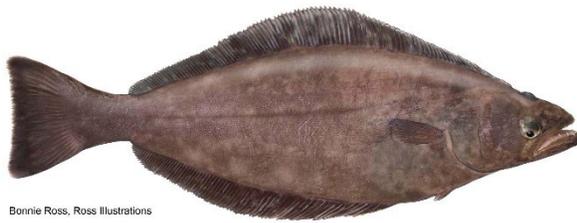




EXAMEN DES CADRES D'ÉVALUATION DES STOCKS CANDIDATS POUR LE STOCK DE FLÉTAN DU GROENLAND DANS LA SOUS- ZONE 0 +1 (AU LARGE DES CÔTES) DE L'ORGANISATION DES PÊCHES DE L'ATLANTIQUE NORD-OUEST



Bonnie Ross, Ross Illustrations

Flétan du Groenland (*Reinhardtius
hippoglossoides*). MPO 2018.

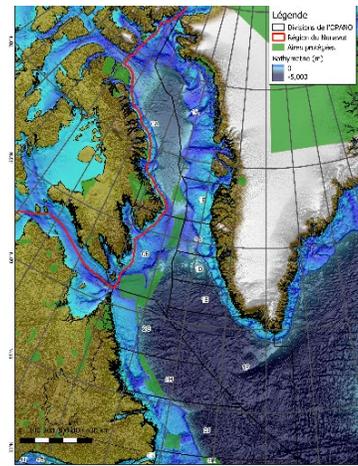


Figure 1. Carte de la sous-zone 0+1 de l'OPANO montrant les divisions 0A-B et 1A à 1F. La ligne rouge indique les limites de la région du Nunavut. Les aires protégées établies sont représentées par les polygones verts.

Contexte :

La Direction des sciences de Pêches et Océans Canada (MPO) et l'Institut des ressources naturelles du Groenland effectuent des relevés plurispécifiques au chalut de fond dans les sous-zones 0 et 1 de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) afin de soutenir l'évaluation du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0 +1 (au large des côtes). Ils ont utilisé un navire de recherche et un chalut normalisé de l'Institut des ressources naturelles du Groenland depuis 1999. Le navire de recherche a été mis hors service en 2018, avant que le navire de remplacement ne soit opérationnel; il n'a donc pas été possible de réaliser des relevés comparatifs au chalut et, par conséquent, l'indice de l'abondance utilisé pour déterminer les niveaux d'exploitation autorisés est interrompu depuis 2001.

Étant donné l'absence d'expériences de chalutage jumelé comparatif et la perte subséquente de l'indice de l'abondance tiré des séries chronologiques, la Direction de la gestion des pêches du MPO a demandé à la Direction des sciences du MPO d'explorer des méthodes ou des cadres analytiques pour l'évaluation du stock de la sous-zone 0 +1 (au large des côtes) qui pourraient intégrer les données recueillies par plusieurs navires et engins, y compris celles des relevés indépendants de la pêche et de la pêche commerciale. Cet examen vise à appuyer l'évaluation de ce stock par le Conseil scientifique de l'OPANO et le processus de certification du Marine Stewardship Council.

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 12 au 15 décembre 2022 portant sur l'Examen des cadres d'évaluation des stocks candidats pour le stock de flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 (au large des côtes) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest. Toute autre publication

déoulant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- Le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (au large) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord (OPANO) a été évalué selon une approche fondée sur des indices tirés des relevés jusqu'en 2017, lorsque le navire et l'engin normalisés ont été mis hors service. Une nouvelle série chronologique de relevés a commencé en 2022 avec un nouveau navire et un nouvel engin, mais il faudra au moins trois à quatre points de données avant de pouvoir établir à nouveau un indice empirique. Entre-temps, on recherche des méthodes analytiques pour étayer la production d'avis scientifiques et évaluer la faisabilité de la transition vers un cadre d'évaluation classique à plus long terme.
- Des données dépendantes de la pêche et indépendantes de la pêche pertinentes pour ce stock ont été compilées et utilisées pour orienter divers aspects des modèles de population et de répartition. On a également fourni une liste de facteurs potentiels influant sur la capturabilité.
- Des travaux de modélisation exploratoire ont été menés à l'aide d'un modèle de dynamique des populations structuré selon l'âge (modèle opérationnel statistique des prises selon la longueur spatialement intégré; SISCAL) et d'un modèle spatiotemporel de répartition des stocks (modèle de répartition des espèces dans Template Model Builder; sdmTMB). Les deux approches sont prometteuses; cependant, il faudra poursuivre leur développement pour pouvoir utiliser ces modèles afin de produire des avis scientifiques pour ce stock.
- Le travail de modélisation exploratoire à l'aide du modèle SISCAL a mis en évidence certaines incertitudes majeures, notamment la taille du stock, la croissance somatique et le taux de récolte, qui pourraient être levées par la collecte d'autres données (par exemple, relevés supplémentaires, marquage).
- Compte tenu de sa capacité à fournir des avis scientifiques à court terme (c.-à-d. pour la prochaine évaluation du Conseil scientifique de l'OPANO prévue en 2024), il est recommandé d'étudier plus à fond une méthode d'étalonnage de l'indice de relevé fondée sur un modèle. Il conviendrait de mettre cette approche à l'essai de façon empirique à l'aide d'une analyse rétrospective de l'indice de relevé précédent ou d'une analyse comparative des données existantes sur la pêche pour d'autres périodes et régions.
- Parallèlement, il est recommandé de poursuivre l'élaboration d'une évaluation du stock structurée selon l'âge, en vue de produire des avis sur les prises et une évaluation de l'état du stock par rapport aux points de référence pour l'évaluation par le Conseil scientifique de l'OPANO en 2026.
- S'il est impossible d'élaborer une évaluation acceptable du stock structurée selon l'âge, une procédure de gestion fondée sur un indice et mise à l'essai par simulation dans une évaluation de la stratégie de gestion (ESG) est considérée comme une solution de rechange appropriée pour fournir des avis sur la récolte à plus long terme.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Pêches et Océans Canada (MPO) et l'Institut des ressources naturelles du Groenland évaluent conjointement la situation du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) dans la sous-zone 0+1 (au large des côtes) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). Afin de fournir un indice sans biais de l'abondance et de la biomasse du stock, le MPO et l'Institut des ressources naturelles du Groenland effectuent des relevés de recherche en utilisant le même navire et le même engin de pêche, et combinent les données pour mener une seule évaluation du stock commun. Les résultats de l'évaluation sont présentés au Conseil scientifique (CS) de l'OPANO, qui les examine et fournit ensuite des avis aux gestionnaires des ressources du Canada et du Groenland au sujet des niveaux de capture durables.

De 1999 à 2017, le navire de recherche (NR *Paamiut*) de l'Institut des ressources naturelles du Groenland était le seul navire utilisé pour effectuer les relevés du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1. Le NR *Paamiut* a été mis hors service en 2018, avant le lancement du navire de remplacement de l'Institut des ressources naturelles du Groenland et avant que l'on puisse mener des expériences de pêche comparative pour atténuer les effets de la transition à un nouveau navire et un nouvel engin dans la série chronologique des données de l'indice du relevé.

Pendant cette période de transition, sans l'expérience de normalisation entre les navires de recherche, et avec la complication supplémentaire résultant d'une lacune dans les données du relevé entre 2018 et 2021, le MPO étudie la faisabilité d'élaborer un nouveau cadre d'évaluation et de nouvelles approches analytiques pour produire des avis scientifiques sur l'état du stock de flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 (au large).

Facteurs influant sur l'évaluation du flétan du Groenland

Le flétan du Groenland est une espèce des eaux froides que l'on trouve à des profondeurs allant de près de la surface jusqu'à 2 200 m (Boje et Hareide 1993, Hareide et Garnes 2001), mais principalement entre 500 et 1 000 m (Jørgensen 1997) dans tout le nord-ouest de l'Atlantique. Des recherches récentes par marquage (Vihtakari *et al.* 2022, Barkley *et al.* 2018) et de génétique (Ferchaud *et al.* 2022) ont repris et élargi des travaux antérieurs (Boje 2002, Roy *et al.* 2014), et ont indiqué que le flétan du Groenland dans l'Atlantique Nord-Ouest est très mobile, se déplaçant entre les zones côtières et extracôtières, et parmi des zones plus vastes au large des côtes, et constitue probablement une seule population. Toutefois, aux fins de gestion, cette population est divisée en deux stocks extracôtiers (sous-zone 0+1 au large et zone 2+3KLMNO) et plusieurs stocks côtiers situés au Canada et au Groenland. La division d'une population en plusieurs stocks complique la gestion; en effet, les avis sont demandés au niveau du stock, mais les modèles de population sont plus fiables lorsqu'ils reflètent la dynamique de toute la population. Les modèles élaborés pour une sous-composante d'une population divisent artificiellement les processus démographiques en interactions ou connectivité entre les stocks, ou ignorent sciemment les processus plus vastes.

L'espèce vit longtemps (plus de 30 ans) et présente des profils de croissance et de longévité sexuellement dimorphes (c.-à-d. que les femelles atteignent généralement des tailles plus grandes et vivent plus longtemps que les mâles) (Gregg *et al.* 2006, Treble *et al.* 2008, Dwyer *et al.* 2016). On ne connaît pas précisément la période et l'emplacement de la fraie en raison des conditions éloignées et difficiles qui rendent impossible l'échantillonnage toute l'année. Cependant, les données disponibles indiquent une importante frayère dans le détroit de Davis ou à proximité, au sud de la crête entre le Canada et le Groenland qui sépare la baie de Baffin de la mer du Labrador (Simonsen et Gundersen 2005, Gundersen *et al.* 2010). Le flétan du

Groenland a une stratégie de reproduction inhabituelle : le développement des œufs est un processus pluriannuel, de sorte que les femelles portent deux groupes/tailles d'œufs qui ne sont pas pondus la même année (Kennedy *et al.* 2011, Rideout *et al.* 2012). On a également observé de grandes femelles qui ne portent pas d'œufs en développement, ce qui donne à penser qu'une partie de la population omet la fraie certaines années ou qu'il existe une phase juvénile prolongée (Junquera *et al.* 2003, Gundersen *et al.* 2010). Ces facteurs rendent difficile la prévision du potentiel reproductif d'une population ou d'un stock (c.-à-d. les estimations de la biomasse du stock reproducteur).

De jeunes flétans du Groenland d'âges 0 à 3 sont capturés dans le relevé des poissons et des crevettes réalisé par l'Institut des ressources naturelles du Groenland à des profondeurs de 50 à 800 m le long de la côte Ouest du Groenland (divisions 1A à F) au moyen d'un chalut à crevettes Cosmos. La majorité des flétans du Groenland capturés dans ce relevé sont d'âge 1 (Treble *et al.* 2022). Le principal relevé utilisé pour établir les indices de l'abondance et de la biomasse du flétan du Groenland est mené à des profondeurs plus grandes, de 400 à 1 500 m, et utilise un chalut à poissons de fond Alfredo (en 2022, il a été remplacé par un chalut Bacalao). Ce chalut capture de grandes femelles, mais la sélectivité est en forme de dôme aux alentours de 50 à 55 cm. Par conséquent, ce relevé ne fournit pas suffisamment de données pour estimer la biomasse du stock reproducteur et, à ce jour, il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre l'abondance des poissons d'âge 1 dans le relevé des divisions 1A à 1F et l'abondance dans le relevé des divisions 0A-Sud et 1CD au large des côtes ou dans les prises de la pêche (Treble *et al.* 2022). Cette sélectivité de l'engin limite également la capacité d'estimer la mortalité par pêche selon des méthodes conventionnelles. Les modèles de dynamique des populations reposent sur la capacité de formuler des hypothèses raisonnables sur des facteurs comme la croissance (taille selon l'âge), la mortalité, la productivité et les taux de maturité (année sans fraie). Compte tenu de certaines lacunes ou incertitudes dans nos connaissances de la biologie du flétan du Groenland et des limites des données de relevé disponibles, certaines hypothèses du modèle peuvent être plus faciles à respecter que d'autres et des approximations ou d'autres approches peuvent être nécessaires.

Facteurs influant sur la capturabilité

La capturabilité est un concept d'ichtyobiologie qui reflète l'efficacité d'une pêche ou d'un navire et d'un engin donnés pour capturer certaines espèces (Arreguín-Sánchez 1996). Le tableau suivant a été élaboré pour déterminer les facteurs qui peuvent contribuer aux différences de capturabilité du flétan du Groenland et d'autres espèces de poissons et d'invertébrés (Tableau 1).

Il convient de noter que certains relevés (par exemple, le relevé canadien de la Northern Shrimp Research Foundation) supposaient que la comparabilité entre les navires peut être obtenue en maintenant la cohérence des engins et les caractéristiques des traits (vitesse de remorquage, capteurs pour surveiller la géométrie des filets) (Hedges et Raffoul 2023). Cependant, dans le cas des relevés plurispécifiques du MPO et de l'Institut des ressources naturelles du Groenland dans la sous-zone 0+1, on a relevé des incohérences importantes dans les caractéristiques des traits entre les navires, qui ne permettent pas de poser cette hypothèse (Nogueira et Treble 2020).

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

Tableau 1. Facteurs qui influent sur la capturabilité pendant les relevés et la pêche.

| Catégorie de facteur | Exemples de facteurs | Impact potentiel |
|-----------------------------------|--|--|
| Navire | Puissance, taille, âge, bruit, vitesse de chalutage, durée des traits | Influence le comportement d'évitement du chalut, la fréquence des accrochages, les dommages causés au chalut. |
| Morphologie de la poupe du navire | Largeur de la poupe | Influence la capacité à pêcher sur la glace et dans des conditions difficiles. |
| Chalut | Conception, dimensions, matériau, maillage (revêtements), couleur, bourrelet | Influence le comportement d'évitement du chalut, la taille minimale conservée, la fréquence de longueur, la fréquence des accrochages et les dommages. |
| Capteurs du chalut | Présence ou absence | L'utilisation de capteurs peut améliorer la cohérence de la morphologie du chalut et du contact avec le fond. |
| Capitaine et équipage | Taille de l'équipage, expérience avec le navire/l'engin, connaissances locales | Cohérence dans le contact avec le fond, morphologie du chalut, incohérence dans la manipulation/réparation des engins. |
| Conditions environnementales | État de la mer ou de la glace, type de fond, courants, lumière, profondeur | Cohérence du contact avec le fond, morphologie des chaluts, facilite l'évitement du chalut. |
| Espèces | Taille, morphologie, répartition, comportement (saisonnalité) | Évitement du chalut, disponibilité des espèces. |

ÉVALUATION

Données sur le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1

On a utilisé les données de plusieurs relevés de recherche menés dans les eaux du large de la sous-zone 0+1 pour l'analyse dans les exercices de modélisation. Le MPO et l'Institut des ressources naturelles du Groenland ont effectué des relevés aléatoires stratifiés en profondeur dans les eaux profondes des divisions 0AB et 1CD, respectivement, à l'aide d'un chalut à poissons de fond Alfredo III; l'Institut des ressources naturelles du Groenland mène également un relevé aléatoire stratifié en profondeur dans la zone côtière et sur le plateau continental dans les divisions 1A à 1F à l'aide d'un chalut à crevettes Cosmos (Tableaux 2 et 3, Figure 2).

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

Tableau 2. Relevés menés dans les eaux extracôtières de la sous-zone 0+1 pour l'analyse dans les exercices de modélisation. Voir le tableau 3 pour obtenir des renseignements sur les années couvertes par chaque relevé.

| Nom (Code) | Zone | Navire(s) | Engin | Tranche d'eau | Période |
|--|-----------------------------|--|-------------------|------------------|--|
| MPO – Plurispécifique (NR_0A) | Division 0A-Sud du 72° N | <i>Paamiut</i> | Chalut Alfredo | 400 à 1 500 m | 2 semaines entre fin septembre et mi-novembre |
| | | <i>Helga Maria</i> | | | 2 semaines en août 2019 |
| IRNG – Plurispécifique (NR_1CD) | Divisions 1C-D | <i>Paamiut</i> <i>Helga Maria</i> | Chalut Alfredo | 400 à 1 500 m | 2 semaines en août ou septembre |
| IRNG – Crevettes et petits poissons (NR_SFW1AF) | Divisions 1A à 1F | <i>Paamiut</i> <i>Sjurdarberg</i> <i>Helga Maria</i> | Chalut Cosmos | 50 à 700 m | 4 semaines entre juillet et août |

Tableau 3. Relevés réalisés chaque année : eaux profondes (en vert) et eaux côtières/du plateau (en orange). Les différences d'ombrage indiquent que des navires différents ont été utilisés pour chaque relevé. Les codes alphabétiques indiquent le navire et l'engin utilisés : PAA – Paamiut avec chalut Alfredo; HMA – Helga Maria avec chalut Alfredo; PAC – Paamiut avec chalut Cosmos; SUC – Sjurdarberg avec chalut Cosmos; HMC – Helga Maria avec chalut Cosmos.

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| MPO-0A- Sud | PAA | - | PAA | - | - | PAA | PAA | PAA | PAA | - | HMA | - | |
| IRNG- 1CD | PAA | - | HMA | - | |
| IRNG- 1AF | PAC | SUC | HMC | HMC |

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

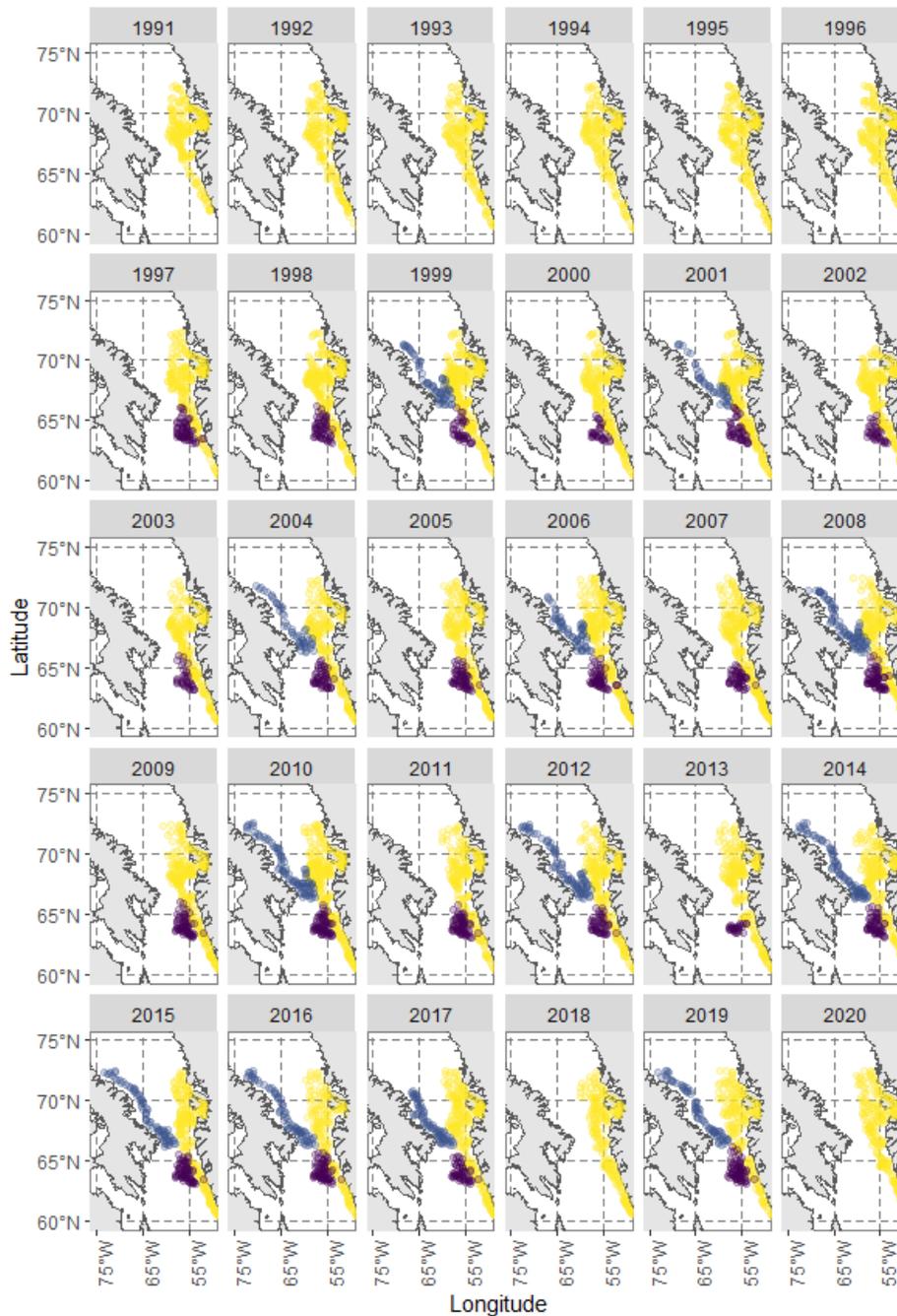


Figure 2. Couverture des relevés par année de 1991 à 2020 : relevés du MPO dans la zone 0A-Sud (en bleu), relevés de l'Institut des ressources naturelles du Groenland dans les divisions 1C-D (en violet) et dans les divisions 1A à 1F (en jaune).

En plus des données des relevés scientifiques, l'effort et les prises dans la pêche commerciale sont consignés dans les journaux de bord et, au Canada, les observateurs en mer recueillent des échantillons de longueur, de poids, de sexe et d'âge. Dans la division 0A, tous les bateaux de pêche commerciale du flétan du Groenland doivent avoir un observateur en mer à bord (niveau de présence de 100 % des observateurs). Dans la division 0B, tous les chalutiers qui

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies

pêchent le flétan du Groenland doivent avoir un observateur en mer à bord, tout comme 20 % des bateaux qui utilisent des filets maillants. Les différents types de données dépendantes de la pêche et indépendantes de la pêche sont présentés sur la Figure 3.

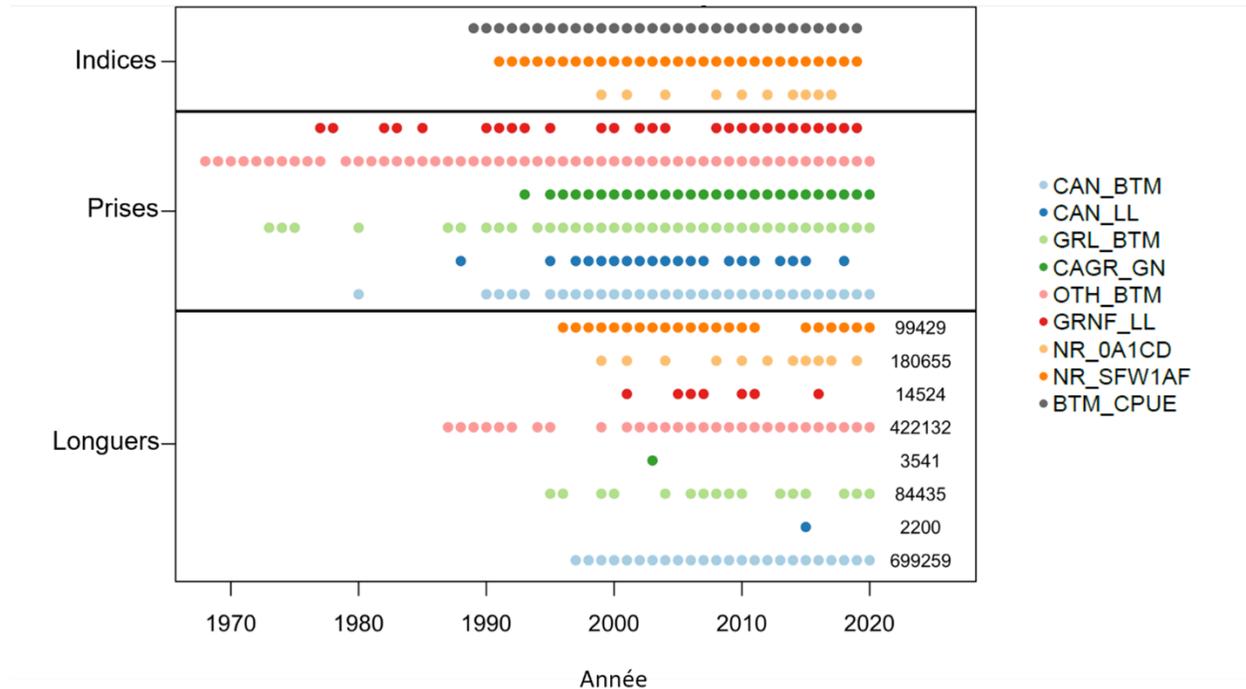


Figure 3. Sommaire des données disponibles sur l'indice, les prises et la composition selon la longueur utilisées dans l'analyse du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, de 1968 à 2020. Les points indiquent la présence de données pour chaque année (axe des abscisses) et flotte (les couleurs sont expliquées dans la légende de la figure). Pour les données sur la composition selon la longueur, la taille totale de l'échantillon (toutes les années combinées) est indiquée à l'extrémité droite du graphique (Johnson et Cox 2023). CAN_BTM = chalut de fond, Canada; CAN_LL = palangre, Canada; GRL_BTM = chalut de fond, Groenland; CAGR_GN = filet maillant, Canada et Groenland; OTH_BTM = autre chalut de fond; GRNF_LL = palangre, îles Féroé, Groenland et Norvège; NR_0A1CD = navire de recherche, 0A1CD; NR_SFW1AF = navire de recherche, crevettes et poissons, Ouest du Groenland, 1AF; BTM_CPUUE = capture par unité d'effort au chalut de fond.

On échantillonne la longueur, le sexe et la maturité des flétans du Groenland capturés dans le cadre des relevés et on prélève des otolithes pour l'estimation de l'âge. Les observateurs en mer recueillent également la longueur, le sexe et les otolithes des poissons capturés dans le cadre de la pêche commerciale. L'âge du flétan du Groenland est difficile à déterminer et les chercheurs travaillent depuis de nombreuses années à la mise au point et à la validation de méthodes d'estimation de l'âge pour cette espèce (Gregg *et al.* 2006, Treble *et al.* 2008, Albert *et al.* 2009, Albert 2016, Dwyer *et al.* 2016, Brogan *et al.* 2021). La courbe de croissance élaborée pour cette analyse reposait sur des sous-échantillons de 365 et 326 otolithes collectés au cours des relevés de 2014 et 2017, respectivement.

Cadres d'analyse : Deux études de cas à titre illustratif

Les données disponibles ont servi à orienter deux approches analytiques différentes pour illustrer la faisabilité de l'utilisation de ces méthodes dans le contexte du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. Un aperçu de chacune de ces méthodes est donné ci-après.

Élaboration de modèles opérationnels spatiaux pour tester le plan du relevé et étalonner un nouvel indice du relevé

Huynh et Carruthers (2023) ont élaboré un modèle opérationnel spatial et ont démontré comment il pouvait permettre de simuler la dynamique des populations du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 en utilisant divers progiciels, notamment SimSurvey (Regular *et al.* 2020), sdmTMB (Anderson *et al.* 2021) et le modèle de conditionnement rapide structuré selon l'âge dans SAMtool (Huynh *et al.* 2023). Les résultats ont servi à comparer deux indices de l'abondance (0A-Sud+1CD, 0AB+1CD) dont la couverture spatiale était différente.

Le modèle (opérationnel) de simulation (appelé GH-sdmTMB) était composé de deux parties : i) un modèle simple de dynamique des populations structuré selon l'âge, conditionné par les données de surveillance de la pêche, et ii) un modèle linéaire mixte généralisé (MLMG) spatio-temporel qui fonctionne comme modèle de répartition des espèces (MRE) en ajustant les données sur la densité (nombre par unité d'effort) des relevés des divisions 0A et 1CD et en utilisant les données de bathymétrie pour prévoir la répartition spatiale pour la zone de stock du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. Chaque année, les nombres selon l'âge sont répartis dans l'ensemble de la zone du stock selon les proportions annuelles estimées par le modèle de répartition des espèces et on procède à un relevé simulé en échantillonnant la population de flétan du Groenland répartie spatialement, en supposant que les observations ont une distribution binomiale avec des paramètres tirés de la population, de la capturabilité des relevés antérieurs et de la zone balayée.

Une analyse subséquente a évalué la capacité du modèle de répartition des espèces à estimer un facteur d'étalonnage sans les données des études de chalutage comparatif. L'étalonnage faciliterait l'extension d'un nouvel indice en utilisant la série chronologique du navire précédent (NR *Paamiut*). L'analyse a utilisé les données du F/V *Helga Maria* de 2019 dans les divisions 0A-Sud et 1CD (c.-à-d. les données obtenues avec un navire différent, mais le même engin) pour étalonner la valeur de l'indice de 2019 et poursuivre l'ancienne série d'indices (qui est fondée sur les relevés effectués précédemment par le NR *Paamiut* dans la même zone et les mêmes strates de profondeur). Le modèle a estimé une capturabilité plus faible pour les strates plus profondes, confirmant l'analyse précédente (Nogueira et Treble 2020), bien que cet effet ait également pu être faussé par la période différente du relevé de 2019. Des travaux supplémentaires seront nécessaires pour appuyer l'application future possible de cette méthode (par exemple, étalonnage du NR *Tarajoq* par rapport au NR *Paamiut*), y compris des analyses de simulation et la validation à partir d'études de cas utilisant les données d'expériences de pêche comparative antérieures dans d'autres régions et à d'autres périodes.

Élaboration d'un modèle opérationnel statistique des prises selon la longueur spatialement intégré (SISCAL)

Johnson et Cox (2023) ont présenté un exemple de cadre de modélisation de bout en bout de l'évaluation (des données à l'avis). Au départ, ils ont élaboré un modèle statistique des prises selon l'âge, intégrant toutes les données disponibles de surveillance de la pêche et de relevé dans un modèle opérationnel statistique des prises selon la longueur spatialement intégré (SISCAL) pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (appelé SISCAL-GH). Ce modèle a été validé à l'aide de paramètres standard de la qualité de l'ajustement, d'une évaluation du comportement rétrospectif du modèle et d'analyses de sensibilité. Par la suite, les auteurs ont utilisé le modèle opérationnel SISCAL pour démontrer comment ce type de cadre pourrait être utilisé pour :

1. Estimer l'état des stocks de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 et les points de référence biologiques à partir des données de la pêche et des relevés;
2. Mettre à l'essai par simulation le modèle d'évaluation afin de mieux comprendre la fourchette du rendement des estimations (biais et précision des estimations) compte tenu des types de données disponibles, de leur qualité et de leur quantité;
3. Conditionner le modèle opérationnel pour tester par simulation les stratégies de récolte de précaution.

À titre de démonstration finale, les auteurs ont évalué le rendement d'un modèle adaptatif hypothétique/d'une procédure de gestion fondée sur un indice à l'aide du modèle opérationnel SISCAL-GH dans un cadre de simulation en boucle fermée; ils l'ont ensuite comparé au rendement relatif d'une procédure de gestion non adaptative fondée sur un indice.

Considérations pour l'élaboration du modèle

Étant donné le coût élevé et la complexité de la réalisation des relevés de recherche, il est fortement souhaitable de pouvoir évaluer le plan des relevés et les capacités attendues d'estimer les tendances démographiques avant la mise en œuvre; cette possibilité peut justifier d'apporter des changements à un protocole d'échantillonnage ou à un régime d'évaluation plus efficace, le cas échéant.

Les approches des modèles GH-sdmTMB et SISCAL-GH étaient fondées sur un cadre global similaire, illustré à la Figure 4. Les deux approches ont nécessité d'élaborer des modèles opérationnels plausibles, mais seule celle du modèle SISCAL-GH a démontré la fonctionnalité complète en boucle fermée du cadre de simulation.

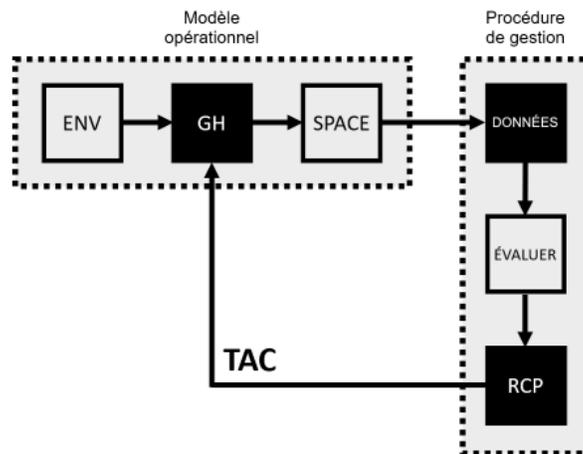


Figure 4. Aperçu d'un cadre d'évaluation « des données à l'avis ». Le modèle opérationnel (MO) comprend un modèle de population des prises selon la longueur pour le flétan du Groenland (GH) et les paramètres pour les effets environnementaux connexes, les erreurs de processus, etc. (ENV). Le modèle opérationnel GH-sdmTMB contenait également une composante de modèle de répartition des espèces (SPACE). La procédure de gestion utilise les données d'échantillonnage générées par le modèle opérationnel, effectue l'évaluation des stocks et applique une règle de contrôle des prises (RCP) pour déterminer le total autorisé des captures (TAC), comme le démontre l'approche du modèle SISCAL-GH. Grâce à une simulation appropriée, ce type de cadre de simulation en boucle fermée peut être utilisé pour tester une gamme d'hypothèses et de suppositions du modèle (comme l'ont démontré Johnson et Cox [2023]). Les cases noires sont requises dans un cadre d'évaluation de la stratégie de gestion en boucle fermée, mais les cases blanches sont facultatives.

Choix de la structure du modèle opérationnel

Le choix de la structure du modèle opérationnel varie selon le type de données disponibles pour alimenter le modèle et la fourchette de l'incertitude sous-jacente aux données (bien que les effets potentiels de diverses sources d'incertitude puissent être évalués au moyen d'analyses de sensibilité). On pourrait utiliser des structures de modèles convenant mieux à des situations à données limitées pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, mais ce travail exploratoire a permis de déterminer qu'il y avait suffisamment de données pour guider des approches plus riches en données, comme les deux modèles opérationnels décrits ci-dessus (c.-à-d. des modèles d'évaluation statistique des prises selon l'âge, avec ou sans l'inclusion d'un modèle de répartition des espèces spatialement explicite).

Les deux approches décrites ici visaient à tester des parties très différentes du système de pêche du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. Par conséquent, il y avait plusieurs différences dans la façon dont chaque approche utilisait les données, ainsi que dans les inférences et les recommandations découlant de chaque modèle. Cependant, les deux approches étaient centrées sur un modèle général de dynamique des populations structuré selon l'âge et il est utile de comparer les composantes qui se chevauchent, qui présentaient deux différences principales. Tout d'abord, le modèle SISCAL-GH utilisait des paramètres de mortalité et de capturabilité variables dans le temps, et était donc plus flexible (pour mieux s'ajuster aux données de la CPUE dans la pêche), tandis que le sous-modèle de dynamique des populations GH-sdmTMB excluait cette série de données. Ensuite, les deux modèles traitaient différemment la variabilité spatiale. Dans la mesure du possible, le modèle SISCAL-GH répartit les prises en flottes correspondant aux nations dans une approche de « zone en tant que flotte », qui pêchent dans des zones distinctes, afin de refléter implicitement les différences de disponibilité du poisson dans l'espace. En comparaison, le modèle GH-sdmTMB regroupe toutes les prises par type d'engin, à l'exclusion de la variation spatiale des données sur le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 de la composante du modèle de dynamique des populations. Il isole plutôt la variation spatiale de la composante du modèle de répartition des espèces, qui se reflète donc dans les indices simulés de l'abondance dans le modèle GH-sdmTMB.

Malgré ces différences, on a démontré que dans le modèle GH-sdmTMB, la composante du modèle de dynamique des populations donne des résultats semblables à ceux du modèle SISCAL-GH lorsqu'elle est ajustée à des données semblables (et à certaines estimations du modèle SISCAL-GH). Les résultats semblables entre les deux modèles ont fourni des renseignements supplémentaires sur la cohérence des paramètres généraux de la dynamique des populations avec les données disponibles (quelle que soit la structure du modèle), y compris les principales incertitudes. En fin de compte, le choix de la structure du modèle devrait évoluer de façon itérative à mesure que des données et des renseignements supplémentaires deviennent disponibles et que les objectifs deviennent plus clairs. Bien que les composantes de la dynamique des populations des deux approches donnent des résultats cohérents, elles visent à résoudre des problèmes distincts et n'ont été examinées qu'en fonction de leurs solutions distinctes. L'approche du modèle SISCAL-GH cherche à évaluer les stocks et à mettre à l'essai des stratégies de récolte par simulation, et c'est dans ce contexte qu'elle a été examinée. D'après les commentaires des participants pendant l'examen par les pairs, il pourrait être nécessaire de réfléchir davantage à la définition d'un éventail de modèles opérationnels plausibles pour mettre à l'essai les stratégies de récolte. En revanche, l'approche du modèle GH-sdmTMB vise à simuler d'autres plans de relevé et a été examinée dans le contexte de la fourniture d'étalonnages possibles des relevés; cependant, la composante de la dynamique des populations du modèle GH-sdmTMB n'a pas été examinée en tant qu'évaluation ou modèle

opérationnel pour tester des stratégies de récolte, et des travaux supplémentaires seraient nécessaires pour atteindre cette fonctionnalité (y compris un examen approfondi par les pairs de ces composantes).

Vérification de la validité du modèle

Une mauvaise spécification du modèle peut avoir de graves conséquences sur les applications subséquentes de celui-ci (par exemple, pour produire des avis scientifiques ou guider des mesures de gestion). Un certain nombre de méthodes, y compris, mais sans s'y limiter, celles décrites ci-après, devraient être utilisées pour évaluer la pertinence d'un modèle avant de l'utiliser de manière plus générale.

Qualité de l'ajustement, analyses rétrospectives et auto-tests de simulation

On peut utiliser des mesures statistiques normalisées de la qualité de l'ajustement pour établir à titre préliminaire la fiabilité du modèle opérationnel en fonction des données disponibles (c.-à-d. en examinant les résidus du modèle pour trouver des preuves de profils ou de propriétés indésirables). Compte tenu du grand nombre de paramètres, d'hypothèses et de choix qui sous-tendent un modèle d'évaluation, ces paramètres à eux seuls sont probablement insuffisants pour évaluer la capacité globale du modèle à représenter la dynamique réelle du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1.

Les analyses rétrospectives fournissent des évaluations de la stabilité des estimations du modèle et sont effectuées en ajustant le même modèle à des « enveloppes » successives de données remontant dans le temps (c.-à-d. en omettant une année et en réajustant le modèle). On compare ensuite les estimations ainsi obtenues des principaux paramètres du modèle (par exemple, série chronologique de la biomasse reproductrice, biomasse non exploitée, recrutement non exploité, mortalité naturelle et taux de variation stock-recrue) de chaque enveloppe afin d'évaluer l'effet des nouvelles données sur l'équilibre du modèle.

Des auto-tests de simulation peuvent servir à tester la capacité d'un modèle opérationnel à reproduire les estimations des principaux paramètres du modèle lorsqu'il est exécuté de nouveau à l'aide de « nouvelles » données simulées par le modèle (c.-à-d. avec de nouvelles erreurs d'observation). Le rendement des auto-tests est évalué au moyen de mesures normalisées du biais et de la précision des estimations qu'ils ont produites.

Analyses de sensibilité

Les analyses de sensibilité servent à vérifier la solidité d'un modèle par rapport à ses principales hypothèses. Par exemple, on peut comparer les changements dans les extrants du modèle (comme les estimations de la biomasse non exploitée, le recrutement non exploité, la biomasse optimale, le taux de récolte optimal ou le rendement maximal durable) entre des modèles qui utilisent différentes hypothèses sous-jacentes au sujet de leurs paramètres. Les exemples sont notamment l'examen de l'utilisation de paramètres constants ou variables dans le temps; le choix des valeurs a priori pour la longueur asymptotique, la mortalité naturelle ou le taux de variation de la courbe stock-recrue; le traitement des données sur la composition selon la longueur; ou l'utilisation ou non d'un modèle structuré selon le sexe.

Voir des exemples des tests de validité du modèle et des analyses de sensibilité décrits ici dans Johnson et Cox (2023).

Utilisation de la simulation

La simulation peut être utilisée pour tester un éventail d'hypothèses ou d'options. Par exemple, Huynh et Carruthers (2023) ont appliqué une approche de simulation pour comparer les

résultats de deux modèles opérationnels dont la couverture spatiale variait afin de déterminer si une couverture spatiale accrue pourrait produire de meilleures estimations de la population. De façon plus générale, on a constaté que les modèles opérationnels utilisés dans un cadre de simulation en boucle fermée donnent une représentation pratique et réaliste de la dynamique du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, des processus de pêche et des données de surveillance de la pêche, permettant d'intégrer les rétroactions non linéaires et les incertitudes des données dans l'avis annuel sur le total autorisé des captures (TAC) (Johnson et Cox 2023). Ces processus interagissent pour déterminer le rendement à court et à long terme des stratégies de récolte par rapport aux objectifs (hypothétiques) de la pêche. Il est à noter que la sélection d'une gamme appropriée de modèles opérationnels pour évaluer le rendement des procédures de gestion peut être guidée par des analyses de sensibilité, comme on l'a vu précédemment (par exemple, la gamme de modèles opérationnels devrait comprendre diverses hypothèses plausibles pour les paramètres qui ont une incidence importante sur les résultats du modèle).

Les essais de simulation en boucle fermée utilisent un modèle opérationnel (comme ceux décrits ci-dessus) dans un cadre itératif pour tester le rendement futur relatif prévu d'une ou de plusieurs procédures de gestion (Figure 4). Contrairement à l'évaluation classique des stocks, la simulation en boucle fermée intègre la rétroaction entre la mise en œuvre des procédures de gestion et le système représentant le stock de poisson et son environnement, décrite par un ou plusieurs modèles opérationnels. En règle générale, la simulation commence par les extrants du modèle d'évaluation, en les utilisant pour calculer une limite de prises recommandée, en appliquant cette limite de prises à une pêche simulée, puis en répétant le cycle d'évaluation à la pêche pendant un certain nombre d'années à venir (Figure 4). Le fait de reproduire ce processus un nombre suffisant de fois (par exemple, 100 répétitions, dans le cas de la démonstration de Johnson et Cox [2023]) permet de calculer les statistiques quantitatives sur le rendement pour toutes les répétitions.

Autres considérations relatives au modèle

Les décisions concernant les données à inclure sont importantes et influenceront sur le choix de la structure du modèle. Les données doivent être représentatives de la population ou du stock sur la durée de la série chronologique. Il faut déterminer les années de début et de fin, mais la dernière année de données ne devrait pas faire une grande différence pour les extrants du modèle. Dans le cas du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, la pêche a commencé à la fin des années 1960 et la plus longue série chronologique de relevés, à la fin des années 1990.

Évaluation de la stratégie de gestion

Les exemples de modèles opérationnels et de cadre d'évaluation des données à l'avis démontrés dans cet examen pourraient être utilisés pour orienter une évaluation complète de la stratégie de gestion (ESG) examinée par les pairs, où une « stratégie de gestion » entièrement spécifiée englobe la prise en compte du plan de relevé, l'évaluation et les règles de contrôle des prises. L'évaluation de la stratégie de gestion s'appuie sur l'approche de simulation en boucle fermée décrite dans le présent examen en permettant d'évaluer systématiquement le rendement de la stratégie de gestion par rapport à un certain nombre de stratégies et de modèles opérationnels plausibles. De plus, l'élargissement des travaux actuels pour réaliser des projections en boucle fermée dans un cadre d'évaluation de la stratégie de gestion permettrait également de mettre à l'essai des stratégies de gestion robustes (combinaison du plan de relevé, de l'évaluation et des règles de contrôle des prises) dans des conditions

océaniques changeantes, comme les décalages spatiaux systématiques dus aux changements climatiques.

L'approche de l'évaluation de la stratégie de gestion vise à déterminer des stratégies qui produisent un rendement satisfaisant pour tous les modèles opérationnels envisagés (démonstration de leur robustesse par rapport à différentes hypothèses sur le fonctionnement du système sous-jacent) ou, ce qui est peut-être encore plus important, ne tient pas compte des stratégies dont le rendement est faible avec un ou plusieurs modèles opérationnels. De plus, un processus complet d'évaluation de la stratégie de gestion permet aux participants (partenaires de cogestion, intervenants ou, de façon plus générale, quiconque s'intéresse au stock) de contribuer aux décisions concernant les objectifs de la pêche, les stratégies de gestion et les paramètres de rendement connexes inclus dans l'évaluation. À mesure que l'évaluation de la stratégie de gestion et les approches de type évaluation de la stratégie de gestion sont devenues plus courantes dans les évaluations des stocks de poissons, des pratiques exemplaires ont émergé qui peuvent guider les praticiens dans l'application future de cette approche pour ce stock (par exemple, Punt *et al.* 2016).

Sources d'incertitude

L'incidence des hypothèses et des données sur les estimations des modèles peut être évaluée au moyen d'analyses de sensibilité appropriées (décrites précédemment).

Les analyses préliminaires de sensibilité ont montré que l'incertitude quant à la taille des stocks et aux effets connexes sur les estimations du taux de récolte actuel est un facteur clé pour déterminer l'état des stocks. La mortalité naturelle, la croissance et la sélectivité de l'engin sont d'autres incertitudes majeures.

La collecte de données supplémentaires et ciblées et d'autres analyses pourraient combler certaines des lacunes principales, notamment :

- un échantillonnage supplémentaire de la longueur selon l'âge, en particulier pour les grands flétans du Groenland (qui sont mal échantillonnés par les relevés au chalut actuels) afin d'étayer les estimations de la sélectivité et de la croissance, ce qui permet de mieux caractériser la biomasse non observée présente en eaux profondes (par exemple, données supplémentaires sur la longueur selon l'âge provenant de la flotte de pêche au filet maillant, ajout d'un nouveau relevé à la palangre en eaux profondes);
- le prélèvement d'échantillons de gonades afin d'évaluer l'exactitude des estimations macroscopiques sur le terrain de l'omission de la fraie et d'en examiner la fréquence et les effets possibles sur le potentiel reproductif du stock;
- des études visant à mieux estimer la mortalité totale et à mieux comprendre les déplacements des populations dans les zones de gestion;
- l'expansion des travaux sur la détermination de l'âge et l'élaboration d'une matrice des erreurs de détermination de l'âge pour étayer la variabilité des observations de l'âge et améliorer les estimations du recrutement et de la mortalité.

Les modèles spatiaux deviennent de plus en plus incertains à mesure qu'ils extrapolent au-delà de l'empreinte du relevé (y compris la profondeur). On peut utiliser des outils tels que SimSurvey (Regular *et al.* 2020) pour optimiser le plan du relevé en fonction des contraintes logistiques.

CONCLUSIONS ET AVIS

Ces travaux ont démontré qu'il existe suffisamment de données dépendantes de la pêche et indépendantes de la pêche sur le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 pour élaborer des modèles opérationnels plausibles qui peuvent explorer des hypothèses concernant l'abondance du stock et sa répartition spatiale.

Des travaux de modélisation exploratoire ont été menés à l'aide d'un modèle de dynamique des populations structuré selon l'âge (SISCAL-GH) et, en option, d'un modèle spatiotemporel de répartition des stocks (GH-sdmTMB). Les deux approches sont prometteuses; cependant, il faudra poursuivre leur développement pour pouvoir utiliser ces modèles afin de produire des avis scientifiques pour ce stock.

Compte tenu de sa capacité à fournir des avis à court terme (c.-à-d. pour la prochaine évaluation du Conseil scientifique de l'OPANO prévue en 2024), il est recommandé d'étudier plus à fond une méthode d'étalonnage de l'indice de relevé fondée sur un modèle. Il conviendrait de mettre cette approche à l'essai de façon empirique à l'aide d'une analyse rétrospective de l'indice de relevé précédent ou d'une analyse comparative des données existantes sur la pêche pour d'autres périodes et régions.

Parallèlement, il est recommandé de poursuivre l'élaboration d'un modèle d'évaluation du stock structuré selon l'âge, en vue de produire des avis sur les prises et une évaluation de l'état du stock par rapport aux points de référence pour l'évaluation par le Conseil scientifique de l'OPANO en 2026.

S'il est impossible d'élaborer un modèle acceptable d'évaluation du stock structuré selon l'âge, une procédure de gestion fondée sur un indice et mise à l'essai par simulation dans une évaluation complète de la stratégie de gestion (ESG), examinée par les pairs, est considérée comme une solution de rechange appropriée pour fournir des avis sur la récolte à plus long terme.

Il est recommandé d'entamer les travaux visant à atteindre ces objectifs en préparant des documents de recherche à présenter et discuter à la réunion du Conseil scientifique de l'OPANO en juin 2023, y compris avec les nouvelles données des relevés de 2022 effectués par le NR *Tarajoq*.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Un cadre d'évaluation approprié, fondé sur la simulation, peut être utilisé pour tester de nombreux aspects de la dynamique du stock, de la pêche ou de l'évaluation. Un tel cadre pourrait en particulier permettre d'évaluer les effets potentiels des changements environnementaux (par exemple, changements du régime de température de l'océan, des courants ou de la dynamique du réseau trophique), d'optimiser les plans des relevés (par exemple, pour trouver la densité optimale des calées par strate afin de minimiser la variance globale du relevé), d'évaluer la valeur potentielle de l'information tirée de sources de données supplémentaires (par exemple, ajout d'un relevé en eaux profondes, information océanographique) et d'explorer des points de référence appropriés.

D'autres programmes de collecte de données permettront de mieux comprendre le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (au large). En 2017, le MPO a commencé un relevé annuel pour recueillir des données océanographiques et des données sur la productivité primaire et la disponibilité des proies dans la division 0A-Sud. Ces données appuieront la surveillance environnementale et guideront les évaluations du stock dans la région, y compris

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

les évaluations futures du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. De plus, l'Ocean Tracking Network (OTN) utilise des étiquettes acoustiques et satellites pour évaluer les habitudes de déplacement, l'utilisation de l'habitat et le comportement individuel du flétan du Groenland depuis 2010. Le MPO est un partenaire des projets menés par l'OTN dans la baie de Baffin et les données qui en découlent améliorent notre compréhension de la structure du stock et de la connectivité entre les zones de pêche.

Compte tenu des habitats profonds et éloignés utilisés par le flétan du Groenland, plusieurs paramètres démographiques et du cycle biologique n'ont pas été déterminés pour le stock de la sous-zone 0+1 (au large des côtes) (par exemple, âge, sélectivité, estimations de la mortalité totale (Z) ou mortalité naturelle (M)). Lors de l'élaboration de modèles de population, les valeurs de ces paramètres doivent être empruntées à d'autres stocks ou extrapolées à partir de ceux-ci. Les relevés et la pêche commerciale ne prélèvent pas non plus les poissons dans l'ensemble de leur habitat; en particulier, le flétan du Groenland n'est pas capturé ou échantillonné dans les eaux les plus profondes de la baie de Baffin et du détroit de Davis, où il se trouve à de trop grandes profondeurs pour être pêché au chalut.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

| Nom | Organisme/Affiliation |
|-------------------------------|---|
| Jeff Adam | MPO – Gestion des pêches, région de l'Arctique |
| Hugues Benoit | MPO – Sciences, région du Québec |
| Kevin Hedges | MPO – Sciences, région de l'Ontario et des Prairies |
| Adrienne McLean (rapporteuse) | MPO – Gestion des pêches, région de l'Arctique |
| Dayanne Raffoul (rapporteur) | MPO – Sciences, région de l'Ontario et des Prairies |
| Paul Regular | MPO – Sciences, région de Terre-Neuve-et-Labrador |
| Chantelle Sawatzky | MPO – Sciences, région de l'Ontario et des Prairies |
| Justin Shead | MPO – Sciences, région de l'Ontario et des Prairies |
| Mary Thiess (présidente) | MPO – Sciences, région de la capitale nationale |
| Margaret Treble | MPO – Sciences, région de l'Ontario et des Prairies |
| Laura Wheeland | MPO – Sciences, région de Terre-Neuve-et-Labrador |
| Tom Carruthers | Blue Matter Science |
| Quang Huynh | Blue Matter Science |
| Sean Cox | Landmark Fisheries Research |
| Samuel Johnson | Landmark Fisheries Research |
| Brian Burke | Qikiqtaaluk Corporation |
| Bjarki Elvarsson | Marine and Freshwater Research Institute of Iceland |
| Nigel Hussey | University of Windsor |
| Adriana Nogueira | Greenland Institute of Natural Resources |
| Alastair O'Rielly | Northern Coalition |
| Kris Vascotto | Atlantic Groundfish Council |
| Fabian Zimmermann | Institute of Marine Research in Norway |

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de l'examen régional par les pairs du 12 au 15 décembre 2022 sur l'examen des cadres d'évaluation des stocks candidats pour le stock de flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 (au large des côtes) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

- Albert, O.T., 2016. Growth and formation of annual zones in whole otoliths of Greenland halibut, a slow-growing deep-water fish. *Mar. Freshw. Res.* 67: 937–942.
- Albert, O.T., Kvalsund, M., Vollen, T., and Salberg, A.-B. 2009. Towards accurate age determination of Greenland halibut. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 40: 81–95. doi:10.2960/J.V40.M659
- Anderson, S.C., Ward, E.J., Barnet, L.A.K., and English, P.A. 2021. [sdmTMB: Spatiotemporal Species Distribution GLMMs with 'TMB'. R package version 0.0.21.9005](#).
- Arreguín-Sánchez, F. 1996. [Catchability: a key parameter for fish stock assessment](#). *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6: 221–242.
- Barkley, A.N., Fisk, A.T., Hedges, K.J., Treble, M.A., and Hussey, N.E. 2018. Transient movements of a deep-water flatfish in coastal waters: Implications of inshore-offshore connectivity for fisheries management. *J. Appl. Ecol.* 55: 1071–1081. doi:10.1111/1365-2664.13079.
- Boje, J. 2002. Intermingling and seasonal migrations of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) populations determined from tagging studies. *Fish. Bull.* 100: 414–422.
- Boje, J., and Hareide, N-R. 1993. Trial Deepwater Longline Fishery in the Davis Strait, May-June 1992. NAFO SCR Doc. 93/53: 6 p.
- Brogan, J.D., Kastle, C.R., Helser, T.E., Anderl, D.M. 2021. Bomb-produced radiocarbon age validation of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) suggests a new maximum longevity. *Fish. Res.* 241: 106000.
- Dwyer, K.S., Treble, M.A., and Campana, S.E. 2016. Age and growth of Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Northwest Atlantic: A changing perception based on bomb radiocarbon analyses. *Fish. Res.* 179: 342–350. doi:10.1016/j.fishres.2016.01.016.
- Ferchaud, A.-L., Normandeau, E., Babin, C., Præbel, K., Hedeholm, R., Audet, C., Morgan, J., Treble, M., Walkusz, W., Sirois, P. and Bernatchez, L. 2022. A cold-water fish striving in a warming ocean: Insights from wholegenome sequencing of the Greenland halibut in the Northwest Atlantic. *Front. Mar. Sci.* 9: 992504. doi: 10.3389/fmars.2022.992504
- Gundersen, A.C., Stenberg, C., Fossen, I., Lyberth, B., Boje, J., and Jørgensen, O.A. 2010. [Sexual maturity cycle and spawning of Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in the Davis Strait](#). *J. Fish Biol.* 77: 211–226.
- Gregg, J.L., Anderl, D.M., Kimura, D.K., 2006. Improving the precision of otolith-based age estimates for Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) with preparation methods adapted for fragile sagittae. *Fish. Bull.* 104: 643–648.

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

- Hedges, K.J., et Raffoul, D. 2023. [Sommaire des facteurs qui influent sur la capturabilité du relevé et de la pêche et des données disponibles pour le stock et la pêche du flétan du Groenland \(*Reinhardtius hippoglossoides*\) dans la sous-zone 0+1 \(au large des côtes\) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/037. iv + 12 p.
- Hareide, N.-R., and Garnes, G. 2001. The distribution and catch rates of deep water fish along the Mid-Atlantic Ridge from 43 to 618N. *Fish. Res.* 51 (2001): 297–310.
- Huynh, Q.C., et Carruthers, T. 2023. [Élaboration de modèles opérationnels spatiaux pour tester la conception de relevé pour le flétan du Groenland \(*Reinhardtius hippoglossoides*\) du sous-zone 0+1 \(au large des côtes\) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/038. iv + 38 p.
- Huynh, Q., Carruthers, T., and Hordyk A. 2023. [SAMtool: Stock Assessment Methods Toolkit](#). Also available at [openMSE](#).
- Johnson, S.D.N, et Cox, S.P. 2023. [Cadre de modélisation pour l'évaluation du stock de flétan du Groenland \(*Reinhardtius hippoglossoides*\) de la sous-zone 0+1 \(au large des côtes\) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest et des stratégies de pêche connexes](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/039. iv + 94 p.
- Jørgensen, O.A. 1997. Movement Patterns of Greenland Halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum), at West Greenland, as Inferred from Trawl Survey Distribution and Size Data. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 21: 23–37.
- Junquera, S., Román, E. Morgan, J., Sainza, M. and Ramilo, G. 2003. Time scale of ovarian maturation in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*, Walbaum). *ICES J. Mar. Sci.* 60: 767–773. 2003. doi:10.1016/S1054–3139(03)00073-0.
- Kennedy, J., Gundersen, A.C., Høines, Å., Kjesbu, O.S. 2011. Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) spawn annually but successive cohorts of oocytes develop over two years, complicating correct assessment of maturity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 201-209.
- MPO. 2018. [Flétan du Groenland](#) [en ligne]. Pêches et Océans Canada, Ottawa, ON. (accédé 18/01/2023)
- Nogueira, A. and Treble, M.A. 2020. Comparison of vessels used and survey timing for the 1CD and 0A-South deep-water surveys and the 1A-F west Greenland shelf surveys. *NAFO SCR* 20/15, Ser. No. N7060. 45 p.
- Punt, A.E., Butterworth, D, de Moor, C., De Oliveira, J. and Haddon, M. 2016. Management strategy evaluation: best practices. *Fish Fish.* 17. 303–334.
- Regular, P.M., Robertson, G.J., Lewis, K.P., Babyn, J., Healey, B., Mowbray, F. 2020. [SimSurvey: An R package for comparing the design and analysis of surveys by simulating spatially-correlated populations](#). *PLOS ONE* 15(5): e0232822.
- Rideout, R.M., Morgan, M.J., Lambert, Y., Cohen, A.M., Banoub, J.H. and Treble, M. 2012. Oocyte Development and Vitellogenin Production in Northwest Atlantic Greenland Halibut *Reinhardtius hippoglossoides*. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, Vol. 44: 15–29
- Roy, D., Hardie, D.C., Treble, M.A., Reist, J.D., and Ruzzante, D.E. 2014. Evidence supporting panmixia in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71: 763–774.

**Examen des cadres d'évaluation des stocks
candidats pour le stock de flétan du Groenland
dans la sous-zone 0 +1
(au large des côtes) de l'OPANO**

**Région de l'Arctique et
région de l'Ontario et des Prairies**

- Simonsen, C.S., and Gundersen, A.C. 2005. Ovary development in Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in west Greenland waters. J. Fish Biol. 67: 1299–1317.
- Treble, M.A., Campana, S.E., Wastle, R.J., Jones, C.M., and Boje, J. 2008. Growth analysis and age validation of a deepwater Arctic fish, the Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 1047–1059. doi:10.1139/F08-030.
- Treble, M.A., Nogueira, A. and Hedges, K.J. 2022. Assessment of the Greenland Halibut Stock Component in NAFO Subarea 0 + 1 (offshore). NAFO SCR Doc. 22/022: 33 p.
- Vihtakari, M., Elvarsson, B. Þ., Treble, M., Nogueira, A., Hedges, K., Hussey, N.E., Wheeland, L., Roy, D., Ofstad, L.H., Hallfredsson, E.H., Barkley, A., Estévez-Barcia, D., Nygaard, R., Healey, B., Steingrund, P., Johansen, T., Albert, O.T., Boje, B. 2022. Migration patterns of Greenland halibut in the North Atlantic revealed by a compiled mark–recapture dataset. ICES J. Mar. Sci. 79: 1902–1917.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de l'Ontario et des Prairies
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent, Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6

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

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-48672-7 N° cat. Fs70-6/2023-020F-PDF
© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2023



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2023. Examen des cadres d'évaluation des stocks candidats pour le stock de flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 (au large des côtes) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/020.

Also available in English:

DFO. 2023. *Review of candidate stock assessment frameworks for the Northwest Atlantic Fisheries Organization Subarea 0+1 (Offshore) Greenland Halibut stock. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2023/020.*