



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

**Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)**

---

**Document de recherche 2023/039**

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

**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**

Samuel D. N. Johnson et Sean P. Cox

Landmark Fisheries Research  
213-2412 St. Johns St  
Port Moody, BC, V3H 2B1

---

## Avant-propos

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

### Publié par :

Pêches et Océans Canada  
Secrétariat canadien de consultation scientifique  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>  
[csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du  
ministère des Pêches et des Océans, 2023  
ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-48811-0 N° cat. Fs70-5/2023-039F-PDF

### La présente publication doit être citée comme suit :

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.

### Also available in English :

Johnson, S.D.N, and Cox, S.P. 2023. A modeling framework for stock assessment and harvest strategy evaluation for the NAFO 0+1 (offshore) Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) fishery. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/039. iv + 88 p.

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION .....	1
MÉTHODES.....	2
SRSPSL-FG : UN MODÈLE OPÉRATIONNEL STATISTIQUE DES PRISES SELON LA LONGUEUR POUR LES DEUX SEXES.....	2
Dynamique de l'état du modèle SRSPSL-FG .....	8
Modèles d'observation du modèle SRSPSL-FG .....	11
Fonction objective et optimisation .....	11
Qualité de l'ajustement.....	12
Points de référence fondés sur le rendement maximal durable .....	12
Analyse de sensibilité.....	12
Analyses rétrospectives .....	15
Réalisation des autotests de simulation .....	15
CADRE DE SIMULATIONS EN BOUCLE FERMÉE PAR RÉTROACTION .....	16
Procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif .....	17
Algorithme de simulation en boucle fermée pour évaluer les stratégies de pêche par rétroaction .....	20
Paramètre de rendement .....	21
RÉSULTATS.....	21
ESTIMATIONS DU MODÈLE DE BASE SRSPSL-FG.....	21
Ajustements aux données du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 .....	21
Répercussions pour la dynamique des stocks .....	28
Analyses de sensibilité.....	35
Analyse rétrospective .....	41
Autotests de simulation .....	43
ÉVALUATION DE LA PROCÉDURE DE GESTION FONDÉE SUR UN MODÈLE/INDICE ADAPTATIF POUR LE FLÉTAN DU GROENLAND DE LA SOUS-ZONE 0+1 .....	46
DISCUSSION.....	54
TRAVAUX FUTURS POUR UNE ÉVALUATION COMPLÈTE DE LA STRATÉGIE DE GESTION ÉVALUÉE PAR LES PAIRS.....	58
REMERCIEMENTS .....	58
RÉFÉRENCES CITÉES .....	58
ANNEXE A : ANALYSES DE SENSIBILITÉ SUPPLÉMENTAIRES DU MODÈLE SRSPSL-FG61	
ANNEXE B : TESTS DE SIMULATION SUPPLÉMENTAIRES DU MODÈLE SRSPSL-FG .....	67
ANNEXE C : AUTRE CONFIGURATION SIMULÉE DU RELEVÉ .....	69
ANNEXE D : AJUSTEMENTS ANNUELS AUX DONNÉES SUR LA COMPOSITION SELON LA LONGUEUR.....	75
ANNEXE E : RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES PROCÉDURES DE GESTION SUPPLÉMENTAIRES.....	84
ANNEXE F : ERREURS RELATIVES DE L'ÉVALUATION SIMULÉE DU STOCK.....	93

---

## RÉSUMÉ

Le présent document décrit un cadre de modélisation pour l'évaluation du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (au large des côtes) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) à l'aide d'un modèle opérationnel statistique à référence spatiale des prises selon la longueur (SRSPSL) qui intègre toutes les données disponibles tirées d'activités de surveillance des pêches et de relevés. Ce modèle est ensuite utilisé pour fournir une évaluation de la productivité et de l'état du stock, ainsi qu'un cadre de simulation en boucle fermée visant à évaluer les stratégies de pêche du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 en fonction de la rétroaction. Le modèle SRSPSL est raisonnablement bien ajusté aux données sur le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, comme le montrent les paramètres standard de la qualité de l'ajustement, malgré quelques sensibilités et problèmes de données observés. Le comportement rétrospectif du modèle était également raisonnable. Les autotests de simulation et d'évaluation ont également indiqué qu'il était peu probable que le modèle soit biaisé pour un grand nombre d'ensembles de données simulés. Après la réalisation des tests, nous avons utilisé le modèle SRSPSL pour conditionner un cadre de simulation en boucle fermée afin de mettre à l'essai les procédures de gestion du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 par rapport aux paramètres de rendement reposant sur la politique de gestion des pêches selon l'approche de précaution de l'OPANO. À titre d'exemple, nous avons défini une procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif qui fixe les totaux autorisés des captures sur une base bisannuelle, en utilisant des paramètres de règles de décision mis à jour tous les six ans par l'entremise d'évaluations du stock simulées grâce au modèle SRSPSL. Ces évaluations ont été ajustées aux données biologiques et aux données sur les prises antérieures et simulées provenant de six flottilles commerciales, différentes de par la nation et le type d'engin, ainsi qu'aux données sur la composition selon la longueur et aux indices du stock provenant de trois relevés indépendants de la pêche : deux relevés existants menés par des navires de recherche au large des côtes (divisions 0A et 1CD de l'OPANO) et dans les eaux côtières (divisions 1A à F de l'OPANO), ainsi qu'un relevé supplémentaire proposé, qui débutera en 2022 et qui devrait cibler les petits poissons dans les eaux côtières des divisions 0A et 0B. À titre de comparaison, nous avons également testé une méthode fondée sur un indice non adaptatif, selon laquelle les paramètres de règles de décision reposent sur le modèle SRSPSL initial pour toute la simulation. La procédure adaptative a donné de bons résultats, maintenant la biomasse au-dessus du point de référence limite  $B_{lim} = 0,3B_{RMD}$  dans toutes les simulations et avec une forte probabilité d'éviter le taux de mortalité par pêche limite  $F_{lim} = F_{RMD}$ . En revanche, la procédure non adaptative a abouti à une légère surpêche du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1; la biomasse semblait continuer à diminuer après la fin de la simulation. En outre, la procédure non adaptative avait une probabilité à peu près neutre de dépasser  $F_{lim}$ , ce qui la rendait inacceptable en vertu de la politique de l'OPANO. Nous concluons le document par des recommandations de travaux futurs visant à étendre ce cadre à une évaluation complète de la stratégie de pêche, ce qui permettrait d'élaborer une stratégie de pêche complète pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 conforme à la politique de gestion de la pêche.

---

## INTRODUCTION

Le stock de flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossides*) de la sous-zone 0+1 de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) est exploité dans le cadre d'une pêche transfrontalière qui s'est développée au cours des dernières décennies. La pêche locale traditionnelle et de subsistance pratiquée par les Groenlandais est consignée depuis 1852 (Smidt 1969, Bowering et Brodie 1995) et, même si la pêche commerciale existe depuis le début des années 1900, les prises ont beaucoup augmenté depuis 1968 (Bowering et Brodie 1995, Treble et Nogueira 2020). Par le passé, de 1976 à 1992, les pêches hauturières et côtières étaient gérées selon un seul total autorisé des captures (TAC); toutefois, depuis 1993, la pêche hauturière contemporaine du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 est gérée selon son propre TAC. Les TAC des zones hauturières ont varié d'environ 11 kt (de 1995 à 2001) à 36 kt en 2018 (Treble et Nogueira 2020).

Il existe actuellement peu de renseignements disponibles sur l'ajustement des TAC en fonction de l'évolution de l'état du stock de flétan du Groenland. Depuis 2016, les TAC sont fixés à l'aide d'une moyenne mobile de l'indice de la biomasse (Treble et Nogueira 2020) produit selon un relevé effectué par un navire de recherche au large des côtes dans les divisions 0A et 1CD de l'OPANO. Bien que ce relevé ait été réalisé et qu'un indice ait été produit pour 2019, d'importantes différences entre les engins et les navires ont influencé le rendement des engins, réduisant la confiance dans les résultats (Nogueira et Treble 2020, Treble et Nogueira 2020); c'est pourquoi la pêche est soumise à un TAC constant depuis 2018. Il existe d'autres sources de données disponibles, telles que le relevé côtier ciblant les petits poissons dans les divisions 1A à F, les captures par unité d'effort (CPUE) des pêches et la composition selon la longueur, mais il existe aussi des incertitudes bien documentées qui peuvent affaiblir les rétroactions fondées sur l'ensemble de ces données. Par exemple, le relevé côtier semble cibler les petits poissons, qui sont nettement différents des gros poissons visés par la pêche commerciale. De plus, certaines parties des zones côtières ciblées sont liées à des stocks côtiers qui sont considérés comme des populations puits; si c'était le cas, les liens d'information entre les décisions relatives aux TAC et l'indice pour l'ensemble de la région pourraient s'éroder davantage. Enfin, sans l'aide d'un modèle, il est généralement difficile de déterminer la force d'une classe d'âge à partir des données sur la composition selon la longueur provenant de différents relevés et différentes pêches dont les protocoles et les plans d'échantillonnage sont tous quelque peu uniques.

Dans le présent document, nous donnons un exemple de cadre de modélisation de l'évaluation complet (des données à l'avis) en trois parties :

- a) estimer l'état du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 et les points de référence biologiques à partir de données issues de la pêche et de relevés;
- b) mettre à l'essai par simulation le modèle d'évaluation afin de mieux comprendre la fourchette du rendement des estimations (c.-à-d., biais et précision des estimations) compte tenu des types de données disponibles, de leur qualité et de leur quantité;
- c) conditionner les modèles opérationnels pour tester par simulation les stratégies de pêche selon l'approche de précaution.

Nous utilisons ce cadre pour élaborer et tester un exemple de stratégie de pêche selon l'approche de précaution appliquant une procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif pour fixer les TAC de flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 à mesure que les renseignements futurs provenant des relevés existants et des nouveaux relevés prévus s'accumuleront.

---

Le cadre de modélisation décrit dans la partie A développe une approche statistique à référence spatiale des prises selon la longueur qui incorpore les sources de données sur le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 par l'entremise des interactions entre la dynamique du stock et les mécanismes de génération de données. Tout au long du présent document, nous utilisons le nom « SRSPSL-FG » pour désigner le modèle en question. Le modèle SRSPSL-FG produit des distributions bayésiennes de probabilité *a posteriori* pour les paramètres biologiques et de gestion clés (p. ex.,  $B_{RMD}$ ,  $RMD$ ,  $F_{RMD}$ ). Dans la partie B, nous développons et appliquons un cadre d'autotest de simulation pour le modèle SRSPSL-FG dans lequel le biais et la précision des estimations de l'évaluation sont évalués en fonction d'ensembles de données simulés. Enfin, dans la partie C, nous intégrons le modèle SRSPSL-FG dans un algorithme de simulation en boucle fermée pour générer de nouvelles données, réaliser une évaluation et fixer les TAC selon un cycle temporel prédéterminé dans le futur. Nous appliquons ensuite un exemple de procédure de gestion en supposant que l'évaluation est mise à jour tous les six ans et que les TAC sont fixés chaque année selon une méthode fondée sur un indice semblable à l'approche existante. La méthode fondée sur un indice utilise la capturabilité des relevés estimée à partir de l'évaluation pour estimer la biomasse exploitable. Dans les simulations, nous fournissons des attentes réalistes en matière de rendement de cette approche puisque la capturabilité présumée de l'indice est mise à jour à chaque cycle d'évaluation, au lieu de supposer à tort que la capturabilité du relevé est parfaitement connue sur une période de simulation de 47 ans. L'approche adaptative est spécialement conçue pour permettre aux scientifiques et aux gestionnaires de concevoir des relevés, des plans d'échantillonnage et des protocoles qui optimisent le rendement des pêches (c.-à-d., de boucler la boucle « des données à l'avis ») dans la mesure du possible.

Dans la partie A, nous effectuons également des analyses de sensibilité sur plusieurs hypothèses du modèle SRSPSL-FG, notamment la taille selon l'âge des grands flétans du Groenland de la sous-zone 0+1, la variabilité temporelle de la capturabilité pour les CPUE de la pêche, la forme de sélectivité de la pêche et la variabilité temporelle de la mortalité naturelle et de la capturabilité du chalut de fond. Nous examinons également comment certaines sensibilités peuvent être utilisées comme autres hypothèses du modèle opérationnel dans l'évaluation de la stratégie de pêche.

## MÉTHODES

### **SRSPSL-FG : UN MODÈLE OPÉRATIONNEL STATISTIQUE DES PRISES SELON LA LONGUEUR POUR LES DEUX SEXES**

Le modèle SRSPSL-FG est un modèle de la dynamique de la population structuré selon l'âge et le sexe, ajusté aux indices de la biomasse et aux compositions selon la longueur indépendants de la pêche, ainsi qu'aux données sur les débarquements, les CPUE et les prises selon la longueur dépendantes de la pêche (Figure 1). Les compositions selon la longueur et les débarquements issus des pêches sont répartis par type d'engin et, dans la mesure du possible, par nation, mais regroupés pour les sous-zones 0 et 1. Le modèle SRSPSL-FG est un modèle implicitement spatial ou de « zones en tant que flottilles », puisque seuls les navires canadiens pêchent dans la sous-zone 0 et que tous les autres navires pêchent dans la sous-zone 1. La notation du modèle figure dans le Tableau 1 et la dynamique de la population et les équations du modèle statistique, dans les Tableaux 2 et 3, respectivement. Les définitions des flottilles de pêche commerciale figurent dans le Tableau 4. Nous présentons ci-après une description narrative du modèle en utilisant ces tableaux comme références des équations.

Le modèle SRSPSL-FG répartit les paramètres du modèle de base en quatre sous-ensembles (Tableau 2, P.1 à P.4) :

- les paramètres estimés ( $\theta^{est}$ );
- les paramètres nuisant à la capturabilité et à la variance, estimés conditionnellement aux paramètres principaux ( $\theta^{cond}$ );
- les paramètres fixes pour la croissance, la maturité selon la longueur, les écarts-types du recrutement et la variance fixe du modèle pour les paramètres variables dans le temps ( $\theta^{fixe}$ );
- les paramètres spécifiant les distributions *a priori* ( $\theta^{a priori}$ ) pour d'autres paramètres du modèle.

L'appartenance des paramètres aux ensembles fixes et estimés diffère du modèle de base pour certaines des variations du modèle prises en compte dans l'analyse de sensibilité.

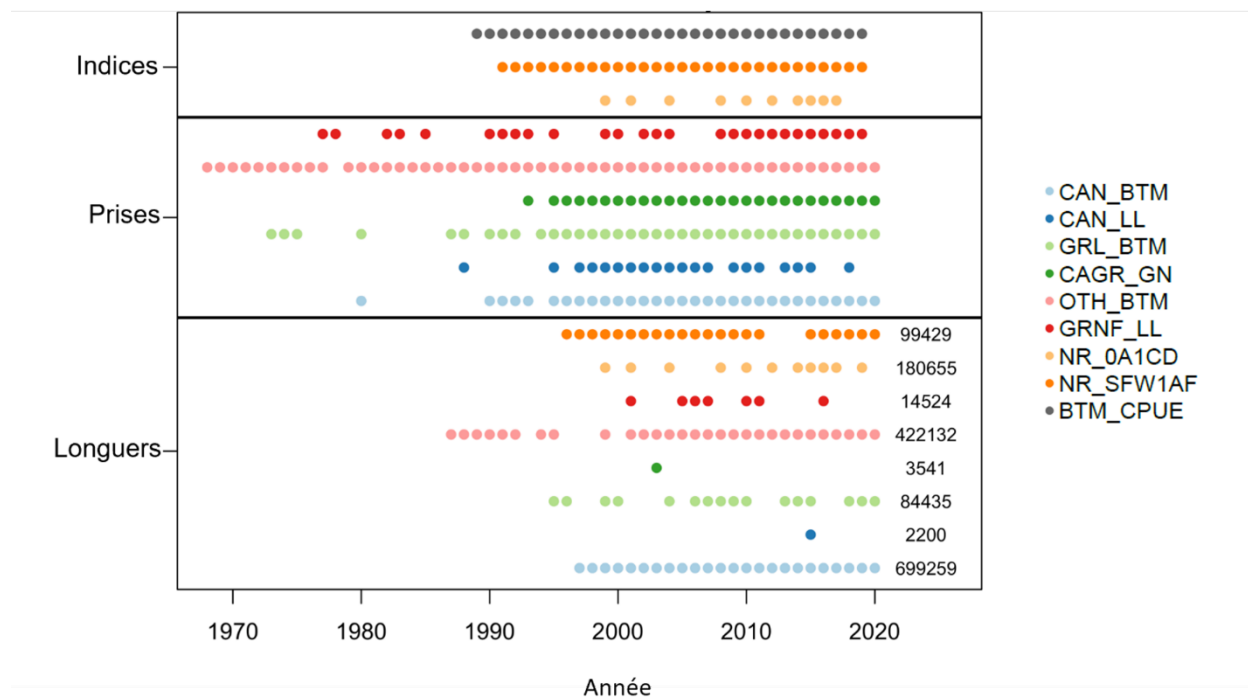


Figure 1. Résumé des données disponibles sur les indices, les prises et la composition selon la longueur pour le modèle d'évaluation des stocks SRSPSL-FG jusqu'en 2020. Les points indiquent la présence de données pour chaque année (axe des x) et chaque flottille (couleurs expliquées dans la légende de la figure). Pour les données sur la composition selon la longueur, la taille totale de l'échantillon pour toutes les années est indiquée à l'extrémité droite du graphique. Dans la figure : CAN\_BTMM = Canada, chalut de fond; CAN\_LL = Canada, palangre; GRL\_BTMM = Groenland, chalut de fond; CAGR\_GN = Canada, Groenland, filet maillant; OTH\_BTMM = Autre, chalut de fond; GRNF\_LL = Groenland, Russie, Norvège, Îles Féroé, palangre; NR\_0A1CD = Navire de recherche, 0A1CD; NR\_SFW1AF = Ouest du Groenland, navire de recherche, crevettes et poissons, 1AF; BTM\_CPUE = Capture par unité d'effort au chalut de fond.

Tableau 1. Notation utilisée dans la spécification du modèle d'évaluation du stock SRSPSL-FG, accompagnée d'une description de chaque variable et des valeurs fixes possibles.

Symbole	Valeur	Description
$T$	53	Nombre total d'intervalles de temps de 1965 à 2021
$A$	35	Classe d'âge du groupe « plus »
$L$	32	Nombre de fenêtres de longueurs (plage de 4 cm)
$t$	1, 2, ..., $T$	Intervalles de temps
$a$	1, 2, ..., $A$	Indice de la classe d'âge
$l$	2, 6, ..., 112	Points médians des fenêtres de longueurs ( $L = 32$ , total des fenêtres de longueurs)
$g$	1, ..., 9	Indice de l'engin tel que décrit dans le tableau 4 ( $g = 9$ utilisé uniquement dans les projections)
$x$	1, 2	Indice associé au sexe pour les mâles ( $x = 1$ ) et les femelles ( $x = 2$ )
$B_0$	-	Biomasse du stock reproducteur femelle non exploitée
$h$	-	Taux de variation de la relation stock-recrutement de Beverton-Holt
$R_0$	-	Recrutement des individus d'âge 1 à l'équilibre non exploité
$S_{a,x}$	-	Survie selon l'âge et le sexe de la biomasse à l'équilibre non exploitée
$\phi_0$	-	Biomasse du stock reproducteur à l'équilibre non exploitée par recrue
$\beta_1, \beta_2$	28, 10	Paramètres <i>a priori</i> bêta pour le taux de variation (moyenne de 0,73, écart-type de 0,07)
$\omega_t$	-	Écarts logarithmiques de l'erreur de processus du recrutement annuel
$\sigma_R$	1	Erreur type des écarts du recrutement $\omega_t$
$q_g$	-	Coefficient de capturabilité pour les relevés par navire de recherche ( $g = 7, 8, 9$ )
$q_t$	-	Coefficient de capturabilité variable dans le temps pour l'indice des CPUE relatif à la pêche commerciale
$M_{x,t}$	-	Taux de mortalité naturelle variable dans le temps pour les mâles et les femelles
$M_{0,x}$	-	Taux de mortalité naturelle moyen dans le temps pour les mâles et les femelles
$\mu_M$	0,14	Moyenne <i>a priori</i> de la mortalité naturelle pour les mâles et les femelles
$\sigma_M$	0,05	Écart-type <i>a priori</i> de la mortalité naturelle pour les mâles et les femelles
$\epsilon_{M,t}$	-	Écarts logarithmiques de la marche aléatoire de la mortalité naturelle variable dans le temps
$L_{\infty,x}$	68, 72	Longueur asymptotique (cm) pour les mâles et les femelles
$\sigma_{L,x}$	0,08, 0,11	Coefficient de variation (CV) dans la distribution de la longueur selon l'âge
$K_x$	0,10, 0,559	Constante de croissance de von Bertalanffy pour les mâles et les femelles
$L_{1,x}$	16,26, 16,53	Longueur à l'âge 1 pour les mâles et les femelles
$c_1, c_2$	$3,86E^{-6}$ , 3,22	Coefficients de transformation allométrique longueur-poids
$l_{50}, l_{95}$	67, 78	Longueur à 50 % et à 95 % de maturité
$L_{a,x}$	-	Longueur moyenne selon l'âge (cm) pour les mâles et les femelles
$w_{a,x}$	-	Poids moyen selon l'âge pour les mâles et les femelles
$m_l$	-	Proportion de femelles matures selon la longueur



Symbole	Valeur	Description
$m_a$	-	Proportion de femelles matures selon l'âge
$s_{l,g}$	-	Sélectivité moyenne selon la longueur $l$ pour l'engin $g$
$s_{a,x,g}$	-	Sélectivité moyenne selon l'âge $a$ pour l'engin $g$ et le sexe $x$
$L_{50,g}^A$	-	Longueur à 50 % de sélectivité pour le membre ascendant
$L_{95,g}^A$	-	Longueur à 95 % de sélectivité pour le membre ascendant
$L_{50,g}^D$	-	Longueur à 50 % de sélectivité pour le membre descendant
$L_{95,g}^D$	-	Longueur à 95 % de sélectivité pour le membre descendant
$N_{a,x,t}$	-	Nombres selon l'âge $a$ pour le sexe $x$ l'année $t$
$B_t$	-	Biomasse du stock reproducteur femelle pendant l'année $t$
$C_{g,t}$	-	Prises totales observées (unités de biomasse) pour l'engin $g$ pendant l'année $t$
$C_{a,x,g,t}$	-	Prises prévues selon l'âge (nombres) $a$ et le sexe $x$ par engin $g$ pendant l'année $t$
$C'_{a,x,g,t}$	-	Prises prévues selon l'âge (unités de biomasse) $a$ et le sexe $x$ par engin $g$ pendant l'année $t$
$B_t^{exp}$	-	Moyenne pondérée de la biomasse exploitable par allocation pendant l'année $t$
$U_{g,t}$	-	Taux d'exploitation par engin $g$ pendant l'année $t$
$U_t$	-	Taux d'exploitation total pendant l'année $t$
$I_{g,t}$	-	Indice observé de la biomasse/abondance pour l'engin $g \in \{7,8\}$ pendant l'année $t$
$\hat{I}_{g,t}$	-	Indice prévu de la biomasse/abondance pour l'engin $g \in \{7,8\}$ pendant l'année $t$
$\tau_g$	-	Écart-type des résidus à l'échelle logarithmique de l'observation de l'indice de la biomasse
$u_{l,x,g,t}$	-	Données sur la composition selon la longueur observée pour le sexe $x$ dans l'engin $g$ au moment $t$
$\hat{u}_{l,x,g,t}$	-	Données sur la composition selon la longueur prévue pour le sexe $x$ dans l'engin $g$ au moment $t$
$\hat{\tau}_{x,g}^{long}$	-	Estimation maximale de la densité <i>a posteriori</i> conditionnelle de l'erreur d'échantillonnage de la composition selon la longueur, par sexe et par engin
$w_{B_0}$	10	Pondération sur la valeur <i>a priori</i> de Jeffreys incorrecte de la biomasse non exploitée

Tableau 2. Équations du modèle de processus et d'observation pour le modèle d'évaluation du stock SRSPSL-FG. Les préfixes des numéros d'équation ( $N^\circ$ ) aident les lecteurs à répartir les équations en sous-ensembles, définis comme suit : P = paramètres; G = croissance et maturité; M = mortalité, S = sélectivité; EQ = caractéristiques d'équilibre; C = équations des prises; N = équations du nombre d'individus selon l'âge.

$N^\circ$	Équation
(P.1)	$\theta^{lead} = (B_0, \{\omega_t\}_{t \in 1:T}, h, M_x, \{\epsilon_t\}_{t \in 1:T}, \{L_{50,g}^A, L_{95,g}^A, L_{50,g}^D, L_{95,g}^D\}_{g \in 1:8})$
(P.2)	$\theta^{cond} = (\{\log q_g\}_{g \in \{7,8\}}, \{\tau_{x,g}^{long}\}_{g \in 1:8})$

N°	Équation
(P.3)	$\theta^{fixe} = (l_{mat,50}, l_{mat,95}, \sigma_R, \sigma_M)$
(P.4)	$\theta^{a priori} = (m_M, s_M, \{m_{L50,A,g}, m_{L95,A,g}, m_{L50,D,g}, m_{L95,D,g}, \sigma_g^{Sél}\}_{g \in 1:8})$
(G.1)	$l_{a,x} = L_1 + (L_1 - L_{\infty,x}) \cdot e^{-k_x(a-1)}$
(G.2)	$D(l   a, x) = e^{-(frac{(l-l_{a,x})^2 \cdot \sigma_L \cdot l_{a,x}}{2})^2}$
(G.3)	$P(l   a, x) = \frac{D(l   a, x)}{\sum_{l'} D(l'   a, x)}$
(G.4)	$w_{a,x} = c_1 l_{a,x}^{c_2}$
(G.5)	$m_l = \left(1 + e^{-\log 19 \frac{l-l_{mat,50}}{l_{mat,95}-l_{mat,50}}}\right)^{-1}$
(G.6)	$m_a = \sum_l P(l   a, x = 2) m_l$
(M.1)	$M_{x,t} = \begin{cases} M_x & t = 1 \\ M_{x,t-1} \cdot e^{\sigma_{M\epsilonpsilon} n t} & t > 1 \end{cases}$
(M.2)	$M_{0,x} = \frac{1}{T} \sum_t M_{x,t}$
(S.1)	$s_{l,g}^X = \left(1 + e^{-\log 19 \frac{l-L_{50,g}^X}{L_{95,g}^X - L_{50,g}^X}}\right)^{-1}$
(S.2)	$s_{l,g} = s_{l,g}^A \cdot s_{l,g}^D$
(S.3)	$s_{a,x,g} = \sum_l P(l   a, x) s_{l,g}$
(EQ.1)	$S_{a,x} = \begin{cases} 0,5 & a = 1 \\ S_{a-1,x} e^{-M_{0,x}} & 1 < a < A \\ S_{a-1,x} e^{-M_{0,x}} / (1 - e^{-M_{0,x}}) & a = A, \end{cases}$
(EQ.2)	$\phi = e^{-M_{0,x=2}} \cdot \sum_a S_{a,x=2} \cdot \bar{w}_{a,x=2} \cdot m_a$
(EQ.3)	$R_0 = B_0 / \phi$
(EQ.4)	$N_{a,x}^{eq} = R_0 \cdot S_{a,x}$
(C.1)	$N_{a,x,t+\delta_g} = N_{a,x,t+\delta_{g-1}} \cdot e^{-1 \cdot (\delta_g - \delta_{g-1}) M_{x,t}}$
(C.2)	$N_{a,x,g,t} = N_{a,x,t+\delta_g} \cdot S_{a,x,g}$
(C.3)	$B_{a,x,g,t} = N_{a,x,g,t} \cdot w_{a,x}$
(C.4)	$B_{g,t} = \sum_{a,x} B_{a,x,g,t}$
(C.5)	$B_t^{exp} = \sum_g \rho_g B_{g,t}$
(C.6)	$C'_{a,x,g,t} = C_{g,t} \cdot \frac{B_{a,x,g,t}}{\sum_{a'} B_{a',x,g,t}}$
(C.7)	$C_{a,x,g,t} = C'_{a,x,g,t} / w_{a,x}$
(C.8)	$N_{a,x,t+\delta_g} = e^{-(\delta_g - \delta_{g-1}) M_{x,t}} \cdot N_{a,x,t+\delta_{g-1}} - C_{a,x,g,t}$

N°	Équation
(C.9)	$U_{g,t} = C_{g,t}/B_t^{exp}$
(N.1)	$SB_t = \sum_{a,x=2} m_a B_{a,x=2,t}$
(N.2)	$R_{t+1} = \frac{a_p SB_t}{1 + b_p SB_t} \cdot e^{\sigma_{R\omega_R t}}$
(N.3)	$N_{a,x,t+1} = \begin{cases} 0,5R_{t+1} & a = 1 \\ e^{-(1-\delta_G)M_{x,t}} \cdot N_{a-1,x,t+\delta_G} & 2 \leq a \leq A-1 \\ e^{-(1-\delta_G)M_{x,t}} \cdot (N_{a-1,xs,t+\delta_G} + N_{a,x,t+\delta_G}) & a = A, \end{cases}$

Tableau 3. Valeurs a priori et fonctions de vraisemblance du modèle statistique pour le modèle d'évaluation du stock SRPSL-FG. La fonction  $1(X)$  est la fonction indicatrice, prenant la valeur 1 lorsque  $X$  est vrai et la valeur 0 lorsque  $X$  est faux. Les préfixes des numéros d'équation (N°) aident les lecteurs à répartir les équations en sous-ensembles, définis comme suit : O = modèle d'observation; NLL = log-vraisemblance négative pour les données de l'indice; LL = vraisemblance des données de longueur, Pr = a priori; OF = fonction objective.

N°	Équation
(O.1)	$q_{g,t} = \begin{cases} q_g & t = t_{g,1} \\ q_{g,t-1} e^{\epsilon_{q,g,t}} & t_{g,1} < t < t_{g,n_g} \end{cases}$
(O.2)	$\hat{I}_{g,t} = q_{g,t} B_{g,t}$
(O.3)	$\hat{u}_{l,x,g,t} = \frac{\sum_a P(l   a, x) s_{a,x,g} N_{a,x,g} e^{-f_g z_{a,x,t}}}{\sum_{l'} \sum_{a'} P(l'   a', x) s_{a',x,g} N_{a',x,g} e^{-f_g z_{a',x,t}}}$
(NLL.1)	$n_g = \sum_{t=1}^T 1(I_{g,t} > 0)$
(NLL.2)	$z_{g,t} = \begin{cases} \log \frac{I_{g,t}}{B_{g,t}} & g = 5 \\ \log \frac{I_{g,t}}{q_{g,t} B_{g,t}} & g = 1, 4 \end{cases}$
(NLL.3)	$\hat{q}_g = \frac{1}{n_g} z_{g,t} \quad g = 4$
(NLL.4)	$\hat{t}_g^2 = \begin{cases} \frac{1}{n_g} \sum_t 1(I_{g,t} > 0) \cdot (z_{g,t} - \hat{q}_g)^2 & g = 5 \\ \frac{1}{n_g} \sum_t 1(I_{g,t} > 0) \cdot (z_{g,t})^2 & g = 1, 4 \end{cases}$
(NLL.5)	$l_{g,1} = \frac{1}{2} (n_g \log \hat{t}_g^2 + n_g)$
(LL.1)	$n_{x,g,t}^{long} = \sum_a 1(u_{l,x,g,t} > 0)$
(LL.2)	$\eta_{l,x,g,t} = \log u_{l,x,g,t} - \log \hat{u}_{l,x,g,t}$
(LL.3)	$Z_{x,g} = \sum_t \sum_a \left( \eta_{l,x,g,t} - \frac{1}{n_{x,g,t}^{long}} \sum_{l'} \eta_{l',x,g,t} \right)$

N°	Équation
(LL.4)	$\hat{t}_{long, g, x}^2 = \frac{1}{\sum_t n_{x, g, t}^{long}} Z_{x, g}$
(LL.5)	$l_{g, 2} = \sum_x \left( \frac{1}{2} \sum_t n_{x, g, t}^{long} \cdot \log \hat{t}_{age, g, x}^2 \right)$
(Pr.1)	$p_h = -[(\beta_1 - 1)\log h + (\beta_2 - 1)\log(1 - h)]$
(Pr.2)	$p_M = \frac{M_m - \mu_m}{2\sigma_M^2} + \frac{M_f - \mu_f}{2\sigma_M^2}$
(Pr.3)	$p_s = \sum_g \left( \frac{\alpha_g - \mu_{\alpha_g}}{2\sigma_{sél, g}^2} + \frac{\beta_g - \mu_{\beta, g}}{2\sigma_{sél, g}^2} \right)$
(Pr.4)	$p_R = \sum_{t=2}^T \omega_t^2$
(OF.1)	$f = \sum_g (w_g^{indice} l_{g, 1} + w_g^{long} l_{g, 2}) + p_h + p_M + p_s + p_R + w_{B_0} \log B_0$

Tableau 4. Définitions des codes de la flottille commerciale de pêche du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 (Flottille), qui indiquent la nation et l'engin, ainsi que les prises moyennes entre 1968 et 2020 (Prises antérieures moyennes) et l'allocation fondée sur la part moyenne des prises entre 2011 et 2020 (Allocation sur 10 ans).

Flottille	Nation	Engin	Prises antérieures moyennes	Allocation sur 10 ans
CAN_BTM	Canada	Chalut de fond	3,285	0,3480722
CAN_LL	Canada	Palangre	0,166	0,0059228
GR_BTM	Groenland	Chalut de fond	3,221	0,3666405
CAGR_GN	Canada et Groenland	Filet maillant	1,759	0,2094441
OTH_BTM	Russie, Norvège, Japon, Allemagne, Espagne, Îles Féroé, Estonie, Lettonie	Chalut de fond	1,564	0,0631904
GRNF_LL	Groenland, Russie, Norvège, îles Féroé	Palangre	0,148	0,0067300

### Dynamique de l'état du modèle SRSPSL-FG

Les paramètres du modèle, les états d'équilibre et la dynamique de l'état complet pour le modèle SRSPSL-FG sont indiqués dans le Tableau 2. Le recrutement à l'équilibre non exploité (EQ.3) et le nombre d'individus selon l'âge (EQ.4) sont dérivés de la biomasse du stock reproducteur par recrue (EQ.2), qui est elle-même une fonction de la mortalité naturelle des femelles (M.2), du poids selon l'âge et de la survie selon l'âge de la biomasse à l'équilibre non exploitée (EQ.1), ainsi que de la maturité selon l'âge des femelles intégrée à l'incertitude de la distribution de la longueur selon l'âge (G.1 à G.6, Figure 2). Le modèle de longueur selon l'âge de Von Bertalanffy a été estimé à partir de 315 poissons échantillonnés lors du relevé mené au large des côtes en 2017 dans la division 0A, tandis que le modèle allométrique de poids selon

la longueur a été estimée à partir des observations de 9 057 poissons, échantillonnés dans la même zone entre 2001 et 2019. Les valeurs pour la longueur à 50 % et à 95 % de maturité ont été tirées d'études sur les poissons de la division 0A (Morgan et Treble 2006, Harris *et al.* 2009) et converties en maturité selon l'âge en les intégrant à la distribution de la longueur selon l'âge.

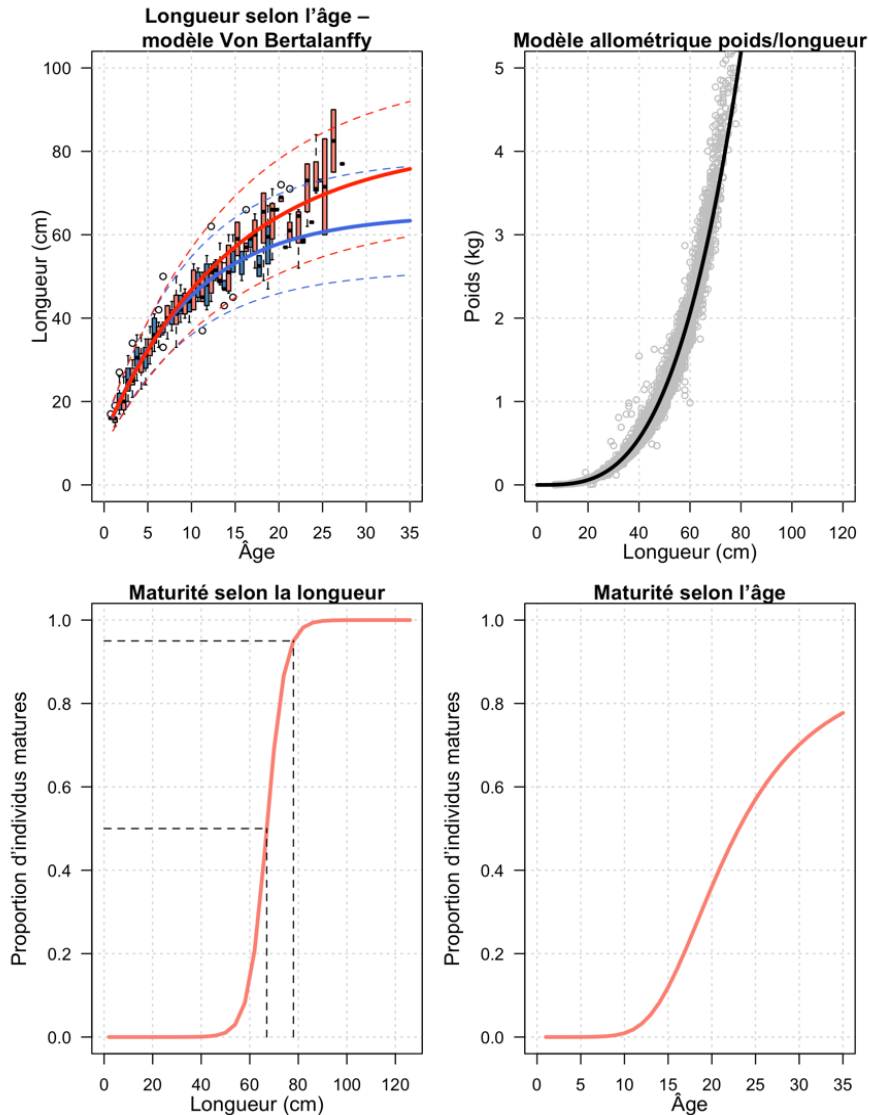


Figure 2. Modèles de croissance (en haut) et de maturité (en bas) du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. Les modèles de la longueur selon l'âge de Von Bertalanffy (graphique en haut à gauche) sont ajustés aux données des mâles (en bleu) et des femelles (en rouge) échantillonnés lors du relevé extracôtier mené par navire de recherche en 2017 dans la division 0A, tandis que la conversion allométrique longueur-poids est ajustée aux données de longueur/poids collectées de 2001 à 2019 dans le cadre du même relevé et regroupées selon le sexe (points gris). La maturité selon la longueur est une donnée du modèle, fondée sur les valeurs de la longueur à 50 % de maturité et de la longueur à 95 % de maturité tirées d'études sur le flétan du Groenland de la division 0A de l'OPANO, tandis que la maturité selon l'âge est calculée en intégrant la maturité selon la longueur à la distribution de la longueur selon l'âge des femelles.

Dans le modèle SRSPSL-FG, une année commence le 1<sup>er</sup> janvier et se termine le 31 décembre. Les abondances des classes d'âge et de sexe sont initialisées à l'état non exploité de 1968, ce qui semble raisonnable étant donné que les prises étaient négligeables jusqu'à cette date. La biomasse du stock reproducteur en 1968 est générée en additionnant le poids selon l'âge à une structure de l'abondance selon l'âge d'équilibre non exploitée (A.1). Le recrutement annuel (en date du premier jour de l'année) est supposé suivre une fonction stock-recrutement de Beverton-Holt paramétrée par le taux de variation du stock-recrutement  $h$ , la biomasse du stock reproducteur non exploitée  $B_0$  et les écarts d'erreur de processus du recrutement  $\omega_t$  (A.2). La biomasse du stock reproducteur femelle est calculée à partir du nombre d'individus selon l'âge, en fonction de l'ogive de la maturité selon l'âge et du poids moyen selon l'âge (Figure 2). La dynamique de la population a progressé d'année en année en faisant avancer chaque classe d'âge après avoir appliqué la mortalité due aux causes naturelles  $M_{x,t}$  et à la pêche commerciale (expliquée ci-après) et ajouté le recrutement de l'âge 1 (A.3). Dans les cas où la mortalité naturelle est modélisée comme variable dans le temps, la série  $M_{x,t}$  se déroule comme une simple marche aléatoire avec des écarts annuels  $\epsilon_t$  (M.1).

La sélectivité selon la longueur était asymptotique (logistique; Tableau 2, S.1) avec la longueur selon l'âge pour toutes les flottilles, à l'exception de la flottille canadienne au chalut de fond et des relevés menés par navire de recherche dans les eaux extracôtières et côtières, dans les divisions 0A et 1CD et 1A à F, respectivement. Ces trois flottilles présentaient une sélectivité en forme de dôme (double logistique), considérée comme le produit d'un membre ascendant  $s_{l,g}^A$  et d'un membre descendant  $s_{l,g}^D$  (S.2). Toutes les flottilles utilisent les mêmes paramètres pour le membre ascendant : la longueur à 50 % de sélectivité  $L_{50,g}^A$  et la longueur à 95 % de sélectivité  $L_{95,g}^A$ . Pour les flottilles ayant une sélectivité en forme de dôme, les paramètres de la longueur à 95 % de sélectivité  $L_{95,g}^D$  et de la longueur à 50 % de sélectivité  $L_{50,g}^D$  existent aussi pour le membre descendant. Hormis le paramètre du membre ascendant  $L_{50,g}^A$ , tous les autres paramètres du modèle de sélectivité sont modélisés comme des augmentations par rapport au paramètre précédent sur la gauche (c.-à-d.,  $L_{50,g}^D > L_{95,g}^D > L_{95,g}^A$ ); ainsi, le membre descendant est toujours à droite du membre ascendant, ce qui réduit la pente du pic de sélectivité. La sélectivité selon la longueur a été convertie en sélectivité selon l'âge par sexe à l'aide du modèle de croissance à dimorphisme sexuel de von Bertalanffy (S.3, Figure 2). La sensibilité à l'hypothèse d'une sélectivité en forme de dôme ou asymptotique pour les flottilles de chalutiers est examinée à l'Annexe A.

Les prises réalisées par toutes les pêches commerciales dans les sous-zones 0 et 1 ont été représentées comme des pêches distinctes pratiquées vers le milieu de l'année pendant une fraction de l'intervalle  $\delta_g$  (Tableau 2, C.1 à C.9), où  $0,45 < \delta_g < 0,55$ . Pour retirer les poissons de la population, nous avons estimé les prises selon l'âge dans la biomasse pour chaque pêche (C.6), puis les avons converties en nombre de poissons totaux capturés selon l'âge à l'aide du poids moyen selon l'âge (C.7) avant de les soustraire du nombre d'individus selon l'âge de la population (C.8). Les taux d'exploitation annuels pour les débarquements totaux  $U_t$  et pour chaque flottille commerciale  $U_{g,t}$  sont calculés comme le rapport entre les prises débarquées et une biomasse exploitable pondérée par l'allocation, qui pondère la biomasse sélectionnée des flottilles commerciales par la proportion moyenne des prises débarquées de chacune d'entre elles entre 2011 et 2020 (Tableau 2, C.5, C.9; Tableau 4 pour l'allocation).

---

## Modèles d'observation du modèle SRSPSL-FG

Les variations temporelles de l'abondance et de la composition de la population de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 sont surveillées dans le cadre d'un relevé au chalut réalisé par un navire de recherche en eaux extracôtières, dans la partie sud de la division 0A et de la division 1CD (NR\_0A1CD), ainsi que dans le cadre d'un relevé au chalut à petites mailles mené dans les zones côtières des divisions 1A à F (NR\_SFW1AF). Les compositions selon la longueur sont également collectées dans le cadre des deux relevés et par toutes les flottilles de pêche commerciale, à des degrés divers. En outre, une série sur les CPUE au chalut de fond combine les données sur les prises et l'effort de plusieurs pays par l'entremise d'une moyenne pondérée par les prises de la biomasse sélectionnée pour chaque flottille de chalutiers (CAN, GRL et OTH, en utilisant les captures moyennes indiquées dans le Tableau 4).

Les indices des relevés et les CPUE sont supposés être linéaires (c.-à-d. qu'il n'y a pas d'hyperstabilité ou d'hyperdiminution) dans l'état de la population qu'ils indexent, à savoir la biomasse totale ciblée par le relevé pour le relevé mené par navire de recherche en eaux extracôtières, l'abondance totale relative au relevé pour le relevé par navire de recherche en eaux côtières et la biomasse vulnérable moyenne pondérée pour les CPUE des pêches au chalut combinées (Tableau 3, O.1; Tableau 4 pour les poids moyens des captures). Les paramètres de la capturabilité des relevés et les écarts-types résiduels du modèle pour les trois indices sont estimés par l'entremise du maximum de vraisemblance conditionnelle (NLL.1 à NLL.5). Compte tenu de l'expansion spatiale possible des pêches composant la série chronologique des CPUE au chalut, nous avons estimé un paramètre de la capturabilité variable dans le temps pour cette série à partir de 2014, en vue de suivre les changements possibles de la capturabilité au fur et à mesure de l'expansion de la pêche (O.1).

Les observations de la proportion selon la longueur (c.-à-d., la composition selon la longueur) sont modélisées par fenêtres de longueurs présentant une plage de 4 cm à l'aide d'une fonction de vraisemblance logistique-normale (Schnute et Haigh 2007, Francis 2014), avec des valeurs attendues égales aux proportions des nombres vulnérables selon la longueur (Tableau 3, O.3). Nous avons utilisé une procédure de compression de la queue qui a combiné les données des fenêtres de longueurs contenant moins de 0,1 % des échantillons avec les fenêtres de longueurs voisines qui étaient au-dessus de ce seuil. Cette procédure permet d'éliminer les zéros ou les proportions très faibles dans les données sur la composition selon la longueur, mais crée également un nombre variable de fenêtres à chaque intervalle de temps (LL.1). Les variances de l'erreur d'échantillonnage des longueurs propres à la flottille et au sexe ont été estimées à l'aide du maximum de vraisemblance conditionnelle en tant que paramètres de la nuisance (LL.4).

## Fonction objective et optimisation

La fonction objective du modèle SRSPSL-FG (Tableau 3, OF.1) est proportionnelle à la fonction de densité bayésienne *a posteriori* conjointe log-négative. La valeur *a posteriori* log-négative est définie comme la somme des fonctions de log-vraisemblance négative pour les données observées (NLL.5, L.8 et F.4), des densités *a priori* log-négatives pour les erreurs de processus du recrutement (Pr.1) et de la mortalité naturelle (Pr.2) et d'autres valeurs *a priori* des paramètres principaux (Pr.3 et Pr.4).

La fonction objective du modèle SRSPSL-FG est mise en œuvre dans Template Model Builder (TMB) et optimisée par la fonction `nminb()` dans le progiciel statistique R (Kristensen *et al.* 2016, R Core Team 2015). Les paramètres du modèle sont considérés comme convergents lorsque la composante du gradient maximum de la surface log-postérieure a une

---

valeur absolue inférieure à  $10^{-2}$  et que la matrice hessienne du modèle (c.-à-d., l'inverse de la matrice de covariance des paramètres principaux) est définie positive.

Les distributions bayésiennes *a posteriori* sont générées par quatre chaînes indépendantes de 1 000 échantillons utilisant chacune une chaîne Monte-Carlo hamiltonienne (Monnahan et Kristensen 2018). Les valeurs de départ des chaînes ont été surdispersées par échantillonnage à partir d'une distribution normale avec des valeurs moyennes au niveau des estimations de la densité *a posteriori* maximale et des écarts-types égaux à trois fois l'erreur type de chaque paramètre. La méthode de Monte-Carlo hamiltonienne diffère de la méthode de Monte-Carlo par chaîne de Markov en réduisant au maximum l'auto-corrélation entre les échantillons *a posteriori* successifs, produisant ainsi un échantillon *a posteriori* de modèle mixte avec des tailles d'échantillon absolues plus petites et peu ou pas d'éclaircissement (Monnahan *et al.* 2017).

### **Qualité de l'ajustement**

La qualité de l'ajustement se reflète de deux manières. Tout d'abord, les erreurs types résiduelles et les valeurs de la fonction de vraisemblance sont indiquées pour tous les ensembles de données. Ensuite, les caractéristiques des chaînes *a posteriori* sont examinées, notamment l'autocorrélation dans la chaîne, la corrélation entre les paramètres principaux, les facteurs possibles de réduction d'échelle (c.-à-d., les valeurs de  $\hat{R}$  inférieures à 1,01) et la taille effective de l'échantillon (TEE; au moins 100 par chaîne).

### **Points de référence fondés sur le rendement maximal durable**

Les points de référence biologiques au rendement maximal durable (RMD) ont été estimés à partir des estimations par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse non exploitée et des paramètres de productivité du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, de la sélectivité des flottilles et de la répartition des prises entre les flottilles en fonction des captures de 2011 à 2020 (Tableau 4). Les points de référence ainsi obtenus fournissent des estimations de la biomasse du stock reproducteur optimale  $B_{RMD}$ , de la biomasse exploitable  $B_{RMD}^{exp}$ , du rendement  $RMD$  et du taux d'exploitation optimal  $U_{RMD} = RMD/B_{RMD}^{exp}$ . Bien qu'un taux optimal de mortalité par pêche ( $F_{RMD}$ ) soit estimé dans le cadre de la dérivation des points de référence, il s'agit d'un paramètre de la recherche par grille utilisé pour échelonner les taux de mortalité par pêche propres à la flottille selon l'allocation, permettant ensuite de calculer le rendement en situation d'équilibre. Il n'est donc pas possible d'interpréter directement la valeur de  $F_{RMD}$  comme un taux de mortalité totale par pêche, compte tenu de l'éventail des sélectivités des flottilles. On utilise plutôt le taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$  pour définir les procédures de gestion et les paramètres du rendement dans la procédure de simulation en boucle fermée utilisée dans la partie C.

### **Analyse de sensibilité**

La présente section décrit les tests de sensibilité de plusieurs hypothèses du modèle, dont la longueur asymptotique, les paramètres variables dans le temps par rapport aux paramètres constants pour la capturabilité agrégée des CPUE au chalut et la mortalité naturelle, ainsi que la taille minimale de l'échantillon et les paramètres de compression de la queue pour les calculs de la vraisemblance de la composition selon la longueur. D'autres tests du rendement du modèle SRSPSL-FG par rapport aux changements dans les ensembles de données et les hypothèses structurelles ont été menés dans le cadre du processus d'examen par les pairs et sont résumés dans l'Annexe A.



---

## Longueur asymptotique

D'après les ajustements préliminaires du modèle SRSPSL-FG, le modèle de croissance pourrait estimer une longueur moyenne selon l'âge à biais négatif pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. La preuve de ce biais repose sur les proportions observées de la maturité selon la longueur pour les zones 0A et 0B (Cooper *et al.* 2007, Harris *et al.* 2009) montrant que les poissons pleinement matures se trouvent dans les queues supérieures de la distribution estimée de la longueur selon l'âge pour les poissons d'âge 35+, ce qui donne une maturité selon l'âge inférieure à 100 % dans le groupe d'âge 35+ (Figure 2). En outre, il y a eu des problèmes d'ajustement aux compositions selon la longueur dans la pêche au filet maillant, dont la longueur modale se situait dans la queue supérieure de la longueur à l'âge 35. Nous avons testé la sensibilité à  $L_{\infty, x}$  pour les deux sexes en réestimant le modèle de croissance de von Bertalanffy et en fixant  $L_{\infty, x} = \alpha \cdot \hat{L}_{\infty, x}$ , où  $\hat{L}_{\infty, x}$  était la valeur originale librement estimée à partir des données d'âge/longueur tirées du relevé extracôtier de 2017. Les paramètres restants pour le taux de croissance  $K_x$ , le coefficient de variation de la longueur selon l'âge  $c_{L, x}$  et l'âge théorique à la longueur-0  $t_{0, x}$  ont été réestimés (Figure 3) et utilisés comme données d'entrée lors du réajustement du modèle SRSPSL-FG à toutes les données d'évaluation du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1.

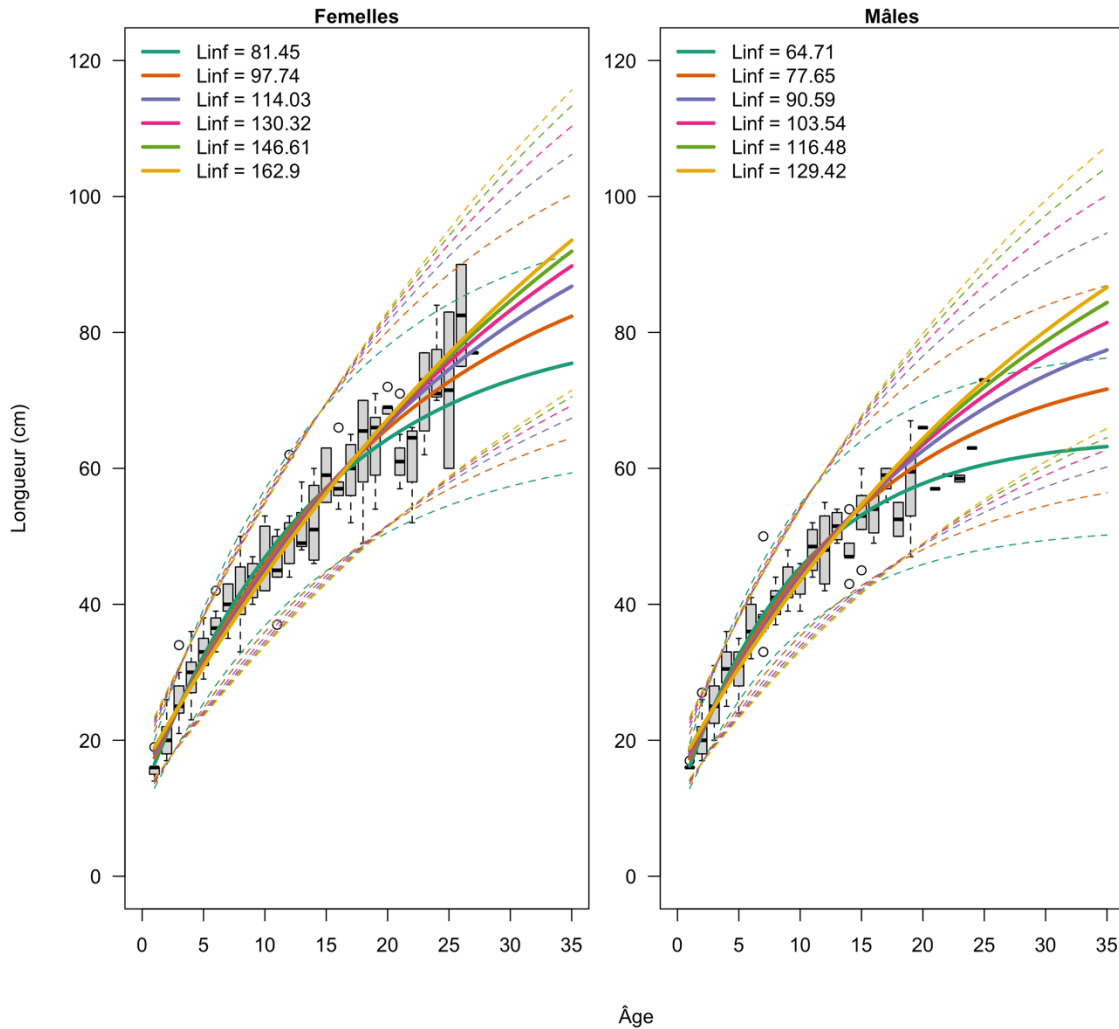


Figure 3. Ajustement des modèles de croissance utilisés pour l'analyse de sensibilité  $L_{\infty}$ . Les lignes pleines montrent l'estimation de probabilité maximale de la longueur moyenne selon l'âge, tandis que les lignes pointillées montrent l'intervalle centré à 95 % de la distribution de la longueur selon l'âge pour chaque longueur asymptotique (couleurs dans la légende).

### Paramètres variables dans le temps

La sensibilité a été testée à la fois pour une capturabilité variable dans le temps ou constante et pour une mortalité naturelle variable dans le temps, comme appliquée dans l'hypothèse de base du modèle SRPSL-FG. La capturabilité variable dans le temps a été appliquée après 2014 afin d'améliorer l'ajustement aux récents points de données de CPUE élevés, peut-être associés à l'augmentation de la portée spatio-temporelle de la pêche. La mortalité variable dans le temps a été appliquée pour correspondre à un signal de diminution associé aux données de CPUE de 1989 à 2000, qui peut être associé à une mortalité non prise en compte dans le modèle SRPSL-FG (p. ex., les prises accessoires possibles des pêches de la morue, les prises non déclarées par la flottille de pêche à la morue à la suite du déclin des stocks de morue du Nord, ou les poissons débarqués dans d'autres zones). Les quatre combinaisons de variation des deux paramètres, de variation d'un seul paramètre ou de constance des deux paramètres sont testées.

---

## Taille de l'échantillon selon la longueur et compression de la queue

Nous avons également testé la sensibilité aux traitements des données de composition selon la longueur pour les calculs de la fonction de vraisemblance. La taille minimale de l'échantillon pour l'inclusion des données sur la composition selon la longueur dans l'ensemble de données et la proportion minimale utilisée pour la compression de la queue sont ajustées afin de démontrer la sensibilité du modèle, ainsi que les changements dans l'erreur type résiduelle pour certaines flottilles dans ces paramètres.

## Analyses rétrospectives

Une analyse rétrospective a été réalisée par l'intermédiaire d'un ajustement par rapport à des « extractions » de données successives allant de 2010 à 2020. Chaque extraction est comparée au moyen d'estimations de la densité *a posteriori* maximale (EDPM) des séries chronologiques de la biomasse du stock reproducteur, de la biomasse non pêchée, de recrutement non exploité, de la mortalité naturelle et de la relation stock-recrutement. En outre, les EDPM des points de référence basés sur le RMD sont calculés pour chaque extraction de données afin de comprendre l'effet des nouvelles données sur l'équilibre du modèle et les objectifs de gestion associés.

## Réalisation des autotests de simulation

La capacité du modèle SRSPSL-FG à estimer les paramètres clés du modèle a été testée par l'intermédiaire d'un autotest de simulation dans lequel le « vrai » modèle opérationnel était basé sur les EDPM des paramètres du SRSPSL-FG ( $\theta^*$ ). Les paramètres ont été estimés dans le cadre de l'hypothèse de base avec une sélectivité variable dans le temps pour le relevé côtier, une capturabilité variable dans le temps pour les CPUE au chalut et une mortalité naturelle variable dans le temps. Toutes les erreurs de processus en matière de recrutement et de mortalité naturelle ont été maintenues à leurs EDPM, mais de nouvelles erreurs d'observation (c.-à-d., des données) ont été simulées pour toutes les séries de données.

De nouvelles données ont été simulées dans trois scénarios, où les données simulées remplaçaient les données observées utilisées à l'origine pour estimer les paramètres du modèle de base. Les trois scénarios étaient les suivants :

1. **SimLengths** : données simulées sur la composition selon la longueur et données réelles (originales) observées sur la biomasse/l'indice d'abondance.
2. **SimIdx** : données réelles observées sur la composition selon la longueur et données simulées sur l'indice de biomasse/abondance.
3. **SimAll** : toutes les données sur la longueur et l'indice sont simulées.

Dans tous les scénarios, des données simulées ont été générées en utilisant les erreurs standard estimées pour le modèle de base SRSPSL-FG pour chaque série de données.

Le rendement de l'autotest du modèle SRSPSL-FG a été mesuré par l'intermédiaire des erreurs relatives des paramètres sélectionnés, résumées en erreurs relatives moyennes (ERM) et en erreurs relatives absolues moyennes (ERAM) des paramètres clés. L'ERM mesure le biais d'une estimation du modèle, tandis que l'ERAM peut être interprétée comme une mesure de la précision par rapport à l'ERM. Les deux valeurs  $ERM(\theta)$  et  $ERAM(\theta)$  résument la répartition des erreurs relatives  $RE_i(\theta)$ , qui est définie comme suit :

$$RE_i(\theta) = \frac{\hat{\theta}_i - \theta^*}{\theta^*}$$

---

où  $i$  indexe la réplique de simulation,  $\hat{\theta}_i$  est l'estimation des paramètres du modèle SRSPSL-FG à partir des données simulées dans la réplique  $i$ , et  $\theta^*$  est l'EDPM de  $\theta$  d'après les données réelles. Pour les deux mesures, les valeurs proches de zéro indiquent de meilleures estimations du modèle.

Un test de simulation supplémentaire a été réalisé au cours de l'examen par les pairs afin de tester la sensibilité des estimations du modèle SRSPSL-FG à l'hypothèse d'un recrutement déterministe de 1968 à 1988 (Annexe B).

## CADRE DE SIMULATIONS EN BOUCLE FERMÉE PAR RÉTROACTION

Nous avons conditionné un modèle opérationnel avec les estimations du modèle SRSPSL-FG, en utilisant la même dynamique que celle du Tableau 2. Le modèle, que nous appelons SG3-FG, simule le système de gestion de la pêche du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 à partir de 2021, en générant des réponses des stocks aux prélèvements de TAC par les pêches, qui sont fixées en fonction des procédures de gestion simulées. Les dynamiques simulées sont ensuite utilisées pour calculer les mesures de rendement de la pêche basées sur des objectifs de pêche (hypothétiques) établis en fonction de la politique actuelle de l'approche de précaution de l'OPANO (Brodie *et al.* 2013).

Le modèle opérationnel SG3-FG fournit une représentation pratique et réaliste de la dynamique du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, des processus d'exploitation de la pêche et des données de surveillance de la pêche, de sorte que les rétroactions non linéaires et les incertitudes des données peuvent être prises en compte dans l'avis annuel sur les TAC. Ces processus interagissent pour déterminer le rendement à court et à long terme des stratégies d'exploitation de la pêche par rapport aux objectifs (hypothétiques) de la pêche. En l'absence d'objectifs de pêche, nous avons défini des mesures standard de conservation et de rendement fondées sur l'approche de précaution de l'OPANO (Brodie *et al.* 2013). Les mesures de rendement constituent alors une approche quantitative de l'évaluation de la conformité des pêches avec la politique internationale des pêches.

Les simulations en boucle fermée incluent un relevé supplémentaire par navire de recherche afin de refléter le nouveau plan de relevé actuellement initialisé pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, qui comprend le précédent plan de relevé par navire de recherche au large, plus quelques calées côtières supplémentaires dans la division 0A et une extension pour inclure des calées dans la division 0B. Le nouveau plan de relevé a été simulé dans les projections sous la forme de deux indices distincts. Le premier poursuit le relevé existant par navire de recherche, avec la même sélectivité et la même capturabilité. Le deuxième est une simulation du **nouveau relevé par navire de recherche** en tant que 9<sup>e</sup> flottille ( $g = 9$ ), qui présente une sélectivité semblable à celle du relevé côtier existant dans la sous-zone 1 et une capturabilité simulée de  $q_9 = 1$ . Bien qu'à l'heure actuelle, les valeurs de sélectivité et de capturabilité simulées ne soient que des conjectures, étant donné l'absence de données existantes pour ce relevé, le choix de ces valeurs repose sur certaines bases. La sélectivité est semblable à celle du relevé côtier actuel afin de simuler les prises de petits poissons dans les eaux moins profondes, puisqu'aucune donnée sur les prises selon la longueur n'était disponible au moment de la rédaction et que des calées supplémentaires sont prévues dans des eaux moins profondes. La capturabilité a été fixée à 1 (c.-à-d., un relevé absolu), car, en l'absence de données, il s'agit d'un choix arbitraire qui ne devrait pas influencer sur le rendement du modèle dans les simulations en boucle fermée, tant que les évaluations simulées estiment  $q_9$ . La précision du nouveau relevé par navire de recherche a permis d'établir deux autres hypothèses du modèle opérationnel pour les simulations en boucle fermée, qui sont expliquées ci-dessous.

---

## Procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif

La procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 tente de saisir les principaux éléments d'un cycle complet d'évaluation des stocks halieutiques et d'un cadre de gestion. Dans les cadres de gestion d'espèces semblables (p. ex., le flétan atlantique), une évaluation complète du stock structurée selon l'âge est réalisée tous les cinq à huit ans, tandis que dans les années intermédiaires, une procédure plus simple basée sur un indice est utilisée pour établir les TAC sur une base annuelle. Les paramètres de contrôle (p. ex., la capturabilité et le taux d'exploitation cible) pour la procédure basée sur un indice sont réestimés lors des mises à jour de l'évaluation complète des stocks. Ensuite, les paramètres mis à jour sont généralement testés à nouveau dans le cadre de simulations en boucle fermée afin de s'assurer que le rendement attendu de la procédure correspond aux objectifs de la pêche dans le cadre des estimations actuelles de la biomasse, de la productivité et de l'état du stock, mais nous avons sauté cette étape pour des raisons de calcul.

Dans le cas de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif, la mise à jour du modèle d'évaluation complète du stock est prévue tous les six ans et les révisions du TAC ont lieu tous les deux ans, à partir de 2024 dans les deux cas. Nous avons choisi 2024 parce qu'il s'agit de la première année où le nouveau relevé par navire de recherche simulé disposerait de suffisamment de données pour des estimations conditionnelles de la capturabilité et des erreurs types résiduelles, et qu'il s'agit également de la prochaine fois qu'une mise à jour du TAC doit être effectuée pour le véritable stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1.

Lors des années d'évaluation complète, seuls les paramètres d'évaluation du stock basés sur un indice sont mis à jour (c.-à-d. que les taux de capture cibles et les points de référence basés sur le RMD se maintiennent à leurs estimations actuelles). Lors de chaque évaluation complète, nous mettons à jour l'estimation de la capturabilité du relevé mené par navire de recherche en eaux extracôtières  $q_{NR\ t}$ , ainsi qu'un facteur d'ajustement de la biomasse exploitable.

$$\rho_t = e^{\left(\frac{1}{6}\sum_{t'=t-5}^t \log(B_{t'}^{exp}/B_{t'}^{NR})\right)}$$

où  $B_t^{exp}$  et  $B_t^{NR}$  sont les estimations de la biomasse exploitable et de la biomasse établie par le relevé par navire de recherche au cours des six dernières années. Le facteur d'ajustement de la biomasse tente de suivre les différences entre la biomasse exploitable et la biomasse du relevé, qui résultent de la variation du recrutement et de la structure selon l'âge sous-jacente. Cette approche s'apparente au modèle sélectif JABBA (Winker *et al.* 2020), qui proportionne la biomasse du stock reproducteur par rapport à la biomasse exploitable en utilisant l'équilibre du modèle. La principale différence est que nous avons utilisé un modèle structuré selon l'âge pour estimer à la fois la biomasse établie par navire de recherche et la biomasse exploitable, qui ont été comparées directement et mises à jour au fil du temps.

La composante de la procédure de gestion fondée sur un indice fixe les TAC selon les étapes suivantes à chaque intervalle de temps :

1. Calculer la moyenne sur trois ans de l'indice du relevé **NR\_0A1CD**.

$$\bar{I}_t = e^{\left(\frac{1}{3}\sum_{t'=t-2}^t \log I_{NR\ t'}\right)}$$

2. Calculer la biomasse exploitable estimée à partir de la moyenne sur trois ans de l'indice du relevé par navire de recherche, de la dernière estimation de la capturabilité et du facteur d'ajustement de la biomasse grâce à la formule :

$$\hat{B}_t^{exp} = \rho_t \cdot \frac{\bar{I}_t}{\hat{q}_{NR\ t}}$$

où  $\hat{q}_{NR_t}$  est l'EDPM conditionnelle du paramètre de capturabilité de l'indice de relevé NR\_0A1CD estimé dans l'évaluation la plus récente, et  $\rho_t$  correspond au facteur d'ajustement de la biomasse exploitable. Si  $\rho_t$  et  $q_{NR_t}$  ne sont pas estimés pour la période  $t$ , utilisez les valeurs du moment  $t - 1$ .

3. Calculer le taux cible de mortalité par pêche  $F_t$  d'après la règle de contrôle des prises

$$F_t = \begin{cases} 0 & \hat{B}_t^{exp} \leq 0,3B_{RMD}^{exp} \\ F_{buf} \cdot \frac{\hat{B}_t^{exp} - 0,3\hat{B}_{RMD}^{exp}}{0,7\hat{B}_{RMD}^{exp} - 0,3\hat{B}_{RMD}^{exp}} & 0,3\hat{B}_{RMD}^{exp} < \hat{B}_t^{exp} \leq 0,7\hat{B}_{RMD}^{exp} \\ F_{buf} & 0,7\hat{B}_{RMD}^{exp} < \hat{B}_t^{exp} \end{cases}$$

où le taux d'exploitation maximum est de  $F_{buf} = 0,8F_{RMD}^{exp} = 0,099$ , le point de contrôle supérieur est de  $0,7B_{RMD}^{exp} = B_{buf}^{exp} = 95,6$  kt et le point de contrôle inférieur, où les taux d'exploitation tombent à 0, est de  $0,3B_{RMD}^{exp} = 41$  kt dans cet exemple. La biomasse  $B_{RMD}^{exp}$  correspond à l'équilibre de la biomasse exploitable produisant le RMD (voir les résultats pour consulter les valeurs utilisées dans les simulations). Il convient de noter que cette règle utilise une forme fonctionnelle simple de type « bâton de hockey » commune à la politique canadienne des pêches (MPO 2006), qui est effectivement inspirée de la politique en matière d'approche de précaution de l'OPANO par le choix des points de contrôle/référence (Figure 4; Brodie *et al.* 2013). Toutes les valeurs des points de contrôle/référence telles que  $F_{buf}$ ,  $F_{lim}$ , et  $B_{buf}$  peuvent être ajustées en fonction des préférences des gestionnaires des pêches, et en tant que paramètres de réglage, afin d'aligner les mesures de rendement de la pêche sur les exigences du cadre de l'approche de précaution de l'OPANO dans les conditions projetées du modèle opérationnel (Brodie *et al.* 2013).

4. Calculer le  $TAC'_t = (1 - e^{-F_t})\hat{B}_t^{exp}$  proposé.
5. Appliquer toute limite de modifications interannuelles des TAC, fixée ici à  $\Delta_t = 1,0$ , c.-à-d. :
- si  $TAC'_t > (1 + \Delta_t)TAC_{t-1}$ , alors  $TAC_t = (1 + \Delta_t)TAC_{t-1}$ ;
  - sinon,  $TAC_t = TAC'_t$

Nous avons choisi  $\Delta_t = 1,0$  pour que les TAC puissent être ramenés à 0 si l'estimation de la biomasse exploitable est inférieure à  $0,3B_{RMD}^{exp}$ , mais cette limite de modifications peut être ajustée en fonction des préférences des gestionnaires/intervenants afin de réduire les modifications interannuelles des TAC.

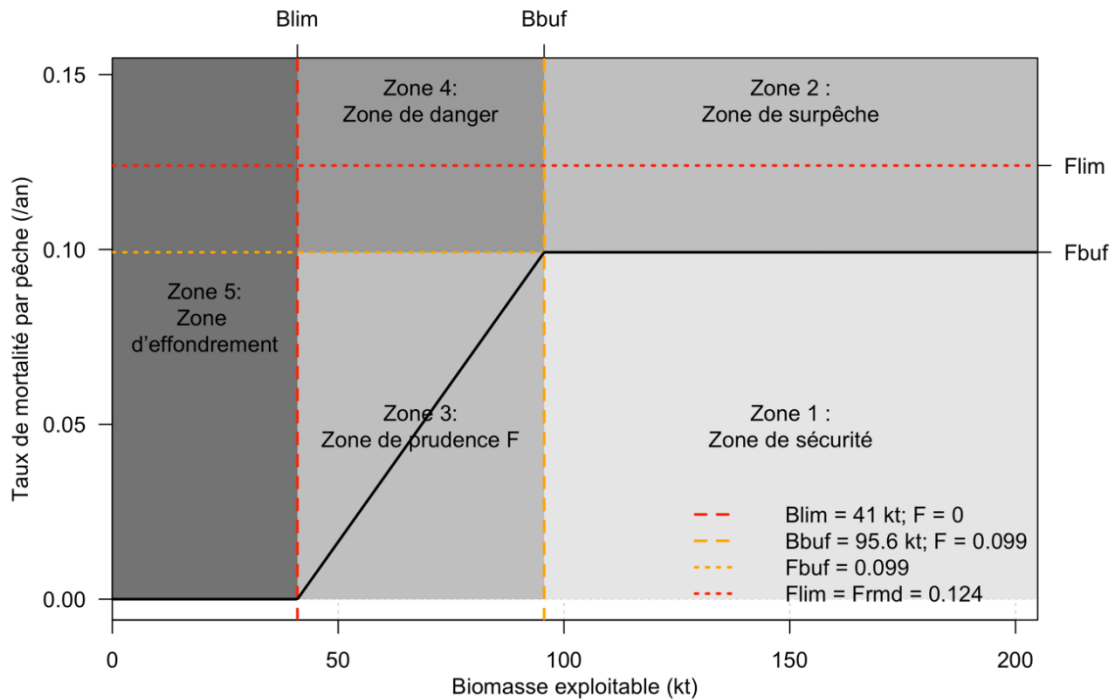


Figure 4. Règle de contrôle des prises de type « bâton de hockey » pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, fixant des taux cibles de mortalité par pêche (axe des y) en fonction de la biomasse exploitable (axe des x) telle qu'estimée par la procédure de gestion fondée sur un indice (versions  $q$  adaptatives et fixes). La règle de type « bâton de hockey » est superposée aux cinq zones définies par la politique sur l'approche de précaution de l'OPANO pour montrer comment la politique canadienne sur la gestion prudente de la pêche correspond effectivement à la politique sur l'approche de précaution de l'OPANO. Pour cet exemple,  $F_{RMD} = F_{lim}$  est fixé comme le taux de mortalité limite, et  $F_{buf} = 0,8F_{RMD}$ , comme le taux de mortalité par pêche cible.

Le  $TAC_t$  final pour chaque année est ensuite réparti entre les six flottilles commerciales en fonction des proportions du quota allouées (Tableau 4). Les prises sont retirées de la population comme dans le modèle SRSPSL-FG, où les prises des flottilles sont censées se faire en une seule fois au cours de l'année de pêche, avant et après quoi la moitié de la mortalité naturelle est appliquée. Pour les années où la procédure de gestion n'est pas officiellement achevée (p. ex., dans le cadre d'un calendrier biennal des TAC comme dans la pêche au flétan du Groenland de la sous-zone 0+1), la procédure reporte le TAC de l'année précédente.

L'approche adaptative, que nous avons appelée **qAdapt**, utilisée ici pour mettre à jour le paramètre  $q_{NR}$  du relevé par navire de recherche et le facteur d'ajustement de la biomasse  $\rho$  à des intervalles de temps plus longs que le TAC, a deux objectifs. Tout d'abord, elle simule l'incertitude future du paramètre  $q_{NR}$  plutôt que de supposer de manière irréaliste une valeur parfaitement connue proche d'un choix optimal. Deuxièmement, alors que le relevé mené par navire de recherche en eaux extracôtières présente le plus grand chevauchement spatial avec la portion exploitée du stock, le relevé par navire de recherche capture une plus grande proportion de petits poissons que n'importe quelle pêche, ce qui signifie qu'un écart se creuse entre la biomasse du relevé et la biomasse exploitable à mesure que la mortalité naturelle et par pêche modifie la structure du stock selon l'âge. Par conséquent, les valeurs à jour  $q_{NR,t}$  et  $\rho_t$  sont nécessaires pour rapprocher la décision relative au TAC du taux de mortalité par pêche cible, puisque la différence proportionnelle entre la biomasse exploitable et la biomasse du

---

relevé au large variera dans le temps et entre les tirages *a posteriori* utilisés pour conditionner les répétitions de simulation.

Aux fins de comparaison, nous avons également évalué une procédure à paramètre fixe non adaptatif, appelée **qFixe**, sans aucune mise à jour du modèle simulé. Dans le cadre de la procédure qFixe, nous avons établi  $\rho_t = 0,82$  et  $q_{NR t} = 0,38$  pour tous les intervalles  $t$  à leurs médianes *a posteriori* du modèle bayésien estimées par l'ajustement du modèle SRSPSL-FG aux données jusqu'en 2020.

### **Algorithme de simulation en boucle fermée pour évaluer les stratégies de pêche par rétroaction**

Nous utilisons l'algorithme de simulation en boucle fermée suivant pour appliquer la procédure de gestion simulée fondée sur un modèle/indice adaptatif (p. ex., Walters 1986, de la Mare 1998, Cooke 1999, Punt et Smith 1999, Sainsbury *et al.* 2000, Butterworth 2007) :

1. Initialiser un modèle opérationnel préconditionné pour la période passée (1968 – 2020) basé sur le modèle SRSPSL-FG.
2. Prévoir la population et les pêches selon le modèle opérationnel pour un intervalle de temps dans l'avenir pendant 47 ans (correspondant à deux générations de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1), à partir de 2021. À chaque intervalle de temps s'applique ce qui suit :
  - i. Produire les données sur les prises et les données dérivées des relevés qui seront disponibles pour l'évaluation du stock.
  - ii. Si une évaluation complète du stock est prévue, estimer les états et les paramètres du modèle SRSPSL-FG à partir des données simulées et générer de nouvelles valeurs  $q_{NR t}$  et  $\rho_t$  pour la procédure fondée sur un indice.
  - iii. Si une mise à jour du TAC est prévue, appliquer la règle de contrôle des prises pour générer un nouveau TAC, sinon faire avancer le TAC de l'intervalle de temps précédent.
  - iv. Mettre à jour la dynamique de la population du modèle opérationnel SG3-FG en tenant compte de la mortalité naturelle totale, des prises dus à la pêche répartis entre les flottilles et des nouveaux recrutements.
  - v. Répéter les étapes 2i à 2iv jusqu'à la fin de la période visée par les projections.
3. Répéter l'étape 2 pour 100 répétitions.
4. Calculer les statistiques quantitatives de rendement sur l'ensemble des 100 répétitions.

Dans le système réel de gestion du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, les données actuelles et nouvelles relatives à l'indice de relevé et aux prises selon la longueur ne seront pas collectées avant la saison estivale de 2022. Par conséquent, nos simulations ont maintenu le TAC au niveau des prises de 2020, soit 32 kt, jusqu'en 2025, après la première évaluation complète du stock simulée en 2024, après quoi les TAC seront mis à jour selon un cycle biennal et les évaluations du stock (valeurs  $q_{NR t}$  et  $\rho_t$ ) seront mises à jour selon un cycle de six ans. Si les véritables TAC peuvent en fait être inférieurs (mais probablement pas supérieurs), le rendement établi en vertu de l'hypothèse d'un TAC constant de 32 kt jusqu'en 2024 peut être considéré comme une sous-estimation prudente du véritable rendement de la pêche, puisque la biomasse serait plus élevée avec des TAC inférieurs à court terme.



---

La procédure fondée sur un modèle/indice adaptatif est évaluée dans le cadre de deux scénarios de modèles opérationnels, qui diffèrent par la précision utilisée pour simuler les données du nouveau relevé par navire de recherche :

1. **isPrec** : la précision est tirée du relevé côtier par navire de recherche existant.
2. **osPrec** : la précision est tirée du relevé par navire de recherche en eaux extracôtières existant.

La procédure de gestion qFixed n'a été évaluée que dans le cadre d'un seul scénario, car elle ne s'appuie pas du tout sur les données du nouveau relevé par navire de recherche; les résultats sont donc identiques pour les deux.

## Paramètre de rendement

Nous avons calculé les mesures de rendement suivantes pour évaluer la procédure de gestion adaptative du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre d'une simulation en boucle fermée. Elles sont choisies pour présenter un équilibre entre les mesures de conservation et de rendement, selon la politique d'approche de précaution de l'OPANO.

1. Probabilité que la biomasse du stock reproducteur femelle soit inférieure au point de référence limite (PRL)  
 $B_{lim} = 0,3B_{RMD}$  (pPRL),
2. Probabilité que le taux d'exploitation dépasse  $U_{lim} = U_{RMD}$  (pSurpêche)
3. Taux d'exploitation moyen au-dessus de  $U_{RMD}$  (mUsurpêche)
4. Moyenne médiane des prises sur dix ans (PRmoy)
5. Variation annuelle moyenne du rendement sur dix ans (VAM)

Le point de référence limite  $B_{lim}$  est défini comme 30 % de la biomasse du stock reproducteur femelle qui produit le RMD, et le taux d'exploitation limite est le taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$  (une approximation de  $F_{lim}$  dans la politique d'approche de précaution de l'OPANO) (Brodie *et al.* 2013).

Pour la procédure basée sur un modèle/indice adaptatif, nous avons également calculé et comparé les erreurs relatives dans les paramètres clés du modèle pour les évaluations de stock simulées en 2024 et 2054, comme pour la procédure d'autotest de simulation décrite plus haut.

## RÉSULTATS

### ESTIMATIONS DU MODÈLE DE BASE SRSPSL-FG

#### Ajustements aux données du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1

Les écarts-types résiduels du modèle d'observation pour chaque ensemble de données (Tableau 5) sont de bons indicateurs de la qualité des ajustements du modèle SRSPSL-FG présentés dans les Figures 5 et 6. En général, ces erreurs types sont dans l'espace logarithmique, de sorte qu'elles peuvent être interprétées plus ou moins comme des coefficients de variation. Par exemple, le relevé mené par navire de recherche en eaux extracôtières présentait une erreur type résiduelle de  $\tau_{NR0A1CD} = 0,15$  (c.-à-d., un coefficient de variation de 15 %), ce qui indique que le modèle et l'indice du relevé par navire de recherche s'accordent bien non seulement sur la tendance, mais aussi sur la variation interannuelle (Figure 5, graphique du haut), malgré une valeur résiduelle un peu plus importante en 2016. Des écarts

importants occasionnels ne sont pas nécessairement inattendus pour une distribution log-normale, même avec un coefficient de variation d'environ 10 %.

Tableau 5. Erreurs types estimées pour les données sur la composition selon la longueur (les trois premières colonnes), la proportion de femelles dans chaque fenêtre de longueurs (quatrième colonne) et les indices de stock (dernière colonne) pour les relevés au chalut canadiens (CANBTM), à la palangre canadiens (CANLL), au chalut groenlandais (GRBTM), au filet maillant canadiens et groenlandais (CAGRGN), au chalut de tous les autres pays (OTHBTM), à la palangre du Groenland, de la Russie, de la Norvège et des îles Féroé (GRNFLL), et les relevés en eaux extracôtières (NR0A1CD) et côtières (NR\_SFW1AF).

	<b>Mâle</b>	<b>Femme</b>	<b>Combinés</b>	<b>Proportion de femelles</b>	<b>Indices</b>
$\tau_{CANBTM}$	-	-	0,431	-	-
$\tau_{CANLL}$	-	-	0,762	-	-
$\tau_{GRBTM}$	-	-	0,842	-	-
$\tau_{CAGRGN}$	-	-	0,604	-	-
$\tau_{OTHBTM}$	-	-	0,827	-	-
$\tau_{GRNFLL}$	-	-	1,144	-	-
$\tau_{NR\_0A1CD}$	-	-	0,387	-	0,15
$\tau_{NR\_SFW1AF}$	0,71	0,565		0,392	0,38

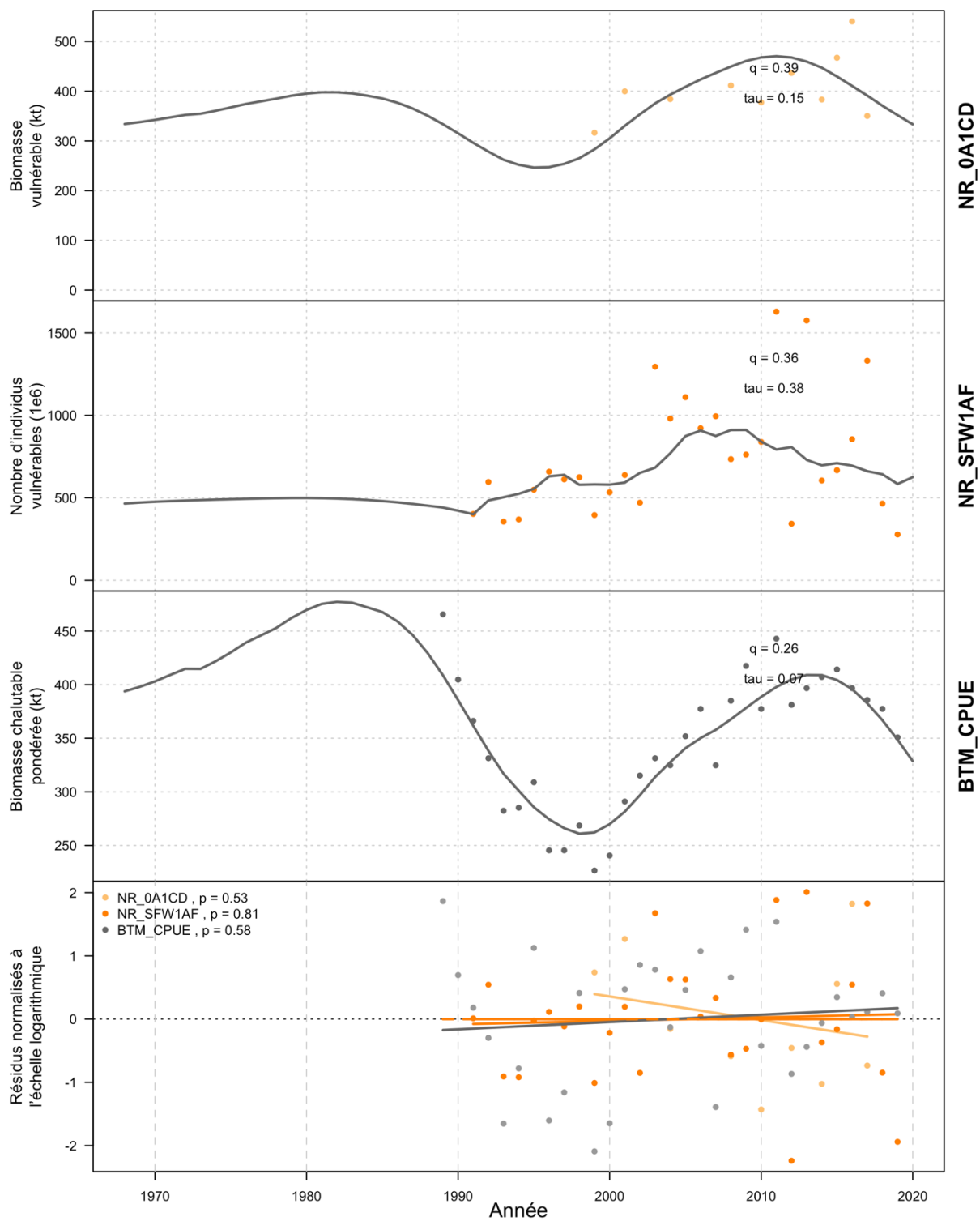


Figure 5. Ajustement du modèle SRSPSL-FG (lignes) aux indices d'abondance et de biomasse (points), avec résidus normalisés à l'échelle logarithmique pour chaque indice (graphique du bas). Les indices de CPUE au chalut sont mis à l'échelle selon la capturabilité variable dans le temps après 2014, ce qui entraîne une tendance à la baisse des données pour correspondre au stock.

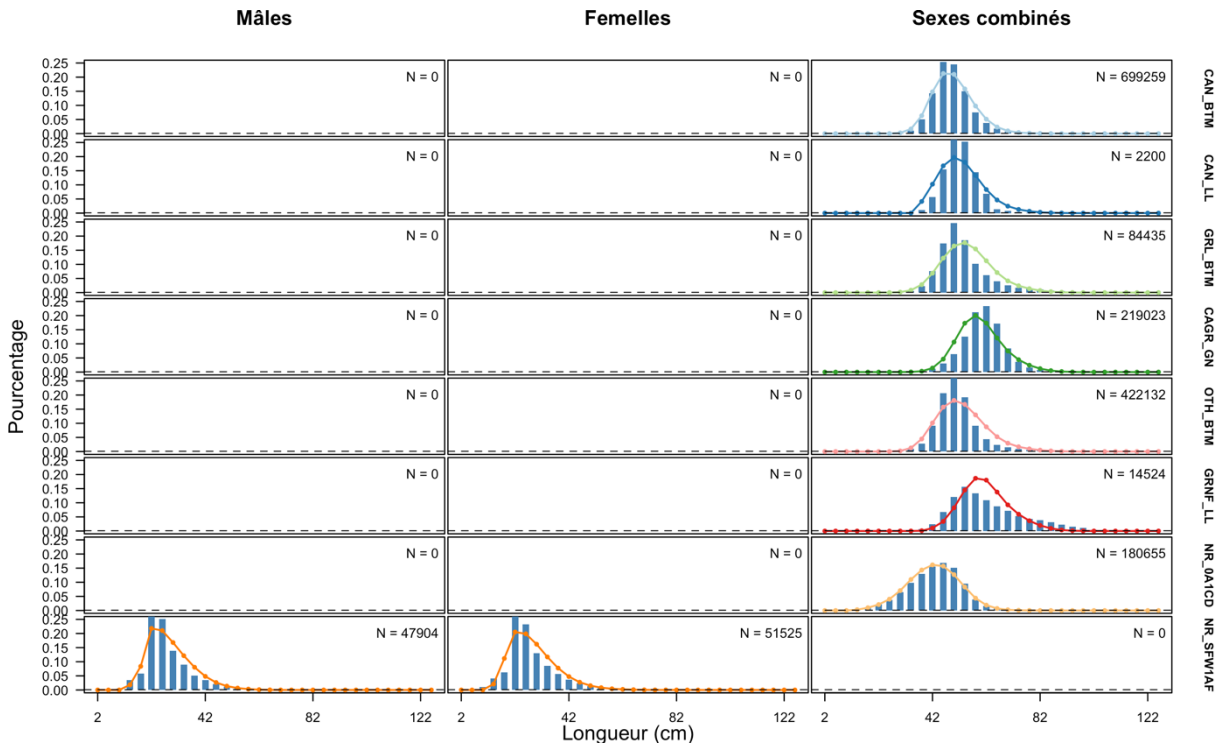


Figure 6. Ajustement du modèle SRSPSL-FG (lignes et points) aux données de composition selon la longueur (barres bleues) pour les mâles (à gauche), les femelles (au milieu) et les sexes combinés (à droite), échantillonnées par pêche et par relevé (étiquetés à droite). La taille totale de l'échantillon N pour toutes les années est indiquée dans le coin supérieur droit de chaque graphique.

L'erreur type résiduelle du relevé côtier par navire de recherche était plus élevée ( $\tau_{NRSFW1AF} = 0,38$ ), ce qui indique un ajustement marginalement acceptable, avec plusieurs valeurs résiduelles importantes apparaissant après 2004 (Figure 5, deuxième graphique), ce qui coïncide avec une certaine variation dans l'exécution de ce relevé (Treble et Nogueira 2020). Même si l'utilisation de traits comparatifs permet d'aligner la capturabilité moyenne de deux relevés, elle ne peut pas tenir compte de la variance du processus liée à l'utilisation d'engins différents ou à un nombre variable de traits. Par contre, il est possible de corriger à l'avenir la variation dans les conceptions et les protocoles des relevés, ce qui pourrait conduire à des écarts-types résiduels plus faibles dans les évaluations futures.

Les CPUE combinées du chalut de fond présentaient une erreur type résiduelle très faible de  $\tau_{BTM} = 0,073$  (Figure 5, troisième graphique), ce qui n'est pas réellement un indicateur de la qualité puisque le modèle disposait d'une flexibilité supplémentaire sous la forme d'une mortalité et d'une capturabilité variables dans le temps pour faciliter l'ajustement de cette série. Dans ce genre de situations, il faut également tenir compte des écarts utilisés dans ces composantes de marche aléatoire pour évaluer la qualité de l'ajustement, qui était de 0,1 sur l'échelle logarithmique, soit un coefficient de variation d'environ 10 %. Aucune des séries d'indices de biomasse ne présentait de tendance résiduelle importante (Figure 5, graphique du bas,  $p > 0,05$  pour tous les indices) ou d'indication de biais.

Les ajustements temporels aux compositions selon la longueur sont présentés à la Figure 6, et les ajustements annuels sont présentés à l'Annexe D. Les ajustements temporels indiquent de manière appropriée où le modèle manque systématiquement certains aspects des données. En général, des erreurs types résiduelles de 0,3 à 0,5 sont jugées très bonnes pour les données sur la composition, bonnes entre 0,5 et 0,8, généralement adéquates entre 0,8 et 1,0, et

---

lorsqu'elles sont supérieures à 1,0, cela indique qu'il peut y avoir une mauvaise spécification du modèle qui ne parvient pas à capturer suffisamment le processus de collecte des données. Dans notre cas, les flottilles canadiennes de chaluts de fond et de palangres, la flottille mixte de filets maillants et deux relevés indépendants des pêches se situent dans les catégories « très bonnes » et « bonnes », tandis que les flottilles commerciales restantes se situent dans les catégories « adéquates » (deux flottilles) et « probablement mal spécifié » (1) (Tableau 5). Il convient toutefois de noter que le terme « mal spécifié » est utilisé ici de manière générale et peut inclure le fait de ne pas saisir correctement les processus d'échantillonnage inadéquats ou biaisés; en d'autres termes, le modèle suppose des plans d'échantillonnage idéaux, ce qui est presque certainement incorrect, en particulier pour les données dépendant de la pêche. Néanmoins, les ajustements du modèle et les indicateurs de variabilité sont utiles pour déterminer les domaines dans lesquels la normalisation des plans d'échantillonnage et des protocoles pourrait améliorer le rendement global de l'évaluation. Par exemple, les flottilles GR\_BTM (Groenland) et OTH\_BTM (ni le Groenland ni le Canada) ont toutes deux eu des ajustements raisonnables aux compositions selon la longueur pour de nombreuses années (Figures D.3 et D.5); cependant, il y a également eu plusieurs années où la composition attendue a été traduite soit vers la droite soit vers la gauche, ce qui a conduit à des valeurs résiduelles plus élevées malgré une bonne adéquation à la forme globale. Ces valeurs résiduelles pourraient être réduites en utilisant une sélectivité variable dans le temps, ce qui permettrait une certaine flexibilité pour déplacer les valeurs attendues afin de répondre aux observations, ou en ajustant les paramètres de compression de la queue (étudiés dans l'analyse de sensibilité ci-dessous). Mais, plus important encore, ils mettent en évidence des problèmes éventuels dans les données sous-jacentes qui devraient être examinés de manière plus approfondie et corrigés, si possible.

La flottille GRNF\_LL (Groenland, Russie, Norvège et Îles Féroé) présentait des proportions élevées d'observations de longueur dans la queue supérieure des distributions de la longueur selon l'âge pour les poissons plus âgés qui n'étaient présentes pour aucune autre flottille (Figure D.6). En supposant qu'il ne s'agit probablement pas d'un biais ou d'une erreur d'échantillonnage (bien que cela puisse être le cas), il peut y avoir un décalage de taille selon l'âge entre la partie du stock générant des échantillons d'âge/longueur pour le modèle de croissance et la partie du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 pêchée par ces flottilles. Une mauvaise spécification du modèle de croissance signifie que les ajustements de la fonction de sélectivité n'amélioreront pas complètement l'ajustement aux données de composition selon la longueur et pourraient simplement masquer le problème. Dans les analyses de sensibilité ci-dessous, nous étudions les répercussions potentielles de cette inadéquation par l'intermédiaire d'autres hypothèses de longueur asymptotique.

L'erreur type résiduelle pour la proportion de femelles dans les données du relevé côtier par navire de recherche (Tableau 5) est semblable aux données de composition selon la longueur pour ce relevé. La plupart des valeurs résiduelles importantes ont été observées dans les fenêtres de longueurs situées aux deux extrémités de la fourchette, ce qui est normal puisque les fenêtres extérieures ont généralement des tailles d'échantillon plus petites et des variabilités individuelles plus élevées que celles situées au centre de la composition (Figure 7).

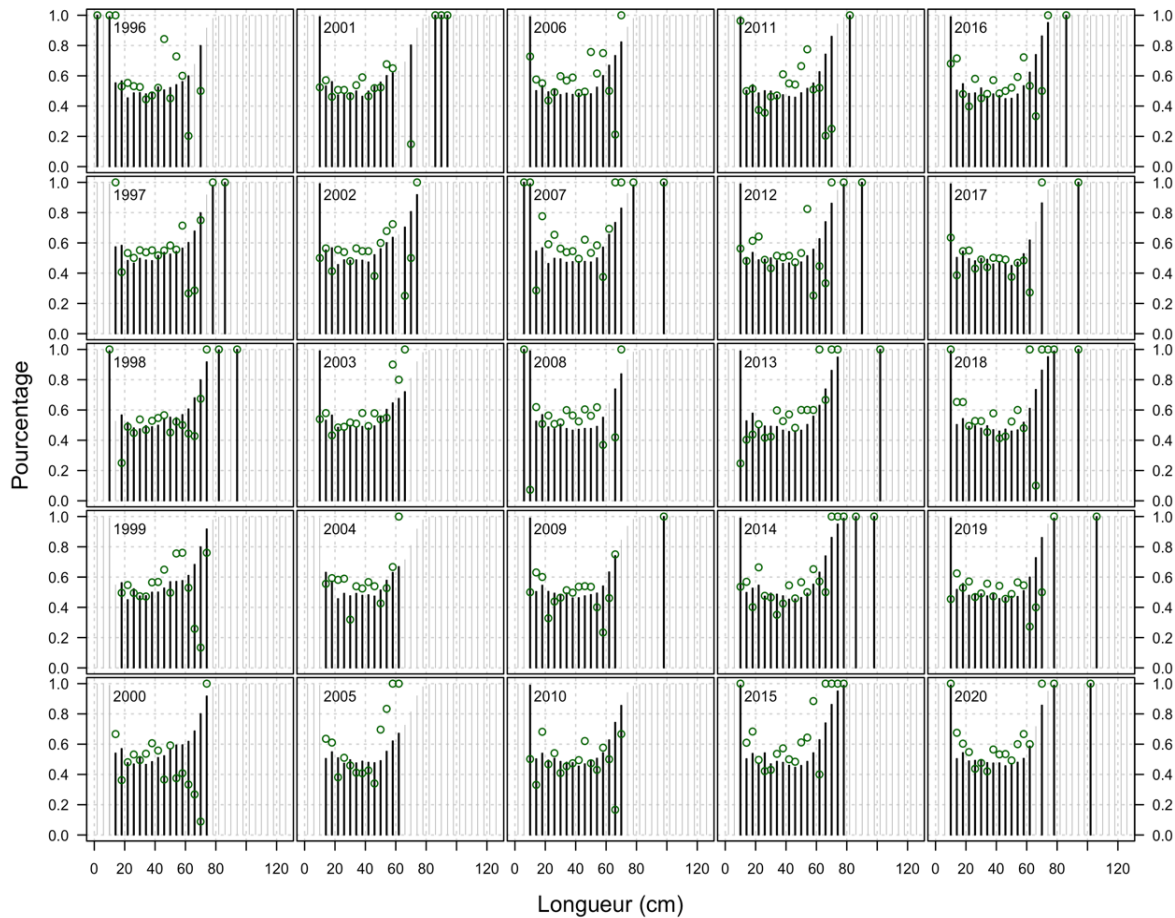


Figure 7. Ajustements du modèle SRPSL-FG à la proportion de femelles observées dans les données sur la composition selon la longueur provenant du relevé côtier par fenêtre de longueurs. Les cercles verts montrent les données, tandis que les segments de ligne verticale montrent les valeurs attendues du modèle pour les fenêtres avec (noir) et sans (gris clair) données.

Les diagnostics bayésiens standard des chaînes *a posteriori* indiquent que les chaînes ont convergé (Figure 8) avec la plupart des paramètres principaux ayant un facteur  $\hat{R}$  de réduction d'échelle potentiel inférieur à 1,01 (c.-à-d. que les écarts-types postérieurs au sein de chaque chaîne sont à moins de 1 % les uns des autres entre les chaînes) (Betancourt et Girolami 2015). Il y avait dix paramètres marginaux pour lesquels  $1,02 \geq \hat{R} > 1,01$  et les tailles effectives des échantillons de masse ou de queue étaient inférieures à 400 (c.-à-d., 100 échantillons effectifs par chaîne individuelle), à savoir la longueur à 50 % de sélectivité pour la flottille canadienne de pêche à la palangre, quatre écarts de sélectivité variable dans le temps, les écarts de recrutement en 1996, 2006 et 2009, et les écarts de mortalité naturelle variable dans le temps pour 1969 et 2019. Des tailles d'échantillon effectives faibles et le  $\hat{R} > 1,01$  correspondant indiquent que peu de renseignements étaient disponibles pour ce paramètre dans les données. Ainsi, une valeur *a priori* informative ou un échantillonnage amélioré/accru est justifié dans les révisions futures; en effet, tous les paramètres marginaux avaient  $\hat{R} \leq 1,02$  et les inspections visuelles de TEE en fonction de la longueur de la chaîne (non montrées) indiquent qu'un échantillonnage accru devrait éliminer tous les indicateurs de convergence marginaux.

En outre, la composition selon la longueur disponible pour la flottille canadienne de pêche à la palangre étant limitée, il n'est pas surprenant que les paramètres de sélectivité présentent une incertitude assez élevée (Figure 8, CV( $\theta$ )). De même, les paramètres de mortalité, de sélectivité et de capturabilité variables dans le temps devraient tous être assez incertains, même en cas de convergence. Enfin, l'incertitude élevée de certains écarts de recrutement annuel n'est pas non plus surprenante lorsqu'on ajuste les données sur la longueur par rapport à la composition selon l'âge directement. L'autocorrélation du paramètre avec décalage de 1 au sein des chaînes varie entre -0,5 et 0,6, mais la plus grande partie de la densité se situe entre -0,4 et 0,4, avec une moyenne autour de 0, comme prévu pour la méthode de Monte-Carlo hamiltonienne.

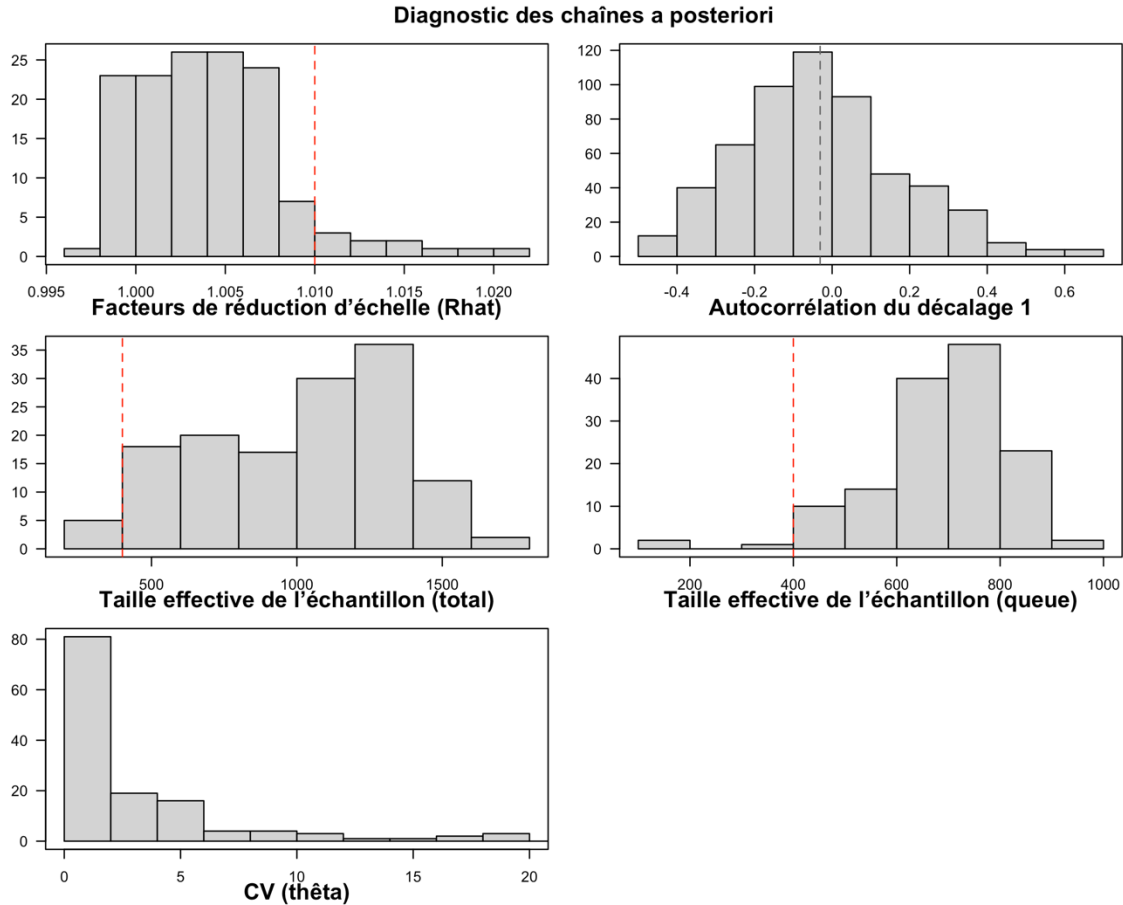


Figure 8. Distributions des diagnostics de convergence de Monte-Carlo Hamiltonien par rapport à l'ensemble des paramètres principaux  $\Theta$  pour le modèle SRSPSL-FG, montrant les facteurs de réduction d'échelle (Rhat), l'autocorrélation du décalage 1, la taille effective de l'échantillon (total et queue), et le coefficient de variation (CV [ $\theta$ ]). Les lignes verticales rouges montrent le seuil minimum pour la taille effective de l'échantillon, et la ligne verticale grise montre l'autocorrélation moyenne du décalage 1.

---

## Répercussions pour la dynamique des stocks

Les estimations de SRSPSL-FG concernant la biomasse du stock reproducteur femelle, le recrutement, le taux d'exploitation et les taux de mortalité naturelle indiquent que le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 est actuellement supérieur à  $B_{RMD}$  et qu'il est donc très probablement en bonne santé selon la politique canadienne des pêches (Figure 9) (MPO 2006). Les distributions *a posteriori* de la biomasse du stock reproducteur femelle montrent une légère augmentation depuis la situation d'équilibre à un taux d'exploitation nul en 1968 jusqu'à environ 110 kt en 1985. Au début des années 1980, la mortalité naturelle commence à augmenter, ramenant la biomasse du stock reproducteur en dessous des niveaux sans pêche. La biomasse du stock reproducteur estimée semble ensuite se stabiliser autour de 75 kt en 2000, date à laquelle la série de mortalité naturelle redevient proche de la moyenne temporelle  $M_0$ . Par rapport aux points de référence fondés sur le RMD (Figure 10), la biomasse était presque certainement supérieure à  $B_{RMD}$  en 2020, mais la distribution *a posteriori* estime à 50 % la probabilité que les taux d'exploitation soient supérieurs à  $U_{RMD}$  (Figure 11, réticule gris en 2020). En d'autres termes, il est presque certain que le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 n'est pas surexploité selon le modèle SRSPSL-FG, mais il y a 50 % de chance que les TAC actuels entraînent une surexploitation du stock.



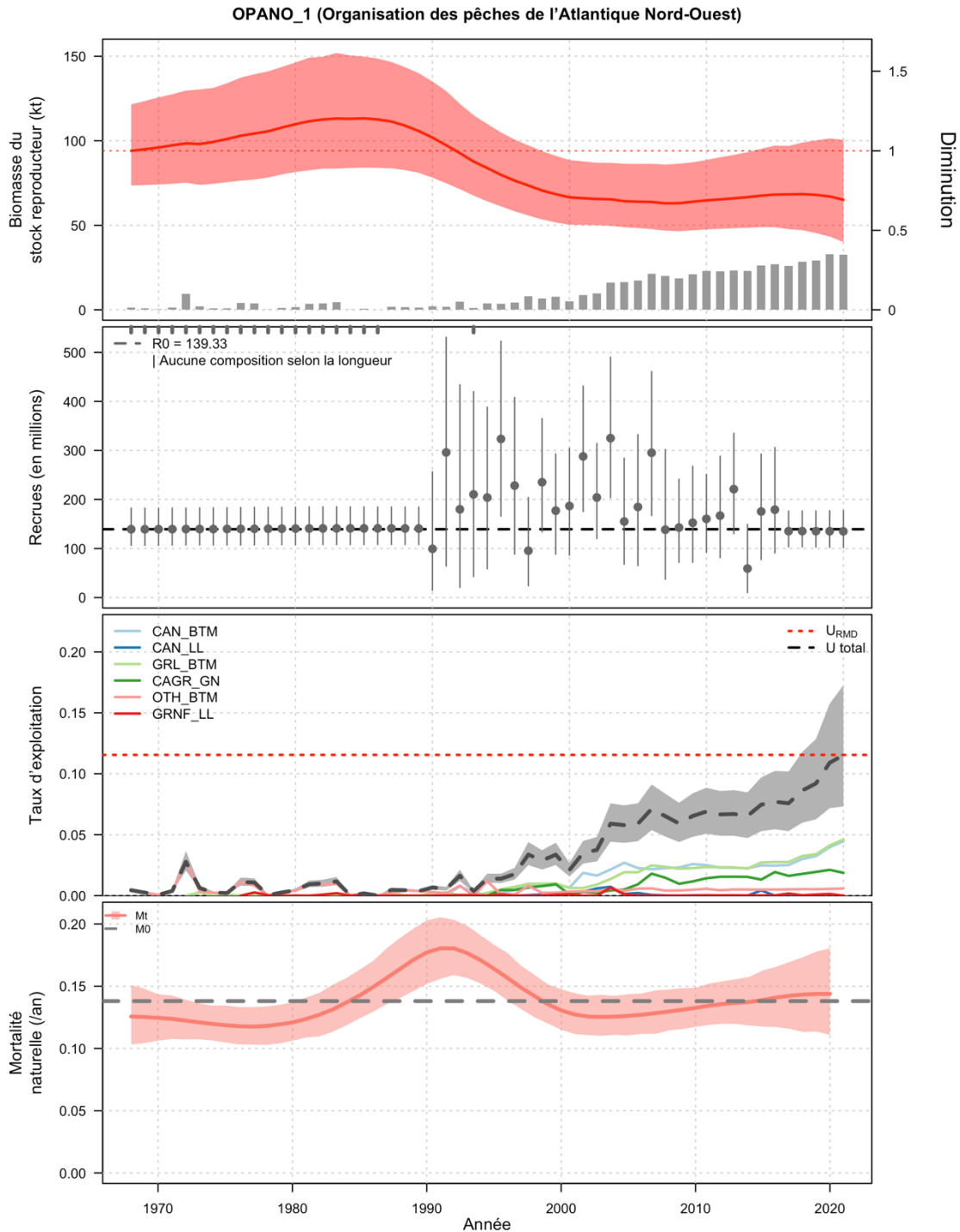


Figure 9. Estimations du modèle SRSPSL-FG de la dynamique antérieure de la population de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 montrant (graphique du haut) les intervalles de crédibilité (région ombragée en rouge) et les estimations médianes a posteriori (ligne rouge) de la biomasse du stock reproducteur femelle et des débarquements totaux (barres grises), les intervalles de crédibilité à 95 % a posteriori et les estimations médianes du recrutement (deuxième graphique), les taux de prise médians a posteriori par pêche et au total (troisième graphique), ainsi que les intervalles de crédibilité à 95 % et les estimations médianes a posteriori des taux de mortali   naturelle annuels moyens des deux sexes combinés (graphique du bas).

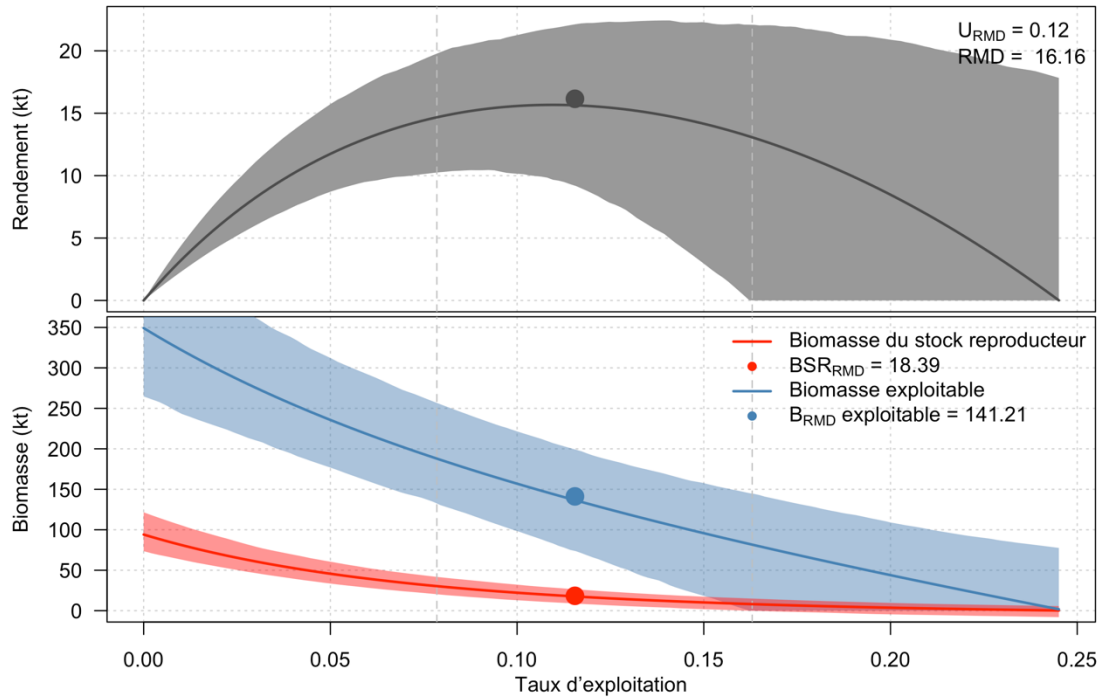


Figure 10. Courbes en situation d'équilibre du rendement (en haut) et de la biomasse (en bas) du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 en fonction du taux d'exploitation total. Les points de référence  $U_{RMD}$  sont représentés par des cercles fermés sur chaque ligne. Les intervalles de crédibilité à 95 % a posteriori pour le rendement et la biomasse sont représentés par des enveloppes, tandis que l'intervalle de crédibilité à 95 % pour  $U_{RMD}$  est indiqué par les lignes pointillées verticales.

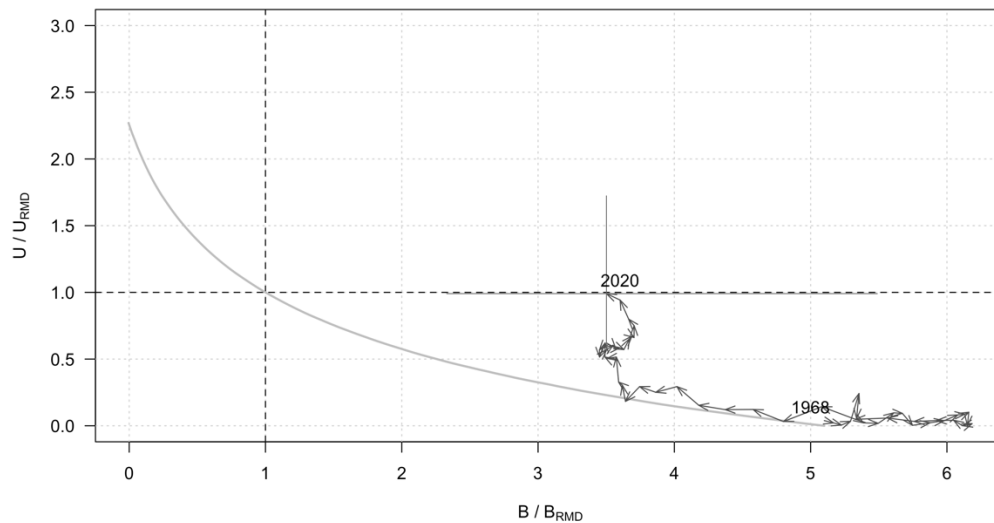


Figure 11. Diagramme de phase montrant la médiane a posteriori de la biomasse du stock reproducteur femelle du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (axe vertical) et le taux d'exploitation total (axe horizontal) par rapport aux points de référence  $U_{RMD}$ . Les flèches indiquent le sens du temps, qui commence en 1968 et se termine en 2020. La biomasse du stock reproducteur à l'équilibre est représentée par une courbe gris pâle à l'arrière-plan du graphique. La distribution de l'état des stocks et des taux d'exploitation par rapport aux points de référence basés sur le RMD en 2020 est représentée par le réticule gris.

---

On s'attend à ce que l'augmentation de la mortalité naturelle estimée par le modèle au cours des années 1980 soit due à l'ajustement aux données des CPUE combinées de la pêche au chalut. Les CPUE au chalut ont diminué entre la fin des années 1980 et la fin des années 1990, probablement parce que les débarquements des chalutiers ont augmenté alors que la zone de pêche est restée identique (Treble et Nogueira 2020). Bien que la non-linéarité des données de CPUE de la pêche pose des problèmes bien documentés (c.-à-d., l'hyperdiminution ou l'hyperstabilité), les données de CPUE des chaluts représentaient la seule série temporelle de l'indice de biomasse indiquant un signal antérieur de diminution du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, ce que nous avons considéré comme un signal important à inclure. L'augmentation de la mortalité naturelle estimée par le modèle au début des années 1990 environ s'aligne sur les modèles temporels estimés pour d'autres poissons de fond tels que le flétan atlantique et la morue du Nord (Johnson *et al.*, en préparation<sup>1</sup>, Cadigan 2016). Elle coïncide également avec une diminution estimée de la mortalité naturelle du flétan du Groenland dans la sous-zone 2 et les divisions 3KLMNO de l'OPANO (Regular 2020); la corrélation négative des schémas de mortalité entre des unités de gestion voisines du flétan du Groenland peut indiquer que la migration entre ces zones est faussement considérée comme de la mortalité.

À partir de 2000 environ, l'augmentation des CPUE combinées des chaluts était due à la combinaison d'un recrutement élevé et, peut-être, d'une expansion spatiotemporelle de la pêche à d'autres périodes de l'année et à d'autres zones situées plus au nord (Treble et Nogueira 2020). Dans la formulation et les données actuelles du modèle SRSPSL-FG, il n'y avait pas suffisamment de renseignements pour faire la distinction entre l'un ou l'autre des facteurs contribuant à l'augmentation des CPUE. Toutefois, en supposant que la capturabilité des chaluts combinés a varié dans le temps après 2014, on attribue effectivement l'augmentation à l'expansion spatiotemporelle de la pêche après cette date, en permettant à la capturabilité d'augmenter au lieu de forcer la biomasse à continuer de croître. L'augmentation par rapport à la période de 2000 à 2014 est alors expliquée par le modèle avec un recrutement plus élevé, créant une valeur résiduelle de recrutement moyenne positive avec un écart-type d'environ 0,18 (Figure 12, graphique du bas).

---

<sup>1</sup> Johnson, S., Hubley, B., Cox, S.P., den Heyer, C.E., and Li, L. Mise à jour du modèle concernant le cadre d'évaluation du flétan de l'Atlantique du plateau néo-écossais et du sud des grands bancs (divisions 3NOPs4VWX5Zc de l'OPANO). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. En préparation.

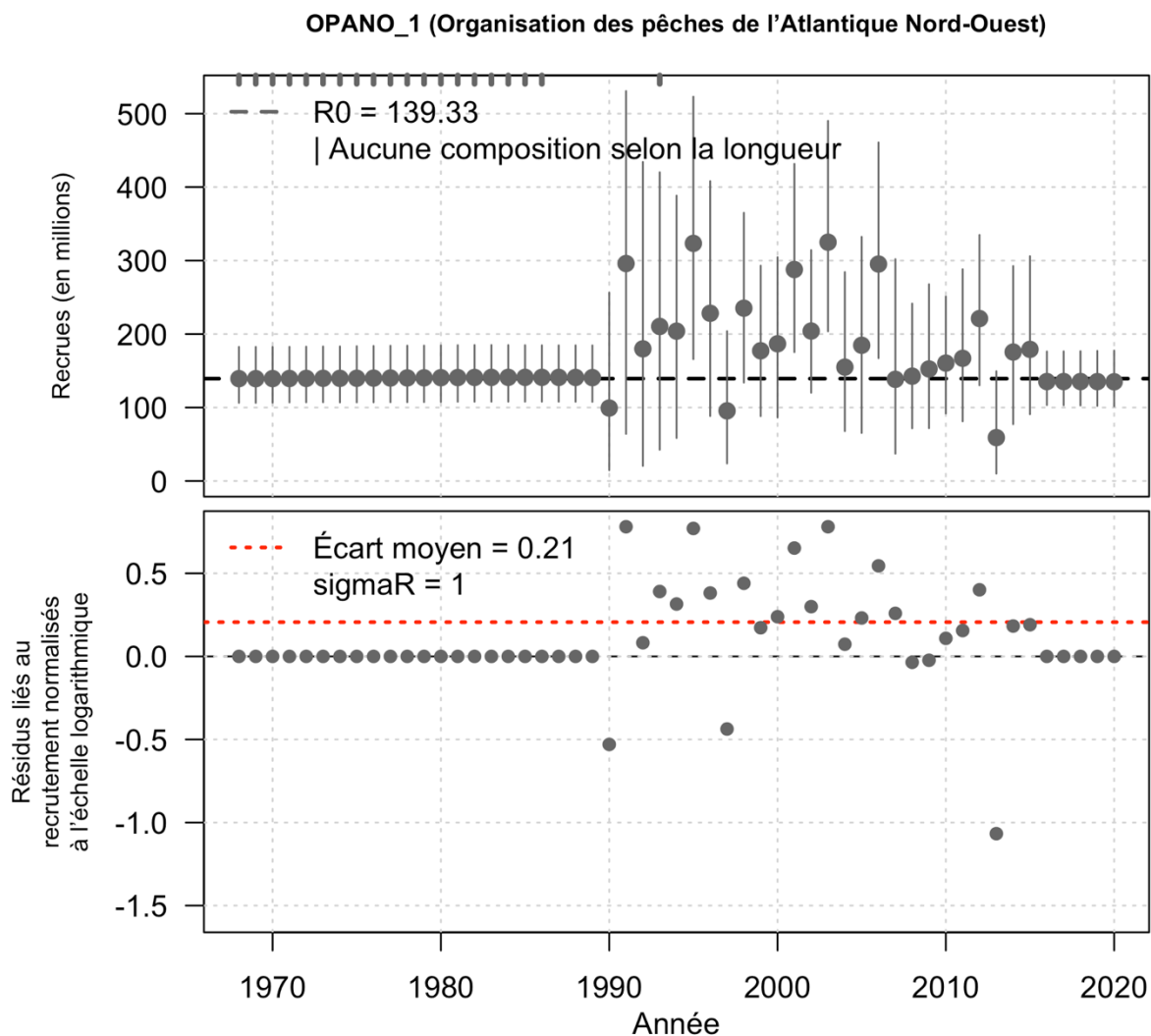


Figure 12. Série temporelle des recrutements de flétans du Groenland de la sous-zone 0+1 (en haut) d'âge 1 et résidus liés au recrutement normalisés à l'échelle logarithmique (en bas). Les recrutements absolus montrent le recrutement en situation d'équilibre à un taux d'exploitation nul  $R_0$  (ligne pointillée horizontale) et les intervalles de crédibilité à 95 % (segments de ligne verticale), et les résidus sont représentés à l'aide de la moyenne des résidus estimés (ligne pointillée rouge horizontale).

Malgré une représentation généralement saine du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, il existe une incertitude considérable quant à la biomasse actuelle et concernant, par conséquent, les points de référence biologiques fondés sur le RMD. Par exemple, l'intervalle de crédibilité à 95 % de la biomasse du stock reproducteur femelle *a posteriori* de Bayes varie entre 60 kt et 160 kt en 2020, et il existe également des variations relatives semblables dans d'autres estimations de la biomasse (Figure 13). Par conséquent, l'intervalle de crédibilité à 95 % pour les taux d'exploitation se situe entre 0,05 et 0,13 (Figure 9, graphique du bas), ce qui se traduit par une faible probabilité de surpêche (Figure 11). De même, les points de référence basés sur le RMD sont très incertains, le taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$  se situant entre 0,07 et 0,16 (Figure 10, graphique du haut), et l'incertitude relative est semblable en ce qui concerne la biomasse du stock reproducteur femelle au RMD (14 à 36 kt) et la biomasse exploitable (132 à 256 kt) (Figure 10, graphique du bas).

D'après la stabilité de la biomasse du stock reproducteur depuis le début des années 2000, les prises ont pu équilibrer la production depuis cette époque (Figure 13). Cet équilibre a été maintenu par les recrutements récents généralement élevés, qui pourraient ne pas se poursuivre si les recrutements futurs sont plus proches de la relation stock-recrutement prévue (Figure 14). Si cela devait se produire, les baisses estimées des biomasses exploitables, totales et dans le relevé par navire de recherche (Figure 13) après 2010 se matérialiseront dans la biomasse du stock reproducteur, ce qui, si les TAC restent aux niveaux actuels, pourrait se traduire par un stock surexploité.

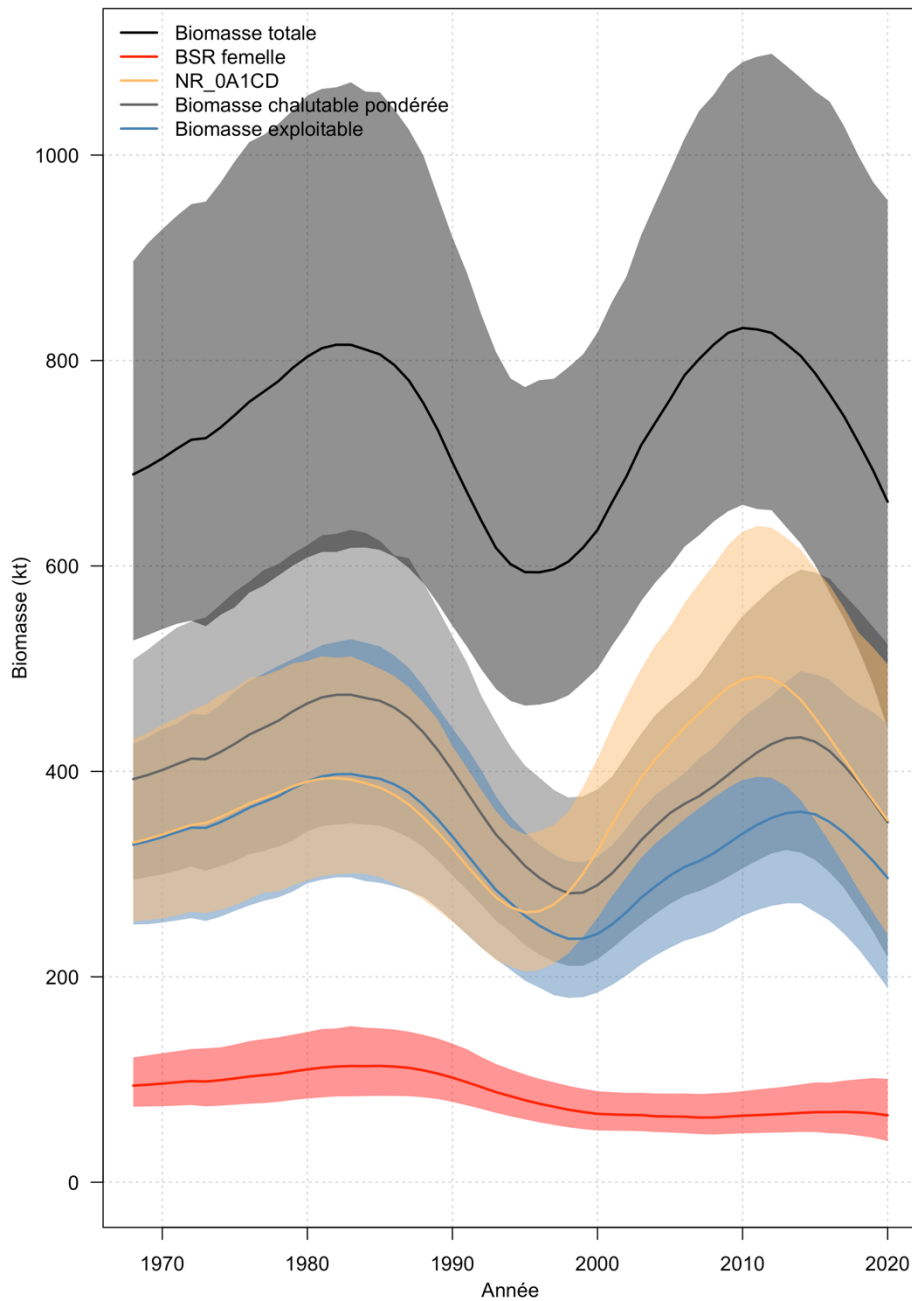


Figure 13. Moyenne a posteriori du modèle SRSPSL-FG et intervalles de crédibilité à 95 % de la biomasse exploitable (en bleu foncé), totale (en noir), du stock reproducteur femelle (en rouge), du relevé par navire de recherche en eaux extracôtières (en orange) et de la pêche au chalut pondérée (en gris).

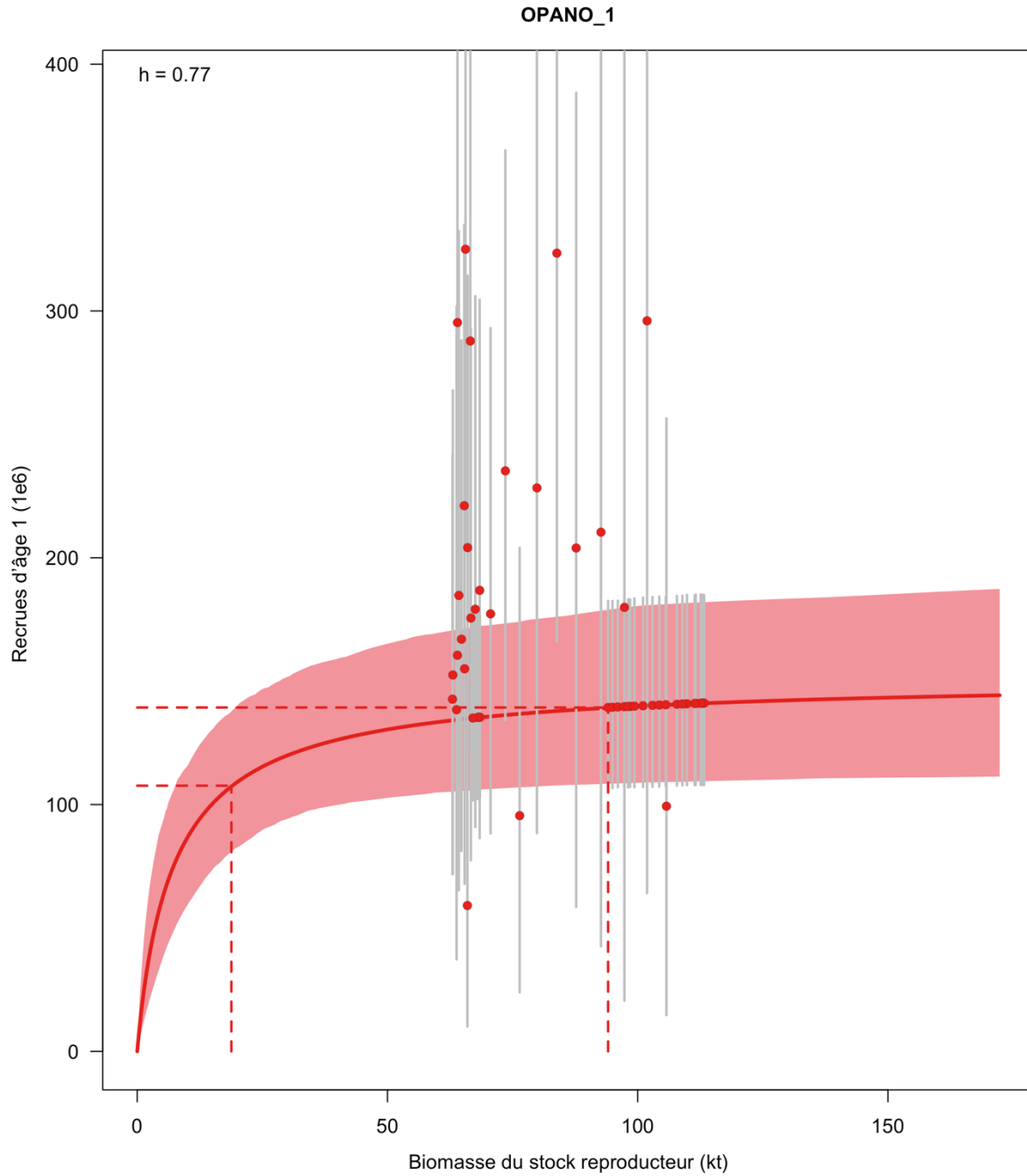


Figure 14. Relation bayésienne a posteriori stock-recrutement montrant la moyenne a posteriori (ligne pleine), l'intervalle de crédibilité centré à 95 % (enveloppe rouge), ainsi que les recrutements estimés (points) et leurs intervalles de crédibilité à 95 %.

## Analyses de sensibilité

### Longueur asymptotique

En tout, six autres modèles de croissance du flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 ont été ajustés aux échantillons d'âge/longueur de 2017 provenant du relevé mené par navire de recherche en eaux extracôtières. Les six modèles sont largement identiques pour les âges 1 à 15, mais commencent à diverger pour les mâles à l'âge 15 et pour les femelles vers l'âge 16 (Figure 3).

La biomasse non exploitée estimée ( $B_0$ ) a diminué à mesure que  $L_\infty$  augmentait de 1,0 à 2,0 fois les valeurs estimées à partir des données. La baisse la plus importante en pourcentage de la biomasse non exploitée s'est produite entre 1,0 et 1,2 fois l'estimation de  $L_\infty$ , où  $B_0$  a chuté d'environ 25 %. Ensuite, les baisses de la biomasse non exploitée ont été beaucoup plus faibles, d'environ 8 % chaque fois, soit de 1,2 à 1,6 fois les valeurs estimées (Tableau 6). Le recrutement non exploité  $R_0$ ,  $B_{RMD}$  et le RMD ont tous diminué avec la biomasse non exploitée, mais la mortalité naturelle et l'écart moyen du recrutement  $\bar{\omega}_t$  ont augmenté et les taux d'exploitation optimaux  $U_{RMD}$  n'ont pas affiché de tendance évidente.

Tableau 6. Résultats de l'analyse de sensibilité de la longueur asymptotique ( $L_\infty$ ) montrant les estimations de la densité a posteriori maximale par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la moyenne de la mortalité naturelle au fil du temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le rendement maximal durable  $B_{RMD}$ , du taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$ , ainsi que le rendement maximal durable (RMD), l'écart moyen du recrutement  $\bar{\omega}_t$  et un indicateur de convergence (pdHess).

Multiplicateur	$L_\infty$	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$B_{RMD}$	$U_{RMD}$	RMD	$\bar{\omega}_t$	pdHess
1,0	64,71, 81,45	95,210	141,587	0,125	18,491	0,116	16,420	0,21	VRAI
1,2	77,65, 97,74	71,587	75,155	0,127	14,604	0,113	9,264	0,30	VRAI
1,4	90,6, 114,03	66,114	60,935	0,160	13,525	0,115	7,744	0,22	VRAI
1,6	103,53, 130,32	61,779	51,622	0,217	12,283	0,121	6,899	0,15	VRAI
1,8	116,48, 146,61	64,667	60,947	0,182	13,217	0,115	7,480	0,17	VRAI
2,0	129,42, 162,9	60,654	53,196	0,227	12,016	0,122	6,699	0,14	VRAI

Les profils temporels de la biomasse du stock reproducteur changeaient nettement à mesure que la biomasse non exploitée diminuait (Figure 15). L'augmentation initiale de la biomasse du stock reproducteur s'aplanit et change de concavité à mesure que le multiplicateur  $L_\infty$  augmente, devenant finalement un « voyage à sens unique » (Hilborn et Walters 1992) à diminution monotone sous les valeurs les plus élevées de  $L_\infty$ . Cette réduction du contraste informatif se reflète dans la série sur la biomasse chalutable pondérée utilisée pour générer les valeurs prévues pour la série de données combinées sur les CPUE au chalut. De ce fait, les modèles ayant une valeur plus élevée de  $L_\infty$  ont une log-vraisemblance négative plus faible pour les données sur les CPUE (Tableau 7), mais ne suivent plus le signal initial de diminution du stock entre 1989 et 1999 dans cet indice (non illustré).

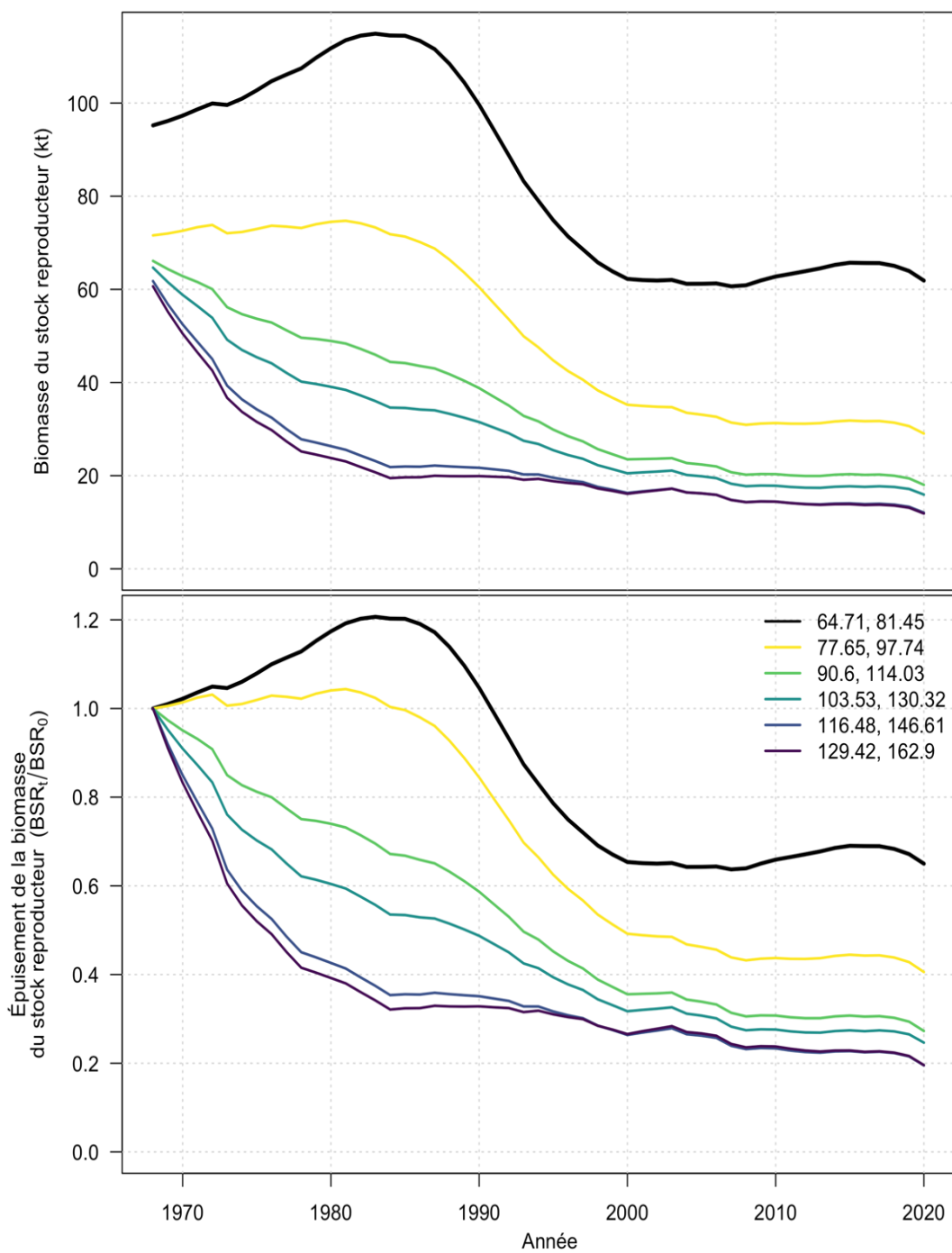


Figure 15. Estimations de la biomasse du stock reproducteur femelle (en haut) et de la diminution de la biomasse du stock reproducteur (en bas) selon l'analyse de sensibilité de la longueur asymptotique ( $L_{\infty}$ ).



Tableau 7. Résultats de l'analyse de sensibilité de la longueur asymptotique, illustrant la longueur asymptotique absolue ( $L_{\infty}$ ), ainsi que leur valeur par rapport au modèle de base (multiplicateur), et les valeurs de la fonction de log-vraisemblance négative pour toutes les données (TotLike) et les contributions des composantes de l'indice de la biomasse/l'abondance pour les données tirées du relevé en eaux extracôtières (idxRV0A1CD), du relevé en eaux côtières (idxRVSF1AF) et des CPUE de la pêche au chalut (CPUE\_BTM).

Multiplicateur	Linf	TotLike	idxRV0A1CD	idxRVSF1AF	CPUE_BTM
1,0	64,71, 81,45	153,42	-13,94	-13,4	-67,09
1,2	77,65, 97,74	172,5	-13,48	-13,33	-67,98
1,4	90,6, 114,03	139,16	-13,48	-12,21	-65,2
1,6	103,53, 130,32	105,65	-14,12	-10,7	-54,87
1,8	116,48, 146,61	134,35	-13,73	-11,31	-61,86
2,0	129,42, 162,9	105,57	-14,3	-10,43	-51,31

D'après les valeurs de log-vraisemblance négatives (Tableau 8), les meilleurs multiplicateurs possible  $L_{\infty}$  pour améliorer les ajustements aux compositions selon la longueur GRNF\_LL et CAGR\_GN sont 1,4 et 1,6, dont nous recommandons une analyse plus approfondie à l'avenir, et comme candidats possibles pour une autre hypothèse du modèle opérationnel.

Tableau 8. Résultats de l'analyse de sensibilité de la longueur asymptotique, illustrant la longueur asymptotique absolue ( $L_{\infty}$ ), ainsi que leur valeur par rapport au modèle de base (multiplicateur), les valeurs de la fonction de log-vraisemblance négative pour toutes les données (TotLike) et les contributions des données sur la proportion de femelles dans les eaux côtières (propFSFW), les données sur la composition selon la longueur provenant des relevés au chalut canadiens (lenCANBTM), à la palangre canadiens (lenCANLL), au chalut groenlandais (lenGRLBTM), au filet maillant combiné pour les deux pays (lenCAGRGN), au chalut de tous les autres pays (lenOTHBTM), à la palangre du Groenland, de la Russie, de la Norvège et des îles Féroé (lenGRNFLL) et des relevés en eaux extracôtières (lenRVOA1CD) et côtiers (lenRVSW1AF).

Multiplicateur	Linf	TotLike	propFSFW	lenCANBTM	lenCANLL	lenGRLBTM	lenCAGRGN	lenOTHBTM	lenGRNFLL	lenRVOA1CD	lenRVSW1AF
1,0	64,71, 81,45	153,42	-152,45	-57,75	2,98	121,28	7,84	185,06	69,87	-54,27	125,28
1,2	77,65, 97,74	172,5	-174,55	-34,29	4,99	103,51	17,87	220,78	63,5	-42,7	108,17
1,4	90,6, 114,03	139,16	-181,83	-37,56	5,04	89,27	21,92	214,52	58,88	-43,42	103,23
1,6	103,53, 130,32	105,65	-179,95	-35,38	5,07	84,23	25,6	175,2	54,6	-43,8	99,76
1,8	116,48, 146,61	134,35	-180,06	-38,66	5,14	86,62	23,82	212,64	56,15	-44,1	99,7
2,0	129,42, 162,9	105,57	-179,9	-35,25	4,98	83,32	26,23	172,53	55,05	-43,89	98,53

### Paramètres variables dans le temps ou constants

Comme pour la sensibilité  $L_{\infty}$ , le fait de passer d'une valeur variable dans le temps à une valeur constante  $M$  et  $q$  pour l'indice des CPUE a eu des conséquences à la fois sur la biomasse non exploitée et sur l'ajustement des données sur l'indice des CPUE. Lorsqu'on a maintenu la valeur de  $q$  constante tout en permettant à  $M$  de varier, la biomasse non exploitée a légèrement augmenté, de 90 kt à 126 kt (Tableau 9). Lorsqu'on a supprimé le paramètre de la capturabilité variable dans le temps, le modèle a réduit la valeur récente de ( $M$ ) et a augmenté le recrutement pour s'ajuster aux CPUE plus élevées vers la fin de la série de données. Dans le même temps, l'écart moyen du recrutement a augmenté pour atteindre 0,27 écart-type (Tableau 9,  $\bar{\omega}_t$ ) et a ramené la biomasse du stock reproducteur à un niveau proche de celui de la biomasse non exploitée en 2020 (Figure 16).

Lorsque la valeur de  $M$  était constante, presque toute la variabilité temporelle a disparu de la série chronologique sur la biomasse du stock reproducteur. En outre, la biomasse non exploitée a chuté sensiblement pour les deux hypothèses concernant  $q$ , mais moins pour l'hypothèse d'une valeur constante de  $q$  (biomasse non exploitée de 90,4 kt contre 82,9 kt; Tableau 9). Comme pour la sensibilité du modèle de croissance, la baisse de la biomasse non exploitée et la tendance plus plate ont donné des ajustements qualitatifs moins bons au début de la diminution dans les données sur les CPUE (non illustré).

*Tableau 9. Résultats de l'analyse de sensibilité de la capturabilité des CPUE et de la mortalité naturelle variables dans le temps montrant les estimations de la densité a posteriori maximale par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le rendement maximal durable  $B_{RMD}$ , du taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$ , ainsi que le rendement maximal durable (RMD), l'écart moyen du recrutement  $\omega_t$  et un indicateur de convergence (pdHess).*

Sensibilité	M	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$B_{RMD}$	$U_{RMD}$	RMD	$\bar{\omega}_t$	pdHess
q const.	Mconst.	90,440	134,364	0,138	19,192	0,107	14,495	0,45	VRAI
q const.	MVT	126,130	187,787	0,127	24,741	0,115	21,487	0,27	VRAI
q vt	Mconst.	82,902	122,797	0,138	17,635	0,107	13,244	0,39	VRAI
q vt	MVT	95,210	141,587	0,125	18,491	0,116	16,420	0,21	VRAI

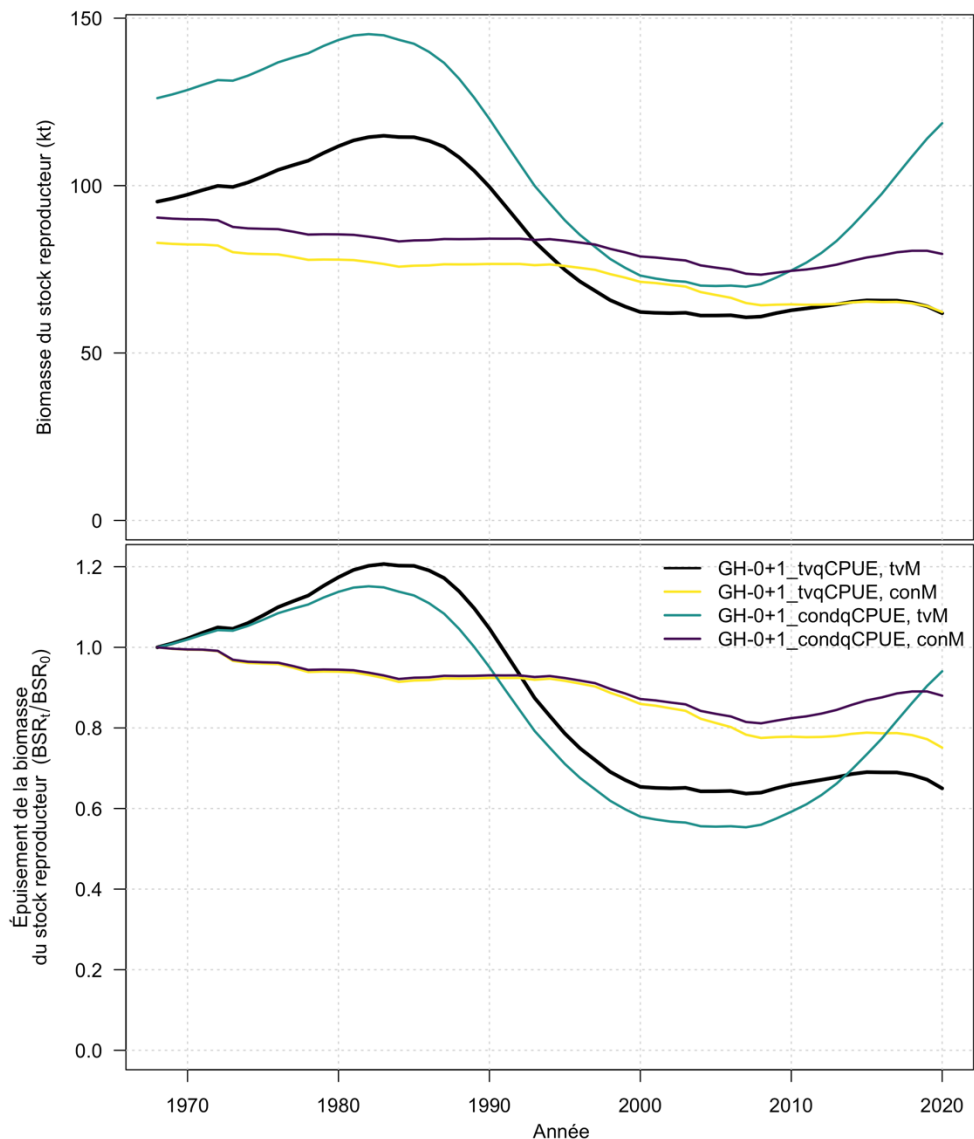


Figure 16. Estimations de la biomasse du stock reproducteur femelle (en haut) et de la diminution de la biomasse du stock reproducteur (en bas) selon l'analyse de sensibilité de la capturabilité et de la mortalité variables au fil du temps.

### Taille de l'échantillon de la composition selon la longueur et compression de la queue

Le modèle SRSPSL-FG est sensible à la manière dont les données sur la composition selon la longueur sont filtrées pour être incluses dans la fonction de vraisemblance normale logistique. L'augmentation du paramètre de compression de la queue (c.-à-d., le seuil minimal de la proportion d'échantillons pour lesquels les observations et les prédictions sont regroupées avec les fenêtres voisines) entraîne une chute brutale de la biomasse non exploitée. La biomasse non exploitée  $B_0$ , les points de référence  $B_{RMD}$  et le RMD chutent tous de près de 50 %, avec une différence d'environ 61 % de l'écart moyen du recrutement (Tableau 10, hypothèses minProp). Cela donne à penser que l'information dans les queues des données sur la composition selon la longueur détermine une grande partie des estimations du modèle et est liée à la difficulté d'ajuster les données dans les fenêtres de longueurs à faible probabilité

(c.-à-d., les pêches à la palangre du Groenland, de la Norvège et des îles Féroé). Alors que l'échelle de la biomasse absolue du stock a beaucoup changé avec la proportion minimale de fenêtres, la productivité est apparue insensible, avec seulement des différences mineures de  $M_0$  et  $U_{RMD}$ .

En revanche, le modèle SRSPSL-FG n'était que légèrement sensible à la taille minimale de l'échantillon pour l'inclusion des données sur la composition selon la longueur (Tableau 10, hypothèses minSampSize). Lorsque la taille minimale de l'échantillon est passée de 100 à 800 par an, la biomasse non exploitée a relativement peu baissé, de 101 kt à 95 kt, une valeur proche de l'estimation du modèle de base pour lequel on utilise une taille minimale de l'échantillon de 700. Comme pour la sensibilité aux hypothèses minProp, la productivité du stock semble insensible à la taille minimale de l'échantillon, les différences dans  $M_0$  et  $U_{RMD}$  étant de l'ordre de  $10^{-3}$ .

Tableau 10. Résultats de l'analyse de sensibilité du seuil de la proportion minimale de fenêtres et de l'échantillon minimal de composition selon la longueur montrant les estimations de la densité a posteriori maximale par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le rendement maximal durable  $B_{RMD}$  du taux d'exploitation optimal  $U_{RMD}$ , ainsi que le rendement maximal durable RMD, l'écart moyen du recrutement  $\bar{\omega}_t$  et un indicateur de convergence (pdHess).

modelHyp	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$B_{RMD}$	$U_{RMD}$	RMD	$\bar{\omega}_t$	pdHess
minProp.001	95,210	141,587	0,125	18,491	0,116	16,420	0,21	VRAI
minProp.01	57,084	90,058	0,133	11,116	0,110	9,987	0,34	VRAI
minProp.02	50,320	80,092	0,133	9,624	0,113	8,827	0,30	VRAI
minSampSize100	101,481	149,703	0,125	19,783	0,115	17,414	0,23	VRAI
minSampSize400	100,076	148,188	0,125	19,529	0,115	17,195	0,23	VRAI
minSampSize600	96,878	143,526	0,125	18,767	0,116	16,707	0,19	VRAI
minSampSize800	95,278	141,803	0,125	18,534	0,116	16,423	0,20	VRAI

## Analyse rétrospective

Les ajustements rétrospectifs du modèle révèlent un décalage de la biomasse non exploitée et de l'abondance ( $B_0$   $R_0$ ) dans le temps (Tableau 11). Depuis 2010, les estimations modélisées de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), de la biomasse optimale ( $B_{RMD}$ ) et du RMD ont augmenté d'environ 45 %. Par ailleurs, la diminution de la biomasse du stock reproducteur est restée relativement constante de 2010 à 2020 (Figure 17), se maintenant à moins de 10 points de pourcentage pour la plupart des années, et il y a un chevauchement entre les extractions.

Tableau 11. Résultats de l'analyse rétrospective montrant les estimations de la densité a posteriori maximale par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la moyenne de la mortalité naturelle au fil du temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le rendement maximal durable ( $B_{RMD}$ ), du taux d'exploitation optimal ( $U_{RMD}$ ), ainsi que le rendement maximal durable (RMD), l'écart moyen du recrutement ( $\bar{\omega}_t$ ) et un indicateur de convergence (pdHess).

Extraction	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$B_{RMD}$	$U_{RMD}$	RMD	$\bar{\omega}_t$	pdHess
2010	66,472	98,800	0,123	13,053	0,118	11,636	0,30	VRAI
2011	81,479	121,027	0,126	16,231	0,116	13,875	0,37	VRAI
2012	90,386	133,654	0,125	17,709	0,117	15,518	0,18	VRAI
2013	91,511	134,220	0,126	18,038	0,112	15,121	0,43	VRAI

Extraction	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$B_{RMD}$	$U_{RMD}$	$RMD$	$\bar{\omega}_t$	pdHess
2014	92,465	135,628	0,125	18,154	0,111	15,290	0,32	VRAI
2015	88,639	130,150	0,125	17,421	0,112	14,641	0,37	VRAI
2016	97,918	143,663	0,125	19,402	0,113	16,361	0,29	VRAI
2017	100,324	148,091	0,124	19,502	0,116	17,165	0,13	VRAI
2018	97,584	144,129	0,125	19,003	0,114	16,696	0,17	VRAI
2019	99,420	147,232	0,125	19,446	0,113	17,061	0,19	VRAI
2020	95,210	141,587	0,125	18,491	0,116	16,420	0,21	VRAI

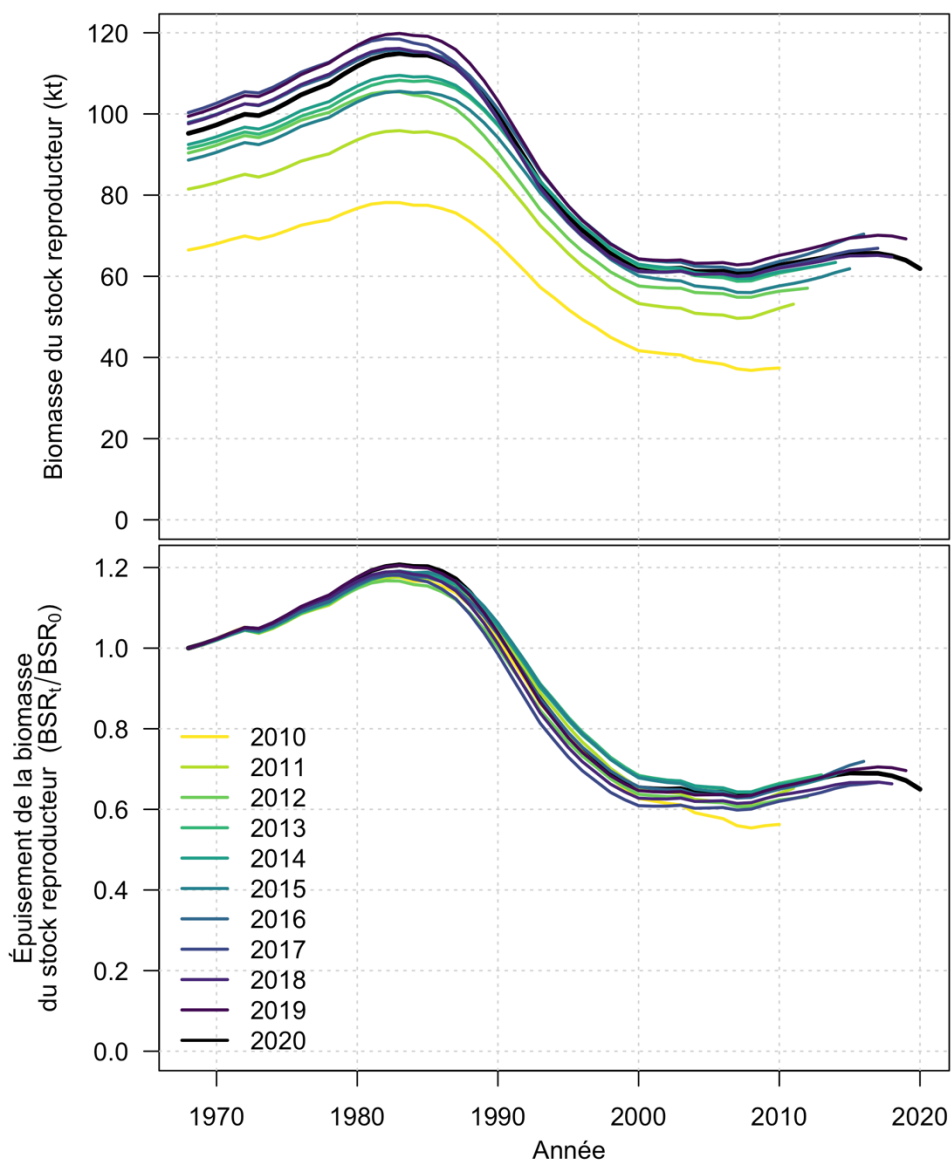


Figure 17. Estimations rétrospectives par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse du stock reproducteur femelle de 2010 à 2020.

L'augmentation de la biomasse non exploitée est largement due à l'augmentation des captures et à des indices de relevé quelque peu plats (ou manquants). Depuis 2017, les estimations de la biomasse non exploitée et de la biomasse de la dernière année varient autour de valeurs semblables pour toutes les extractions. L'année 2017 est également le dernier point de données utilisable pour les relevés effectués par un navire de recherche en eaux extracôtières et les TAC sont restés relativement stables depuis. Les TAC stables, les séries plates de données des relevés et les renseignements limités sur le recrutement signifient que peu de renseignements supplémentaires concernant l'échelle du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 ont été ajoutés pendant les années intermédiaires.

## Autotests de simulation

Selon l'autotest de simulation, le modèle SRSPSL-FG est raisonnablement bon pour représenter les estimations des paramètres principaux du modèle et les séries chronologiques de la biomasse des relevés. Les erreurs relatives médianes et les erreurs relatives médianes absolues pour certains paramètres sont indiquées pour chaque scénario de données dans le Tableau 12; les distributions des erreurs relatives sont illustrées pour certains des mêmes paramètres sur la Figure 18 et sur la Figure 19 pour les séries chronologiques de la biomasse du stock reproducteur femelle et de la biomasse vulnérable.

Tableau 12. Erreurs relatives médianes (ERM) et erreurs relatives absolues médianes (ERAM) pour certains paramètres du modèle SRSPSL-FG dans l'autotest de simulation-évaluation.

Variable	ERM	ERAM	ERM	ERAM	ERM	ERAM
B0	-0,01	0,06	-0,02	0,04	-0,03	0,09
H	-0,03	0,03	0,00	0,00	-0,03	0,03
M m	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,04
M f	0,06	0,06	0,00	0,00	0,06	0,06
L50A CAN BTM	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
L95A CAN BTM	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
L50D CAN BTM	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
L95D CAN BTM	0,05	0,05	0,00	0,00	0,04	0,04
L50A CAN LL	-0,02	0,04	0,00	0,00	-0,02	0,05
L95A CAN LL	-0,01	0,04	0,00	0,00	-0,01	0,04
L50A GRL BTM	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03
L95A GRL BTM	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05	0,05
L50A OTH BTM	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03
L95A OTH BTM	0,06	0,06	0,00	0,00	0,06	0,06
L50A GRNF LL	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01
L95A GRNF LL	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01
q NR 0A1CD	-0,07	0,10	0,02	0,05	-0,06	0,09
tau NR 0A1CD	-0,04	0,04	-0,10	0,17	-0,10	0,17
L50A NR 0A1CD	-0,02	0,02	0,00	0,00	-0,02	0,02
L95A NR 0A1CD	-0,02	0,02	0,00	0,00	-0,02	0,02
L50D NR 0A1CD	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
L95D NR 0A1CD	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01

Variable	ERM	ERAM	ERM	ERAM	ERM	ERAM
q NR SFW1AF	-0,06	0,10	-0,02	0,07	-0,06	0,12
tau NR SFW1AF	0,03	0,03	-0,06	0,12	-0,07	0,13
L50A NR SFW1AF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A NR SFW1AF	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
L50D NR SFW1AF	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03
L95D NR SFW1AF	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,04

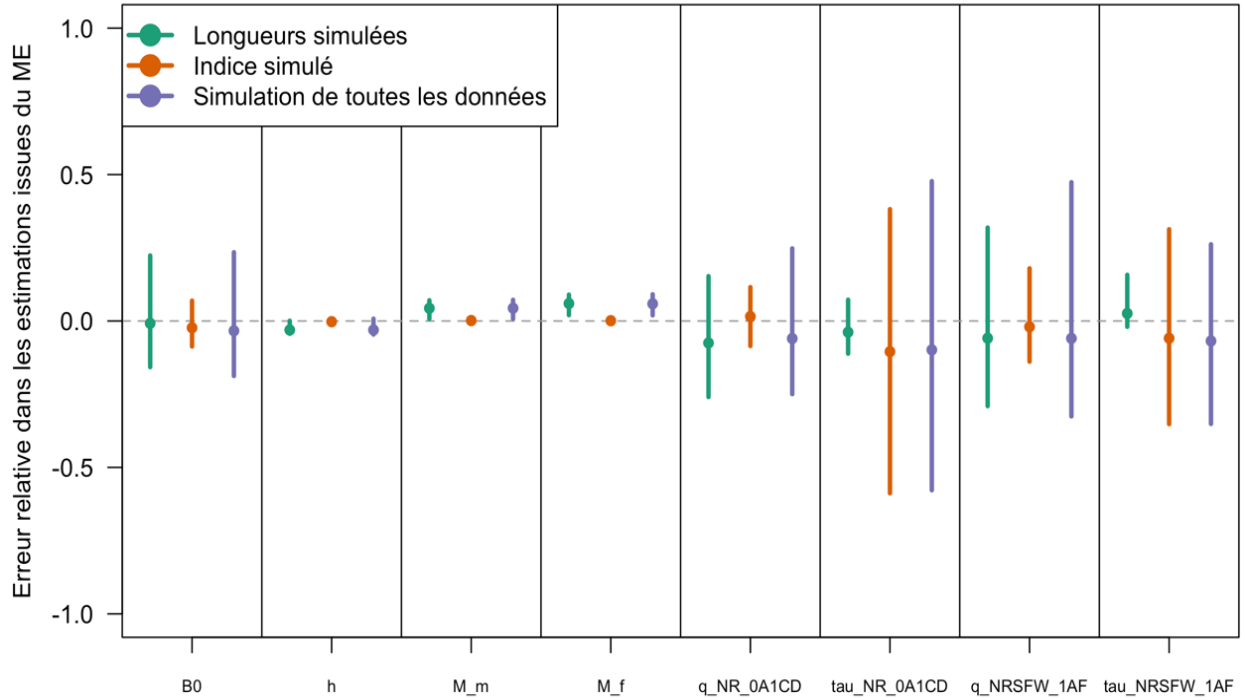


Figure 18. Médiane (points) et intervalle centré à 95 % (segments) des distributions des erreurs relatives pour les estimations du paramètre principal par le modèle d'évaluation du modèle SRSPSL-FG selon les trois scénarios d'autotest de simulation (couleurs).



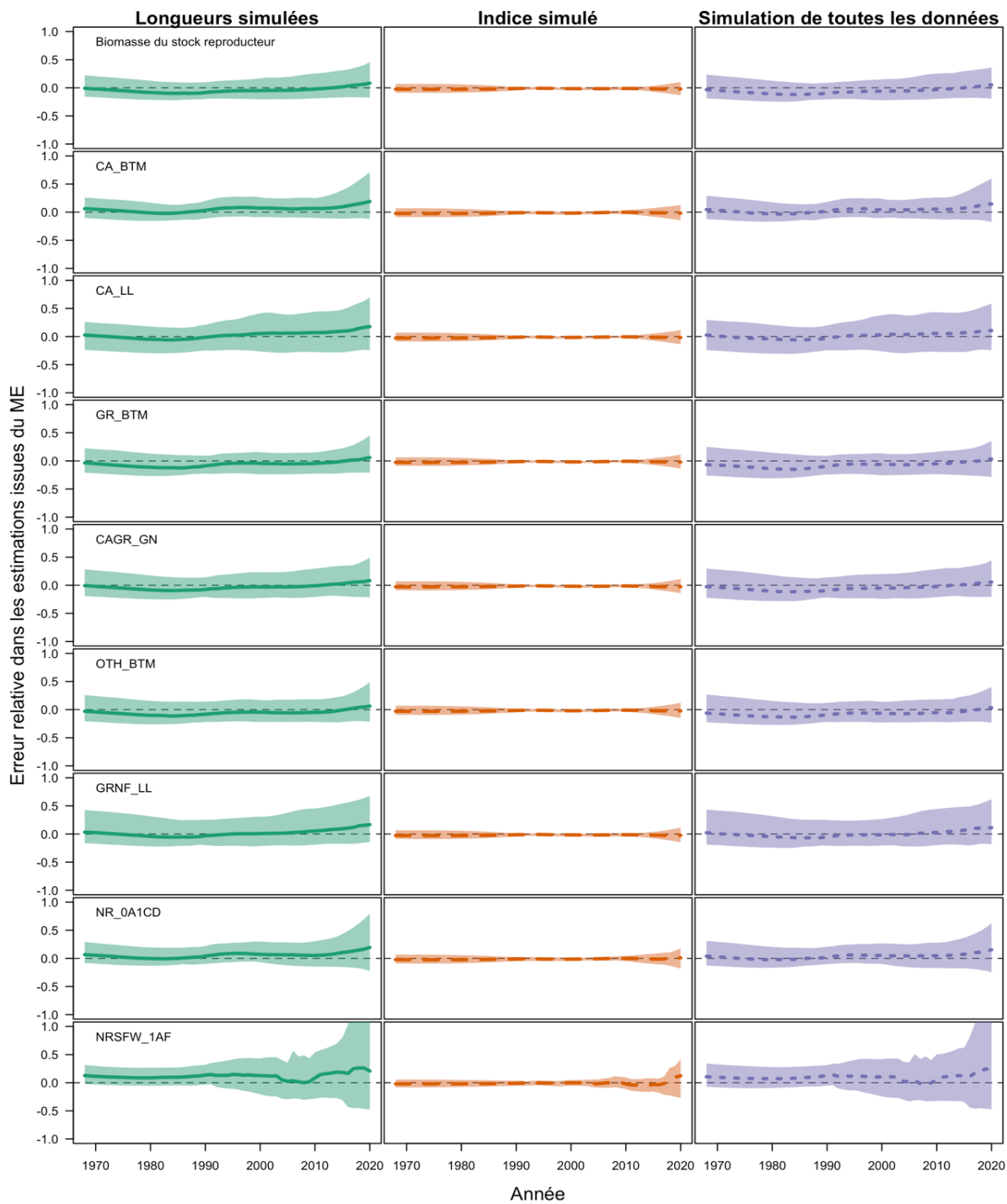


Figure 19. Distributions des erreurs relatives dans les estimations par le modèle SRSPSL-FG des séries chronologiques de la biomasse du stock reproducteur femelle (en haut) et de la biomasse vulnérable pour chaque flottille modélisée (autres graphiques) selon les trois scénarios d'autotest de simulation (colonnes). Les lignes épaisses indiquent les erreurs relatives médianes (c.-à-d., le biais médian) et les régions ombragées illustrent l'intervalle centré à 95 % (c.-à-d., la variation) des erreurs chaque année.

En moyenne, le modèle SRSPSL-FG est plus sensible aux données simulées sur la composition selon la longueur qu'aux données simulées des indices de la biomasse et de

---

l'abondance, ce qui est cohérent avec les autres évaluations des stocks structurées selon la longueur ou l'âge, puisqu'il y a simplement plus de points de données à ajuster. Les erreurs relatives médianes dans le scénario de données d'indice simulé uniquement (simIdx) sont généralement beaucoup plus faibles que dans les scénarios incluant la composition selon la longueur simulée (simLengths) pour la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), le taux de variation du stock-recrutement ( $h$ ), la mortalité naturelle mâles/femelles ( $M_m/M_f$ ) et la capturabilité ( $q$ ) pour les relevés menés en eaux extracôtières et en eaux côtières. De même, les paramètres de la sélectivité étaient également sensibles aux longueurs simulées, mais pas aux données d'indice. En revanche, les écarts-types de l'erreur d'observation ( $\tau$ ) étaient souvent plus biaisés et moins précis dans le scénario de l'indice simulé (Tableau 12, Figure 18). Ce comportement dichotomique est prévu, puisque les compositions selon la longueur alimentent les paramètres de la sélectivité et de la mortalité, qui influencent les estimations des paramètres de la capturabilité et biologiques, tandis que les indices simulés (non biaisés) influent davantage sur les estimations modélisées de la précision (c.-à-d.  $\tau$ ), comme le reflète la série chronologique des erreurs relatives de la biomasse (Figure 19).

Dans l'ensemble, les estimations par le modèle SRSPSL-FG de la biomasse du stock reproducteur et de la biomasse vulnérable pour les flottilles commerciales étaient légèrement biaisées négativement dans le scénario simLengths, mais pas de façon significative, et étaient proches de l'impartialité dans les scénarios simIdx et simAll. Dans le scénario simLengths, les erreurs relatives médianes pour la biomasse du stock reproducteur et la biomasse vulnérable dans les pêches étaient d'environ -0,1, mais les enveloppes des erreurs relatives contenaient toujours 0 (Figure 19). Par extension, les estimations de la biomasse exploitable seraient également légèrement biaisées négativement (non montré). En revanche, les distributions de l'erreur relative pour les estimations de la biomasse du relevé sont légèrement biaisées positivement dans les scénarios simLengths et simAll, avec des erreurs médianes de l'ordre de 0,1 en moyenne. La plupart des séries chronologiques présentaient une variation très faible et stable des erreurs relatives dans chaque scénario, à l'exception du relevé effectué par un navire de recherche dans la zone côtière de pêche, pour lequel la variabilité a augmenté vers la fin de la série chronologique en raison de la sélectivité variable dans le temps.

## **ÉVALUATION DE LA PROCÉDURE DE GESTION FONDÉE SUR UN MODÈLE/INDICE ADAPTATIF POUR LE FLÉTAN DU GROENLAND DE LA SOUS-ZONE 0+1**

La procédure de gestion fondée sur un modèle ou un indice adaptatif donne des résultats relativement bons compte tenu des paramètres que nous avons définis et qui ont été choisis pour correspondre essentiellement aux lignes directrices de la politique de l'OPANO sur l'approche de précaution (Tableau 13). Dans l'un ou l'autre des scénarios de précision, la probabilité que la biomasse du stock reproducteur femelle devienne inférieure à  $B_{lim} = 0,3B_{RMD}$  était nulle dans la simulation sur 47 ans du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. En outre, la probabilité de dépasser  $B_{RMD}$  était d'environ 82 % pour l'ensemble de la période de projection et d'environ 71 % pour les dix dernières années de la projection, ce qui correspond à un résultat bien supérieur à la probabilité de 50 % généralement associée aux niveaux cibles de la biomasse (MPO 2006). La probabilité de surpêche est d'environ 22 % pour les deux scénarios, ce qui est un peu plus élevé que la limite de 20 % fixée dans la politique de l'OPANO sur l'approche de précaution (Brodie *et al.* 2013), mais la différence est suffisamment faible pour que l'on puisse ajuster la procédure à une valeur légèrement plus basse de  $F_{buf}$ . Malgré la probabilité supérieure au niveau acceptable de surpêche au début de la période, le taux d'exploitation prévu au-dessus de  $U_{RMD}$  n'était que de 0,13, soit 8 % de plus que la limite de  $U_{RMD}$ .

Tableau 13. Exemples de paramètres du rendement pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 selon deux procédures de gestion (PG) et deux scénarios de précision du relevé nouveauNR (nouveau navire de recherche).

Scénario	PG	pLRP	pBtGtBmsy	pBtGtBmsyEnd	pOverfish	mUoverfish	avgCatch10	catchAAV10
<b>Procédure fondée sur un modèle/indice adaptatif</b>								
isPrec	qAdapt	0,000	0,821	0,710	0,213	0,13	25,1	0,06
osPrec	qAdapt	0,000	0,821	0,707	0,219	0,13	25,1	0,06
<b>Procédure fondée sur un indice non adaptatif</b>								
osPrec	qFixed	0,016	0,667	0,443	0,423	0,14	25,1	0,06

---

Les statistiques sur les prises des dix premières années sont fortement pondérées par la période initiale de TAC constant de 2021 à 2024 (Tableau 13). Les prises moyennes durant la période 2021 à 2030 s'élèvent à 25,1 kt, un chiffre qui n'est que légèrement inférieur au TAC actuel d'environ 32 kt, et la variation annuelle moyenne est de 6 %, ce qui reflète également les TAC constants du début de la période et un déclin relativement lent des TAC vers le niveau du rendement maximal durable, puisqu'ils sont fixés tous les deux ans.

Compte tenu du rendement très semblable dans les deux scénarios de précision, nous présentons les résultats détaillés pour le scénario isPrec uniquement. Les mêmes graphiques pour le scénario osPrec figurent à l'Annexe E (figures E.1 à E.3). Afin de comparer la variation simulée entre les scénarios, les Figures E.4 et E.5 présentent une seule répétition des indices de l'abondance simulés pour les scénarios isPrec et osPrec, respectivement. À la fin de cette section, nous examinons également la procédure non adaptative par rapport à la procédure adaptative, les graphiques étant également présentés à l'Annexe E (Figures E.6 à E.8). De même, le biais et la précision des évaluations simulées du modèle SRSPSL-FG étaient très semblables dans les scénarios isPrec et osPrec (Annexe F).

La procédure adaptative gère bien la phase de développement de la pêche, en réduisant la biomasse courante de manière contrôlée pour tous les tirages *a posteriori*, c'est-à-dire la plage d'incertitude des paramètres (Figure 20), tout en permettant aux TAC de changer en fonction de la variation des indices de biomasse du relevé (Figure 21). La médiane finale de la biomasse du stock reproducteur femelle est légèrement supérieure à la valeur médiane *a posteriori* de  $B_{RMD}$  (Figure 20), ce qui est prévu compte tenu du taux maximal cible de mortalité par pêche de  $F_{buf} = 0,8F_{RMD}$  ou du taux d'exploitation d'environ  $0,8U_{RMD}$  (Figure 22, comparaison entre la ligne médiane pleine et la ligne horizontale tiretée noire). D'une année à l'autre, la probabilité de dépasser  $U_{RMD}$  est tout d'abord supérieure à 20 %, d'après les TAC constants pour les quatre premières années de projection, mais elle se stabilise en dessous de 20 % après environ 25 ans, à mesure que la procédure s'adapte (Figure 22, enveloppe gris foncé).

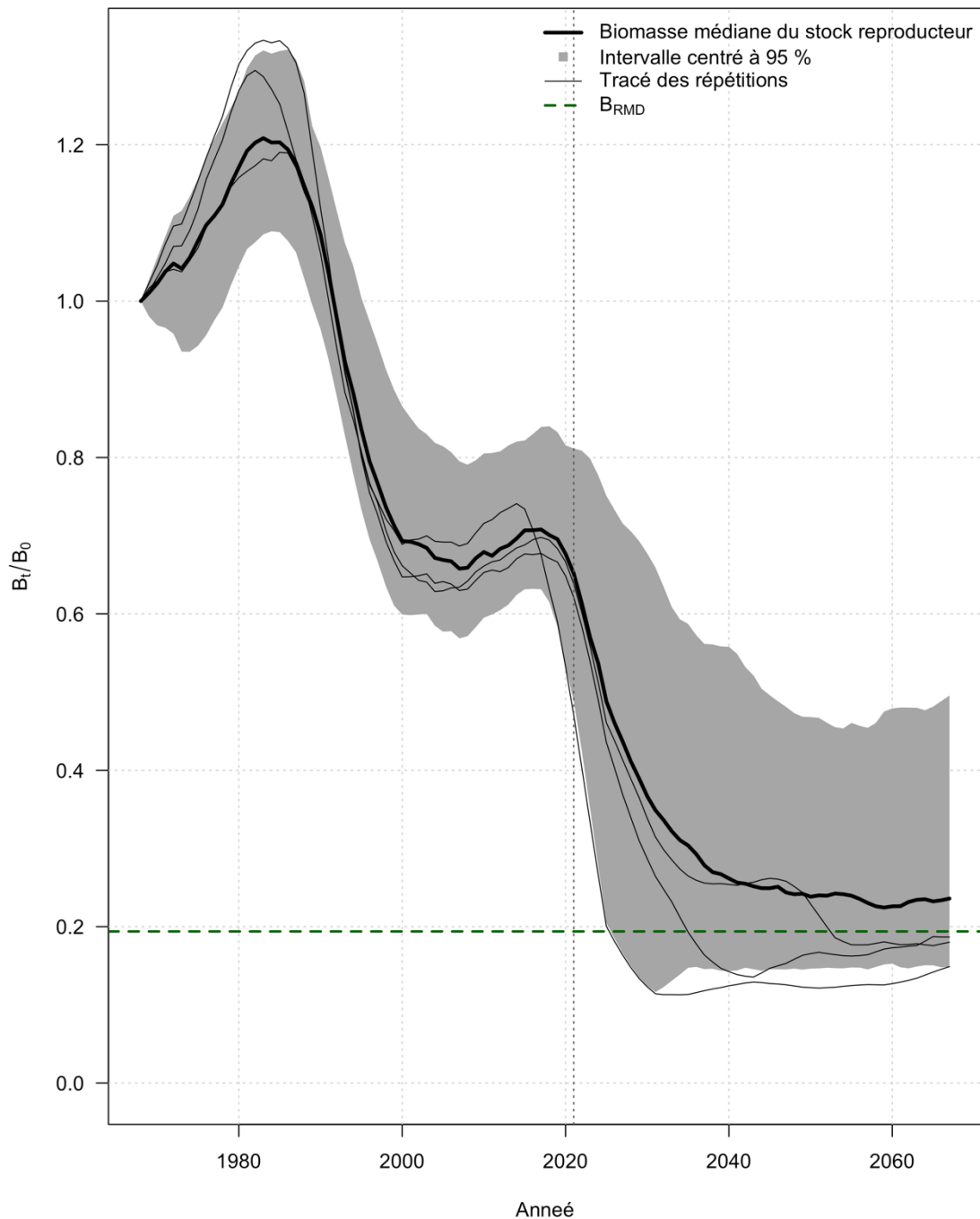


Figure 20. Simulation de la diminution de la biomasse du stock reproducteur femelle de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé isPrec. Les enveloppes de simulation grises montrent l'intervalle centré à 95 % (région grise), la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires de la simulation (lignes noires fines) de la diminution de la biomasse du stock reproducteur. La ligne verte horizontale représente la biomasse du stock reproducteur produisant le rendement maximal durable et la ligne verticale tiretée indique le début de la procédure de gestion simulée en 2021.

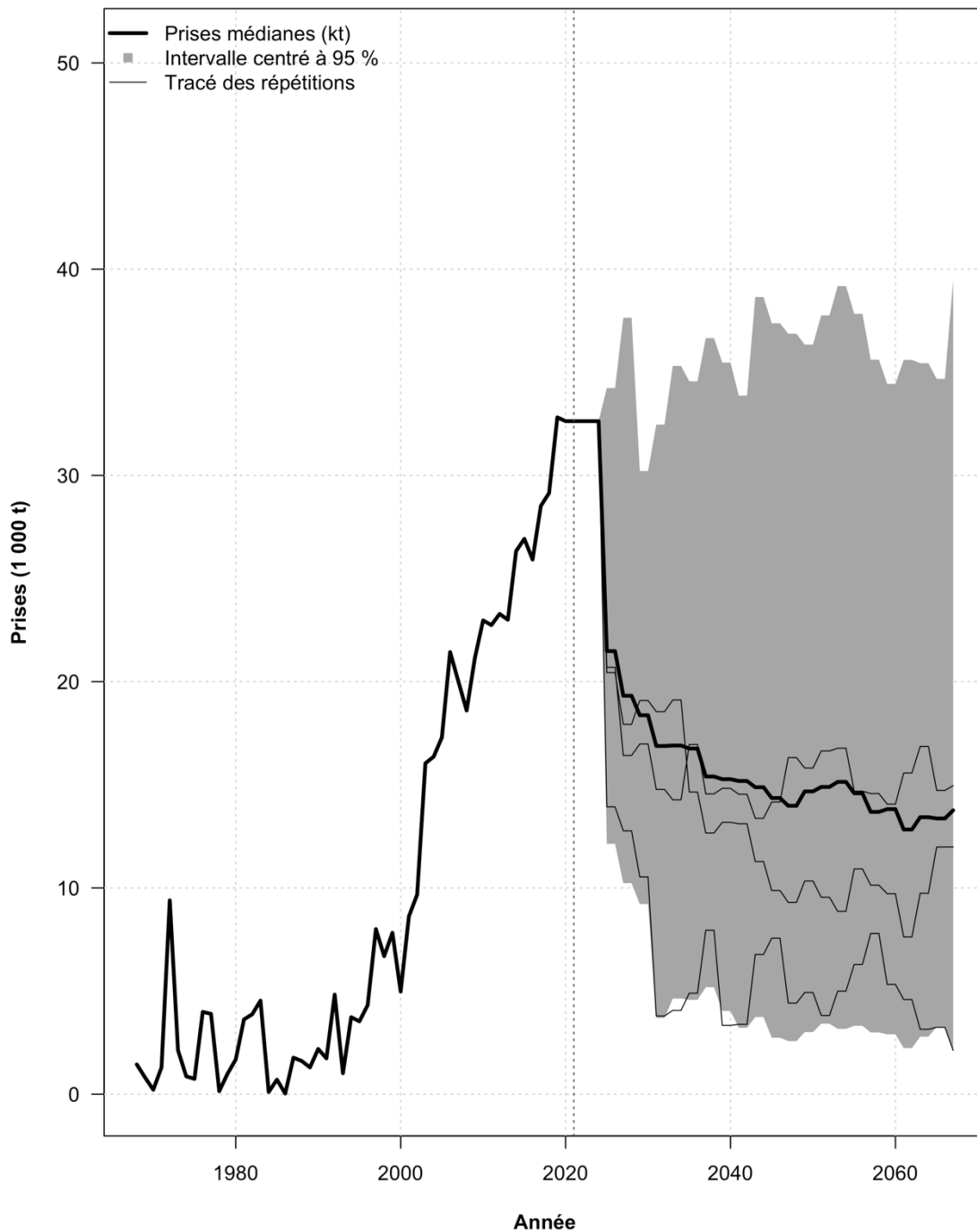


Figure 21. Simulation des prises totales de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé isPrec. Les enveloppes grises de la simulation montrent l'intervalle centré à 95 % (région grise), la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires des simulations (lignes noires fines) des prises totales de reproducteurs pour l'ensemble des pêches. Le début de la procédure de gestion est représenté par une ligne verticale tiretée en 2021.

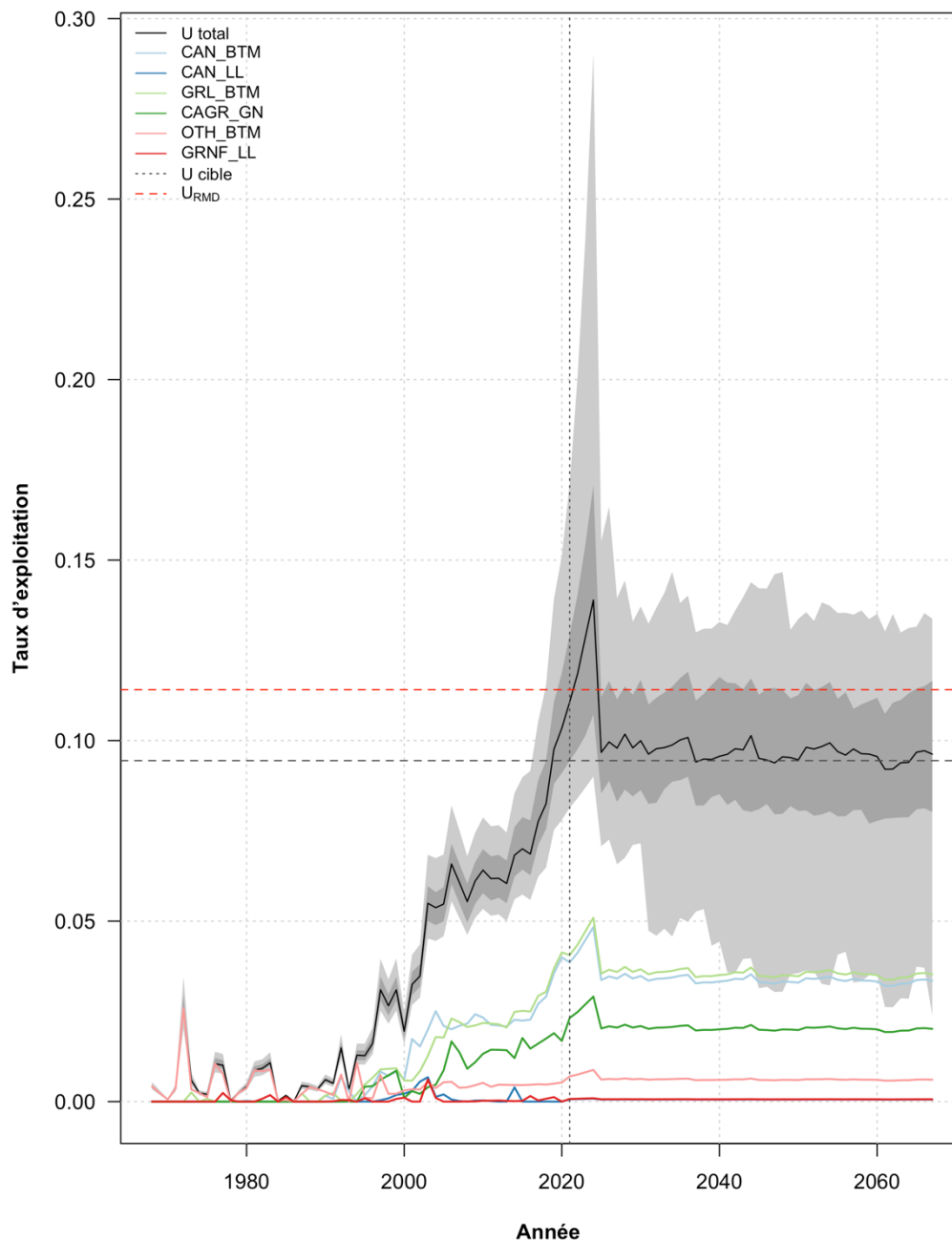


Figure 22. Taux d'exploitation simulés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé isPrec. Les lignes illustrent les taux d'exploitation médians totaux (en noir) et propres à la flottille (en couleurs), avec l'enveloppe de simulation montrant l'intervalle centré à 60 % (en gris foncé) et l'intervalle centré à 95 % (en gris pâle) de la distribution des taux d'exploitation totaux sur les 50 répétitions. Les taux d'exploitation cible et optimal sont représentés par des lignes horizontales tiretées et le début de la procédure de gestion est représenté par une ligne verticale tiretée en 2021.

---

Une seule répétition de la simulation montre la capacité de la procédure de gestion à refléter la dynamique simulée du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 et à amener la biomasse vers  $B_{RMD}$  grâce à sa nature adaptative (Figure 23). Pour ce tirage *a posteriori* en particulier, les estimations de la biomasse du stock reproducteur par le modèle SRSPSL-FG sont légèrement biaisées positivement, mais le biais semble diminuer au cours de la période de projection à mesure que davantage de données sont générées pour l'ajustement du modèle (Figure 23, lignes grises). Les estimations de la biomasse exploitable issues de la procédure fondée sur l'indice présentaient également un léger biais au début, en partie à cause du biais des estimations de la biomasse par le modèle SRSPSL-FG (Figure 23, cercles bleus). Toutefois, ce biais positif dans les estimations de la biomasse est réduit à mesure que les évaluations actualisées révisent les valeurs de  $\rho_t$ . En conséquence, la biomasse du stock reproducteur est ramenée presque exactement à son niveau de RMD (ligne horizontale tiretée rouge) et, bien que la biomasse exploitable se situe légèrement en dessous de ce niveau (ligne horizontale tiretée bleue), le stock est stable et les estimations moyennes de la biomasse ne sont pas biaisées.

L'adaptation de la procédure fondée sur le modèle/l'indice est visible dans les tendances des estimations de la biomasse exploitable au fil du temps (Figure 23). Pour la répétition choisie, les tendances de la biomasse exploitable et de la biomasse du relevé effectué par un navire de recherche divergent vers 2023, la biomasse exploitable continuant à diminuer tandis que la biomasse du relevé par navire de recherche se stabilise après une brève augmentation. Ces biomasses divergentes, ainsi que les erreurs d'observation dans les indices des relevés, se traduisent par une courte période d'estimations de la biomasse exploitable positivement biaisées entre 2024 et 2028 (Figure 23, cercles bleus). Le biais a été éliminé après l'évaluation simulée complète suivante du modèle SRSPSL-FG, en adaptant les paramètres de contrôle du ratio  $\rho_t$  et de la capturabilité du relevé  $q_{NR,t}$  pour la méthode fondée sur l'indice, ramenant les estimations de la biomasse exploitable beaucoup plus près de la véritable valeur de la biomasse exploitable, et la biomasse du stock reproducteur à long terme du niveau optimal de  $B_{RMD}$ .



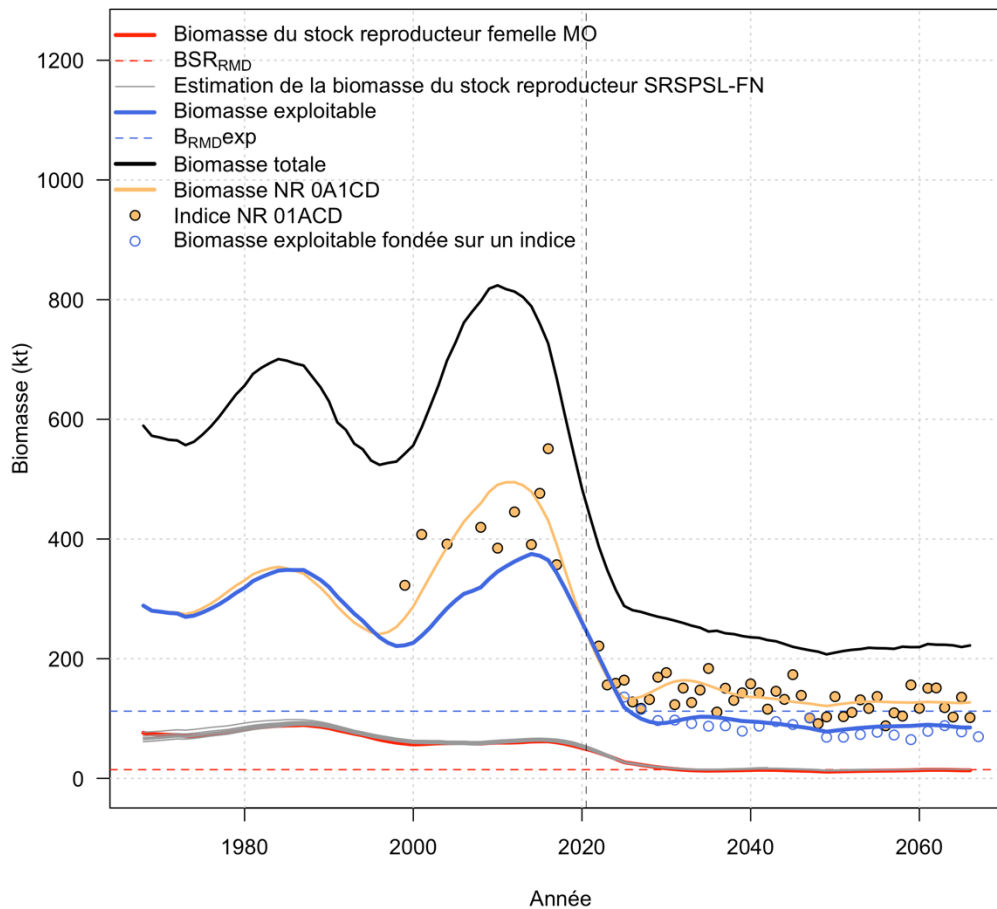


Figure 23. Une seule répétition de la simulation de MS3-FG selon le scénario *isPrec* et la procédure de gestion adaptative montrant le modèle opérationnel réel de la biomasse du stock reproducteur femelle (ligne rouge), la biomasse exploitable (ligne bleue), la biomasse totale (ligne noire) et la biomasse du relevé par navire de recherche (ligne orange), ainsi que les indices simulés de la biomasse du relevé par navire de recherche (points orange). La figure présente également les estimations par la procédure de gestion de la biomasse du stock reproducteur femelle (lignes grises) produites par la mise à jour simulée du modèle SRSPSL-FG, et les estimations de la biomasse exploitable provenant de la procédure fondée sur les indices (points bleus).

En revanche, la procédure de gestion non adaptative donne des résultats médiocres par rapport aux paramètres de rendement choisis. Bien qu'il y ait toujours une très faible probabilité que la biomasse diminue à un niveau inférieur au PRL, cette probabilité est quelque peu biaisée par la santé du stock pendant les premières années de la phase de développement (Figure B.7). Les valeurs fixes  $\rho$  et  $q_{NR}$  ne s'adaptent pas aux changements dans le rapport entre la biomasse exploitable et la biomasse du relevé, ce qui conduit à des surestimations de la biomasse. De ce fait, les TAC sont trop élevés (Figure B.8), ce qui donne des taux de prise médians autour de  $U_{RMD}$  (Figure B.9), avec une probabilité de 42 % de dépasser la limite (Figure B.9, Tableau 13). Par conséquent, il existe une probabilité de 56 % que la biomasse du stock reproducteur femelle soit inférieure à  $B_{RMD}$  à la fin des projections (Tableau 13). En outre, la biomasse du

---

stock reproducteur médiane ne semble pas se stabiliser, ce qui indique qu'elle pourrait ne pas s'être équilibrée au taux d'exploitation plus élevé à la fin de la projection (Figure B.7).

Enfin, les évaluations simulées semblent donner des résultats semblables dans les projections et dans la procédure de simulation-estimation (Tableaux C.1 et C.2).

## DISCUSSION

Dans le présent document, nous avons donné un exemple de cadre de modélisation de l'évaluation de bout en bout (des données à l'avis) en trois parties :

- A. estimer l'état du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 et les points de référence biologiques à partir des données issues de la pêche et des relevés;
- B. 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;
- C. conditionner les modèles opérationnels et tester par simulation les stratégies de pêche selon l'approche de précaution.

Selon les estimations du modèle SRSPSL-FG, le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 est probablement en phase de développement et n'est pas surexploité, mais il existe une probabilité (50 %) que les récentes hausses des taux d'exploitation entraînent une surexploitation du stock. Le modèle SRSPSL-FG présenté dans la partie A a montré que les données sur le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 sont suffisantes pour que l'on puisse produire une évaluation bayésienne du stock, en estimant les points de référence biologiques et l'incertitude qui leur est associée. Il convient de noter qu'une incertitude considérable entoure l'ampleur du stock, en grande partie du fait de la faible puissance statistique des données, telles que les indices plats et bruyants des relevés, et des observations manquantes de poissons plus âgés. Les sensibilités présentées révèlent une fourchette de la biomasse du stock reproducteur femelle non exploitée comprise entre 30 kt et 250 kt, la biomasse totale se situant à un niveau beaucoup plus élevé. Bien que l'échelle absolue soit très incertaine, tous les modèles qui s'ajustent bien aux données donnent des conclusions semblables (Annexe A) : le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 est probablement supérieur à  $B_{RMD}$ , ce qui le place dans un état relativement sain. En outre, compte tenu de la dynamique des « voyages à sens unique » et de l'historique des prises, l'exploitation commerciale a probablement réduit un stock permanent lors d'une phase de développement de la pêche. Par ailleurs, malgré le peu d'éléments probants suggérant que le stock est surexploité, plusieurs obstacles continuent d'empêcher la détermination de l'échelle du stock avec plus de certitude et, sans informations sur l'échelle, il est difficile de déterminer si les TAC actuels surexploitent le flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 et, si oui, dans quelle mesure (Annexe A). Par exemple, il est difficile d'observer les plus gros poissons, ce qui rend les estimations de croissance incertaines, et on ne connaît pas la partie du stock qui se trouve dans les eaux non visées par les relevés, à une profondeur supérieure à 1 500 m. Tous ces éléments donnent à penser que le moment est venu d'élaborer et d'appliquer une approche de stratégie de pêche par rétroaction testée par simulation pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, dont la robustesse a été mise à l'essai par rapport à l'incertitude de la biomasse absolue du stock. Sans ces rétroactions, il sera impossible de détecter les signes de surpêche et d'ajuster les mesures de gestion en conséquence.

Il existe certaines différences entre le modèle utilisé pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 et le modèle état-espace utilisé pour gérer le flétan du Groenland dans la sous-zone 2 et les divisions 3KLMNO de l'OPANO (ci-après appelé « flétan du Groenland de la sous-

---

zone 2+3 ») (Rademeyer et Butterworth 2017, Regular *et al.* 2017, Regular 2020, Varkey *et al.* 2020). Tout d'abord, les nombres des classes d'âge modélisées pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (plus le groupe d'âge 35 et plus) et le flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 (plus le groupe d'âge 10 et plus) sont très différents. Il y a également une différence considérable dans le poids selon l'âge pour les âges qui se chevauchent, les poissons d'âge 10+ dans la sous-zone 2+3 ayant à peu près le même poids que les poissons d'âge 20 et plus dans le modèle pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1. Enfin, le modèle pour le flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 n'est pas structuré par sexe, alors que le modèle SRSPSL-FG l'est. Ces différences sont toutes liées à la disponibilité et à la qualité des données sur la détermination de l'âge pour chaque stock. On dispose de beaucoup plus de données sur la détermination de l'âge pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 2+3, grâce aux relevés annuels et à des observations des prises selon l'âge provenant des pêches commerciales. Cependant, les lectures de l'âge des poissons de plus de 10 ans dans le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 sont très incertaines (P. Regular, MPO, comm. pers.) et l'âge du groupe « plus » est donc fixé à ce seuil. Puisqu'une grande partie du stock est regroupée dans le groupe « plus » pour le flétan du Groenland de la sous-zone 2+3, la taille selon l'âge varie considérablement d'une année à l'autre. Par conséquent, le poids selon l'âge empirique annuel est estimé à partir d'échantillons biologiques, ce qui donne un poids selon l'âge plus élevé pour les poissons d'âge 10+ dans le cadre de l'évaluation du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 2+3.

Contrairement au stock de flétan du Groenland de la sous-zone 2+3, pour le stock de la sous-zone 0+1, on dispose d'observations sur l'âge et la longueur uniquement pour le relevé mené en eaux extracôtières en 2017 dans la division 0A. En raison de cet ensemble limité de données, un modèle de croissance paramétrique est nécessaire pour convertir le nombre d'individus selon l'âge en biomasse du stock dans le modèle SRSPSL-FG, de même que pour fournir le nombre d'individus prévus selon la longueur pour l'ajustement aux données sur la composition selon la longueur. Bien qu'une erreur dans la détermination de l'âge soit possible compte tenu de la grande variation et du chevauchement des distributions de la longueur selon l'âge pour des classes d'âge successives supérieures à l'âge 10 (Figure 2), une tendance positive se dégage également dans la longueur médiane selon l'âge dans les données. Cette tendance positive se reflète également dans les modèles estimés de von Bertalanffy selon lesquels les observations de l'âge ne sont pas totalement inutilisables après l'âge 10 et les deux sexes continuent de grandir au-delà des données observées. De ce fait, malgré les différences avec le modèle du flétan du Groenland de la sous-zone 2+3, ainsi que les limitations identifiées dans la manière dont la biologie est modélisée pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 – telles que la faible maturité selon l'âge et le biais possible dans la longueur selon l'âge étant donné la sélectivité en forme de dôme pour le relevé – nous sommes convaincus que les modèles d'âge et de croissance du groupe « plus » pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 sont appropriés.

Il n'est pas certain que le niveau d'incertitude entourant la détermination de l'âge soit le même pour le stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 que pour le stock de la sous-zone 2+3. Comme nous l'avons déjà mentionné, il y a un chevauchement considérable entre les distributions de longueur pour les classes d'âge successives, qui peut laisser croire à une erreur de détermination de l'âge (Heifetz *et al.* 1999, Hanselman *et al.* 2012). Par ailleurs, la taille de l'échantillon est très petite, avec environ 175 poissons pour chaque sexe qui, s'ils étaient assignés de manière aléatoire aux classes d'âge, donneraient une moyenne de 7 individus par classe d'âge et moins pour les âges plus avancés compte tenu de la survie. Il est donc difficile d'attribuer la variation de la longueur selon l'âge à la petite taille de l'échantillon ou à une difficulté systémique à lire les âges à partir des otolithes du flétan du Groenland.

---

Une ressemblance notable entre l'évaluation du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 et celle du stock de la sous-zone 0+1 est la mortalité élevée à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, nous l'avons attribuée à la mortalité naturelle variable dans le temps, puisque le modèle est conditionné par les prises. Pour le flétan du Groenland de la sous-zone 2+3, il s'agit d'une mortalité par pêche élevée nécessaire pour s'ajuster au pic important dans les prises de 1990 à 1993. Le modèle état-espace (MEE) du flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 est raisonnablement bien ajusté aux prises, mais manque certains points d'environ 5 kt (Regular *et al.* 2017, Regular 2020). Par coïncidence, le modèle état-espace du flétan du Groenland de la sous-zone 2+3 présente une série d'erreurs de processus positives pour les années correspondant à la valeur élevée de  $M$  pour le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1, ce qui peut être interprété comme un déplacement des poissons entre les sous-zones 0+1 et 2+3.

L'analyse rétrospective du modèle SRSPSL-FG montre que la dynamique est relativement stable lorsqu'on ajoute de nouvelles données. Si l'augmentation des TAC au fil des ans s'est traduite par une hausse des estimations de la taille absolue (échelle) du stock, les estimations de la diminution n'ont guère varié d'une extraction de données à l'autre. Cette stabilité montre qu'alors que les estimations de l'échelle du stock ont augmenté, celles de la productivité du stock sont restées stables (comme le révèlent plusieurs analyses de sensibilité). Par ailleurs, cette stabilité est partiellement due à des valeurs *a priori* informatives sur le taux de variation et la mortalité naturelle, qui compensent la faible puissance statistique des indices (c.-à-d., les indices plats ou bruyants) et des compositions du stock selon la longueur, qui sont un substitut imparfait à des données améliorées sur l'âge.

Dans l'ensemble, le modèle SRSPSL-FG présente un biais et une précision acceptables dans les autotests de simulation. Nous avons utilisé l'hypothèse de base du modèle SRSPSL-FG pour simuler d'autres historiques de données (fondés sur la même dynamique de la population), en simulant soit les indices du stock, soit les données sur la composition selon la longueur, soit les deux. Chaque scénario de données simulé a permis de tester le biais et la précision du modèle SRSPSL-FG en ce qui concerne les paramètres biologiques et d'observation sélectionnés du modèle, ainsi que les séries chronologiques de la biomasse du stock reproducteur et de la biomasse vulnérable dans la pêche et le relevé. Les estimations modélisées des séries chronologiques de la biomasse, des paramètres biologiques et de la capturabilité étaient plus sensibles à la simulation des données sur la composition selon la longueur, tandis que les erreurs types résiduelles des indices du stock étaient plus sensibles à la simulation des données sur les indices. Alors que les valeurs des erreurs relatives médianes (ERM) et des erreurs relatives absolues médianes (ERAM) indiquaient toutes un faible biais et une précision modérée des paramètres, nous avons noté un biais négatif modérément persistant d'environ -20 % dans la biomasse du stock reproducteur et la biomasse vulnérable pour les pêches commerciales. Cependant, ces biais sont souvent irréductibles, car il y a toujours une incertitude dans les données et la dynamique de la population sous-jacente, que les simulations par rétroaction en boucle fermée sont censées résoudre. L'ajustement aux données générées par les mêmes paramètres du cycle vital, mais simulant des recrutements aléatoires de 1968 à 1988, a révélé un biais plus grand, mais les 95 % centraux des distributions de la biomasse contenaient les valeurs réelles (Annexe B).

Nous avons fermé la boucle entre les données et l'avis en démontrant un cadre de simulation par rétroaction en boucle fermée pour tester des stratégies de pêche possibles. Le modèle MS3-FG a été conditionné sur les estimations de l'hypothèse de base du modèle SRSPSL-FG et utilisé pour tester par simulation une procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et sur le modèle d'évaluation des stocks du modèle SRSPSL-FG. Avec les paramètres actuels de la règle de contrôle des prises (p. ex.,  $F_{buf} = 0,8F_{RMD}$  et  $B_{buf} = 0,7B_{RMD}$ ), la

---

procédure de gestion tend à atteindre les objectifs de gestion sous-entendus par ces paramètres. En outre, elle guide bien la pêche du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 tout au long de la phase de développement, en réduisant le stock de manière à ce que la biomasse du stock reproducteur atteigne un niveau proche du niveau optimal de  $B_{RMD}$  sans qu'il y ait de fortes probabilités de surpêche. Pour accroître la vitesse à laquelle la procédure de gestion s'adapte aux changements de l'état du stock, on peut réduire la fenêtre temporelle utilisée pour mettre à jour le modèle complet SRSPSL-FG ou mettre à jour les taux cibles de mortalité par pêche en même temps que les paramètres de la capturabilité et du facteur d'ajustement de la biomasse. En utilisant une fenêtre plus courte (p. ex., de trois à cinq ans au lieu de six), le scalaire  $\rho_t$  serait plus sensible aux variations du rapport entre la biomasse exploitable et la biomasse du relevé par navire de recherche. Par ailleurs, la plus grande réactivité de la méthode fondée sur un indice se traduirait probablement par une plus grande variabilité des prises due, en partie, à une sensibilité accrue aux erreurs d'évaluation du modèle SRSPSL-FG et aux erreurs d'observation des relevés.

Le modèle d'évaluation des stocks du modèle SRSPSL-FG a également produit les résultats escomptés (semblables aux autotests) pour les projections. Le biais et la précision étaient semblables à ceux de l'autotest de simulation pour tous les scénarios de précision du relevé nouveauNR et toutes les années de projection (Annexe C). Comme on pouvait s'y attendre, les estimations des paramètres du relevé nouveauNR étaient meilleures avec des données simulées supplémentaires.

Comme indiqué dans les résultats sur les incertitudes entourant la composition selon la longueur, un cadre de modélisation tel que celui proposé ici peut être utilisé à d'autres fins que la seule prise de décisions concernant les TAC. Au niveau de l'évaluation, il est également possible de déterminer les sources de données qui ont le plus d'effet sur l'incertitude, comme l'indiquent des erreurs types résiduelles plus élevées ou des valeurs négatives de la fonction de log-vraisemblance. Une fois déterminées, les sources de données problématiques peuvent faire l'objet d'un examen plus approfondi et être éventuellement corrigées. Si des questions plus profondes nécessitent un investissement important, comme la normalisation des processus de collecte de données, le cadre de simulation peut aider à déterminer les données qui donneront le meilleur rendement du capital investi (p. ex., des TAC plus stables grâce à des erreurs d'évaluation simulées plus faibles lorsque les données sur les longueurs futures sont simulées avec, disons, des erreurs standard plus petites).

Il est facile d'élargir le cadre de bout en bout (des données à l'avis) présenté dans ce document pour inclure de nouvelles sources de données et des complexités supplémentaires. Par exemple, différents types de données de marquage peuvent être incorporés dans le modèle SRSPSL-FG. On intègre souvent les données de marquage dans les évaluations pour étayer sur les déplacements entre les zones (pour les modèles spatialement explicites), les taux de mortalité (Cox *et al.* 2016) ou les estimations de la sélectivité (Cox *et al.* 2019). On observe également une prévalence croissante des méthodes de marquage-recapture génétique pour la conservation et la gestion des pêches, y compris le flétan du Groenland (Carrier *et al.* 2020), dont certaines peuvent s'appuyer sur les estimations par le modèle SRSPSL-FG de la force des cohortes. En outre, le cadre peut également servir à estimer la valeur des informations provenant d'un nouveau relevé, comme un relevé à la palangre dans les eaux plus profondes. Les premières calées des relevés exploratoires pourraient déterminer la structure de taille approximative de la partie du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 vivant à une profondeur de plus de 1 400 m, et aider à concevoir une nouvelle série de relevés à inclure dans les simulations en boucle fermée pour les tests des procédures de gestion.

---

## TRAVAUX FUTURS POUR UNE ÉVALUATION COMPLÈTE DE LA STRATÉGIE DE GESTION ÉVALUÉE PAR LES PAIRS

Le présent document donne un exemple de réalisation d'un cadre de conversion de données en avis en boucle fermée. Par conséquent, il existe plusieurs sources d'incertitude que nous n'avons pas entièrement étudiées. Un processus complet d'évaluation de la stratégie de gestion, soumis à un examen par les pairs, pourrait s'appuyer sur ce travail de plusieurs manières, y compris, mais sans s'y limiter :

- i. Utilisation de scénarios MS3-FG supplémentaires pour les simulations en boucle fermée, en utilisant la même procédure de gestion adaptative ajustée au modèle SRSPSL-FG dans l'hypothèse de base pour les évaluations simulées. Cela permettrait de tester la procédure de gestion dans un scénario de mauvaise spécification du modèle (parfois appelé tests de robustesse). Nous proposons un modèle opérationnel qui s'ajuste mieux aux compositions selon la longueur dans la pêche groenlandaise, norvégienne et des îles Féroé à la palangre, peut-être grâce à une valeur plus grande de  $L_{\infty}$  et d'autres formes fonctionnelles de sélectivité.
- ii. Utilisation de sensibilités supplémentaires du modèle à (i) des distributions *a priori* de certains paramètres et (ii) l'année initiale de capturabilité variable dans le temps pour la série de CPUE, ainsi que les autres sensibilités suggérées par les examinateurs.
- iii. Ajustement à toutes les données disponibles du relevé nouveauNR pour estimer la sélectivité et la capturabilité (dans le temps), en incorporant une incertitude supplémentaire dans les valeurs des paramètres pour tenir compte de la courte série chronologique de données.
- iv. Conception d'un relevé à la palangre, peut-être en partenariat avec l'industrie, avec des calées à une profondeur de plus de 1 400 m pour déterminer la structure de taille/âge et l'abondance de la partie non observée du stock de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (Cox *et al.* 2018).

## REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Margaret Treble et Kevin Hedges, de Pêches et Océans Canada, ainsi qu'Adriana Nogueira, de l'Institut des ressources naturelles du Groenland, qui ont fourni des données sur le flétan du Groenland et le contexte des relevés menés dans les divisions 0AB et 1CD de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest. Nous remercions aussi les participants à la réunion d'examen par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques, qui ont formulé des commentaires ayant permis d'améliorer considérablement le présent document de recherche.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Betancourt, M., and Girolami, M. 2015. Hamiltonian Monte Carlo for hierarchical models. *In* Current trends in Bayesian methodology with applications. Edited by S.K. Upadhyay, U. Singh, D.K. Dey, and A. Loganathan. CRC Press, Boca Raton. pp. 80–101.
- Bowering, W.R., and Brodie, W.B. 1995. Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*). A review of the dynamics of its distribution and fisheries off eastern Canada and Greenland. *In* Deep-water fisheries of the North Atlantic Oceanic slope. Edited by A.G. Hopper. Springer, Dordrecht. pp. 113–160.

- 
- Brodie, W., Shelton, P.A., Couture, E., and Dwyer, K. 2013. A discussion of the NAFO precautionary approach framework. NAFO SCR Doc: 13/024(N6177). 14 p.
- Butterworth, D.S. 2007. Why a management procedure approach? Some positives and negatives. ICES J. Mar. Sci. 64(4): 613–617.
- Cadigan, N.G. 2016. A state-space stock assessment model for northern cod, including under-reported catches and variable natural mortality rates. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 73(2): 296–308.
- Carrier, E., Ferchaud, A.-L., Normandeau, E., Sirois, P., and Bernatchez, L. 2020. Estimating the contribution of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) stocks to nurseries by means of genotyping-by-sequencing: Sex and time matter. Evol. Appl. 13(9): 2155–2167.
- Cooke, J.G. 1999. Improvement of fishery-management advice through simulation testing of harvest algorithms. ICES J. Mar. Sci. 56(6): 797–810.
- Cooper, D.W., Maslenikov, K.R., and Gunderson, D.R. 2007. Natural mortality rate, annual fecundity, and maturity at length for Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) from the northeastern Pacific Ocean. Fish. Bull. 105(2): 296–304.
- Cox, S., Benson, A., and den Heyer, C.E. 2016. [Framework for the assessment of Atlantic halibut stocks on Scotian shelf and Southern Grand Banks](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/001. v + 57 p.
- Cox, S., Benson, A., and Doherty, B. 2018. [Re-design of the joint industry-DFO Atlantic halibut \(\*Hippoglossus hippoglossus\*\) survey off the Scotian shelf and Grand Banks](#). Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/020. v + 50 p.
- Cox, S., Holt, K., Johnson, S. 2019. [Évaluation de la robustesse des procédures de gestion des pêches à la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en Colombie-Britannique, au Canada, pour 2017-2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/032. vi + 87 p.
- de la Mare, W.K. 1998. Tidier fisheries management requires a new MOP (management-oriented paradigm). Rev. Fish Biol. Fish. 8: 349–356.
- Francis, R.C. 2014. Replacing the multinomial in stock assessment models: A first step. Fish. Res. 151: 70–84.
- Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., Dunson, D.B., Vehtari, A., and Rubin, D.B. 2014. Bayesian data analysis. CRC Press, Boca Raton, U.S.A. 661 p.
- Hanselman, D.H., Clark, W.G., Heifetz, J., and Anderl, D.M. 2012. Statistical distribution of age readings of known-age Sablefish (*Anoplopoma fimbria*). Fish. Res. 131: 1–8.
- Harris, L.N., Treble, M.A., and Morgan, M.J. 2009. An update of maturity in data for Greenland halibut from trawl surveys of NAFO subarea 0 with emphasis on division 0A. NAFO SCR Doc. 09/025(N5660). 12 p.
- Heifetz, J., Anderl, D., Maloney, N., and Rutecki, T.L. 1999. Age validation and analysis of ageing error from marked and recaptured Sablefish, *Anoplopoma fimbria*. Fish. Bull. 97(2): 256–263.
- Hilborn, R., and Walters, C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Springer, Dordrecht. 570 p.
- Kristensen, K., Nielsen, A., Berg, C.W., Skaug, H., and Bell, B. 2016. TMB: Automatic differentiation and laplace approximation. J. Stat. Softw. 70(5): 1–21.

- 
- Monnahan, C.C., and Kristensen, K. 2018. No-u-turn sampling for fast Bayesian inference in ADMB and TMB: Introducing the admuts and tmbstan R packages. *PloS ONE* 13(5).
- Monnahan, C.C., Thorson, J.T., and Branch, T.A. 2017. Faster estimation of Bayesian models in ecology using hamiltonian monte carlo. *Methods Ecol. Evol.* 8(3): 339–348.
- Morgan, M.J., and Treble, M.A. 2006. A first look at maturity data for Greenland Halibut from Trawl surveys of NAFO Subarea 0. NAFO SCR Doc. 06/05(N5216). 10 p.
- MPO. 2006. [Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution](#). Secr. Can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2006/023
- 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 Doc. 20/015REV3(N7060). 44 p.
- Piner, K.R., Lee, H.-H., and Thomas, L.R. 2018. Bias in estimates of growth when selectivity in models includes effects of gear and availability of fish. *Fish. Bull.* 116(1): 75–80.
- Punt, A.E., and Smith, A.D.M. 1999. Harvest strategy evaluation for the eastern stock of gemfish (*rexea solandri*). *ICES J. Mar. Sci.* 56(6): 860–875.
- R Core Team. 2015. [R: A language and environment for statistical computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rademeyer, R.A., and Butterworth, D.S. 2017. Results for initial candidate management procedure testing for Greenland halibut. NAFO SCR Doc. 17/026REV2(N6678). 41 p.
- Regular, P.M. 2020. Update of base case SSM for Greenland halibut in NAFO subarea 2 and divisions 3KLMNO. NAFO SCR Doc. 20/050(N7098). 62 p.
- Regular, P.M., Cadigan, N.G., Morgan, M.J., and Healey, B.P. 2017. A simple SAM-style state-space stock assessment model for Greenland halibut in NAFO Subarea 2 and Divisions 3KLMNO. NAFO SCR Doc.17/010(N6659). 35 p.
- Sainsbury, K.J., Punt, A.E., and Smith, A.D. 2000. Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives. *ICES J. Mar. Sci.* 57(3): 731–741.
- Schnute, J.T., and Haigh, R. 2007. Compositional analysis of catch curve data, with an application to *Sebastes maliger*. *ICES J. Mar. Sci.* 64(2): 218–233.
- Smidt, E. 1969. The Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoidis* (walb.), biology and exploitation in Greenland waters. *Medd. Damn. Fisk-og Havund. N. S.* 6: 79–148.
- Treble, M.A., and Nogueira, A. 2020. Assessment of the Greenland halibut stock component in NAFO Subarea 0 + 1 (Offshore). NAFO SCR Doc. 20/038(N7086). 31 p.
- Varkey, D.A., Regular, P.M., Kunmar, R., Gullage, N., Healey, B., Ings, D.W., Lewis, K., and Dwyer, K. 2020. Review and revamp of the SSM-based Management Strategy Evaluation for Greenland halibut stock in NAFO Subarea 2 and Divisions 3KLMNO. NAFO SCR Doc. 20/047(N7095). 7 p.
- Walters, C.J. 1986. Adaptive management of renewable resources. MacMillan Pub. Ltd, Basington, UK. 374p.
- Winker, H., Carvalho, F., Thorson, J.T., Kell, L.T., Parker, D., Kapur, M., Sharma, R., Booth, A.J., and Kerwath, S.E. 2020. JABBA-select: Incorporating life history and fisheries' selectivity into surplus production models. *Fish. Res.* 222: 1–17.



---

## ANNEXE A : ANALYSES DE SENSIBILITÉ SUPPLÉMENTAIRES DU MODÈLE SRSPSL-FG

Pendant l'examen par les pairs, les examinateurs ont demandé une analyse des sensibilités du modèle SRSPSL-FG pour le choix de données incluses aux fins d'ajustement par le modèle d'évaluation du stock, ainsi que de certaines des hypothèses structurelles posées pour l'ajuster à ces données. Ils ont notamment exprimé des inquiétudes concernant les hypothèses sur les paramètres variables dans le temps qui augmentent la flexibilité du modèle et les limites des déductions sur la taille du stock et la productivité tirées des données de surveillance lorsque la puissance statistique est faible, comme avec les indices, ou que les observations de certaines parties de la population sont manquantes en raison de l'absence d'échantillonnage ou de la sélectivité de l'engin, comme les poissons plus grands qui échappent à la pêche au chalut, et la partie de la population qui réside dans les eaux plus profondes et n'est pas visée par les relevés.

Des analyses de sensibilité et des tests de simulation supplémentaires ont été définis en réponse aux demandes des évaluateurs, afin de mettre à l'essai les effets de plusieurs hypothèses du modèle et sources de données sur les estimations du modèle SRSPSL-FG. Plus précisément, la configuration suivante a été proposée pour le modèle SRSPSL-FG :

1. **conM** : taux de mortalité naturelle constant pour les mâles et les femelles;
2. **noCPUE** : suppression de l'indice BTM\_CPUE pour lequel une capturabilité variable dans le temps était nécessaire;
3. **domeSel** : sélectivité en forme de dôme pour les flottilles de chalutiers GRL\_BTМ et OTH\_BTМ en plus de la sélectivité en forme de dôme déjà supposée pour la flottille CAN\_BTМ.

La spécification originale et la spécification suggérée par les examinateurs pour le modèle SRSPSL ont ensuite été soumises à plusieurs tests de sensibilité :

1. Autres valeurs *a priori* pour les paramètres de la mortalité naturelle et du taux de variation, c'est-à-dire **Mprior**( $m$ 's)\$, où  $m$  est la moyenne et  $s$  est l'écart-type, et **steepPrior**( $\beta_1, \beta_2$ ), où  $\beta_1, \beta_2$  sont les paramètres de la valeur *a priori* bêta sur le taux de variation du stock-recrutement;
2. Pondérations plus basses de la valeur *a priori* de Jeffreys pour la biomasse non exploitée **jeffWtB0\_1** et **jeffWtB0\_0**;
3. Avancer le premier écart du recrutement en 1970 et 1980;
4. Reculer l'initialisation du modèle en 1988;
5. **noInshore** testant l'exclusion des données du relevé côtier par navire de recherche qui sélectionnait des poissons plus petits.

D'autres modèles de croissance ont également été explorés, en fonction de deux séries supplémentaires d'observations sur l'âge et la longueur. Le premier ensemble de données a accru les données originales du relevé de 2017 dans la division 0A en ajoutant des observations de poissons plus grands capturés dans la pêche au filet maillant. Le deuxième a ajouté les données du relevé de 2014 dans la division 0A aux données originales de 2017, mais a exclu la pêche au filet maillant. L'effet d'un modèle à un seul sexe a également été émulé en supposant l'absence de dimorphisme sexuel dans le modèle de croissance pour l'ensemble de données original de 2017, ainsi que pour les données supplémentaires de la pêche au filet maillant.

---

Les résultats détaillés sont présentés dans les tableaux et certaines figures qui suivent, mais nous résumons ci-dessous les principales conclusions pour les lecteurs qui ne souhaitent pas regarder des tableaux détaillés.

1. La biomasse du stock reproducteur non exploitée n'était pas très sensible aux changements proposés pour la spécification du modèle. La nouvelle spécification a eu un effet plus important, mais non extrême, sur la biomasse totale, et donc sur le rapport entre la biomasse du stock reproducteur et la biomasse totale. D'après une analyse de sensibilité plus poussée, le taux de mortalité naturelle est l'influence la plus significative sur la biomasse totale par rapport à la biomasse du stock reproducteur.
2. La biomasse du stock reproducteur non exploitée était la plus sensible à la première année où les erreurs du processus de recrutement ont été estimées. Des erreurs antérieures du processus de recrutement entraînent une augmentation de la biomasse du stock reproducteur non exploitée, mais elles sont associées à une série d'écart négatifs du recrutement dans les années 1980 qui réduisent la biomasse pour l'ajuster aux indices, mais qui sont inacceptables dans le contexte de l'évaluation du stock.
3. Les taux d'exploitation pour 2020 se situent entre 1,0 et 1,5  $U_{RMD}$  pour les deux spécifications du modèle opérationnel et pour la plupart des sensibilités, mais ils dépassent 2,0 pour les estimations faibles de  $M$  (c.-à-d.,  $M_{prior}(.11,.1)$ ). Dans l'ensemble, il est clair que des valeurs plus faibles de  $M$  ont fait baisser les valeurs de  $U_{RMD}$  et la biomasse récente et les estimations des taux d'exploitation du modèle qui en résultent indiquent une surpêche ces dernières années.
4. Il s'est avéré que la croissance influençait le plus l'échelle du stock et les taux d'exploitation récents, puisque la taille selon l'âge des poissons plus âgés du stock, pour la plupart non observés, a un effet sur la biomasse totale, qui se répercute sur la biomasse exploitable. Dans certains cas, la récolte optimale  $U_{RMD}$  variait beaucoup en fonction des différents modèles de croissance, mais moins fréquemment.

Dans l'ensemble, les sensibilités du modèle ont montré que l'échelle absolue de la biomasse du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 est difficile à définir, mais qu'elle est probablement supérieure à  $B_{RMD}$ . La biomasse du stock reproducteur non exploitée variait d'environ 30 kt à environ 250 kt aux extrêmes. En raison de l'incertitude entourant la biomasse, les taux de prise récents sont eux aussi très incertains, et il est donc difficile de déterminer si le flétan du Groenland dans la sous-zone 0+1 fait actuellement l'objet d'une surpêche. D'autre part, malgré la large fourchette des estimations de la biomasse non exploitée et de la biomasse actuelle entre les modèles, tous les modèles de l'analyse de sensibilité ont estimé la biomasse actuelle au-dessus du niveau optimal de  $B_{RMD}$ , ce qui donne à penser que si le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 peut ou non faire l'objet d'une surpêche, ce n'est probablement pas le cas pour le moment.

Tableau A.1 . Résultats de l'analyse de sensibilité des estimations de la densité a posteriori maximale du modèle SRSPSL-FG à partir du modèle opérationnel (MO) de base et de la spécification suggérée du modèle opérationnel initialisé en 1968. La sensibilité des modèles a été testée en fonction de l'année initiale des écarts du recrutement, d'une valeur a priori de Jeffreys sur la biomasse non exploitée, d'autres valeurs a priori de la mortalité naturelle et du taux de variation et de l'inclusion du relevé côtier SFW. Les résultats montrent les estimations de la densité a posteriori maximale de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le RMD ( $B_{RMD}$ ), du taux d'exploitation optimal ( $U_{RMD}$ ), du rendement maximal durable (RMD) et de l'écart moyen du recrutement.

MO	Sensibilité	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$h$	$B_{2020}$	$D_{2020}$	$U_{2020}$	$U_{RMD}$	$B_{RMD}$	RMD	meanRecDev
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	basefRecDev1990	93 181	138 233	0,138	0,742	64 136	0,688	0,119	0,109	19 743	14 969	0,26
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	fRecDev1980	227 399	342 220	0,139	0,724	104 946	0,462	0,073	0,098	50 523	36 387	-0,54
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	jeffWtB00	93 181	138 233	0,138	0,742	64 136	0,688	0,119	0,109	19 743	14 969	0,26
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	jeffWtB01	89 769	133 016	0,138	0,740	60 689	0,676	0,125	0,108	19 084	14 360	0,27
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	Mprior(.11,.1)	106 758	26 414	0,077	0,760	50 260	0,471	0,224	0,082	24 984	7 263	0,55
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	Mprior(.14,.1)	93 397	39 817	0,094	0,755	45 416	0,486	0,202	0,086	21 191	8 381	0,46
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	noInshore	81 748	119 628	0,138	0,739	50 029	0,612	0,152	0,108	17 407	12 899	0,25
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	steepPrior(20,10)	93 488	138 711	0,138	0,674	64 285	0,688	0,119	0,092	22 752	13 221	0,26
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel	steepPrior(40,20)	93 508	138 742	0,138	0,670	64 296	0,688	0,119	0,091	22 923	13 125	0,26
GH-0+1tvMqCPUE	basefRecDev1990	95 210	141 587	0,125	0,778	61 884	0,650	0,117	0,116	18 491	16 420	0,21
GH-0+1tvMqCPUE	fRecDev1970	157 275	240 308	0,130	0,751	79 629	0,506	0,091	0,103	32 770	26 688	-0,28
GH-0+1tvMqCPUE	fRecDev1980	153 177	233 073	0,131	0,751	79 274	0,518	0,092	0,103	31 955	25 888	-0,35
GH-0+1tvMqCPUE	jeffWtB00	155 385	235 420	0,081	0,794	115 864	0,746	0,066	0,117	29 024	28 124	0,33
GH-0+1tvMqCPUE	jeffWtB01	139 442	209 704	0,091	0,792	103 493	0,742	0,073	0,117	26 194	24 962	0,30
GH-0+1tvMqCPUE	Mprior(.11,.1)	90 595	42 281	0,081	0,784	47 961	0,529	0,161	0,092	19 269	9 267	0,46
GH-0+1tvMqCPUE	Mprior(.14,.1)	91 732	57 474	0,092	0,779	51 700	0,564	0,147	0,096	19 224	10 620	0,38
GH-0+1tvMqCPUE	noInshore	88 823	130 040	0,125	0,771	53 881	0,607	0,132	0,114	17 583	14 885	0,17
GH-0+1tvMqCPUE	steepPrior(20,10)	93 434	138 703	0,126	0,731	61 852	0,662	0,116	0,103	20 273	14 746	0,25
GH-0+1tvMqCPUE	steepPrior(40,20)	95 259	141 655	0,125	0,704	61 900	0,650	0,117	0,096	21 877	14 315	0,21

Tableau A.2 . Résultats de l'analyse de sensibilité des estimations de la densité a posteriori maximale du modèle SRSPSL-FG à partir du modèle opérationnel (MO) de base et de la spécification suggérée du modèle opérationnel initialisé en 1988. La sensibilité des modèles a été testée en fonction de l'année initiale des écarts du recrutement, d'une valeur a priori de Jeffreys sur la biomasse non exploitée, d'autres valeurs a priori de la mortalité naturelle et du taux de variation et de l'inclusion du relevé côtier SFW. Les résultats montrent les estimations de la densité a posteriori maximale de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le RMD ( $B_{RMD}$ ), du taux d'exploitation optimal ( $U_{RMD}$ ), du rendement maximal durable (RMD) et de l'écart moyen du recrutement.

MO	Sensibilité	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$h$	$B_{2020}$	$D_{2020}$	$U_{2020}$	$U_{RMD}$	$B_{RMD}$	RMD	meanRecDev
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	basefRecDev1990	87,560	131,203	0,139	0,753	59,645	0,681	0,127	0,113	18,046	14,473	0,28
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	jeffWtB00	87,560	131,203	0,139	0,753	59,645	0,681	0,127	0,113	18,046	14,473	0,28
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	jeffWtB01	85,941	128,771	0,139	0,754	57,598	0,670	0,130	0,113	17,698	14,209	0,28
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	Mprior(.11,.1)	106,226	27,865	0,078	0,767	54,301	0,511	0,210	0,084	24,454	7,544	0,54
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	Mprior(.14,.1)	95,802	39,701	0,093	0,763	49,574	0,517	0,196	0,089	21,445	8,573	0,46
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	nolnshore	79,093	116,129	0,138	0,751	47,439	0,600	0,159	0,111	16,403	12,806	0,24
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	steepPrior(20,10)	87,916	131,761	0,139	0,695	60,053	0,683	0,126	0,097	20,551	13,025	0,28
GH-0+1conMnoCPUEdomeSel1988	steepPrior(40,20)	88,012	131,912	0,139	0,681	60,166	0,684	0,126	0,094	21,139	12,695	0,28
GH-0+1tvMqCPUE1988	basefRecDev1990	95,748	141,545	0,204	0,754	61,451	0,642	0,118	0,110	19,740	15,734	0,02
GH-0+1tvMqCPUE1988	jeffWtB00	112,590	166,344	0,206	0,751	81,644	0,725	0,092	0,109	23,406	18,402	0,00
GH-0+1tvMqCPUE1988	jeffWtB01	110,237	162,831	0,205	0,751	78,841	0,715	0,095	0,109	22,903	18,018	0,01
GH-0+1tvMqCPUE1988	Mprior(.11,.1)	91,140	41,937	0,160	0,776	49,406	0,542	0,158	0,089	19,785	9,189	0,36
GH-0+1tvMqCPUE1988	Mprior(.14,.1)	91,534	53,188	0,168	0,770	50,436	0,551	0,152	0,093	19,679	10,093	0,28
GH-0+1tvMqCPUE1988	nolnshore	90,545	132,107	0,211	0,751	54,293	0,600	0,132	0,109	18,825	14,615	0,00
GH-0+1tvMqCPUE1988	steepPrior(20,10)	95,574	141,203	0,203	0,695	61,731	0,646	0,117	0,095	22,361	14,060	0,05
GH-0+1tvMqCPUE1988	steepPrior(40,20)	95,638	141,306	0,203	0,681	61,728	0,645	0,117	0,091	22,993	13,697	0,05

Tableau A.3 . Résultats de l'analyse de sensibilité des estimations de la densité a posteriori maximale du modèle SRSPSL-FG à partir du modèle opérationnel (MO) de base et de la spécification suggérée du modèle opérationnel initialisé en 1968 et en utilisant d'autres modèles de croissance incluant les données de 2014, les données tirées de la pêche au filet maillant et en supposant l'absence de dimorphisme sexuel. La sensibilité des modèles a été testée en fonction de l'année initiale des écarts du recrutement, d'une valeur a priori de Jeffreys sur la biomasse non exploitée, d'autres valeurs a priori de la mortalité naturelle et du taux de variation et de l'inclusion du relevé côtier SFW. Les résultats montrent les estimations de la densité a posteriori maximale de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le RMD ( $B_{RMD}$ ), du taux d'exploitation optimal ( $U_{RMD}$ ), du rendement maximal durable (RMD) et de l'écart moyen du recrutement.

MO	Sensibilité	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$h$	$B_{2020}$	$D_{2020}$	$U_{2020}$	$U_{RMD}$	$B_{RMD}$	RMD	meanRecDev
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	identGrowth2017	41,036	24,601	0,093	0,763	16,151	0,394	0,319	0,094	9,851	6,839	0,51
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	identGrowthGNdata	29,836	26,942	0,116	0,766	8,871	0,297	0,504	0,133	6,873	7,484	0,41
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	sexDim0A201417	104,111	22,969	0,086	0,790	26,412	0,254	0,619	0,107	22,662	5,549	0,67
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	sexDim2017	109,665	24,907	0,074	0,759	54,249	0,495	0,240	0,086	26,459	7,158	0,57
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	sexDimGNdata	61,671	24,573	0,093	0,763	16,642	0,270	0,457	0,111	13,629	6,899	0,41
GH-0+1tvMqCPUE	identGrowth2017	54,027	123,212	0,128	0,768	34,098	0,631	0,143	0,124	11,024	13,999	0,22
GH-0+1tvMqCPUE	identGrowthGNdata	36,697	55,891	0,129	0,763	19,944	0,543	0,249	0,160	8,085	11,414	0,20
GH-0+1tvMqCPUE	sexDim0A201417	76,715	72,624	0,123	0,776	32,536	0,424	0,231	0,115	15,628	9,992	0,26
GH-0+1tvMqCPUE	sexDim2017	95,210	141,587	0,125	0,778	61,884	0,650	0,117	0,116	18,491	16,420	0,21
GH-0+1tvMqCPUE	sexDimGNdata	62,586	70,404	0,126	0,762	37,072	0,592	0,192	0,153	12,776	12,764	0,21

Tableau A.4 . Résultats de l'analyse de sensibilité des estimations de la densité a posteriori maximale du modèle SRSPSL-FG à partir du modèle opérationnel (MO) de base et de la spécification suggérée du modèle opérationnel initialisé en 1988 et en utilisant d'autres modèles de croissance incluant les données de 2014, les données tirées de la pêche au filet maillant et en supposant l'absence de dimorphisme sexuel. La sensibilité des modèles a été testée en fonction de l'année initiale des écarts du recrutement, d'une valeur a priori de Jeffreys sur la biomasse non exploitée, d'autres valeurs a priori de la mortalité naturelle et du taux de variation et de l'inclusion du relevé côtier SFW. Les résultats montrent les estimations de la densité a posteriori maximale de la biomasse non exploitée ( $B_0$ ), du recrutement non exploité ( $R_0$ ), de la mortalité naturelle moyennée dans le temps ( $M_0$ ), de la biomasse optimale fondée sur le RMD ( $B_{RMD}$ ), du taux d'exploitation optimal ( $U_{RMD}$ ), du rendement maximal durable (RMD) et de l'écart moyen du recrutement.

MO	Sensibilité	$B_0$	$R_0$	$M_0$	$h$	$B_{2020}$	$D_{2020}$	$U_{2020}$	$U_{RMD}$	$B_{RMD}$	RMD	meanRecDev
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	identGrowth2017	45,098	27,020	0,093	0,768	19,553	0,434	0,283	0,095	10,639	7,184	0,49
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	identGrowthGNdata	29,661	28,608	0,119	0,769	9,884	0,333	0,462	0,137	6,758	7,708	0,40
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	sexDim2017	106,226	27,865	0,078	0,767	54,301	0,511	0,210	0,084	24,454	7,544	0,54
GH-0+1conMnoCPUEdomeSelMprior.11	sexDimGNdata	60,703	26,592	0,097	0,766	19,285	0,318	0,405	0,116	13,205	7,207	0,41
GH-0+1tvMqCPUE	identGrowth2017	57,917	131,542	0,204	0,753	37,334	0,645	0,133	0,119	12,272	14,579	0,05
GH-0+1tvMqCPUE	identGrowthGNdata	39,436	59,994	0,212	0,756	23,162	0,587	0,220	0,154	8,820	12,108	0,12
GH-0+1tvMqCPUE	sexDim2017	95,748	141,545	0,204	0,754	61,451	0,642	0,118	0,110	19,740	15,734	0,02
GH-0+1tvMqCPUE	sexDimGNdata	63,170	70,913	0,203	0,752	36,420	0,577	0,194	0,149	13,197	12,657	0,09

## ANNEXE B : TESTS DE SIMULATION SUPPLÉMENTAIRES DU MODÈLE SRSPSL-FG

Les autotests de simulation ont été réexécutés avec un recrutement stochastique simulé aléatoirement à partir de la courbe du stock-recrue de 1968 à 1988. Trois scénarios de données ont été simulés, comme dans le corps principal de ce document, où on simulait soit uniquement les indices (simIdx), soit uniquement les compositions selon la longueur (simLengths), soit les séries de données de longueur et d'indice (simAll). Les simulations ont été réalisées sur 50 répétitions de Monte-Carlo, en raison de contraintes de temps, et la simulation de l'évaluation du stock par le modèle SRSPSL-FG supposait toujours un recrutement déterministe entre 1968 et 1988.

Dans l'ensemble, les estimations du modèle SRSPSL-FG étaient les plus sensibles aux données simulées sur la composition selon la longueur. Dans les scénarios simLengths et simAll, la variance et le biais des paramètres de la biomasse non exploitée et de la mortalité naturelle ont augmenté, mais les niveaux du biais et de la variance de la capturabilité des relevés et des erreurs types de l'indice étaient similaires.

Les séries chronologiques de la biomasse étaient également plus variables lorsqu'on simulait des erreurs au début du processus de recrutement et tendaient à être plus biaisées au début et à la fin de la série. Une partie de l'erreur dans les estimations du modèle pourrait être attribuée à la lenteur de la croissance du flétan du Groenland du stock de la sous-zone 0+1, où les variations du recrutement ont pris plusieurs années pour se répercuter sur la biomasse exploitable et la biomasse du stock reproducteur, retardant ainsi le biais causé par le recrutement aléatoire.

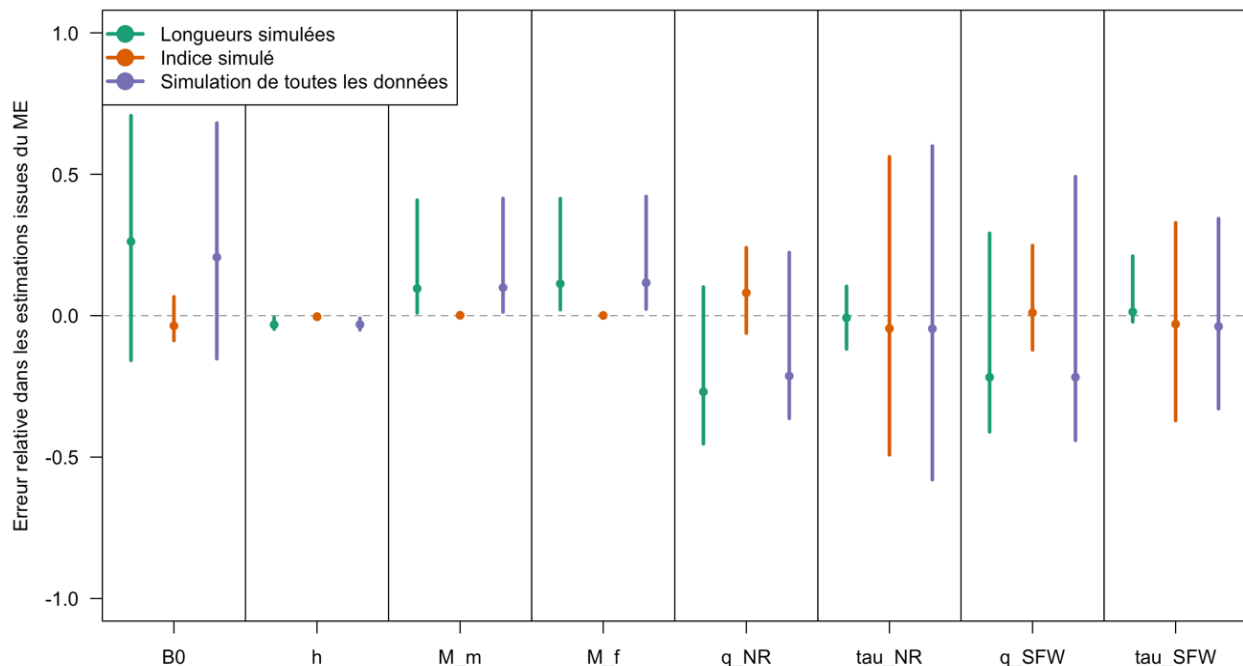


Figure B.1 . Erreurs relatives associées aux estimations des paramètres principaux dans l'autotest de simulation-évaluation du modèle SRSPSL-FG lorsque les recrutements ont été simulés de manière aléatoire sur la période de 1968 à 1988.

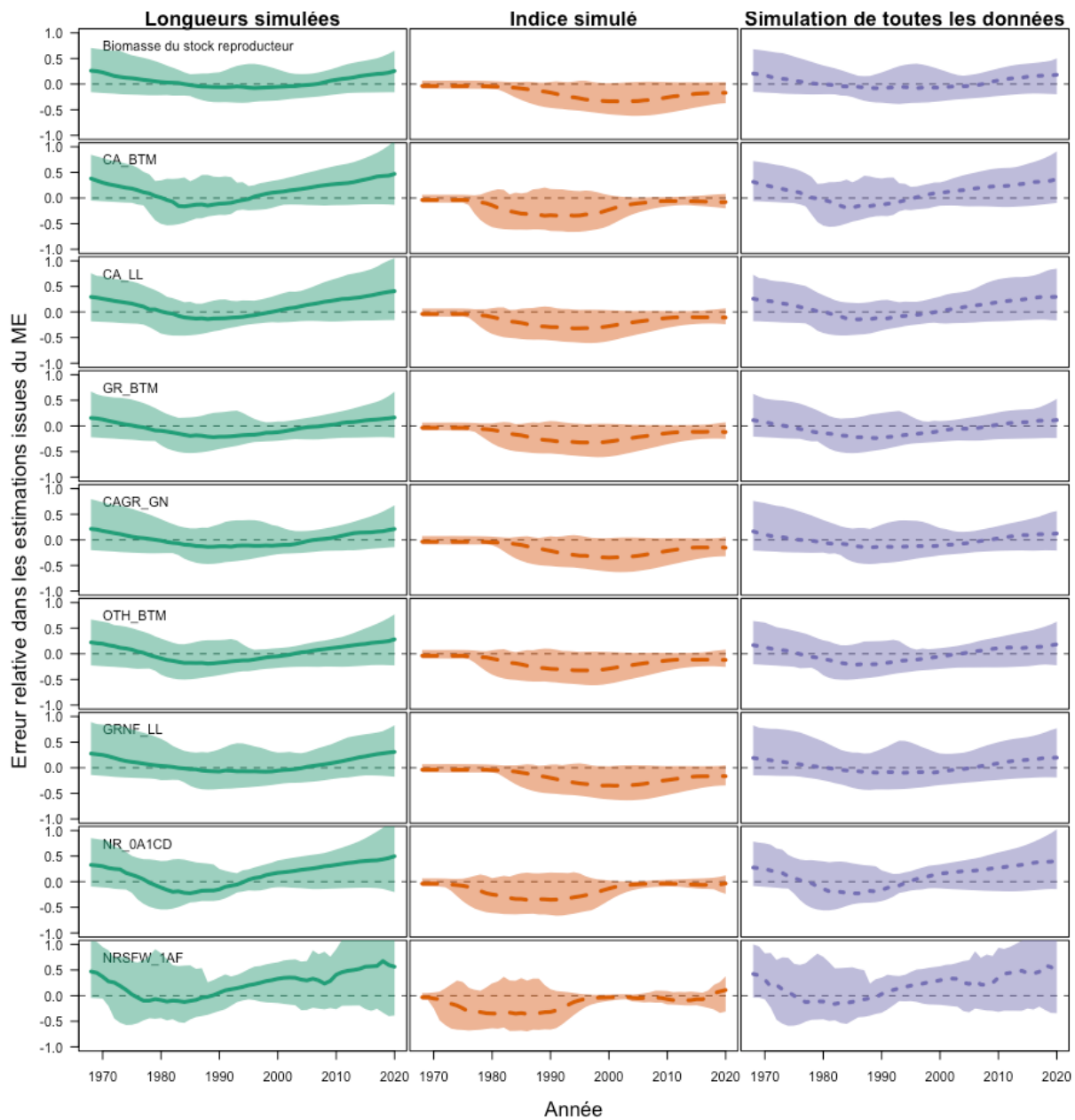


Figure B.2 . Erreurs relatives associées aux estimations des séries chronologiques de la biomasse dans l'autotest de simulation-évaluation du modèle SRSPSL-FG lorsque les recrutements ont été simulés de manière aléatoire de 1968 à 1988.



## ANNEXE C : AUTRE CONFIGURATION SIMULÉE DU RELEVÉ

Une projection simulée supplémentaire a été présentée pendant l'examen par les pairs, reflétant une autre possibilité pour la future configuration du relevé. Dans cette autre configuration, la série de relevés dans les divisions 0A1CD s'arrête après la mise hors service du *Paamiut* en 2017 et le relevé nouveauNR commence en 2022 (Figure C.1). Le nouveau relevé est simulé avec une sélectivité différente en forme de dôme qui augmente plus tôt que le relevé dans les divisions 0A1CD afin de capturer plus de petits poissons, ce qui représente des calées côtières supplémentaires semblables à la simulation présentée dans le corps du texte, mais avec un membre descendant semblable à la fonction de sélectivité du relevé dans les divisions 0A1CD (Figure C.2). L'indice ajusté nouveauNR a été utilisé par les versions adaptatives et non adaptatives de la procédure de gestion fondée sur un indice dans des simulations en boucle fermée pour fixer les TAC sur 50 répétitions de simulation, en raison de contraintes de temps. Pour les procédures de gestion non adaptatives et adaptatives, le modèle SRPSL-FG est ajusté aux données du relevé nouveauNR quatre ans dans la période visée par la projection afin d'estimer un scalaire de l'indice du relevé utilisé pour fixer les TAC, comme dans la méthode présentée précédemment. Après le premier ajustement du modèle, la procédure de gestion non adaptative maintient le scalaire constant pour le reste de la projection, tandis que la procédure de gestion adaptative réajuste le modèle SRPSL-FG tous les six ans.

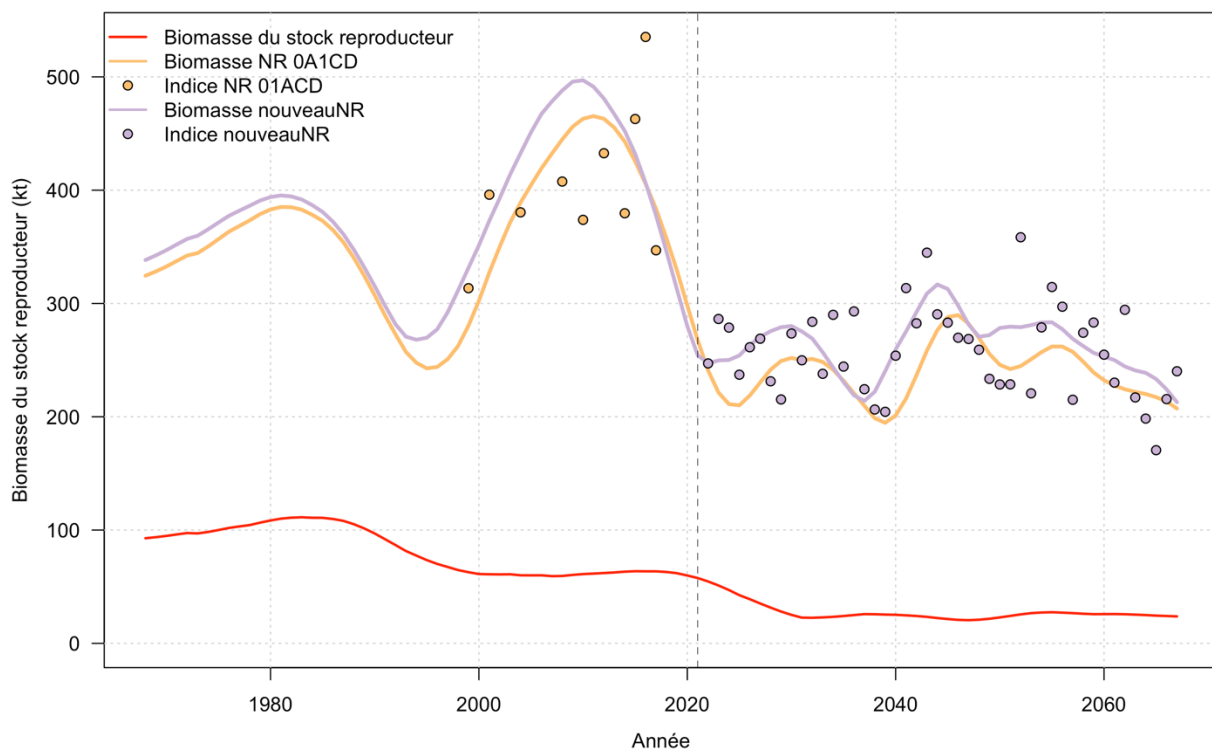


Figure C.1 . Biomasse de relevé du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (lignes) et indices simulés (points) du relevé mené dans les divisions 0A1CD (jaune) et du relevé nouveauNR (violet) selon la configuration alternative du relevé. La ligne verticale tiretée indique le début de la période de projection simulée.

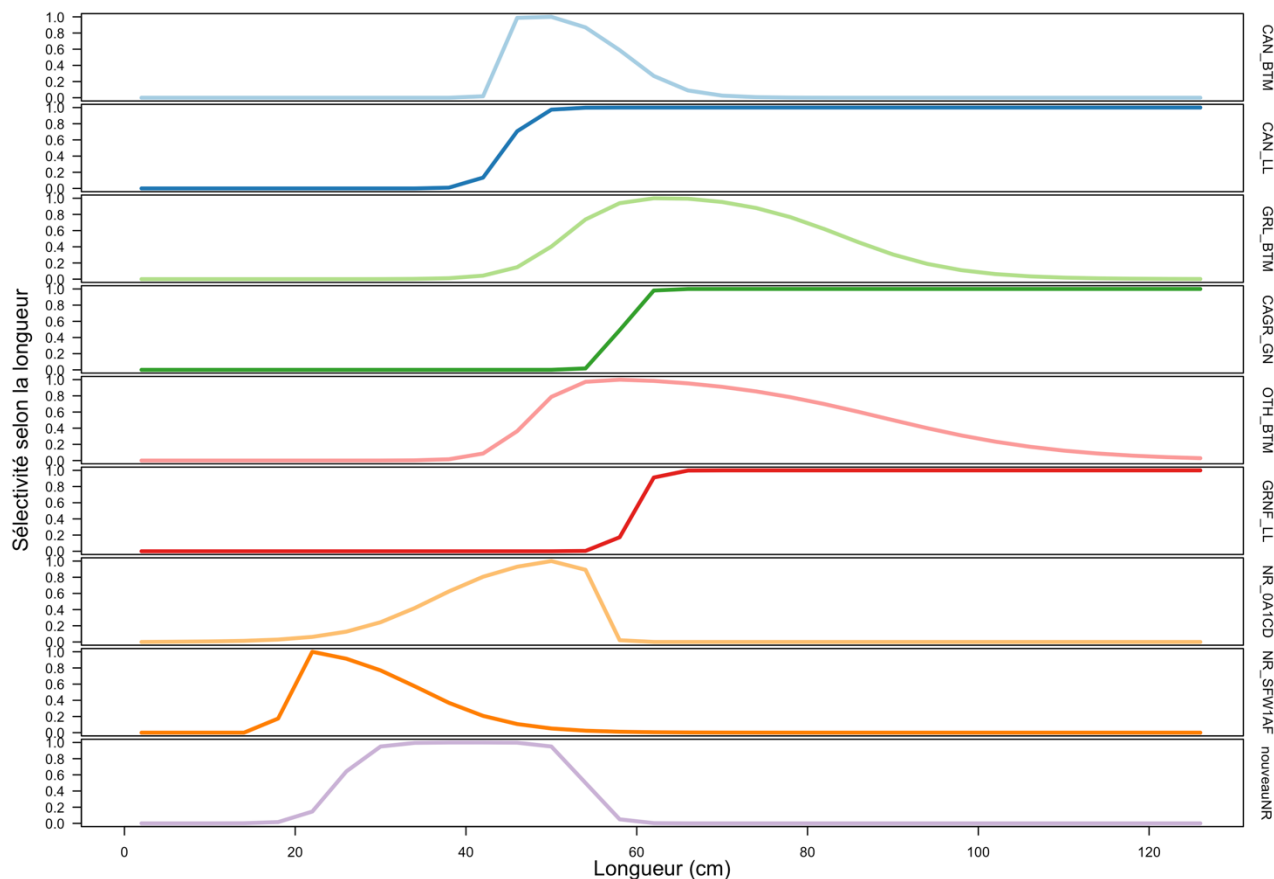


Figure C.2 . Sélectivité selon la longueur du relevé ciblant le flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 pour chaque flottille, mettant en évidence les différentes sélectivités du relevé nouveauNR (ligne du bas).

À court terme (jusqu'à ce que la procédure adaptative ajuste le facteur d'échelle), les deux procédures de gestion semblent donner des résultats semblables, ne divergeant que peu de temps après la première évaluation. Dans la répétition présentée, la procédure adaptative commence par une correspondance étroite entre la biomasse du relevé et la biomasse exploitable, ce qui amène la méthode fondée sur un indice à suivre la biomasse du relevé à l'arrivée d'un recrutement important disponible pour la pêche (Figure C.3, cercles bleus). En conséquence, après le pic initial des taux d'exploitation (causé par les TAC maintenus constants avant la première évaluation), les taux d'exploitation ont tendance à suivre une courbe en dents de scie entre les évaluations (Figure C.4). Ils restent proches de l'objectif pendant un an ou deux après l'évaluation, puis commencent à dériver à mesure que de nouvelles classes d'âge viennent augmenter la biomasse exploitable. À court terme, étant donné la proximité de la biomasse du relevé et de la biomasse exploitable l'année d'évaluation, mais l'augmentation rapide de la biomasse du relevé juste après (Figure C.3), les taux d'exploitation atteignent un pic jusqu'à ce que l'évaluation suivante soit réalisée et que le scalaire soit adapté (Figure C.4). L'adaptation ramène les estimations de la biomasse vers la biomasse exploitable (Figure C.3) et les taux d'exploitation effectifs sont réduits (Figure C.4). Pour le reste de la projection, l'écart interquartile des taux d'exploitation tend à rester plus faible, variant entre les taux d'exploitation limite et cible (Figure C.4), et pourrait être amélioré pour répondre aux exigences de la politique de l'OPANO sur l'approche de précaution en ajustant le taux d'exploitation cible ou d'autres variables d'entrée.

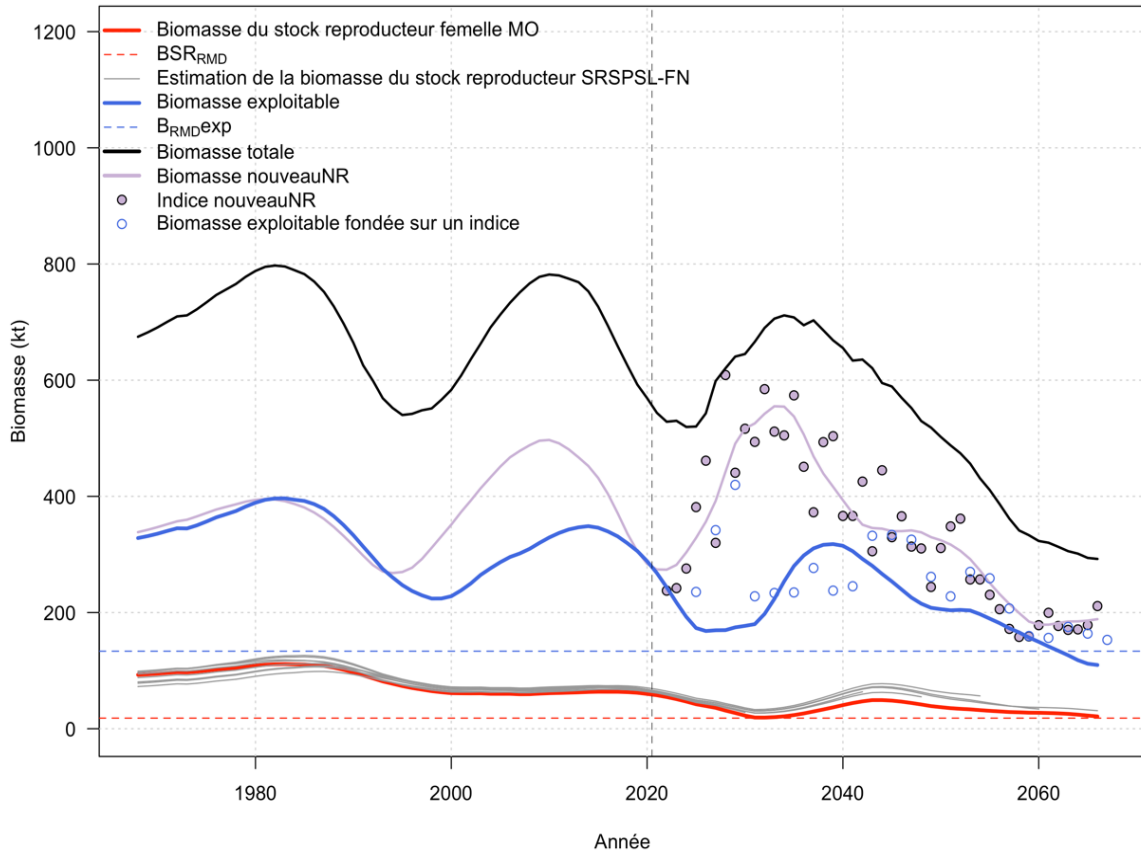


Figure C.3. Une seule répétition de la simulation de MS3-FG selon le scénario isPrec et la procédure de gestion adaptative appliquée à l'autre configuration du relevé dans laquelle on utilise les indices du relevé nouveauNR pour fixer les TAC. Les états du modèle montrent la biomasse réelle du stock reproducteur femelle du modèle opérationnel (ligne rouge), la biomasse exploitable (ligne bleue), la biomasse totale (ligne noire) et la biomasse du relevé par navire de recherche « nouveauNR » (ligne violette), ainsi que les indices simulés de la biomasse simulés du relevé par navire de recherche « nouveauNR » (points colorés en violet). La figure présente également les estimations par la procédure de gestion de la biomasse du stock reproducteur femelle (lignes grises) produites par la mise à jour simulée du modèle SRSPSL-FG, et les estimations de la biomasse exploitable provenant de la procédure fondée sur les indices (points bleus).

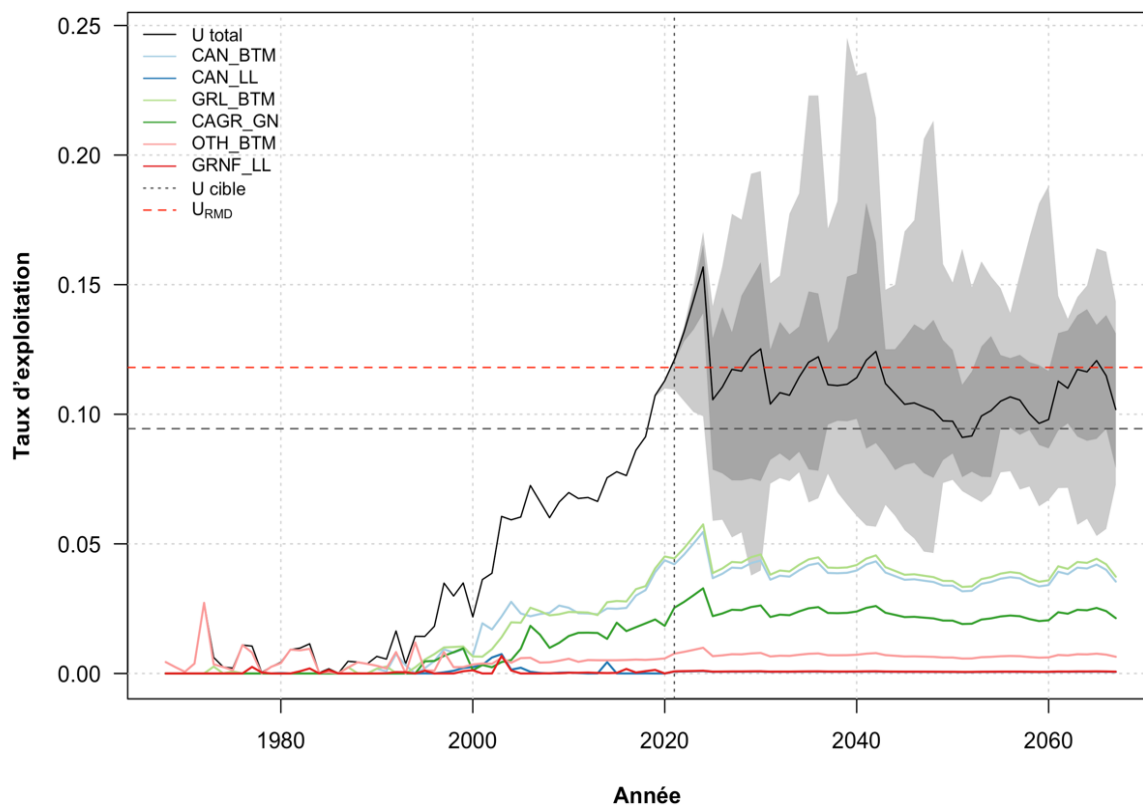


Figure C.4 . Taux d'exploitation simulés selon la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif appliquée à l'indice de la biomasse du relevé nouveauNR, simulée dans le scénario de précision du relevé isPrec. Les lignes illustrent les taux d'exploitation médians totaux (en noir) et propres à la flotte (en couleurs), avec l'enveloppe de simulation montrant l'intervalle centré à 60 % (en gris foncé) et l'intervalle centré à 95 % (en gris pâle) de la distribution des taux d'exploitation totaux sur les 50 répétitions. Les taux d'exploitation cible ( $U_{cible}$ ) et optimal ( $U_{RMD}$ ) sont représentés par des lignes horizontales tiretées et le début de la procédure de gestion par une ligne verticale tiretée en 2021.

Pour la procédure non adaptative, les dix premières années sont très semblables à la procédure adaptative. La première évaluation entraîne la même réponse adaptative, donnant des estimations semblables de la biomasse exploitable et de la biomasse du relevé (Figure C.5) et, par conséquent, des taux d'exploitation semblables au cours de cette période (Figure C.6). Après les dix premières années, la procédure non adaptative commence à diverger des résultats de la procédure adaptative, car les estimations de la biomasse ne sont pas modulées par de nouvelles évaluations « vérifiées sur le terrain ». Par conséquent, à mesure que la biomasse exploitable diminue mais que la biomasse du relevé reste élevée en raison d'un grand nombre de petits poissons, les TAC restent élevés, ce qui se traduit par des taux d'exploitation effectifs qui dépassent la limite avec une probabilité supérieure à 50 % (Figure C.6).

Les résultats obtenus soulignent l'importance d'une procédure adaptative. Tel qu'il est spécifié, le relevé nouveauNR est plus sensible aux recrutements, étant donné la plus grande sélectivité pour les petits poissons, de sorte que la biomasse exploitable et la biomasse du relevé tendent à diverger plus souvent et dans des proportions plus importantes. En l'absence d'adaptation, les taux d'exploitation augmentent avec la biomasse du relevé et entraînent une surexploitation du stock.

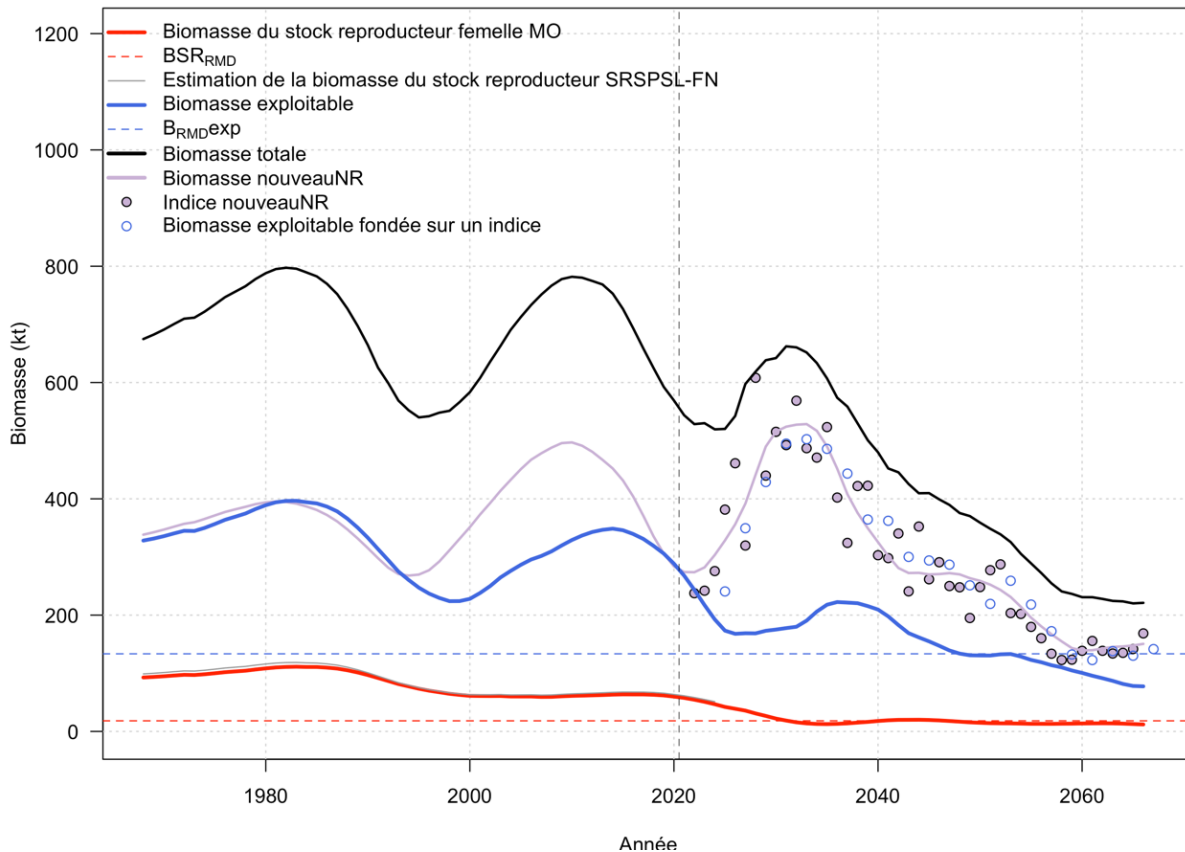


Figure C.5. Une seule répétition de la simulation de MS3-FG selon le scénario isPrec et la procédure de gestion adaptative appliquée à l'autre configuration du relevé dans laquelle on utilise les indices du relevé nouveauNR pour fixer les TAC. Les états du modèle montrent la biomasse du stock reproducteur femelle (ligne rouge), la biomasse exploitable (ligne bleue), la biomasse totale (ligne noire) et la biomasse du relevé par navire de recherche « nouveauNR » (ligne violette), ainsi que les indices simulés de la biomasse simulés du relevé par navire de recherche « nouveauNR » (points violets). La figure présente également les estimations par la procédure de gestion de la biomasse du stock reproducteur femelle (lignes grises) produites par la mise à jour simulée du modèle SRSPSL-FG, et les estimations de la biomasse exploitable provenant de la procédure fondée sur les indices (points bleus).

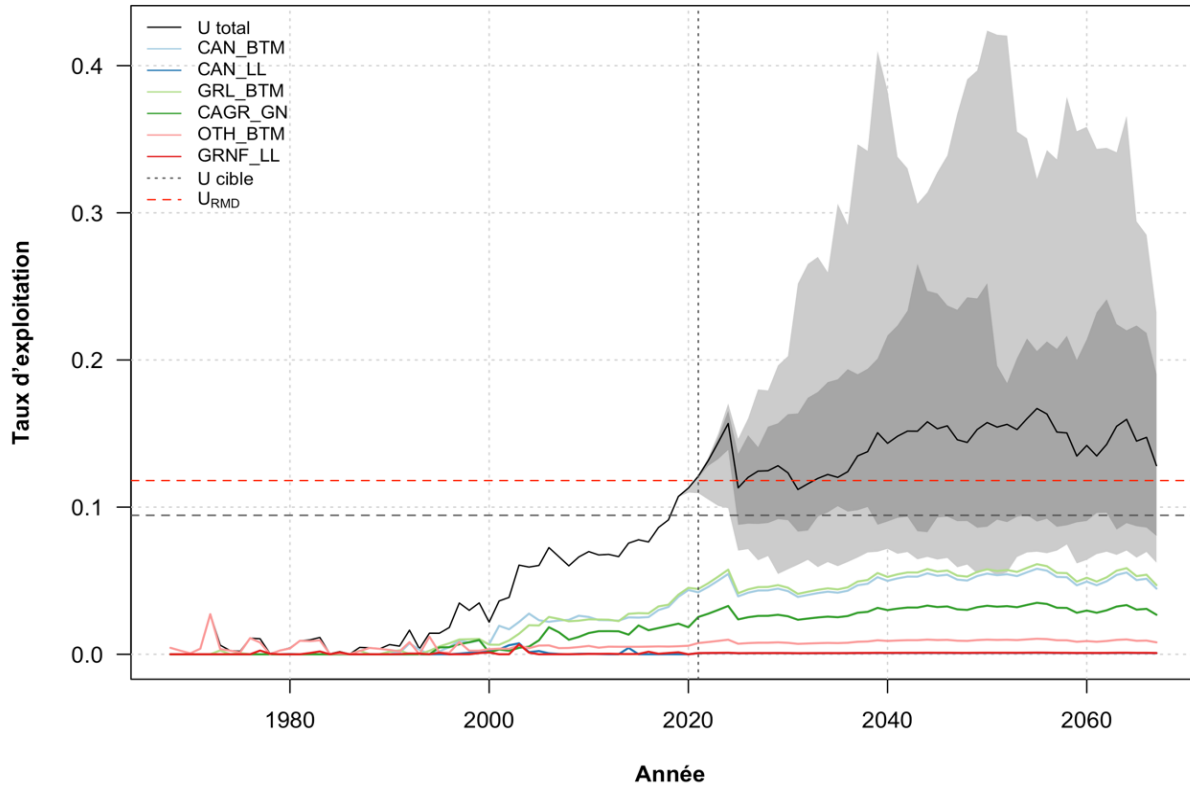


Figure C.6 . Taux d'exploitation simulés selon la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif appliquée à l'indice de la biomasse du relevé nouveauNR, simulée dans le scénario de précision du relevé isPrec. Les lignes illustrent les taux d'exploitation médians totaux (en noir) et propres à la flottille (en couleurs), avec l'enveloppe de simulation montrant l'intervalle centré à 60 % (en gris foncé) et l'intervalle centré à 95 % (en gris pâle) de la distribution des taux d'exploitation totaux sur les 50 répétitions. Les taux d'exploitation cible ( $U_{cible}$ ) et optimal ( $U_{RMD}$ ) sont représentés par des lignes horizontales tiretées et le début de la procédure de gestion par une ligne verticale tiretée en 2021.

## ANNEXE D : AJUSTEMENTS ANNUELS AUX DONNÉES SUR LA COMPOSITION SELON LA LONGUEUR

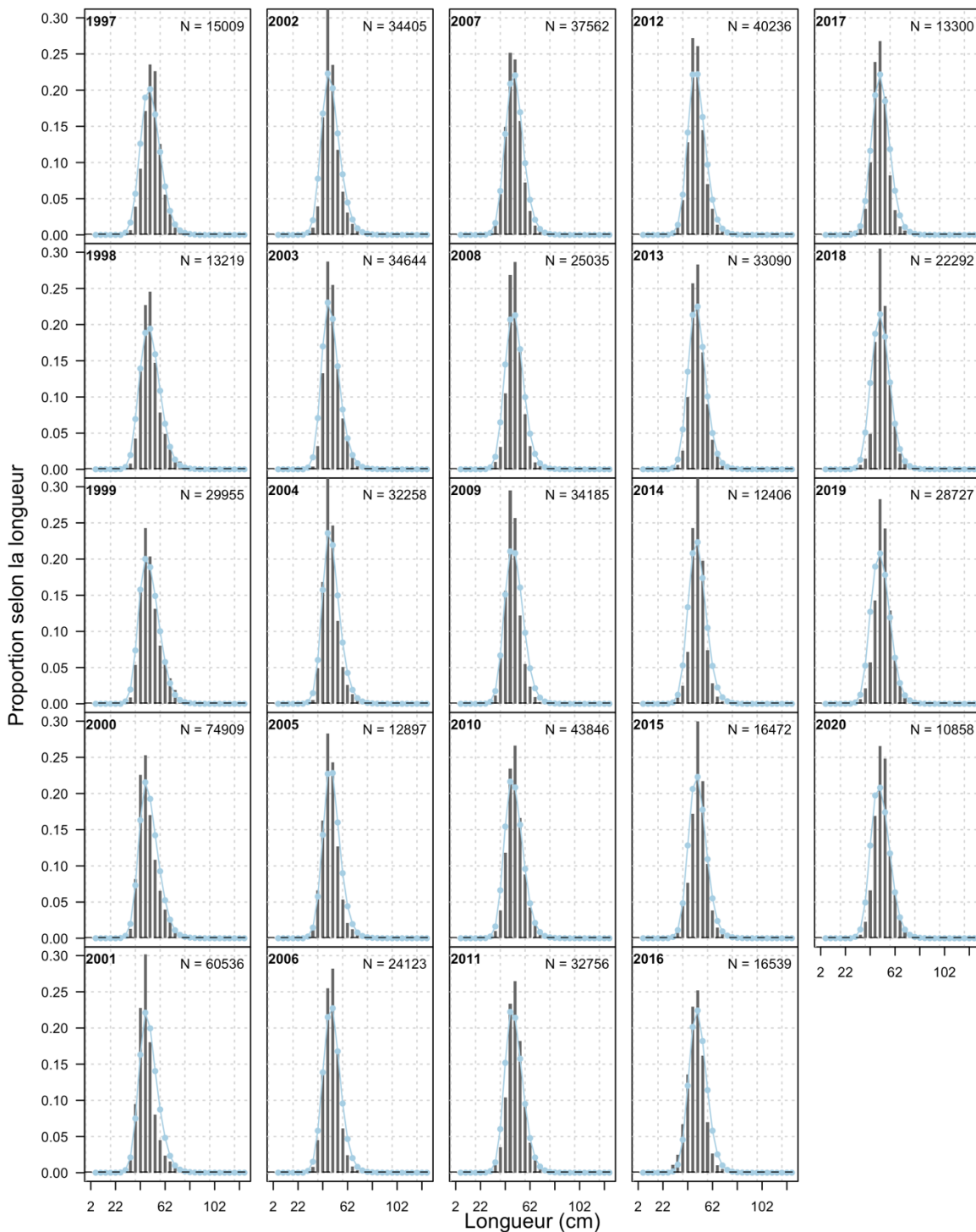


Figure D.1 . Estimations annuelles tirées de la pêche au chalut au Canada (lignes et points) des données de composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

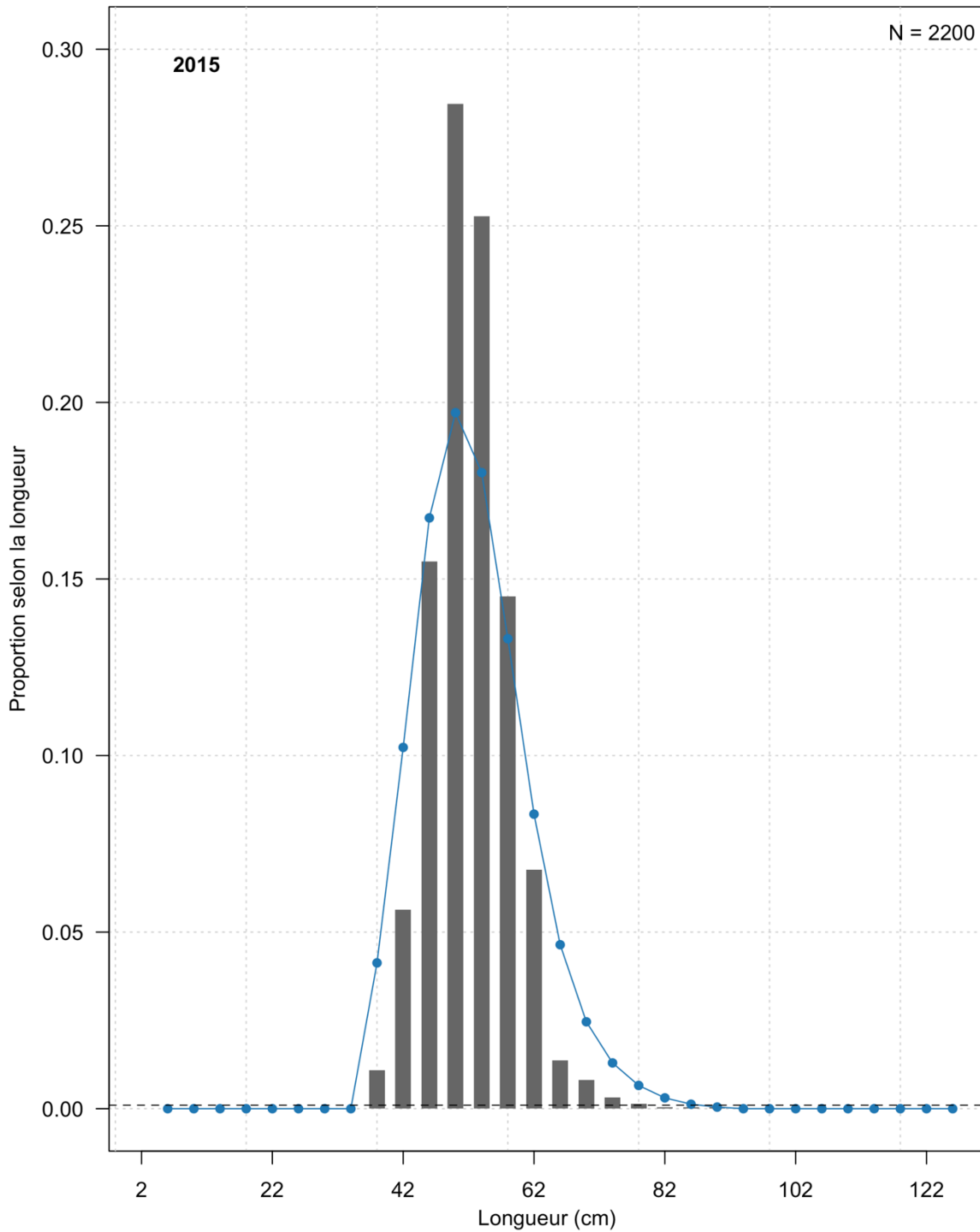


Figure D.2. Estimations annuelles tirées de la pêche à la palangre au Canada (lignes et points) des données de composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.



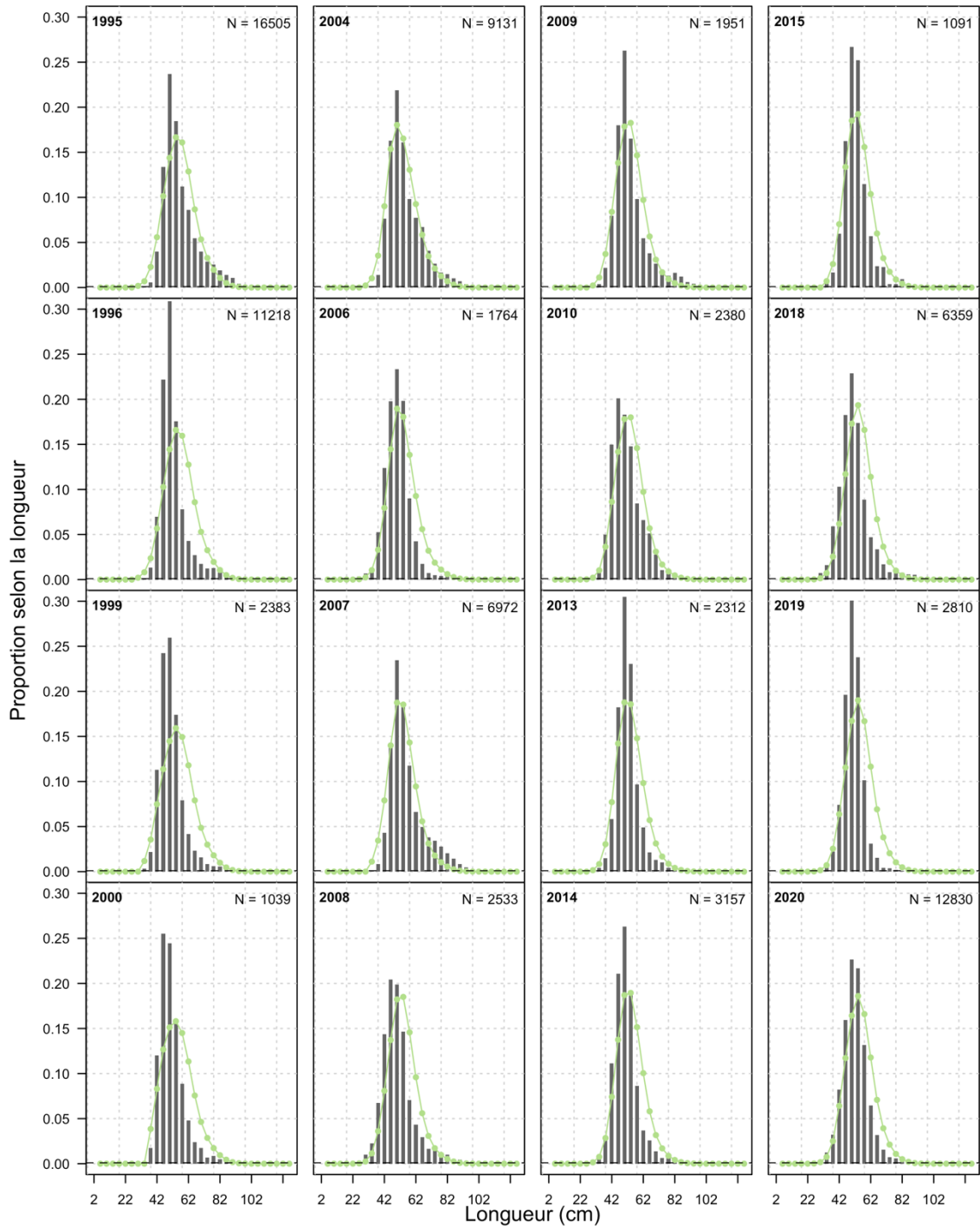


Figure D.3. Estimations annuelles tirées de la pêche au chalut au Groenland (lignes et points) des données de composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

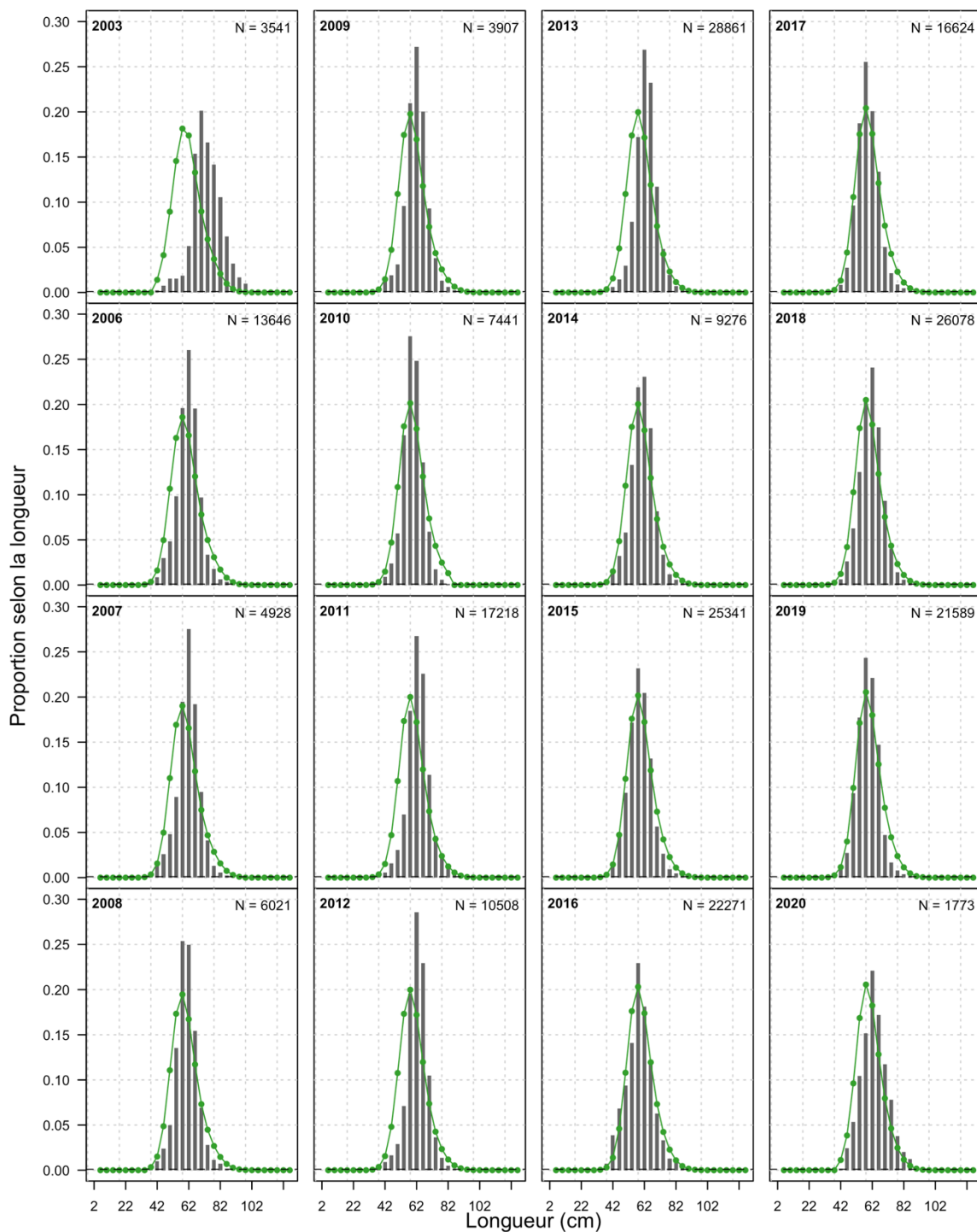


Figure D.4 . Estimations annuelles combinées tirées de la pêche au filet maillant au Groenland et au Canada (lignes et points) des données de composition selon la longueur selon le sexe combiné du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

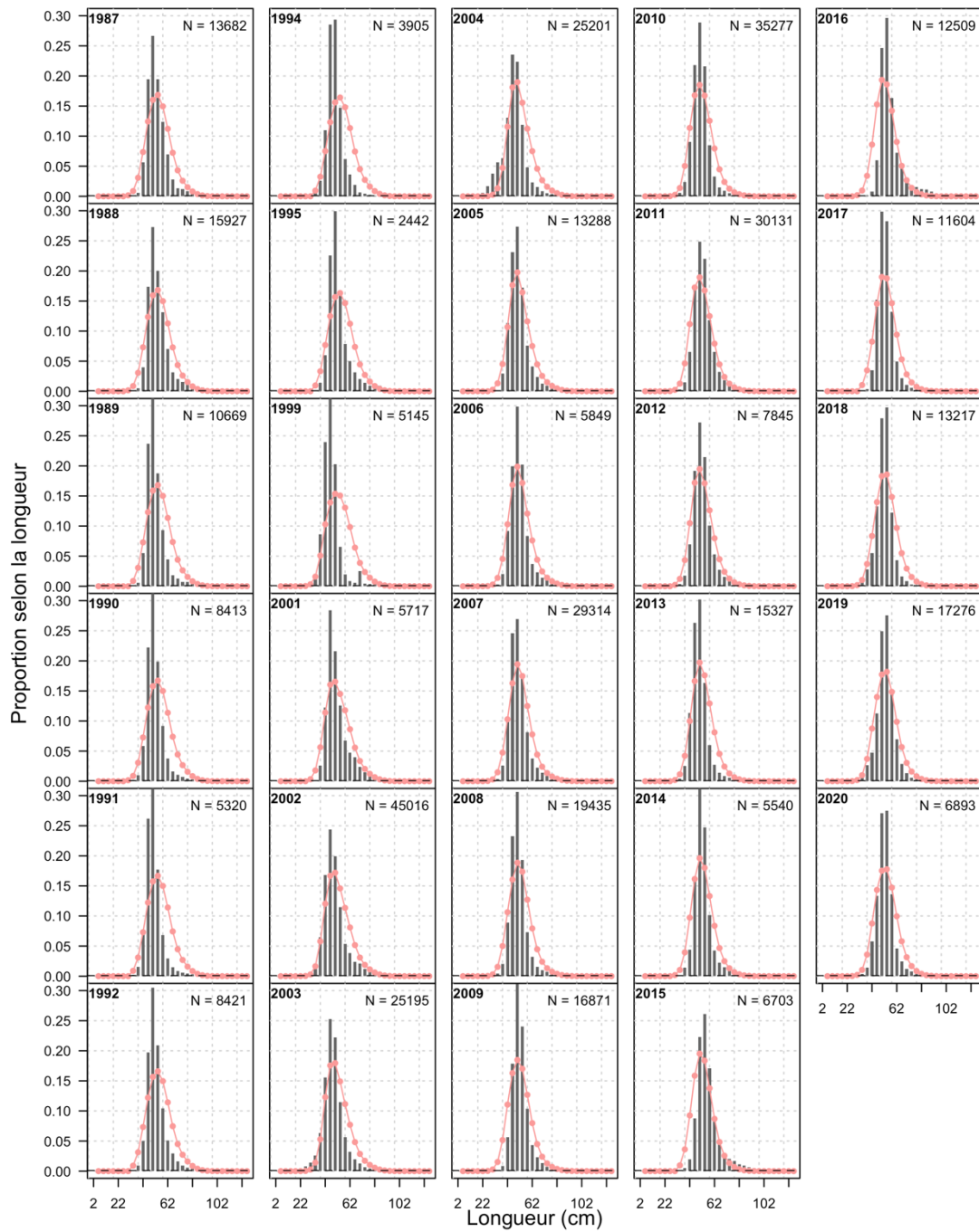


Figure D.5. Autres estimations annuelles tirées de la pêche au chalut de fond (lignes et points) des données de composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

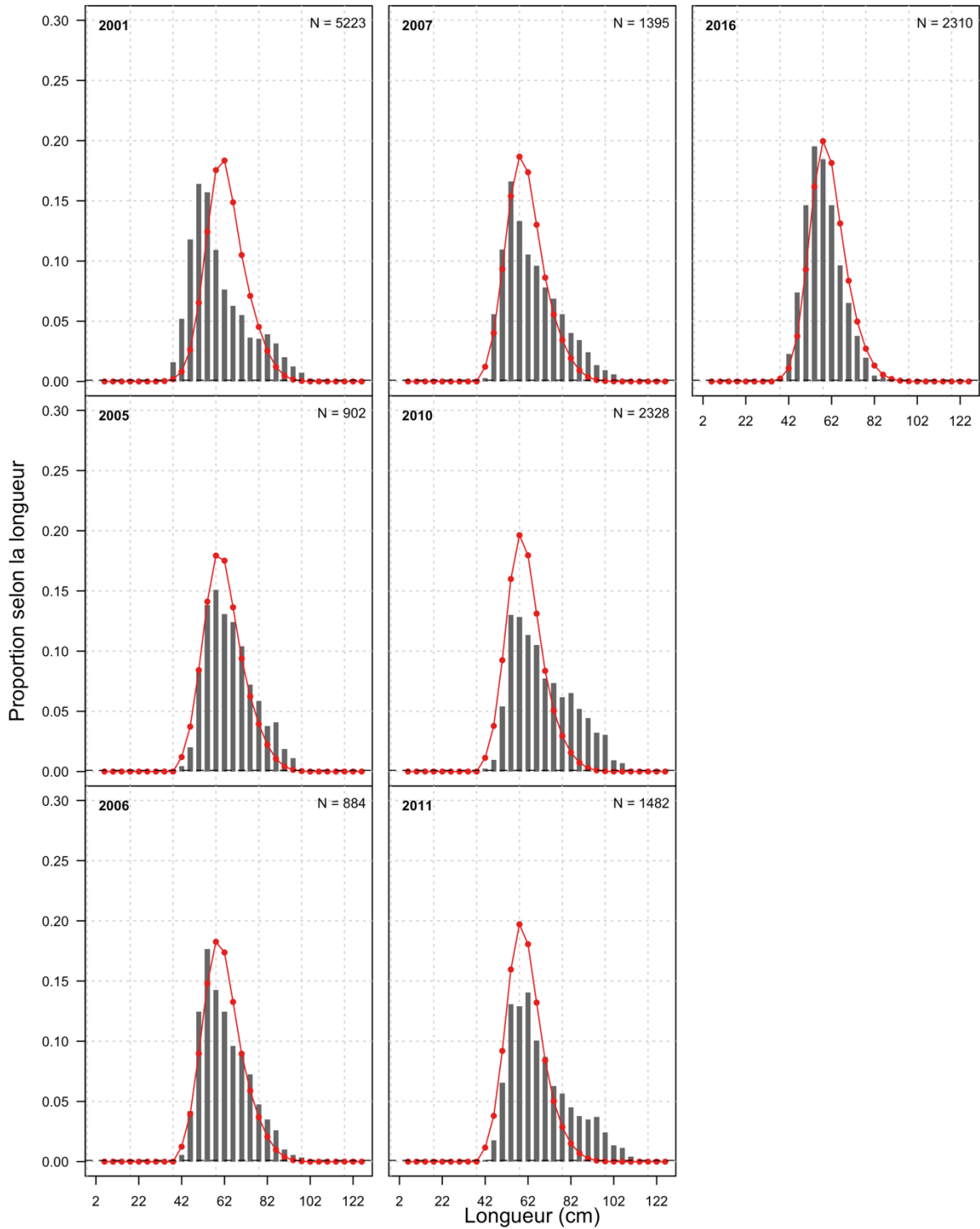


Figure D.6 . Estimations annuelles tirées de la pêche à la palangre du Groenland, de la Russie, de la Norvège et des îles Féroé (lignes et points) des données de composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

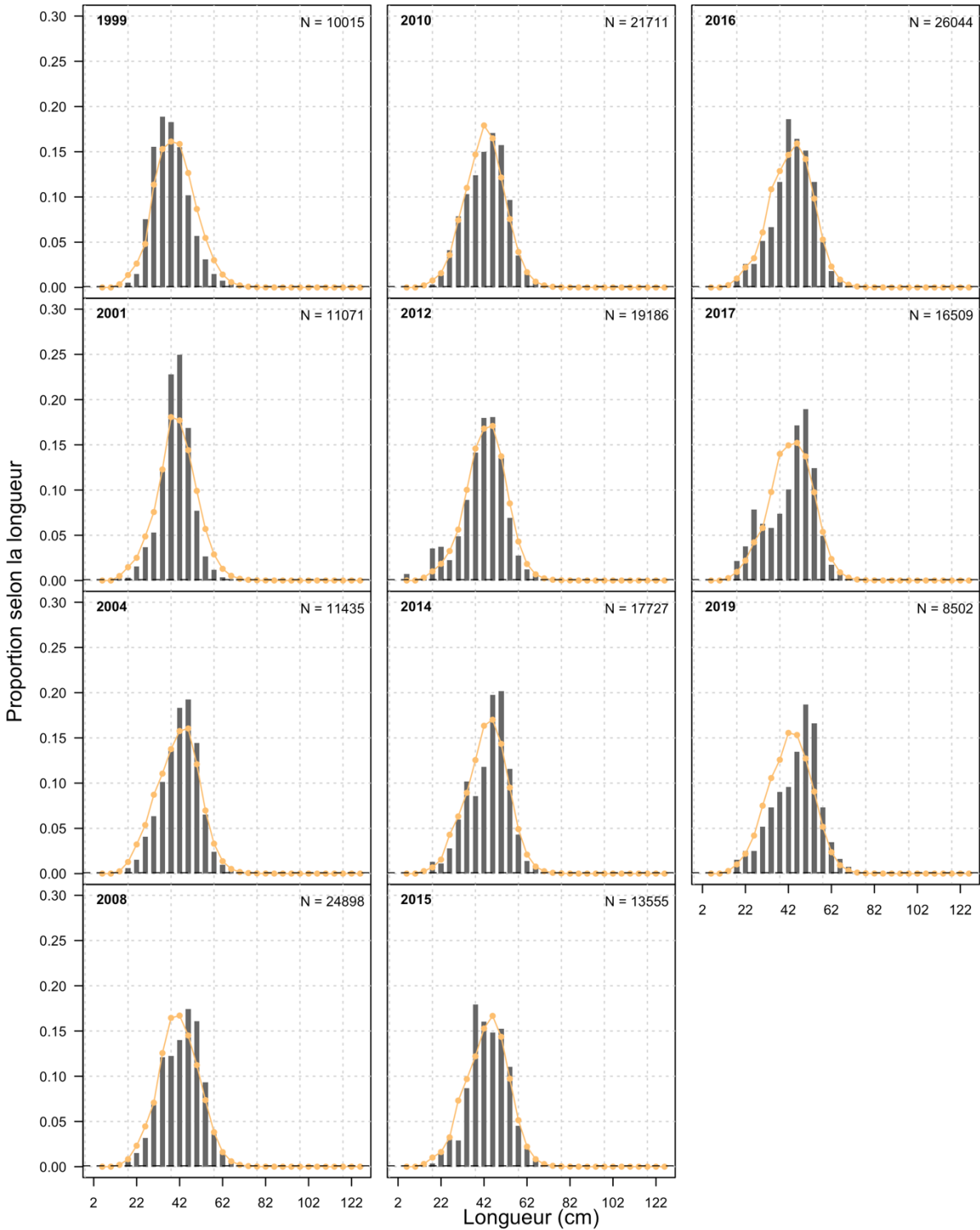


Figure D.7 . Estimations annuelles (lignes et points) des données sur la composition selon la longueur pour les sexes combinés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 (barres) tirées du relevé extracôtier mené par navire de recherche dans les divisions 0A/1CD. Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

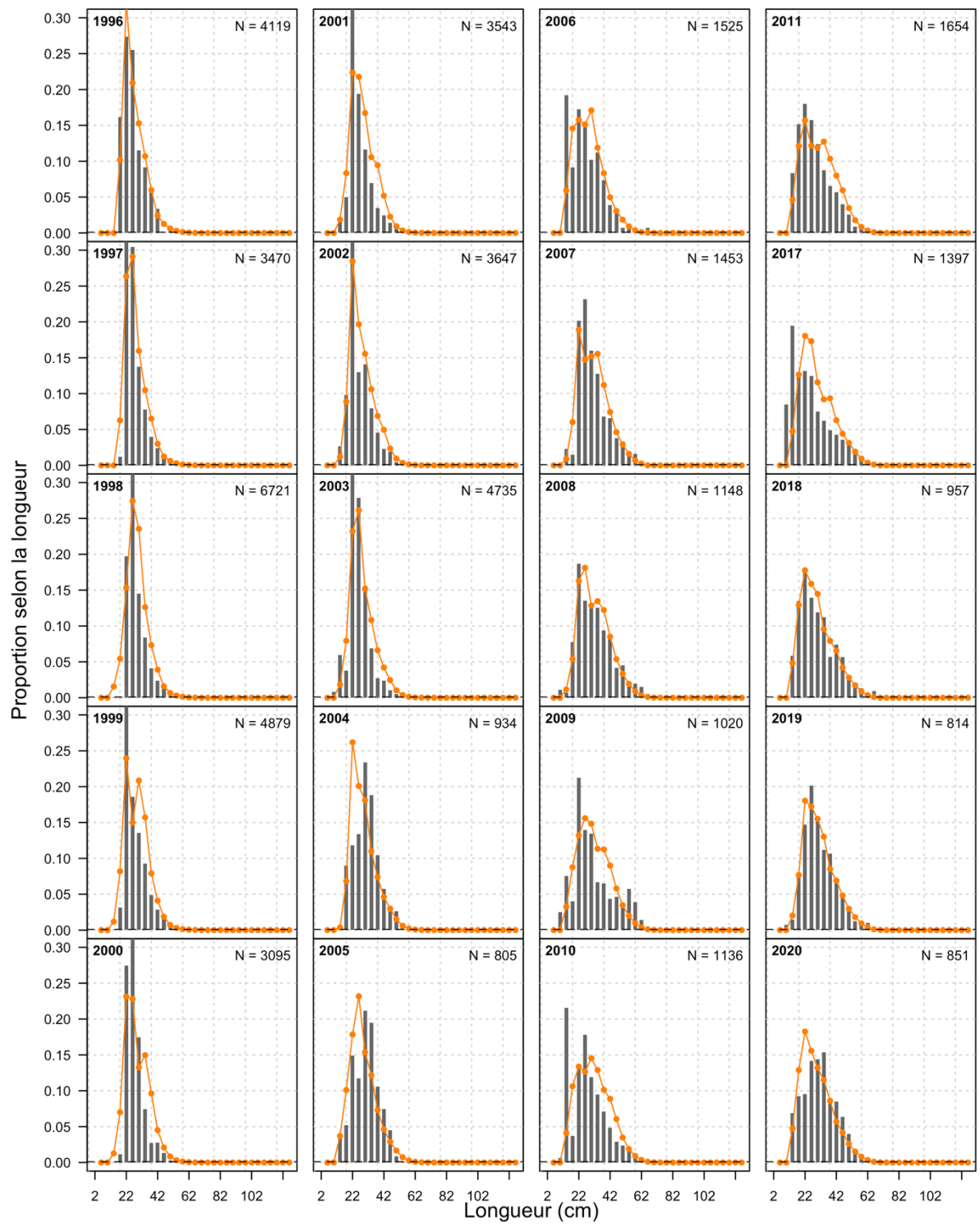


Figure D.8 . Estimations annuelles (lignes et points) des données sur la composition selon la longueur des flétans du Groenland mâles de la sous-zone 0+1 provenant du relevé côtier mené par navire de recherche dans la division 1AF (barres). Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

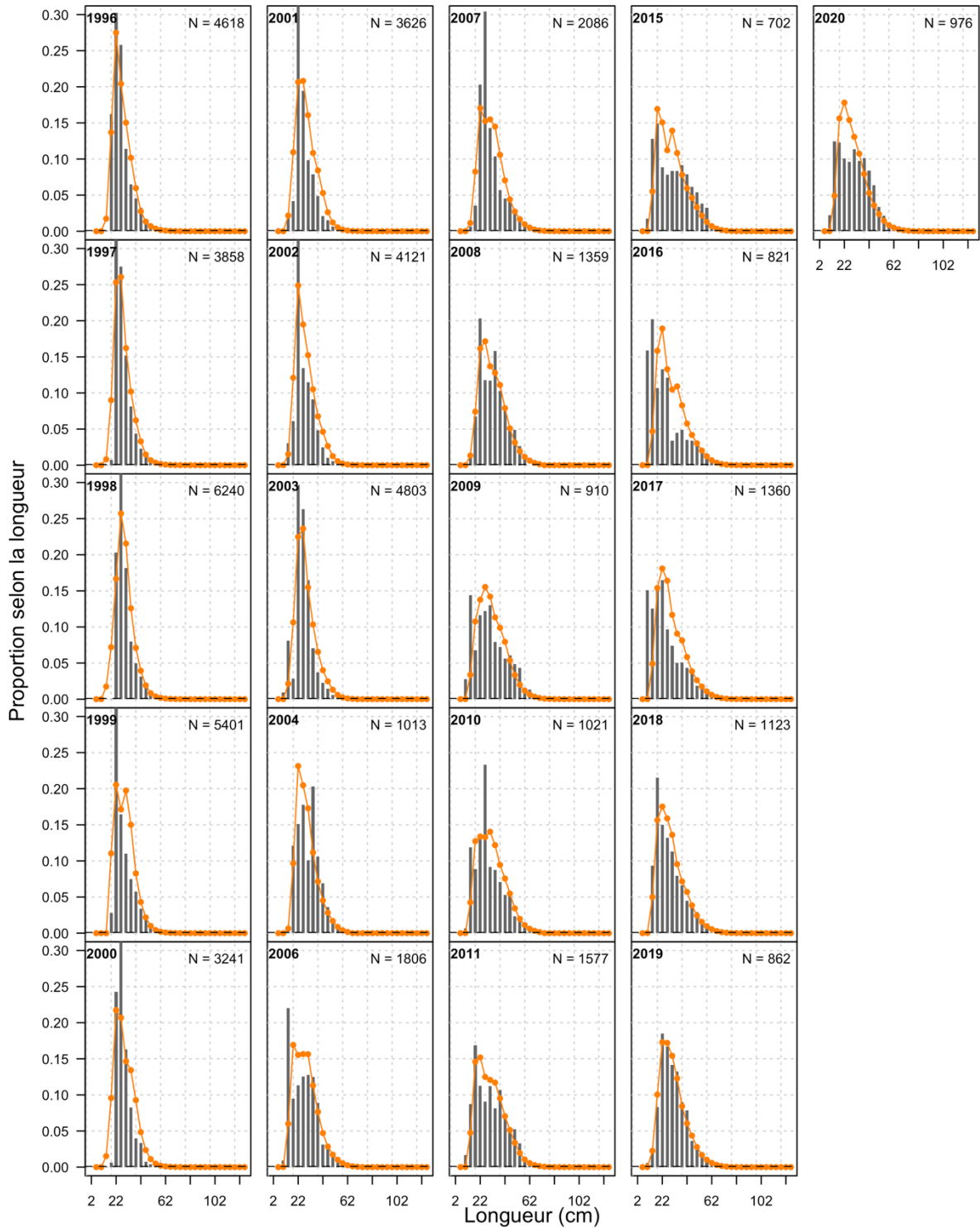


Figure D.9 . Estimations annuelles (lignes et points) des données sur la composition selon la longueur (barres) des flétans du Groenland femelles de la sous-zone 0+1 tirées du relevé côtier mené par navire de recherche dans la division 1AF. Chaque graphique comprend l'année (en caractères gras, en haut à gauche) et la taille de l'échantillon (N, en haut à droite), et la ligne horizontale en pointillés indique la proportion minimale requise pour éviter la compression de la queue.

## ANNEXE E : RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES PROCÉDURES DE GESTION SUPPLÉMENTAIRES

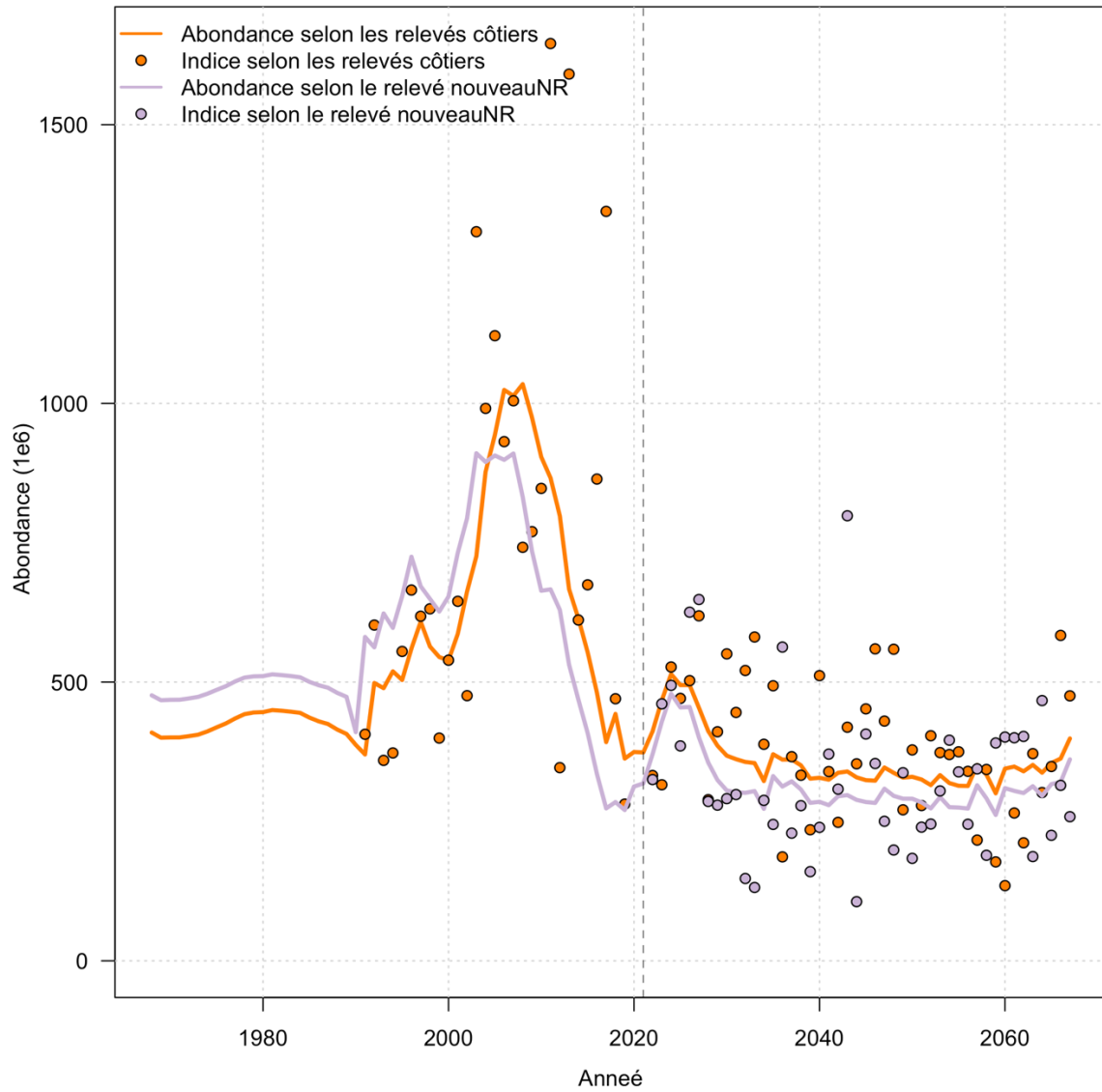


Figure E.1 . Simulations des abondances (lignes) et des indices du stock (points) du relevé côtier du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 pour le relevé côtier existant et le nouveau relevé côtier proposé dans le scénario osPrec.



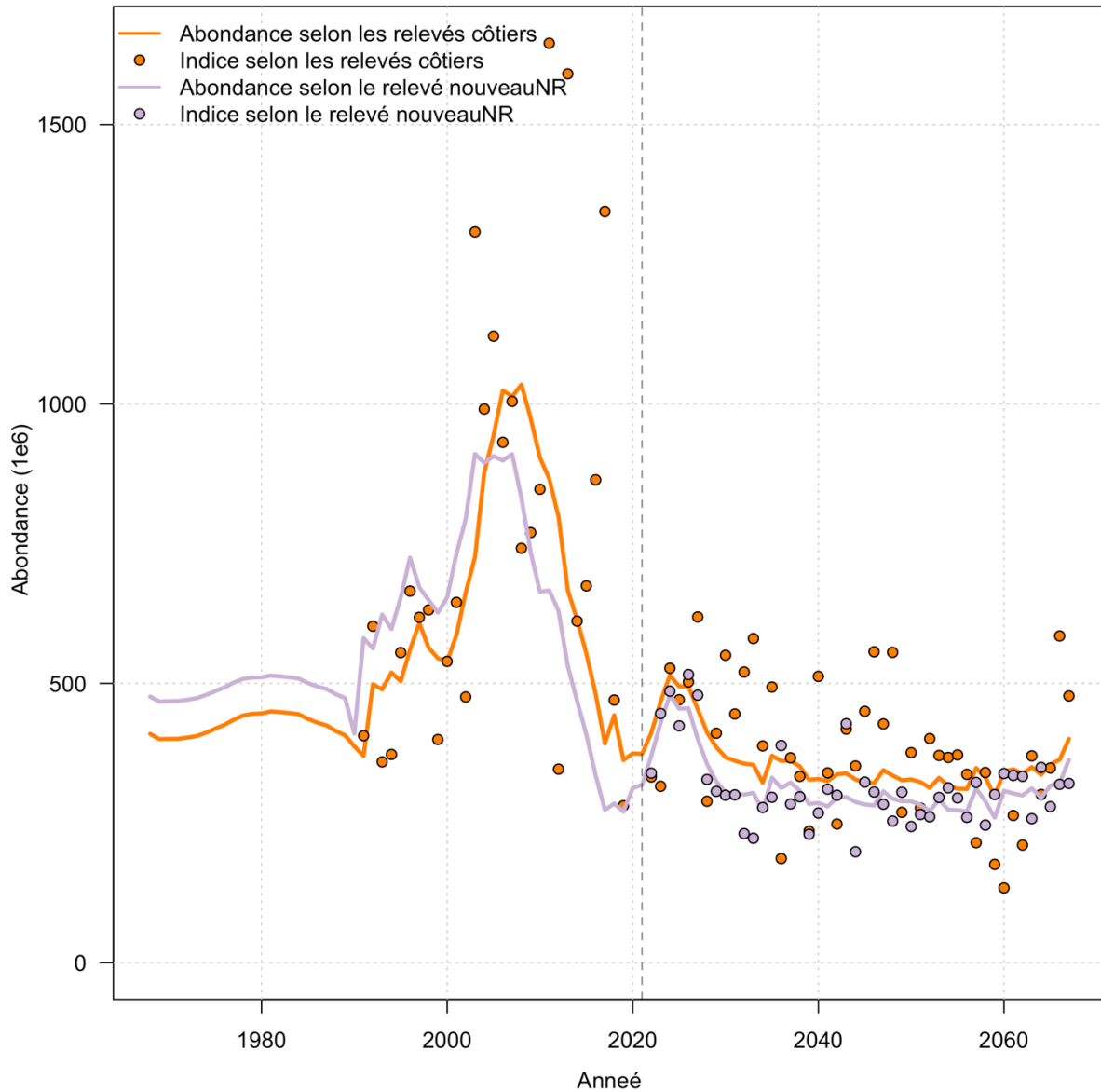


Figure E.2 . Simulations des abondances (lignes) et des indices du stock (points) du relevé côtier du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 pour le relevé côtier existant et le nouveau relevé côtier proposé dans le scénario osPrec.

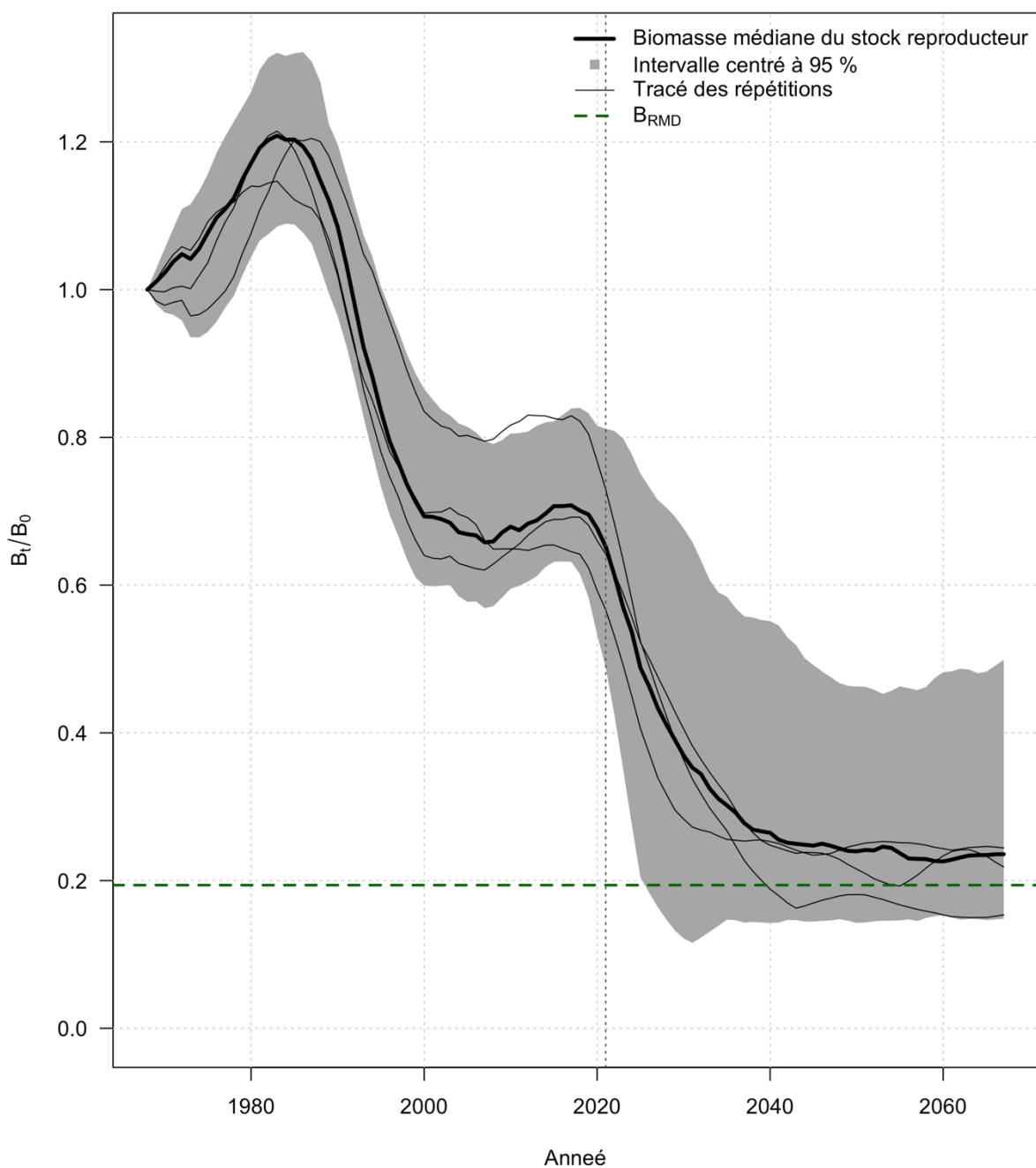


Figure E.3 . Simulation de la diminution de la biomasse du stock reproducteur femelle de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé osPrec. Les enveloppes grises de la simulation montrent l'intervalle centré à 95 % (région grise), la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires de la simulation (lignes noires fines) de la diminution de la biomasse du stock reproducteur. La ligne verte horizontale représente la biomasse du stock reproducteur produisant le RMD et la ligne verticale tiretée indique le début de la procédure de gestion simulée en 2021.

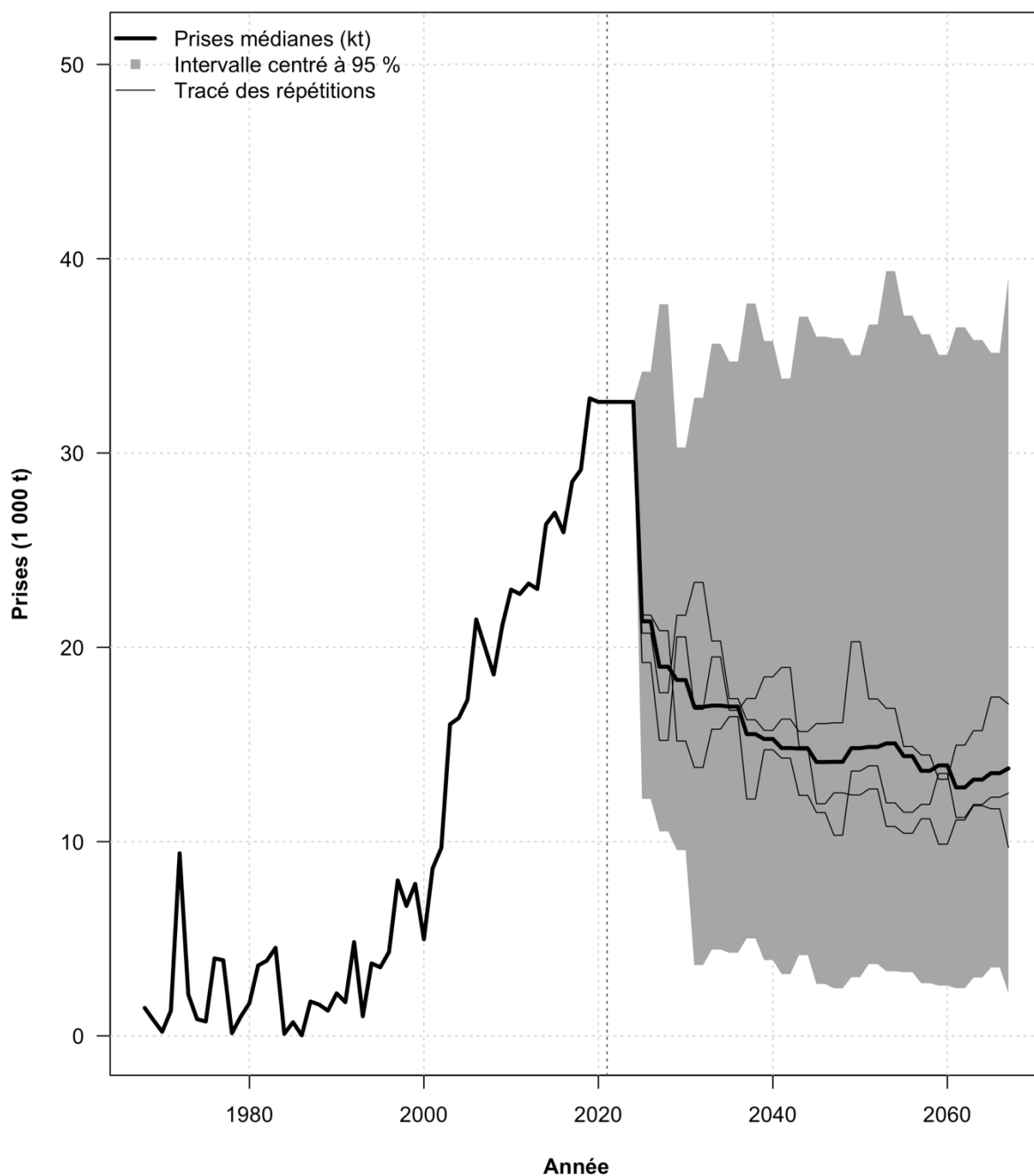


Figure E.4 . Simulation des prises totales de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé osPrec. Les lignes indiquent la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires de la simulation (lignes noires fines), l'enveloppe de la simulation montrant l'intervalle centré à 95 % (en gris clair) des prises totales pour toutes les répétitions, et la ligne verticale tiretée représente le début de la période de projection simulée en 2021.

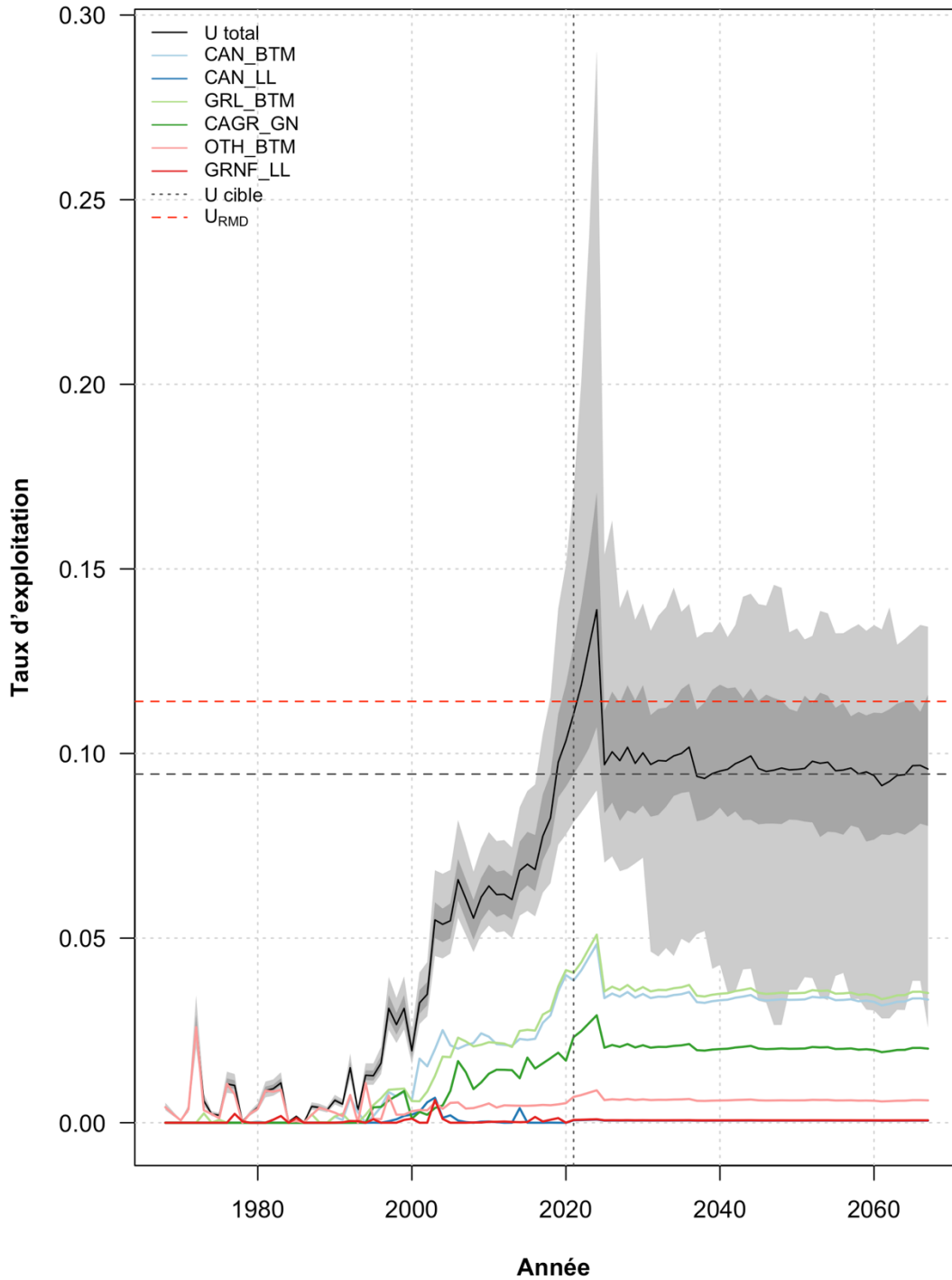


Figure E.5. Taux d'exploitation simulés du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un modèle/indice adaptatif et du scénario de précision du relevé osPrec. Les lignes illustrent les taux d'exploitation médians totaux (en noir) et propres à la flottille (en couleurs), avec l'enveloppe de simulation montrant l'intervalle centré à 60 % (en gris foncé) et l'intervalle centré à 95 % (en gris pâle) de la distribution des taux d'exploitation totaux sur toutes les répétitions. Les taux d'exploitation cible et optimal sont représentés par des lignes horizontales tiretées et le début de la procédure de gestion est représenté par une ligne verticale tiretée en 2021.

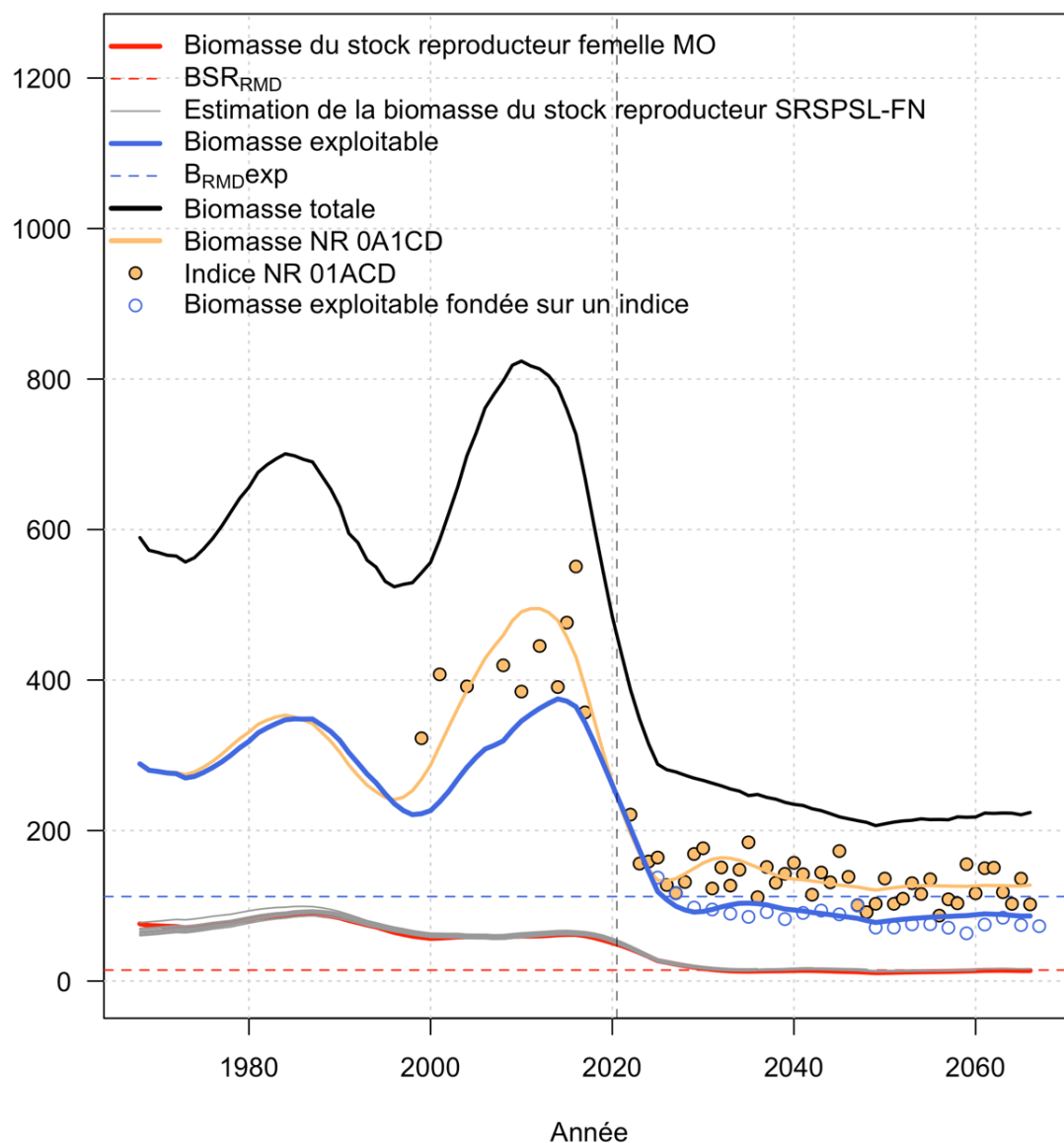


Figure E.6 . Une seule répétition de la simulation de MS3-FG selon le scénario osPrec et la procédure de gestion adaptative montrant le modèle opérationnel réel de la biomasse du stock reproducteur femelle (ligne rouge), la biomasse exploitable (ligne bleue), la biomasse totale (ligne noire) et la biomasse du relevé par navire de recherche (ligne orange), ainsi que les indices simulés de la biomasse du relevé par navire de recherche (points orange). Sont également présentées les estimations par la procédure de gestion de la biomasse du stock reproducteur femelle (lignes grises) produites par la mise à jour simulée du modèle SRSPSL-FG, et les estimations de la biomasse exploitable provenant de la procédure fondée sur les indices (points bleus).

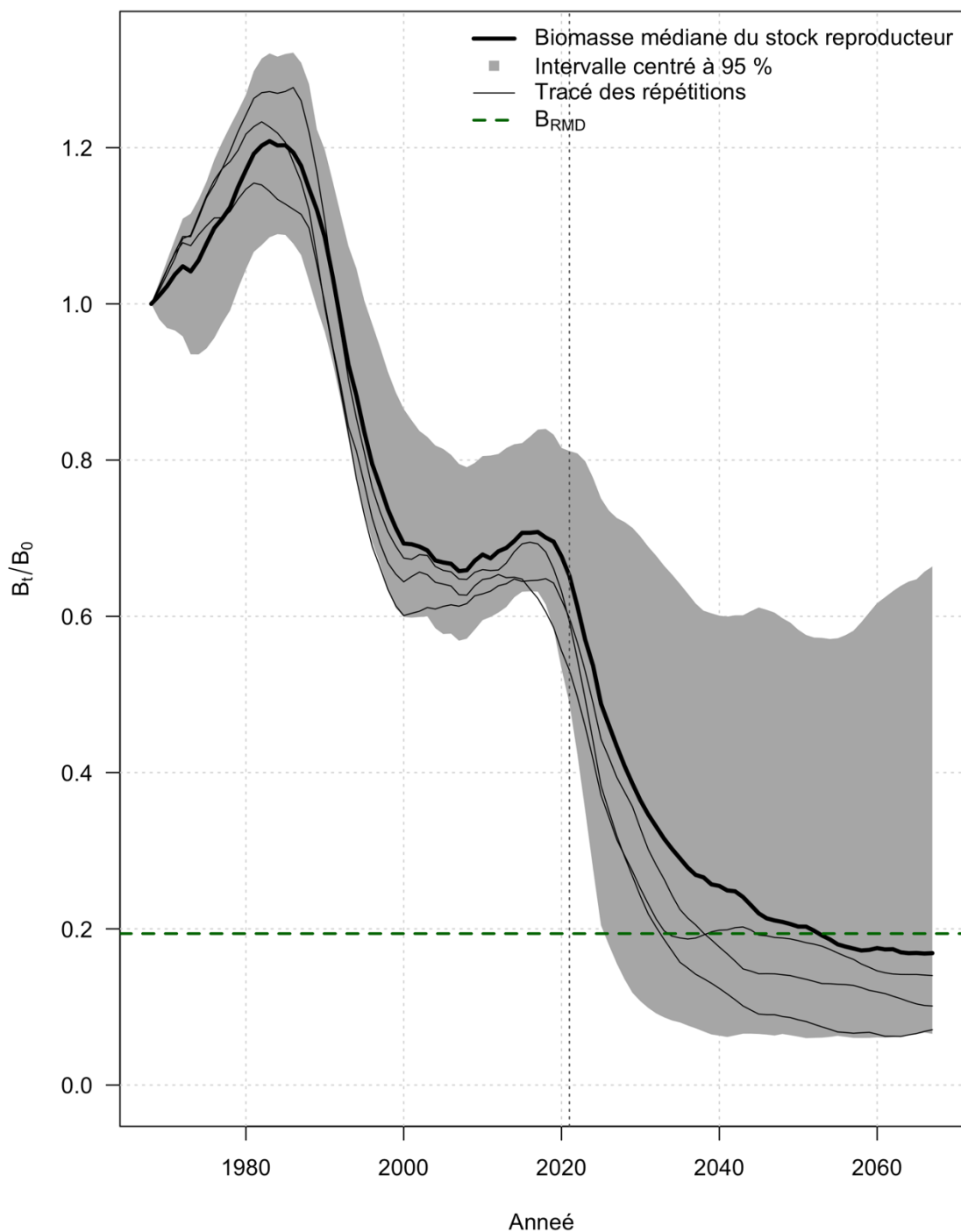


Figure E.7 . Simulation de la diminution de la biomasse du stock reproducteur femelle de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un indice non adaptatif. Les enveloppes grises de la simulation montrent l'intervalle centré à 95 % (région grise), la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires de la simulation (lignes noires fines) de la diminution de la biomasse du stock reproducteur. La ligne verte horizontale représente la biomasse du stock reproducteur produisant le RMD et la ligne verticale tiretée indique le début de la procédure de gestion simulée en 2021.

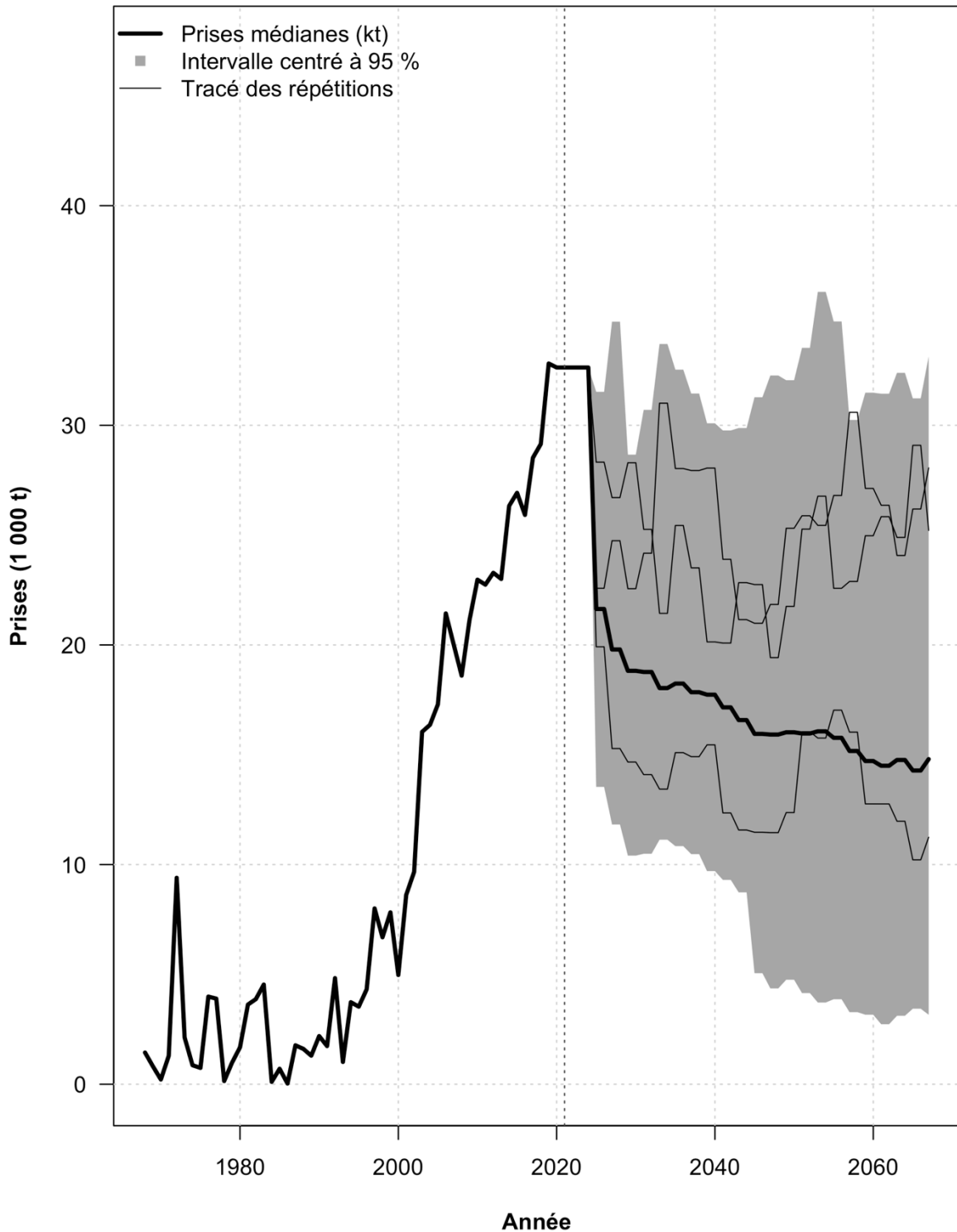


Figure E.8 . Simulation des prises totales de flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un indice non adaptatif. Les lignes indiquent la médiane (ligne noire épaisse) et trois répétitions aléatoires de la simulation (lignes noires fines), l'enveloppe de la simulation montrant l'intervalle centré à 95 % (en gris clair) des prises totales sur toutes les répétitions, et la ligne verticale tirée représente le début de la période de projection simulée en 2021.

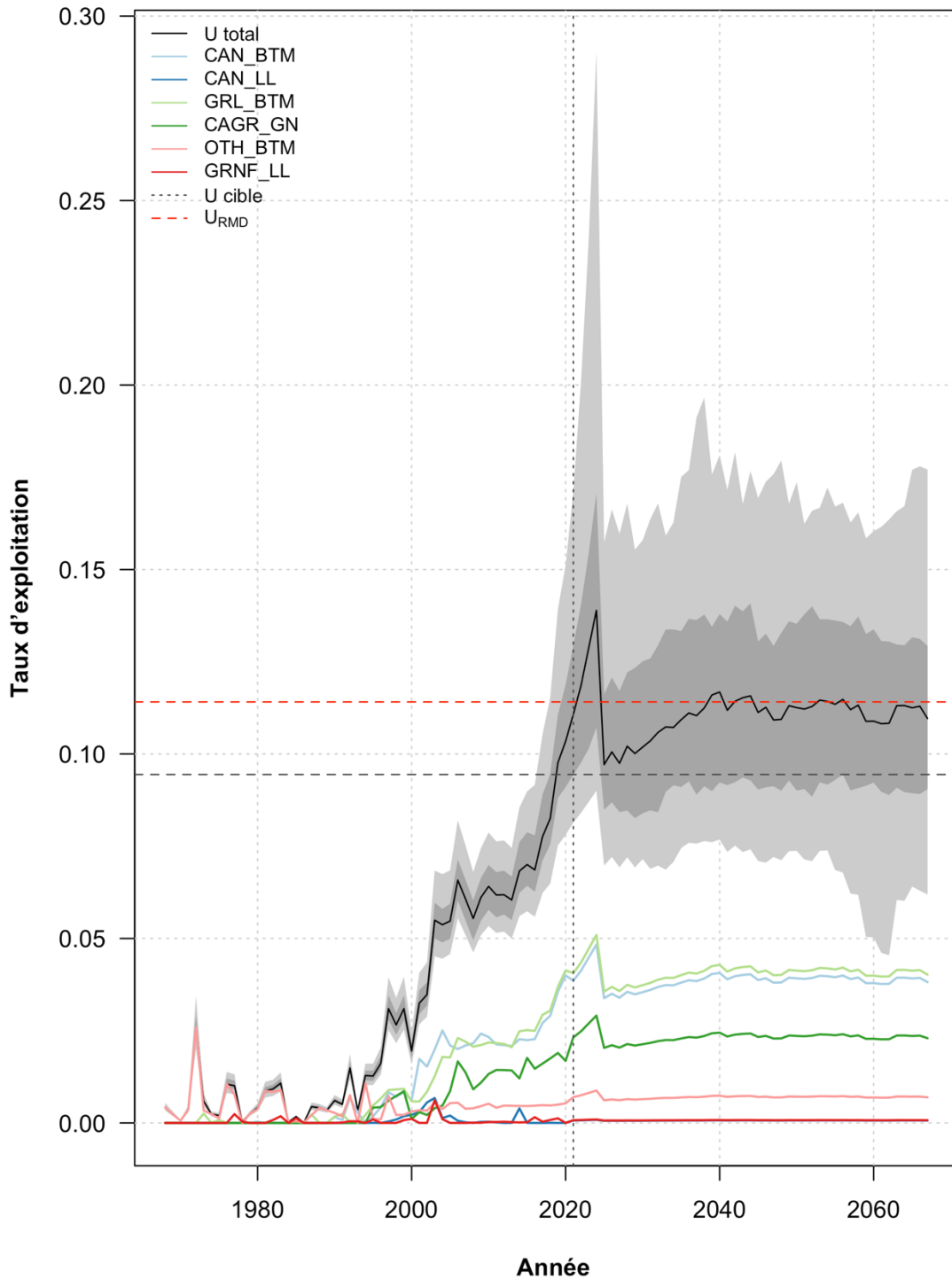


Figure E.9 . Simulation des taux d'exploitation du flétan du Groenland de la sous-zone 0+1 dans le cadre de la procédure de gestion fondée sur un indice non adaptatif. Les lignes illustrent les taux d'exploitation médians totaux (en noir) et propres à la flottille (en couleurs), avec l'enveloppe de simulation montrant l'intervalle centré à 60 % (en gris foncé) et l'intervalle centré à 95 % (en gris pâle) de la distribution des taux d'exploitation totaux sur toutes les répétitions. Les taux d'exploitation cible et optimal sont représentés par des lignes horizontales tiretées et le début de la procédure de gestion est représenté par une ligne verticale tiretée en 2021.



## ANNEXE F : ERREURS RELATIVES DE L'ÉVALUATION SIMULÉE DU STOCK

Tableau F.1 . Erreurs relatives médianes (ERM) et erreurs relatives absolues médianes (ERAM) simulées dans la mise à jour de 2024 du modèle SRSPSL-FG pour certains paramètres du modèle SRSPSL-FG.

Variable	isPrec		osPrec	
	ERM	ERAM	ERM	ERAM
B0	-0,02	0,06	-0,03	0,07
h	0,00	0,00	0,00	0,01
M m	0,00	0,07	0,00	0,08
M f	0,00	0,07	0,00	0,08
L50A CAN BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A CAN BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L50D CAN BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L95D CAN BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L50A CAN LL	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A CAN LL	0,00	0,00	0,00	0,00
L50A GRL BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A GRL BTM	0,00	0,01	0,01	0,01
L50A OTH BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A OTH BTM	0,00	0,00	0,00	0,01
L50A GRNF LL	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A GRNF LL	0,00	0,00	0,00	0,00
q NR 0A1CD	-0,04	0,05	-0,05	0,05
tau NR 0A1CD	-0,01	0,07	0,00	0,07
L50A NR 0A1CD	0,00	0,01	0,00	0,01
L95A NR 0A1CD	0,00	0,00	0,00	0,00
L50D NR 0A1CD	0,00	0,00	0,00	0,00
L95D NR 0A1CD	0,00	0,00	0,00	0,00
q NR SFW1AF	-0,05	0,07	-0,05	0,08
tau NR SFW1AF	-0,02	0,04	-0,02	0,04
L50A NR SFW1AF	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A NR SFW1AF	0,00	0,00	0,00	0,00
L50D NR SFW1AF	0,00	0,00	0,00	0,00
L95D NR SFW1AF	0,00	0,00	0,00	0,00
q nouveauNR	0,01	0,16	0,04	0,16
tau nouveauNR	-0,71	0,71	-0,56	0,56
L50A nouveauNR	0,04	0,10	0,01	0,09
L95A nouveauNR	0,02	0,06	0,00	0,05
L50D nouveauNR	0,00	0,02	-0,01	0,02
L95D nouveauNR	0,00	0,04	-0,02	0,04

Tableau F.2 . Erreurs relatives médianes (ERM) et erreurs relatives absolues médianes (ERAM) simulées dans la mise à jour de 2054 du modèle SRSPSL-FG pour certains paramètres du modèle SRSPSL-FG.

Variable	isPrec		osPrec	
	ERM	ERAM	ERM	ERAM
B0	-0,02	0,12	-0,02	0,13
h	0,02	0,03	0,03	0,04
M m	-0,03	0,07	-0,03	0,07
M f	-0,04	0,07	-0,05	0,07
L50A CAN BTM	0,00	0,00	0,00	0,00
L95A CAN BTM	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L50D CAN BTM	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95D CAN BTM	-0,03	0,03	-0,03	0,03
L50A CAN LL	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95A CAN LL	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L50A GRL BTM	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95A GRL BTM	0,00	0,01	0,00	0,01
L50A OTH BTM	-0,02	0,02	-0,02	0,02
L95A OTH BTM	-0,03	0,03	-0,04	0,04
L50A GRNF LL	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95A GRNF LL	-0,01	0,01	-0,01	0,01
q NR 0A1CD	-0,05	0,12	-0,05	0,12
tau NR 0A1CD	-0,02	0,06	-0,02	0,06
L50A NR 0A1CD	0,02	0,02	0,02	0,02
L95A NR 0A1CD	0,02	0,02	0,02	0,02
L50D NR 0A1CD	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95D NR 0A1CD	0,00	0,00	0,00	0,00
q NR SFW1AF	-0,11	0,16	-0,13	0,15
tau NR SFW1AF	-0,02	0,05	-0,02	0,05
L50A NR SFW1AF	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95A NR SFW1AF	-0,02	0,02	-0,02	0,02
L50D NR SFW1AF	0,00	0,01	0,01	0,01
L95D NR SFW1AF	-0,02	0,02	-0,02	0,02
q nouveauNR	-0,02	0,12	-0,04	0,13
tau nouveauNR	-0,09	0,11	-0,09	0,13
L50A nouveauNR	0,00	0,04	0,00	0,03
L95A nouveauNR	-0,02	0,03	0,00	0,02
L50D nouveauNR	-0,01	0,01	-0,01	0,01
L95D nouveauNR	-0,05	0,06	-0,02	0,03