



APPROXIMATIONS RAPIDES DE L'ÉTAT DU SAUMON DU PACIFIQUE DÉRIVÉES D'ÉVALUATIONS D'EXPERTS INTÉGRÉES DANS LE CADRE DE LA POLITIQUE CONCERNANT LE SAUMON SAUVAGE DE PÊCHES ET OCÉANS CANADA

Contexte

Le suivi régulier de l'état des stocks et de la répartition de la biodiversité du saumon est de plus en plus important dans un contexte de changement climatique. Le déclin généralisé de l'abondance du saumon du Pacifique canadien a été lié au changement climatique mondial et à d'autres facteurs comme la détérioration des habitats, l'augmentation des maladies du poisson et les espèces envahissantes (Grant *et al.* 2019). Pour suivre l'évolution de la biodiversité du saumon, nous présentons une méthode d'évaluation rapide de l'état des stocks de saumon du Pacifique en vertu de la Politique concernant le saumon sauvage (PSS). Cette méthode peut attribuer un état *rouge*, *ambre* ou *vert* avec un niveau de confiance *élevé*, *moyen* ou *faible* aux unités de conservation (UC) du saumon avec les données applicables.

La diversité adaptative du saumon du Pacifique se manifeste à différentes échelles, notamment au niveau de l'espèce, de l'UC, de la population et du dème. La PSS détermine la diversité à l'échelle des UC comme des unités fondamentales qui ne peuvent être recolonisées si elles sont perdues (MPO 2005; Holtby et Ciruna 2007; Wade *et al.* 2019). La PSS de Pêches et Océans Canada (MPO) couvre cinq espèces de saumon du Pacifique : le saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*), le saumon chinook (*O. tshawytscha*), le saumon coho (*O. kisutch*), le saumon rose (*O. gorbuscha*) et le saumon kéta (*O. keta*). Le MPO a le pouvoir de gérer ces espèces de saumon en vertu de la *Loi sur les pêches* (2019). La truite arc-en-ciel (*O. mykiss*) est gérée à l'échelle provinciale et, par conséquent, n'est pas incluse dans les évaluations rapides de l'état des stocks en vertu de la PSS.

La Direction des sciences du MPO a demandé au Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) d'examiner l'approche d'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS pour appuyer l'évaluation de l'état des unités de gestion des stocks (UGS) de saumon du Pacifique par rapport à leurs points de référence limites (PRL). Une UGS est un groupe d'une ou plusieurs unités de conservation (UC) qui sont gérées ensemble dans le but d'atteindre un état commun. Le PRL correspond à l'état d'un stock au-dessous duquel il risque de subir de graves dommages, selon les critères biologiques établis par la Direction des sciences du MPO dans le cadre d'un examen par les pairs. Une UGS en deçà de son PRL déclenche un plan de rétablissement. Un processus récent du SCAS a recommandé que les PRL des UGS soient définis sous forme de pourcentage, l'objectif étant que 100 % de toutes les UC de l'UGS soient au-dessus de la zone d'état rouge de la PSS (MPO 2023; Holt *et al.* 2023a, 2023b). Une UGS se retrouve sous le PRL si une ou plusieurs des UC de cette UGS se trouvent dans la zone d'état rouge de la PSS. La méthode d'évaluation rapide de la PSS a été recommandée pour évaluer l'état par rapport au PRL (MPO 2023a; Holt *et al.* 2023a). Par la suite, dans le cadre du processus du SCAS présenté dans le présent rapport, une prochaine étape recommandée est

la vérification des résultats de l'évaluation selon l'approche rapide de la PSS de chaque UC et la détermination de l'état du PRL par des experts dans le cadre d'un processus structuré.

Les évaluations de l'état intégrées existantes en vertu de la PSS fournissent une approche de base pour suivre la situation annuelle de l'UC du saumon. Cette approche fait appel à un processus décisionnel d'experts pour combiner les états des mesures individuelles en vertu de la PSS et les renseignements connexes supplémentaires en un seul état intégré. Cependant, la méthode d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS ne nous permet de suivre que partiellement l'état annuel de l'UC, puisqu'elle exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre, et que, par conséquent, elle n'a été achevée que pour 11 % des 377 UC actuelles, et est dépassée depuis 5 à 10 ans. Afin d'accroître le nombre d'UC évaluées et de fournir des mises à jour annuelles sur l'état des UC, le présent document présente une nouvelle méthode d'évaluation rapide en vertu de la PSS qui se rapproche du processus décisionnel expert utilisé dans les évaluations intégrées de l'état des stocks. Les états rapides annuels de la PSS sont estimés à l'aide d'un algorithme mis en œuvre avec un code informatique pour les UC de la Colombie-Britannique (C.-B.) et du Yukon avec les données applicables.

La méthode d'évaluation rapide de la PSS offre une couverture plus complète des états de l'ensemble des UC. Pour augmenter le nombre d'UC évaluées, il faudra consulter des experts en évaluation des stocks pour sélectionner les sites de dénombrement des échappées et les années appropriées, et pour traiter les données, notamment en comblant les lacunes, le cas échéant. Les experts travailleraient de manière itérative pour explorer les spécifications à utiliser avec l'algorithme d'état rapide de la PSS, comme l'identification des paramètres d'état rapide de la PSS applicables à ces données, et l'examen des états rapides de la PSS générés par l'algorithme afin de finaliser l'approche pour leurs UC. Il est recommandé d'établir une stratégie de gouvernance pour ce travail, y compris l'identification des rôles et des responsabilités, afin d'assurer l'inclusion de nouvelles UC et des mises à jour annuelles pour toutes les UC.

La méthode d'évaluation rapide de la PSS est intégrée au système d'analyse de l'état du saumon du Pacifique du MPO. L'Explorateur de l'état des saumons du MPO est un outil interactif de visualisation des données conçu spécialement pour les experts afin de soutenir l'exploration scientifique et de les aider à intégrer la science dans les processus décisionnels. Les experts sont ceux qui ont une expertise sur le saumon du Pacifique, y compris les biologistes de l'évaluation des stocks, les experts techniques autochtones, les chercheurs scientifiques, les biologistes de l'habitat, de la récolte et de la gestion des écloses, etc.

Les objectifs de la présente réponse des Sciences sont les suivants :

1. Résumer les méthodes, les résultats et les conclusions de l'approche d'évaluation rapide de la PSS. L'élaboration de cette approche comprenait trois éléments clés :
 - a. une évaluation de la performance des algorithmes d'évaluation rapide des candidats par rapport aux évaluations intégrées existantes de la PSS examinées par le SCAS;
 - b. une évaluation de l'application des algorithmes rapides de l'état aux années et aux UC qui n'ont pas actuellement d'évaluations intégrées de la PSS;
 - c. une mesure de la confiance dans les résultats des évaluations rapides de l'état.
2. Documenter les processus d'examen qui ont eu lieu en vue d'élaborer l'algorithme d'évaluation rapide
3. Fournir un avis sur les prochaines étapes et les travaux futurs

Le présent rapport d'intervention scientifique découle de l'examen par les pairs régional du 18 novembre 2022 sur les approximations rapides de l'état du saumon du Pacifique dérivées d'évaluations d'experts intégrées dans le cadre de la Politique concernant le saumon sauvage de Pêches et Océans Canada.

Renseignements de base

Principes fondamentaux

L'approche d'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS repose sur trois principes fondamentaux :

1. Le premier principe fondamental est que les UC de la PSS ont été identifiées et les évaluations rapides élaborées sur la base des principes de la biologie de la conservation (Mace et Lande 1991; Mace *et al.* 1992, 2008; Caughley 1994; National Research Council (US) Committee on Scientific Issues in the Endangered Species Act 1998; McElhany *et al.* 2000; Rodrigues *et al.* 2006), et sont alignées sur les publications scientifiques examinées par les pairs (Holtby et Ciruna 2007; Holt 2009, 2010; Holt *et al.* 2009; Grant *et al.* 2011, 2020; Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016; Brown *et al.* 2019). Cela garantit que les états du saumon du Pacifique sont scientifiquement objectifs, cohérents et comparables entre les UC de la C.-B. et du Yukon. Les paramètres normalisés doivent également être largement applicables et relativement faciles à utiliser et à mettre à jour régulièrement. Plus précisément :
 - a. La PSS détermine la diversité à l'échelle des UC comme des unités fondamentales qui ne peuvent être recolonisées si elles sont perdues (MPO 2005). Les méthodes d'identification des UC (Holtby et Ciruna 2007), les révisions apportées à la liste originale des UC (Grant *et al.* 2011; Brown *et al.* 2019) et l'élaboration d'un processus de révision des UC (Wade *et al.* 2019) ont fait l'objet d'un examen par les pairs dans le cadre des processus du SCAS du MPO.
 - b. Les états intégrés de la PSS relèvent de l'une des trois principales zones d'état des stocks : *rouge* (critique), *ambre* (prudence) ou *vert* (saine), avec deux zones intermédiaires (*rouge/ambre* et *ambre/vert*) (tableau 1). Les évaluations intégrées de l'état des stocks de l'UC de la PSS qui ont été réalisées étaient fondées sur environ 15 ans d'élaboration et de préparation de méthodes dans le cadre de réunions du SCAS qui exigent beaucoup de travail, soit jusqu'à trois jours de travail pour 10 à 40 experts (Holt 2009; Holt *et al.* 2009; Grant *et al.* 2011, 2020; Grant and Pestal 2013; MPO 2015, 2016). Ces processus d'évaluation selon l'approche intégrée de l'état des stocks ont nécessité une vaste collaboration entre les experts de l'évaluation des stocks de saumon au sein du MPO et entre les groupes autochtones, les consultants, les ONG, etc.
 - c. La méthode d'évaluation de la PSS s'appuie sur l'approche d'évaluation de la situation utilisée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) pour les espèces mondiales (Rodrigues *et al.* 2006; Mace *et al.* 2008; UICN 2022), qui a été adopté par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) pour les espèces canadiennes (COSEPAC 2021). Une espèce du COSEPAC est à peu près l'équivalent d'une UC de la PSS. La zone d'état *rouge* de la PSS correspond en grande partie au statut *en voie de disparition* du COSEPAC; la zone *ambre* correspond au statut *menacé et préoccupant*; et la zone *verte* correspond au statut *non en péril* (voir l'annexe A.5 dans Pestal *et al.* 2023).

2. Le deuxième principe de base est la vérification des données et l'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS par les experts de l'UC. Les responsables de l'évaluation des stocks du MPO travaillent en collaboration avec des groupes autochtones, des consultants et d'autres personnes qui appuient ou dirigent des programmes d'évaluation des stocks de saumon. Ces experts de l'UC travaillent de manière itérative pour affiner les données utilisées de l'UC (en déterminant les sites de dénombrement des échappées de géniteurs appropriés, les années, le traitement des données, etc.), et pour sélectionner les paramètres de l'évaluation selon l'approche rapide selon la PSS applicables et les détails du calcul des paramètres, compte tenu de leur connaissance des données. Les états rapides de la PSS générés par l'algorithme sont utilisés pour évaluer ces réglages.
3. Le troisième principe fondamental est l'apprentissage et le perfectionnement continu. Cela signifie que les ensembles de données et les paramètres d'état de chaque UC seront régulièrement examinés et mis à jour, et que l'algorithme d'état rapide sera examiné dans le cadre d'un travail itératif continu avec les experts des UC (décrit dans le deuxième principe de base). En évaluant les résultats de l'algorithme d'évaluation rapide de la PSS pour les UC pour lesquelles ils sont compétents, les experts des UC peuvent déterminer où il convient de réviser ou d'ajouter des règles de décision à l'algorithme d'évaluation rapide de la PSS. L'amélioration globale des performances révisées de l'algorithme d'évaluation rapide de la PSS peut être testée à mesure que de nouveaux cas d'UC sont ajoutés et que des règles de décision communes, nouvelles et/ou révisées, sont proposées.

Analyse et réponse

Historique du développement des algorithmes

- **Un ensemble d'algorithmes d'évaluation rapide de la PSS candidats a été développé sous forme d'arbres de décision.** L'état rapide d'une UC est attribué en fonction des réponses à une séquence de questions dichotomiques oui/non utilisant des paramètres d'état (voir la figure 1, *Arbre d'apprentissage 3*). La combinaison des paramètres appliqués et de leurs valeurs ou états individuels mène à une détermination rapide de l'état final en vertu de la PSS. Les arbres de décision servant à l'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS donnent une idée du processus décisionnel que les experts ont utilisé dans l'évaluation selon l'approche intégrée visant à déterminer l'état final des UC. La prise de décisions dans le cadre des évaluations intégrées de l'état des stocks de la PSS a été menée par des experts utilisant des ensembles de résumés de données normalisées et leur propre contribution d'expert sur les données des UC, dans le cadre d'un processus structuré.
- **Sept algorithmes candidats ont été élaborés et évalués (tableau 2).**
 - Trois algorithmes ajustés : développés à l'aide d'analyses d'arbres de classification et de régression (*CART*) (plus de détails sont fournis dans les sections suivantes) (tableau 2; section 2.4.2 dans Pestal *et al.* 2023);
 - Quatre algorithmes construits : élaborés à partir d'une combinaison d'éléments d'arbres de décision de type *CART* et de raisonnements communs issus des processus d'évaluation selon l'approche intégrée de l'état de la PSS (tableau 2; section 2.4.3 dans Pestal *et al.* 2023). Les justifications communes sont extraites des descriptions que les experts ont élaborées dans le cadre de chaque processus d'évaluation selon l'approche intégrée de l'état des stocks ; ces descriptions décrivent les paramètres, les états et les renseignements connexes supplémentaires utilisés par les experts pour déterminer l'état final intégré selon la PSS de chaque UC (voir l'annexe B dans Pestal *et al.* 2023).

- **Selon l'algorithme d'état rapide candidat, on peut attribuer à une UC** l'une des cinq zones d'état décrites pour les états intégrés de la PSS (ci-dessus), l'une des trois zones d'état clés (*rouge, ambre* ou *vert*) ou l'une de deux zones (*rouge* ou *non rouge*) (tableaux 1 et 2).
- **Une évaluation du rendement a été effectuée parmi les sept candidats afin de sélectionner l'algorithme pour les évaluations rapides de l'état des stocks de la PSS (voir la section suivante : Plan d'analyse).** Un ensemble de six critères a été établi pour évaluer le rendement de chaque algorithme candidat. Ces éléments ont été évalués au moyen de mesures du rendement quantitatives et de considérations qualitatives. Les évaluations quantitatives du rendement ont comparé les états déterminés par l'évaluation selon l'approche intégrée antérieures selon la PSS (considérés comme les « états réels ») aux évaluations rapides générées par chaque algorithme, en utilisant des données identiques pour toutes les UC.
- **Les algorithmes ont été mis au point à l'aide d'une série standard de paramètres qui s'harmonisent avec ceux appliqués dans les processus d'évaluation intégrée de l'état de la PSS.** Un ensemble normalisé de paramètres est essentiel pour évaluer le statut des espèces sauvages. Un tel ensemble a été établi à l'échelle mondiale par l'entremise de l'UICN (Rodrigues *et al.* 2006; Mace *et al.* 2008; UICN 2022) et adoptée au Canada par le COSEPAC (COSEPAC 2021). La PSS met l'accent sur la « surveillance normalisée de la situation du saumon sauvage » (MPO 2005; Holt *et al.* 2009).
- Des paramètres normalisés permettent des évaluations objectives et transparentes de la situation et la production de résultats uniformes. Cela est essentiel pour comparer les statuts des espèces évaluées, ou les UC dans le cas de la PSS. Les paramètres normalisés doivent également être largement applicables et relativement faciles à utiliser et à mettre à jour régulièrement (Mace et Lande 1991).
- Les paramètres standard utilisés dans les algorithmes d'état rapide de la PSS étaient généralement les mêmes que ceux utilisés dans les évaluations selon l'approche intégrée. Ces paramètres évaluent l'abondance et les tendances des UC de saumon du Pacifique.
- **L'algorithme d'état rapide de la PSS fournit une méthode pour comparer facilement les états entre les UC et les années.** Les états rapides sont conçus pour donner une approximation des processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS pilotés par des experts, et, à l'instar de l'UICN et du COSEPAC, s'appliquent de façon générale au groupe évalué, en l'occurrence les UC de saumon du Pacifique. L'avis d'experts est essentiel pour la sélection des données et des paramètres appropriés à utiliser dans l'algorithme, et pour proposer des règles de décision nouvelles et révisées qui pourraient améliorer le rendement global de l'algorithme. Les commentaires d'experts sont également essentiels lorsque les évaluations rapides de la PSS sont utilisées dans des processus plus formels comme les évaluations de l'état du PRL, les activités de priorisation, les rapports sur l'état du saumon, les évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques, etc. Les évaluations rapides de la PSS peuvent constituer le fondement des évaluations de l'état des stocks requises pour ces processus plus formels. À l'instar des processus d'évaluation de l'état des stocks intégrés antérieurs de la PSS, des commentaires d'experts peuvent être fournis de façon structurée dans ces processus, afin de peaufiner les évaluations rapides de la PSS tout en veillant à ce qu'elles demeurent cohérentes et comparables.

Aperçu de l'analyse

La méthode d'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS a évolué par rapport aux méthodes précédemment élaborées et examinées par les pairs (Holt 2009; Holt *et al.* 2009; Grant *et al.* 2011, 2020; Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016). Les détails des analyses sont fournis dans deux rapports techniques connexes (Pestal *et al.* 2023, Pestal *et al.* en prép.¹). Pour élaborer l'algorithme d'évaluation rapide de la PSS qui se rapproche de la méthode détaillée d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS, nous avons suivi les 11 étapes suivantes (détails fournis dans Pestal *et al.* 2023).

1. Compilation de l'ensemble de données d'apprentissage. Cela inclut les paramètres clés, les états des paramètres correspondants et les états intégrés de la PSS (considérés comme les états « réels ») pour les UC tirés des quatre dernières évaluations intégrées de l'état selon la PSS (Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016; Grant *et al.* 2020).
2. Définition de six critères de rendement pour orienter la construction, l'évaluation et la sélection des algorithmes candidats. L'évaluation du rendement des algorithmes comprenait une évaluation quantitative des erreurs et des considérations qualitatives par rapport à ces critères.
3. Adaptation des modèles de l'arbre de classification et de régression (CART) à l'ensemble de données d'apprentissage, ce qui comprend les valeurs des paramètres ou les états et les états intégrés selon la PSS correspondants (états « réels ») dérivés des évaluations selon l'approche intégrée en vertu de la PSS existantes. Les arbres ont été ajustés en utilisant diverses combinaisons de facteurs prédictifs (valeurs des paramètres et états de ces paramètres) et de variables de réponse (état de l'UC), de sous-ensembles de données et de réglage de l'ajustement du modèle (par exemple, pénalité de complexité, pondération de l'erreur).
4. Sélection des algorithmes CART candidats (« algorithmes ajustés ») pour couvrir la gamme d'arbres possibles à partir des données et des réglages disponibles, de très simples à très complexes.
5. Examen des descriptions fournies par les experts pour les désignations de l'état intégré de l'UC selon la PSS, afin d'extraire la justification commune de ces désignations dans l'ensemble des UC. Ces descriptions sont reproduites à l'annexe B dans Pestal *et al.* 2023 à partir de rapports publiés pour le saumon rouge du Fraser (Grant and Pestal 2013; Grant *et al.* 2020) et de rapports inédits pour le saumon coho de l'intérieur du Fraser² et le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique³.
6. Développement d'algorithmes sur mesure (« algorithmes construits ») en combinant les branches d'algorithmes dérivées du CART à l'étape 4, avec la justification commune des processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS à l'étape 5.

¹ Pestal, G., MacDonald, B.L., Grant, S.C.H., and Carr-Harris, C. State of the Salmon: Application of the Wild Salmon Policy rapid status approach to Fraser, Skeena, and Nass sockeye, Fraser pink and chum, Interior Fraser Coho, and southern BC Chinook salmon, for spawner abundances up to 2022. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. En préparation.

² Parken, C. 2014. Wild Salmon Policy Biological Status Assessment for Conservation Units of Interior Fraser River Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Document de travail non publié du CASP 2013SAL12.

³ Brown, G., Holt, C., Thiess, M., and Pestal, G. 2014. Integrated Biological Status Assessments under the Wild Salmon Policy Using Standardized Metrics and Expert Judgment: Southern British Columbia.

7. Mise en œuvre des algorithmes candidats en langage R pour estimer les états rapides de la PSS à l'aide des paramètres existants d'évaluation de l'état de la PSS (*ensemble de données d'apprentissage*).
8. Évaluation du rendement de l'algorithme selon les critères définis à l'étape 2.
9. Compilation des ensembles de données hors échantillon pour les années et les UC qui n'ont pas fait l'objet d'évaluations intégrées de l'état en vertu de la PSS (voir la section suivante sur les données pour l'ajout de nouvelles données pour les tests hors échantillon). Réalisation d'essais hors échantillon.
10. Examen des résultats avec des experts en évaluation des stocks de saumon.
11. Réalisation de tests de sensibilité (avec et sans utilisation de paramètres d'abondance relative).

Les étapes 3 et 4 ci-dessus ont été répétées dans le cadre d'un processus de collaboration itératif, les auteurs de Pestal *et al.* 2023 ayant exploré l'effet d'autres réglages CART et identifié une liste restreinte d'algorithmes CART candidats.

Les étapes 5 à 10 ci-dessus ont également été répétées au moyen d'un processus itératif. Les algorithmes construits ont été développés et affinés en évaluant les rendements et en examinant la documentation des ateliers sur l'état afin d'identifier les composantes manquantes et de cerner des considérations particulières.

Données

Ensemble de données d'apprentissage

La première phase du développement d'algorithmes a consisté à créer un ensemble de données d'apprentissage. Le but de l'ensemble de données d'apprentissage était d'appuyer l'élaboration et l'évaluation des algorithmes candidats.

L'ensemble de données d'apprentissage pour cette analyse comprend les valeurs exactes des paramètres de la PSS, les états des paramètres et les états intégrés de la PSS correspondants des quatre évaluations selon l'approche intégrée de la PSS qui ont été complétées. Cela comprenait deux évaluations pour le saumon rouge du Fraser (Grant et Pestal 2013; Grant *et al.* 2020), une pour le saumon coho de l'intérieur du Fraser² (MPO, 2015) et le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique³ (MPO, 2016; Brown *et al.* 2019). Ces évaluations ont porté sur 47 UC, ou 65 cas, de ces trois groupes d'espèces (voir la section 2.2.1.1 dans Pestal *et al.* 2023 pour plus de détails). Les processus d'évaluation de l'état des stocks intégrée de la PSS reposaient sur des années de travail consacrées à la sélection et au traitement des données et à la détermination des paramètres, des points de référence et des spécifications pertinentes (comme la durée moyenne de production) nécessaires pour évaluer l'état selon la PSS. Les processus reposaient également sur les ateliers et l'examen par les pairs du SCAS pour finaliser les données, les paramètres, l'interprétation des paramètres et les affectations de l'état.

Les valeurs des paramètres utilisés dans les évaluations intégrées de l'état du PSS terminées ont dû être transformées pour les entrées de l'algorithme, parce que l'ajustement de l'algorithme exige qu'une seule valeur et un seul état soient identifiés pour chacun des quatre paramètres utilisés pour faire l'évaluation rapide (voir la section 2.2.4.1 dans Pestal *et al.* 2023 pour plus de détails).

Ensemble de données hors échantillon

Un ensemble de données hors échantillon a également été conçu pour appuyer l'évaluation des algorithmes candidats pendant les années sans évaluation intégrée de l'état en vertu de la PSS.

Cet ensemble de données a également été utilisé pour l'algorithme sélectionné dans le cas des UC pour lesquelles il n'existe pas d'évaluation intégrée de l'état.

Pour chaque groupe de nouvelles UC, comme celles utilisées pour le test hors échantillon, et lorsque nous avons ajouté de nouvelles données annuelles pour les UC déjà évaluées, nous avons travaillé avec les experts de l'évaluation des stocks de l'UC pour attribuer et évaluer les états. La vérification des données en collaboration avec les experts de l'UC est le deuxième principe de base des évaluations rapides de la PSS. Pour chaque UC, l'élaboration initiale d'un ensemble de données d'évaluation rapide de la PSS exige que les experts de l'évaluation des stocks de l'UC du MPO travaillent en collaboration avec leurs équipes du MPO, les groupes autochtones, les consultants, les organisations non gouvernementales (ONG) et d'autres qui appuient, dirigent ou collaborent à des programmes d'évaluation des stocks de saumon. Grâce au processus de vérification, nous éliminons les ensembles de données ou les paramètres qui ne produiraient pas de résultats fiables sur l'état. Cela permet également de s'assurer que la sélection et le traitement des données sont normalisés.

Nous avons suivi les étapes suivantes pour développer des ensembles de données pour les nouvelles années et les UC n'ayant pas fait l'objet d'une évaluation intégrée de l'état dans le cadre de la PSS (comme décrit dans Pestal *et al.* 2023) :

1. Examiner la liste des UC afin d'identifier et de documenter tout changement par rapport à la dernière version publiée.
2. Examiner les données au niveau de l'UC, documenter tout changement majeur par rapport à la dernière version publiée et calculer les paramètres d'état.
3. Examiner une série de spécifications d'entrée qui identifient les données applicables, le traitement des données et les paramètres d'état de la PSS appropriés pour l'UC. Il s'agit notamment de sélectionner les sites de dénombrement des échappées de géniteurs qui sont appropriés pour les évaluations de l'état, les années de début des données qui garantiront des séries chronologiques d'échappées cohérentes, les traitements appropriés pour combler les lacunes et lisser les données si nécessaire, les points de référence de l'abondance relative appropriés s'ils sont disponibles et applicables, etc.
4. Appliquer l'algorithme d'évaluation rapide de la PSS avec une gamme de spécifications d'entrée, comme recommandé par les experts de l'UC, et examiner les évaluations rapides préliminaires.
5. Répéter les étapes 3–4 jusqu'à ce que les experts en évaluation des stocks s'accordent sur le fait que les états rapides générés par les algorithmes sont raisonnables.

Pestal *et al.* (en prép.¹) documente les données et les détails des spécifications pour chaque groupe d'UC inclus dans les études de cas. Nous dressons ici une brève liste des principaux changements apportés à la liste des UC ou aux étapes du traitement des données qui feraient que les données utilisées pour cette évaluation s'écarteraient des versions publiées précédemment :

- Saumon rouge du Fraser : aucun changement n'est apporté à la liste des UC. Aucun changement dans le traitement des données pour 23 des 24 UC depuis la dernière évaluation intégrée. Les données de 2016–2019 ont été ajoutées au moyen de méthodes de traitement des données cohérentes (Grant *et al.* 2020). La seule exception est Cultus-L, qui est passé de l'état *rouge* antérieur à un état « données insuffisantes ». Ce changement est dû à des questions non résolues sur la façon d'interpréter les données pour les dernières années affectées par le programme d'élevage de géniteurs en captivité (mise en valeur par des poissons d'écloserie).

Région du Pacifique

- Saumon coho de l'intérieur du fleuve Fraser : aucun changement dans la liste des UC et le traitement des données depuis la dernière évaluation intégrée² (MPO 2015), seulement des années supplémentaires de données.
- Saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique (SBC) : aucun changement n'est apporté à la liste des UC. Pour la plupart des UC, le traitement des données était conforme au dernier rapport publié (Brown *et al.* 2019), en utilisant les bases d'un rapport de données non publié³. Des changements ont été apportés pour plusieurs UC :
 - Le traitement des données pour les trois UC de la côte ouest de l'île de Vancouver (IVCC) a été révisé pour en assurer la cohérence avec une étude de cas récente examinée par le SCAS (Holt *et al.* 2023b) et révisée davantage en fonction des directives des experts de ces UC. Plus précisément, l'ensemble des sites indicateurs utilisés pour construire la série chronologique au niveau des UC a été révisé sur la base de nouvelles informations (Proportionate Natural Influence (PNI), Withler *et al.* 2018) sur la contribution des écloséries. Cette révision basée sur l'INP des séries chronologiques au niveau des UC est potentiellement applicable à de nombreuses autres UC de saumon chinook de la SBC pour lesquelles les données sont insuffisantes actuellement en raison de la cote d'amélioration des sites indicateurs, et pourrait considérablement élargir la couverture de l'évaluation rapide de l'état des stocks (par exemple, la côte sud intérieure).
 - De nouvelles données ont été fournies par le personnel de l'intérieur de la Colombie-Britannique pour le saumon chinook de l'Okanagan, en utilisant les estimations sur les géniteurs d'origine naturelle élaborées par l'Okanagan Nation Alliance.
- Saumon rose du Fraser : aucun changement apporté à la liste des UC. Données fournies par le MPO (M. Townsend et J.A. Tadey, MPO).
- Saumon kéta du Fraser : aucun changement apporté à la liste des UC. Données fournies par le MPO (M. Townsend et J.A. Tadey, MPO).
- Saumon rouge de la Skeena et de la Nass : les données au niveau des stocks ont récemment été examinées par des pairs Pestal *et al.* (en prép⁴). Les stocks correspondent principalement aux UC de PSS. Pour les cas où les données au niveau du stock combinent plusieurs UC, principalement des groupes de deux ou trois petits lacs, les données au niveau de l'UC ont été élaborées en attribuant la série chronologique disponible pour la plus grande UC et en évaluant les petites UC comme disposant de données insuffisantes. Ceci est cohérent avec la façon dont le même problème de données a été traité pour les séries chronologiques combinées Chilko-S/Chilko-ES dans les évaluations de l'état du saumon rouge du Fraser. Pour le lac Babine, les trois UC identifiées par Holtby et Ciruna (2007) ont été révisées pour devenir des UC basées sur le temps (précoce, moyen, tardif). Les lacs Pinkut et Fulton ont été exclus des ensembles de données de l'évaluation rapide de l'état des stocks de la PSS parce que la majorité de la production de saumon rouge provient de chenaux de frai à grande échelle activement gérés.

⁴ Pestal, G.P., Carr-Harris, C., Cox-Rogers, S., English, K., Alexander, R., and the Skeena Nass Sockeye Technical Working Group. 2023. Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) from the Skeena and Nass Basins, British Columbia: Population Structure and Spawner-Recruit Data. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. En préparation.

Paramètres de la PSS

L'approche d'évaluation rapide de la PSS utilise deux paramètres d'abondance (abondance relative et abondance absolue) et deux paramètres de tendance d'abondance (tendance à long terme et variation en pourcentage). Des points de référence propres à chaque paramètre des évaluations selon l'approche intégrée de la PSS antérieures ont été utilisés pour délimiter les zones d'état *rouge*, *ambre* et *vert* de chaque paramètre.

Les quatre paramètres (abondance relative, abondance absolue, tendance à long terme et variation en pourcentage) intègrent une estimation de la moyenne générationnelle de l'abondance des géniteurs dans leur calcul. Toutefois, ce calcul a été effectué différemment pour différents groupes d'UC. La moyenne générationnelle est calculée comme la moyenne géométrique sur le nombre d'années correspondant à la classe d'âge la plus courante (par exemple, quatre ans pour la plupart des saumons rouges du Fraser). Pour les UC de saumon rouge du Fraser, les séries chronologiques des reproducteurs ont été lissées avant le calcul des moyennes générationnelles, tandis que pour le saumon coho de l'intérieur du Fraser et le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique, les moyennes générationnelles ont été calculées à l'aide de séries chronologiques non lissées, en partie en raison des proportions élevées de données manquantes qui ont rendu le lissage générationnel peu fiable.

Voici de plus amples renseignements sur les paramètres :

- **Abondance relative** : ce paramètre compare la moyenne générationnelle actuelle de l'abondance des géniteurs d'une UC (moyenne géométrique) aux points de référence supérieurs et inférieurs. Dans le cadre du processus d'algorithme d'évaluation rapide de la PSS, les valeurs du paramètre d'abondance relative sont calculées comme deux proportions (abondance moyenne générationnelle actuelle/point de référence inférieur ; abondance moyenne générationnelle actuelle/point de référence supérieur). Les points de référence sont estimés à l'aide a) des modèles de recrutement des stocks (Holt *et al.* 2009; Grant *et al.* 2011; Grant et Pestal 2013), b) des modèles de capacité de l'habitat en eau douce (Parken *et al.* 2006; Grant *et al.* 2011, 2020; Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016), ou c) des centiles de la série chronologique de l'abondance des géniteurs (Holt *et al.* 2018). Ces points de référence sont propres à chaque UC. Dans toutes les approches, le paramètre de l'abondance relative n'est appliqué que lorsque les experts de l'UC confirment son applicabilité aux données existantes de l'UC et fournissent des points de référence qu'ils jugent appropriés.
- Des points de référence fondés sur le recrutement de stocks sont recommandés pour les UC ayant des données applicables sur le recrutement de stocks. Avec cette méthode, le point de référence le plus bas est G_{gen} , l'échappée qui entraînerait un rétablissement à G_{RMD} en une génération, et le point de référence le plus élevé est 80 % de G_{RMD} . G_{RMD} représente l'abondance des géniteurs à rendement maximal durable (Holt 2009, 2010; Holt *et al.* 2009). Lorsque ces points de référence ont été utilisés pour les UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique, le point de référence supérieur était de 85 % de G_{RMD} pour s'aligner sur le processus du Traité sur le saumon du Pacifique (TSP).
- Lorsque les données sur le recrutement des stocks ne sont pas disponibles, des points de référence dérivés de la capacité d'habitat en eau douce d'une UC ont été utilisés pour le paramètre de l'abondance relative. Les points de référence pour une UC de saumon rouge du Fraser (Chilliwack-ES) étaient fondés sur la capacité du lac d'élevage utilisé pendant le stade juvénile en eau douce (Holt *et al.* 2009; Grant *et al.* 2011). Pour les UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique, les points de référence sur la capacité d'habitat ont été fondés sur le bassin hydrographique de l'UC (Parken *et al.* 2006) en utilisant G_{gen} .

(point de référence inférieur) et 85 % de G_{RMD} (point de référence supérieur), afin de s'aligner sur les points de référence du TSP. Cependant, le consensus des experts lors de l'atelier sur l'état intégré de la PSS était de ne pas utiliser ces points de référence pour les UC pour lesquelles seuls des indices relatifs d'abondance étaient disponibles, ce qui inclut la plupart des UC de saumon chinook du sud de la C.-B. (MPO 2015). Des travaux récents ont permis de déterminer des points de référence biologiques fondés sur l'habitat pour les UC de saumon chinook de la COIV en fonction de la capacité d'habitat pour les sites inclus dans l'indice d'abondance (Holt *et al.* 2023b), et ceux-ci ont été intégrés dans les ensembles de données hors échantillon : la rétrospective pour les UC pour lesquelles des évaluations de l'état des stocks intégrées de la PSS antérieures ont été effectuées (Pestal *et al.* 2023) et pour les UC sans évaluation antérieure (Pestal *et al.* en prép.¹).

- Les points de référence en centile n'ont pas été utilisés dans les processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS (ensemble de données d'apprentissage), et n'ont pas été fournis par des experts pour les nouvelles UC dans l'ensemble de données hors échantillon.
- **Abondance absolue** : ce paramètre compare l'échappée moyenne de la génération la plus récente (moyenne géométrique) au critère D1 du COSEPAC et à une partie du critère C, qui sont utilisés pour définir les « espèces menacées » (COSEPAC 2021). Le point de référence le plus bas est fixé à 1 000 afin de correspondre au critère D1, et le point de référence le plus élevé est fixé à 10 000, qui est utilisé en combinaison avec d'autres paramètres de l'abondance selon le critère C (COSEPAC 2021). À l'instar du paramètre de l'abondance relative, les valeurs de ce paramètre sont calculées en deux proportions (abondance moyenne générationnelle actuelle/point de référence inférieur; abondance moyenne générationnelle actuelle/point de référence supérieur).
- Les points de référence absolus de l'abondance sont fondés sur les principes fondamentaux de l'écologie de la population et de la conservation. La valeur 1000 est un seuil critique de la biologie de la conservation (National Research Council (US) Committee on Scientific Issues in the *Endangered Species Act* 1998; McElhany *et al.* 2000). Une population de moins de 1 000 sujets est plus à risque en raison de la stochasticité démographique, comme le fait que, au hasard, une année donnée, elle produit surtout des hommes ou des femmes. Elles sont également plus exposées aux changements environnementaux et aux événements catastrophiques, courent un plus grand risque d'accumuler des mutations génétiques délétères et ont un faible potentiel d'évolution pour s'adapter aux changements environnementaux.
- La valeur de 10 000 est une limite supérieure de la taille de la population, particulièrement à risque en raison des variations et des catastrophes environnementales. À titre d'exemple, les tailles de population supérieures à 10 000 sont protégées contre les variations environnementales modérées à élevées (National Research Council (US) Committee on Scientific Issues in the *Endangered Species Act* 1998; McElhany *et al.* 2000). Actuellement, les conditions environnementales se détériorent de plus en plus dans les habitats du saumon en raison des changements climatiques, avec davantage d'événements extrêmes comme les inondations, les sécheresses, les incendies et les vagues de chaleur (Bush et Lemmen 2019; Cheung *et al.* 2021; IPCC 2022; Cheng *et al.* 2023). Ces événements peuvent également se produire simultanément, ce qui aggrave leurs répercussions sur les espèces sauvages.
- Pour ces raisons, l'UICN et le COSEPAC incluent des critères relatifs à la petite taille des populations pour tenir compte du risque accru d'extinction dans leur processus d'évaluation de la situation (COSEPAC 2021; UICN 2022). Les espèces sauvages évaluées par ces

organisations peuvent être classées perpétuellement dans les catégories « menacées » ou « en péril » si les populations sont petites. La science de la conservation montre qu'il existe un risque d'extinction plus élevé pour ces petites populations, qu'elles soient restées stables à faible abondance ou non pendant plusieurs générations.

- Les experts ont utilisé 1 000 comme point de référence dans le cadre des évaluations intégrées de l'état des stocks de la PSS antérieures, en combinaison avec d'autres paramètres et des renseignements supplémentaires, pour déterminer l'état de l'UC, comme l'indiquent les descriptions pour le saumon rouge du Fraser, le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et le saumon coho de l'intérieur du Fraser (voir l'annexe B dans Pestal *et al.* 2023 pour les textes repris des publications du SCAS).
- **Tendance à long terme de l'abondance** : ce paramètre compare le rapport entre la moyenne générationnelle actuelle (moyenne géométrique) de l'abondance des géniteurs et la moyenne à long terme (moyenne géométrique). Les points de référence inférieurs et supérieurs pour ce paramètre sont de 50 % et de 75 %, respectivement.
- **Variation en pourcentage (tendance à court terme de l'abondance)** : ce paramètre quantifie le changement linéaire de l'abondance totale des géniteurs (ou des géniteurs femelles efficaces pour les UC de saumon rouge du Fraser) au cours des trois dernières générations. Les points de référence inférieurs et supérieurs pour ce paramètre sont respectivement de -25 % et de -15 %.
- Pour calculer le paramètre de la variation en pourcentage, toutes les séries chronologiques de l'abondance des reproducteurs de l'UC ont subi une transformation logarithmique. Pour la plupart des UC, la série chronologique a également été lissée à l'aide d'une moyenne générationnelle courante (saumon rouge du Fraser, saumon kéta du Fraser, saumon rose du Fraser, coho du Fraser intérieur et saumon rouge de la Skeena-Nass). Cependant, pour le coho du Fraser intérieur et le chinook du sud de la C.-B., aucun lissage n'a été effectué, en partie à cause des proportions élevées de données manquantes qui rendent le lissage générationnel peu fiable.

Algorithmes adaptés à l'aide des analyses CART

Les analyses CART ont constitué un point de départ utile pour la construction d'algorithmes (section 2.4.2 dans Pestal *et al.* 2023). Trois algorithmes ont été développés à l'aide des analyses CART : *Minimaliste* (tableau 2; annexe D.1 dans Pestal *et al.* 2023), *Raffiné* (tableau 2; annexe D.2 dans Pestal *et al.* 2023) et *Réaliste catégorique* (tableau 2; annexe D.3 dans Pestal *et al.* 2023).

En bref, l'analyse CART recherche un scindage binaire dans les données ou les cas disponibles, qui utilise un critère pour diviser le groupe de cas initial en deux groupes de cas plus petits. Des branches d'arbre sont ajoutées au fur et à mesure que ces nouveaux groupes sont scindés en groupes encore plus petits.

Ce qui détermine le « meilleur » regroupement de cas dépend des taux d'erreur (c'est-à-dire du nombre de classifications incorrectes), du type d'erreur (par exemple, les faux positifs par rapport aux faux négatifs dans un arbre de classification utilisé pour le dépistage d'une condition médicale) et de la complexité de l'arbre (c'est-à-dire le nombre de branches sur l'arbre). Avec le CART, l'étape d'ajustement permet d'équilibrer le nombre de branches (complexité) par rapport à l'ampleur et au type des erreurs de classification.

Nous avons utilisé le package R « rpart » (Therneau et Atkinson 2023) pour ajuster les arbres de classification à notre ensemble de données d'apprentissage de 65 évaluations de l'état des

stocks achevées de la PSS, en utilisant les paramètres comme variables prédictives et les états intégrés de la PSS comme variables de réponse. Rpart utilise la validation croisée pour estimer l'erreur entre les variables prédictives et les variables de réponse. Nous avons exploré d'autres arbres ajustés en travaillant sur des variations de variables de réponse, de variables prédictives, d'ajustements de modèles et de sous-ensembles de données (section 2.4.2 dans Pestal *et al.* 2023). Lorsqu'on utilise des valeurs des mesures comme variables prédictives, l'analyse CART trouve des valeurs seuils pour créer des scindages binaires dans les données. Ces seuils ne correspondent pas aux points de référence du PSS dans tous les cas (voir ci-dessous).

Algorithmes construits

En utilisant les algorithmes ajustés par CART comme base de référence, nous avons construit des algorithmes (Section 2.4.3 dans Pestal *et al.* 2023) afin de les aligner plus étroitement sur les six critères de rendement (section suivante). Nous avons commencé par la construction de deux algorithmes candidats pour une évaluation détaillée du rendement, l'un très simple : *Simplement rouge* (tableau 2; annexe D.4 dans Pestal *et al.* 2023), et l'autre plus complexe : *Arbre d'apprentissage 1* (tableau 2; annexe D.5 dans Pestal *et al.* 2023). Par la suite, l'algorithme complexe a subi deux autres étapes d'évolution, produisant le *Arbre d'apprentissage 2* (tableau 2; annexe D.6 dans Pestal *et al.* 2023) et le *Arbre d'apprentissage 3* (tableau 2; annexe D.7 dans Pestal *et al.* 2023).

L'évolution de l'arbre d'apprentissage de la première à la troisième version illustre l'approche adaptative que nous proposons pour la mise en œuvre future de cet algorithme. Nous avons construit la famille d'algorithmes de l'arbre d'apprentissage en utilisant les nœuds de décision trouvés dans les arbres ajustés par CART, et nous les avons intégrés à la justification commune extraite des évaluations intégrées de l'état des stocks existantes de la PSS (Annexe B dans Pestal *et al.* 2023). Le développement des algorithmes *Arbre d'apprentissage* a été très itératif. Au fur et à mesure de l'évolution de chaque branche, cet algorithme a été évalué en fonction de sa justification biologique et de sa cohérence avec les processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS, et les taux d'erreur ont été étudiés.

Les seuils des mesures de l'algorithme *Arbre d'apprentissage* ont été basés sur ceux déterminés par les analyses CART, bien que certains aient été légèrement ajustés pour mieux s'aligner sur les données et la justification commune des évaluations intégrées de l'état des stocks de la PSS. Dans certains cas, ces seuils diffèrent des points de références des mesures de la PSS, en particulier lorsqu'ils sont appliqués en séquence avec plusieurs autres mesures :

- *Abondance absolue* : le seuil le plus bas équivaut au point de référence le plus bas du PSS plus 50 %; plus précisément, il s'agit d'une zone tampon de 500 sur la mesure du point de référence 1000 du COSEPAC, ce qui porte le seuil à 1 500. Cela correspond à la façon dont les experts des précédents processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS ont pris en compte l'incertitude des données, et à la façon dont les experts ont comparé chacune des quatre à douze dernières années au critère D1 (petite taille de la population) du COSEPAC, soit le seuil de 1 000. Étant donné que l'algorithme compare la moyenne générationnelle actuelle (et non des années individuelles) de l'abondance des géniteurs d'une UC au seuil du COSEPAC, l'application d'une marge tampon au point de référence pour cette mesure est conforme à l'approche de précaution adoptée par les experts lors de l'examen de cette mesure.
- *Abondance relative* : le seuil supérieur est égal au point de référence supérieur de la PSS plus 10 % ; cette marge a été incluse pour tenir compte de la manière dont cette mesure a été traitée dans les processus d'évaluation intégrée de la PSS. Dans l'algorithme *Arbre*

d'apprentissage 3, le seuil inférieur d'abondance relative est égal au point de référence inférieur de la PSS.

- *Tendance à long terme* : le seuil inférieur est de 79 %, tandis que le seuil inférieur de la PSS est de 50 %; le seuil supérieur est de 233 %, tandis que le seuil supérieur de la PSS est de 75 %. Les seuils de *tendance à long terme* appliqués à l'algorithme *Arbre d'apprentissage 3* ont émergé des analyses CART. Ces seuils sont appliqués par l'algorithme en combinaison avec des renseignements supplémentaires, à savoir la mesure de l'abondance absolue, le cas échéant. Le seuil supérieur (233 %) n'est appliqué qu'en même temps que la mesure de la *variation en pourcentage* et est conditionnel à cette valeur.
- *Variation en pourcentage* : le seuil inférieur est de -70 %, tandis que le point de référence inférieur est de -25 %. L'algorithme *Arbre d'apprentissage 3* applique un seul seuil au paramètre *variation en pourcentage*, -70 %. Ce seuil est ressorti des analyses CART, avec quelques ajustements mineurs pour mieux s'aligner sur les données et la justification commune utilisées dans les processus d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS (voir les sections suivantes). L'application du paramètre *variation en pourcentage* par l'algorithme *Arbre d'apprentissage 3* est conditionnelle. C'est-à-dire qu'il est appliqué si le paramètre *tendance à long terme* a une valeur supérieure à 79 %, et si la valeur du paramètre *abondance absolue* (quand il est disponible) est supérieure à son point de référence supérieur (équivalent à une moyenne générationnelle de 10 000 géniteurs).

Critères de rendement

Nous avons évalué et modifié de manière itérative les algorithmes candidats en fonction de leur rendement par rapport à un ensemble de critères prédéterminés. Pour certains algorithmes, cela a été fait en modifiant les paramètres d'ajustement du CART. Pour d'autres algorithmes, nous avons activement révisé ou réorganisé les nœuds de décision (section 2.4 dans Pestal *et al.* 2023). Les critères utilisés pour guider la construction et l'évaluation des algorithmes candidats étaient les suivants :

1. Les algorithmes devraient avoir des taux d'erreur relativement faibles lorsqu'on compare les évaluations rapides de la PSS aux états intégrés, ces derniers étant censés être des états « réels ».
2. Les erreurs des algorithmes devraient être prudentes, ce qui signifie que les états rapides estimés de la PSS devraient être plus faibles, indiquant un risque plus élevé de disparition, par rapport aux états intégrés « réels » de la PSS. Par exemple, si un état intégré « réel » est *ambre*, une erreur d'état devrait être plus susceptible d'être *rouge* plutôt que *vert*.
3. Les algorithmes doivent être largement applicables à l'ensemble des UC ayant des types de données et des mesures de disponibilité différents.
4. Les algorithmes qui estiment l'évaluation selon l'approche rapide de la PSS pour trois zones d'état principales, *rouge*, *ambre* et *vert* sont préférables.
5. Les algorithmes devraient refléter les seuils qui se sont avérés être ceux qui distinguent les états dans l'évaluation intégrée de l'état de la PSS. Ceux-ci ont tendance à être équivalents ou plus prudents sur le plan biologique que les points de référence de la PSS mentionnés dans Holt *et al.* (2009).
6. Les décisions relatives aux algorithmes devraient respecter la logique appliquée dans les évaluations intégrées de l'état des stocks de la PSS. Cela comprend la justification commune suivante appliquée dans les processus détaillés d'évaluation intégrée de l'état des stocks de la PSS. Les descriptions des processus antérieurs sont reproduites à

l'annexe B dans Pestal *et al.* (2023). Les publications originales sont publiées par l'entremise du SCAS pour le saumon rouge du Fraser (Grant et Pestal 2013; Grant *et al.* 2020) et non publiées pour le saumon coho de l'intérieur du fleuve Fraser² et le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique³.

Le rendement des algorithmes selon les critères 1, 2 et 3 peut être quantifié à l'aide des taux d'erreur, des mesures du biais (en particulier la surestimation) et des taux d'achèvement, respectivement. Le taux d'achèvement est la proportion des 65 cas de l'*ensemble de données d'apprentissage* pour lesquels un état rapide pourrait être attribué. Ces mesures quantitatives du rendement ont été calculées par espèce pour toutes les UC.

Le rendement par rapport au critère 4 peut être facilement évalué en vérifiant que les trois zones simples d'état intégré de la PSS (*rouge, ambre et vert*) sont incluses en tant que branches de l'algorithme.

Le rendement par rapport aux autres critères, 5 et 6, est subjectif et a été évalué par des experts.

Mesures de rendement quantitatives

Pour les 65 cas de l'*ensemble de données d'apprentissage*, nous avons comparé les états rapides de la PSS générés par chacun des algorithmes candidats aux états intégrés existants de la PSS (considérés comme des états « réels »).

Nous avons utilisé l'*ensemble de données d'apprentissage* pour évaluer le rendement à l'aide des six critères ci-dessus. En raison de la petite taille de l'échantillon, nous n'avons pas utilisé d'approches de validation croisée qui divisent les données en *ensembles de données d'apprentissage* et *d'essai*, comme c'est souvent le cas pour les modèles de prévision (voir MacDonald et Grant 2012). La validation croisée est généralement recommandée pour minimiser le risque de surajustement des modèles aux idiosyncrasies des données utilisées ; cela a pour but de minimiser les attentes trop optimistes sur la façon dont les modèles fonctionneront avec de nouveaux ensembles de données (Picard et Cook 1984). Cependant, l'*ensemble de données d'apprentissage* comportait un échantillon relativement petit, ce qui rendait la validation croisée inappropriée (Picard et Cook 1984).

Au lieu de cela, nous avons appliqué les méthodes suivantes pour éviter que les algorithmes candidats ne soient trop adaptés aux UC et aux années de l'*ensemble de données d'apprentissage*, et pour garantir que les algorithmes soient largement applicables à toutes les UC de la C.-B. et du Yukon :

- Nous avons élaboré des critères de rendement pour guider la construction, l'évaluation et la sélection des algorithmes candidats (voir la section précédente). Si nous nous étions fiés exclusivement au rendement du modèle déterminé par une validation croisée, cela aurait augmenté le risque de sélectionner un algorithme qui est « surajusté » à l'*ensemble de données d'apprentissage*.
- Le développement d'algorithmes comprenait des algorithmes générés selon le modèle ajusté/adapté et le modèle construit :
 - Trois algorithmes adaptés ont été développés à l'aide des analyses CART (section 2.4.2 dans Pestal *et al.* 2023), qui utilise la validation croisée pour déterminer les taux et les types d'erreurs. Avec ces analyses, l'ajustement de l'algorithme est déterminé en équilibrant les taux et les types d'erreurs, ainsi que la complexité de l'arborescence. Différents algorithmes ajustés ont été développés en modifiant le paramètre de complexité de faible à élevé, et en modifiant l'utilisation de valeurs des paramètres ou

des états. L'analyse CART a été effectuée à l'aide du package R « rpart » (Therneau et Atkinson 2023).

- Quatre algorithmes construits (section 2.4.3 dans Pestal *et al.* 2023) ont été développés en utilisant les algorithmes CART comme référence. Ces algorithmes ont été conçus pour s'harmoniser plus étroitement avec les critères de rendement et intégrer la justification commune extraite des évaluations de l'état des stocks intégrés existants de la PSS. La prise en compte d'une logique commune applicable à un large éventail de types de données de l'UC a permis de réduire le risque de surajustement des algorithmes à l'*ensemble de données d'apprentissage*.
- Nous avons effectué un test hors échantillon avec les sept algorithmes candidats pour des années pour lesquelles les évaluations intégrées de l'état de la PSS n'ont pas été faites (Pestal *et al.* 2023). Nous avons également effectué un test hors échantillon pour l'algorithme sélectionné *Arbre d'apprentissage 3* pour les UC qui n'ont pas été utilisées dans l'*ensemble de données sur l'apprentissage* (Pestal *et al.* 2023). Les experts ont vérifié les états dans ces cas pour confirmer l'applicabilité de l'algorithme ou des algorithmes à ces nouveaux ensembles de données.

Pour calculer les erreurs de prédiction, nous avons d'abord converti les états en notes allant de 1 = *vert* à 5 = *rouge* (tableau 1). Nous avons ensuite calculé la différence entre les notes d'états intégrés de la PSS et les scores d'états rapides (c.-à-d. observés-prédits) (section 2.4.4 dans Pestal *et al.* 2023). Une erreur négative signifie que l'algorithme a prédit un état inférieur à celui de l'évaluation selon l'approche intégrée de la PSS. À noter que les algorithmes candidats différaient en termes de résultats possibles (p. ex., si les options *rouge/ambre* et *ambre/vert* sont incluses), et que les notes d'état étaient adaptées en conséquence.

Nous avons utilisé les mesures de rendement quantitatives suivantes pour comparer le rendement des algorithmes pour tous les cas :

- *Nombre et pourcentage de cas corrects* : le nombre total de cas et le pourcentage de cas pour lesquels l'état rapide attribué par l'algorithme correspond à l'évaluation selon l'approche intégrée de la PSS (état « réel »). Cela mesure l'alignement avec le critère 1. À noter que le pourcentage d'exactitude est calculé à partir du nombre de cas pour lesquels une évaluation rapide a été réalisée (voir ci-dessous), et non du nombre total de cas.
- *Nombre et pourcentage de cas surestimés* : nombre total et pourcentage de cas comportant des erreurs positives dans les estimations de l'état; pour lesquels l'état rapide attribué par l'algorithme est meilleur que l'évaluation selon l'approche intégrée de la PSS. Cela mesure l'alignement avec le critère 2. Le pourcentage de surestimation est calculé à partir du nombre de cas pour lesquels une évaluation rapide a été réalisée.
- *Nombre et pourcentage de cas pour lesquels une évaluation rapide a été réalisée* : le nombre et le pourcentage de cas où l'algorithme a pu générer des états rapides. Cela mesure en partie l'harmonisation avec le critère 3 dans la mesure où les différents types de données et la disponibilité des paramètres sont représentés dans l'ensemble de données d'apprentissage.
- *Médiane, moyenne et plage des erreurs de prédiction* : statistiques sommaires qui décrivent la répartition des erreurs de prédiction et indiquent tout biais.

De plus, nous avons croisé les états intégrés de la PSS par rapport aux états rapides de la PSS prédits par un algorithme. La fréquence de chaque type d'erreur possible résultant d'une erreur de classification a été estimée. Par exemple, une UC dont l'état intégré est *vert* et qui est mal classée par l'algorithme comme *ambre* aura la même erreur de +2 qu'une UC *ambre* mal

classée comme *rouge*, mais les répercussions de l'erreur sur le plan biologique sont différentes. Les répercussions pratiques des erreurs ont été évaluées de façon qualitative dans le cadre de discussions avec des experts de l'UC.

Évaluation du rendement de l'algorithme

Le rendement a été comparé entre les algorithmes d'état rapide (quatre ajustés et trois construits) (tableaux 2 et 3; figures 2 et 3). L'algorithme d'état rapide *Arbre d'apprentissage 3* (figure 1; tableau 4) a été choisi comme ayant le meilleur rendement de la série de sept algorithmes candidats (tableaux 2 et 3; figures 2 et 3; section 3.2 dans Pestal *et al.* 2023). Il s'applique à la plus grande proportion d'UC dans l'ensemble de données d'apprentissage (100 % des cas), avec la plus grande exactitude (83 % dans l'ensemble, 84 % pour le saumon rouge du Fraser et 80 % pour le saumon chinook du SBC et le saumon coho de l'intérieur du Fraser). Il respecte également les processus décisionnels qui ont eu lieu dans le cadre des évaluations intégrées de l'état des stocks de la PSS. Étant donné que l'algorithme *Arbre d'apprentissage 3* a le taux d'achèvement le plus élevé pour l'ensemble de données d'apprentissage, il devrait également s'agir de l'algorithme qui s'applique le plus à d'autres espèces et régions (tableau 3).

Arbre d'apprentissage 3 a été conçu pour tenir compte des différences entre le type de données (indice relatif par rapport à l'*abondance absolue*) et de la disponibilité des mesures. Il offre des options de branches selon que certains paramètres sont disponibles ou non pour l'UC. En dehors de l'ensemble de données d'apprentissage, peu d'UC de la région du Pacifique auront des paramètres de l'*abondance absolue* ou *relative*. Il est essentiel de disposer de la souplesse nécessaire pour tenir compte des différents paramètres disponibles afin d'assurer l'applicabilité à un large éventail de types de données dans les UC de la Colombie-Britannique et du Yukon.

Échelle de confiance pour l'algorithme d'état rapide de la PSS *Arbre d'apprentissage 3*

Une plus grande confiance dans l'état est associée à certains paramètres et résultats de l'état. Dans les évaluations intégrées de l'état de la PSS, les états attribués étaient plus uniformes entre les experts dans certains cas que dans d'autres. En particulier, les cas qui comportaient les paramètres *abondance relative* et *abondance absolue* ont été évalués de façon plus uniforme que ceux qui ne comportaient que des paramètres des tendances et des données relatives de l'indice (Pestal *et al.* 2023). Pour appliquer ces paramètres, une UC doit disposer de données de meilleure qualité afin de pouvoir estimer les points de référence, ou estimer la valeur annuelle de ce paramètre pour la comparer à ses points de référence. Par conséquent, nous avons davantage confiance dans les états attribués à l'aide des paramètres de l'*abondance absolue* et *relative* que dans les états attribués à l'aide des paramètres de la *tendance à long terme*.

Le paramètre de la *tendance à long terme* compare la valeur de ce paramètre pour une UC (rapport entre la moyenne générationnelle actuelle de l'abondance des géniteurs et la moyenne à long terme) aux points de référence du paramètre. La valeur de l'UC pour ce paramètre est influencée par la durée de la série chronologique et le degré d'exploitation des pêches qui a eu lieu au début de la série chronologique. Ce paramètre peut également être calculé pour les données de moindre qualité, y compris les indices d'abondance. Pour ces raisons, il a été jugé moins fiable pour l'évaluation de l'état par les experts dans les processus d'évaluation selon l'approche intégrée antérieurs de la PSS.

Pour tenir compte de ces différences de niveau de confiance relevées dans les processus d'évaluation selon l'approche intégrée antérieurs de la PSS, nous avons utilisé les branches de

l'algorithme pour déterminer la confiance dans les états attribués, en fonction de la combinaison de paramètres, les valeurs des paramètres et les types de données qui déterminent chaque nœud d'état. Grâce au jugement d'experts, nous pouvons classer les nœuds finaux en trois zones de confiance : *élevée*, *moyenne* et *faible*, puis évaluer cette répartition en se référant à l'ensemble de données d'apprentissage des UC qui se retrouvent dans chaque zone (section 2.5 dans Pestal *et al.* 2023).

Les cotes de confiance ci-dessous ont été appliquées à chaque nœud terminal de l'algorithme *Arbre d'apprentissage 3* (figure 1) comme suit :

- *Niveau de confiance élevée – rouge* : soit l'*abondance absolue* est disponible et tombe en dessous de 1,5 fois la valeur du point de référence inférieur de ce paramètre (**nœud 3**), **OU** les points de référence de l'*abondance relative* sont disponibles et l'abondance générationnelle moyenne des géniteurs tombe en dessous de la valeur du point de référence inférieur (**nœuds 19 ou 23**).
- *Niveau de confiance élevée – vert* : l'abondance est supérieure au point de référence supérieur du paramètre de l'*abondance absolue*, ou elle ne peut pas être évaluée **ET** les points de référence de l'*abondance relative* sont disponibles et l'abondance moyenne générationnelle des géniteurs est supérieure à 1,1 fois le point de référence supérieur (**nœud 36**).
- *Niveau de confiance élevée – ambre* : l'abondance est supérieure au point de référence supérieur du paramètre de l'*abondance absolue*, ou elle ne peut pas être évaluée; des points de référence de l'*abondance relative* sont disponibles et l'abondance moyenne générationnelle des géniteurs se situe entre le point de référence inférieur et 1,1 fois la valeur du point de référence supérieur (**nœud 37**).
- *Niveau de confiance moyen – rouge* : (1) l'*abondance absolue* se situe entre le point de référence supérieur et 1,5 fois la valeur du point de référence inférieur, et l'état est fondé sur la tendance à long terme (**nœud 21**), ou (2) l'abondance est supérieure au point de référence supérieur du paramètre de l'*abondance absolue*, ou ne peut être évaluée; les paramètres de l'*abondance relative* ne sont pas disponibles, mais l'état peut être évalué en fonction des tendances à long terme seulement (**nœuds 17**) ou des paramètres *variation à long terme* et *en pourcentage* (à court terme) (**nœuds 33**).
- *Niveau de confiance moyen – ambre* : (1) le point de référence de l'*abondance relative* et de l'*abondance absolue* se situe entre le point de référence supérieur et le point de référence inférieur (**nœud 22**), ou (2) les paramètres de l'*abondance relative* ne sont pas disponibles, mais l'*abondance absolue* se situe entre le point de référence supérieur et 1,5 fois la valeur du point de référence inférieur, et est fondée sur la *tendance à long terme* (**nœud 20**).
- *Faible niveau de confiance - ambre* : L'abondance est supérieure au point de référence supérieur du paramètre de l'*abondance absolue*, ou ne peut pas être évaluée à partir de ce paramètre, et les paramètres de l'*abondance relative* ne sont pas disponibles, de sorte que l'état de l'UC est évalué en fonction de la *tendance à long terme* et de la *variation en pourcentage* (**nœud 65**).
- *Faible niveau de confiance - vert* : l'abondance est supérieure au point de référence supérieur du paramètre de l'*abondance absolue*, ou ne peut pas être évaluée à partir de ce paramètre; les paramètres de l'*abondance relative* ne sont pas disponibles; l'état est fondé sur les tendances seulement (*à long terme* et *variation en pourcentage*) (**nœud 64**).

Les états rapides attribués par *Arbre d'apprentissage 3* ont été classés comme *niveau de confiance élevé*, *moyen* ou *faible* pour la plupart des 65 cas de l'ensemble de données

d'apprentissage (section 3.3 dans Pestal *et al.* 2023, tableau 5) Ces notations de confiance ont été comparées aux erreurs entre les états rapides et les états intégrés de la PSS (considérés comme des états « réels »). Étant donné le taux de réussite global élevé de cet algorithme, il n'y a eu que quelques erreurs. Plus précisément, il y a eu cinq cas où l'algorithme a attribué un meilleur état que les états intégrés de la PSS, et ce, avec un niveau de confiance élevé. Ce sont les résultats que nous voudrions minimiser, puisqu'ils sont moins prudents.

Dans les cinq cas, l'écart entre l'état rapide et l'état intégré est faible et peut être facilement expliqué par les renseignements supplémentaires pris en compte dans les délibérations des experts, tel qu'ils sont documentés dans les descriptions de l'état de chaque UC dans les rapports d'évaluation de la PSS (annexe B dans Pestal *et al.* 2023). Dans tous ces cas, *Arbre d'apprentissage 3* génère des états rapides qui correspondent au point de départ des discussions d'état des experts, mais l'algorithme ne peut pas saisir les nuances des renseignements supplémentaires utilisés dans le consensus de l'atelier pour réduire les états d'une demi-catégorie. (c.-à-d. d'*ambre* à *rouge/ambre* ou de *vert* à *ambre/vert*). Sur l'échelle à trois états, ces états de demi-catégorie ont ensuite été simplifiés à l'état inférieur (c.-à-d. que *rouge/ambre* est devenu *rouge*, *ambre/vert* est devenu *ambre*), et par conséquent, ils apparaissent comme une erreur de catégorie complète dans la comparaison.

Test hors échantillon : Application de l'algorithme de l'arbre d'apprentissage aux UC et aux années sans évaluations de l'état réalisées selon l'approche intégrée en vertu de la PSS

Nous avons examiné l'application de l'algorithme d'état rapide de l'*arbre d'apprentissage 3* aux années et aux UC auxquelles un état n'a pas été attribué selon l'approche intégrée de la PSS (tableau 6; Pestal *et al.* en prép¹). L'évaluation a porté sur six études de cas sur le saumon, comptant un total de 105 UC (tableau 6). Sont compris trois groupes de saumon dont l'état n'a jamais été évalué selon l'approche intégrée de la PSS : le saumon rouge des rivières Skeena et Nass, le saumon rose du Fraser et le saumon kéta du Fraser. Sont également compris les trois groupes de saumon dont l'état a déjà été évalué : le saumon rouge du Fraser, le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et le saumon coho du Fraser intérieur. Pour ces trois derniers groupes, l'évaluation de l'état selon l'approche rapide de la PSS s'étend sur plusieurs années sans qu'un état ne soit attribué. Dans le cadre de cette approche, un état *rouge*, *ambre* ou *vert* ainsi qu'un degré de confiance *élevé*, *moyen* ou *faible* ont été attribués aux UC et aux années pour lesquelles il y a suffisamment de données.

En tout, il y avait 69 UC pour lesquelles un état pouvait être attribué selon l'approche rapide de la PSS à au moins une année de données (tableau 6). Il y avait 36 UC pour lesquelles un état n'a pu être attribué selon l'approche rapide de la PSS à une année en raison de données insuffisantes ou d'autres considérations (tableau 6). Des résumés pour chaque UC, qui montrent les tendances de l'abondance des géniteurs, les paramètres et les états obtenus selon l'approche rapide au fil du temps, sont fournis aux annexes A à G dans Pestal *et al.* (en prep.¹). Un exemple d'UC indiquant l'information sommaire est présenté à la figure 4.

Les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS pour le saumon rose du Fraser, le saumon kéta du Fraser et le saumon rouge des rivières Skeena et Nass ont été examinés par des experts des UC à partir de l'évaluation des stocks du MPO (zone du Fraser intérieur et zones de la côte nord). Ces experts ont convenu que les méthodes de collecte et de traitement des données, les calculs des paramètres et les résultats des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS étaient pertinents et justes selon leur connaissance spécialisée des ensembles de données disponibles. Les résultats des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS *hors échantillon* pour le saumon rouge du Fraser, le saumon coho du Fraser intérieur et le saumon

chinook du sud de la Colombie-Britannique ont été générés à l'aide des mêmes méthodes de traitement des données et des mêmes calculs des paramètres examinés et appliqués précédemment dans les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS. Les experts en évaluation des stocks du MPO ont examiné les résultats des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS *hors échantillon* pour ces UC.

Pour le saumon rouge du Fraser, le saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et le saumon coho du Fraser intérieur, l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3* a permis d'attribuer des états selon l'approche rapide aux années précédant et suivant la réalisation des évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS (tableau 7). Ce résultat était prévu, car l'algorithme d'état rapide a été conçu à partir d'évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS réalisées antérieurement pour ces groupes d'UC dans l'*ensemble de données d'apprentissage* (Pestal *et al.* 2023). Ces UC couvraient à la fois les types de données sur l'abondance absolue et sur l'indice relatif et comportaient une étendue de paramètres disponibles.

L'application des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS aux UC de saumon rouge des rivières Skeena et Nass, de saumon rose du Fraser et de saumon kéta du Fraser a fait augmenter le nombre d'UC évaluées précédemment dans le cadre d'évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS, ce nombre passant de 43 à 69 (tableau 6). Ce résultat était prévu puisque l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3* affichait le taux d'achèvement le plus élevé pour l'*ensemble de données d'apprentissage* (Pestal *et al.* 2023), et s'applique à d'autres espèces et zones. De plus, les nouveaux ensembles de données répondaient aux exigences minimales en matière de données pour évaluer l'état selon l'approche rapide de la PSS. La méthode de l'*arbre d'apprentissage 3* a été conçue pour tenir compte des différences au chapitre du type de données et de la disponibilité des paramètres grâce à ses multiples branches possibles. Cette souplesse est essentielle pour assurer l'applicabilité des UC à la fois dans l'*ensemble de données d'apprentissage* et à mesure que l'algorithme est appliqué à d'autres ensembles de données à l'avenir.

Le nombre d'UC pouvant être évaluées a généralement augmenté au fil du temps, et la combinaison relative des états *rouge*, *ambre* et *vert* attribués a changé. Plus précisément, dans l'ensemble des 105 UC dans les six études de cas, le pourcentage d'UC auxquelles un état *rouge* ou *ambre* a été attribué a augmenté au fil du temps et, à l'inverse, le pourcentage d'UC auxquelles un état *vert* a été attribué a diminué (tableau 8; figure 5). La même tendance est observée lorsque seules les UC auxquelles un état pouvait être attribué chaque année sont examinées. Par exemple, le tableau 8 montre ce qui suit :

- Pour 1995, des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS pouvaient être attribués à 36 UC. Sept UC se sont vu attribuer l'état *rouge* (19 % des UC pouvant être évaluées, 7 % de toutes les UC), 14 UC se sont vu attribuer l'état *ambre* (39 % des UC pouvant être évaluées, 13 % de toutes les UC), et 15 UC se sont vu attribuer l'état *vert* (42 % des UC pouvant être évaluées, 14 % de toutes les UC) (tableau 8).
- Pour 2018, l'une des deux années au cours desquelles le plus grand nombre d'UC a pu être évalué (67 UC sur 105 dans les six études de cas), un total de 28 UC se sont vu attribuer un état *rouge* (42 % des UC pouvant être évaluées, 27 % de toutes les UC), 29 UC se sont vu attribuer un état *ambre* (43 % des UC pouvant être évaluées, 27 % de toutes les UC), et 10 UC se sont vu attribuer un état *vert* (15 % des UC pouvant être évaluées, 10 % de toutes les UC) (tableau 8).

Les années non évaluées sont attribuables à des lacunes dans les données, notamment l'absence de relevés et d'évaluations de sites considérés comme « sauvages » de même que des questions non réglées concernant le traitement des données.

Depuis les dernières évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS, les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS indiquent que les états se sont dégradés pour de nombreuses UC (sec. 4.2 de Pestal *et al.* 2023). Plus précisément, les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS pour 11 des 23 UC de saumon rouge du Fraser et pour 4 des 15 UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique pour lesquelles il y a suffisamment de données provenant de sites sauvages pour effectuer une évaluation (sec. 4.2 de Pestal *et al.* 2023) se sont dégradés. Cette situation met en évidence le besoin urgent de réaliser des évaluations de l'état à jour et démontre l'utilité de l'algorithme recommandé.

Analyses de sensibilité

Le test de sensibilité du paramètre d'*abondance relative* a permis de comparer la façon dont les états obtenus selon l'approche rapide changeaient lorsque ce paramètre était inclus ou exclu d'un algorithme candidat (tableau 9). Le paramètre d'*abondance relative* était disponible pour 37 des 65 cas de l'*ensemble de données d'apprentissage*. Les détails sur ce que comportaient les UC incluses dans ce paramètre figurent dans un rapport distinct (voir la section 3.5 dans Pestal *et al.* 2023).

Le taux d'achèvement pour les trois algorithmes de l'*arbre d'apprentissage* pour cette analyse de sensibilité se rapprochait de 100 %. Le passage de l'*arbre d'apprentissage* du niveau 1 au niveau 3 a augmenté la constance de l'algorithme dans les états attribués au moyen du paramètre d'*abondance relative* par rapport à sans paramètre. Les états ont changé lorsque le paramètre d'*abondance relative* a été supprimé pour le nombre de cas suivants : *Arbre d'apprentissage 1* : 17 cas sur 37; *Arbre d'apprentissage 2* : 13 cas sur 37; *Arbre d'apprentissage 3* : 9 cas sur 37 (tableau 9).

L'*arbre d'apprentissage 3* est appliqué de façon plus prudente lorsque le paramètre d'*abondance relative* n'est pas disponible, par rapport à lorsqu'il est disponible, et comparativement à l'*arbre d'apprentissage 1* et à l'*arbre d'apprentissage 2*. Dans la plupart des cas (7 sur 9), l'état attribué selon l'approche rapide avec moins d'information (c.-à-d. sans le paramètre d'*abondance relative*) était inférieur à celui qui l'incluait (tableau 9 : nombre inférieur par une zone d'état : 5; nombre inférieur par deux zones d'état : 2; sur le nombre total ayant changé : 9).

Mesures de précaution

Nous avons choisi d'être prudents à de multiples étapes du processus de l'algorithme d'état rapide afin d'harmoniser cette approche avec l'approche intégrée d'évaluation de l'état en vertu de la PSS, qui fournit des états « réels » des UC. Nous avons pris des mesures de précaution aux fins suivantes :

1. Pour évaluer le rendement de l'algorithme, nous avons déclassé les états obtenus selon l'approche intégrée mixtes de la PSS au niveau le plus bas des deux états (l'état *rouge/ambre* est devenu *rouge*, l'état *ambre/vert* est devenu *ambre*).
2. Dans l'évaluation d'autres algorithmes, nous avons examiné l'orientation des erreurs et avons jugé que les sous-estimations de l'état (p. ex. attribuer un état *rouge* à une UC dont l'état est *ambre*) étaient moins préoccupantes que les surestimations de l'état (p. ex. attribuer un état *vert* à une UC dont l'état est *ambre*). Cela se rapporte au critère 2 de la section précédente sur les critères de rendement).
3. Dans l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3* :

- a. Nous avons inclus un tampon de 500 au-dessus du seuil d'abondance absolue de 1 000 énoncé dans le critère D1 du COSEPAC pour un petit effectif de la population; le seuil pour ce paramètre est fixé à 1 500. L'objectif était de tenir compte de la façon dont ce paramètre était traité par les experts lors des ateliers, où les états des UC étaient déclassés si le seuil d'une année d'une génération chutait en deçà de 1 000, si les estimations étaient jugées incertaines ou si la moyenne générationnelle se rapprochait du seuil de 1 000.
- b. Tout comme le tampon visant le point de référence inférieur du paramètre d'*abondance absolue* (point précédent), nous avons ajouté un tampon de 10 % au seuil supérieur du paramètre d'*abondance relative*.

Ce niveau de prudence dans l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS est conforme à l'approche adoptée par les experts dans les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS (annexe B dans Pestal *et al.* 2023; Grant et Pestal 2012; MPO 2015, 2016; Grant *et al.* 2020). En témoigne le taux d'erreur relativement faible entre les états des UC générés par l'algorithme d'état rapide de la PSS par rapport à l'état « réel », fourni par les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS antérieures dirigées par des experts (tableau 5).

Voici des exemples de cas où des experts des processus d'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS ont adopté des approches de précaution :

- Dans les processus d'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS, le paramètre d'*abondance relative*, lorsqu'il était disponible, a permis d'établir les désignations de l'état. Pour évaluer ce paramètre, les experts ont tenu compte de l'uniformité de l'état dans l'ensemble des niveaux de probabilité (10 % à 90 %) des points de référence estimés pour déterminer l'état. Si les états étaient mixtes pour tous les niveaux de probabilité, l'état était soupesé vers le niveau d'état inférieur, ou un état mixte était attribué (p. ex. *rouge/ambre* ou *ambre/vert*) (annexe B dans Pestal *et al.* 2023). Dans le cadre de l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS, on compare la moyenne générationnelle actuelle (ou le cycle « dominant », dans le cas des UC cycliques du saumon rouge du Fraser) aux estimations médianes (niveau de probabilité de 50 %) des points de référence de l'*abondance relative*, au lieu de présenter la distribution probabiliste complète des points de référence. Étant donné que ce paramètre est si largement utilisé dans les désignations d'état, le fait de n'employer que les points de référence médians de l'algorithme d'état rapide de la PSS peut faire en sorte que des états trop optimistes soient attribués par rapport aux approches intégrées d'évaluation de l'état en vertu de la PSS. Les trois décisions présentées ci-dessus ont donc été prises pour assurer la conformité avec le degré de prudence appliqué dans les processus spécialisés.
- Pour ce qui est de l'abondance absolue dans les ateliers sur l'approche intégrée d'évaluation de l'état en vertu de la PSS, les experts ont pris en compte l'incertitude des données et ont comparé chacune des quatre à douze dernières années au critère D1 (petit effectif de la population) du COSEPAC, soit le seuil de 1 000. En revanche, l'algorithme permet de comparer l'abondance moyenne de la dernière génération au seuil du COSEPAC. Pour faire en sorte que ce seuil d'algorithme soit plus conforme à l'approche de précaution utilisée par les experts dans l'approche intégrée d'évaluation de l'état en vertu de la PSS, un tampon a été ajouté. Le tampon tient compte de l'incertitude des données et d'une partie de l'insu des années individuelles de faible abondance (qui tombent sous le seuil de 1 000 du COSEPAC) qui pourraient se produire, lorsqu'on établit la moyenne avec les années d'abondance plus importantes de la génération la plus récente. Le tampon de 500 augmente le seuil du paramètre du COSEPAC à 1 500 dans l'algorithme.

Il convient de noter que les seuils biologiques pour l'état obtenu selon l'approche rapide de la PSS sont actuellement fixes. Ils ne tiennent pas compte de la baisse de productivité du saumon observée pour de nombreuses UC de saumon (Dorner et al. 2008, 2018; Grant et al. 2019, 2021). À mesure que les conditions climatiques continuent d'évoluer et que les habitats continuent de se détériorer en raison des activités humaines, il pourrait être nécessaire d'établir des seuils plus élevés pour l'effectif des populations de saumon afin d'assurer la persistance d'une UC dans ces conditions (McElhany et al. 2000). Voir la section ci-dessous sur les prochaines étapes de la prise en compte de la productivité temporalisée dans l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS.

Conclusions

L'algorithme de l'*arbre d'apprentissage* 3 (tableaux 2 et 4; figure 1) a été utilisé pour fournir des états annuels selon l'approche rapide de la PSS pour les UC de saumon du Pacifique, avec des données applicables en Colombie-Britannique et au Yukon. Au moyen de cet algorithme, on a estimé annuellement les états *rouge*, *ambre* ou *vert* des UC avec un degré de confiance *élevé*, *moyen* ou *faible*. Cet algorithme s'est avéré le plus performant parmi sept algorithmes candidats appliqués aux UC d'après des évaluations antérieures de l'état réalisées selon l'approche intégrée de la PSS (tableaux 2–3; figures 2–3; section 3.2 dans Pestal *et al.* 2023). De plus, des tests *hors échantillon* visant des années et des UC ont été effectués sans évaluations antérieures de l'état selon l'approche intégrée de la PSS afin de valider davantage l'utilisation de l'algorithme d'état rapide de la PSS (tableau 8; figure 5). Ensemble, ces évaluations du rendement visaient 105 UC, couvrant les cinq espèces de saumons du Pacifique gérées par le MPO, à savoir le saumon rouge, le saumon chinook, le saumon coho, le saumon rose et le saumon kéta. Était également couverte une vaste région géographique renfermant le fleuve Fraser, les bassins hydrographiques des rivières Skeena et Nass, la côte sud intérieure et la côte ouest de l'île de Vancouver.

L'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS garantit l'objectivité scientifique, la cohérence et la comparabilité des états dans l'ensemble des UC de saumon de la Colombie-Britannique et du Yukon. Elle veille également à ce qu'ils soient relativement faciles à mettre en œuvre, qu'ils s'appliquent généralement aux UC riches ou pauvres en données, et qu'ils puissent être mis à jour annuellement. Cette approche repose sur les principes de la biologie de conservation, lesquels mettent l'accent sur l'utilisation de l'abondance et des tendances des critères d'abondance pour évaluer le risque de conservation (Caughly, 1994; Mace *et al.* 2009). Elle est également fondée sur des recherches et des processus scientifiques antérieurs où des UC ont été relevées (Holtby et Ciruna, 2007; Grant *et al.* 2011, Brown *et al.* 2019) et où des états ont été attribués aux UC (Holt 2009, 2010; Holt et al. 2009; Grant et al. 2011, 2020; Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016).

L'algorithme d'état rapide de la PSS est conçu pour être flexible. Il permet d'évaluer l'état des UC qui ont différents types de données : abondance absolue ou indices d'abondance; et disponibilité des paramètres. Il peut être amélioré à mesure que d'autres UC sont ajoutées pour les évaluations de l'état et que de nouvelles méthodes sont élaborées pour tenir compte de la productivité temporalisée dans les points de référence de l'*abondance relative*, l'information sur la *répartition*, etc. C'est pour cette raison qu'il porte le nom d'*arbre d'apprentissage*. Nous recommandons de réaliser des évaluations spécialisées de l'état selon l'approche intégrée de la PSS avant d'ajouter de nouveaux paramètres à l'algorithme, afin de vérifier les effets des nouveaux paramètres sur la détermination de l'état en vertu de la PSS.

Pour en démontrer la flexibilité, l'algorithme d'état rapide de la PSS a été appliqué avec succès à la série chronologique complète des données disponibles pour les UC dans l'ensemble de

données d'apprentissage : UC de saumon rouge du Fraser, UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et UC de saumon coho du Fraser intérieur (Pestal *et al.* 2023; Pestal *et al.* (en prép.¹). Il a également été appliqué avec succès aux groupes d'UC pour lesquelles les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS n'avaient pas été réalisées : UC de saumon rouge des rivières Skeena et Nass et UC de saumon rose et de saumon kéta du Fraser (Pestal *et al.* (en prép.¹). Les résumés des évaluations de l'état selon l'approche rapide en vertu de la PSS pour ces 65 UC indiquent que les états se sont dégradés au fil du temps; le pourcentage des UC dont l'état est *rouge et ambre* a augmenté, par rapport au pourcentage des UC dont l'état est *vert* (figure 5).

L'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS peut être utilisée par les experts pour appuyer l'exploration scientifique et les aider à intégrer la science dans les processus décisionnels. Les évaluations de l'état selon l'approche rapide de la PSS appuient l'évaluation des états des UGS de saumon du Pacifique relativement à leurs PRL (Holt *et al.* 2023a, 2023b; MPO 2023). L'évaluation des PRL des UGS est une obligation légale prescrite par les nouvelles dispositions relatives aux stocks de poissons de la *Loi sur les pêches*. Les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS et leurs données sous-jacentes peuvent également être utilisés pour suivre et dégager les tendances dans les états annuels des UC de saumon et pour appuyer les évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques. Ils peuvent également favoriser l'évaluation des mesures de gestion prises en matière d'écloserie, de pêche et d'habitat, et l'établissement des priorités connexes.

Travaux en cours et futurs

a. Élaborer une stratégie de gestion des données pour les résultats de l'évaluation de l'état selon l'approche rapide de la PSS

Il est recommandé au MPO, comme prochaine étape clé, d'élaborer une stratégie de gestion des données. Cette étape permettrait de réaliser les évaluations de l'état selon l'approche rapide de la PSS à l'échelle des UC de la Colombie-Britannique et du Yukon avec les données applicables, et de fournir des mises à jour annuelles de ces états. En raison de la Stratégie relative au saumon du Pacifique du MPO, il y a actuellement un plus grand nombre de ressources, ainsi qu'une occasion de mettre ces éléments en place pour veiller à ce que toutes les données applicables sur les UC de saumon du Pacifique soient disponibles chaque année pour évaluer les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS. **Remarque : Nous supposons que les responsables de l'évaluation des stocks par zone du MPO intègrent l'expertise de groupes autochtones, d'organisations non gouvernementales, de consultants et d'autres intervenants dans la gestion des données d'évaluation des stocks des UC.** Nous recommandons les rôles et responsabilités qui suivent comme point de départ à envisager, et nous nous attendons à ce qu'ils évoluent au fur et à mesure de l'élaboration de la stratégie de gestion des données :

Équipe de la politique et de l'analyse des données de l'Initiative de la Stratégie relative au saumon du Pacifique (ISSP) du MPO

- Créer et tenir à jour une base de données centrale où seront stockées les données mixtes annuelles des évaluations de l'état selon l'approche rapide de la PSS de même que les états annuels des UC obtenus selon cette approche et les états obtenus selon l'approche intégrée disponibles. Ces données seraient accessibles au personnel du MPO et à des groupes externes comme les communautés autochtones, le COSEPAC, l'Union mondiale pour la nature, les universitaires et la Fondation du saumon du Pacifique.

Direction des Sciences du MPO : Unité de gestion des données (UGD)

Région du Pacifique

- Établir la gouvernance en veillant à ce que les données mixtes annuelles des UC pour les évaluations de l'état selon l'approche rapide de la PSS et les états obtenus selon cette approche soient fournis par les responsables de l'évaluation des stocks du MPO.
- Automatiser les étapes de traitement des données dans la mesure du possible, notamment en préparant des ensembles de codes machines et des fichiers de spécifications d'entrée appropriés en collaboration avec l'Équipe de la politique et de l'analyse des données de l'ISSP et les responsables de l'évaluation des stocks du MPO.
- Assurer la normalisation des approches dans l'ensemble des UC et des années en travaillant directement avec les responsables de l'évaluation des stocks et avec le soutien des responsables de l'état du saumon pour les nouvelles UC.

Responsables principaux et régionaux de l'évaluation des stocks du MPO

- Configurer le processus de traitement des données et les fichiers de spécifications de l'application des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS pour les nouveaux ensembles de données sur les UC (en suivant les étapes de traitement des données présentées à la section précédent sur les données) en collaboration avec les responsables de l'état du saumon et l'UGD.
- Fournir à l'UGD des données annuelles sélectionnées et traitées pour l'application des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS.
- Appuyer l'automatisation des étapes de traitement des données, dans la mesure du possible, notamment en préparant des ensembles de codes machines et des fichiers d'entrée appropriés en collaboration avec l'UGD.
- Soutenir les processus de normalisation dans l'ensemble des groupes d'UC dirigés par l'UGD.

Direction des Sciences du MPO : Programme de l'état du saumon (auteurs du présent article)

- Travailler avec les responsables de l'évaluation des stocks du MPO pour repérer les besoins en données et les spécifications des paramètres des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS pour les nouveaux ensembles de données sur les UC ajoutés (en suivant les étapes de traitement des données présentées à la section précédent sur les données).
- Fournir une série chronologique annuelle des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS et de leurs ensembles de données connexes à la base de données de l'UGD. Extraire les données de la base de données et mettre à jour les états obtenus selon l'approche rapide.

b. Améliorer l'accès des utilisateurs finaux

Le nouvel explorateur de l'état des saumons du Pacifique du MPO, un outil de visualisation de données, fournira des affichages interactifs des états obtenus selon l'approche rapide générés par l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3* et leurs données sous-jacentes (sections 4.5 dans Pestal *et al.* 2023). L'explorateur de l'état des saumons du MPO a été mis au point et sera lancé sous peu. L'outil a été conçu comme application R-Shiny. Shiny est un logiciel gratuit utilisé à grande échelle offrant de nombreuses applications dans le domaine des sciences halieutiques et de l'aide à la décision. Il a été conçu comme un ensemble de codes pouvant être exécuté sur R, mais peut également être utilisé dans un format navigateur. L'explorateur de l'état des saumons du MPO génère des données en calculant les états annuels obtenus selon l'approche rapide de la PSS pour les UC de saumon du Pacifique. L'outil centralise également les données

de base sur le saumon, notamment les données sur l'échappée, le recrutement, le cycle biologique et la répartition des géniteurs, et les met à la disposition des experts.

c. Réviser les algorithmes suivant les besoins

La révision de l'algorithme d'état rapide de la PSS peut comprendre la modification directe de l'arbre de décision ou l'ajout de nouveaux paramètres. Ces révisions ou améliorations peuvent être établies à mesure que de nouveaux ensembles de données sur les UC sont évalués. Dans de tels cas, nous recommandons que les experts réalisent d'autres évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS afin d'élargir l'*ensemble de données d'apprentissage*. Les processus d'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS devraient inclure le MPO, les groupes autochtones et d'autres experts, comme pour les processus antérieurs. À l'aide de l'*ensemble de données d'apprentissage* existant ou mis à jour, il conviendrait d'évaluer de nouveau le rendement de l'algorithme d'état rapide de la PSS et de faire une comparaison entre l'algorithme existant et les révisions proposées. Ainsi, on pourrait s'assurer que le rendement de l'algorithme s'améliore globalement par rapport aux états « réels », par opposition à l'hyper-réglage de l'algorithme pour des cas particuliers concernant les UC.

D'autres paramètres pourraient être ajoutés à l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3*. Toutefois, les nouveaux paramètres envisagés devraient s'aligner sur l'importance accordée par la PSS au « suivi normalisé de l'état des stocks de saumon [du Pacifique] » (MPO, 2005; Holt *et al.* 2009).

Bien qu'il existe une quantité considérable de renseignements supplémentaires (maladie de poisson ou prévention des parasites, génétique, comportement du poisson, etc.) que l'on pourrait inclure pour évaluer l'état du saumon, nous ne recommandons pas d'utiliser ces sources d'information pour l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS. Nous recommandons plutôt de continuer à privilégier des paramètres normalisés et des renseignements supplémentaires qui portent sur l'abondance et les tendances de l'abondance à l'heure actuelle (annexe A dans Pestal *et al.* 2023; Holt *et al.* 2009; Holt 2009; Grant *et al.* 2011; Grant et Pestal 2013; MPO 2015, 2016; Grant *et al.* 2020b). Ces paramètres de l'état sont fondés sur la théorie de la biologie de conservation, particulièrement en mettant l'accent sur deux paradigmes : un petit effectif de la population et le déclin de la population (Caughley 1994; Mace *et al.* 2008).

Un paramètre de *répartition* n'est pas compris dans l'algorithme d'état rapide de la PSS à l'heure actuelle. Les paramètres de *répartition* ont été ajoutés à une trousse d'outils d'évaluation de l'état en vertu de la PSS (Holt *et al.* 2009), et les tendances de la répartition des UC ont été ajoutés aux processus d'évaluation de l'état selon l'approche intégrée du saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et du saumon coho du Fraser intérieur. Toutefois, l'information sur la répartition n'a pas influencé les états obtenus selon l'approche intégrée de la PSS (annexe B dans Pestal *et al.* 2023; MPO 2015, 2016). De plus, aucun point de référence pour les paramètres de *répartition* n'a été réglé au moyen de recherches ou de processus spécialisés.

Les paramètres de *répartition* pourraient être particulièrement importants pour les UC distribuées à grande échelle, comme celles du saumon kéta et du saumon rose. Il existe beaucoup d'information sur la répartition du frai parmi les spécialistes du saumon au sein du MPO et parmi les communautés autochtones et d'autres groupes. Si des travaux sont effectués pour établir des points de référence et explorer l'utilisation qu'en font les experts des processus d'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS, des paramètres de répartition pourraient être ajoutés aux versions subséquentes de l'algorithme de l'*arbre d'apprentissage 3*. Toutefois, il est important de tenir compte de la mesure dans laquelle ces données seront

généralement disponibles dans l'ensemble des UC et dans laquelle elles peuvent être mises à jour annuellement.

L'information sur la répartition pourrait être plus pertinente pour les étapes subséquentes comportant l'utilisation des états obtenus selon l'approche rapide, plutôt que pour l'évaluation de l'état. Par exemple, l'information sur les changements dans la répartition du frai ou de l'élevage des juvéniles d'une UC devrait être saisie au moment de dresser des plans de rétablissement.

d. Ajouter ou mettre à jour les points de référence sur l'abondance relative des UC, notamment y intégrer la productivité temporalisée

Il conviendrait d'ajouter et de mettre à jour des points de référence des paramètres d'*abondance relative* pour les UC dans la mesure du possible. Bien que les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS puissent être établis sans paramètres d'*abondance relative*, le degré de confiance à l'égard des états obtenus selon l'approche rapide augmente lorsque ces paramètres sont appliqués.

Ces points de référence sont ajoutés par les experts des UC en fonction de leur connaissance de l'applicabilité des données à ce paramètre. Nous avons inclus, dans la présente évaluation, les UC de saumon rose et de saumon kéta du Fraser, par exemple, pour lesquelles les experts n'ont fourni aucun point de référence du paramètre d'*abondance relative*; par conséquent, le paramètre d'*abondance relative* n'a pas été inclus. Il est recommandé d'évaluer la question de savoir si le recrutement des stocks, la capacité d'habitat ou les points de référence fondés sur le centile s'appliquent à ces UC afin d'évaluer éventuellement les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS de ces UC avec un degré de confiance plus élevé.

Il y aurait lieu d'envisager des points de référence fondés sur le centile dans les cas où les points de référence sur le recrutement des stocks ou la capacité d'habitat ne seraient pas disponibles et où il existerait des données sur l'abondance des géniteurs, le cas échéant. Cependant, il a été démontré que les points de référence fondés sur le centile étaient appropriés uniquement pour les UC dont la productivité était modérée à élevée au cours de leur série chronologique (plus de 2,5 recrues par géniteur) et dont les taux de récolte étaient faibles à modérés (moins de 40 %) (voir le tableau 6 dans Holt et al. 2018).

Les baisses généralisées de l'abondance et de la productivité du saumon canadien indiquent que la productivité temporalisée devrait être prise en compte dans les points de référence du paramètre d'*abondance relative*. Cette mesure est recommandée pour les UC ayant subi des changements persistants d'abondance et de productivité. Des points de référence de productivité temporalisée, estimés à partir de modèles de recrutement des stocks, ont été utilisés dans le premier processus d'évaluation de l'état du saumon rouge du Fraser selon l'approche intégrée de la PSS (Grant *et al.* 2011; Grant et Pestal 2013). Toutefois, ils n'ont pas été inclus dans l'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS subséquente puisque les états de ces UC étaient revenus à la moyenne, par rapport aux cinq années précédentes de faible productivité (Grant *et al.* 2020). Par conséquent, la plus récente évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS visant les UC de saumon rouge du Fraser reposait sur des modèles qui tenaient compte de la productivité moyenne pour chaque UC (Grant et al. 2021). Depuis cette dernière évaluation, cependant, les baisses de productivité ont repris. De plus, comme il est attendu que les changements climatiques continueront de modifier considérablement la qualité des écosystèmes et des habitats, on peut s'attendre à des changements persistants au chapitre de la productivité et de la répartition des UC (Bush et Lemmen 2019; Cheung et Frölicher 2020; IPCC 2021).

Il est difficile d'intégrer la productivité temporalisée dans les points de référence d'abondance relative lorsque la productivité de des UC ne s'est pas stabilisée (Peterman et al. 2003; Dorner et al. 2008, 2018; Malick et al. 2017) et lorsque d'importants changements de productivité continuent de se produire d'une année à l'autre (Grant et al. 2021). Les questions à examiner sont les suivantes : à quelle fréquence rajuster les points de référence pour tenir compte de la productivité temporalisée des UC; comment interpréter l'état au fil du temps si les points de référence sont rajustés fréquemment ou ne sont pas rajustés malgré les changements de productivité; et comment assurer l'application uniforme des facteurs de productivité temporalisée aux points de référence de l'algorithme d'état rapide de la PSS. Des travaux sont en cours au MPO pour étudier ces types de questions et élaborer des lignes directrices concernant la définition de la productivité temporalisée et son application à l'état et à d'autres éléments, comme les prévisions (C.A Holt, MPO, comm. pers.)

e. Examiner les révisions apportées aux ensembles de données ayant l'influence des écloséries à l'aide de l'influence naturelle proportionnelle des états des UC de saumon

Il est prévu que les écloséries joueront un rôle de plus en plus important dans la conservation des UC de saumon. Les programmes de mise en valeur des stocks par les écloséries sont élargis à cette fin dans le cadre de l'ISSP du MPO. Bien que toutes les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS à ce jour aient tenté d'exclure les populations provenant d'écloséries (Grant et al. 2011; Brown et al. 2019), il pourrait être de plus en plus difficile de réaliser de telles évaluations à l'avenir compte tenu du rôle plus important que joueront les écloséries dans la conservation du saumon.

Des travaux récents portent sur l'influence naturelle proportionnelle (INP) des populations de saumons influencées par les écloséries (Withler et al. 2018). L'INP est un paramètre utilisé pour évaluer les risques génétiques des individus d'écloserie pour les populations naturelles en tant qu'indice du flux génétique. Une orientation fournie dans une récente publication est envisagée pour rajuster les populations de saumon qui devraient être visées par une évaluation de l'état de l'UC, selon le niveau d'INP (voir le tableau 3 dans Withler *et al.* 2018).

f. Appliquer les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS dans les processus décisionnels officiels

La Direction des sciences du MPO a demandé au Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) d'examiner l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS pour appuyer l'évaluation de l'état des unités de gestion des stocks (UGS) de saumon du Pacifique par rapport à leurs points de référence limites (PRL). Une UGS est un groupe d'une ou plusieurs UC de saumon du Pacifique qui sont gérées ensemble dans le but d'atteindre un état commun. Le PRL représente l'état sous lequel un stock subit de graves dommages, selon les critères biologiques établis par la Direction des Sciences du MPO dans le cadre d'un examen par les pairs. Une UGS en deçà de son PRL déclenche un plan de rétablissement. Un processus récent du SCAS a recommandé que les PRL des UGS soient définis sous forme de pourcentage, l'objectif étant que 100 % de toutes les UC de l'UGS soient au-dessus de la zone d'état *rouge* de la PSS (MPO 2023; Holt et al. 2023a, 2023b). Une UGS se retrouve sous le PLR si une ou plusieurs des UC de cette UGS se trouvent dans la zone d'état *rouge* de la PSS. L'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS a été recommandée pour évaluer l'état du PRL (MPO 2023; Holt et al. 2023a). Dans le contexte du processus du SCAS mentionné dans le présent rapport, une prochaine étape recommandée est la vérification des résultats de l'évaluation de l'état selon l'approche rapide de la PSS de chaque UC et la détermination de l'état du PLR par des experts dans le cadre d'un processus structuré.

Les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS avec l'apport d'experts pourraient également être combinés à des facteurs non scientifiques avant et après le déclenchement des plans de rétablissement :

- Avant que les données scientifiques ne déclenchent les plans de rétablissement, les UGS sont classées par ordre de priorité dans le processus de planification du rétablissement. L'établissement des priorités se fait en fonction des facteurs scientifiques et de gestion des ressources. On pourrait devoir combiner des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS et l'apport d'experts pour déterminer si l'UGS est en dessous de son PRL. Sont également compris d'autres facteurs sociaux, culturels, économiques et autres, comme la pêche à des fins alimentaires, sociales ou rituelles (ASR) des Premières Nations, les obligations prévues par des traités internationaux, les intérêts de divers intervenants, la vulnérabilité des UC aux changements climatiques, et plus encore.
- Une fois que les plans de rétablissement ont été déclenchés par les données scientifiques et l'apport des experts, l'équipe de gestion des ressources dirige la détermination des mesures de rétablissement au moyen d'avis scientifiques. Les états des UGS, fondés sur les états des UC dans le cadre du processus relatif aux PRL, pourraient servir à isoler les UC particulières qui exigent l'examen des facteurs de rétablissement. Cela permettrait de réduire la portée du plan de rétablissement. Cela permettrait aussi de circonscrire le type de mesures prises à grande échelle. Par exemple, même si une UC petite, mais persistante, n'exige peut-être pas la prise de mesures particulières pour accroître l'effectif de sa population (c.-à-d. la reconstitution), elle nécessiterait probablement que son habitat existant soit davantage protégé et maintenu, en raison de sa petite aire de répartition géographique restreinte et du risque accru d'extinction. Les UC de saumon rose ou de saumon kéta, par exemple, couvrent de vastes zones géographiques en eau douce; par conséquent, le risque de changements environnementaux ou de catastrophe est modéré. En revanche, les petites UC de saumon rouge sont probablement beaucoup plus vulnérables à toute perturbation ou à tout événement extrême, qui se produit de plus en plus souvent en raison des changements climatiques.

D'autres applications des états obtenus selon l'approche rapide de la PSS, lorsqu'elles sont combinées à l'apport d'experts, peuvent comprendre les suivantes :

- Production de rapports sur l'état du saumon : les tendances des états des UC de saumon peuvent être présentées par zone, par espèce, par cycle biologique et par unité de gestion des stocks. En combinant l'apport d'experts avec l'information sur les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS et d'autres renseignements intégrés à l'explorateur de l'état des saumons du MPO, il est possible de fournir des rapports réguliers sur l'état du saumon.
- Priorité des mesures de gestion prises en matière d'écloserie, de pêche et d'habitat : il y a de plus en plus de stocks préoccupants et, par conséquent, une demande croissante de mesures de gestion. Les tendances et les états annuels obtenus selon l'approche rapide de la PSS des UC peuvent être un facteur pouvant appuyer les activités d'établissement des priorités. D'autres facteurs scientifiques à l'appui de l'établissement des priorités pourraient également comprendre la vulnérabilité future des UC aux changements climatiques (voir le point suivant). D'autres facteurs non scientifiques peuvent également s'imposer dans les processus d'établissement des priorités, comme les priorités d'ASR des communautés autochtones, les obligations prévues par des traités internationaux, etc.
- Évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques : Les changements climatiques sont un facteur clé qui influence le saumon et les écosystèmes dans lesquels on le trouve. Ces évaluations devraient être réalisées pour déterminer la vulnérabilité de l'UC de saumon

aux changements continus prévus. Les états du saumon pourraient constituer un facteur clé pour ce type d'évaluation. L'explorateur de l'état des saumons du MPO pourrait fournir un moyen de faire une comparaison et d'exposer les différences rapidement, et de vérifier des hypothèses générales selon lesquelles le saumon est plus ou moins vulnérable aux changements prévus. Ces évaluations peuvent comprendre des renseignements supplémentaires fournis par la Direction des Sciences du MPO sur les projections des changements climatiques dans les écosystèmes d'eau douce et marins, les réactions des saumons, et plus encore.

Tableaux

Tableau 1. Autres échelles d'états pour l'évaluation du rendement des algorithmes. Les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS ont été convertis en notes de 1 à 5 pour saisir l'ampleur et l'orientation des erreurs de classification. Ces états doivent être simplifiés à la même échelle que les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS pour effectuer des comparaisons significatives au sein d'un algorithme et entre les algorithmes. Voir la section 2.4.4 dans Pestal et al. 2023 pour en savoir plus. L'échelle des cinq états est l'échelle utilisée dans les évaluations antérieures de l'état selon l'approche intégrée de la PSS (Grant et Pestal 2013; Grant et al. 2020; MPO 2015, 2016). Différents algorithmes candidats relatifs aux états obtenus selon l'approche rapide de la PSS ont été mis au point pour évaluer l'état en fonction d'une des trois échelles (voir le tableau 2). Les états ont été convertis à chacune des trois échelles pour l'évaluation du rendement (tableau 3; section 2.4.4 dans Pestal et al. 2023).

Échelle de cinq états		Échelle de trois états		Échelle de deux états	
Zone	Note	Zone	Note	Zone	Note
 Rouge	5	Rouge	5	Rouge	5
 Rouge/ambre	4				
 Ambre	3	Ambre	3	Non rouge	2
 Ambre/vert	2				
 Vert	1	Vert	1		

Tableau 2. **Les sept algorithmes d'état rapide proposés. Trois algorithmes adaptés** reposant sur l'exploration d'autres adaptations au modèle CART, et **quatre algorithmes construits** reposant sur la combinaison d'adaptations au modèle CART et des facteurs supplémentaires. Les algorithmes adaptés ont utilisé les 65 cas de l'ensemble de données d'apprentissage. Les adaptations exploratoires au modèle CART utilisant le fractionnement des données par espèce ou par type de données étaient instables et n'ont donc pas été inclus dans la liste des algorithmes candidats sélectionnés pour les essais détaillés. Les algorithmes construits utilisent des composants des algorithmes adaptés, et utilisent donc indirectement toutes les données disponibles. Ce tableau résume l'approche de conception de chaque algorithme. La section 2.4 dans Pestal et al. 2023 décrit les étapes d'élaboration. L'annexe D dans Pestal et al. 2023 présente les algorithmes complets sous forme de diagramme et d'ensemble de règles de classification. Il est à noter que ces algorithmes génèrent des états selon l'approche rapide à différentes échelles de résolution, de 5 états (rouge, rouge/ambre, ambre, ambre/vert, vert), à 3 états (rouge, ambre, vert), à 2 états (rouge, non rouge), comme le montre le « x » dans les colonnes de droite (R = rouge, NR = non rouge, RA = rouge/ambre, A = ambre, AV = ambre/vert, V = vert) (voir le tableau 3).

Type	Nom	Description	R	NR	RA	A	AV	V
Adapté	Minimaliste Annexe E.1*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de trois états : échelle des états simplifiée Conçu en utilisant uniquement les valeurs pour les paramètres des tendances : <i>tendances à court et à long terme</i>, qui sont des paramètres généralement disponibles communs à la plupart des UC. Adaptation de l'arbre avec pénalité de complexité élevée pour produire un arbre simple ayant peu de branches. 	X	-	-	X	-	X
	Raffiné Annexe E.2*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de cinq états : correspond à l'échelle des états obtenus selon l'approche intégrée de la PSS Conçu en utilisant les valeurs pour tous les paramètres disponibles. Adaptation de l'arbre avec pénalité de complexité faible pour produire un arbre plus complexe à résolution plus fine et ayant plus de branches. 	X	-	X	X	X	X
	Réaliste catégorique Annexe E.3*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de deux états : échelle des états simplifiée Paramètres simplifiés : <i>abondance absolue, abondance relative et tendance à long terme</i>. Adaptation d'arbres distincts pour différents types de données, mais seuls les états R et A ont été isolés en tant que nœuds terminaux par l'adaptation. 	X	-	-	X	-	-
Construit	Simplement rouge Annexe E.4*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de deux états : échelle des états simplifiée Paramètres simplifiés : <i>tendance à court et à long terme et abondance relative</i>. Combinaison de tous les critères des autres algorithmes qui indiquent un état rouge. 	X	X	-	-	-	-

Réponse des Sciences : Évaluations de l'état du saumon du Pacifique selon l'approche rapide

Région du Pacifique

Type	Nom	Description	R	NR	RA	A	AV	V
	Arbre d'apprentis sage 1 Annexe E.5*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de trois états : échelle des états simplifiée Conçu à partir des algorithmes du modèle CART, mais combiné aux descriptions de l'évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS (annexe B dans Pestal <i>et al.</i> 2023). 	X	-	-	X	-	X
	Arbre d'apprentis sage 2 Annexe E.6*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de trois états : échelle des états simplifiée Identique à l'<i>arbre d'apprentissage 1</i>, mais utilise les états R/A/V plutôt que les valeurs paramétriques calculées. 	X	-	-	X	-	X
	Arbre d'apprentis sage 3 Annexe E.7*	<ul style="list-style-type: none"> Échelle de trois états : échelle des états simplifiée Évolution de l'<i>arbre d'apprentissage 1</i>, priorité accordée à l'<i>abondance absolue</i> et présentation de facteurs supplémentaires pour les tendances à long terme et les paramètres de variation en pourcentage. 	X	-	-	X	-	X

*Dans Pestal et al. (2023).

Réponse des Sciences : Évaluations de l'état du saumon du Pacifique selon l'approche rapide

Région du Pacifique

Tableau 3. Résumé du rendement des algorithmes dans **tous les 65 cas** de l'ensemble de données d'apprentissage : UC de saumon rouge du Fraser, UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et UC de saumon coho du Fraser intérieur. Il est à noter que, dans l'ensemble de données d'apprentissage, il y a deux ans pour lesquels les évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS ont été réalisées pour les UC de saumon rouge du Fraser, en plus d'une année pour les UC de saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique et d'une année pour les UC de saumon coho du Fraser intérieur. Le tableau présente le taux d'achèvement (**nombre achevé**) : le nombre de cas auxquels l'algorithme pourrait attribuer un état sur le total de 65 cas de l'ensemble de données d'apprentissage; le nombre de désignations exactes (**nombre exact**) : l'état obtenu selon l'approche rapide de la PSS correspond à l'état obtenu selon l'approche intégrée de la PSS; le nombre de désignations proches (**nombre proche**) : la différence entre l'état obtenu selon l'approche rapide et l'état obtenu selon l'approche intégrée n'est qu'une étape; et le nombre de surestimations (**nombre ayant prévu un état supérieur**) : l'approche rapide d'évaluation de l'état en vertu de la PSS est supérieure à l'approche intégrée d'évaluation de l'état en vertu de la PSS. La **médiane**, la **moyenne** et l'**étendue d'erreur** sont présentées dans les trois dernières rangées. Toutes les erreurs sont calculées en convertissant les désignations d'état en une échelle de deux, trois ou cinq états (tableaux 1 et 2). L'échelle des états qui correspond à l'algorithme est indiquée par un astérisque, en caractères gras, dans une boîte ombrée grise. Une erreur négative signifie que l'algorithme a attribué un état inférieur à celui attribué par suite de l'évaluation spécialisée de l'état selon l'approche intégrée. Les cellules du tableau apparaissant en orange et indiquées par deux astérisques indiquent si un état peut être attribué selon l'approche rapide pour moins des trois quarts des cas (nombre achevé < 49/65) ou si l'erreur moyenne est supérieure à 0,3 (moyenne < -0,3 ou moyenne > 0,3).

Mesure de rendement	Échelle des états	Minimaliste	Raffiné	Réaliste catégorique	Simplement rouge	Arbre d'apprentissage 1	Arbre d'apprentissage 2	Arbre d'apprentissage 3
Nombre achevé	-	64	54	55	55	65	65	65
Nombre exact	5	39	47*	30	23	39	41	44
	3	49*	49	41*	26	46*	48*	54*
	2	55	50	50	47*	58	58	59
Nombre proche	5	54	50*	44	47	55	58	60
	3	49*	49	41*	47	46*	48*	54*
	2	55	50	50	47*	58	58	59
Nombre ayant prévu un état supérieur	5	8	2*	5	10	17	16	7
	3	8*	1	5*	17	17*	16*	7*
	2	6	0	5	2*	6	7	4
Erreur médiane	5	0	0*	0	0	0	0	0
	3	0*	0	0*	0	0*	0*	0*
	2	0	0	0	0*	0	0	0
Erreur moyenne	5	0,25	0,2*	0,4	0,27	-0,23	-0,23	0,2
	3	0*	0,19	0,15*	0,02	-0,49**	-0,49**	-0,06*
	2	-0,14	0,22	-0,27	0,22*	-0,23	-0,32**	-0,09
Étendue d'erreur	5	-2 à 4	-1 à 4*	-2 à 2	-2 à 4	-4 à 4	-4 à 2	-2 à 4
	3	-2 à 4*	-2 à 4	-2 à 2*	-3 à 4	-4 à 4*	-4 à 2*	-2 à 4*
	2	-3 à 4	0 à 4	-3 à 2	-3 à 4*	-3 à 4	-3 à 2	-3 à 4

Tableau 4. Attributions par nœud de l'état de l'arbre d'apprentissage 3 – état obtenu selon l'approche rapide de la PSS (voir la figure 1). Ce tableau présente les décisions de l'arbre d'apprentissage 3 qui ont mené à l'attribution des états rouge, ambre ou vert; les résultats dépendent du cheminement et des décisions prises. Le nœud final qui correspond à l'attribution de l'état est présenté ci-dessous, car il correspond à la figure 1. Il est à noter que le point de référence inférieur relatif à l'abondance absolue est de 1 000, l'algorithme, un tampon de 500 (total : 1 500).

Nœud	État	Règle
Nœud3	<i>Rouge</i>	Type de données : abondance absolue ET <i>abondance absolue</i> < 1 500
Nœud17	<i>Rouge</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis aucun point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> < 79 %
Nœud19	<i>Rouge</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> < point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i>
Nœud20	<i>Ambre</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : abondance absolue ET <i>abondance absolue</i> < 10 000; puis aucun point de référence d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> ≥ 79 %
Nœud21	<i>Rouge</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : abondance absolue ET <i>abondance absolue</i> < 10 000; puis aucun point de référence d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> < 79 %
Nœud22	<i>Ambre</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : abondance absolue ET <i>abondance absolue</i> < 10 000; puis <i>point de référence inférieur d'abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> ≥ point de référence d' <i>abondance relative</i>
Nœud23	<i>Rouge</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : abondance absolue ET <i>abondance absolue</i> < 10 000; puis <i>point de référence inférieur d'abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> < point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i>
Nœud33	<i>Rouge</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis aucun point de référence d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> ≥ 79 %; puis variation en pourcentage < -70
Nœud36	<i>Vert</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> ≥ point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> ≥ point de référence supérieur d' <i>abondance relative</i> x 1,1
Nœud37	<i>Ambre</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> ≥ point de référence inférieur d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>abondance relative</i> ≥ point de référence supérieur d' <i>abondance relative</i> x 1.1
Nœud64	<i>Vert</i>	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 1 500; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> ≥ 10 000; puis aucun point de référence d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> ≥ 79 %; puis variation en pourcentage < -70 puis <i>tendance à long terme</i> ≥ 233

Nœud	État	Règle
Nœud65	Ambre	Type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> $\geq 1\,500$; puis type de données : indice relatif OU <i>abondance absolue</i> $\geq 10\,000$; puis aucun point de référence d' <i>abondance relative</i> ; puis <i>tendance à long terme</i> $\geq 79\%$; puis variation en pourcentage < -70 puis <i>tendance à long terme</i> < 233

Tableau 5. Tableau de contingence des types d'erreurs (aucun, état supérieur prévu, état inférieur prévu) et des cotes de confiance (faible, moyenne ou élevée) pour les états selon l'approche rapide de la PSS générés par l'algorithme de l'arbre d'apprentissage 3 pour les trois échelles d'état (voir le tableau 1). Il s'agit des états attribués pour l'ensemble de données d'apprentissage de 65 cas, ce qui comprend deux évaluations des UC de saumon rouge du Fraser. Le résultat le moins fidèle au principe de précaution se produit lorsque l'état selon l'approche rapide attribué par l'algorithme est supérieur à celui des évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS et que la cote de confiance est élevée : cette information est surlignée en orange et indiquée par un astérisque. Les détails pour les cinq cas où ce résultat s'est produit sont résumés à la section 3.3 dans Pestal et al. 2023. Aucun : L'arbre d'apprentissage 3 a attribué un état identique à l'état selon l'approche intégrée de la PSS attribué pour la même UC et les données pendant les ateliers spécialisés; État supérieur prévu : L'arbre d'apprentissage 3 a attribué un état supérieur à l'état selon l'approche intégrée de la PSS; État inférieur prévu : L'arbre d'apprentissage 3 a attribué un état inférieur à l'état selon l'approche intégrée de la PSS.

Type d'erreur	Faible	Moyenne	Élevée	Total
Aucun	3	26	25	54
État supérieur prévu	2	0	5*	7
État inférieur prévu	1	2	1	4
Total	6	28	31	65

Réponse des Sciences : Évaluations de l'état du saumon du Pacifique selon l'approche rapide

Région du Pacifique

Tableau 6. Ce tableau est organisé par espèce et par zone pour présenter le nombre connexe total des éléments suivants : a) les UC : liste actuelle des UC utilisée pour le traitement des données, désignées par le personnel régional du MPO; b) l'état selon l'approche rapide ≥ 1 : nombre d'UC qui pourraient se voir attribuer un état selon l'approche rapide de la PSS pendant au moins un an, dans l'ensemble des UC, les données recueillies pour les évaluations de l'état selon l'approche rapide de la PSS (Pestal et al. 2023); c) l'état selon l'approche intégrée ≥ 1 : nombre d'UC pour lesquelles au moins une évaluation de l'état selon l'approche intégrée de la PSS a été réalisée, ce qui représente l'ensemble de données d'apprentissage utilisé pour établir les algorithmes d'état rapide de la PSS et pour en évaluer le rendement (Pestal et al. 2023).

Espèce	Zone	a) UC	b) État selon l'approche rapide ≥ 1	c) État selon l'approche intégrée ≥ 1
Saumon chinook	Fraser	18	15	11
Saumon chinook	Côte sud intérieure	12	1	1
Saumon chinook	Côte ouest de l'île de Vancouver	3	3	2
Saumon chinook	Okanagan	1	1	1
Saumon chinook	TOTAL	34	20	15
Saumon kéta	Fraser	1	1	0
Saumon coho	Fraser intérieur	5	5	5
Saumon rose	Fraser	1	1	0
Saumon rouge*	Fraser	24	22	23
Saumon rouge	Skeena	32	16	0
Saumon rouge	Nass	8	4	0
Saumon rouge	TOTAL	64	42	23
TOTAL	TOTAL	105	69	43

*Le saumon rouge du Fraser Chilko-DE ne peut pas être séparé du saumon rouge du Fraser Chilko-E/Chilko-DE; la population Cultus-T ne s'est pas vu attribuer un état selon l'approche rapide de la PSS, car les contributions élevées des écloséries n'ont pas été réglées dans l'ensemble de données.

Tableau 7. Résumé des évaluations de l'état selon l'approche rapide et l'approche intégrée de la PSS (arbre d'apprentissage 3) par espèce et par année. Les états selon l'approche intégrée de la PSS sont résumés ainsi : nombre total d'UC évaluées (nombre) et nombre d'UC auxquelles chaque catégorie d'état (rouge, ambre ou vert) a été attribuée. Il est à noter que les états selon l'approche intégrée de la PSS (rouge/ambre) ont reçu le code rouge, et que les états ambre/vert ont reçu le code ambre dans le cadre de ce résumé afin de les faire correspondre aux trois catégories d'état générées par l'algorithme d'état rapide de la PSS. Il est également à noter que le saumon rouge du Fraser a été évalué dans le cadre de deux ateliers sur l'état, ce qui a essentiellement doublé le nombre d'évaluations de l'état selon l'approche intégrée de la PSS pour ce groupe (2012, 2017). Les états selon l'approche rapide de la PSS sont résumés par le nombre total évalué (nombre), qui couvre toutes les années rétrospectives disponibles depuis 1995 et le nombre de combinaisons UC et année attribuées à chaque catégorie d'état. Les états selon l'approche rapide de la PSS relèvent soit de l'une des trois zones d'état (rouge, ambre, vert) ou d'aucune zone si au moins un paramètre d'état est disponible, mais qu'aucun état n'a pu être déterminé selon l'approche rapide.

Espèce	État selon l'approche intégrée de la PSS				État selon l'approche rapide de la PSS				
	Nombre	Rouge	Ambre	Vert	Nombre	Rouge	Ambre	Vert	Aucun
Saumon chinook	15	12	1	2	553	119	123	11	300
Saumon kéta	0	0	0	0	25	0	1	0	24
Saumon coho	5	0	5	0	125	4	87	9	25
Saumon rose	0	0	0	0	13	2	3	0	8
Saumon rouge	45	20	17	8	1,100	290	417	278	115
Total	65	32	23	10	1,816	415	631	298	472

Tableau 8. L'évaluation de l'état selon l'approche rapide de la PSS pour 105 UC dans les études de cas, de 1995 à 2018. La colonne « Nombre : état selon l'approche rapide » indique le nombre total d'UC pour lesquelles un état selon l'approche rapide de la PSS pourrait être attribué pour chaque année. Parmi ces cas, le pourcentage d'UC dont l'état est rouge (colonne % rouge) et ambre (colonne % ambre) a augmenté, et à l'inverse, le pourcentage d'UC dont l'état est vert (colonne % vert) a diminué au fil du temps. Les trois dernières colonnes indiquent le pourcentage d'UC qui pourraient être évaluées (% des UC évaluées) par rapport aux UC qui pourraient ne pas être évaluées (% des UC non évaluées), et le pourcentage d'UC qui se sont vu attribuer un état rouge (% rouge) par rapport au nombre total d'UC dans les études de cas (105). Il s'agit des valeurs annuelles indiquées à la figure 5.

Année	UC soumises à une évaluation de l'état selon l'approche rapide de la PSS				Toutes les UC		
	Nombre : état selon l'approche rapide	% rouge	% ambre	% vert	% des UC évaluées	% des UC non évaluées	% rouge
1995	36	19	39	42	34	66	7
1996	35	17	46	37	33	67	6
1997	37	19	54	27	35	65	7
1998	39	18	54	28	37	63	7
1999	41	17	46	37	39	61	7
2000	48	19	54	27	46	54	9
2001	48	17	58	25	46	54	8
2002	47	17	49	34	45	55	8
2003	50	22	46	32	48	52	10
2004	51	28	45	28	49	51	13
2005	52	27	48	25	50	50	13
2006	53	32	47	21	50	50	16
2007	53	28	51	21	50	50	14
2008	53	32	55	13	50	50	16
2009	57	44	40	16	54	46	24
2010	58	38	50	12	55	45	21
2011	61	36	44	20	58	42	21
2012	59	34	42	24	56	44	19
2013	66	36	44	20	63	37	23
2014	65	32	49	19	62	38	20
2015	65	35	45	20	62	38	22
2016	65	32	48	20	62	38	20
2017	67	39	45	16	64	36	25
2018	67	42	43	15	64	36	27
2019	66	47	42	11	63	37	30

Tableau 9. Résumé du test de sensibilité du paramètre d'abondance relative permettant de comparer la façon dont les états obtenus selon l'approche rapide changent lorsque ce paramètre est inclus ou exclu d'un ensemble de paramètres d'une UC. Le paramètre d'abondance relative est disponible pour 37 des 65 cas de l'ensemble de données d'apprentissage. Ce paramètre est utilisé par les algorithmes suivants : réaliste catégorique, simplement rouge et arbre d'apprentissage 1, 2 et 3. L'algorithme minimaliste n'utilise pas le paramètre d'abondance relative; il a donc été exclu. Les algorithmes réaliste catégorique et simplement rouge ont été inclus, mais compte tenu de leur simplicité relative, ils ne peuvent pas attribuer d'état pour la totalité des 37 cas et 25 des 37 cas, respectivement. Ce tableau indique le nombre de cas où l'algorithme a pu attribuer un état (nombre achevé) par rapport à ceux où l'algorithme n'a pas pu attribuer un état (nombre non achevé). Cela est présenté pour deux scénarios, à savoir avec et sans le paramètre d'abondance relative (AR). Il indique également le nombre de cas où l'état selon l'approche rapide a changé, ainsi que l'orientation et l'ampleur des changements. Les résultats notables sont indiqués en orange et par deux astérisques. Un seul astérisque indique que l'exclusion du paramètre d'abondance relative donne un état incomplet pour le saumon rouge de Chilliwack-DE, ce qui est un cas exceptionnel (voir la section 3.5 dans Pestal 2023 pour obtenir la description de l'exception de l'UC de saumon rouge de Chilliwack-DE).

Mesure		Adapté Réaliste catégorique	Construit			
			Simplement rouge	Arbre d'apprentissage		
				AA1	AA2	AA3
Avec le paramètre d'AR	Nombre achevé	37	36	37	37	37
	Nombre non achevé	0	1	0	0	0
Sans paramètre d'AR	Nombre achevé	0	12	36	36	36
	Nombre non achevé	37**	25**	1*	1*	1*
	Nombre modifié	0	0	17**	13**	9**
	Nombre inférieur par une zone d'état	0	0	2	5	5
	Nombre inférieur par deux zones d'état	0	0	1	1	2
	Nombre supérieur par une zone d'état	0	0	13**	7	2
	Nombre supérieur par deux zones d'état	0	0	1	0	0

Figures

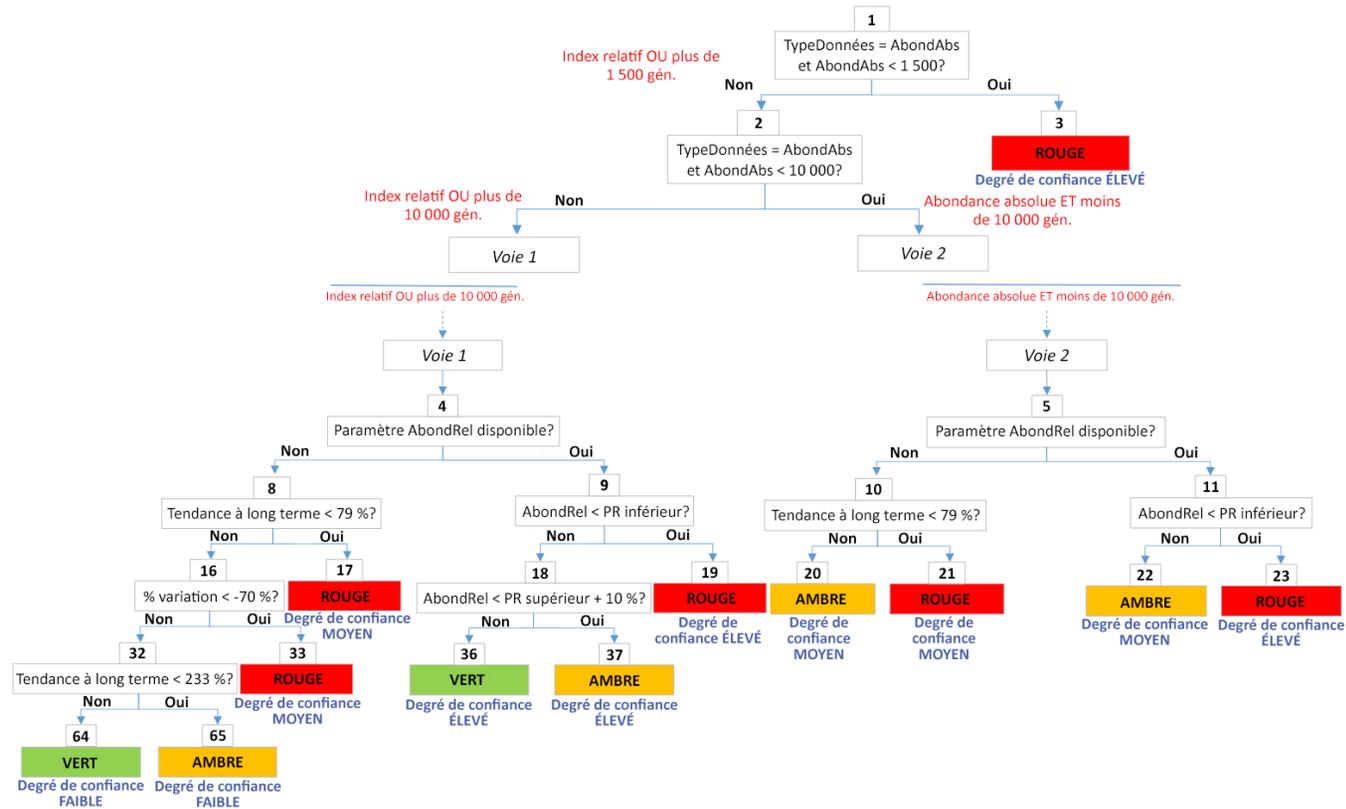


Figure 1. Algorithme de l'arbre d'apprentissage 3 pour l'état selon l'approche rapide de la PSS (le tableau 4 comprend des descriptions écrites). Pour évaluer une UC, les valeurs paramétriques sont comparées aux seuils présentés à chaque point de décision. Les réponses « Oui » ou « Non » divisent chaque voie de l'arbre de décision, et se terminent par l'attribution d'un état selon l'approche rapide de la PSS. Les divisions sont identifiées comme des nœuds : 1 à 65. La voie 1 est prise lorsqu'il n'y a aucune donnée sur l'abondance absolue pour l'UC, ou que ces données existent, mais qu'elles dépassent son seuil supérieur de 10 000. La voie 2 est prise lorsqu'il y a des données sur l'abondance absolue pour l'UC et que ces données se situent sous son point de référence supérieur de 10 000. AbondAbs : abondance absolue; PRinfAbs : seuil inférieur d'abondance absolue (point de référence de 1 000 plus tampon de 500); PRsupAbs : seuil supérieur d'abondance absolue; PRinfRel : seuil inférieur d'abondance relative; PRsupRel : seuil supérieur d'abondance relative, qui constitue le point de référence supérieur pour ce paramètre + 10 %; TendLong : paramètre de tendance à long terme; %Variation : paramètre de variation en pourcentage. Les cotes de confiance élevée, moyenne ou faible sont indiquées pour chaque nœud.

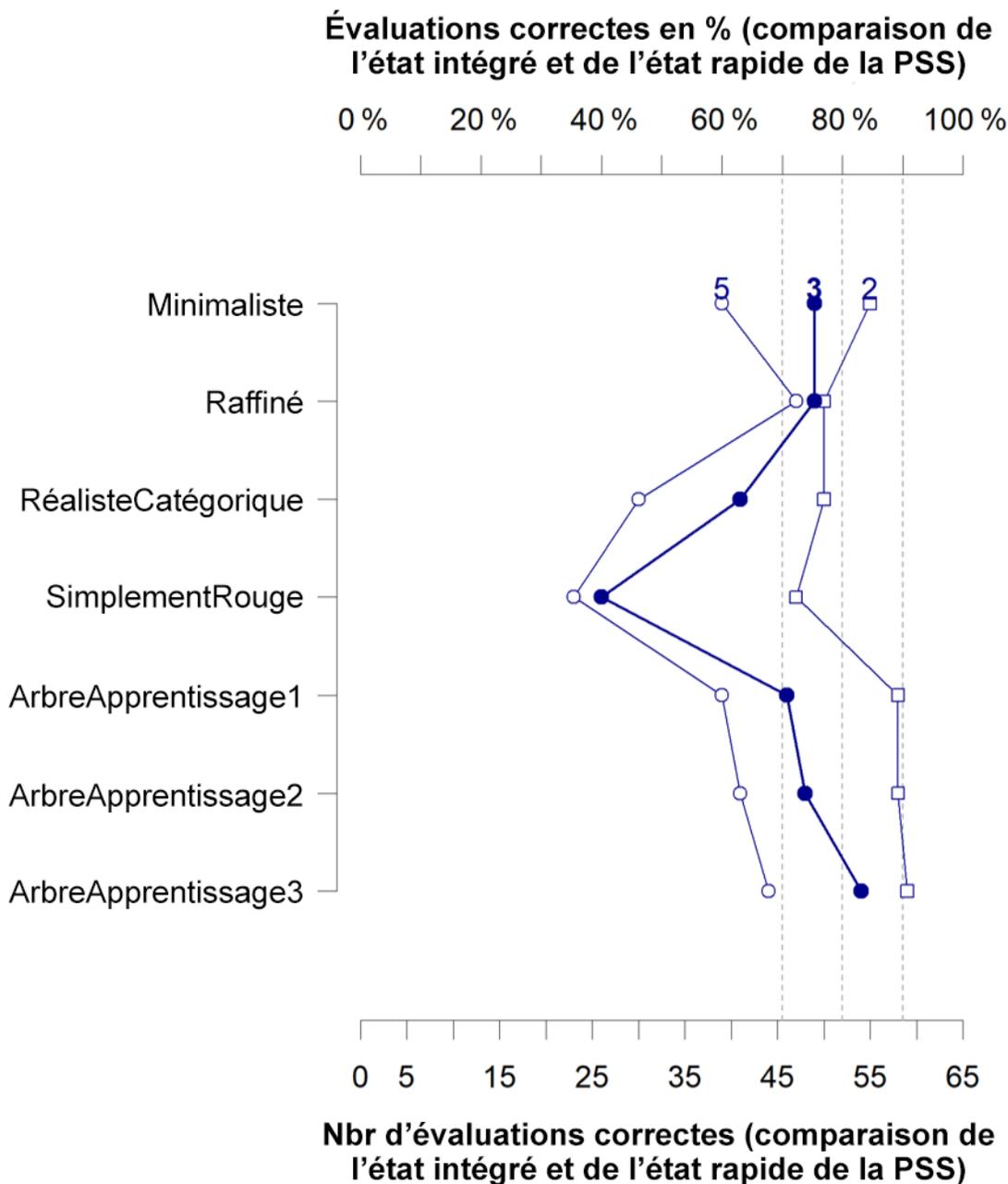


Figure 2. Nombre (axe horizontal inférieur) ou pourcentage (axe horizontal supérieur) d'états exacts obtenus selon l'approche rapide de la PSS par rapport aux états obtenus selon l'approche intégrée de la PSS, sur un total de 65 cas dans l'ensemble de données d'apprentissage pour trois algorithmes adaptés (minimaliste, raffiné et réaliste catégorique) et pour quatre algorithmes construits (simplement rouge, arbre d'apprentissage1, arbre d'apprentissage2, arbre d'apprentissage3). Les résultats sont présentés pour les trois autres échelles d'état selon les approches de la PSS (catégories d'état 5, 3 ou 2), comme l'explique le tableau 1. Il s'agit d'une des nombreuses mesures de rendement utilisées; l'ensemble complet est présenté au tableau 3. Les algorithmes candidats ont été évalués en fonction de critères comprenant une combinaison de mesures de rendement quantitatives et qualitatives, qui ne sont pas exclusivement fondées sur ce chiffre.

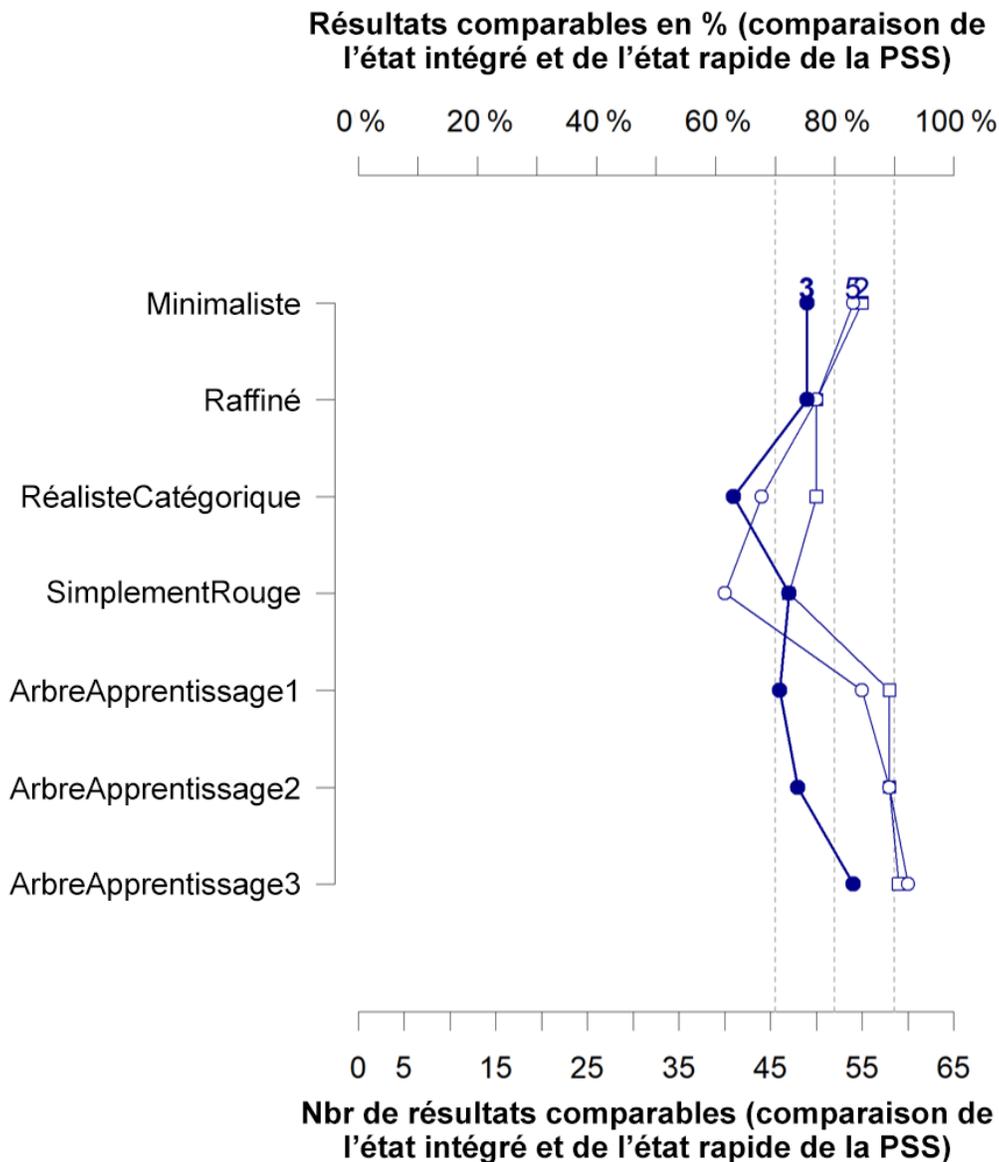


Figure 3. Nombre (axe horizontal inférieur) ou pourcentage (axe horizontal supérieur) d'états proches obtenus selon l'approche rapide de la PSS par rapport aux états obtenus selon l'approche intégrée de la PSS, sur un total de 65 cas dans l'ensemble de données d'apprentissage pour trois algorithmes adaptés (minimaliste, raffiné et réaliste catégorique) et pour quatre algorithmes construits (simplement rouge, arbre d'apprentissage1, arbre d'apprentissage2, arbre d'apprentissage3). Le terme « proche » indique l'état selon l'approche rapide de la PSS dans une seule zone d'état différente de l'état selon l'approche intégrée de la PSS sur une échelle de cinq états. Par exemple, une UC évaluée comme arbre par le processus spécialisé et à laquelle l'état non rouge est attribué par l'algorithme simplement rouge serait jugée inexacte à la figure 2, mais comme « proche » dans cette figure. Les résultats sont présentés pour les trois autres échelles d'état selon les approches de la PSS (catégories d'état 5, 3 ou 2), comme l'explique le tableau 1. Il s'agit d'une des nombreuses mesures de rendement utilisées; l'ensemble complet est présenté au tableau 3. Les algorithmes candidats ont été évalués en fonction de critères comprenant une combinaison de mesures de rendement quantitatives et qualitatives, qui ne sont pas exclusivement fondées sur ce chiffre.

Bowron-DE (SK-Fraser DE)

Description : L'abondance moyenne générationnelle a généralement diminué depuis les années 1950. Les états obtenus selon l'approche rapide de la PSS sont passés d'*ambre* à *rouge* en 2004. Le paramètre d'*abondance relative* détermine les états selon l'approche rapide, les états correspondant pour toutes les années. L'abondance absolue était à l'état *ambre* pour la plupart des séries chronologiques, sauf la dernière année, lorsqu'elle était à l'état *rouge*. Les états selon l'approche intégrée étaient à l'état *rouge* en 2010 et 2015, correspondant aux états selon l'approche rapide. Les états selon l'approche rapide sont par la suite demeurés à l'état *rouge*.

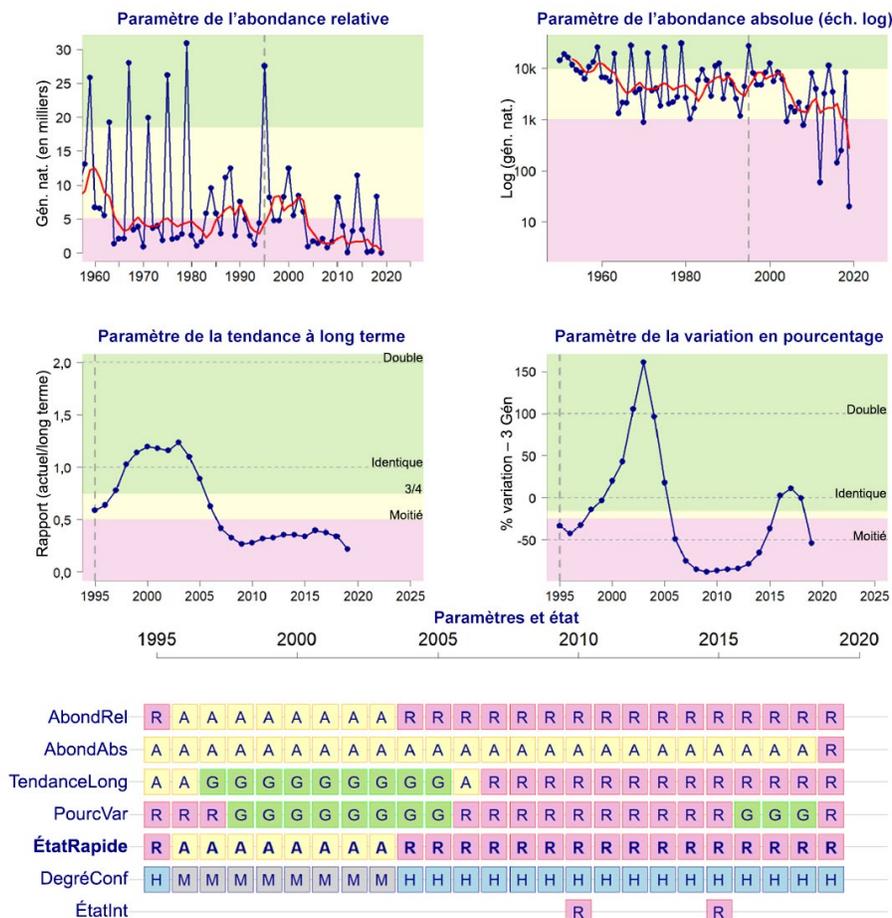


Figure 4. Un exemple de résumé pour les UC (Bowron_DE) d'états selon l'approche rapide par paramètre individuel (AbondRel : abondance relative; AbondAbs : abondance absolue; TendanceLong : tendance à long terme; Pourcvar : variation en pourcentage), l'état selon l'approche rapide de la PSS par année et le degré de confiance connexe (E : élevé; M : moyen; F : faible). L'état selon l'approche intégrée de la PSS (ÉtatInt) est également indiqué pour l'année où cet état a été évalué. Le texte qui se trouve au haut de cette figure décrit les paramètres qui donnent les états selon l'approche rapide au fil du temps. Les 62 UC évaluées pour l'état selon l'approche rapide se trouvent aux annexes A à G de Pestal et al. (2023).

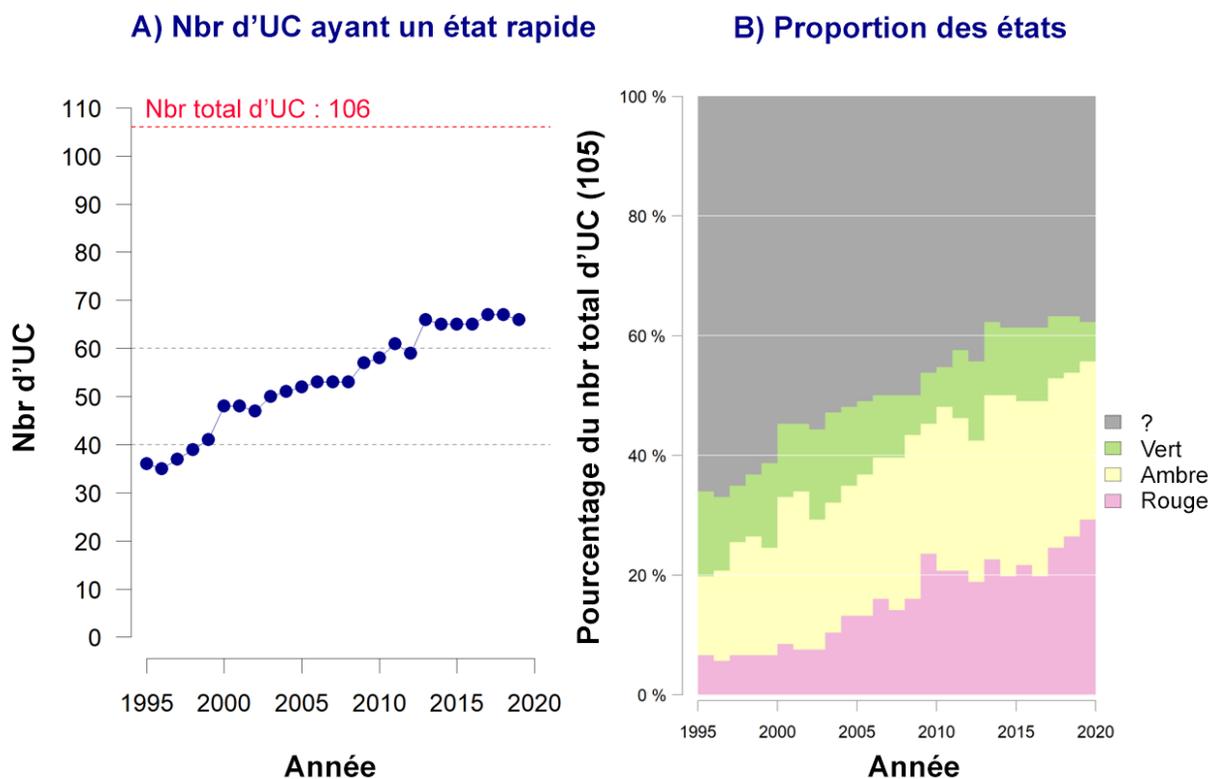


Figure 5. L'état selon l'approche rapide change au fil du temps. A) Le nombre d'UC qui ont pu se voir attribuer un état selon l'approche rapide de la PSS augmente entre 1995 et 2019. L'augmentation au fil du temps est attribuable à des séries chronologiques plus courtes, les données étant seulement disponibles au cours des dernières années pour un certain nombre d'UC. B) La proportion d'UC à l'état rouge et ambre, par rapport au nombre total de cas d'UC (105 au total), a augmenté au fil du temps. À l'inverse, la proportion d'UC à l'état vert a diminué. Le tableau 8 présente les valeurs annuelles.

Collaborateurs

Collaborateur	Rôle	Organisme d'appartenance
Gottfried Pestal	Auteur	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Bronwyn L. MacDonald	Auteure	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Sue C.H. Grant	Auteure	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Carrie A. Holt	Auteure	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Antonio Vélez-Espino	Comité directeur du SCAS	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Chuck Parken	Comité directeur du SCAS	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Charmaine Carr-Harris	Comité directeur du SCAS	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique
Pete Nicklin	Examineur	Upper Fraser Fisheries Conservation Alliance (UFFCA)
Brendan Connors	Examineur	Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique

Approuvé par

Andrew Thomson
 Directeur régional
 Direction des sciences, Région du Pacifique
 Pêches et Océans Canada

9 novembre 2023

Sources de renseignements

Le présent rapport d'intervention scientifique découle de l'examen par les pairs régional du 18 novembre 2022 sur les approximations rapides de l'état du saumon du Pacifique dérivées d'évaluations d'experts intégrées dans le cadre de la Politique concernant le saumon sauvage de Pêches et Océans Canada.

Brown, G.S., Baillie, S.J., Thiess, M.E., Bailey, R.E., Candy, J.R., Parken, C.K., et Willis, D.M. 2019. [Examen préalable à l'évaluation du COSEPAC des unités de conservation du saumon quinnat \(*Oncorhynchus tshawytscha*\) du sud de la Colombie-Britannique - Partie I : Renseignements de base](#). Secr. can. de consult. scient. du MPO. Doc. de rech. 2019/011. viii + 79 p.

Bush, E., et Lemmen, D.S. (éditeurs). 2019. Rapport sur le climat changeant du Canada, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 2019, 446 p.

Caughley, G. 1994. [Directions in Conservation Biology](#). J. Anim. Ecol. 63(2): 215–244.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., and Li, G. 2023. [Another year of record heat for the oceans](#). Adv. Atmos. Sci. 40, 963-974.

- Cheung, W.W.L., and Frölicher, T.L. 2020. [Marine heatwaves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific](#). *Sci. Rep.* 10(1): 1–10.
- Cheung, W.W.L., Frölicher, T.L., Lam, V.W.Y., Oyinlola, M.A., Reygondeau, G., Sumaila, U.R., Tai, T.C., Teh, L.C.L., and Wabnitz, C.C.C. 2021. [Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and fisheries](#). *Sci. Adv.*: 1–16.
- COSEPAC. 2021. Processus d'évaluation, catégories et lignes directrices du COSEPAC.
- Dorner, B., Catalano, M.J., and 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., Peterman, R.M., and Haeseker, S.L. 2008. [Historical trends in productivity of 120 Pacific pink, chum, and sockeye salmon stocks reconstructed by using a Kalman filter](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65(9): 1842–1866.
- Grant, S.C.H., Holt, C.A., Pestal, G., Davis, B.M. et MacDonald, B.L. 2020. [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., and Pon, L.B. 2011. [Evaluation of Uncertainty in Fraser Sockeye \(*Oncorhynchus nerka*\) Wild Salmon Policy Status Using Abundance and Trends in Abundance Metrics](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2011/087. viii + 183 p.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Lewis, D., Wilson, N.L., and Michielsens, C.G.J. 2021. State of Canadian Pacific salmon in 2020. *In* [State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2020](#). *Can. Tech. Rep. Fish. & Aquat. Sci.* 3434. pp. vii + 231. *Edited by* J.L. Boldt, A. Javorski, and P.C. Chandler.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., and Winston, M.L. 2019. [State of the Canadian Pacific Salmon: Responses to Changing Climate and Habitats](#). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3332. ix + 50 p.
- Grant, S.C.H., and Pestal, G. 2013. [Integrated Biological Status Assessments 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.
- 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, 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 p.
- 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., and Riddell, B. 2009. [Indicators of status and benchmarks for conservation units in Canada's Wild Salmon Policy](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2009/058. viii + 74 p.

Région du Pacifique

- Holt, C.A., Holt, K., Warkentin, L., Wor, C., Connors, B., Grant, S., Huang, A.-M., et Marentette, J. 2023a. [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.
- 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. 2023b. [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, B.L., and 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.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 2021. Summary for Policymakers. In C. Field, V. Barros, T. Stocker, & Q. Dahe (Eds.), [Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#). Cambridge: Cambridge University Press. pp. 3–22.
- IPCC. 2022. [Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Report](#).
- IUCN [International Union for Conservation of Nature and Natural Resources]. 2022. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 15.1. Prepared by the Standards and Petitions Committee.
- MacDonald, B.L., and Grant, S.C.H. 2012. [Pre-season run size forecasts for Fraser River Sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) in 2012](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/011. v + 64 p.
- Mace, G., Collar, N., Cooke, J., Gaston, K., Ginsberg, J., Leader Williams, N., Maunder, M., and Milner-Gulland, E.J. 1992. The development of new criteria for listing species on the IUCN Red List. 19: 16–22.
- Mace, G.M., Collar, N.J., Gaston, K.J., Hilton-Taylor, C., Arçakaya, H.R., Leader-Williams, N., Milner-Gulland, E.J., and Stuart, S.N. 2008. [Quantification of extinction risk : IUCN's system for classifying threatened species](#). *Conserv. Biol.* 22(6): 1424–1442.
- Mace, G.M., and Lande, R. 1991. [Assessing extinction threats : toward a reevaluation of IUCN threatened species categories](#). *Conserv. Biol.* 5(2): 148–157.
- Mallick, M.J., Cox, S.P., Mueter, F.J., Dorner, B., and Peterman, R.M. 2017. [Effects of the North Pacific Current on the productivity of 163 Pacific salmon stocks](#). *Fish. Oceanogr.* 26(3): 268–281.
- McElhany, P., Ruckelshaus, M.H., Ford, M.J., Wainwright, T.C., and 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 p.
- MPO. 2005. [La politique du Canada pour la conservation du saumon sauvage du Pacifique](#).
- 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. 2016. [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. 2023. [Points de référence biologiques et éléments de base pour l'établissement des objectifs de gestion pour les regroupements de saumon rouge \(*Oncorhynchus nerka*\) des rivières Skeena et Nass](#). Secr. can. des avis. sci. du MPO. Avis sci. 2023/008.
- National Research Council (US) Committee on Scientific Issues in the Endangered Species Act. 1998. Science and the Endangered Species Act.
- Parken, C.K., McNicol, R.E., and Irvine, J.R. 2006. [Habitat-based methods to estimate escapement goals for data limited Chinook salmon stocks in British Columbia, 2004](#). Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2006/083. vii + 74 p.
- Pestal, G., MacDonald, B.L., Grant, S.C.H., and Holt, C.A. 2023. [State of the Salmon: rapid status assessment approach for Pacific salmon under Canada's Wild Salmon Policy](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3570: xiv + 200 p.
- Peterman, R.M., Pyper, B.J., and MacGregor, B.W. 2003. [Use of the Kalman filter to reconstruct historical trends in productivity of Bristol Bay sockeye salmon \(*Oncorhynchus nerka*\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 809–824.
- Picard, R.R., and Cook, R.D. 1984. [Cross-Validation of Regression Models](#). J. Am. Stat. Assoc. 79(387): 575–583.
- Rodrigues, A.S.L., Pilgrim, J.D., Lamoreux, J.F., Hoffmann, M., and Brooks, T.M. 2006. [The value of the IUCN Red List for conservation](#). Trends Ecol. Evol. 21(2): 71–76.
- Therneau, T., and Atkinson, B. 2023. Rpart: recursive partitioning and regression trees.
- Wade, J., Hamilton, S., Baxter, B., Brown, G., Grant, S.C.H., Holt, C., Thiess, M. et Withler, R. 2019. [Cadre pour l'examen et l'approbation de modifications d'unités de conservation visées par la Politique concernant le saumon sauvage](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/015. v + 33 p.
- Withler, R.E., Bradford, M.J., Willis, D., and 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.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Courriel : DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815

ISBN 978-0-660-69419-1 N° cat. Fs70-7/2024-004F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2024



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2024. Approximations rapides de l'état du saumon du Pacifique dérivées d'évaluations d'experts intégrées dans le cadre de la Politique concernant le saumon sauvage de Pêches et Océans Canada. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2024/004.

Also available in English:

DFO. 2024. Rapid Status Approximations for Pacific Salmon Derived from Integrated Expert Assessments under Fisheries and Oceans Canada Wild Salmon Policy. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2024/004.