choix des paramètres dépend de la disponibilité des données et peut différer entre les UC au sein d'une UGS. L'explorateur des saumons intègre l'état des mesures disponibles pour obtenir un état global comparable entre les UC.

État des UGS dont les UC manquent de données

Les PRL basés sur l'état des UC sont considérés comme dépassés lorsqu'au moins une UC a un état rouge, que l'état des UC pauvres en données puisse être déduit ou non des UC riches en données (tableau 5, colonne de droite). Une seule UC avec un état rouge peut déclencher un plan de rétablissement en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons, étant donné que l'amélioration de la surveillance des UC dont les données sont insuffisantes n'entraînera pas à elle seule une augmentation de l'état de l'UGS à 100 % (c.-à-d. toutes les UC au-dessus de l'état rouge). Une surveillance plus poussée des UC manquant de données est encore justifiée

dans ce cas pour éclairer l'état des composantes restantes de l'UGS et des efforts de rétablissement connexes.

État provisoire de l'UGS

Lorsque des UC dont les données sont insuffisantes sont représentées par des UC disposant de données, nous qualifions l'état résultant de « provisoire » si toutes les UC incluses dans l'évaluation sont supérieures à l'état rouge (tableau 5). Cet état présente une plus grande incertitude et est donc considéré comme provisoire jusqu'à ce que toutes les UC qui le composent puissent être évaluées directement. Dans certains cas, la variabilité naturelle seule peut faire en sorte que des UC non évaluées aient un état rouge, même si les critères énumérés pour la représentativité des UC à l'étape 3 sont respectés.

État de l'UGS manquant de données

En revanche, lorsque les UC dont les données sont insuffisantes ne sont pas représentées par des UC comportant des données (c'est-à-dire que les critères de l'étape 3 ne sont pas respectés) et que toutes les UC incluses dans l'évaluation ont un état supérieur à rouge, l'UGS est considérée comme manquant de données et son état ne peut être évalué. Dans ce cas, nous recommandons d'améliorer la surveillance et l'évaluation pour combler les lacunes de l'évaluation au niveau des UC.

Tableau 5. Lignes directrices sur l'évaluation de l'état pour les PRL fondés sur l'état des UC correspondant à 100% des UC étant au-dessus de l'état rouge, lorsqu'au moins une UC est dépourvue de données.

	État des UC riches en données : tous les états supérieurs à rouge	État des UC riches en données : au moins un état rouge
L'état des UC manquant de données peut être déduit de celui des UC riches en données	État provisoire de l'UGS au-dessus du PRL avec une grande incertitude	État de l'UGS = inférieur au PRL
L'état des UC manquant de données <i>ne peut pas</i> être déduit des UC riches en données	État de l'UGS = données insuffisantes	État de l'UGS = inférieur au PRL

5.1.6. Étape 6 : Examen par les pairs de l'état relatif au PRL fondé sur l'état des UC

Nous recommandons une révision par les pairs des données et des évaluations des UC utilisées dans les étapes 1 (compilation des données), 2 (évaluation des lacunes dans les données des UC) et 5 (évaluation de l'état par rapport au PRL basé sur l'état des UC) si l'évaluation des UC est élaborée en dehors d'un processus existant publié et révisé par les pairs. De plus, nous recommandons un examen par les pairs des décisions sur l'agrégation à l'échelle de l'UGS à partir des étapes 3 (représentation des UC manquant de données) et 4 (proportion des UC requises pour être au-dessus de l'état rouge). Cet examen par les pairs peut se faire, du moins en partie, grâce à la mise en œuvre annuelle de l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique du programme sur l'état du saumon du ministère des Pêches et des Océans (MPO). L'explorateur des saumons sera appliqué annuellement dans le cadre d'un processus intégrant les résultats avec l'expertise locale pour fournir des états pour les UC. Un examen par des experts est nécessaire pour vérifier les états obtenus par l'application de l'explorateur des saumons afin de s'assurer qu'ils sont cohérents avec les catégories biologiques sous-jacentes, compte tenu des dimensions multiples et parfois contradictoires de l'état. Les résultats de ce processus peuvent servir de base à l'élaboration d'états au niveau des UC pour éclairer les PRL au niveau de l'UGS. Nous soulignons l'importance d'un examen documenté par les pairs des PRL et des évaluations de l'état de l'UGS prescrites par la réglementation, soit dans le cadre de l'application annuelle de l'explorateur des saumons, soit dans le cadre d'un processus distinct d'examen par les pairs propre aux UGS. L'examen par les pairs peut être documenté, par exemple, dans un document de recherche du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS), une réponse des Sciences du SCAS et/ou un avis scientifique du SCAS.

La fréquence des examens par les pairs à l'échelle de l'UGS en dehors de la mise en œuvre annuelle de l'explorateur des saumons dépendra de la variabilité de la dynamique de la population au niveau des UC au fil du temps et de la façon dont les PRL et les évaluations au niveau de l'UGS sont utilisés pour éclairer la prise de décisions (par exemple, si une UGS est classée par lots en vertu de la *Loi sur les pêches*), entre autres facteurs. À l'avenir, les procédures de gestion avec diverses fréquences d'évaluation pourraient être évaluées dans un cadre de simulation afin de déterminer les risques de retarder les évaluations par rapport aux coûts de leur mise en œuvre.

5.1.7. Étape 7 : Les PRL fondés sur l'abondance globale sont-ils nécessaires pour la gestion des pêches ?

Bien que les PRL fondés sur l'état des UC puissent répondre aux exigences des dispositions sur les stocks de poissons pour le saumon du Pacifique, les PRL fondés sur l'abondance peuvent être nécessaires pour les décisions de gestion des pêches (section 2.2). Pour les UGS où la récolte à l'échelle globale est un facteur dominant de la dynamique de la population et où la restriction des prises dans les pêches est un levier de gestion principal, un PRL selon la mesure de l'abondance au niveau de l'UGS peut soutenir une gestion de précaution. Par exemple, lorsque les PRL sont utilisés pour éclairer une règle de contrôle des prises, la pression de pêche peut être progressivement réduite à mesure que les abondances globales diminuent vers le PRL afin d'éviter l'épuisement en dessous de ce niveau. Des points de référence fondés sur l'abondance globale peuvent dans certains cas être nécessaires pour la gestion locale ou internationale. Par exemple, des objectifs d'échappées globales sont requis pour le saumon rouge des rivières Nass et Skeena en vertu des dispositions du Traité sur le saumon du Pacifique

(2019), bien que pour se conformer aux objectifs de la PSS, l'objectif d'échappées globales doit tenir compte de la diversité au niveau des UC.

Cependant, lorsque les PRL sont définis dans le contexte d'un cadre de procédure de gestion (section 2.2), un PRL fondé sur l'abondance globale peut ne pas être nécessaire si le cadre peut démontrer la probabilité que des UC individuelles aient un état supérieur à rouge pour diverses options de gestion. Pour le saumon du Pacifique, les procédures de gestion peuvent aller au-delà des règles de contrôle des prises et inclure des fermetures spatio-temporelles, des restrictions sur les engins de pêche, la mise en valeur de l'habitat ou les apports d'écloserie pour protéger les UC individuelles. Par conséquent, le choix d'élaborer un PRL d'abondance globale dépend du contexte décisionnel et devrait être fait en collaboration avec les divers secteurs et les Premières Nations responsables des décisions de gestion qui touchent l'UGS. Si les PRL fondés sur l'abondance globale ne sont pas nécessaires, l'évaluation de l'UGS se fera par les étapes 1 à 6. Les étapes suivantes (8-9) sont pertinentes si des PRL fondés sur l'abondance globale sont requis, et s'appuient sur les PRL basés sur l'état des UC dérivés dans les étapes précédentes. Les incertitudes introduites par l'inclusion de modèles pour relier les abondances globales aux états au niveau des UC doivent être prises en compte lors du choix des méthodes d'établissement du PRL (principe 5 de la section 3).

Dans le contexte décrit ici, les PRL fondés sur l'abondance globale sont des quantités dérivées scientifiquement qui délimitent un dommage grave pour une UGS en suivant les principes décrits dans la section 3. En particulier, les PRL fondés sur l'abondance globale sont définis de manière à être cohérents avec l'objectif de la PSS de maintenir la biodiversité à l'échelle des UC. Bien que ces PRL puissent éclairer les règles de contrôle des prises, les décisions de gestion des pêches nécessitent la prise en compte de multiples objectifs au-delà de ceux associés à la conservation et aux dommages graves (par exemple, des objectifs socio-économiques).

5.1.8. Étape 8 : Estimation des PRL fondés sur l'abondance globale

Quelle est la probabilité acceptable que les états des UC soient au-dessus du rouge ?

Pour définir les PRL fondés sur l'abondance globale, il faut d'abord déterminer une probabilité acceptable que tous les états des UC composantes soient au-dessus de rouge. Bien qu'une probabilité de 100 % ou de presque 100 % que toutes les UC composantes soient au-dessus du rouge puisse être souhaitable du point de vue de la conservation, les incertitudes inhérentes à la dynamique des populations rendent ce choix peu pratique. Souvent, des PRL supérieurs aux plus fortes abondances globales de géniteurs observées sont nécessaires pour obtenir une probabilité proche de 100 % que les composantes soient au-dessus de l'état rouge. Au lieu de cela, nous recommandons d'appliquer une probabilité d'au moins 50 % que toutes les UC dépassent l'état rouge pour s'harmoniser avec les objectifs de la PSS. Comme il est indiqué dans la section 4, nous fournissons des PRL associés à une gamme de probabilités, 50 %, 66 %, 90 % et 99 % (lorsque cela est possible sur le plan analytique), dérivées des catégories de probabilités utilisées par le Groupe international d'experts sur l'évolution du climat (tableau 3, Mastrandrea et al. 2010), au lieu de mentionner une seule probabilité. Nous distinguons *la probabilité que toutes les UC soient au-dessus du rouge* de *la proportion d'UC au-dessus du rouge* (indiquée comme 100 % à l'étape 4). Les PRL fondés sur l'état des UC et l'abondance globale sont fixés à des niveaux où toutes les UC sont au-dessus de l'état rouge, mais les PRL d'abondance globale attribuent une probabilité à cette occurrence.

Bien que le cadre de l'approche de précaution du MPO (2009) stipule que les PRL en vertu des dispositions sur les stocks de poissons soient établis par les Sciences, nous n'avons pas été

en mesure d'établir un niveau de probabilité précis pour que toutes les UC soient au-dessus de l'état rouge qui s'harmonise avec les principes scientifiques. Bien qu'il soit possible de sélectionner un niveau de probabilité basé sur le schéma de catégorisation des probabilités du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (par exemple, plus probable qu'improbable, probable, très probable, pratiquement certain), des conseils supplémentaires sur le choix entre ces options sont nécessaires.

Choisir parmi les PRL fondés sur l'abondance globale

Des lignes directrices pour choisir parmi deux types de PRL fondés sur l'abondance globale sont décrites ici : le PRL de régression logistique et le PRL de projection. Ces méthodes utilisent des données historiques ou projetées, respectivement, pour déterminer la relation entre les abondances globales et la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de l'état rouge. Les directives présentées à cette étape sont fondées sur les hypothèses distinctes requises pour chaque méthode. Si les hypothèses ne sont pas satisfaites pour l'une ou l'autre des méthodes, il se peut qu'il ne soit pas possible d'élaborer des PRL fondés sur l'abondance globale conformes à la PSS pour l'UGS.

Les deux méthodes reposent sur l'hypothèse d'une covariation positive de la dynamique de la population entre les UC composantes. Si cette hypothèse est respectée, alors lorsqu'une UC a un état épuisé et fournit relativement peu de géniteurs à l'ensemble, il est probable que d'autres UC composantes auront également un état épuisé fournissant peu de géniteurs à l'ensemble. De même, si une UC est considérée comme saine et contribue à de nombreux géniteurs, les autres UC sont plus susceptibles d'être saines.

Compte tenu de l'éventail des incertitudes et des limites associées à chaque méthode, il peut être prudent d'appliquer et de comparer les deux méthodes au lieu de limiter les analyses à une seule approche (voir l'étape 9).

PRL de régression logistique

Les PRL fondés sur la régression logistique empirique sont dérivés de séries chronologiques historiques de la proportion d'UC au-dessus de l'état rouge, indiqué par un seul paramètre sur l'abondance ou la répartition des géniteurs.

Les PRL de régression logistique peuvent être appropriés lorsque les hypothèses suivantes sont respectées :

- Les évaluations des UC sont dérivées principalement des abondances par rapport aux points de référence ou de la répartition des géniteurs au lieu des tendances temporelles, ou l'état sur les abondances de géniteurs par rapport aux points de référence est considéré comme une approximation convenable. Il est possible de combiner deux ou plusieurs types de points de référence basés sur l'abondance pour évaluer les UC au sein d'une UGS (par exemple, utiliser à la fois les points de référence fondés sur le centile et $G_{\text{gén}}$ pour évaluer différentes UC).
- Comme il est requis pour les PRL fondés sur l'état des UC, les UC manquant de données répondent aux critères décrits à l'étape 3 de sorte que leur état puisse être représenté par des UC avec des données.

-
- Les séries chronologiques de la proportion d'UC au-dessus du point de référence inférieur contiennent un contraste tel que toutes les UC sont au-dessus de leur point de référence inférieur pendant au moins une année et qu'au moins une UC est en dessous de son point de référence inférieur pendant au moins une année.
 - Il existe une relation positive statistiquement significative entre les abondances globales et les probabilités logarithmiques que toutes les UC composantes soient supérieures à leur point de référence inférieur sans valeurs aberrantes influentes, comme le confirment les diagnostics du modèle décrits dans Holt et al. (2023). Cette relation tend à être significative et positive lorsque les corrélations par paires dans les abondances de géniteurs entre les UC sont fortes et positives. Par exemple, pour notre étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur, les diagnostics de qualité de l'ajustement ont indiqué une relation significative entre les abondances globales et les probabilités logarithmiques de toutes les UC composantes qui étaient supérieures à leurs points de référence inférieurs ($p < 0,01$) et les corrélations moyennes par paires de géniteurs parmi les UC étaient relativement élevées, soit 0,56. En revanche, pour notre étude de cas sur le saumon keta de l'intérieur de la côte sud, *Oncorhynchus keta*, le même diagnostic de qualité de l'ajustement n'était pas statistiquement significatif ($p = 0,13$) et les corrélations moyennes par paire de géniteurs étaient relativement faibles, 0,12.
 - Les résidus de l'ajustement du modèle de régression logistique sont indépendants (c'est-à-dire qu'ils ne sont pas autocorrélés dans le temps).
 - Les facteurs environnementaux et les menaces qui pèsent sur les UC sont restés stables au cours des séries chronologiques disponibles, ou ont changé de la même manière dans les UC, de sorte que la covariance dans la dynamique des populations entre les UC est susceptible d'être restée stable au fil du temps. Par conséquent, la relation entre les abondances globales et les probabilités logarithmiques que toutes les UC soient supérieures aux points de référence inférieurs est également susceptible d'être restée stable.
 - La dynamique de la population au niveau de l'UC ne subit pas de changements directionnels entraînant des déclin ou des augmentations des paramètres dynamiques de la population et des points de référence connexes.

Dans les analyses préliminaires pour l'étude de cas du saumon coho du Fraser intérieur, nous avons considéré l'état des UC basé sur l'état multidimensionnel de l'explorateur des saumons, mais nous avons choisi de nous concentrer sur l'approche à paramètre unique pour plusieurs raisons. Premièrement, l'explorateur des saumons inclut l'état sur des données d'abondance lissées (moyenne géométrique générationnelle courante) par rapport à des points de référence basés sur l'abondance, et donc l'état d'une année dépend de l'état de l'année précédente. L'autocorrélation vient à l'encontre de l'hypothèse d'indépendance des observations requise dans la régression logistique. Bien que les régressions logistiques puissent être révisées pour tenir compte des résidus autocorrélés, lorsque l'autocorrélation est détectée, les degrés de liberté disponibles sont souvent insuffisants étant donné les séries temporelles relativement courtes des évaluations des UC. In addition, the Salmon Scanner includes metrics on short- and long-term trends in spawner abundances which are less directly related to, and may be completely unrelated to, aggregate abundances. For CUs that rely on time trends for status assessments, aggregate abundance-based metrics are likely not appropriate (see below).

Les PRL fondés sur des régressions logistiques peuvent ne pas être appropriés lorsque :

- Les évaluations des UC sont dérivées des tendances de l'abondance des géniteurs au fil du temps (par exemple, dans le cadre de l'explorateur des saumons), et non des points de référence basés sur l'abondance.
- Les UC dont les données sont insuffisantes ne répondent pas aux critères décrits à l'étape 3, de sorte que leur état ne peut être représenté par des UC disposant de données.
- Les séries chronologiques de la proportion d'UC au-dessus de leurs points de référence inférieurs manquent de contraste (c'est-à-dire qu'elles sont égales à 100 % pour toutes les années, ou inférieures à 100 % pour toutes les années).
- La relation entre les abondances globales et les probabilités logarithmiques que toutes les UC composantes soient supérieures à leur point de référence inférieur n'est pas statistiquement significative ou contient des valeurs aberrantes influentes. En d'autres termes, les diagnostics du modèle ne soutiennent pas l'utilisation de la régression logistique.
- Les résidus de l'ajustement du modèle de régression logistique sont autocorrélés dans le temps, de sorte que l'état d'une année dépend de l'état de l'année précédente.
- Les menaces et/ou les facteurs environnementaux ont changé de telle sorte que les points de référence au niveau des UC estimés à partir de données historiques ne sont plus significatifs, et il n'y a aucune attente que ces changements reviennent naturellement à leur état antérieur, ou soient réalisables par la gestion. Ou bien, les facteurs environnementaux et les menaces qui pèsent sur les UC ont changé au cours de la série chronologique disponible, de sorte que la covariance de la dynamique des populations entre les UC est susceptible d'avoir changé.
- Il n'y a qu'une UC dans l'UGS. Dans ce cas, l'état de l'UC représente l'état de l'UGS.

PRL de projection

Les PRL fondés sur la projection sont dérivés des projections de la dynamique de la population au niveau des UC et des séries temporelles associées des UC au-dessus de l'état rouge comme indiqué par un seul paramètre, l'abondance des géniteurs par rapport à un point de référence inférieur. L'état des UC dérivé des évaluations multidimensionnelles dans le cadre de l'explorateur des saumons n'a pas été pris en compte pour les PRL de projection parce que le modèle de projection indique des abondances globales d'équilibre à long terme associées à des probabilités indiquées d'UC de composantes supérieures aux points de référence inférieurs, et n'est pas structuré pour refléter les tendances temporelles. Les tendances temporelles peuvent être évaluées dans des modèles de simulation qui évaluent les répercussions des procédures de gestion sur la dynamique des populations à partir de l'état actuel, comme dans les évaluations de la stratégie de gestion (ESG).

Les PRL de projection peuvent être inappropriés lorsque :

- Des modèles d'évaluation des stocks propres aux UC ont été élaborés, y compris la paramétrisation des modèles géniteur-recrutement et la covariance des résidus de recrutement entre les UC. Ces modèles et leurs paramètres tiennent compte des contributions des écloséries lorsque les populations sont influencées par celles-ci, sont examinés par des pairs et représentent la dynamique actuelle des géniteurs naturels et du recrutement.
- Lorsque des paramètres de dynamique des populations évalués par des pairs ne sont pas disponibles ou ne sont plus d'actualité, des limites plausibles peuvent être placées sur des paramètres incertains (par exemple, la productivité et la capacité), y compris ceux qui peuvent avoir changé au cours de la série chronologique pour représenter une meilleure estimation des conditions actuelles. Ces limites peuvent être dérivées d'UC voisines, de méta-analyses ou d'avis d'experts.
- Ces paramètres propres aux UC sont disponibles pour les UC représentatives au sein de l'UGS (telles qu'indiquées à l'étape 3).

Les PRL de projection peuvent être inappropriés lorsque :

- Les paramètres de la dynamique de la population ne peuvent pas être estimés, et/ou les plages plausibles ne sont pas connues.
- Les PRL de projection sont utilisés pour évaluer l'état sous une nouvelle procédure de gestion qui n'est pas prise en compte dans le modèle de projection. Les PRL de projection dépendent de la procédure de gestion précise appliquée dans les projections, mise en œuvre comme une stratégie d'exploitation constante pour nos études de cas. Cependant, les analyses de sensibilité des PRL de projection à divers taux d'exploitation ou procédures de gestion peuvent démontrer les abondances globales requises pour maintenir les UC au-dessus de leurs points de référence inférieurs dans divers scénarios de gestion possibles, et la sensibilité du choix de gestion au PRL d'abondance globale.
- Il n'y a qu'une UC dans l'UGS. Dans ce cas, l'état de l'UC équivaut à l'état de l'UGS.

De plus, les PRL de projection peuvent être plus appropriés lorsque les corrélations par paires dans les abondances de géniteurs entre les UC sont positives et fortes, mais ce n'est pas une exigence. Il est possible d'estimer les PRL de projection pour une UGS avec des UC composantes qui varient indépendamment. Cependant, lorsque les corrélations entre les UC sont faibles, l'abondance globale du PRL sera élevée, car il y a une plus grande probabilité qu'une UC ait l'état rouge. Dans ces cas, les PRL basés sur l'état des UC et les règles de contrôle des prises qui gèrent les UC de manière indépendante peuvent être plus appropriés. Bien que des PRL plus élevés dans le cadre d'une dynamique asynchrone puissent initialement être contre-intuitifs en raison de la stabilité que l'asynchronisme confère aux séries chronologiques agrégées (Schindler et al. 2010), les trajectoires indépendantes entre les composantes augmentent les risques que les UC composantes individuelles tombent en dessous des points de référence inférieurs dans les pêches à UC mixtes, ce qui nécessite des PRL plus élevés.

L'évaluation du modèle pour le PRL de projection est plus subjective que pour le PRL de régression logistique. La pertinence des ajustements du modèle de régression logistique peut être évaluée à l'aide de diagnostics statistiques d'ajustement du modèle, ce qui rend le processus d'évaluation relativement objectif et reproductible. Cependant, l'ajout d'hypothèses et de décisions analytiques nécessaires pour paramétrer les modèles de projection est un processus plus subjectif dans

lequel les résultats peuvent varier d'un analyste à l'autre. L'examen par les pairs, tel que décrit à l'étape 6 ci-dessus, sera nécessaire pour soutenir l'élaboration des PRL de projection.

5.1.9. Étape 9 : Appliquer les PRL fondés sur l'abondance globale pour obtenir l'état au niveau de l'UGS et comparer cet état avec les PRL fondés sur l'état des UC.

Les méthodes d'abondance globale sont ensuite appliquées pour calculer les PRL selon les orientations ci-dessus. Voir l'annexe A et Holt et al. (2023) pour des exemples d'applications. Lorsque l'état d'une UGS est déduit des PRL de l'abondance globale en utilisant un sous-ensemble d'UC considérées comme représentatives des UC restantes dont les données sont insuffisantes, l'état résultant doit être considéré comme « provisoire » (c'est-à-dire avec une incertitude accrue) jusqu'à ce que l'état de toutes les UC composantes puisse être évalué. Lorsque l'état des UC dont les données sont insuffisantes ne peut pas être déduit des UC riches en données, l'état ne peut pas être évalué avec des PRL fondés sur l'abondance globale.

Nous utilisons la moyenne générationnelle de l'abondance des géniteurs comme base pour déterminer si l'UGS est au-dessus ou au-dessous de son PRL. Une moyenne générationnelle intègre l'état des cohortes au sein d'une génération, qui sont généralement indépendantes les unes des autres en raison du cycle biologique anadrome et semelpare du saumon du Pacifique et de la prédominance d'un seul âge à la maturité pour de nombreux stocks (Holt et al. 2009 ; Porszt et al. 2012). En conséquence, le lissage générationnel réduit le bruit dans la détermination annuelle de l'état des UC provenant à la fois de la variabilité interannuelle des abondances des UC de différentes cohortes et de l'erreur d'observation annuelle dans les abondances estimées des géniteurs. Cela rend également notre détermination de l'état du PRL conforme à l'approche adoptée pour les points de référence basés sur l'abondance dans les évaluations publiées de la PSS (par exemple, Grant et al. 2020a) et l'explorateur des saumons au niveau de l'UC. De plus, nous recommandons que l'état de l'UGS soit évalué environ à chaque génération de saumon afin de s'harmoniser avec les directives pour les évaluations de l'UC générationnelle dans le cadre de la PSS (Grant et Pestal 2013 ; Grant et al. 2020a).

Comparer les PRL fondés sur l'abondance globale

L'utilisation de plusieurs approches analytiques pour définir les PRL est conforme au principe d'utiliser les meilleures informations disponibles si les preuves pour soutenir une méthode plutôt qu'une autre font défaut. Les états qui convergent d'une méthode à l'autre fournissent un poids de la preuve plus fort que le PRL choisi représente un niveau au-dessus duquel un dommage grave peut se produire. Bien que les PRL qui convergent puissent être basés sur des hypothèses qui sont incorrectes par coïncidence, le principe du rasoir d'Occam soutient les explications avec moins d'exceptions. Lorsque les PRL divergent, les hypothèses sous-jacentes à l'origine de ces divergences doivent être explorées et réexaminées.

Comparer l'état des PRL fondés sur l'abondance globale à celui des PRL fondés sur l'état des UC.

Dans cette étape, nous recommandons de comparer l'état obtenu à partir des PRL fondés sur l'abondance globale à celui obtenu à partir des PRL fondés sur l'état des UC indiqués à l'étape 5. Alors que le PRL fondé sur l'abondance globale exploite la covariation observée dans la dynamique de la population entre les UC composantes, plusieurs facteurs peuvent entraîner une rupture de cette relation (p. ex. erreurs d'observation, variation temporelle de la covariation et/ou événements extrêmes peu fréquents).

Par conséquent, les états provenant des PRL fondés sur l'abondance globale peuvent différer de ceux basés sur les PRL fondés sur l'état des UC. Nous recommandons que les PRL fondés sur l'état des UC soient les PRL par défaut pour mettre en œuvre les dispositions relatives aux stocks de poissons, avec des PRL fondés sur l'abondance globale en complément lorsque cela est nécessaire pour la gestion de la récolte.

6. DISCUSSION

6.1. PRINCIPALES INCERTITUDES AYANT UNE INCIDENCE SUR LES ESTIMATIONS DES POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)

PRINCIPAUX POINTS :

- Les incertitudes dans les **points de référence au niveau de l'unité de conservation (UC)** touchent à la fois les PRL fondés sur l'état des UC et l'abondance globale, et peuvent survenir en raison des éléments suivants :
 - des erreurs d'observation dans les données sous-jacentes, par exemple, liées à l'incertitude entourant la contribution des poissons d'écloserie aux géniteurs ;
 - l'incertitude de l'estimation des points de référence découlant de l'ajustement du modèle statistique et des paramètres variant dans le temps ;
 - les incertitudes structurelles dans les modèles.
- Des incertitudes peuvent également apparaître dans les **états des UC** en raison du choix des paramètres utilisés (unidimensionnels ou multidimensionnels). Pour les deux PRL d'abondance globale, des incertitudes peuvent survenir parce que l'état au niveau des UC n'est fondé que sur un seul paramètre comme approximation de l'état sur de multiples dimensions.
- La répartition des géniteurs parmi les populations au sein d'une UC peut être importante pour la viabilité de l'UC et de l'unité de gestion des stocks (UGS), et ignorer ou mal identifier cette structure de stock peut augmenter l'incertitude de l'état évalué.
- Des incertitudes dans tous les PRL potentiels peuvent découler de l'exclusion des UC limitées en données des analyses lorsque ces UC sont mal représentées par les UC riches en données qui sont incluses. Nous recommandons la prudence lors de l'application de PRL qui n'incluent pas toutes les UC.
- Les incertitudes dans les **PRL de régression logistique** proviennent de l'estimation statistique des modèles de stock-recrutement et de régression logistique, ainsi que des changements dans les paramètres de la population et de la covariance entre les UC au fil du temps.
- Les incertitudes dans les **PRL de projection** peuvent provenir d'une mauvaise spécification des modèles utilisés dans les projections.
- Pour les PRL de projection, les incertitudes des paramètres sous-jacents et des points de référence au niveau des UC sont intégrées dans la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs, et le PRL lui-même n'a pas d'incertitude d'estimation statistique. Les PRL de projection tiennent compte explicitement des incertitudes sous-jacentes dans les paramètres de la population, comme la productivité et la capacité au niveau des UC, la structure par âge, la covariance dans les écarts de recrutement et la variabilité dans la mise en œuvre des stratégies d'exploitation au fil du temps et entre les UC.

6.1.1. Évaluations des UC

Les incertitudes dans les points de références au niveau de l'UC touchent à la fois les PRL fondés sur l'état des UC et sur l'abondance globale, et surviennent en raison d'erreurs d'observation

dans les données sous-jacentes, d'incertitudes d'estimation dans les points de référence, et d'incertitudes structurelles dans les formes de modèles. Chacune de ces trois sources d'incertitude dans les points de référence est décrite ici.

Premièrement, les incertitudes des données peuvent provenir d'erreurs d'observation dans l'abondance des géniteurs, la proportion de géniteurs issus d'écloseries, les captures, l'affectation des captures aux stocks et l'âge à la maturité. Ces incertitudes ont une incidence sur les estimations du recrutement dans les « reconstitutions des remontes » et l'évaluation de l'état.

En particulier, l'incidence des écloseries sur les séries chronologiques des géniteurs et du recrutement est une incertitude clé en raison des faibles taux de marquage des saumons d'écloserie et d'échantillonnage dans les frayères. Même lorsque des données sur la proportion de poissons provenant d'écloseries sont disponibles et que les séries chronologiques d'abondance sont ajustées pour en tenir compte (comme dans l'étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur), les impacts génétiques des écloseries peuvent se perpétuer sur plusieurs générations (Araki et al. 2009 ; Christie et al. 2014), et sont difficiles à quantifier parce que les poissons de deuxième génération provenant d'écloseries ne sont pas marqués ou suivis. Il s'agit d'une source d'incertitude pour les populations touchées par les installations d'écloserie à l'intérieur du bassin (ou à l'intérieur de la population) ainsi que pour celles touchées par les poissons errants provenant de l'extérieur du bassin. Un marquage et une surveillance ciblés des frayères pour connaître les proportions de poissons marqués et des analyses génétiques pour déterminer l'introggression génétique à partir des animaux errants permettraient de lever ces incertitudes. De plus, pour les populations qui ne sont pas dominées par la production d'écloserie, la décision d'exclure la contribution des poissons d'écloserie des séries chronologiques d'abondance des géniteurs, lorsque cela est possible, suppose que ces poissons ne contribuent pas à l'évaluation et à la gestion du saumon sauvage qui en découle, comme dans les évaluations précédentes de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS)(p. ex., DFO 2015), malgré leur contribution possible aux objectifs de conservation et de rétablissement, et aux services écosystémiques en général. L'examen et l'évaluation des objectifs pour les populations intégrées en transition et les populations intégrées sauvages (avec une influence naturelle proportionnelle [INP] $\geq 0,5$), ainsi que les données appropriées sur lesquelles fonder les évaluations, dépassaient la portée de ce projet.

Deuxièmement, dans l'estimation des points de référence, les incertitudes statistiques peuvent être représentées par des intervalles de confiance à 95 % dérivés analytiquement ou par la méthode bootstrap (ou des intervalles de crédibilité à 95 % pour les analyses bayésiennes). Les séries chronologiques courtes ou celles qui présentent un contraste insuffisant dans l'abondance des géniteurs peuvent augmenter les incertitudes d'estimation des points de référence. Pour les points de référence fondés sur le recrutement des stocks, en particulier, les erreurs d'observation dans l'abondance des géniteurs peuvent fausser les estimations des points de référence (« erreurs dans les variables »), tout comme les corrélations qui se produisent lorsque l'abondance des géniteurs d'une année donnée dépend du recrutement de la génération précédente (biais de séries chronologiques, Walters et Martell 2004). Les incertitudes dans les points de référence fondés sur les centiles peuvent provenir des incertitudes dans la productivité et les taux de récolte nécessaires pour catégoriser les populations pour la détermination des points de référence (comme il est décrit dans Holt et al. 2018). Il pourrait y avoir des incertitudes dans les points de référence dérivés du modèle de bassin versant (Parken et al. 2006 ; Liermann et al. 2010) en raison de sa paramétrisation fondée sur des ensembles de données sur les géniteurs et les recrues qui sont périmés (se terminant en 2000) et probablement plus productifs que les populations utilisées dans notre étude de cas. Pour aborder cette dernière source d'incertitude, nous avons dérivé les estimations de productivité et les incertitudes à partir d'un modèle propre

aux stades de vie du saumon chinook de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), combiné à des avis d'experts. Tous ces points de référence peuvent être biaisés lorsque les paramètres sous-jacents de la population changent au fil du temps et que ces changements ne sont pas reflétés dans la procédure d'estimation (voir la section 6.3 pour plus de détails).

Troisièmement, l'incertitude structurelle des modèles stock-recrutement qui sous-tendent l'estimation des points de référence peut submerger d'autres sources d'incertitude, et nécessite un examen attentif fondé sur les données disponibles et la compréhension biologique de la dynamique de la population, idéalement avec un examen par les pairs. Nous fournissons un exemple d'incertitude structurelle dans l'étude sur le saumon coho du Fraser intérieur fondée sur des hypothèses préalables sur la capacité de la population, mais d'autres composantes, telles que les décisions sur la dépensation à de faibles abondances, la variabilité partagée ou indépendante de la productivité parmi les UC, et la force de la surcompensation (p. ex. Ricker par rapport à Beverton-Holt) devraient être considérées.

En plus des incertitudes dans les points de référence, des incertitudes peuvent apparaître dans les états estimés des UC en raison des hypothèses faites pendant l'évaluation de l'état. L'incertitude associée à l'état peut résulter du choix du paramètre utilisé (unique ou multidimensionnel). Dans certains cas, l'état est mieux représenté par un composite de plusieurs paramètres, ce qui entraîne des incertitudes sur l'état lorsqu'un seul paramètre (p. ex., l'abondance des géniteurs) est appliquée. En outre, la répartition de la fraie parmi les populations au sein d'une UC peut être importante pour la viabilité du complexe, et ignorer ou mal identifier cette structure de stock peut entraîner une plus grande incertitude dans l'état évalué. Des incertitudes peuvent également découler de l'application de points de référence fondés sur le stock-recrutement à des échelles spatiales plus grandes ou plus petites que l'échelle à laquelle la densité-dépendance se produit.

Les incertitudes dans les évaluations de la PSS revues par les pairs sont saisies qualitativement, comme il est documenté dans les exposés associés à chaque évaluation de l'UC (p. ex., MPO 2015). Ces estimations qualitatives de l'incertitude proviennent d'experts qui intègrent les incertitudes des données et des points de référence et concilient souvent des mesures contradictoires. Ce processus nécessite un examen attentif de l'expertise prise en compte afin de garantir que les meilleures informations disponibles sont intégrées dans les évaluations et la description des incertitudes. Bien que les incertitudes sur l'état des UC dérivées de l'explorateur des saumons ne soient pas actuellement fournies, cette fonctionnalité est envisagée pour les itérations futures de l'outil. L'explorateur des saumons sera appliqué chaque année dans le cadre d'un processus dirigé par des experts, sous la direction du Programme sur l'état du saumon du MPO, afin que les incertitudes sous-jacentes soient prises en compte et que les résultats soient vérifiés. Une revue complète de l'explorateur des saumons incluant les incertitudes est à venir (Pestal et al. en préparation).

6.1.2. PRL fondés sur l'état des UC

Les incertitudes associées à l'état dérivé de PRL fondés sur l'état des UC peuvent provenir de l'exclusion des UC limitées en données des analyses lorsque ces UC sont mal représentées par les UC riches en données qui sont incluses. Pour communiquer clairement cette incertitude, nous suggérons de qualifier ces PRL de provisoires lorsque toutes les UC riches en données ont un état supérieur à rouge. Même lorsque des UC limitées en données présentent des menaces, des conditions et des facteurs environnementaux, des caractéristiques du cycle biologique et des capacités similaires à celles des UC riches en données, la dynamique des populations peut

diverger en raison d'autres processus qui ne sont pas pris en compte. Nous recommandons la prudence lors de l'application de PRL provisoires qui ne comprennent pas d'informations directes de toutes les UC. Dans ces cas, nous recommandons de mettre en œuvre un programme de surveillance pour éclairer les évaluations propres à l'UC.

6.1.3. PRL fondés sur l'abondance globale

PRL de régression logistique

Pour les PRL fondés sur la régression logistique, les incertitudes peuvent provenir de l'estimation statistique des modèles stock-recrutement et logistique. Dans nos études de cas, nous fournissons des intervalles de confiances (IC) à 95 % et évaluons leur chevauchement avec l'état actuel. Ces IC représentent l'incertitude dans l'estimation de la régression logistique incorporant l'incertitude dans les points de référence sous-jacents (par exemple, à partir des relations géniteur-recrutement ou du modèle bassin versant-zone). Ceci est dû au fait que l'estimation du modèle de régression logistique a été statistiquement intégrée à l'estimation des points de référence sous-jacents fondés sur le recrutement des géniteurs. Cette intégration statistique permet de propager les incertitudes des points de référence au niveau des UC aux PRL au niveau de l'UGS. Lorsqu'elle est estimée dans un cadre bayésien, la répartition de probabilité des PRL peut être générée pour fournir la probabilité que l'état actuel soit supérieur au PRL compte tenu des incertitudes du PRL. Dans les analyses futures, l'incertitude relative à l'abondance actuelle des géniteurs pourrait être intégrée à l'incertitude pour obtenir des probabilités de dépassement des PRL qui tiennent compte des deux sources.

Comme pour les PRL fondés sur l'état des UC, les incertitudes des PRL de régression logistique peuvent provenir de l'exclusion des UC limitées en données des analyses lorsque ces UC ne sont pas bien représentées par les UC riches en données qui sont incluses. D'autres incertitudes dans les PRL par régression logistique peuvent survenir si le système de gestion a changé au fil du temps, de sorte que la sélectivité des pêches entre les UC a divergé, ou si la covariance dans la dynamique des populations a changé en raison de facteurs naturels ou anthropiques. Dans certains cas, la covariance entre les UC peut être déterminée par des tendances synchrones dans l'apport des écloséries, ce qui crée des estimations trompeuses et peut-être biaisées du PRL.

De plus, des incertitudes dans les deux PRL fondés sur l'abondance globale (PRL de régression logistique et de projection) peuvent survenir parce que ces PRL sont dérivés des états des UC sur un seul paramètre comme approximation de l'état sur plusieurs dimensions. Dans certains cas, ces états peuvent diverger en raison des paramètres supplémentaires pris en compte et des séries chronologiques lissées par génération utilisées pour évaluer l'état actuel dans l'approche multidimensionnelle (telle que mise en œuvre par l'explorateur des saumons).

PRL de projection

Les PRL fondés sur la projection tiennent compte explicitement des incertitudes sous-jacentes dans les paramètres de la population et de l'exploitation, comme la productivité et la capacité au niveau des UC, la structure selon l'âge, la covariance dans les écarts de recrutement et la variabilité dans la mise en œuvre des stratégies d'exploitation au fil du temps et entre les UC. L'inclusion de l'incertitude structurelle sous la forme de différentes relations stock-recrutement est démontrée pour l'étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur. Nous recommandons un examen approfondi des hypothèses et nous recommandons de les inclure directement dans l'échantillonnage aléatoire des projections ou de les inclure en tant qu'analyses de sensibilité.

Une mise en garde de cette approche est que le PRL dépend de la procédure de gestion appliquée dans les projections, mise en œuvre comme une stratégie d'exploitation constante pour nos études de cas. Bien que les procédures de gestion du saumon du Pacifique comprennent souvent des objectifs d'échappée, des limites d'exploitation fixes et/ou un ensemble fixe de taux d'exploitation qui varient en fonction de l'abondance, nous avons supposé que ces procédures peuvent être grossièrement rapprochées d'un taux d'exploitation constant avec une erreur de mise en œuvre. D'autres procédures de gestion plus réalistes pourraient être envisagées dans les itérations futures. Les PRL de projection obtenus de cette manière ne peuvent pas être utilisés pour évaluer l'état lorsque les procédures de gestion changent au fil du temps et que ces changements n'ont pas été évalués dans la projection.

Une différence entre les PRL de projection et les PRL de régression logistique est que pour les PRL de projection, les incertitudes dans tous les paramètres sous-jacents et les points de référence au niveau des UC sont intégrés dans la probabilité que toutes les UC soient au-dessus de leurs points de référence inférieurs, de sorte que le PRL lui-même n'a pas d'incertitude statistique associée. En revanche, les IC à 95 % associés aux PRL de régression logistique tiennent compte de l'incertitude de l'estimation non incluse dans les PRL de projection.

Lorsque l'on examine les PRL de régression logistique et les PRL de projection en fonction d'autres hypothèses de modèle, comme différentes formulations du modèle stock-recrutement, on peut choisir les PRL en fonction de la force de la preuve pour les hypothèses sous-jacentes ou faire la moyenne lorsque les autres hypothèses sont toutes également plausibles. Il faut être prudent lorsqu'il y a peu ou pas de chevauchement dans la distribution des PRL selon diverses hypothèses du modèle, car le calcul de la moyenne peut masquer différentes réalités plausibles qui nécessiteraient des mesures de gestion différentes.

6.2. INCIDENCE DE L'ABSENCE D'UC SUR L'ÉTAT AU NIVEAU DE L'UGS

PRINCIPAUX POINTS :

- Pour **les PRL fondés sur l'état des UC**, lorsqu'une UGS contient des UC dont les données sont insuffisantes et que les autres UC riches en données sont au-dessus de l'état rouge, nous recommandons que l'état de l'UGS soit considéré comme étant provisoire (c.-à-d. un état avec une plus grande incertitude) ou manquant de données.
 - L'état de l'UGS est provisoire lorsque les UC riches en données sont jugées représentatives des UC manquant de données.
 - L'état de l'UGS manque de données lorsque les UC riches en données ne sont pas représentatives des UC manquant de données.
- De même, pour les PRL fondés sur l'état des UC, lorsqu'une UC composante a un état rouge, nous recommandons que l'état de l'UGS soit évalué comme étant inférieur au PRL, indépendamment de la présence d'UC manquant de données et si l'état des UC manquant de données peut être déduit des UC riches en données.
- Pour les **PRL fondés sur l'abondance globale**, nous recommandons que l'état de l'UGS soit provisoire lorsque les UGS contiennent des UC manquant de données qui peuvent être déduites d'UC riches en données, quel que soit l'état des UC riches en données.

Pour les PRL fondés sur l'état des UC, nous recommandons que l'état de l'UGS soit considéré provisoire (c'est-à-dire un état avec une plus grande incertitude) ou manquant de données

lorsqu'une UGS contient des UC manquant de données et que les UC restantes riches en données sont au-dessus de l'état rouge. Cette recommandation est fondée sur la possibilité de biais positifs dans l'état fondé uniquement sur les UC riches en données. Un état provisoire peut être attribué aux UGS lorsque les UC riches en données sont représentatives des UC ayant des données insuffisantes (reflétant une grande incertitude quant à l'état), et un état d'UGS manquant de données peut être attribué lorsque les UC riches en données ne sont pas représentatives (tableau 5). Le pouvoir de détecter un dépassement du PRL fondé sur l'état des UC est relativement faible lorsque la taille de l'échantillon des UC riches en données est petite par rapport au nombre total d'UC composantes. Par conséquent, les états qui ne reposent que sur un petit nombre d'UC au sein d'une UGS ont tendance à fournir des états plus optimistes que ceux qui comprennent un plus grand échantillon d'UC pour les PRL fondés sur l'état des UC, comme le montre l'étude de cas sur le saumon kéta de l'intérieur de la côte sud.

En revanche, si le PRL de 100 % des UC au-dessus de l'état rouge a été dépassé pour une UGS avec des UC manquant de données, l'inclusion d'UC supplémentaires peut réduire ou améliorer l'état défini comme le pourcentage d'UC au-dessus de l'état rouge, mais ne changera pas le fait que le PRL a été dépassé. Cet impact asymétrique de la surveillance accrue des UC sur l'état de l'UGS peut réduire les incitations à étendre la surveillance aux UC dont les données sont insuffisantes.

Pour les PRL d'abondance globale, nous recommandons que l'état des UGS soit provisoire lorsque les UGS contiennent des UC manquant de données qui peuvent être représentées par des UC riches en données, quel que soit l'état des UC riches en données. Pour ces PRL, nous avons constaté que le fait de retirer des UC de composantes de l'évaluation d'une UGS tendait à augmenter la variabilité de l'état au niveau de l'UGS, qui peut être plus pessimiste ou plus optimiste que lorsque toutes les UC sont prises en compte, selon l'UC retirée et le niveau de covariation entre les UC. Pour les PRL de régression logistique en particulier, la suppression des UC influe sur l'ajustement du modèle de régression logistique, ce qui a une incidence sur l'état estimé par rapport aux PRL d'une manière qui est difficile à prévoir *a priori*, comme le montre l'étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur. De plus, pour les PRL fondés sur l'abondance globale, nous recommandons l'état « manquant des données » pour les UGS dont les UC composantes sont insuffisantes et ne peuvent être déduites des UC riches en données.

6.3. RECHERCHES FUTURES

PRINCIPAUX POINTS :

- Nous recommandons de prioriser les recherches futures de manière à évaluer les répercussions des éléments suivants :
 - Tendances temporelles des processus de population sous-jacents tels que la productivité intrinsèque et la capacité de charge sur les points de référence biologiques et les points de référence.
 - Adapter les PRL afin d'inclure une portée plus large pour les dommages graves, y compris les considérations relatives à l'écosystème et à l'habitat, la répartition des géniteurs au sein des UC et le savoir autochtone.
 - Évaluation par simulation des méthodes de détermination du PRL compte tenu de la variabilité temporelle des paramètres de la population et d'autres sources d'incertitude.

Nous recommandons des recherches futures sur les répercussions des paramètres variant dans le temps, l'adaptation des PRL afin d'inclure un champ plus large pour les dommages graves, et l'évaluation des méthodes de PRL, comme il est décrit plus en détail ci-dessous. Nous mettons l'accent sur les paramètres variant dans le temps en raison de leur omniprésence dans la dynamique des populations de saumon du Pacifique et de leurs répercussions documentées sur les points de référence.

6.3.1. Paramètres variant dans le temps et répercussions sur les PRL

De plus en plus de données indiquent l'existence de processus démographiques variant dans le temps au sein des populations de saumon du Pacifique, notamment en ce qui concerne les tendances de la productivité (Peterman et Dorner 2012 ; Malick et Cox 2016 ; Dorner et al. 2018). Au Canada, les évaluations du MPO ont indiqué des déclinés de productivité pour diverses UC, par exemple le saumon rouge du fleuve Fraser (Grant et al. 2012 ; Grant et Pestal 2013 ; Huang et al. 2021), le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique (MPO 2016b), et le saumon coho du Fraser intérieur (Arbeider et al. 2020). Ces évaluations se sont appuyées sur divers outils pour déterminer les tendances de la productivité, notamment l'évaluation des tendances de recrues par géniteur (Arbeider et al. 2020) et des résidus des ajustements des courbes de recrutement (Grant et al. 2012), ainsi que la prise en compte explicite des paramètres variant dans le temps lors de l'ajustement des courbes de recrutement à l'aide du filtre de Kalman ou des approches récursives de Bayes (Huang et al. 2021). Cependant, il n'est pas toujours simple de déterminer le soutien des paramètres variant dans le temps. Les diagnostics statistiques courants tels que l'inspection des résidus et l'utilisation de critères d'information (par exemple, critère d'information d'Akaike [CIA] et critère d'information de Bayes [CIB]) produisent souvent des résultats contradictoires (Holt et Michielsens 2020). Les preuves de changements de capacité dans le temps sont moins fréquentes chez les populations de saumon du Pacifique, mais les répercussions potentielles de la capacité variable dans le temps ont été explorées dans des études de simulation et peuvent être importantes, bien qu'elles soient généralement moins importantes que les changements de productivité (Holt 2010 ; Dorner et al. 2013). Les changements dans la démographie des populations, tels que la taille selon l'âge et l'âge à la maturité, sont également connus pour influencer la dynamique des populations et les points de référence. Le fait de ne pas suivre les changements interannuels de l'âge à la maturité peut conduire à des estimations biaisées des paramètres stock-recrutement et à une sous-estimation de la variance du modèle (Bradford 1991 ; Zabel et Levin 2002).

Les paramètres de recrutement et la démographie de la population qui varient dans le temps influent sur les estimations des points de référence du saumon, par exemple G_{RMD} et $G_{gén}$ (Holt et Michielsens 2020 ; Staton et al. 2021) et sont également susceptibles d'influer sur les tendances de la population, ce qui entraîne des modifications des points de référence fondés sur des observations historiques (p. ex., les points de référence fondés sur les centiles, Holt et al. 2018). Des méthodes analytiques pour des points de référence variant dans le temps ont été proposées pour d'autres espèces de poissons marins (A'mar et al. 2009 ; Punt et al. 2014), dont certaines ont été évaluées empiriquement et en simulation avec des résultats mitigés (Berger 2019 ; O'Leary et al. 2020). Berger (2019) suggère que les points de référence dynamiques qui suivent les changements dans les processus de population sous-jacents sont plus utiles dans les situations où la productivité du stock change de direction et où le signal de productivité est correctement déterminé. En revanche, l'incertitude liée à une détermination incorrecte des tendances de la productivité peut être une source majeure d'inexactitude dans l'état des stocks (Berger 2019).

Bien que les preuves de l'existence de processus de population variant dans le temps soient solides, les conseils sur l'intégration de ces changements dans l'évaluation et la gestion du saumon du Pacifique font défaut. Dans un examen des analyses stock-recrutement pour le saumon du Pacifique, Adkison (2021) a souligné que même lorsqu'il existe des preuves solides de non-stationnarité dans la dynamique de la population, il n'est pas clair si les points de référence doivent être ajustés en conséquence. Lorsque l'épuisement d'un stock est associé à des paramètres variant dans le temps et que l'on pense qu'ils sont réversibles, il peut être plus approprié de protéger la population contre la récolte en maintenant des points de référence utilisant toutes les données historiques (MPO 2013 ; Szuwalski et Hollowed 2016). MPO (2006) a recommandé que les changements de points de référence ne soient effectués que lorsqu'il existe des preuves considérables que la productivité a changé et qu'il n'est pas prévu que ces changements s'inversent naturellement ou qu'ils soient obtenus par des mesures de gestion. En outre, le cadre de l'approche de précaution du ministère des Pêches et des Océans (MPO) stipule qu'« au moment d'établir les points de référence, il faut s'efforcer de tenir compte de l'ensemble des facteurs qui peuvent influencer sur la productivité du stock, y compris les changements des conditions océaniques, lorsque l'information est disponible » (MPO 2009a). Ces informations peuvent aider à déterminer si les réductions de productivité sont susceptibles d'être réversibles ou seulement lentement réversibles. Klaer et al. (2015) ont conçu un cadre pour évaluer le degré de confiance à l'égard des changements de productivité dans les pêcheries australiennes, et des approches similaires pourraient être adaptées aux populations de saumon canadiennes.

Même si l'on envisage des points de référence variables dans le temps, il est difficile de définir à quelle fréquence ils doivent être modifiés (Zhang et al. 2021a). Des changements inopportuns dans les points de référence peuvent entraîner des distorsions dans l'état des stocks et la volatilité des réponses de la gestion peut entraîner une incertitude dans la gestion, réduisant ainsi la confiance dans le processus de gestion (Adkison 2021). Des études récentes recommandent l'utilisation d'exercices de simulation de rétroaction propres à chaque cas afin de déterminer l'échelle appropriée pour ajuster les points de référence lorsque les paramètres stock-recrutement sont non stationnaires (Holt et Michielsens 2020 ; O'Leary et al. 2020 ; Zhang et al. 2021b). Cependant, les études de simulation de rétroaction complète pourraient ne pas être réalisables pour chaque UC où des tendances sont suspectées en raison des ressources limitées.

D'autres recherches visant à déterminer quand et comment tenir compte des paramètres et des données démographiques variant dans le temps dans les évaluations et la gestion du saumon du Pacifique sont justifiées et sont actuellement en cours au sein du MPO. Les méthodes actuelles d'évaluation de la PSS ne tiennent pas systématiquement compte des dynamiques variables dans le temps et de leurs répercussions sur l'état et les estimations du PRL qui en résultent. Des orientations sur la comptabilisation des paramètres variables dans le temps qui diffèrent entre les UC au sein d'une UGS sont également justifiées. Les dynamiques de recrutement des stocks variant dans le temps se produisent généralement au niveau des UC, et les répercussions pour les PRL fondés sur les UGS qui contiennent plusieurs UC ne sont pas simples. Il n'existe pas de directives claires sur la manière de traduire les paramètres de recrutement des stocks variant dans le temps pour les UC en PRL au niveau agrégé. Les effets de la dynamique de recrutement des UC variant dans le temps sur l'abondance globale et les PRL fondés sur l'état des UC dépendront du degré de synchronisation entre les UC, de la direction du changement des paramètres de recrutement et de l'état passé et actuel des stocks, entre autres facteurs. Par exemple, dans notre étude de cas sur le saumon coho du Fraser intérieur, lorsqu'un niveau de productivité constamment plus faible a été introduit par le biais d'une autre formulation du modèle stock-recrutement (une formulation qui incluait des valeurs a priori informatives sur

la capacité dans les modèles stock-recrutement au niveau des UC), les points de référence ont augmenté pour la plupart des UC, tout comme le PRL fondé sur l'abondance globale pour l'UGS. Cependant, dans les cas où la productivité varie à des taux différents entre les UC ou si la capacité change également, les répercussions sur les points de référence au niveau des UC et les PRL au niveau de l'UGS ne seront pas facilement prévisibles.

6.3.2. Adaptation des PRL pour inclure un champ plus large pour les dommages graves

Nous recommandons des recherches futures sur les PRL qui tiennent compte de la composante écosystémique des dommages graves pour le saumon du Pacifique et qui prévoient des délais plus longs pour l'évaluation des seuils de dommages graves. La composante écosystémique du dommage grave pourrait être envisagée en tenant compte de l'importance des populations de saumon du Pacifique pour les écosystèmes marins (Nelson et al. 2019 ; Walters et al. 2020 ; Trochta et Branch 2021) et des répercussions de la migration des saumons sur l'afflux de nutriments d'origine marine dans les écosystèmes d'eau douce et estuariens (Schindler et al. 2003 ; Hocking et Reimchen 2006 ; Field et Reynolds 2011 ; Quinn et al. 2018). Bien que la définition de dommage grave selon le cadre de l'approche de précaution du MPO englobe les répercussions sur l'écosystème, les espèces associées et la perte à long terme des possibilités de pêche (MPO 2009a), l'évaluation du dommage à ces composantes dépend dans une certaine mesure de l'horizon temporel considéré. Les évaluations qui n'incluent que des données très récentes peuvent passer à côté d'importantes diminution de l'état et de répercussions sur les écosystèmes qui se sont produits historiquement avant le début des relevés modernes. Dans certains cas, la prise en compte d'une vision à plus long terme à partir de connaissances génétiques, archéologiques, paléoécologiques ou autochtones a démontré que les déclin récents font partie de déclin historiques beaucoup plus importants associés à des répercussions à grande échelle sur les écosystèmes (McKechnie et al. 2014 ; Eckert et al. 2018 ; Lee et al. 2019 ; Price et al. 2019).

Le savoir autochtone a été pris en compte dans l'élaboration de points de référence cibles pour la gestion des pêches (Caddy et Mahon 1995), et il serait utile d'examiner plus avant son rôle dans la détermination des dommages graves. Reid et al. (2021) introduisent le concept de double perspective (Etuaptmumk en mi'kmaq), où les perspectives de la science autochtone et de la science occidentale sont valorisées par le biais du processus suivant : apprendre à voir d'un œil avec les forces des connaissances et des modes de connaissance autochtones, et de l'autre œil avec les forces des connaissances et des modes de connaissance occidentaux, et utiliser ces deux perspective ensemble, au bénéfice de tous. En examinant les dommages graves, les points de référence et la nature variable dans le temps de ces concepts du point de vue des Autochtones et des scientifiques occidentaux, les PRL peuvent mieux refléter les processus biologiques qui sous-tendent les deux systèmes de connaissances. Cette étape nécessite un engagement et une collaboration avec les peuples autochtones pour codiriger et coproduire des recherches sur l'association des connaissances autochtones avec les PRL fondés sur la science occidentale.

En outre, la répartition des géniteurs au sein des UC est une composante des évaluations des UC dans le cadre de la PSS, mais des mesures et des points de référence robustes de la répartition font défaut. Les recherches futures sur les méthodes d'évaluation qui considèrent plus rigoureusement la structure de la population au sein des UC seraient bénéfiques à la fois pour les évaluations des UC dans le cadre de la PSS et pour les évaluations pertinentes pour les Premières Nations qui dépendent souvent des populations de saumon à des échelles spatiales relativement fines.

D'autres méthodes de PRL peuvent être élaborées à l'avenir pour saisir un plus large éventail de disponibilité, de qualité et de types de données, ainsi que des dimensions de l'état biologique, en accord avec les principes clés de la section 3. Au fur et à mesure que les méthodes sont élaborées et révisées, les états de l'UGS peuvent également être mis à jour conformément au principe 1, en utilisant les meilleures informations disponibles pour l'élaboration des PRL.

6.3.3. Évaluation des méthodes de PRL

Nous recommandons un examen et une évaluation plus approfondis des quatre critères proposés pour déterminer si les UC limitées en données peuvent être déduites des UC riches en données (étape 3, section 5). Par exemple, ces critères (et/ou d'autres considérations) pourraient être appliqués aux UGS où les états des UC sont disponibles afin d'évaluer dans quelle mesure les états covarient lorsque les UC sont jugées représentatives les unes des autres. L'évaluation par simulation pourrait également évaluer la mesure dans laquelle les états des UC sur un seul paramètre d'état covarient sous une gamme de structures de covariance sous-jacentes plausibles dans le recrutement, l'âge à la maturité et les taux d'exploitation.

De plus, nous recommandons une évaluation par simulation des PRL de régression logistique et des PRL de projection afin d'évaluer les répercussions des limitations des données liées au nombre d'UC avec des données et aux hypothèses sur la dynamique de la population et la covariance entre les UC. Nous recommandons que ces évaluations soient paramétrées aux UGS où leur application est proposée afin de s'assurer que les résultats sont pertinents au contexte précis considéré.

Lors de l'application des méthodes à des études de cas spécifiques, nous recommandons que les PRL d'abondance globale tiennent compte des principales incertitudes structurelles, soit par des analyses de sensibilité, soit par des approches d'ensemble de modèles. Ces analyses peuvent déterminer la sensibilité des PRL de l'abondance globale aux principales incertitudes du modèle, y compris celles liées aux paramètres variant dans le temps, à la déconservation aux faibles abondances, aux erreurs d'observation et à la covariance de la dynamique de la population et de la vulnérabilité à la récolte. Nous soulignons l'importance critique de cette étape en considérant un large éventail d'hypothèses sur la dynamique sous-jacente. En effet, les modèles standard stock-recrutement peuvent avoir une utilité limitée s'ils ne rendent pas compte de la dynamique actuellement observée. En outre, nous recommandons une évaluation par simulation afin d'évaluer la robustesse des PRL à la violation des hypothèses analytiques sous-jacentes. L'évaluation par simulation pourrait en outre être utilisée pour évaluer la fréquence des mises à jour des PRL nécessaires pour atteindre les objectifs, compte tenu des modifications sous-jacentes des paramètres et de la structure du modèle.

7. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le groupe de travail technique sur les PRL pour le saumon pour le soutien considérable qu'il nous a apporté au cours des trois années qui ont mené au présent examen. Les membres de ce groupe sont (par ordre alphabétique de nom de famille, à l'exception des co-auteurs) Michael Arbeider, Jessy Bokvist, Nicholas Brown, Charmaine Carr-Harris, Kelsey Campbell, Steve Cox-Rogers, Sabrina Crowley, Shaun Davies, Brooke Davis, Diana Dobson, Michael Folkes Aaron Foos, Nicole Frederickson, Wilf Luedke, Diana McHugh, Pete Nicklin, Chuck Parken, Candace Picco, Mike Staley, Pieter Van Will, Antonio Velez-Espino, et Ryan Whitmore.

Nous aimerions particulièrement remercier de leur contribution les membres des Premières Nations du groupe de travail technique, qui ont apporté des perspectives et des idées uniques à nos discussions.

Le programme sur l'état du saumon, dirigé par Sue Grant, a fourni un leadership et des conseils utiles sur l'explorateur de l'état des saumons du Pacifique. Merci à Bronwyn MacDonald et à Gottfried Pestal pour leur travail d'analyse sur cet outil, et pour avoir répondu à nos questions à son sujet.

En outre, Brooke Davis a fourni une aide précieuse en élaborant les premières versions du code du modèle de régression logistique intégré, ce dont nous lui sommes extrêmement reconnaissants.

Nous remercions également Julie Marentette, Tim Barrett, Mary Thiess, Jason Ladell et Danny Ings pour leurs points de vue sur les PRL à l'échelle nationale et appliqués à d'autres groupes taxonomiques. Julie Marentette, Tim Barrett et Mary Thiess ont également fourni des commentaires utiles sur une version antérieure.

Enfin, nous remercions Mike Bradford (MPO) et Will Atlas (Wild Salmon Center) pour leurs commentaires détaillés dans le cadre du processus d'examen du CSAP, qui ont contribué à améliorer le présent document de recherche.

8. RÉFÉRENCES CITÉES

- A'mar, Z.T., Punt, A.E., et Dorn, M.W. 2009. [The evaluation of two management strategies for the Gulf of Alaska walleye pollock fishery under climate change](#). ICES Journal of Marine Science 66(7) : 1614-1632.
- Adkison, M.D. 2021. [A Review of Salmon Spawner-Recruitment Analysis: The Central Role of the Data and Its Impact on Management Strategy](#). Reviews in Fisheries Science & Aquaculture : 1-37.
- Araki, H., Cooper, B., et Blouin, M.S. 2009. [Carry-over effect of captive breeding reduces reproductive fitness of wild-born descendants in the wild](#). Biol. Lett. 5 : 621-624.
- Arbeider, M., Ritchie, L., Braun, D., Jenewein, B., Rickards, K., Dionne, K., Holt, C., Labelle, M., Nicklin, P., Mozin, P., Grant, P., Parken, C., et Bailey, R. 2020. [Évaluation du potentiel de rétablissement du saumon coho du Fraser intérieur](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/025. xii + 231 p.
- Atlas, W.I., Selbie, D.T., Holt, C.A., Cox-Rogers, S., Carr-Harris, C., Pitman, K.J., et Moore, J.W. 2020. [Landscape and biophysical controls of lake productivity to inform evaluation of sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) populations in data-limited regions](#). Limnol Oceanogr 65(9) : 2205-2219.
- Beechie, T., Buhle, E., Ruckelshaus, M., Fullerton, A., et Holsinger, L. 2006. [Hydrologic regime and the conservation of salmon life history diversity](#). Biological Conservation 130(4) : 560-572.
- Berger, A.M. 2019. [Character of temporal variability in stock productivity influences the utility of dynamic reference points](#). Fisheries Research 217 : 185-197.
- Bourret, S.L., Caudill, C.C., et Keefer, M.L. 2016. [Diversity of juvenile Chinook salmon life history pathways](#). Rev Fish Biol Fisheries 26(3) : 375-403.
- Bradford, M.J. 1991. [Effects of Ageing Errors on Recruitment Time Series Estimated from Sequential Population Analysis](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48(4) : 555-558.
- Bradford, M.J., et Wood, C. 2004. [A review of biological principles and methods involved in setting minimum population sizes and recovery objectives for the September 2004 drafts of the Cultus and Sakinaw Lake sockeye salmon and Interior Fraser coho salmon recovery plans](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2004/128. iv + 48 p.
- Brown, G.S., Thiess, M.E., Wor, C., Holt, C.A., Patten, B., Bailey, R.E., Parken, C.K., Baillie, S.J., Candy, J.R., Willis, D.M., Hertz, E., Connors, B., et Pestal, G.P. 2020. [2020 Summary of Abundance Data for Chinook Salmon \(*Oncorhynchus tshawytscha*\) in Southern British Columbia, Canada](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3401 : xiii + 214 p.
- Caddy, J.F., et Mahon, R. 1995. [Reference points for fisheries management](#). FAO Fisheries Technical Paper No. 347. Rome, FAO : 83p.

-
- Candy, J.R., et Beacham, T.D. 2000. [Patterns of homing and straying in southern British Columbia coded-wire tagged chinook salmon \(*Oncorhynchus tshawytscha*\) populations](#). Fisheries Research 47(1) : 41-56.
- Carwardine, J., Martin, T.G., Firn, J., Reyes, R.P., Nicol, S., Reeson, A., Grantham, H.S., Stratford, D., Kehoe, L., et Chadès, I. 2019. [Priority Threat Management for biodiversity conservation: A handbook](#). J Appl Ecol 56(2) : 481-490.
- Chagaris, D., Drew, K., Schueller, A., Cieri, M., Brito, J., et Buchheister, A. 2020. [Ecological Reference Points for Atlantic Menhaden Established Using an Ecosystem Model of Intermediate Complexity](#). Front. Mar. Sci. 7 : 606417.
- Chaput, G., Cass, A., Grant, S., Huang, A.-M., et Veinott, G. 2012. [Considerations for defining reference points for semelparous species, with emphasis on anadromous salmonid species including iteroparous salmonids](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/146. v + 48 p.
- Christie, M.R., Ford, M.J., et Blouin, M.S. 2014. [On the reproductive success of early-generation hatchery fish in the wild](#). Evol Appl 7(8) : 883-896.
- Commission, P.S. 2016. [Chapter 3 performance evaluation report. Pacific Salmon Commission Report](#). TCCHINOOK (16)-2, Vancouver, BC. : 135.
- COSEPAC. 2021. [COSEWIC wildlife species assessment: quantitative criteria and guidelines](#).
- Crozier, L.G., Burke, B.J., Chasco, B.E., Widener, D.L., et Zabel, R.W. 2021. [Climate change threatens Chinook salmon throughout their life cycle](#). Commun Biol 4(1) : 222.
- Crozier, L.G., McClure, M.M., Beechie, T., Bograd, S.J., Boughton, D.A., Carr, M., Cooney, T.D., Dunham, J.B., Greene, C.M., Haltuch, M.A., Hazen, E.L., Holzer, D.M., Huff, D.D., Johnson, R.C., Jordan, C.E., Kaplan, I.C., Lindley, S.T., Mantua, N.J., Moyle, P.B., Myers, J.M., Nelson, M.W., Spence, B.C., Weitkamp, L.A., Williams, T.H., et Willis-Norton, E. 2019. [Climate vulnerability assessment for Pacific salmon and steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem](#). PLoS ONE 14(7) : e0217711.
- Cultus Sockeye Recovery Team. 2005. [National conservation strategy for the sockeye salmon, \(*Oncorhynchus nerka*\), Cultus Lake population, in British Columbia](#). Recovery of Nationally Endangered Wildlife (RENEW) Ottawa, Ontario : 49pp.
- Decker, A.S., Hawkshaw, M.A., Patten, B.A., Sawada, J., et Jantz, A.L. 2014. [Assessment of the Interior Fraser Coho Salmon \(*Oncorhynchus kisutch*\) Management Unit Relative to the 2006 Conservation Strategy Recovery Objectives](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/086. xi + 64 p.
- DeFilippo, L.B., Buehrens, T.W., Scheuerell, M., Kendall, N.W., et Schindler, D.E. 2021. [Improving short-term recruitment forecasts for coho salmon using a spatiotemporal integrated population model](#). Fisheries Research 242 : 106014.

-
- Dormann, C.F., Calabrese, J.M., Guillera-Arroita, G., Matechou, E., Bahn, V., Bartoń, K., Beale, C.M., Ciuti, S., Elith, J., Gerstner, K., Guelat, J., Keil, P., Lahoz-Monfort, J.J., Pollock, L.J., Reineking, B., Roberts, D.R., Schröder, B., Thuiller, W., Warton, D.I., Wintle, B.A., Wood, S.N., Wüest, R.O., et Hartig, F. 2018. [Model averaging in ecology: a review of Bayesian, information-theoretic, and tactical approaches for predictive inference](#). *Ecol Monogr* 88(4) : 485-504.
- Dorner, B., Catalano, M.J., et Peterman, R.M. 2018. [Spatial and temporal patterns of covariation in productivity of Chinook salmon populations of the northeastern Pacific Ocean](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 75(7) : 1082-1095.
- Dorner, B., Holt, K.R., Peterman, R.M., Jordan, C., Larsen, D.P., Olsen, A.R., et Abdul-Aziz, O.I. 2013. [Evaluating alternative methods for monitoring and estimating responses of salmon productivity in the North Pacific to future climatic change and other processes: A simulation study](#). *Fisheries Research* 147 : 10-23.
- Dowling, N.A., Dichmont, C.M., Haddon, M., Smith, D.C., Smith, A.D.M., et Sainsbury, K. 2015. [Empirical harvest strategies for data-poor fisheries: A review of the literature](#). *Fisheries Research* 171 : 141-153.
- Eckert, L.E., Ban, N.C., Frid, A., et McGreer, M. 2018. [Diving back in time: Extending historical baselines for yelloweye rockfish with Indigenous knowledge](#). *Aquatic Conserv : Mar Freshw Ecosyst* 28(1) : 158-166.
- Field, R.D., et Reynolds, J.D. 2011. [Sea to sky: impacts of residual salmon-derived nutrients on estuarine breeding bird communities](#). *Proc. R. Soc. B.* 278(1721) : 3081-3088.
- Freshwater, C., Holt, K.R., Huang, A.-M., et Holt, C.A. 2020. [Benefits and limitations of increasing the stock-selectivity of Pacific salmon fisheries](#). *Fisheries Research* 226 : 105509.
- Godbout, L., Irvine, J.R., Bailey, D., Van Will, P., et McConnell, C. 2004. [Stock Status of Wild Chum Salmon \(*Oncorhynchus keta* Walbaum\) Returning to British Columbia's Central Coast and Johnstone and Georgia Straits \(excluding the Fraser River\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2004/007. vi + 45 p.
- Grant, S.C.H., Holt, C.A., Pestal, G., Davis, B.M. et MacDonald, B.L. 2020a. [Réévaluation de 2017 de l'état biologique intégré du saumon rouge du fleuve Fraser \(*Oncorhynchus nerka*\) selon la Politique concernant le saumon sauvage, au moyen de paramètres normalisés et d'avis d'experts](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/038. ix + 232 p.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Cone, T.E., Holt, C.A., Cass, A., Porszt, E.J., Hume, J.M.B., et Pon, L.B. 2012. [Evaluation of uncertainty in Fraser sockeye WSP Status using abundance and trends in abundance metrics](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/087. viii + 183.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., et Michielsens, C.G.J. 2020b. [State of Canadian Pacific salmon in 2019](#). *Dans* State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2019. p. 86-91.
-

-
- Grant, S.C.H., et Pestal, G. 2013. [Integrated biological status assessment under the Wild Salmon Policy using standardized metrics and expert judgement: Fraser River sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) case studies](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/106. v + 132 p.
- Hilborn, R., et Walters, C.J. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment : Choice, Dynamics and Uncertainty. Springer Science & Business Media.
- Hocking, M.D., et Reimchen, T.E. 2006. [Consumption and distribution of salmon \(*Oncorhynchus* spp.\) nutrients and energy by terrestrial flies](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63(9) : 2076-2086.
- Holt, C.A. 2009. [Evaluation of Benchmarks for Conservation Units in Canada's Wild Salmon Policy: Technical Documentation](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/059. x + 50.
- Holt, C.A. 2010. [Will depleted populations of Pacific salmon recover under persistent reductions in survival and catastrophic mortality events?](#) ICES J. Mar. Sci. 67(9) : 2018-2026.
- Holt, C.A., Cass, A., Holtby, B., et Riddell, B. 2009. [Indicators of Status and Benchmarks for Conservation Units in Canada's Wild Salmon Policy](#). DFO Can. Sci. Advis. Res. Doc. 2009/058. viii + 74 p.
- Holt, C.A., Freshwater, C., Holt, K.R., et Huang, A.-M. 2020. [A quantitative tool for evaluating rebuilding plans for Pacific salmon](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3402 : v + 26 p.
- Holt, C.A., et Irvine, J.R. 2013. [Distinguishing benchmarks of biological status from management reference points: A case study on Pacific salmon in Canada](#). Envir. Conserv. 40(4) : 345-355.
- Holt, C.A., et Michielsens, C.G.J. 2020. [Impact of time-varying productivity on estimated stock-recruitment parameters and biological reference points](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 77(5) : 836-847.
- Holt, C.A., Davis, B., Dobson, D., Godbout, L., Luedke, W., Tadey, J., et Van Will, P. 2018. [Évaluation des points de référence biologiques pour les unités de conservation du saumon du Pacifique pour lesquelles les données sont limitées, mettant l'accent sur le saumon kéta du sud de la Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/011. ix + 87 p.
- Holt, K.R., Holt, C.A., Warkentin, L., Wor, C., Davis, B., Arbeider, M., Bokvist, J., Crowley, S., Grant, S., Luedke, W., McHugh, D., Picco, C., et Van Will, P. 2023. [Application de méthodes d'estimation des points de référence limites à des unités de gestion des stocks de saumons du Pacifique dans le cadre d'études de cas](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/010. v + 150 p.
- Holtby, L.B., et Ciruna, K.A. 2007. [Conservation Units for Pacific Salmon under the Wild Salmon Policy](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/070. viii + 350 p.
- HSRG (Hatchery Scientific Review Group). 2009. [Columbia River Hatchery Reform System-Wide Report](#). Columbia River Hatchery Reform Project.

-
- Huang, A-M., Pestal, G., Guthrie, I. 2021. [Évaluation du potentiel de rétablissement de neuf unités désignables du saumon rouge \(*Oncorhynchus nerka*\) du fleuve Fraser – Probabilité d'atteindre les cibles de rétablissement fixées \(éléments 12, 13, 15, et 19 à 22\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/043. xi + 108 p.
- Interior Fraser Coho Recovery Team. 2006. [Conservation strategy for Coho Salmon \(*Oncorhynchus kisutch*\), interior Fraser River populations](#). Fisheries and Oceans Canada.
- Jardim, E., Azevedo, M., Brodziak, J., Brooks, E.N., Johnson, K.F., Klibansky, N., Millar, C.P., Minto, C., Mosqueira, I., Nash, R.D.M., Vasilakopoulos, P., et Wells, B.K. 2021. [Operationalizing ensemble models for scientific advice to fisheries management](#). ICES J. Mar. Sci. 78(4) : 1209-1216.
- Keith, D.M., et Hutchings, J.A. 2012. [Population dynamics of marine fishes at low abundance](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69(7) : 1150-1163.
- Klaer, N.L., O'Boyle, R.N., Deroba, J.J., Wayte, S.E., Little, L.R., Alade, L.A., et Rago, P.J. 2015. [How much evidence is required for acceptance of productivity regime shifts in fish stock assessments: Are we letting managers off the hook?](#) Fisheries Research 168 : 49-55.
- Korman, J., Sawada, J., Bradford, M.J. 2019. [Cadre d'évaluation de possibles points de référence de la Commission du saumon du Pacifique pour l'état de la population et les taux d'exploitation autorisés correspondants pour les unités de gestion du saumon coho du détroit de Georgie et du fleuve Fraser](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/001. vi + 86 p.
- Kronlund, A.R., Forrest, R.E., Cleary, J.S., Grinnell, M.H., et Grinnell, M.H. 2018. [The Selection and Role of Limit Reference Points for Pacific Herring \(*Clupea pallasii*\) in British Columbia, Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Res. Doc. 2018/009. 134 p.
- Kronlund, A.R., Marentette, J.R., Olmstead, M., Shaw, J. et Beauchamp, B. 2021. [Considérations pour la conception des stratégies de rétablissement des stocks de poissons canadiens](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/051. ix + 160 p.
- Lee, L.C., Thorley, J., Watson, J., Reid, M., et Salomon, A.K. 2019. [Diverse knowledge systems reveal social–ecological dynamics that inform species conservation status](#). Conservation Letters 12(2).
- Liermann, M.C., Sharma, R., et Parken, C.K. 2010. [Using accessible watershed size to predict management parameters for Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, populations with little or no spawner-recruit data: a Bayesian hierarchical modelling approach](#). Fisheries Management and Ecology 17(1) : 40-51.
- Lynch, C., Bateman, J., Ramshaw, B., et Bell, J. 2020. [Assessment of Enhanced Chum Salmon \(*Oncorhynchus keta*\) in Canada: 1980 to 2018 Return Years](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1319 : ix + 535 p.
-

-
- Mace, G.M., Collar, N.J., Gaston, K.J., Hilton-Taylor, C., Akçakaya, H.R., Leader-Williams, N., Milner-Gulland, E.J., et Stuart, S.N. 2008. [Quantification of Extinction Risk: IUCN's System for Classifying Threatened Species](#). Conservation Biology 22(6) : 1424-1442.
- Malick, M.J., et Cox, S.P. 2016. [Regional-Scale Declines in Productivity of Pink and Chum Salmon Stocks in Western North America](#). PLoS ONE 11(1) : e0146009.
- Marentette, J.R., Kronlund, A.R., Cogliati, K.M. 2021. [Spécification des points de référence de l'approche de précaution et des règles de contrôle des prises dans les principaux stocks exploités gérés et évalués au niveau national au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/057. vii + 112 p.
- Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K.L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.-K., Yohe, G.W., et Zwiers, F.W. 2010. [Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties](#). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- McElhany, P., Ruckelshaus, M.H., Ford, M.J., et Bjorkstedt, E.P. 2000. [Viable salmonid populations and the recovery of evolutionarily significant units](#). U.S. Dept. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC 42 : 156.
- McKechnie, I., Lepofsky, D., Moss, M.L., Butler, V.L., Orchard, T.J., Coupland, G., Foster, F., Caldwell, M., et Lertzman, K. 2014. [Archaeological data provide alternative hypotheses on Pacific herring \(*Clupea pallasii*\) distribution, abundance, and variability](#). Proc Natl Acad Sci USA 111(9) : E807-E816.
- Medinger, D., et Pojar, J. 1991. [Ecosystems of British Columbia](#). British Columbia Ministry of Forests, Victoria, BC.
- Millar, C.P., Jardim, E., Scott, F., Osio, G.C., Mosqueira, I., et Alzorriz, N. 2015. [Model averaging to streamline the stock assessment process](#). ICES Journal of Marine Science 72(1) : 93-98.
- MPO. 2005. [Canada's Policy for Conservation of Wild Pacific Salmon](#).
- MPO. 2006. [A Harvest Strategy Compliant with the Precautionary Approach](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2006/023.
- MPO. 2009a. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#).
- MPO. 2009b. [Politique sur la pêche des espèces fourragères](#).
- MPO. 2013. [Proceedings of the National Workshop for Technical Expertise in Stock Assessment \(TESA\): Maximum Sustainable Yield \(MSY\) Reference Points and the Precautionary Approach when Productivity Varies; December 13-15, 2011](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2012/055 : 58.
- MPO. 2014. [Lignes directrices sur l'évaluation des menaces, des risques écologiques et des répercussions écologiques pour les espèces en péril](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/013. (Erratum : juin 2016).
-

-
- MPO. 2015. [Politique concernant le saumon sauvage – évaluations de l'état biologique pour les unités de conservation du saumon coho du Fraser intérieur \(*Oncorhynchus kisutch*\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/022.
- MPO. 2016a. [Compte rendu de l'examen national par les pairs sur l'Élaboration des directives techniques pour la prestation d'un avis scientifique portant sur les divers éléments du cadre de l'approche de précaution de Pêches et Océans Canada; du 28 février au 1er mars 2012](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2015/005.
- MPO. 2016b. [État biologique intégré du saumon quinnat \(*Oncorhynchus tshawytscha*\) du sud de la Colombie-Britannique en vertu de la politique concernant le saumon sauvage](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/042.
- MPO. 2021a. [Avis scientifique sur les stratégies de pêche fondées sur l'approche de précaution aux termes des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/004.
- MPO. 2021b. [Prévisions pour le saumon de 2022](#).
- MPO. 2021c. [Un cadre de procédures de gestion pour les poissons de fond en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/002.
- MPO. 2021d. [Lignes directrices scientifiques à l'appui de l'élaboration des plans de rétablissement des stocks de poissons canadiens](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/006.
- MPO. 2021e. [Southern Salmon Integrated Fisheries Management Plan 2021/22](#). 21-2051 : 600p.
- Mullowney, D., Baker, K., Pedersen, E. et Osborne, D. 2018. [Base d'une approche de précaution et d'un cadre décisionnel pour la pêche du crabe des neiges \(*Chionoecetes opilio*\) à Terre-Neuve-et-Labrador](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/054. iv + 69 p.
- Mullowney, D.R.J., Baker, K.D., Zabihi-Seissan, S., et Morris, C. 2020. [Biological perspectives on complexities of fisheries co-management: A case study of Newfoundland and Labrador snow crab](#). Fisheries Research 232 : 105728.
- Nelson, B.W., Walters, C.J., Trites, A.W., et McAllister, M.K. 2019. [Wild Chinook salmon productivity is negatively related to seal density and not related to hatchery releases in the Pacific Northwest](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 76(3) : 447-462.
- Noble, C., Korman, J., et Bocking, R. 2015. [Habitat-based escapement benchmarks for Coho Salmon in Georgia Strait Mainland, Georgia Strait Vancouver Island, and Lower Fraser River Management Units](#). DFO Can. Sci. Advis. Res. Doc. 2015/050. x + 91.
- O'Leary, C.A., Thorson, J.T., Miller, T.J., et Nye, J.A. 2020. [Comparison of multiple approaches to calculate time-varying biological reference points in climate-linked population-dynamics models](#). ICES J. Mar. Sci. 77(3) : 930-941.
-

-
- Pacific Salmon Commission Sentinel Stocks Committee. 2018. [Pacific Salmon Commission Sentinel Stocks Committee Final Report 2009-2014](#). Pacific Salmon Comm. Tech. Report No. 39 : 167 p.
- Pacific Salmon Foundation. 2020. [Methods for Assessing Status and Trends in Pacific Salmon Conservation Units and their Freshwater Habitats](#).
- Parken, C.K., Bailey, R.E., et Irvine, J.R. 2003. [Incorporating Uncertainty into Area-under-the-Curve and Peak Count Salmon Escapement Estimation](#). N. Am. J. Fish. Manag. 23 : 78-90.
- Parken, C.K., McNicol, R.E., et Irvine, J.R. 2006. [Habitat-based methods to estimate escapement goals for data limited Chinook salmon stocks in British Columbia, 2004](#). DFO Can. Sci. Advis. Res. Doc. 2006/083. vii + 67 p.
- Peacock, S.J., et Holt, C.A. 2010. [A Review of Metrics of Distribution with Application to Conservation Units under Canada's Wild Salmon Policy](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2888 : xii +36.
- Peacock, S.J., et Holt, C.A. 2012. [Metrics and sampling designs for detecting trends in the distribution of spawning Pacific salmon \(*Oncorhynchus* spp.\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69(4) : 681-694.
- Peterman, R.M., et Dorner, B. 2012. [A widespread decrease in productivity of sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) populations in western North America](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69(8) : 1255-1260.
- Peterman, R.M., Pyper, B.J., Lapointe, M.F., Adkison, M.D., et Walters, C.J. 1998. [Patterns of covariation in survival rates of British Columbian and Alaskan sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) stocks](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55 : 15.
- Porszt, E.J., Peterman, R.M., Dulvy, N.K., Cooper, A.B., et Irvine, J.R. 2012. [Reliability of Indicators of Decline in Abundance: Reliability of Indicators of Decline](#). Conservation Biology 26(5) : 894-904.
- Portley, N., et Geiger, H.J. 2014. [Limit Reference Points for Pacific Salmon Fisheries](#). North American Journal of Fisheries Management 34(2) : 401-410.
- Price, M.H.H., Connors, B.M., Candy, J.R., McIntosh, B., Beacham, T.D., Moore, J.W., et Reynolds, J.D. 2019. [Genetics of century-old fish scales reveal population patterns of decline](#). Conservation Letters 12(6).
- Price, M.H.H., Moore, J.W., Connors, B.M., Wilson, K.L., et Reynolds, J.D. 2021. [Portfolio simplification arising from a century of change in salmon population diversity and artificial production](#). J Appl Ecol 58(7) : 1477-1486.
- Punt, A.E., A'mar, T., Bond, N.A., Butterworth, D.S., Moor, C.L. de, De Oliveira, J.A.A., Haltuch, M.A., Hollowed, A.B., et Szuwalski, C. 2014. [Fisheries management under climate and environmental uncertainty: control rules and performance simulation](#). ICES Journal of Marine Science 71(8) : 2208-2220.

-
- Punt, A.E., Dunn, A., Elvarsson, B., Hampton, J., Hoyle, S.D., Maunder, M.N., Methot, R.D., et Nielsen, A. 2020. [Essential features of the next-generation integrated fisheries stock assessment package: A perspective](#). Fisheries Research 229 : 105617.
- Pyper, B.J., Mueter, F.J., Peterman, R.M., Blackbourn, D.J., et Wood, C.C. 2002. [Spatial Covariation in Survival Rates of Northeast Pacific Chum Salmon](#). Trans. Am. Fish. Soc. 131(3) : 343-363.
- Quinn, T.P., Helfield, J.M., Austin, C.S., Hovel, R.A., et Bunn, A.G. 2018. [A multidecade experiment shows that fertilization by salmon carcasses enhanced tree growth in the riparian zone](#). Ecology 99(11) : 2433-2441.
- Reid, A.J., Eckert, L.E., Lane, J.-F., Young, N., Hinch, S.G., Darimont, C.T., Cooke, S.J., Ban, N.C., et Marshall, A. 2021. [« Two-Eyed Seeing »: An Indigenous framework to transform fisheries research and management](#). Fish and Fisheries 22 : 243-261.
- Riddell, B.E., Luedke, W., Till, J., Taylor, S., et Tompkins, A. 2002. [Review of 2001 Chinook returns to the West Coast Vancouver Island, forecast of the 2002 Return to the Stamp River / Robertson Creek Hatchery indicator stock, and outlook for other WCVI Chinook stocks](#). Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2002/119. 43 p.
- Rossi, S.P., Cox, S.P., Benoit, H.P., et Swain, D.P. 2019. [Inferring fisheries stock status from competing hypotheses](#). Fisheries Research 216 : 155-166.
- Sainsbury, K. 2008. [Best Practice reference Points for Australian Fisheries](#). Australian Fisheries Management Authority, Canberra.
- Schindler, D.E., Hilborn, R., Chasco, B., Boatright, C.P., Quinn, T.P., Rogers, L.A., et Webster, M.S. 2010. [Population diversity and the portfolio effect in an exploited species](#). Nature 465(7298) : 609-612.
- Schindler, D.E., Scheuerell, M.D., Moore, J.W., Gende, S.M., Francis, T.B., et Palen, W.J. 2003. Pacific salmon and the ecology of coastal ecosystems. Frontiers in Ecology and the Environment 1(1) : 31-37.
- Shelton, P.A., et Rice, J.C. 2002. [Limits to overfishing: reference points in the context of the Canadian perspective on the precautionary approach](#). DFO Can. Sci. Advis. Res. Doc. 2002/084. 30 p.
- Smith, S.J., Bourdages, H., Choi, J., Dawe, E., Dunham, J.S., Gendron, L., Hardie, D., Moriyasu, M., Orr, D., Roddick, D., Rutherford, D., Sainte-Marie, B., Savard, L., Shelton, P., Stansbury, D., Tremblay, M.J., et Zhang, Z. 2012. [Technical Guidelines for the Provision of Scientific Advice on the Precautionary Approach for Canadian Fish Stocks: Section 7 - Invertebrate Species](#). Fisheries Management and Ecology 2012/117 : 34.
- Staton, B.A., Catalano, M.J., et Fleischman, S.J. 2017. [From sequential to integrated Bayesian analyses: Exploring the continuum with a Pacific salmon spawner-recruit model](#). Fisheries Research 186 : 237-247.

-
- Staton, B.A., Catalano, M.J., Fleischman, S.J., et Ohlberger, J. 2021. [Incorporating demographic information into spawner–recruit analyses alters biological reference point estimates for a western Alaska salmon population](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 78(12) : 1755-1769.
- Szuwalski, C.S., et Hollowed, A.B. 2016. [Climate change and non-stationary population processes in fisheries management](#). *ICES J. Mar. Sci.* 73(5) : 1297-1305.
- Trochta, J.T., et Branch, T.A. 2021. [Applying Bayesian model selection to determine ecological covariates for recruitment and natural mortality in stock assessment](#). *ICES J. Mar. Sci.* : fsab165.
- [US Code of Federal Regulations](#). 2021.
- Walters, C.J., McAllister, M.K., et Christensen, V. 2020. [Has Steller Sea Lion Predation Impacted Survival of Fraser River Sockeye Salmon?](#) *Fisheries*.
- Walters, C., et Martell, S.J.D. 2004. *Fisheries Ecology and Management*. Princeton University Press, Princeton.
- Withler, R.E., Bradford, M.J., Willis, D.M., et Holt, C.A. 2018. [Genetically Based Targets for Enhanced Contributions to Canadian Pacific Chinook Salmon Populations](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2018/019. xii + 88 p.
- Zabel, R.W., et Levin, P.S. 2002. [Simple assumptions on age composition lead to erroneous conclusions on the nature of density dependence in age-structured populations](#). *Oecologia* 133(3) : 349-355.
- Zhang, F., Eddy, T.D., Duplisea, D.E., Robertson, M.D., Ruiz-Diaz, R., et Solberg, C.A. 2021a. Report on Ocean Frontier Institute (OFI) Workshop on Fisheries Management Reference Points in Highly Dynamic Ecosystems.
- Zhang, F., Regular, P.M., Wheeland, L., Rideout, R.M., et Morgan, M.J. 2021b. [Accounting for non-stationary stock recruitment relationships in the development of MSY-based reference points](#). *ICES Journal of Marine Science* 78(6) : 2233-2243.

ANNEXE A. ÉTUDES DE CAS

Nous illustrons l'application des méthodes potentielles pour les points de référence limites (PRL) élaborés dans la section 4 à trois unités de gestion des stocks (UGS) comme études de cas, évaluons la sensibilité des PRL à diverses hypothèses, et utilisons ces applications pour éclairer les directives présentées dans la section 5. Les études de cas comprenaient le saumon coho du Fraser intérieur, le saumon chinook de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) et le saumon kéta de la côte sud intérieure (à l'exception des unités de conservation [UC] du Fraser), chaque UGS comprenant de 3 à 7 UC. Ces UGS ont été choisies parce qu'elles couvrent un large éventail de types de données et de disponibilités, allant de données riches (saumon coho du Fraser intérieur) à des données limitées (saumon kéta de la côte sud intérieure). En outre, elles variaient sur le plan des contributions d'écloseries, allant d'un niveau élevé (saumon chinook de la COIV) à un niveau relativement faible (saumon coho du Fraser intérieur et saumon kéta de la côte sud intérieure), et deux de ces études de cas sont incluses dans le premier lot proposé de stocks à régler en vertu des dispositions sur les stocks de poissons (saumon coho du Fraser intérieur et saumon chinook de la COIV). Pour chaque étude de cas, l'ensemble des méthodes de PRL considérées est fonction des données disponibles et des méthodes d'évaluation précédemment élaborées pour les UC composantes. Dans cette section, nous fournissons une brève description de chaque étude de cas et des méthodes appliquées à chacune. Pour des descriptions plus complètes des études de cas, y compris les caractéristiques des UGS, les sources de données, les méthodes d'analyse et les résultats, voir Holt et al. (2023).

A.1. SAUMON COHO DU FRASER INTÉRIEUR

L'UGS de saumon coho du Fraser intérieur comprend le saumon coho qui fraye dans le fleuve Fraser et ses affluents en amont de Hells Gate, dans le canyon du Fraser. Cette UGS est composée de 5 UC : le moyen Fraser, le canyon du Fraser, la basse Thompson, la Thompson Nord et la Thompson Sud (MPO 2015). Le déclin de l'abondance des géniteurs de saumon coho du Fraser intérieur tout au long des années 1990 a conduit à une série de mesures de gestion visant à favoriser le rétablissement, y compris d'importantes restrictions de la pêche à partir de 1998 (Decker et al. 2014). Les travaux antérieurs de l'équipe chargée du rétablissement du saumon coho du Fraser intérieur (ÉRCFI) ont permis de désigner 11 sous-populations nichées dans les cinq UC et d'élaborer des objectifs de rétablissement fondés sur le maintien de l'abondance de chaque sous-population au-dessus des seuils de conservation (Interior Fraser Coho Recovery Team 2006). En 2014, une évaluation de l'état de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS) revue par des pairs a classé trois de ces UC dans la catégorie ambre (moyen Fraser, canyon du Fraser, Thompson Sud) et les deux autres UC dans la catégorie ambre/vert (basse Thompson, Thompson Nord) (MPO 2015). Dans le cadre de l'évaluation de la PSS, $G_{\text{gén}}$ a été estimé pour chaque UC et utilisé comme l'un des nombreux points de référence pris en compte pour déterminer l'état de l'UC intégrée.

Pour calculer des points de référence fondés sur le rapport géniteur-recrutement au niveau de l'UC, nous avons utilisé les données sur l'abondance annuelle totale des géniteurs, le recrutement selon l'âge (des géniteurs naturels), et les indices du taux de survie de l'état de saumoneau à l'état adulte provenant des écloseries pour les années de remonte 1998 à 2020. Les données sur l'abondance des géniteurs d'origine naturelle dans chacune des 11 sous-populations, additionnées au niveau des UC, ont été utilisées pour évaluer l'état et les tendances au niveau des UC pour les PRL basés sur l'état des UC et de régression logistique. Ces données, ainsi que les taux

d'exploitation, ont été utilisés pour paramétrer le modèle de projection pour les PRL de projection. La contribution des écloséries à la production était généralement faible dans cette UGS, avec des valeurs d'influence naturelle proportionnelle (INP) >0,5, et habituellement >0,72. L'abondance des géniteurs est positivement corrélée entre les UC, avec une corrélation moyenne de 0,56 (figure A.1). Nous avons caractérisé l'état de l'UC de trois façons, en utilisant : 1) l'explorateur de

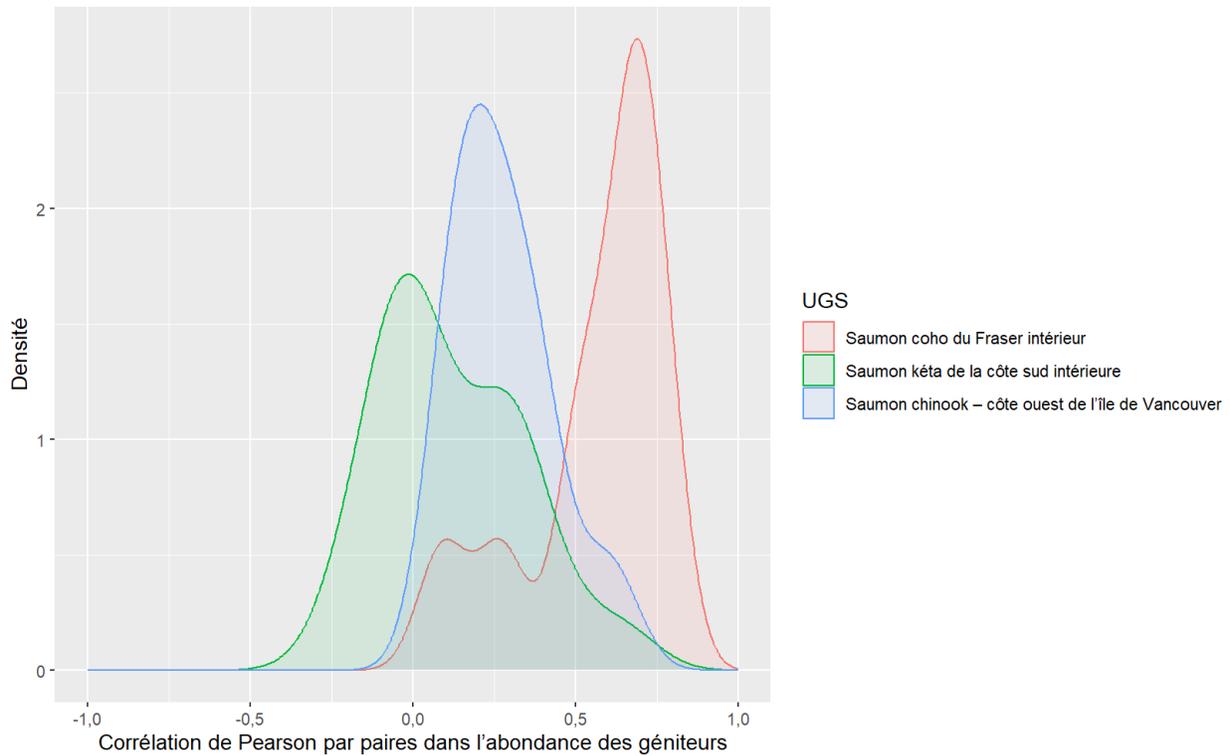


Figure A.1. Distribution des corrélations dans l'abondance des géniteurs entre les UC (ou les bras de mer) pour le saumon chinook de la COIV pour les trois études de cas.

l'état du saumon du Pacifique, 2) les abondances au niveau de l'UC par rapport à $G_{\text{gén}}$ comme point de référence inférieur sur l'abondance dérivée de la relation géniteur-recrutement dans le cadre de la PSS, et 3) la répartition de l'abondance des géniteurs par rapport aux objectifs de répartition élaborés par l'ÉRCFI (Interior Fraser Coho Recovery Team 2006). Dans la seconde approche, nous avons considéré deux hypothèses structurelles sur la relation géniteur-recrutement fondées sur Korman et al. (2019) et Arbeider et al. (2020), qui concernent la force de la densité-dépendance. La troisième approche reconnaît qu'une répartition adéquate des géniteurs entre les sous-populations peut être nécessaire à la persistance à long terme de l'UGS (Interior Fraser Coho Recovery Team 2006), et qu'une contraction de cette répartition peut représenter un risque accru de disparition (Arbeider et al. 2020). Bien que les approches multidimensionnelles, comme l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique, soient recommandées pour les évaluations de la PSS (Holt et al. 2009), nous avons appliqué les deux autres approches (2 et 3) pour appuyer l'élaboration des PRL de l'abondance globale et pour avoir un point de comparaison avec l'explorateur des saumons. Même si les PRL d'abondance globale ne sont pas requis pour la gestion de la récolte de cette UGS, nous fournissons des PRL de régression logistique et de projection à des fins de démonstration. Les pêches du saumon coho du Fraser intérieur sont gérées en vertu

d'un régime de gestion bilatéral entre le Canada et les États-Unis, décrit en détail à l'annexe IV, chapitre 5, du Traité sur le saumon du Pacifique.

Pour cette UGS, nous avons évalué la sensibilité des PRL fondés sur les abondances globales à la disponibilité des données à l'aide d'une analyse rétrospective en réestimant les points de référence au niveau des UC, les états des UC et les PRL au niveau de l'UGS chaque année en utilisant uniquement les données antérieures à cette année. Nous avons également mis en œuvre une analyse de sensibilité dans laquelle une ou deux UC ont été retirées des analyses de manière itérative et les points de référence au niveau de l'UC, les états des UC, les PRL au niveau de l'UGS et les états au niveau de l'UGS ont été réestimés. Nous avons également effectué des analyses de sensibilité liées aux hypothèses structurelles concernant la relation stock-recrutement lors de la dérivation des points de référence au niveau de l'UC pour les méthodes de PRL fondées sur l'état des UC et sur l'abondance globale.

Nous avons constaté que les PRL et l'état qui en découle étaient les plus sensibles aux hypothèses structurelles sur la forme de la relation stock-recrutement. Les PRL étaient moins sensibles aux méthodes de PRL ou à l'approche d'évaluation des UC (explorateur de l'état du saumon du Pacifique par rapport à un paramètre unique sur l'abondance des géniteurs par rapport à un paramètre unique sur la répartition) ou à l'ajout de plus d'années ou d'UC de données. Cependant, nous notons que pour les PRL de régression logistique, l'exclusion des UC a entraîné de plus grandes incertitudes quant à l'état au niveau des UGS, bien que les intervalles de confiance (IC) à 95 % de l'état se recoupent généralement avec l'état estimé en utilisant toutes les données. Pour cette étude de cas, nous avons également démontré l'approche consistant à faire la moyenne des incertitudes structurelles pour fournir un PRL de projection qui tient compte de cette incertitude. Un calcul de moyenne similaire est également possible pour les PRL de régression logistique.

A.2. SAUMON CHINOOK DE LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER

L'UGS du saumon chinook de la COIV comprend trois UC (Holtby et Ciruna 2007), sept grands bras de mer (ou détroits) et 20 populations indicatrices d'échappée réparties dans les sept bras de mer et les trois UC. Les populations indicatrices d'échappée sont celles pour lesquelles on dispose de séries chronologiques relativement complètes de l'abondance des géniteurs avec une méthodologie d'observation cohérente (Riddell et al. 2002 ; Pacific Salmon Commission Sentinel Stocks Committee 2018). La mise en valeur des écloséries est une composante substantielle de plusieurs de ces populations, cependant, seules les populations indicatrices d'échappées sans mise en valeur significative des écloséries ($INP \geq 0,5$) ont été incluses dans nos analyses (voir section 4). Puisque les séries chronologiques de la proportion de géniteurs provenant d'écloséries ne sont pas disponibles pour ces populations, les abondances totales de géniteurs ont été utilisées dans l'évaluation des états des UC et des UGS globales, ce qui peut entraîner des évaluations trop optimistes de l'état par rapport aux analyses excluant les poissons provenant d'écloséries (comme dans l'étude de cas du saumon coho du Fraser intérieur). L'abondance des géniteurs tend à être positivement corrélée entre les bras de mer de l'UGS, avec une corrélation moyenne de 0,28 (figure A.1).

Pour le saumon chinook de la COIV, les bras de mer nichés dans les UC sont considérés comme une échelle spatiale importante de la biodiversité étant donné la séparation géographique des habitats de fraie entre les bras de mer et le faible nombre de saumons errants observé entre les bras de mer (D. McHugh comm. pers. Évaluation des stocks de la côte sud du MPO). Nous

avons donc considéré les abondances de géniteurs à l'échelle des bras de mer au sein des UC en raison des échanges démographiques limités attendus à cette échelle spatiale.

Deux des trois UC de cette UGS, COIV-Sud et COIV-Nootka et Kyuquot, ont été évaluées comme étant dans la zone d'état rouge dans une récente évaluation intégrée de la Politique concernant le saumon sauvage (MPO 2016b). Le saumon chinook de la COIV a été indiqué comme un stock préoccupant dans le plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) de 2021 et un plan de rétablissement est en cours d'élaboration (MPO 2021e). Le faible taux de survie des saumons chinooks de la COIV jusqu'à l'âge 2 et les faibles niveaux de géniteurs au cours des deux dernières décennies ont été soulignés comme étant des motifs de préoccupation sur le plan de la conservation dans le PGIP (MPO 2021e).

Les points de référence biologiques ont été estimés pour les populations indicatrices de la COIV à l'aide d'une relation empirique entre la superficie du bassin versant et deux points de référence biologiques stock-recrutement, G_{REMP} (abondance des géniteurs au moment du remplacement) et G_{RMD} , basés sur une méta-analyse de 25 stocks de saumons chinook en Amérique du Nord (Parken et al. 2006). Le manque de données rigoureuses sur le recrutement des stocks de saumon chinook de la COIV empêche l'utilisation de points de référence basés sur le recrutement des stocks. Pour l'élaboration des PRL pour le saumon chinook de la COIV, la relation empirique entre la superficie du bassin versant et le G_{REMP} a été réestimée à l'aide d'un modèle hiérarchique bayésien (comme dans Liermann et al. 2010), et appliquée aux entrées du saumon chinook de la COIV.

Nous avons caractérisé l'état des UC de deux façons pour cette étude de cas, en utilisant : 1) l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique, 2) les abondances au niveau des UC par rapport à $G_{gén}$ dérivées des estimations du modèle de bassin versant de G_{REMP} et de la productivité dérivée d'un modèle de survie spécifique au stade de vie avec l'avis d'experts. Nous avons calculé deux types de PRL : les PRL fondés sur l'état des UC et les PRL de projection. Selon des évaluations au niveau des UC, il n'y a pas eu d'années dans les données historiques où toutes les UC étaient au-dessus de la zone rouge ; il n'a donc pas été possible de déterminer les PRL de régression logistique. Même si les PRL d'abondance globale ne sont pas nécessaires pour la gestion des prises de cette UGS, nous fournissons des PRL de projection à des fins d'illustration. Les pêches sont gérées en fonction d'une combinaison du régime de gestion bilatéral Canada-États-Unis indiqué dans le Traité sur le saumon du Pacifique et de la cogouvernance locale. Nous avons mis en œuvre des analyses de sensibilité sur les PRL de projection pour deux incertitudes clés : la variabilité de l'exploitation entre les bras de mer et la productivité intrinsèque. D'autres analyses explorant les répercussions de l'exploitation, la variabilité de la productivité intrinsèque et la capacité sont fournies à l'annexe D de Holt et al. (2023).

Nous avons constaté que l'état était cohérent entre les méthodes de PRL disponibles et avec une évaluation publiée précédemment. Cependant, les PRL de projection étaient très sensibles aux productivités sous-jacentes de la population. Bien que le PRL du scénario de base suppose une répartition relativement diffuse des productivités, conforme à la gamme des avis d'experts, les réductions (de 25 %) ou les augmentations (de 50 %) de la productivité dans les bras de mer ont entraîné des changements relativement importants dans les estimations des PRL.

A.3. SAUMON KÉTA DE LA CÔTE SUD INTÉRIEURE – SAUF LE FLEUVE FRASER

L'UC de saumon kéta de la côte sud intérieure (ci-après appelée « UC de saumon kéta de l'intérieur de la côte sud ») comprend sept UC de saumon kéta provenant de rivières qui se

déversent dans le détroit de Johnstone et la mer des Salish le long de la partie continentale de la Colombie-Britannique et de la côte est de l'île de Vancouver. Les UC de saumon kéta frayant dans le bassin versant du fleuve Fraser sont exclues de cette UGS, car elles ont été classées dans une UGS distincte (saumon kéta de la côte sud intérieure – Fraser). Bien que ces deux UGS présentent un chevauchement important au niveau des pêches océaniques, elles ont été séparées en deux UGS en raison des différences observées sur le plan des pêches terminales et des habitats d'eau douce. Godbout et al. (2004) ont relevé un état variable, mais stable dans les parties centrale et méridionale de cette UGS, avec des déclinés dans le nord, en particulier dans la région définie par la composante UC des ruisseaux côtiers du sud. Holt et al. (2018) ont trouvé des résultats similaires dans une évaluation provisoire de l'état selon la PSS. Les abondances de géniteurs ont tendance à n'être que très faiblement corrélées entre les UC pour cette UGS, avec une corrélation moyenne de 0,12 (figure A.1).

L'UGS du saumon kéta de l'intérieur de la côte sud est considérée comme limitée sur le plan des données. Bien que des séries chronologiques d'échappée soient disponibles pour de nombreux cours d'eau à partir de 1953, plusieurs séries sont incomplètes et nécessitent des hypothèses de comblement afin de produire un ensemble de données normalisées sur toute la série chronologique. La qualité des données de recrutement n'est pas suffisante pour estimer de manière fiable les paramètres des relations stock-recrutement en vue de leur utilisation dans les points de référence du stock-recrutement. Au lieu de cela, les points de références ont été calculés en tant que centile de la série chronologique historique de l'abondance des géniteurs au niveau de l'UC (centiles de référence) pour éclairer l'état selon la PSS, comme il est recommandé par Holt et al. (2018). Nous avons retiré trois systèmes avec des niveaux élevés d'aménagement de l'UC du détroit de Georgia (un avec une grande production d'écloserie et deux avec des chenaux de fraie artificiels étendus). Les autres systèmes avaient un mélange de production d'écloserie relativement faible ou aucune production d'écloserie (voir Lynch et al. 2020). Lorsqu'elles étaient disponibles, les estimations annuelles des géniteurs issus d'écloseries ont été retirées de l'abondance totale des géniteurs.

Pour cette étude de cas, nous considérons deux approches pour caractériser l'état des UC : 1) l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique et 2) une mesure unique sur les abondances de géniteurs utilisant des points de référence fondés sur le centile. Nous avons appliqué le PRL fondé sur l'état des UC et le PRL de régression logistique à cette étude de cas et évalué la sensibilité de l'état au niveau de l'UGS à partir du PRL fondé sur l'état des UC à diverses entrées de données. Nous n'avons pas été en mesure de générer des PRL de régression logistique fiables pour cette UGS, car les modèles de régression logistique ne s'ajustaient pas bien aux données, comme le montrent les diagnostics des modèles.

Nous avons constaté que les évaluations basées sur l'explorateur de l'état du saumon du Pacifique donnaient des résultats identiques à ceux du monomètre sur les abondances de géniteurs par rapport aux points de référence fondés sur le centile. De plus, comme pour le coho du Fraser intérieur, l'augmentation du nombre d'UC incluses dans les analyses a toujours donné lieu à des états plus pessimistes par rapport au PRL.

ANNEXE B. RESSOURCES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE POINTS DE RÉFÉRENCE LIMITES (PRL)

- Pour les paramètres uniques de l'état utilisés dans le cadre de la Politique concernant le saumon sauvage, voir le dépôt GitHub [paramètres de la PSS](#).
- For implementation of CU status-based and aggregate abundance LRPs to three case studies, see the Github repository on [études de cas](#)
- Pour l'estimation des corrélations entre les unités de conservation (UC) au sein des unités de gestion des stocks (UGS), voir le dépôt GitHub [corrélations de l'UC](#)
- Pour la rédaction de ce document de travail, voir le dépôt GitHub [csasdown](#)

Toutes les manipulations et projections de données ont été effectuées en R. TMB et TMBStan ont été utilisés pour l'estimation des paramètres de stock-recrutement et les points de référence pour la régression logistique et les PRL de projection.

ANNEXE C. MÉTA-ANALYSE DES CORRÉLATIONS DANS L'ABONDANCE DES GÉNITEURS ENTRE LES UNITÉS DE CONSERVATION (UC) AU SEIN DES UNITÉS DE GESTION DES STOCKS (UGS)

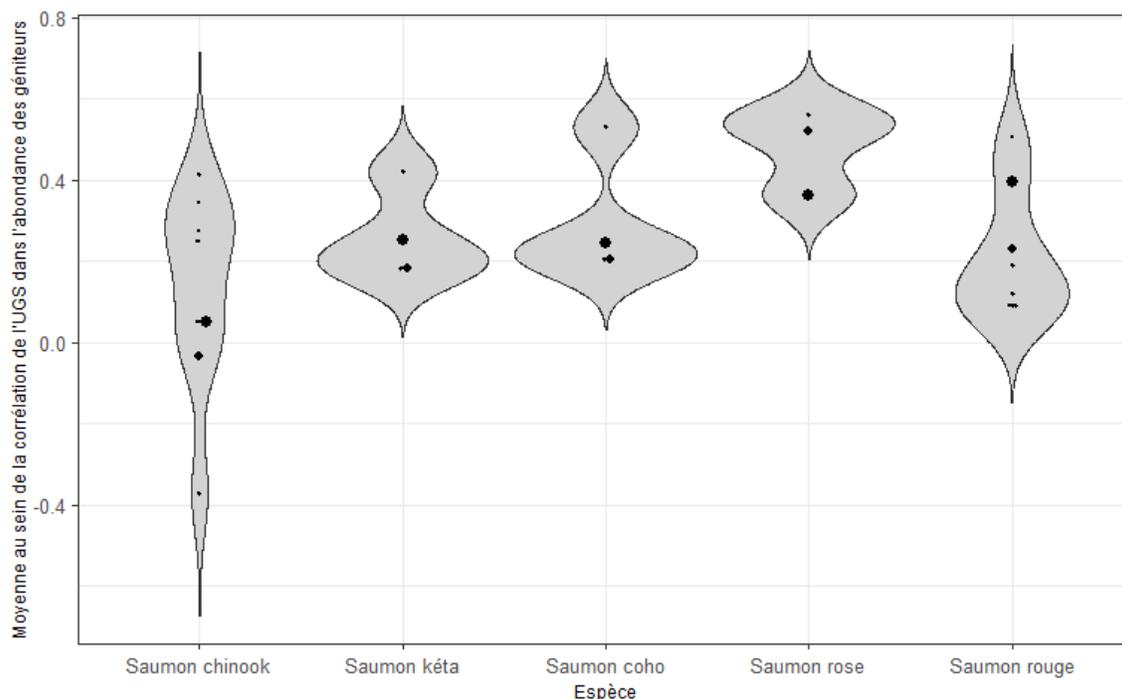


Figure C.1. Répartition des corrélations moyennes par paire entre les UC pour 40 UGS de saumon du Pacifique classées par espèce. Les points sont proportionnels au nombre d'UC d'une UGS, le point le plus élevé étant égal à 25 UC.

Dans une méta-analyse des séries chronologiques sur les géniteurs des diverses espèces de saumons du Pacifique dans toute la Colombie-Britannique, les corrélations par paires dans les abondances de géniteurs entre les UC au sein des UGS avaient tendance à être positives pour le saumon rose, le saumon kéta, le saumon coho et le saumon rouge. Pour le saumon chinook, les corrélations étaient plus variables entre les UC et parfois négatives, en partie en raison de l'influence confusionnelle de la production en éclosion dans certains de ces systèmes. Un problème omniprésent dans les analyses de corrélation pour les saumons du Pacifique est que les populations disposant de séries chronologiques ont tendance à être plus fortement gérées ou à se prêter à des relevés moins coûteux sur les géniteurs, et peuvent ne pas représenter celles qui ne disposent pas de données, qui ont tendance à être éloignées, coûteuses pour les relevés sur les géniteurs, et sans intervention directe de gestion. Les données sont tirées de l'outil [Pacific Salmon Explorer](#), fourni par E. Hertz (Fondation du saumon du Pacifique, juillet 2020). Un lien vers le dépôt GitHub contenant le code pour effectuer ces analyses est fourni à l'annexe B.