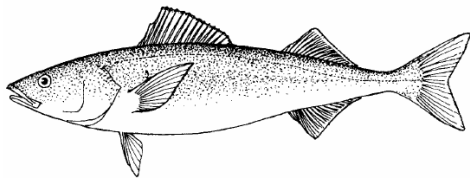




ÉLABORATION DU MODÈLE D'EXPLOITATION DE LA MORUE CHARBONNIÈRE (*ANOPOPOMA FIMBRIA*) EN COLOMBIE-BRITANNIQUE, AU CANADA



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

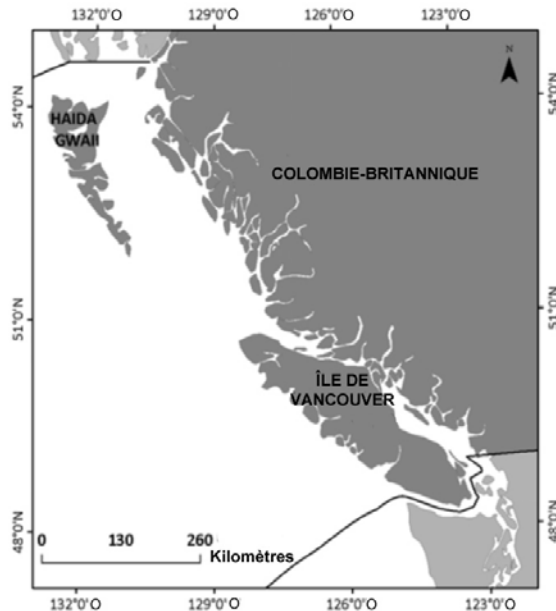


Figure 1: Zone d'évaluation et de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique (n'inclut pas les monts sous-marins).

Contexte :

Pêches et Océans Canada (MPO) et l'industrie de la pêche de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique (C.-B.) 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. La durabilité des stratégies de pêche est déterminée par des simulations testant des procédures de gestion de recharge dans des modèles d'exploitation qui représentent une fourchette d'hypothèses concernant la dynamique incertaine des stocks de morue charbonnière.

Les modèles d'exploitation de la morue charbonnière existants ont été élaborés en 2010 pour représenter les autres hypothèses relatives aux processus essentiels à la dynamique des populations. Ces modèles d'exploitation ont été ajustés aux données disponibles pour l'industrie de la pêche de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique pour évaluer les paramètres du modèle conditionnels à chacune des hypothèses pour les futurs tests de simulation des procédures de gestion de remplacement.

La Gestion des pêches a demandé au Secteur des sciences de poursuivre l'élaboration du modèle d'exploitation de la morue charbonnière afin d'améliorer la structure du modèle et la capacité à représenter des processus biologiques et halieutiques incertains avant la mise sur pied d'un processus collaboratif complet d'évaluation des stratégies de gestion prévue pour 2016-2017.

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 20 janvier 2016 sur l'Élaboration du modèle d'exploitation de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) en Colombie-Britannique, au Canada. 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 stratégie de pêche de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique (*Anoplopoma fimbria*) est conçue d'après une procédure de gestion testée par l'intermédiaire de simulations par rapport aux scénarios de modèle d'exploitation qui saisissent les incertitudes quantifiables dans la dynamique des stocks de morue charbonnière et dans les pêches. Un modèle d'exploitation révisé qui tient compte des mauvaises spécifications structurelles et de l'absence de concordance par rapport aux observations clés reconnues dans le modèle d'exploitation de 2010 (Cox *et al.*, 2011; MPO, 2011) a été revu lors d'une réunion régionale d'examen par les pairs qui s'est déroulée le 20 janvier 2016.
- Le modèle d'exploitation révisé est un modèle statistique utilisant plusieurs appareils, qui est structuré selon l'âge et qui est fondé sur les prises selon l'âge. Il comporte des modifications, à savoir :
 - (i.) Mise en œuvre d'un modèle de croissance des deux sexes afin de tenir compte des différences dans la croissance, la mortalité et la maturation des morues charbonnières mâles et femelles.
 - (ii.) Application d'une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge aux proportions selon l'âge du modèle.
 - (iii.) Estimation des distributions antérieures aux fins de sélectivité de la pêche à partir des données de marquage afin de permettre une sélectivité variant dans le temps pour chaque pêche.
 - (iv.) Révision de la manière dont les données sur la composition selon l'âge sont modélisées afin de réduire la sensibilité aux petites proportions d'âge, en particulier dans le groupe d'âge de 35 ans et plus.
- Le modèle d'exploitation révisé a été adapté aux données sur les prises des morues charbonnières débarquées (1965-2015), à trois indices liés à l'abondance totale et à la composition selon l'âge (1990-2015), ainsi qu'aux remises à l'eau (1996-2015) dans chacune des pêches commerciales afin d'évaluer la qualité du modèle et la concordance avec les données historiques, deux éléments importants pour les simulations en boucle fermée concernant la stratégie de pêche. La sensibilité des estimations de la biomasse établies par le modèle d'exploitation aux données d'entrée et aux hypothèses antérieures a été évaluée en exécutant le modèle avec différentes combinaisons de pondération de données sur les indices d'abondance, des données sur la composition selon l'âge des mâles et des femelles, et en incluant une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge, ce qui permet d'obtenir sept scénarios de données (D1-D7).
- Les estimations de l'état du stock de morue charbonnière, de la productivité et des tendances de la biomasse au cours des dernières années produites par le modèle d'exploitation révisé concordent avec les précédentes simulations de la stratégie de pêche. Le modèle d'exploitation révisé a estimé des taux de récolte pour les morues charbonnières qui n'atteignent pas la taille réglementaire (longueur à la fourche < 55 cm) qui sont bien supérieurs (7-8 %) aux taux de récolte des poissons qui n'atteignent pas la taille réglementaire estimés par le modèle d'exploitation de 2010 (1-2 %).
- Bien qu'une analyse des données de marquage appuie l'hypothèse selon laquelle la sélectivité selon la taille dans l'ensemble des pêches commerciales à la morue charbonnière a changé avec le temps, les modèles présentant une sélectivité constante étaient plus stables que les modèles variant dans le temps et avaient tendance à produire

de meilleures concordances avec les données historiques, en particulier pour les remises à l'eau.

- Les nouvelles caractéristiques du modèle d'exploitation révisé (structure adaptée aux deux sexes, matrice d'erreur dans la détermination de l'âge) sont appropriées et suivent la pratique normale des sciences halieutiques. Les estimations du recrutement avec une autocorrélation réduite, de meilleures concordances avec le groupe d'âge de 35 ans et plus et le profil temporel des remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut depuis 2000 jusqu'à aujourd'hui constituent des réalisations remarquables. Toutefois, l'absence de concordance avec certaines remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut (1996 à 1999) et de la pêche au casier (2006 et 2007) requiert une enquête plus poussée. D'après ces constatations, le modèle d'exploitation révisé constitue une amélioration par rapport au modèle d'exploitation de 2010 et il est recommandé pour les simulations de la stratégie de pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique.
- Six des sept scénarios de données (D2-D7) représentent des scénarios de modèle d'exploitation plausibles concernant la taille et la productivité du stock. Ils sont recommandés pour les évaluations futures des procédures de gestion de la morue charbonnière. Le modèle D2 (modèle prenant en compte les deux sexes et comportant une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge qui est appliquée aux âges du modèle) a été adopté en tant que modèle d'exploitation de base. On recommande d'étudier le scénario D3, qui est identique au scénario D2 avec, néanmoins, une série chronologique du recrutement estimé plus courte (1990-2015) en tant qu'autre modèle d'exploitation de base, car il peut réduire le comportement inadéquat du modèle qui se produit en raison du peu de données disponibles au début de la période historique.
- Le modèle d'exploitation révisé ne tient pas compte de la dynamique spatiale entre les stocks de morue charbonnière sur la côte ouest de l'Amérique du Nord. Les interactions avec les stocks dans les eaux des États-Unis (É.-U.) (Alaska, sud de la Colombie-Britannique) en raison de mouvements transfrontaliers peuvent avoir des effets importants sur la dynamique des stocks de morue charbonnière en Colombie-Britannique qui ne sont pour le moment pas pris en compte par les modèles d'exploitation révisés.
- L'élaboration de modèle future devrait explorer des manières de mieux intégrer pleinement les données de marquage aux modèles d'exploitation structuré selon le sexe et l'âge afin de remédier aux problèmes liés aux corrélations entre les estimations de la biomasse non pêchée (B_0), à la variation de la relation stock-recrutement (h) et à la sélectivité fondée sur la longueur.
- Un échantillonnage non uniforme des données liées à la composition selon l'âge des prises commerciales (seules les données sur la composition selon l'âge dans le cadre de la pêche au casier sont actuellement disponibles) a contribué aux problèmes liés au modèle systématiquement observés pendant les évaluations de la stratégie de pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique (Cox *et al.*, 2011; MPO, 2011, 2014). Il est recommandé d'établir un programme d'échantillonnage des prises commerciales correctement conçu et de l'appliquer dans l'ensemble de l'industrie des pêches.
- L'évaluation de la stratégie de pêche représente un processus itératif de changement et d'amélioration. Il est recommandé de réévaluer le caractère adéquat des modèles d'exploitation de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique tous les cinq ans.

INTRODUCTION

Des objectifs de pêche mesurables et quantifiables guident le processus d'évaluation de la stratégie de gestion (ESG) concernant la pêche à la morue charbonnière de la Colombie-Britannique (*Anoplopoma fimbria*). Les objectifs sont élaborés dans le cadre de consultations entre des gestionnaires des pêches, des scientifiques et des intervenants de l'industrie, et ils sont sélectionnés précisément pour être conformes au cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution du MPO (MPO, 2009). Les objectifs ont été révisés à chaque étape du processus d'ESG afin de refléter les préoccupations de l'industrie et les mises à jour du MPO concernant la politique sur les pêches.

La stratégie de pêche à la morue charbonnière existante comporte quatre composantes :

1. Des objectifs opérationnels des pêches utilisés pour évaluer l'acceptabilité des autres procédures de gestion.
2. Une procédure de gestion qui précise les données utilisées (prises débarquées totales et trois indices liés à l'abondance), une méthode d'évaluation (modèle de production réglé Schaefer de type état-espace) et une règle prudente de contrôle des prises utilisant les points de références B_{MSY} , F_{MSY} et la biomasse exploitable estimée par le modèle de production.
3. Une évaluation fondée sur la simulation concernant la procédure de gestion par rapport à plusieurs modèles d'exploitation représentant d'autres hypothèses relatives à la dynamique des stocks de morue charbonnière.
4. L'application et la surveillance de la procédure de gestion utilisée.

Les objectifs opérationnels et les composantes de la procédure de gestion de l'évaluation de la stratégie de pêche ont été élaborés en même temps (Cox *et al.*, 2011, 2013) et les essais de simulation réalisés à ce jour sont fondés sur un modèle d'exploitation sélectionné dans le cadre d'un processus de 2010. Les mauvaises spécifications structurelles potentielles (données liées aux sexes combinés, hypothèse liée à une sélectivité constante) et l'absence de concordance avec les observations clés (accumulateur selon la classe d'âge pour le groupe de 35 ans et plus et remises à l'eau dans le cadre de la pêche commerciale au chalut) ont été reconnues comme étant les principaux domaines d'amélioration du modèle d'exploitation de 2010. Dans le présent document, le modèle d'exploitation de la morue charbonnière a été révisé pour traiter ces problèmes, et la qualité et la concordance du modèle par rapport aux données historiques ont été évaluées.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Gestion de la pêche à la morue charbonnière

La morue charbonnière est exploitée par des pêches dirigées aux casiers, à la palangre et au chalut. Elle est aussi capturée dans le cadre de pêches non dirigées à la palangre qui visent le flétan du Pacifique (*Hippoglossus stenolepis*), le sébaste (*Sebastes* sp.) et la morue-lingue (*Ophiodon elongatus*). Les pêches à la morue charbonnière en Colombie-Britannique sont gérées par l'intermédiaire de quotas individuels transférables (QIT) alloués chaque année à 48 titulaires de permis de pêche à la morue charbonnière (cela représente 91,25 % du total autorisé des captures [TAC]) et à 139 titulaires de permis de pêche au poisson de fond avec chalut (8,75 % du TAC). Les pêcheurs pratiquant la pêche dirigée (ceux qui ciblent la morue charbonnière) et la pêche commerciale non dirigée au poisson de fond doivent obtenir un QIT pour rendre compte des mortalités de la morue charbonnière débarquée ou remise à l'eau. En vertu de la réglementation depuis 1977, la morue charbonnière doit être remise à l'eau lorsque

sa longueur à la fourche est inférieure à 55 cm. La pêche intégrée au poisson de fond en C.-B. (MPO 2013) débute le 21 février de l'année en cours et se termine le 20 février de l'année suivante, avec des indemnités pour le report des dépassements et des déficits de quotas. Le TAC pour l'année de pêche 2015-2016, à l'exception des dépassements et des déficits de quotas, a été fixé à 1 992 tonnes métriques (t), une baisse par rapport aux 2 129 tonnes autorisées pendant l'année de pêche 2014-2015.

Les débarquements de morue charbonnière ont varié de 1 713 tonnes (2014) à 7 408 tonnes (1975) depuis 1969 et étaient en moyenne de 4 741 tonnes chaque année pendant la période de 1969 à 1999 (figure 2). Les débarquements ont diminué de 4 642 tonnes en 2005 à 1 713 tonnes en 2014, suivant la réduction du TAC au cours de la même période.

Avant 1996, la déclaration des remises à l'eau était volontaire, principalement par le secteur de la pêche au chalut, et d'importantes remises à l'eau ont été signalées au cours des quelques années qui ont suivi l'occurrence de la grande classe d'âge de 1977. Les remises à l'eau de la morue charbonnière signalées par le secteur de la pêche au chalut ont augmenté en 1996, lorsque le programme des observateurs en mer a été mis en œuvre, et ont sensiblement augmenté après 2006 lorsque la vérification de la surveillance électronique en mer a été largement introduite. La mortalité attribuable aux remises à l'eau de morue charbonnière dont la longueur à la fourche est supérieure à 55 cm est déduite des QIT à partir des estimations du taux de mortalité due aux engins de pêche, selon le type d'engin.

La mortalité des poissons remis à l'eau représente une grande incertitude dans l'estimation de la mortalité par pêche (F) de la morue charbonnière, puisque la mortalité attribuable aux remises à l'eau n'est pas mesurée. Les déterminants de la mortalité découlant des remises à l'eau de la morue charbonnière sont liés au type d'engin, aux différences en fonction de la taille observées dans la sensibilité au stress provoqué par les facteurs environnementaux qui interagissent, ainsi qu'à la mortalité retardée à la suite de la remise à l'eau en raison des effets cumulatifs du stress ou de la prédation qui suit la remise à l'eau. Des déductions sont faites à partir des quotas lorsque les morues charbonnières de taille réglementaire sont remises à l'eau. Toutefois, aucune déduction de quotas n'est appliquée aux remises à l'eau de poissons qui n'ont pas atteint la taille réglementaire, car ces derniers doivent être relâchés en vertu de la réglementation (MPO, 2014).

Biologie

La morue charbonnière est caractérisée par une croissance rapide à un jeune âge qui est suivie d'une croissance extrêmement lente à un âge plus avancé (Kimura *et al.*, 1993). L'espèce présente une croissance sexuellement dimorphe. Les femelles atteignent une taille selon l'âge plus importante que les mâles après la maturation, à l'âge de cinq ou sept ans environ. On pense que la morue charbonnière en Colombie-Britannique et en Alaska fraie de janvier à avril (Beamish et McFarlane, 1983, Hanselman *et al.*, 2015), et que sa période de frai atteint son pic en février. .

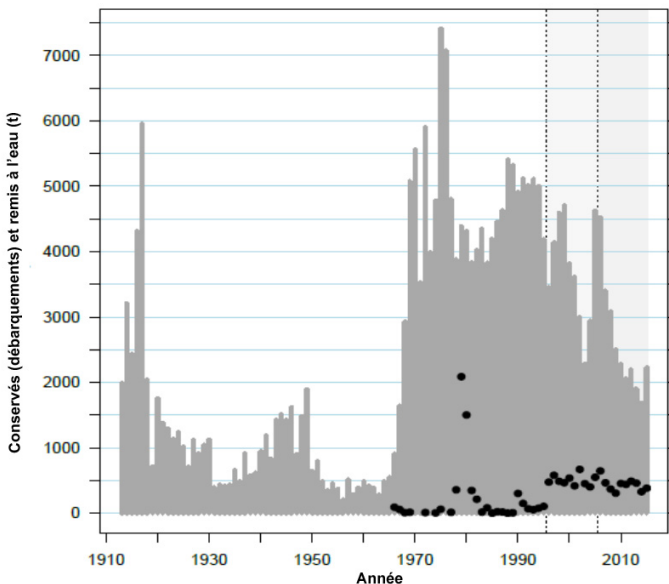


Figure 2. Prises annuelles conservées de morue charbonnière (tonnes métriques, t) de 1913 à 2015 à partir de sources commerciales (barres grises). Les prises annuelles remis à l'eau sont indiquées comme étant déclarées. Les lignes pointillées verticales délimitent la période d'observateurs en mer pour la pêche au chalut de 1996 à 2006. Les données sur les prises pour 2015 sont complètes jusqu'au 31 octobre pour les prises conservées (barres grises) et remis à l'eau (cercle noir).

ANALYSE

Quatre modifications au modèle d'exploitation de 2010 ont été mises en œuvre et testées par Cox *et al.*¹ :

1. remplacement d'un modèle d'exploitation structuré selon l'âge et le groupe de croissance, dans lequel les sexes sont combinés, par un modèle des deux sexes structuré selon l'âge afin de tenir compte des différences liées au sexe observées dans la croissance, la mortalité et la maturation de la morue charbonnière;
2. ajustement des proportions selon l'âge du modèle à l'aide d'une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge afin d'améliorer la concordance du modèle avec les données observées liées à la composition selon l'âge;
3. évaluation des effets d'une sélectivité de la pêche variant dans le temps, qui a été estimée à partir des données sur la montaison obtenues grâce au marquage de la morue charbonnière, sur le rendement du modèle pour ce qui est de la concordance avec les données liées à la composition selon l'âge et les remis à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut;
4. révision de la manière dont les données sur la composition selon l'âge sont modélisées pour réduire la sensibilité du modèle d'exploitation aux petites proportions d'âge.

Un modèle d'exploitation des deux sexes et structuré selon l'âge a été adapté aux prises débarquées dans le cadre de la pêche (1965-2015), , aux indices d'abondance totale et aux

¹ Cox, S.P., Kronlund, A.R., Lacko, L., and Jones, M. A revised operating model for Sablefish in British Columbia, Canada. CSAP Working Paper 2014GRF03. In revision.

données sur la composition selon l'âge provenant de la pêche au casier (1999-2015), au relevé normalisé (1991-2009), au relevé aléatoire stratifié (2003-2014) et aux remises à l'eau (2006-2015) dans les pêches commerciales à la palangre, à la palangre et au casier, et au chalut. La longueur moyenne de la morue charbonnière (en cm) pour l'âge a est modélisée à l'aide d'une fonction de croissance de Von Bertalanffy avec des taux de croissance propres au sexe, d'après une analyse documentaire des estimations actuellement utilisées dans les évaluations d'un stock de morue charbonnière aux États-Unis. Bien que des taux de croissance estimés puissent être établis à partir d'échantillons biologiques prélevés en Colombie-Britannique, nous croyons que ces estimations sont fortement biaisées et n'ont pas été utilisées, car elles conduiraient à des estimations optimistes de l'état du stock d'après les points de référence pour la pêche. Cependant, les estimations des paramètres de croissance de la morue charbonnière en Colombie-Britannique pourraient être envisagées pour des modèles d'exploitation de rechange possibles dans le cadre des évaluations de la stratégie de gestion.

Une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge décrit comment les véritables proportions selon l'âge sont réparties parmi les catégories d'âge adjacentes en raison d'une sous-estimation ou d'une surestimation des âges des poissons. Puisqu'aucune matrice d'erreur dans la détermination de l'âge n'est disponible pour la morue charbonnière canadienne plus âgée, une matrice a été mise au point d'après Hanselman *et al.* (2012), qui a utilisé des poissons d'âge connu issus des études de marquage afin d'établir un lien d'erreur dans la détermination de l'âge pour la morue charbonnière de l'Alaska âgée de 3 à 18 ans. On a supposé que les valeurs des paramètres du modèle géométrique pour les âges compris entre 10 et 18 ans s'appliquaient à tous les poissons âgés de 18 ans et plus.

La sélectivité selon la taille dans le cadre de la pêche a été estimée d'après les données portant sur la remise à l'eau et la récupération de poissons étiquetés qui ont été recueillies de 1996 à 2012. On a supposé que la mortalité naturelle était constante pour l'ensemble des catégories de taille comprises dans l'analyse. Les récupérations annuelles ont été restreintes à la morue charbonnière recapturée dans l'année qui suit sa remise à l'eau et séparée par l'engin de récupération et en fonction de la catégorie de longueur de façon à ne pas avoir à estimer les taux de croissance nécessaires dans le cas de récupérations pluriannuelles.

Données d'entrée

Les observations liées à l'indice de biomasse sont composées de données dépendantes de la pêche (p. ex. observations relatives aux taux de prises [CPUE] provenant de la pêche) et de données qui ne dépendent pas de la pêche (p. ex. relevé normalisé dans un emplacement précis et relevé aléatoire stratifié). Les CPUE de 1988 à 2009 fournissent la seule source de données qui va jusqu'aux années 1980 lorsque certaines des cohortes les plus importantes et les plus influentes ont intégré la pêche et dominé la dynamique pendant des années. La série chronologique des CPUE remonte à 1979, mais les observations pendant la période 1979-1987 ont été retirées, car la pêche au casier ne faisait que commencer à cette époque et les taux de prise semblaient différents sur le plan qualitatif (et plus bas). Dans les études précédentes, les tendances estimées relatives à l'abondance avec ou sans les observations de la période 1979-1987 sont semblables, probablement parce que le modèle d'exploitation correspond mal à ces observations. Les CPUE et les séries chronologiques des CPUE du relevé standard (indice indépendant de la pêche) ont été tronquées à l'année 2009 d'après les résultats des analyses de simulation (Cox *et al.*, 2011). Les CPUE du relevé aléatoire stratifié constituent la principale source d'information indépendante de la pêche sur la tendance relative à l'abondance depuis 2009 pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique.

L'information sur les changements dans la structure selon l'âge de la population comporte des proportions selon l'âge dans les prises de la pêche au casier (1982-2009 avec plusieurs années manquantes), des relevés normalisés (1990-2009) et un relevé aléatoire stratifié (2003-214). Des données sur la composition selon l'âge sont disponibles jusqu'en 1979; toutefois, des données issues de la période 1979-1984 n'ont pas été utilisées, car elles n'ont pas fait l'objet d'un échantillonnage aléatoire ou étaient fondées sur des petites tailles d'échantillons. Le modèle d'exploitation estime les véritables proportions selon l'âge, qui sont ensuite ajustées par la matrice d'erreur dans la détermination de l'âge pour tenir compte des erreurs dans la détermination de l'âge. Un poids égal a été attribué à chaque spécimen pour chacune des trois sources de données. La première classe d'âge a été établie à trois ans et un groupe « plus » a été créé pour les poissons âgés de 35 ans et plus. Les données sur la composition selon l'âge ne suivent pas efficacement dans le temps les fortes cohortes de morue charbonnière. Les proportions selon l'âge déterminées par le relevé indiquent une meilleure cohérence dans le suivi de la cohorte avec le temps, le relevé aléatoire stratifié étant le plus uniforme pour ce qui est du suivi des fortes cohortes observées chez la morue charbonnière d'Alaska. En outre, les données sur la composition selon l'âge des femelles semblent indiquer des tendances de cohorte plus claires par rapport aux données sur la composition selon l'âge des mâles. Les tendances de cohortes plus claires dans les données sur la composition selon l'âge des femelles pourraient découler des différences dans les erreurs dans la détermination de l'âge pour chaque sexe ou des différences dans les déplacements dans les eaux de la Colombie-Britannique ou en dehors de ces dernières.

Sept scénarios de données (d1-D7) ont été élaborés et utilisés pour tester le modèle d'exploitation (tableau 1). Ces scénarios sont composés de différentes combinaisons de pondérations des données sur les indices liés à l'abondance, des données sur la composition selon l'âge des mâles et des femelles, et d'une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge. Le scénario de données D1 représente la solution de rechange structurée selon le sexe au précédent modèle d'exploitation de 2010 structuré selon l'âge utilisé pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique (p. ex. Cox *et al.*, 2011). Le modèle D2 est considéré comme étant le modèle de base. Il s'agit du même modèle que le D1 et comporte l'ajout d'une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge appliquée aux âges du modèle. Le scénario du modèle D3 est identique au modèle D2 avec, néanmoins, une série chronologique du recrutement estimé plus courte (1990-2015). Il est inclus, car il peut réduire le comportement pathologique qui se produit en raison des renseignements inadéquats disponibles au début de la période historique. Les modèles D4 à D7 éliminent ou sous-pondèrent, de manière séquentielle, les données jusqu'à ce qu'il ne reste que le relevé aléatoire stratifié dans le modèle D7. Le scénario D4 examine les répercussions de l'utilisation des CPUE en tant qu'indice de la biomasse, le D5 réduit l'influence des données sur la composition selon l'âge chez les mâles issues du relevé standard (qui semble indiquer de grandes proportions dans la classe d'âge de 35 ans et plus), le D6 utilise uniquement l'indice de biomasse issu du relevé aléatoire stratifié, et le D7 constitue le modèle le plus réduit s'appuyant sur un relevé uniquement dont la mise en œuvre reste faisable.

Tableau 1 : Scénarios de données créés en excluant des séries de données particulières et des corrections d'erreurs dans la détermination de l'âge. Les poids indiqués suivent l'ordre suivant : pêche au casier, relevé normalisé et relevé aléatoire stratifié. Les poids constituent des multiplicateurs des probabilités des données. Par exemple, une pondération de 50 % sur toutes les composantes de probabilité liée aux âges pour les mâles est indiquée par (0,5, 0,5, 0,5). Les étiquettes longues et courtes indiquent des séries de recrutement de 1980 à 2015 (longue) et de 1990 à 2015 (courte).

Description	Étiquette	Indice – poids	Mâles – poids selon l'âge	Femelles – poids selon l'âge	Correction de l'erreur dans la détermination de l'âge
D1 Modèle de base-Longue	Base-L	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	Non
D2 Modèle de base avec correction de l'erreur dans la détermination de l'âge-Longue	Base-AE-L	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	Oui
D3 Modèle de base avec correction de l'erreur dans la détermination de l'âge-Courte	Surv-AE-L	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	Oui
D4 Exclusion de l'indice de pêche au casier	Surv-AE-S	(0, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	Oui
D5 Exclusion de l'indice de pêche au casier, données sur l'âge des mâles, poids réduits	Surv-F-AE-S	(0, 1, 1)	(0,5, 0,5, 0,5)	(1, 1, 1)	Oui
D6 Exclusion de l'indice de pêche au saumon et du relevé normalisé, données sur l'âge des mâles, poids réduits, correction de l'erreur dans la détermination de l'âge	StRS-F-AE-S	(0, 0, 1)	(0,5, 0,5, 0,5)	(1, 1, 1)	Oui
D7 Indice du relevé aléatoire stratifié et composition selon l'âge uniquement	StRS-AE-S	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	Oui

Résultats

Les estimations des paramètres clés du modèle, des quantités de la biomasse du stock et de leurs écarts-types pour les scénarios de données D1 à D7 sont indiquées dans le tableau 2. Les estimations des paramètres des modèles D1, D2 et D3 sont plutôt semblables, sauf que la biomasse des femelles non pêchées (B0) et la biomasse actuelle (B2015) augmentent d'environ 25 % avec l'ajout d'une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge et les séries chronologiques de recrutement plus courtes (1990-2015).. Étant donné que des données sont éliminées (scénarios D4-D7), certaines estimations de paramètres, principalement le taux de variation de la relation stock-recrutement (h), deviennent de moins en moins plausibles (voir les scénarios D6 et D7) et les écarts dans les erreurs résiduelles augmentent, car les séries de données utilisées (2003-2014) ne sont pas suffisamment longues pour une espèce à grande longévité, comme la morue charbonnière; on observe peu de contraste dans la biomasse du stock reproducteur depuis 2003. Les concordances du modèle de scénario de données ont été comparées les unes aux autres et au modèle de 2010 (Cox *et al.*, 2011) et aucune différence marquée n'a été constatée dans les écarts dans les erreurs résiduelles dans le cadre des scénarios D1 à D6. Aucun de ces modèles n'a convergé complètement; ainsi, les solutions indiquées peuvent ne pas être uniques.

La séparation des morues charbonnières mâles et femelles dans les données et le modèle d'exploitation semblent produire des résultats semblables au modèle d'exploitation de 2010 dans lequel les sexes ont été combinés. Un avantage présenté par le modèle d'exploitation des deux sexes est une meilleure correspondance du modèle par rapport à la classe d'âge de 35 ans et plus dans les données et des estimations préliminaires de la mortalité naturelle par sexe (mâle, mortalité d'environ 0,06; femelle, mortalité d'environ 0,09).

Les scénarios de données D1 à D7 ont produit des tendances semblables sur le plan qualitatif concernant la biomasse du stock reproducteur femelle avec le temps, bien que la mise à l'échelle diffère entre les scénarios en fonction de la quantité et de la longueur des séries de données utilisées (figure 3). Les estimations de l'état du stock de morue charbonnière, de la productivité et des tendances de la biomasse au cours des dernières années produites par le modèle d'exploitation révisé en vertu des différents scénarios de données concordent avec les précédentes estimations découlant de simulations semblables de la stratégie de pêche. Le modèle d'exploitation révisé a estimé des taux de récolte pour les morues charbonnières qui n'atteignent pas la taille réglementaire (longueur à la fourche < 55 cm) qui sont bien supérieurs (7-8 %) aux taux estimés par le modèle d'exploitation de 2010 (1-2 %). Des taux de récolte plus élevés concernant la morue charbonnière de taille réglementaire pourraient potentiellement expliquer le rétablissement plus lent que prévu de la population de la morue charbonnière. Les taux de récolte estimés pour les poissons de taille réglementaire (longueur à la fourche supérieure à 55 cm) sont semblables entre les modèles.

Bien que l'analyse des données de marquage de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique appuie l'hypothèse selon laquelle la sélectivité selon la taille dans l'ensemble des pêches commerciales à la morue charbonnière a changé avec le temps, les paramètres de sélectivité variant dans le temps n'ont pu être estimés dans la plupart des exécutions de modèle. Les modèles supposant plutôt une sélectivité constante qui revêt la forme d'un dôme (normal) pour l'ensemble des pêches avaient tendance à être plus stables et à fournir de meilleures correspondances avec les données, en particulier les remises à l'eau (voir l'annexe E dans Cox *et al.*¹). L'hypothèse d'une sélectivité constante a été utilisée dans toutes les exécutions de modèles décrites ici.

Le modèle d'exploitation révisé a permis d'obtenir de meilleures correspondances avec les données sur la composition selon l'âge des femelles plutôt qu'avec les données sur les mâles. Dans la plupart des cas, les valeurs résiduelles sur la composition selon l'âge comprenaient de grands groupes caractérisés de valeurs résiduelles (p. ex. exécutions de valeurs positives ou négatives), ce qui peut vouloir dire que le modèle n'est pas capable d'estimer l'ampleur et peut-être le moment de certains événements de recrutement (comme la classe d'âge de l'année 2000). Il est également probable que le modèle omette les effets aléatoires persistants dans les observations (p. ex. sélectivité variant dans le temps, disponibilité). Le modèle pourrait également omettre les événements à court terme qui concernent l'immigration et l'émigration saisonnières de la morue charbonnière dans les eaux de la Colombie-Britannique.

Le modèle d'exploitation révisé affiche une correspondance plus exacte aux remises à l'eau dans le cadre des récentes pêches au casier et au chalut, mais continue d'afficher une absence de correspondance par rapport aux remises à l'eau de 1996 à 1999 dans le cadre de la pêche au chalut et de 2006 à 2007 dans le cadre de la pêche au casier.. Ces problèmes requièrent un examen plus poussé pour déterminer la causalité.

**Modèle révisé d'exploitation de la morue
charbonnière en Colombie-Britannique**

Région du Pacifique

Tableau 2. Paramètres clés, états estimés (première rangée) et leurs écarts-types (deuxième rangée) pour les scénarios de données du modèle d'exploitation D1 à D7 : les taux de variation de la relation stock-recrutement (h), les taux de mortalité naturelle pour les mâles et les femelles (M_m , M_f), la biomasse du stock reproducteur de femelles non pêchées (B_0), la biomasse du stock reproducteur de femelles en 2015 (B_{2015}), l'épuisement du stock reproducteur ($D_{2015}=B_{2015}/B_0$), la biomasse totale mâle et femelle de taille réglementaire en 2015 (LB_{2015}), taux de récolte des poissons de taille réglementaire (LHR_{2015}) et des poissons n'ayant pas atteint la taille réglementaire ($SLHR_{2015}$). Les unités de biomasse sont indiquées en milliers de tonnes métriques (t) et la mortalité naturelle est indiquée an année⁻¹.

Modèle	Étiquette	h	M_m	M_f	B_0	B_{2015}	D_{2015}	$LB_{2015,L}$	LHR_{2015}	$SLHR_{2015}$
D1	Base-L	0,589	0,041	0,084	48,90	7,94	0,162	19,88	0,098	0,071
		0,069	0,000	0,001	0,97	0,78	0,014	1,96	0,010	0,011
D2	Base-AE-L	0,537	0,043	0,086	55,10	8,74	0,159	22,20	0,088	0,069
		0,072	0,002	0,002	2,33	0,91	0,014	2,34	0,009	0,011
D3	Base-AE-S	0,567	0,046	0,087	60,74	9,87	0,162	24,74	0,079	0,065
		0,077	0,002	0,002	2,43	1,06	0,014	2,65	0,008	0,011
D4	Surv-AE	0,559	0,045	0,089	55,65	7,70	0,138	19,38	0,101	0,081
		0,069	0,002	0,002	2,24	1,00	0,016	2,58	0,013	0,015
D5	Surv-F-AE	0,573	0,043	0,089	54,13	7,39	0,137	18,85	0,104	0,081
		0,064	0,002	0,002	2,33	0,98	0,016	2,57	0,014	0,015
D6	StRS-F-AE	0,255	0,042	0,087	54,45	5,72	0,105	14,57	0,134	0,108
		0,001	0,002	0,002	2,78	1,09	0,018	2,83	0,026	0,024
D7	StRS-AE	0,386	0,058	0,104	54,10	6,08	0,112	15,41	0,127	0,141
		0,069	0,003	0,003	3,10	0,90	0,014	2,23	0,018	0,028

La prise en compte des erreurs dans la détermination de l'âge dans le modèle d'exploitation a permis de diminuer l'autocorrélation temporelle et d'améliorer la résolution des estimations des classes d'âge concernant l'abondance des cohortes, en particulier les classes d'âge influentes qui se sont produites à la fin des années 1970, en 2000 et 2008. Le modèle d'exploitation révisé parvient mieux à tenir compte des remises à l'eau plus importantes dans le cadre de la pêche au chalut au début des années 2000 que le modèle d'exploitation de 2010. L'inclusion des erreurs dans la détermination de l'âge a conduit à des remises à l'eau plus importantes et plus concentrées aux alentours de 2001 ou 2002 en raison de deux facteurs :

1. matrice d'erreur dans la détermination de l'âge créant une classe d'âge 2000 plus distincte et plus importante;
2. sélectivité correspondant fortement à la forme en dôme.

Les estimations du recrutement avec une autocorrélation réduite ont amélioré les concordances avec le groupe de 35 ans et plus. Vu cette correspondance plus exacte avec la tendance temporelle des remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut de 2000 jusqu'à aujourd'hui, il s'agit là de réalisations remarquables qui découlent des modifications apportées au modèle d'exploitation.

La réduction de la longueur des séries de recrutement estimées dans le modèle de la période 1980-2015 à la période 1990 à 2015 (scénarios D2 et D3) a eu peu d'effets sur les

séries chronologiques du recrutement estimé ou les estimations de paramètres (tableau 2). Dans le cas du modèle présentant une courte série chronologie de recrutement, le recrutement moyen a augmenté légèrement pendant la période 1965-1979, principalement parce que la biomasse non pêchée a augmenté par rapport au modèle présentant une longue série chronologie de recrutement.

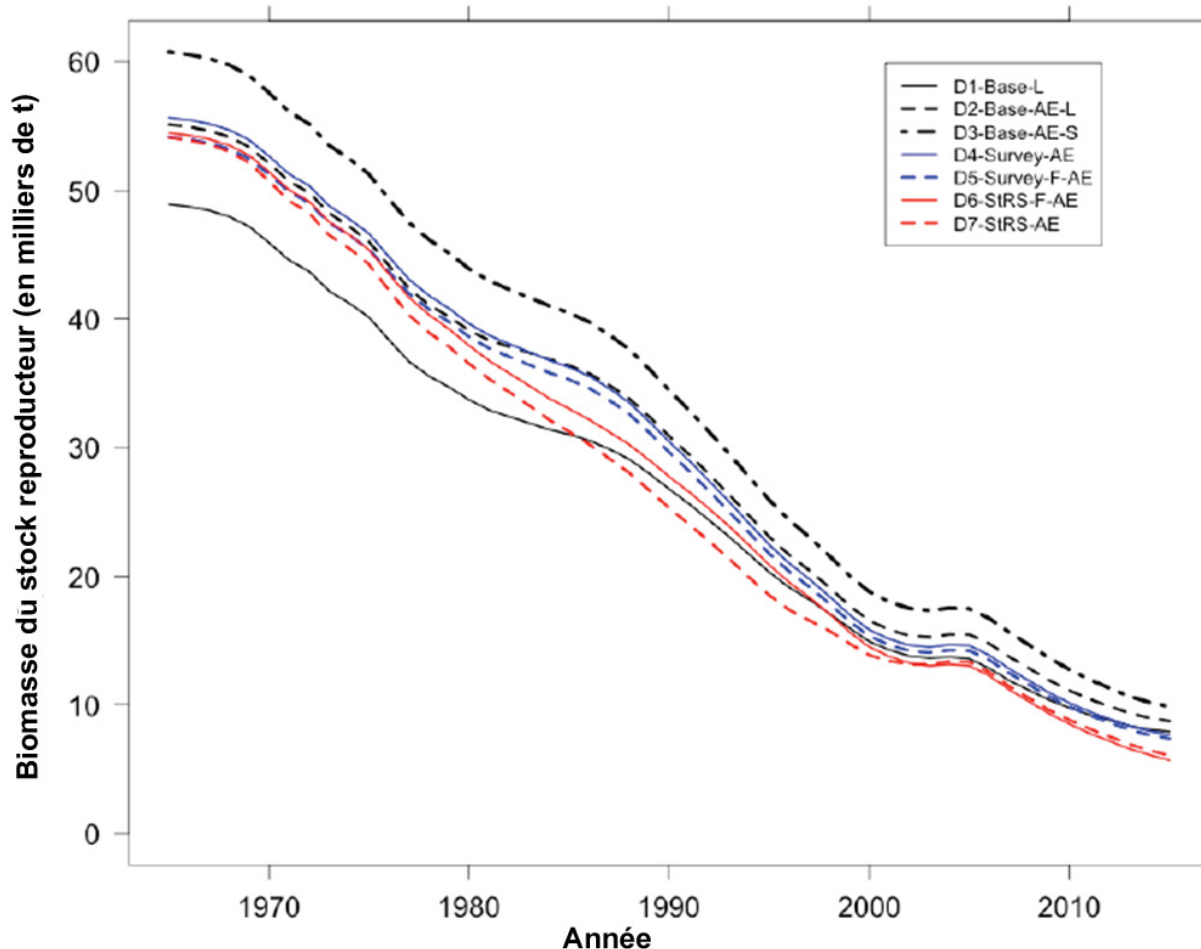


Figure 3. Biomasse annuelle du stock reproducteur de morue charbonnière femelle pour sept scénarios de modèle d'exploitation D1 à D7 décrits dans le tableau 1.

Sources d'incertitude

Le modèle d'exploitation révisé ne tient pas compte de la dynamique spatiale entre les stocks de morue charbonnière sur la côte ouest de l'Amérique du Nord. Bien que le modèle présume que la morue charbonnière de la Colombie-Britannique est composée d'une population fermée, il existe des preuves concluantes de déplacement généralisé dans tout le nord-est de l'océan Pacifique. Les interactions avec les stocks dans les eaux des États-Unis (É.-U.) (Alaska, sud de la Colombie-Britannique) par l'intermédiaire de mouvements transfrontaliers peuvent avoir des effets importants sur la dynamique des stocks de morue charbonnière en Colombie-Britannique qui ne sont pour le moment pas pris en compte par le modèle d'exploitation révisé.

Puisqu'aucun des modèles évalués n'a convergé complètement, les solutions décrites peuvent ne pas être uniques.

Les paramètres de croissance estimés (k_m , k_f) basés sur les échantillons de pêche au casier en Colombie-Britannique (2003-2014) sont plus élevés que les estimations actuellement utilisées pour les évaluations de la morue charbonnière aux États-Unis, qui ont été utilisées dans le modèle d'exploitation révisé.

Les estimations de l'âge à une maturité de 50 % et 95 % utilisées dans le modèle d'exploitation révisé peuvent être biaisées à la baisse, car le modèle d'exploitation révisé ne tient pas compte de la sélectivité selon la taille dans l'échantillonnage de la population.

CONCLUSIONS ET AVIS

Les nouvelles caractéristiques du modèle d'exploitation révisé (structure adaptée aux deux sexes, matrice d'erreur dans la détermination de l'âge) sont appropriées et suivent la pratique normale des sciences halieutiques. Les estimations du recrutement avec une autocorrélation réduite, de meilleures concordances avec le groupe d'âge de 35 ans et plus et le profil temporel des remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut depuis 2000 jusqu'à aujourd'hui constituent des réalisations remarquables. Toutefois, l'absence de concordance avec certaines remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut (1996 à 1999) et de la pêche au casier (2006 et 2007) requiert une enquête plus poussée. D'après ces constatations, le modèle d'exploitation révisé constitue une amélioration par rapport au modèle d'exploitation de 2010 et il est recommandé pour les simulations de la stratégie de pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique.

Six des sept scénarios de données (D2-D7) représentent des scénarios de modèle d'exploitation plausibles concernant la taille et la productivité du stock. Ils sont recommandés pour les évaluations futures des procédures de gestion de la morue charbonnière. Le modèle D2 (modèle prenant en compte les deux sexes et comportant une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge qui est appliquée aux âges du modèle) a été adopté en tant que modèle d'exploitation de base. Le scénario D3, qui est identique au scénario D2 avec, néanmoins, une série chronologique du recrutement estimé plus courte (1990-2015) est recommandé en tant qu'autre modèle d'exploitation de base, car il peut réduire le comportement inadéquat du modèle qui se produit en raison du peu de données disponibles au début de la période historique.

Il est recommandé d'établir une matrice d'erreur dans la détermination de l'âge propre à la morue charbonnière de la Colombie-Britannique, qui doit être utilisée dans les modèles d'exploitation dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de pêche de la morue charbonnière.

L'élaboration de modèle future devrait explorer des manières de mieux intégrer pleinement les données de marquage au modèle d'exploitation structuré selon le sexe et l'âge afin de régler les problèmes liés aux corrélations entre les estimations de la biomasse non pêchée (B_0), à la variation de la relation stock-recrutement (h) et à la sélectivité fondée sur la longueur.

Un échantillonnage non uniforme des données liées à la composition selon l'âge des prises commerciales (seules les données sur la composition selon l'âge dans le cadre de la pêche au casier sont actuellement disponibles) a contribué aux problèmes liés au modèle systématiquement observés pendant les évaluations de la stratégie de pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique (Cox *et al.*, 2011; MPO, 2011, 2014). Il est recommandé d'établir un programme d'échantillonnage des prises commerciales correctement conçu et de l'appliquer dans l'ensemble de l'industrie des pêches.

L'évaluation de la stratégie de pêche représente un processus itératif de changement et d'amélioration. Il est recommandé de réévaluer le caractère adéquat des modèles d'exploitation de la morue charbonnière de la Colombie-Britannique tous les cinq ans.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 20 janvier 2016 sur l'Élaboration du modèle d'exploitation de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) en Colombie-Britannique, au Canada. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

- Beamish, R.J., MacFarlane, G.A. 1983. Summary of results from the Canadian Sablefish Tagging Program. *In* Proceedings of the international sablefish symposium. Lowell Wakefield Fisheries Symposia Series, p. 147-83. Univ. of Alaska Sea Grant Report 83-8.
- Cox, S.P., Kronlund, A.R., 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. *Environ. Conserv.* 40: 318-328.
- Cox, S.P., Kronlund, A.R., Lacko, L. 2011. Management procedures for the multi-gear Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fishery in British Columbia, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.2011/063. viii + 45 p.
- Hanselman, D.H., Clark, W.G., Heifetz, J., Anderl, D.M. 2012. Statistical distribution of age readings of known-age sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Fish. Res.* 131-132: 1-8.
- Hanselman, D.H., Heifetz, J., Echave, K.B., Dressel, S.C. 2015. Move it or lose it: movement and mortality of sablefish tagged in Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 238-251. 10.1139/cjfas-2014-0251
- Kimura, D.K., Shimada, A.M., Lowe, S.A. 1993. Estimating Von Bertalanffy growth parameters of sablefish *Anoplopoma fimbria* and Pacific cod *Gadus macrocephalus* using tag recapture-data. *Fish. Bull.* 91: 271-280.
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). (Consulté le 16 mars 2016)
- MPO. 2011. Regional Science Advisory Process on Management procedures for the multi-gear sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fishery in British Columbia, January 17, 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2011/053. vi + 16 p.
- MPO. 2013. Examen de la structure de la population de morue charbonnière du Pacifique Nord-Est et de son incidence sur les pêches canadiennes sur les monts sous-marins. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2013/017.
- MPO. 2014. Rendement d'une procédure révisée de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2014/025.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

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

Téléphone : (250) 756-7208

Courriel: csap@dfo-mpo.gc.ca

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

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016



La présente publication doit être citée comme suit :

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.

Also available in English:

DFO. 2016. A revised operating model for Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) in British Columbia, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/015.