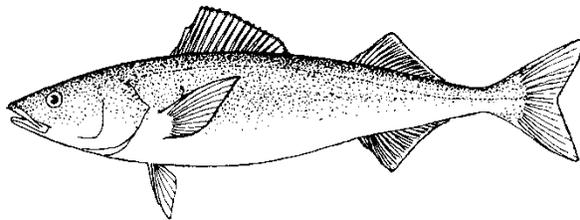




## MODÈLE OPÉRATIONNEL RÉVISÉ POUR LA MORUE CHARBONNIÈRE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2022



Morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*),  
courtoisie du MPO

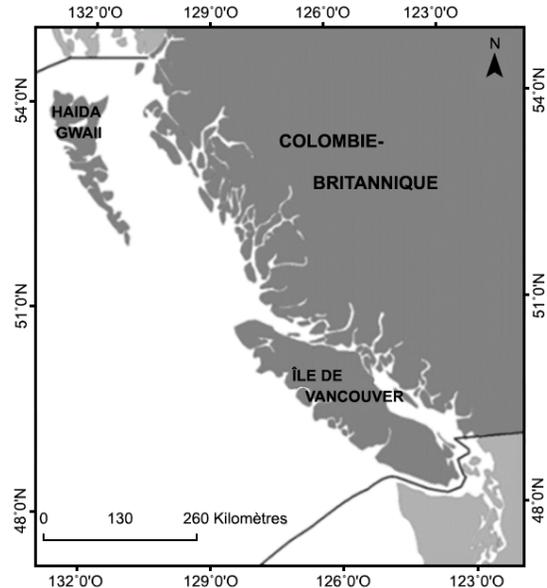


Figure 1. Zone d'évaluation et de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique (n'inclut pas les monts sous-marins).

### Contexte :

La gestion de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) dans la région du Pacifique est guidée par un processus d'évaluation de la stratégie de gestion (ESG) qui utilise un modèle opérationnel (MO) pour générer des simulations de rendement des procédures de gestion (PG) à travers de multiples scénarios sur la dynamique du stock et de la pêche. Le rendement est évalué par rapport à des objectifs mesurables qui représentent des buts de conservation et socio-économiques. Les totaux autorisés des captures (TAC) annuels pour la morue charbonnière sont déterminés par des PG mises à l'essai par simulation depuis 2011.

La Direction de la gestion des pêches du MPO a demandé à la Direction des sciences de fournir un MO révisé pour la morue charbonnière qui utilise des données actualisées de surveillance des stocks et des pêches pour estimer l'état du stock de morue charbonnière par rapport aux points de référence en 2022. Les exigences actuelles et futures pour les simulations de l'ESG nécessitent une migration du MO et de la PG de la morue charbonnière vers un nouveau cadre logiciel pour 2022. Par conséquent, il est également nécessaire de comparer les résultats du MO et de la PG mise à jour à ceux obtenus à l'aide du logiciel précédent. Les taux de récolte cibles précisés dans la procédure de gestion actuelle de la morue charbonnière pourraient devoir être modifiés afin de refléter les estimations révisées de la productivité du stock.

Le présent avis scientifique découle de l'examen régional par les pairs du 15 au 16 novembre 2022 sur un modèle opérationnel révisé pour la morue charbonnière en Colombie-Britannique en 2022. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

## SOMMAIRE

- La gestion de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) en Colombie-Britannique est guidée par un processus d'évaluation de la stratégie de gestion (ESG) qui a été élaboré conjointement par le MPO et l'industrie de la pêche de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique. Le processus d'ESG est conforme aux exigences des dispositions sur les stocks de poissons et de la politique de pêche nationale (MPO 2009). Les TAC annuels pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique sont fixés de manière transparente et durable à l'aide de PG mises à l'essai par simulation depuis 2011.
- Le MO relatif à la morue charbonnière est utilisé pour fournir une évaluation actualisée de l'état du stock et pour mettre à l'essai par simulation les PG selon d'autres scénarios représentant la dynamique du stock et de la pêche. Une version révisée du MO intégrant des données actualisées et de nouvelles hypothèses sur la dynamique des stocks et des pêches a été élaborée pour 2022.
- Le MO révisé a été transféré sur une nouvelle plateforme logicielle qui bénéficie d'un meilleur soutien de la part de la communauté scientifique des pêches et offre de meilleurs résultats d'estimation que la plateforme originale. Les analyses de transition ont montré que les deux implémentations produisaient des résultats similaires, tandis que la nouvelle plateforme offrait de meilleurs diagnostics du modèle et de meilleures performances de calcul.
- L'état du stock en 2022 a été évalué par une moyenne pondérée des cinq scénarios du MO représentant l'incertitude sur la productivité et la biomasse récente du stock reproducteur femelle (où la biomasse du stock reproducteur femelle est désignée ci-après par  $B$ ). Les pondérations des scénarios du MO étaient basées sur les valeurs de plausibilité attribuées par les analystes.
- La biomasse du stock reproducteur femelle de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique pour 2022 ( $B_{2022}$ ) a été estimée bien au-dessus du niveau de biomasse du stock reproducteur femelle associé au rendement maximal durable ( $B_{RMD}$ ). L'estimation moyenne pondérée de  $B_{2022}$  est supérieure à  $B_{RMD}$  avec une probabilité de 92 % (valeur médiane de 1,32 fois  $B_{RMD}$ ). Le taux de récolte estimé ( $U$ ) de la morue charbonnière de taille légale en 2021 est inférieur au taux de récolte au RMD ( $U_{RMD}$ ) avec une probabilité de 94 % (valeur médiane de 0,72 fois  $U_{RMD}$ ).
- Pris individuellement, chacun des cinq scénarios du MO indiquait une probabilité de 100 % que la  $B_{2022}$  soit supérieure au point de référence limite (PRL) de  $0,4B_{RMD}$ , et quatre des cinq MO estimaient une probabilité de 100 % que la  $B_{2022}$  soit supérieure au point de référence supérieur du stock (PRS) de  $0,8B_{RMD}$ . Le scénario du MO représentant la biomasse la plus faible du stock reproducteur femelle récent indiquait une probabilité de 92 % que la  $B_{2022}$  soit au-dessus du PRS.
- Des simulations en boucle fermée ont été utilisées pour vérifier si la PG actuelle, avec un taux de récolte légal cible maximal de 5,5 %, était en mesure d'atteindre les objectifs opérationnels de la pêche dans le cadre des scénarios de MO révisés. D'autres versions de la PG actuelle avec une gamme de taux de récolte cible ont également été mises à l'essai. Les résultats de la simulation ont montré qu'une augmentation du taux de prélèvement légal cible actuel jusqu'à 7,5 % pouvait être envisagée tout en respectant les objectifs de conservation visant à rester au-dessus du PRL (objectif 1) et à atteindre le point de référence cible (PRC; objectif 3).

Région du Pacifique

- Les variables environnementales (VE) susceptibles d'agir sur la dynamique des populations de morue charbonnière de la Colombie-Britannique ont été examinées par le biais de corrélations par paires entre huit VE, le recrutement annuel et un indice de condition corporelle. Aucune des VE n'était fortement corrélée au recrutement. Bien que l'incidence des changements climatiques sur la morue charbonnière de la Colombie-Britannique ne soit pas connue, des recherches récentes indiquent que l'augmentation de la température pourrait accroître l'adéquation de l'habitat pour la morue charbonnière. Le risque potentiel de ne pas inclure les VE dans le modèle opérationnel de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique semble faible pour le moment.
- Les futurs modèles opérationnels devraient explorer davantage les approches de recharge de modélisation des rejets (c.-à-d. les prises remises à l'eau) afin de mieux prendre en compte la mortalité des rejets dans les simulations des modèles opérationnels.

## INTRODUCTION

Pêches et Océans Canada (MPO) et l'industrie de la pêche de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) de la Colombie-Britannique collaborent à un processus d'évaluation des stratégies de gestion (ESG) visant à élaborer et à mettre en œuvre une stratégie de pêche transparente et durable. L'approche d'ESG tente de saisir l'ensemble du processus qui donne lieu à une limite de capture recommandée dans un système de gestion simulé. Un MO avec de multiples scénarios représentant la dynamique incertaine des stocks et des pêches est utilisé pour générer des données simulées. Le rendement des PG proposées par rapport à chaque autre modèle opérationnel de référence est évalué en fonction des objectifs mesurables qui représentent les objectifs en matière de conservation et les objectifs socio-économiques. Les TAC annuels ont été calculés à l'aide de ces PG ayant été mis à l'essai par simulation depuis 2011.

Les objectifs pour la pêche de la morue charbonnière en Colombie-Britannique ont été élaborés de façon itérative en consultation avec les gestionnaires des pêches, les scientifiques et les intervenants de l'industrie. Les cinq objectifs utilisés pour évaluer le rendement des PG sont les suivants :

1. **Éviter le PRL** : Maintenir la biomasse du stock reproducteur femelle au-dessus du point de référence limite de PRL =  $0,4B_{RMD}$  dans 95 % des années mesurées sur deux générations de morue charbonnière, où  $B_{RMD}$  est la biomasse du stock reproducteur femelle au rendement maximal durable (RMD) pour chaque modèle opérationnel.
2. **Éviter le déclin du stock lorsqu'il est inférieur au PRS** : Lorsque la biomasse du stock reproducteur femelle se situe entre  $0,4B_{RMD}$  et  $0,8B_{RMD}$ , limiter la probabilité de déclin au cours des 10 prochaines années de très faible (5 %) à  $0,4B_{RMD}$  à modérée (50 %) à  $0,8B_{RMD}$ . À des niveaux intermédiaires de l'état du stock, il faut définir la tolérance au déclin en effectuant une interpolation linéaire entre ces extrêmes.
3. **Atteindre la biomasse cible** : Maintenir la biomasse du stock reproducteur femelle de 2052 au-dessus du point de référence cible dans 50 % des répétitions de simulation, où le point de référence cible est (a)  $B_{cible} = B_{RMD}$  lorsque  $B \geq 0,8B_{RMD}$ , ou (b)  $B_{cible} = 0,8B_{RMD}$  lorsque  $B < 0,8B_{RMD}$ .
4. **Éviter les prises non viables sur le plan économique** : Maximiser la probabilité que les niveaux de prises annuelles de taille légale restent supérieurs à 1 992 tonnes, mesurés sur deux générations de morue charbonnière.

5. **Maximiser les prises de taille légale** : Maximiser les prises annuelles de taille légale sur 10 ans, sous réserve que les objectifs 1 à 4 soient atteints.

Le processus d'ESG de la morue charbonnière a fait l'objet d'un examen par les pairs dans le cadre de plusieurs processus du Secrétariat canadien des avis scientifiques (MPO 2014, 2017, 2020) et d'un examen par les pairs dans la littérature scientifique (Cox et Kronlund 2008; Cox *et al.* 2013).

Les MO de la morue charbonnière sont mises à jour selon un cycle de trois à cinq ans afin d'intégrer de nouvelles données et hypothèses sur la dynamique du stock et de la pêche de la morue charbonnière et de fournir des évaluations périodiques de l'état du stock par rapport aux points de référence. Le dernier examen régional par les pairs du modèle opérationnel de la morue charbonnière a eu lieu en 2016 (MPO 2017), suivi d'une mise à jour en 2019 qui a été effectuée par le biais d'une réponse scientifique (MPO 2020). L'évaluation et la gestion de la morue charbonnière sont étroitement alignées sur les exigences du Cadre décisionnel pour les pêches du Canada intégrant l'approche de précaution (politique de l'AP du MPO, MPO 2009) et sur les révisions plus récentes de la *Loi sur les pêches* (c.-à-d. les dispositions relatives aux stocks de poissons; voir l'annexe). La Direction de la gestion des pêches du MPO a demandé à la Direction des sciences de fournir un MO révisé pour la morue charbonnière qui utilise des données pour 2022 par rapport aux principaux points de référence définis par la Politique de l'approche de précaution du MPO, qui comprennent un PRL, un PRS, un point de référence cible et un taux maximal de mortalité par pêche.

Les demandes actuelles et futures en matière de simulation-évaluation du rendement de la PG nécessitent la migration du MO et de la PG vers une nouvelle plateforme logicielle plus efficace. Pour 2022, un OM révisé est mis en œuvre à l'aide de Template Model Builder (TMB, Kristensen *et al.* 2015), qui dispose de méthodes plus efficaces pour l'optimisation non linéaire et l'intégration avec les échantillons bayésiens a posteriori par rapport à la mise en œuvre originale dans AD Model Builder (ADMB, Fournier *et al.* 2012). De plus, la structure révisée du modèle tient compte d'un plus grand nombre de données possibles (p. ex. composition des longueurs) et d'incertitudes touchant le stock et la pêche de la morue charbonnière qu'auparavant. Le document fournit une comparaison directe des caractéristiques du MO entre les deux implémentations logicielles. Les simulations utilisant la version TMB sont ensuite utilisées pour évaluer la PG actuelle et les autres solutions qui reflètent les estimations révisées de la productivité du MO.

## ANALYSE

### Modèle opérationnel révisé

Le modèle opérationnel révisé de la morue charbonnière est un modèle statistique des prises selon l'âge à deux sexes ajusté i) aux prises débarquées spécifiques à la pêche de trois types d'engins (piège, palangre et chalut); 1965-2021), ii) aux rejets en mer de chacun des trois types d'engins de pêche (2006-2021), iii) à trois indices d'abondance totale provenant de la pêche au piège (1979-2009), d'un relevé normalisé (Std, 1990-2009) et d'un relevé aléatoire stratifié (StRS, 2003-2021), iv) aux données de composition par âge de la pêche au piège et des relevés de recherche Std. et StRS, et v) au données de composition par longueur provenant de la pêche au chalut (1970-2019).

Le MO révisé s'adapte désormais également aux données de fréquence de longueur, en plus des données de fréquence d'âge, dans le but d'améliorer les estimations de la sélectivité par taille et de la mortalité par pêche des poissons de taille inférieure à la taille légale dans les

pêches au chalut. On suppose que la sélectivité dépend de la longueur, ce qui permet d'avoir une seule fonction de sélectivité selon la longueur pour les deux sexes. Un processus basé sur la longueur est supposé parce que les valeurs a priori sur la sélectivité sont tirées des estimations de la sélectivité de la pêche par marquage, qui ne sont disponibles qu'en fonction de la longueur. Les estimations basées sur les données de marquage sont les plus importantes pour les pêches à la palangre et au chalut, car ces flottes ne fournissent pas de données de composition par âge à partir desquelles la sélectivité basée sur l'âge peut être estimée. La pêche au chalut fournit des données limitées sur la composition selon la longueur, qui sont adaptées directement.

### Analyses de transition et de rapprochement

Une analyse de transition a permis de comparer la façon dont les paramètres estimés ont changé entre les implémentations des logiciels ADMB et TMB, ainsi que l'effet des hypothèses du modèle. Cette comparaison a utilisé des données allant jusqu'en 2018, date à laquelle les MO basés sur ADMB ont été mis à jour pour la dernière fois. Une analyse de transition a comparé les estimations basées sur TMB en utilisant les données jusqu'en 2018 par rapport aux données jusqu'en 2021 pour juger des incidences des nouvelles données sur les estimations du modèle. Les analyses de transition et de rapprochement ont été évaluées au moyen des distributions a posteriori des principaux paramètres biologiques, des paramètres de sélectivité de la flotte et des principales quantités de gestion telles que les points de référence fondés sur le RMD, la biomasse reproductrice actuelle et historique et la mortalité par pêche.

Dans l'ensemble, les tendances de la biomasse reproductrice femelle et de la mortalité par pêche dans le temps étaient très similaires dans tous les modèles pris en considération dans les analyses de transition et de rapprochement (figure 2). Les différences les plus importantes ont été observées dans la sélectivité fondée sur la longueur dans toutes les pêches et tous les relevés.

Les estimations de la pente et de la mortalité naturelle des femelles différaient de 3,4 % et de 10 % entre les versions ADMB et TMB, respectivement, en tenant compte des mêmes données et hypothèses, tandis que le taux de récolte optimal dérivé  $U_{RMD}$  n'était que de 5 % supérieur pour TMB. Les différences dans la biomasse reproductrice absolue étaient plus substantielles, l'estimation de  $B_{2018}$  étant 30 % plus élevée avec la mise en œuvre de TMB; toutefois, l'estimation de TMB se situait toujours dans la marge d'erreur des estimations du modèle ADMB. Certaines différences entre TMB et ADMB peuvent être attribuées au fait qu'ADMB sous-représente l'incertitude due à l'autocorrélation dans les échantillons de la distribution bayésienne a posteriori des paramètres du modèle. Cette autocorrélation indésirable était négligeable dans la mise en œuvre de TMB.

Plusieurs différences observées entre ADMB et TMB ont été inversées lorsque l'erreur statistique (CV) supposée pour les données sur les captures au chalut et les rejets en mer a été portée de 1 % à 10 %, ce qui était la valeur supposée pour la mise en œuvre de TMB en 2021. Un CV plus important était nécessaire en 2021 pour améliorer les ajustements aux valeurs maximales récentes des rejets en mer de la pêche au chalut sans pousser les estimations récentes du recrutement à des valeurs hautement improbables.

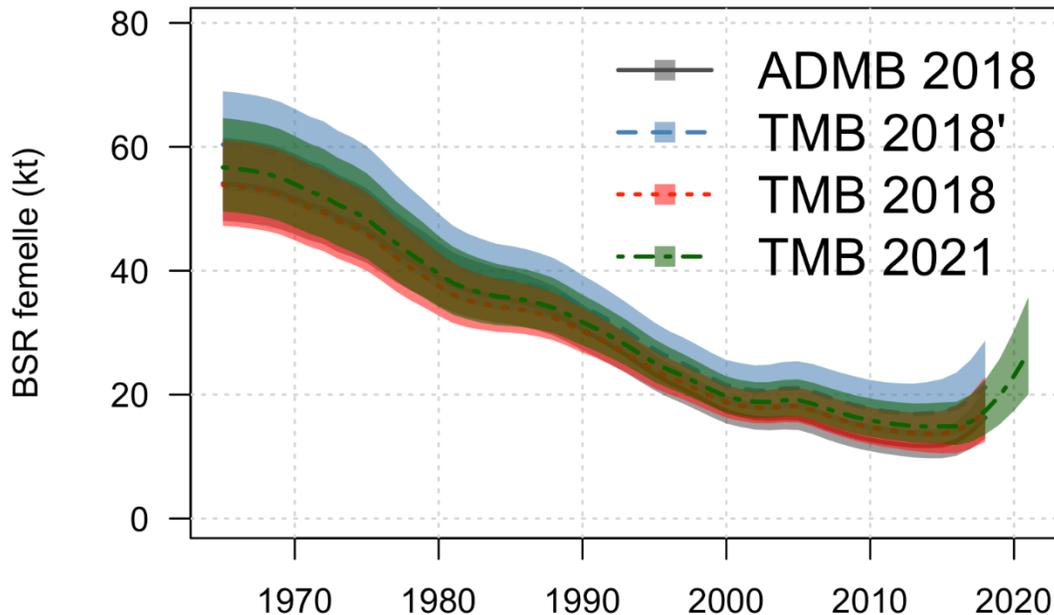


Figure 2. Distributions a posteriori superposées de la biomasse reproductrice femelle de chacun des quatre modèles comparés dans les analyses de transition et de rapprochement.

### Diagnostic du modèle

Les ajustements du modèle opérationnel rétrospectif entre 2005 et 2021 ont été produits en retirant successivement une année de données de 2021 à 2005. Les résultats montrent une variation des équilibres non pêchés estimés ( $B_0$ ,  $R_0$ ) et de la productivité ( $h$ ,  $U_{RMD}$ ) au fil du temps, à mesure que de nouvelles données étaient ajoutées au modèle; toutefois, les écarts annuels étaient généralement inférieurs à 10 %. La variabilité était la plus élevée pour  $U_{RMD}$ , dont les valeurs estimées variaient entre 0,054 et 0,079 par rapport à 2005-2021 en utilisant le MO révisé. L'estimation de  $U_{RMD} = 0,065$  pour 2021 se situe au milieu de cette fourchette. En revanche, la biomasse reproductrice non pêchée estimée,  $B_0$ , a montré une tendance à la hausse constante dans le temps. On pense que ces variations sont en grande partie dues aux informations actualisées chaque année sur la force des classes d'âge et à leur influence sur la relation stock-recrutement. L'examen rétrospectif de la force de la cohorte montre que la force estimée de la classe d'âge (c.-à-d. l'écart de recrutement normalisé) se stabilise généralement après l'âge de 4 ou 5 ans, ce qui donne à penser que les valeurs supérieures à la moyenne actuellement estimées pour les classes d'âge de 2015 et 2016 peuvent continuer à être importantes. Ce résultat fournit une preuve supplémentaire qu'une ou plusieurs grandes classes d'âge ont été recrutées dans la pêche de la morue charbonnière en Colombie-Britannique.

Le MO révisé a été évalué quant à la sensibilité des paramètres estimés à plusieurs hypothèses clés, notamment la pondération de vraisemblance pour certaines données sélectionnées, les distributions a priori des paramètres, la précision du modèle pour les rejets en mer ainsi que les valeurs de mortalité des rejets, et la dernière année des recrutements modélisés. Sur l'ensemble des scénarios de sensibilité examinés, les estimations de la biomasse reproductrice femelle non pêchée se situaient pour la plupart dans la fourchette de 50 à 60 kt, tandis que les paramètres de pente stock-recrutement se situaient dans la fourchette de 0,65 à 0,69. Les corrélations négatives entre la biomasse et la productivité signifiaient que les points de

référence biologiques étaient encore plus étroitement limités, avec des taux de récolte optimaux allant d'environ 0,06 à 0,08 et un RMD compris entre environ 3 500 et 4 500 tonnes.

Des exceptions à ces résultats ont été observées dans les analyses de sensibilité où i) la dernière année des déviations de recrutement estimées a été ajustée, ii) la pondération de la vraisemblance sur les données de composition par âge de la pêche au piège a été modifiée, et iii) les distributions a priori pour la biomasse non pêchée et la pente de recrutement du stock ont été déplacées. Premièrement, le changement de la dernière année au cours de laquelle les écarts de recrutement ont été estimés a modifié la façon dont le modèle a tenté d'expliquer les récentes augmentations des rejets en mer en augmentant les estimations de la taille globale du stock (au moyen de la biomasse non pêchée) et/ou en augmentant la taille des classes d'âge récentes. Deuxièmement, la réduction de la pondération de vraisemblance pour les données de composition par âge de la pêche au piège a réduit  $B_0$  (et  $R_0$ ) de près de 50 % et le RMD de plus de 30 %. Cette sensibilité élevée résulte du fait que les données sur la composition par âge constituent la principale source d'information sur le moment et l'ampleur du recrutement, qui détermine les tendances récentes de l'indice StRS, des captures et des rejets en mer. Enfin, la pente stock-recrutement est passée de 0,827 lorsque 2015 était l'année terminale des écarts de recrutement estimés, à 0,63 lorsque 2019 était l'année terminale; ce changement a également entraîné des estimations plus faibles de  $U_{RMD}$  (de 0,089 à 0,063) et du RMD (de 4 807 à 3 425 tonnes).

### Scénarios de modèle opérationnel

L'état du stock par rapport aux points de référence pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique est caractérisé à l'aide d'une approche de modèle d'ensemble qui couvre l'incertitude sur la pente du stock-recrutement (productivité) et la biomasse dans la dernière année de l'évaluation. Cinq scénarios du modèle opérationnel faisant varier ces quantités sont définis, et une pondération de vraisemblance est attribuée à chaque scénario. Les cinq scénarios de MO sont nommés **baseOM** (c.-à-d. le modèle de base utilisé comme point médian entre les scénarios de MO), **hiProd** et **loProd** (représentant respectivement des hypothèses de productivité élevée et faible), et **hiRelCV** et **loRelCV** (représentant respectivement une biomasse d'année terminale faible et élevée). Les scénarios **hiProd** et **loProd** sont paramétrés en ajustant la distribution a priori sur le paramètre de pente stock-recrutement, tandis que les scénarios **hiRelCV** et **loRelCV** ont fait varier le niveau d'incertitude dans les observations des rejets de la pêche au chalut. La variation de l'incertitude dans les observations des rejets de la pêche au chalut a pour effet d'augmenter ou de réduire la taille des classes d'âge récentes, ce qui fait augmenter ou diminuer les estimations du modèle opérationnel de la biomasse terminale (figure 3).

Une mesure composite de l'état du stock par rapport aux points de référence est calculée comme une moyenne pondérée des résultats des scénarios, une pondération de 50 % étant attribuée à **baseOM** et chacun des quatre autres scénarios ayant une pondération égale de 12,5 %.

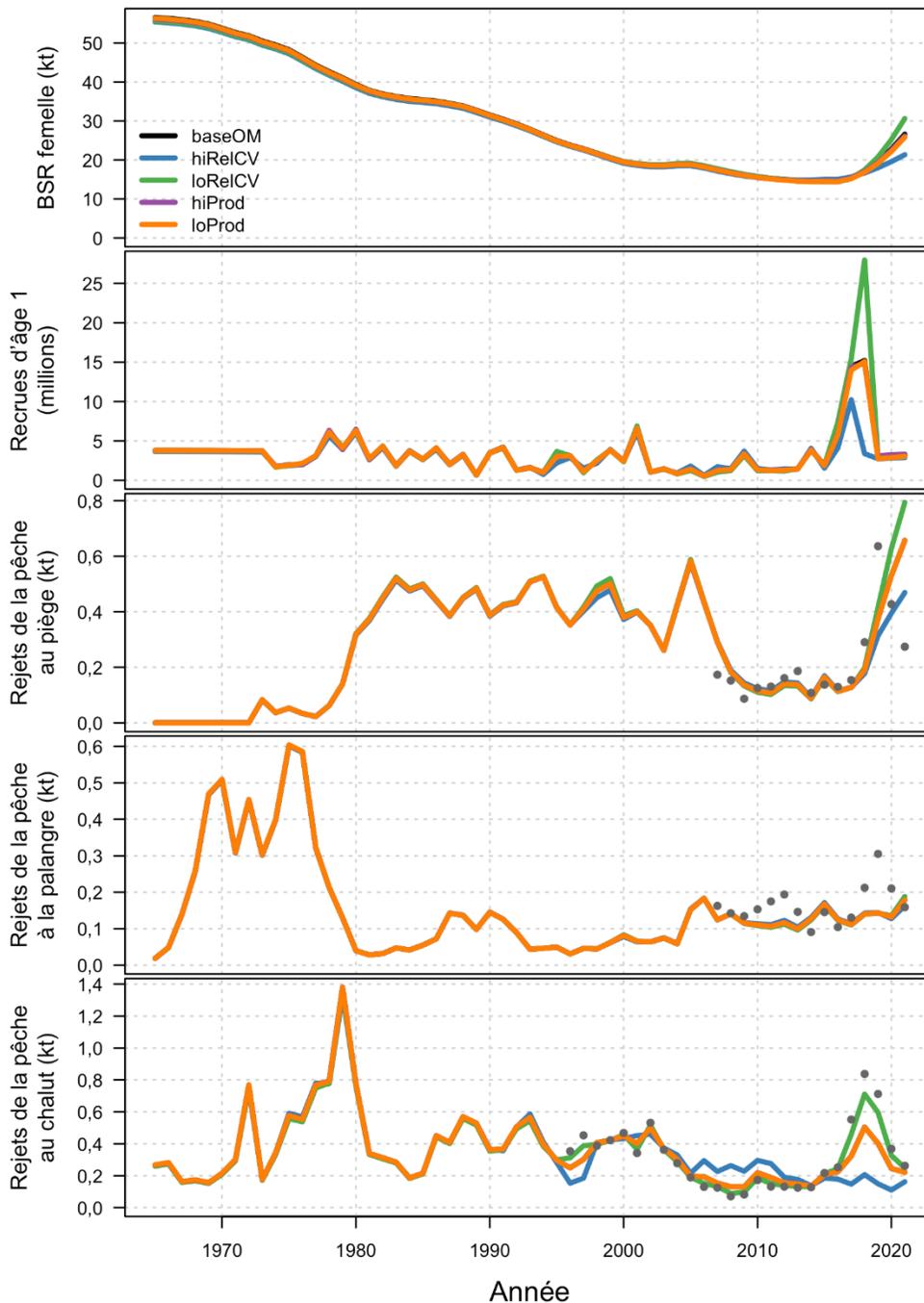


Figure 3 . Comparaison des estimations (lignes) de la biomasse reproductrice femelle, du recrutement à l'âge 1 et des observations des rejets (points) pour chaque flotte commerciale dans les cinq scénarios du modèle opérationnel (les lignes de couleur sont expliquées dans la légende).

**État du stock par rapport aux points de référence biologiques**

La biomasse estimée du stock reproducteur en Colombie-Britannique a connu des déclin constants entre 1965 et 2010 (figures 4 et 5). Au cours de cette période, des années occasionnelles de recrutement relativement fort à la fin des années 1970 et au début des

années 1980, ainsi qu'en 2000, ont conduit à de brèves périodes d'augmentation ou de stabilisation de la biomasse. Cependant, les taux de récolte fréquemment supérieurs à  $U_{RMD}$  ont contribué à la réduction de la biomasse lorsque ces vagues de recrutement ont été pêchées. Les niveaux de biomasse se sont stabilisés autour de 2008-2011 lorsque les taux de récolte estimés ont été réduits à des niveaux inférieurs à  $U_{RMD}$ . Les récents grands événements de recrutement en 2015 et 2016, de loin les plus importants estimés dans la série chronologique reconstituée, ont entraîné une augmentation substantielle de la biomasse jusqu'en 2022.

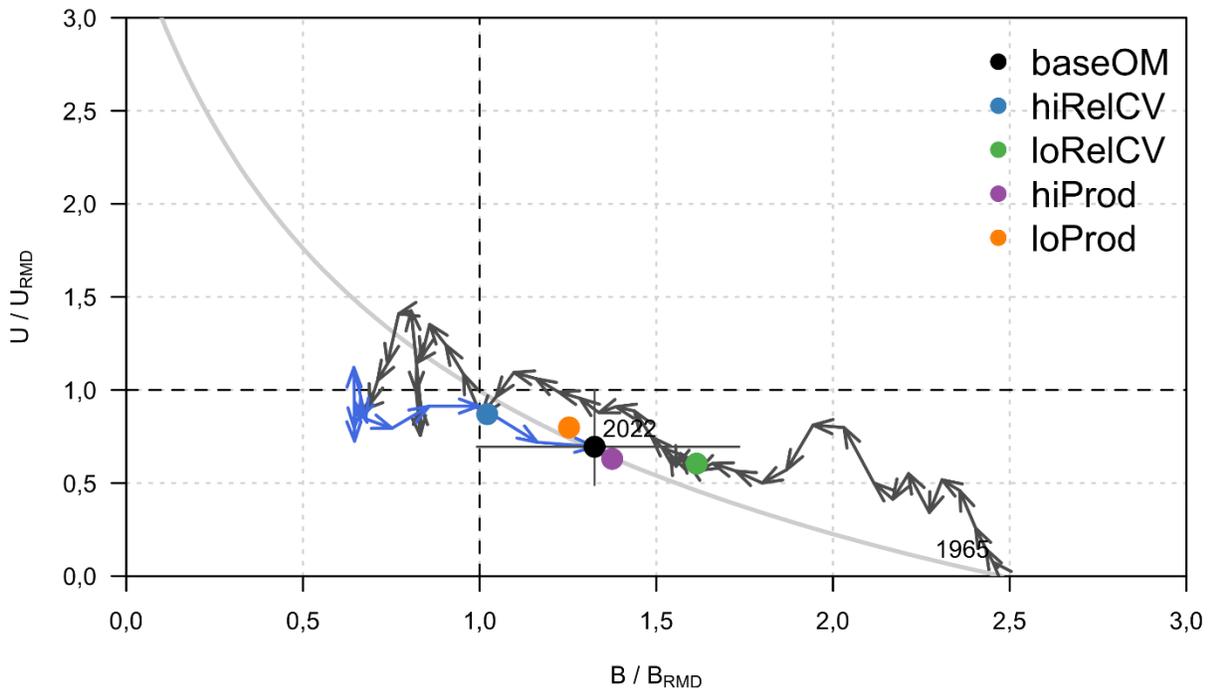


Figure 4. Relation historique entre la médiane a posteriori de la biomasse féconde (axe horizontal) et le taux de récolte légal total (axe vertical) par rapport à leurs points de référence correspondants basés sur le RMD. Les flèches indiquent le sens du temps, qui commence en 1965 et se termine en 2022, et les années écoulées depuis l'introduction d'une PG mise à l'essai par simulation en 2011 sont colorées en bleu. Le réticule indique la médiane et les intervalles de crédibilité à 95 % pour l'état actuel du stock avec **baseOM**, et les valeurs médianes pour toutes les autres mises à jour du MO sont représentées par des cercles de couleur. La trajectoire théorique à l'équilibre basée sur le modèle est représentée par une courbe en gris clair.

Les résultats semblent indiquer une forte probabilité que la morue charbonnière de la Colombie-Britannique soit au-dessus de la biomasse cible de  $B_{RMD}$  en 2022, et que le taux de récolte en 2021 soit inférieur à  $U_{RMD}$  (tableau 1, figure 6). La biomasse reproductrice moyenne pondérée des cinq MO est estimée à 30 kt, soit environ 1,32 fois  $B_{RMD}$  ( $P[B_{2022} > B_{RMD}] = 92 \%$ ), tandis que le taux de récolte de la morue charbonnière de taille légale en 2021 est estimé à 72 % de  $U_{RMD}$  ( $P[U_{2021} < U_{RMD}] = 94 \%$ ). Les cinq scénarios du MO ont estimé une probabilité très élevée (100 %) que  $B_{2022}$  soit supérieure au PRL de  $0,4B_{RMD}$ . Quatre des cinq MO ont estimé à 100 % la probabilité que  $B_{2022}$  soit supérieur au PRS de  $0,8B_{RMD}$  tandis que l'estimation pour le scénario **hiRelCV** était de 92 %, soit une forte probabilité, que  $B_{2022}$  soit supérieur au PRS.

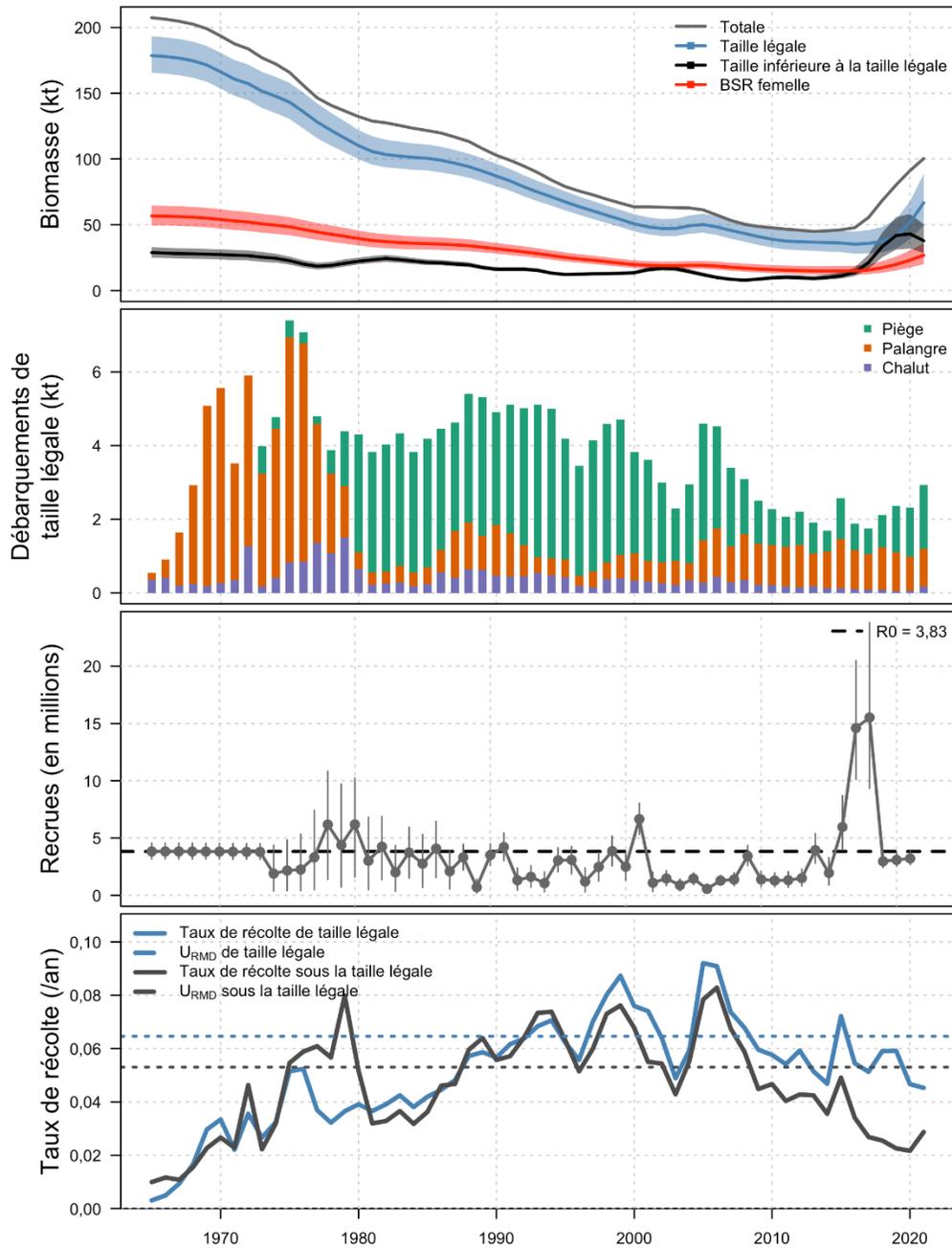


Figure 5. Série chronologique des estimations de la biomasse totale, d'individus de taille légale, de femelles reproductrices et d'individus de tailles inférieures à la taille légale pour la morue charbonnière (en haut), des débarquements totaux de taille légale (barres; deuxième rangée), des recrutements (troisième rangée) et des taux de récolte (rangée inférieure) pour le scénario **baseOM**.

Tableau 1. Estimations bayésiennes a posteriori des paramètres du modèle, des points de référence basés sur le RMD et de l'état du stock en 2021 par rapport à ces points de référence pour les cinq scénarios du modèle opérationnel, ainsi qu'une estimation composite moyenne pondérée. L'en-tête du tableau indique l'étiquette du modèle opérationnel, tandis que les étiquettes des lignes décrivent la quantité estimée. Les définitions des paramètres et les unités sont les suivantes :  $B_0$  = biomasse reproductrice femelle à l'équilibre non pêchée (kilotonnes; kt),  $B_{2022}$  = biomasse reproductrice femelle au début de 2022 (kt),  $RMD$  = rendement maximal durable (kt),  $B_{RMD}$  = biomasse reproductrice femelle au RMD (kt),  $R_0$  = recrutement à l'âge 1 à l'équilibre non pêché (millions de poissons),  $h$  = pente stock-recrutement,  $M_m$  et  $M_f$  = mortalité naturelle des mâles et des femelles, respectivement (année<sup>-1</sup>),  $U_{2021}$  = taux de prélèvement en 2021, et  $U_{RMD}$  = taux de prélèvement associé au RMD. Les probabilités a posteriori, désignées par « Pr(résultat) », sont utilisées pour décrire la probabilité de l'état du stock par rapport aux points de référence.

Paramètre	Scénario de modèle opérationnel					Composite
	baseOM	hiProd	loProd	hiRelCV	loRelCV	
$B_0$	56,56 (3,83)	56,15 (3,78)	56,38 (3,67)	55,42 (3,69)	55,65 (3,7)	-
$R_0$	3,81 (0,35)	3,78 (0,35)	3,8 (0,34)	3,66 (0,34)	3,76 (0,35)	-
$H$	0,67 (0,05)	0,74 (0,05)	0,61 (0,06)	0,65 (0,06)	0,67 (0,05)	-
$M_m$	0,052 (0,003)	0,051 (0,003)	0,052 (0,003)	0,05 (0,003)	0,051 (0,003)	-
$M_f$	0,094 (0,003)	0,094 (0,003)	0,094 (0,003)	0,093 (0,003)	0,094 (0,003)	-
$B_{RMD}$	22,82 (1,55)	21,93 (1,44)	23,49 (1,59)	22,58 (1,58)	22,49 (1,49)	22,72
$U_{RMD}$	0,065 (0,006)	0,072 (0,006)	0,058 (0,006)	0,063 (0,007)	0,065 (0,006)	0,064
$RMD$	3,5 (0,29)	3,71 (0,29)	3,28 (0,28)	3,37 (0,28)	3,47 (0,29)	3,47
<b>Statut</b>						
$B_{2022}$	30,29 (4,71)	29,86 (4,61)	29,38 (4,82)	22,93 (3,83)	36,17 (5,89)	29,94
$B_{2022}/B_{RMD}$	1,33 (0,19)	1,38 (0,19)	1,25 (0,19)	1,02 (0,16)	1,61 (0,24)	1,32
$U_{2021}$	0,045 (0,007)	0,045 (0,007)	0,046 (0,007)	0,055 (0,009)	0,039 (0,006)	0,046
$U_{2021}/U_{RMD}$	0,69 (0,13)	0,63 (0,11)	0,8 (0,16)	0,87 (0,19)	0,6 (0,11)	0,72
$Pr(B_{2022} > 0,4B_{RMD})$	1	1	1	1	1	1
$Pr(B_{2022} < 0,8B_{RMD})$	1,00	1,00	1,00	0,92	1,00	0,99
$Pr(B_{2022} > B_{RMD})$	0,970	0,990	0,930	0,560	1 000	0,918
$Pr(U_{2021} < U_{RMD})$	0,97	1,00	0,88	0,75	1,00	0,94

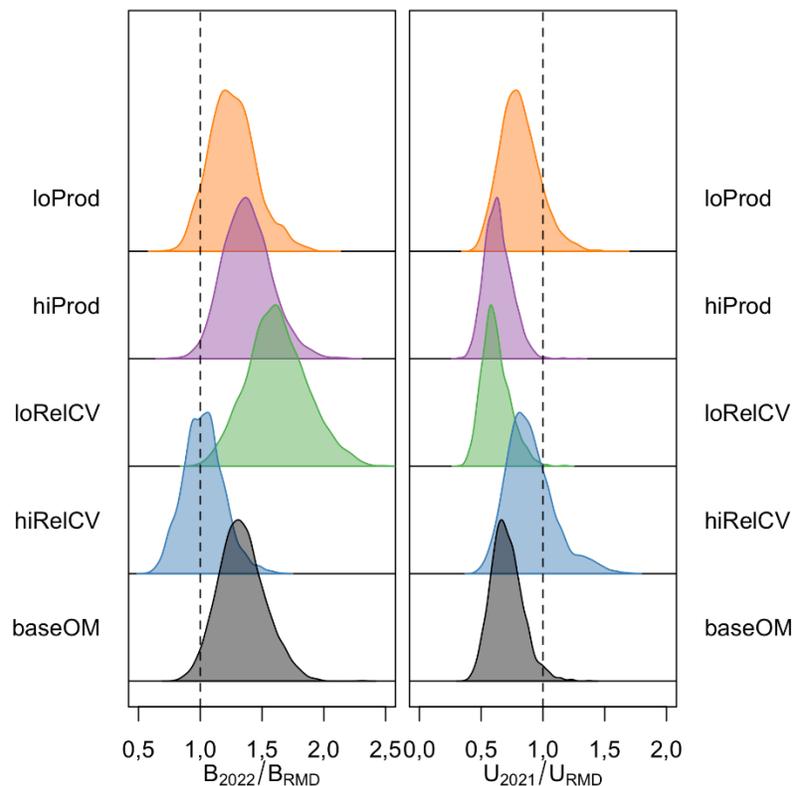


Figure 6 . Graphique à colonnes empilées de la densité a posteriori de l'état du stock par rapport aux points de référence basés sur le RMD pour les cinq modèles opérationnels de l'ensemble de référence. La colonne de gauche indique la biomasse reproductrice du début de l'année 2022 par rapport au modèle opérationnel  $B_{RMD}$ , et la colonne de droite indique le taux de capture légal de 2021 par rapport au  $U_{RMD}$  légal du modèle opérationnel.

### Cadre de simulation en boucle fermée

Des simulations ont été utilisées pour vérifier si la PG actuelle, qui est appliquée depuis 2016 (Cox *et al.* 2019), est en mesure d'atteindre les objectifs 1 et 3 dans le cadre des cinq scénarios du MO, et pour montrer la nature des compromis pour les objectifs 4 et 5. En outre, on a considéré des versions modifiées de la PG actuelle qui faisaient varier le taux de récolte cible maximal de la RCP à la lumière des estimations actualisées de la productivité et d'autres paramètres de gestion clés provenant du MO révisé. Les statistiques de rendement correspondant à chacun des objectifs 1 à 5 fournis dans la section « Introduction » ci-dessus ont été utilisées pour quantifier le rendement de la PG. Les statistiques de performance ont été mesurées en utilisant les estimations du modèle opérationnel de la biomasse du stock reproducteur femelle et des prises de taille légale.

### Procédure de gestion

Le PG de la morue charbonnière est un algorithme spécifique et reproductible qui permet de calculer une limite de prises. Le PG est composé i) de données de surveillance de la pêche à la morue charbonnière, ii) d'un modèle de production excédentaire état-espace pour estimer la biomasse vulnérable de la morue charbonnière, iii) d'une règle de contrôle des prises (RCP), iv) d'une contrainte après la règle sur les augmentations des limites de capture. Les données

utilisées pour ajuster le modèle de production excédentaire état-espace comprennent les débarquements totaux de la pêche pour tous les engins combinés (1965-2021) et les trois indices d'abondance utilisés pour ajuster le modèle opérationnel : la capture par unité d'effort (CPUE) de la pêche au piège, 1979-2009), le relevé de recherche Std. (1990-2010), et le relevé de recherche StRS (2003-2021). Le modèle de production excédentaire état-espace est un modèle simple employé pour estimer la biomasse vulnérable et les points de contrôle opérationnels utilisés pour déterminer le taux de récolte cible à partir de la RCP, comme expliqué ci-dessous.

Pour une année donnée  $t$ , le modèle de production excédentaire état-espace estime la biomasse légale au début de l'année suivante,  $B_{t+1}$ , et la biomasse légale optimale,  $B_{RMD}$ . L'estimation de  $B_{RMD}$  est ensuite utilisée pour définir les points de contrôle opérationnels (PCO) utilisés dans la RCP. Les estimations de la biomasse du modèle de production excédentaire état-espace, ainsi que les points de contrôle opérationnels estimés, sont des intrants de la procédure de gestion annuelle et ne sont pas utilisés pour caractériser l'état du stock; l'état du stock est strictement dérivé du MO. Les points de contrôle inférieurs et supérieurs sont fixés à  $PCI = 0,4B_{RMD}$  et  $PCS = 0,6B_{RMD}$ , respectivement. Ces valeurs sont utilisées pour déterminer le taux de récolte au moyen d'une règle de contrôle des prises rectilinéaire qui réduit linéairement d'un taux de récolte cible maximal,  $U_{max}$ , au PCS jusqu'à zéro au PCI (figure 7). La biomasse de taille légale estimée par le modèle de production excédentaire état-espace est un intrant de la RCP utilisée pour établir un taux de récolte et générer une limite de prise basée sur ce taux de récolte. Une contrainte après la RCP qui impose une augmentation minimale de la limite de prise de 200 t est appliquée. Si la limite de prise recommandée par la RCP est supérieure de moins de 200 t au TAC de l'année précédente, aucune augmentation n'est appliquée; il n'y a aucune restriction sur les ajustements à la baisse de la limite de prise. La limite de prise dérivée de la PG éclaire le choix du total autorisé des captures (TAC) et a généralement été adoptée comme TAC depuis 2011 avec peu d'écarts.

Outre la PG actuellement appliquée à la pêche pour l'année 2022-2023 ( $U_{max} = 5,5 \%$ ), d'autres PG qui faisaient passer  $U_{max}$  de 6 % à 7,5 % par incréments de 0,1 % (figure 6) ont été mises à l'essai. Ces autres solutions reflétaient l'augmentation de la productivité estimée par le MO révisé par rapport au MO précédent mis à jour en 2016 et 2019 (MPO 2016, MPO 2020).

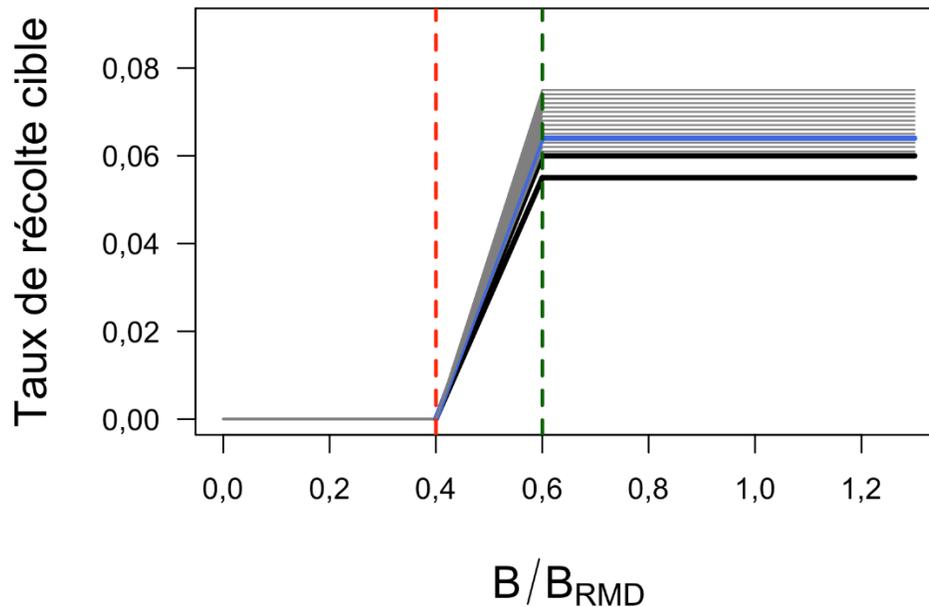


Figure 7 . Règles de contrôle des prises avec un taux de récolte cible maximal de 5,5 % (PG actuelle) et une gamme de taux de récolte cible maximal de 6 % à 7,5 % par incréments de 0,1 %. L'axe des abscisses est l'estimation du modèle de production excédentaire état-espace de  $B/B_{RMD}$ , à partir de laquelle le taux de récolte cible (axe des ordonnées) est déterminé. Chaque ligne montre une RCP qui a été mise à l'essai dans la simulation en boucle fermée, les lignes en gras montrant la RCP dans la PG actuelle et une RCP avec un taux de récolte cible de 6 %. Une RCP avec le taux de récolte optimal moyen pondéré de 6,4 % est représentée par une ligne bleue.

### Simulations de rétroaction en boucle fermée

Un nouveau cadre de simulation en boucle fermée pour tester les performances de la PG a été développé, ce qui a nécessité le développement d'une mise en œuvre dans TMB de la composante du modèle de production excédentaire état-espace de la PG. L'internalisation de tous les calculs requis pour la PG de rétroaction dans un cadre TMB a permis de réduire considérablement la surcharge de gestion des fichiers par rapport à l'ancienne mise en œuvre de TMB, rendant les simulations plus efficaces.

Des simulations de rétroaction en boucle fermée ont été réalisées à l'aide des cinq scénarios du modèle opérationnel utilisés pour estimer l'état des stocks. Pour chaque scénario du MO, les simulations ont été conditionnées en utilisant 100 tirages aléatoires de distributions a posteriori. La dynamique des populations et les incidences de la pêche ont ensuite été projetées dans l'avenir, une année à la fois. Pour chaque année, i) des données de capture et de relevé simulées ont été générées, ii) le modèle de production excédentaire état-espace a été ajusté aux données simulées, iii) la contrainte RCP et après RCP a été utilisée pour calculer une limite de prise, et iv) le modèle opérationnel a été mis à jour pour l'année suivante en fonction de la mortalité par pêche de la limite de prise et du nouveau recrutement. On a calculé la moyenne des mesures de rendement composites relatives à chacun des cinq objectifs de la pêche de la morue charbonnière pour les résultats des cinq scénarios en utilisant les pondérations de vraisemblance décrites ci-dessus.

Les résultats des simulations de rétroaction ont montré que toutes les PG potentielles ont atteint les objectifs de conservation de la biomasse (objectifs 1 et 2) et l'objectif de biomasse cible

(objectif 3) (tableau 2). Puisque les rendements des PG par rapport aux objectifs de conservation et de biomasse cible sont satisfaits, le choix des PG est largement lié à une décision de compromis entre le rendement et la probabilité de captures économiquement non viables (objectifs 4 et 5).

### Prise en compte des conditions environnementales

Une étude des variables environnementales (VE) susceptibles d’agir sur la dynamique des populations de morue charbonnière de la Colombie-Britannique a été entreprise dans le cadre de ce travail. Huit VE ont été sélectionnés pour être étudiées sur la base des relations précédemment publiées avec la dynamique des populations de morue charbonnière en Alaska, en Colombie-Britannique et sur la côte ouest des États-Unis. Des analyses de corrélation par paires ont ensuite été utilisées pour déterminer les variables qui étaient pertinentes pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique en 2022 en utilisant deux caractéristiques de population différentes : i) les écarts du recrutement par rapport à la relation stock-recrutement sous-jacente et ii) un indice morphologique de la condition corporelle de la morue charbonnière fondé sur le poids du poisson par rapport à sa longueur.

Aucune des VE prises en compte n’était une candidate particulièrement solide pour caractériser les conditions environnementales liées au recrutement de la morue charbonnière en Colombie-Britannique. Seuls deux VE, la température de surface de la mer (TSM) au printemps au large de la côte ouest de l’île de Vancouver et la productivité primaire au large au printemps, ont montré une faible corrélation avec la variabilité du recrutement. Les analyses de corrélation simples effectuées dans le cadre de ce travail représentent une première exploration des liens potentiels. Les recherches futures sur les facteurs environnementaux de la force de recrutement de la morue charbonnière pourraient envisager d’utiliser des modèles plus complexes pour expliquer la variabilité en fonction de multiples variables environnementales opérant à diverses échelles spatio-temporelles et à divers stades du cycle biologique.

Les incidences potentielles des changements environnementaux à long terme sur la morue charbonnière de la Colombie-Britannique sont inconnues; cependant, certaines recherches récentes en Alaska et en Colombie-Britannique ont examiné cette question. Dans la mer de Béring, une évaluation récente de la variabilité climatique a classé la morue charbonnière comme étant modérément vulnérable aux changements climatiques futurs (National Oceanic and Atmospheric Association [NOAA] 2019). La morue charbonnière a été jugée la plus sensible aux prévisions d’acidification des océans, suivie par les changements de la température du fond et de la surface de la mer. En Colombie-Britannique, une étude récente sur les populations de poissons de fond vulnérables aux engins de chalutage a révélé que la morue charbonnière présentait l’une des plus fortes augmentations des habitats convenables parmi les espèces de poissons de fond en réponse à l’augmentation de la température, ce qui en fait l’une des espèces les moins susceptibles de connaître des déclinés de population avec l’augmentation des températures (English *et al.* 2022).

Tableau 2. Paramètres de rendement de la gestion de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique, pondérés sur les cinq scénarios du modèle opérationnel, dans le cadre de la procédure de gestion actuelle (currMP) et de 16 autres PG. Les autres PG diffèrent par le taux de récolte cible maximal, et sont étiquetées « targHRx », où x indique le taux de récolte cible maximal. Un point noir (●) est utilisé pour montrer qu'une procédure de gestion atteint un objectif lorsqu'elle est mise à l'essai dans l'ensemble des cinq scénarios du modèle opérationnel. Les objectifs de capture 4 et 5 n'ont pas de seuil et sont représentés par des valeurs numériques, dont les unités sont des unités de probabilité (Obj. 4), et des tonnes (Obj. 5). Sont également indiqués les paramètres de rendement pour la variabilité annuelle moyenne des captures (VAM; unités = points de pourcentage), la limite de prise de 2022 ( $C_{2022}$ ; unités = tonnes), la capture moyenne non viable ( $E[C_t | C_t < 1,992]$ ; unités = tonnes), et la biomasse reproductrice femelle moyenne en 2057 ( $B_{2057}$ ; unités = tonnes).

PG	Obj. 1	Obj. 2	Obj. 3	Obj. 4	Obj. 5	VAM	$C_{2022}$	$E(C_t   C < 1992)$	$B_{2057}$
	Éviter le PRL	Éviter le déclin lorsque sous le PRS	Atteindre l'objectif	Éviter les prises non viables	Maximiser les prises				
currMP	●	●	●	0,98	3 148	3,95	2 494	1 683	33 067
targHR6	●	●	●	0,97	3 629	4,45	2 970	1 516	30 193
targHR6.1	●	●	●	0,97	3 680	4,55	3 019	1 476	29 898
targHR6.2	●	●	●	0,97	3 732	4,62	3 069	1 450	29 605
targHR6.3	●	●	●	0,97	3 783	4,68	3 119	1 403	29 315
targHR6.4	●	●	●	0,97	3 834	4,78	3 169	1 356	29 027
targHR6.5	●	●	●	0,97	3 885	4,85	3 219	1 344	28 743
targHR6.6	●	●	●	0,97	3 936	4,95	3 269	1 292	28 458
targHR6.7	●	●	●	0,97	3 987	5,05	3 318	1 251	28 182
targHR6.8	●	●	●	0,97	4 036	5,14	3 368	1 234	27 907
targHR6.9	●	●	●	0,96	4 087	5,19	3 418	1 208	27 636
targHR7	●	●	●	0,96	4 136	5,29	3 468	1 210	27 367
targHR7.1	●	●	●	0,96	4 185	5,39	3 518	1 184	27 103
targHR7.2	●	●	●	0,96	4 234	5,50	3 568	1 219	26 842
targHR7.3	●	●	●	0,95	4 283	5,64	3 618	1 237	26 580
targHR7.4	●	●	●	0,95	4 332	5,75	3 668	1 222	26 328
targHR7.5	●	●	●	0,94	4 380	5,86	3 718	1 266	26 077

Le risque potentiel associé au fait de ne pas inclure les VE dans le modèle opérationnel (ou la procédure de gestion) de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique semble faible à l'heure actuelle. Des recherches antérieures menées aux États-Unis ont montré qu'il y avait peu de différence dans les prévisions des modèles d'évaluation des stocks de morue charbonnière lorsqu'on compare les modèles qui incluent des VE à ceux qui n'en incluent pas, lorsque des données suffisantes sur les relevés et la composition par âge sont disponibles pour fournir des signaux de recrutement (Shotwell *et al.* 2014; Johnson *et al.* 2016), ce qui est le cas pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique. En outre, l'application annuelle de la PG pour la morue charbonnière fournit un lien de rétroaction fort entre les mesures de gestion actuelles et la réponse du stock, de sorte que la pression de pêche est réduite lorsque le stock est perçu comme étant en déclin, quel que soit le mécanisme sous-jacent. L'évaluation annuelle des tendances de l'abondance signifie également que les écarts par rapport aux performances de gestion prévues sont susceptibles d'être détectés rapidement, ce qui permet d'intervenir si nécessaire.

### Sources d'incertitude

L'approche du modèle d'ensemble permet d'intégrer à l'estimation de l'état du stock un sous-ensemble d'incertitudes structurelles clés des cinq spécifications du MO de la morue charbonnière. Cependant, il existe plusieurs incertitudes supplémentaires qui ne sont pas prises en compte dans les résultats du modèle opérationnel.

Le MO révisé suppose que le stock de morue charbonnière de la Colombie-Britannique est une population fermée et, à ce titre, ne tient pas compte du mouvement de la morue charbonnière dans les eaux américaines en Alaska et sur la basse côte ouest des États-Unis. Ces déplacements de la morue charbonnière entre la Colombie-Britannique et les États-Unis sont bien documentés grâce aux données de récupération des étiquettes. Les mouvements transfrontaliers peuvent avoir une incidence sur la dynamique des stocks de morue charbonnière en Colombie-Britannique qui n'est pas actuellement prise en compte par le modèle opérationnel révisé. Cependant, les programmes d'évaluation et de gestion active dans les trois régions fournissent des mises à jour fréquentes de l'état et des actions correctives pour réduire ou augmenter les captures selon les besoins.

Les futurs modèles opérationnels devraient explorer davantage les approches de recharge pour la modélisation des poissons rejetés afin de mieux prendre en compte la mortalité des rejets dans les simulations des modèles opérationnels. La formulation actuelle du MO de la morue charbonnière suppose que les poissons de taille inférieure à la taille légale sont capturés proportionnellement à leur abondance et aux quotas propres à chaque flotte; cependant, on ne s'attend pas à ce que ce soit le cas pour les secteurs de la pêche au chalut et, dans une certaine mesure, de la pêche à la palangre non dirigée, qui interceptent des morues charbonnières de taille inférieure à la taille légale dans des pêches ciblant d'autres espèces. Une mauvaise spécification de cette dynamique de rejets peut expliquer les mauvais ajustements aux données sur les rejets au cours des dernières années. Pour les futurs modèles opérationnels, on devrait envisager d'autres moyens de comptabiliser les rejets, tels qu'une sélectivité variant dans le temps ou une structure supplémentaire de la flotte qui rende compte du véritable processus avec plus de précision.

## CONCLUSIONS ET AVIS

Le modèle opérationnel révisé pour 2022 est approprié pour caractériser la dynamique du stock et de la pêche de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique, et devrait être utilisé dans

le cadre du processus d'ESG pour estimer l'état du stock et tester par simulation les procédures de gestion à venir. Le passage à la mise en œuvre du MO dans le logiciel TMB n'a pas présenté de problèmes majeurs et a offert plusieurs avantages par rapport à l'ancien cadre logiciel, notamment une meilleure convergence des chaînes a posteriori pour l'estimation de l'incertitude et une exécution plus rapide des simulations de rétroaction.

La morue charbonnière a été désignée comme étant un grand stock de poissons dans le Règlement de pêche en vertu de la *Loi sur les pêches* révisée, ce qui la rend donc assujettie aux dispositions relatives aux stocks de poissons. On s'attend à ce que les estimations de l'état des stocks par rapport aux points de référence soient un type d'information utilisé par le MPO pour évaluer la durabilité des pêches en vertu de la *Loi sur les pêches* (Marentette *et al.* 2021). L'annexe présente un résumé des éléments de la stratégie de récolte de la morue charbonnière qui démontrent la conformité avec ces règlements et l'alignement avec toutes les exigences de la politique canadienne sur l'approche de précaution (MPO 2009).

Selon une approche de modèle d'ensemble qui a incorporé les incertitudes clés de cinq scénarios du modèle opérationnel, on estime que le stock de morue charbonnière en Colombie-Britannique sera bien au-dessus de la biomasse cible de  $B_{RMD}$  en 2022. Il y a une très forte probabilité que le stock soit supérieur au PRL (100 %) et au PRS (99 %) en 2022, et une très forte probabilité que le taux de capture légal en 2021 soit inférieur à  $U_{RMD}$ .

Toutes les PG qui ont été évaluées ont atteint les objectifs de conservation et de biomasse cible, et le choix de la future procédure de gestion peut être fait sur la base des paramètres de rendement des captures. La variation du taux de capture cible a produit des compromis entre la probabilité d'éviter une capture économiquement non viable (objectif 4) et la capture maximale moyenne (objectif 5). Cependant, le contraste se situe surtout au niveau du rendement moyen des captures, puisque toutes les PG ont montré une probabilité de 94 % à 98 % d'éviter une capture non viable.

Les variables environnementales susceptibles d'agir sur la dynamique des populations de morue charbonnière de la Colombie-Britannique ont été examinées par le biais de corrélations par paires entre huit VE, le recrutement annuel et un indice de condition corporelle. Aucune des VE n'était fortement corrélée au recrutement. Bien que l'incidence des changements climatiques sur la morue charbonnière de la Colombie-Britannique ne soit pas connue, des recherches récentes indiquent que l'augmentation de la température pourrait accroître les habitats convenables pour la morue charbonnière. Le risque potentiel associé au fait de ne pas inclure les variables environnementales dans le modèle opérationnel (ou la procédure de gestion) de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique semble faible à l'heure actuelle.

L'évaluation de la stratégie de gestion est un processus itératif visant à améliorer les résultats de la gestion au fil du temps. Il est recommandé que les modèles opérationnels de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique soient réévalués à des intervalles de trois à cinq ans afin d'en vérifier la pertinence. À ce moment-là, les estimations de l'état du stock de morue charbonnière de la Colombie-Britannique seront également mises à jour et les procédures de gestion seront révisées afin de maintenir le rendement souhaité par rapport aux objectifs de conservation et de rendement.

## AUTRES CONSIDÉRATIONS

L'augmentation de la fréquence de l'échantillonnage biologique des captures des flottes de palangriers à hameçon et de chaluts a été soulignée comme une recommandation clé pour la recherche; ces données sont nécessaires pour soutenir l'estimation de la sélectivité de la pêche pour les engins de palangriers à hameçon et de chaluts. Dans le cas des pêches à la palangre

avec hameçon, il faudra travailler avec les pêcheurs commerciaux pour augmenter les taux d'échantillonnage. Dans le cas de la pêche au chalut, cela nécessitera le développement d'un nouveau programme d'échantillonnage des captures pour remplacer le programme d'observation en mer qui a été abandonné avec le passage à la surveillance électronique en 2020. L'efficacité de ces deux efforts nécessite également une capacité adéquate pour vieillir les échantillons collectés.

D'autres priorités importantes pour le développement futur du MO comprennent une approche révisée de la modélisation des poissons rejetés en mer qui rend mieux compte de la dynamique de ces rejets. L'élaboration de scénarios d'OM qui tiennent compte des mouvements transfrontaliers de la morue charbonnière entre le Canada et les États-Unis est une priorité de recherche à plus long terme. Il est recommandé d'apporter un soutien continu au programme de marquage de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique afin de garantir la disponibilité de données de haute qualité pour appuyer l'élaboration de scénarios de déplacement.

**LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION**

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Organisme d'appartenance</b>
Acheson	Chris	Canadian Sablefish Association
Christensen	Lisa	Direction des sciences du MPO - Centre des avis scientifiques du Pacifique
Cox	Sean	Université Simon-Fraser / Landmark Fisheries Research
English	Philina	Direction des sciences du MPO
Forrest	Robyn	Direction des sciences du MPO
Gibson	Darah	Gestion des pêches, MPO
Haltuch	Melissa	National Oceanic and Atmospheric Administration
Hicks	Allan	Commission internationale du flétan du Pacifique
Holt	Kendra	Direction des sciences du MPO
Johnson	Samuel	Landmark Fisheries Research
Kapur	Maia Sosa	National Oceanic and Atmospheric Administration
Kronlund	Rob	Interface Consulting
Lacko	Lisa	Direction des sciences du MPO
Mazur	Mackenzie	Direction des sciences du MPO
Mose	Brian	Deep Sea Trawlers Association of BC
Muirhead-Vert	Yvonne	Direction des sciences du MPO - Centre des avis scientifiques du Pacifique
Rogers	Luke	Direction des sciences du MPO
Rooper	Chris	Direction des sciences du MPO
Schut	Steve	Direction des sciences du MPO
Sporer	Chris	Pacific Halibut Management Association
Tadey	Rob	Gestion des pêches, MPO
Turcotte	François	Direction des sciences du MPO - Golfe
Turris	Bruce	Canadian Groundfish Research and Conservation Society
Wyeth	Malcolm	Direction des sciences du MPO

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion régionale par les pairs du 15 au 16 novembre 2022 sur un modèle opérationnel révisé pour la morue charbonnière en Colombie-Britannique en 2022. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

Cox, S.P., and Kronlund, A.R. 2008. Practical stakeholder-driven harvest policies for groundfish fisheries in British Columbia, Canada. *Fisheries Research* 94: 224–237.

Cox, S.P., Kronlund, A.R., and Benson, A.J. 2013. The roles of biological reference points and operational control points in management procedures for the Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fishery in British Columbia, Canada. *Environmental Conservation* 40: 318–328.

Cox, S., Holt, K., et Johnson, S. 2019. [Évaluation de la robustesse des procédures de gestion des pêches à la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en Colombie-Britannique, au Canada, pour 2017-2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/032. vi + 87 p.

English, P.A., Ward, E.J., Rooper, C.N., Forrest, R.E., Rogers, L.A., Hunter, K.L., Edwards, A.M., Connors, B.M., and Anderson, S.C. 2022. Contrasting climate velocity impacts in warm and cool locations show that effects of marine warming are worse in already warmer temperate waters. *Fish and Fisheries* 23(1): 239–255.

Fournier, D.A., Skaug, H.J., Ancheta, J., Ianelli, J., Magnusson, A., Maunder, M.N., Nielsen, A., and Sibert, J. 2012. AD model builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optimization Methods and Software*, 27(2):233–249.

Johnson, K., Rudd, M., Pons, M., Akselrud, C., Lee, Q., Hurtado-Ferro, F., Haltuch, M., and Hamel, O. 2016. Status of the U.S. Sablefish resource in 2015. Pacific Fisheries Management Council, Portland, OR.

Kristensen, K., Nielsen, A., Berg, C.W., Skaug, H., and Bell, B. 2015. TMB: Automatic differentiation and Laplace approximation. arXiv preprint arXiv:1509.00660.

Marentette, J.R., Kronlund, A.R., Healey, B., Forrest, R., et Holt, C. 2021. [Favoriser la durabilité dans le contexte des dispositions concernant les stocks de poissons et du cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/062. viii + 60 p.

MPO. 2009. [Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution](#).

MPO. 2014. [Rendement d'une procédure révisée de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/025.

MPO. 2016. [Élaboration du modèle d'exploitation de la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en Colombie-Britannique, au Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/015.

MPO. 2017. [Un modèle révisé d'exploitation de la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en Colombie-Britannique, au Canada, pour 2017-2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/017.

MPO. 2020. [Évaluation de la robustesse des procédures de gestion proposées pour la pêche à la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en C.-B., 2019-2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/025.

National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA). 2019. [Bering Sea Vulnerability Assessment: Species Specific Results.](#)

Shotwell, S.K., Hanselman, D.H., and Belkin, I.M. 2014. Toward biophysical synergy: Investigating advection along the Polar Front to identify factors influencing Alaska sablefish recruitment. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 107: 40–53.

## ANNEXE

Tableau A-1. Conformité du système de gestion de la morue charbonnière aux dispositions sur les stocks de poissons et à la politique de l'AP (MPO 2009). Les estimations de l'état des stocks sont basées sur un composite pondéré des cinq scénarios du modèle opérationnel de 2022 décrits dans le présent document. Il convient de noter que la probabilité d'un résultat est indiquée par  $P(\text{résultat})$ , p. ex. la probabilité que la biomasse reproductrice femelle soit supérieure à  $B_{RMD}$  est désignée par  $P(B > B_{RMD})$ . La classification des niveaux de probabilité est basée sur celle du MPO (2009), la mention « très élevé » indiquant une probabilité supérieure à 95 % d'un résultat donné et la mention « élevé » indiquant une probabilité de 75 à 95 %.

Composante de stratégie de pêche	Description
Stock	Morue charbonnière (Pacifique, toute la côte)
Paradigme de gestion	<p>Évaluation de la stratégie de gestion (ESG) Procédure de gestion (PG, définie ci-dessous) mise à l'essai par simulation pour des TAC annuels compatibles avec les objectifs (définis ci-dessous).</p> <p>Modèles opérationnels mis à jour selon un cycle de trois à cinq ans pour l'évaluation des stocks et les mises à l'essai des PG.</p>
Points de référence	<p>Points de référence basés sur le RMD exprimés par la biomasse reproductrice femelle et estimés selon un cycle d'évaluation de l'ESG/des stocks de trois à cinq ans :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Point de référence limite : <math>PRL = 0,4B_{RMD}</math></li> <li>- Point de référence supérieur du stock : <math>PRS = 0,8B_{RMD}</math></li> <li>- Point de référence cible : <math>PRC = B_{RMD}</math></li> </ul>
Modèle d'évaluation/opérationnel	<p>Ensemble pondéré de cinq modèles statistiques de prises selon l'âge et le sexe, avec incertitude caractérisée par des probabilités a posteriori de Bayes.</p> <p>Modèles d'évaluation/opérationnels ajustés aux indices de biomasse (pêches et deux relevés), à la composition par âge (pêches et deux relevés) et aux rejets de morue charbonnière de taille non légale, ainsi qu'aux données auxiliaires provenant de plus de 30 ans de programmes de marquage et de récupération des étiquettes.</p>
Procédure de gestion	
a. Données	<p>CPUE dans la pêche (1979-2009) Relevé normalisé au piège (1990-2009) Relevé aléatoire stratifié au piège (2003-2021). Débarquements (1965-2021)</p>
b. Méthode d'évaluation	<p>Modèle de production état-espace de Schaefer ajusté aux données décrites en (a)</p>



Composante de stratégie de pêche	Description
Critères de rétablissement	<p><i>Entrée :</i> État du stock en année terminale estimé égal ou inférieur au PRL avec une probabilité supérieure à 50 %.</p> <p><i>Sortie (état rétabli) :</i> À élaborer.</p>
Prise en compte des conditions environnementales	<p>Les mécanismes par lesquels les conditions environnementales touchent la morue charbonnière de la Colombie-Britannique ne sont pas compris à l'heure actuelle. Une première étude de sept variables environnementales (VE) a montré qu'aucune d'entre elles n'était fortement corrélée au recrutement. Bien que l'incidence des changements climatiques sur la morue charbonnière de la Colombie-Britannique soit également inconnue, des recherches récentes indiquent que l'augmentation de la température pourrait accroître les habitats propices de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique.</p>

## CE 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](mailto:DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca)

Adresse Internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-47388-8 Cat No. Fs70-6/2023-010F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par la ministre des Pêches et des Océans, 2023



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2023. Modèle opérationnel révisé pour la morue charbonnière en Colombie-Britannique en 2022. Secr. can. des avis. sci. du MPO. Avis sci. 2023/010.

*Also available in English:*

DFO. 2023. A Revised Operating Model for Sablefish in British Columbia in 2022. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2023/010.