



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/064

Région des Maritimes

Examen du cadre pour l'aiglefin des divisions 4X5Y : spécification des modèles opérationnels, projections, approche de simulation et points de référence

Barrett, T.J., Barrett, M.A. et Hebert, N.E.

Station biologique de St. Andrews
Pêches et Océans Canada
125, promenade Marine Science
St. Andrews (Nouveau-Brunswick) E5B 0E4

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 des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
DFO.CSAS-SCAS.MPO@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272
ISBN 978-0-660-78888-3 Cat. No. Fs70-5/2025-064E-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Barrett, T.J., Barrett, M.A. et Hebert, N.E. 2025. Examen du cadre pour l'aiglefin des divisions 4X5Y : spécification des modèles opérationnels, projections, approche de simulation et points de référence. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/064. v + 70 p.

Also available in English :

Barrett, T.J., Barrett, M.A., and Hebert, N.E. 2025. Framework Review for 4X5Y Haddock: Operating Model Specification, Projections, Simulation Approach and Reference Points. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/064. v + 63 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	v
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 OBJECTIFS.....	1
2. OBJECTIFS DE GESTION	2
3. DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE	3
3.1 PÊCHE	4
3.2 RELEVÉ	4
4. MODÈLES DE LA DYNAMIQUE DE LA POPULATION.....	4
4.1 CONFIGURATIONS ET ÉTUDE DES MODÈLES	5
4.2 SÉLECTION FINALE DU MODÈLE	6
5. MODÈLES OPÉRATIONNELS	7
5.1 ERREUR DE TRAITEMENT FUTURE POUR LES ÉCARTS DU NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ÂGE	10
5.2 SÉLECTIVITÉ FUTURE	10
5.3 TAUX DE MORTALITÉ NATURELLE (M) FUTURE	11
5.4 RECRUTEMENT FUTUR.....	12
5.5 CROISSANCE FUTURE	13
5.5.1 Modèle de la longueur selon l'âge	14
5.6 MATURITÉ FUTURE	17
5.7 PONDÉRATION DES MODÈLES OPÉRATIONNELS	17
5.8. PRISE EN COMPTE DE MODÈLES OPÉRATIONNELS SUPPLÉMENTAIRES.....	20
6. POINTS DE RÉFÉRENCE	20
6.1 RÔLES DES POINTS DE RÉFÉRENCE	21
Rôle 1 : Composante des objectifs de gestion et des mesures du rendement	21
Rôle 2 : Mesure de l'état du stock	21
Rôle 3 : Points de contrôle opérationnel	22
6.2 POINT DE RÉFÉRENCE LIMITÉ (PRL)	22
Indicateur	22
Méthodes	23
6.3 POINTS DE RÉFÉRENCE POUR LA MORTALITÉ PAR PÊCHE.....	27
6.4 POINT DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR (PRS) PROPOSÉ.....	28
6.5 ESTIMATION DE L'ÉTAT DU STOCK.....	29
7. MODÈLE D'OBSERVATION	29
7.1 INDICE DU RELEVÉ DU MPO	29
7.2 NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ÂGE DU RELEVÉ DU MPO	30
8. SIMULATIONS EN BOUCLE FERMÉE	31
9. EXEMPLES DE PROCÉDURES DE GESTION (PROCÉDURE DE GESTION).....	32

10. EXEMPLE D'ÉVALUATION D'UNE PROCÉDURE DE GESTION.....	34
11. SÉLECTION DE LA PROCÉDURE DE GESTION	42
12. CIRCONSTANCES EXCEPTIONNELLES ET MOMENT DE L'ÉVALUATION	42
RÉFÉRENCES CITÉES	45
ANNEXE A.....	48
A1. CONFIGURATION DES MODÈLES.....	48
A1.1 Taux de mortalité naturelle (M).....	48
A1.2 Sélectivité et capturabilité	49
A1.3 Distribution de vraisemblance multinomiale de la composition par âge	51
A1.4 Autres distributions de vraisemblance de la composition par âge	53
A1.5 Données d'entrée	54
A1.6 Effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge	54
ANNEXE B	65

RÉSUMÉ

En 2018, le modèle d'évaluation du stock d'aiglefin des divisions 4X et 5Y (appelées « divisions 4X5Y » ci-après) a été rejeté en raison d'importantes tendances rétrospectives et d'une divergence entre la biomasse estimée par le modèle et la biomasse provenant d'un relevé. Depuis, des avis sur les prises ont été fournis de façon qualitative en fonction de l'indice provenant du relevé de l'écosystème réalisé par Pêches et Océans Canada (MPO). En 2023, la Direction des sciences du MPO a entrepris l'élaboration d'un cadre pour une nouvelle méthode d'évaluation du stock d'aiglefin des divisions 4X5Y, qui comprenait un examen des données d'entrée et l'élaboration de modèles d'évaluation. Trois modèles d'évaluation ont été sélectionnés et sont décrits dans le présent document, ainsi que différentes hypothèses visant à expliquer la divergence entre les données d'entrée de la pêche et celles du relevé, soit la mortalité naturelle dépendante de la densité (modèles 1 et 2) et la mortalité naturelle constante avec des effets aléatoires sur les transitions du nombre d'individus par âge du stock (modèle 3). Des points de référence ont été définis pour chaque modèle et pondérés afin de fournir un état global du stock. Deux ensembles de modèles opérationnels ont été définis en fonction de ces trois modèles pour tenir compte de l'incertitude dans la productivité future du stock. L'un d'eux supposait une productivité identique sans grands événements de recrutement, et l'autre supposait une productivité conforme aux 25 dernières années et comprenait un grand événement de recrutement correspondant à la cohorte de 2013. Un cadre d'évaluation des procédures de gestion utilisant une simulation en boucle fermée est également présenté et a servi à évaluer le rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs de gestion. On a utilisé des exemples de procédures de gestion pour démontrer comment le cadre d'évaluation des procédures de gestion sera appliqué. Lorsqu'une procédure de gestion respecte la norme de rendement minimale définie pour les objectifs de conservation, il est possible d'évaluer les compromis entre les procédures de gestion pour tous les objectifs. Ce cadre d'évaluation des procédures de gestion pourra servir à la sélection d'une procédure de gestion qui fournira des avis sur les prises pour la pêche de l'aiglefin des divisions 4X5Y. Des circonstances exceptionnelles sont définies afin de tenir compte des situations hors de la portée des scénarios pour lesquels la procédure de gestion a été testée en simulation ou lorsque les données nécessaires à son application ne sont pas accessibles.

1. INTRODUCTION

L'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) est capturé dans le cadre d'une pêche plurispécifique du poisson de fond surtout menée sur la partie ouest du plateau néo-écossais et dans la baie de Fundy, ce qui correspond aux divisions 4X et 5Y (appelées « divisions 4X5Y » ci-après) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). En 2017, on a choisi un modèle d'analyse de population virtuelle caractérisé par des périodes de mortalité naturelle fixe afin de fournir un avis sur les prises (Wang *et al.* 2017). En 2018, les projections issues de ce modèle ont montré d'importantes tendances rétrospectives et une divergence entre la biomasse prédictive par le modèle et la biomasse provenant d'un relevé (Finley *et al.* 2018). Par conséquent, on n'a pas utilisé le modèle d'analyse de population virtuelle pour la production d'un avis sur les prises ou l'estimation de l'état du stock depuis 2018; on a plutôt effectué des mises à jour de l'état du stock de façon qualitative, en comparant l'indice de la biomasse du relevé à 40 % et à 80 % de la médiane de la série chronologique de 1985 à 2020 (MPO 2023a).

Le dernier examen des données sur l'aiglefin des divisions 4X5Y a eu lieu en octobre 2023 (Barrett et Barrett, sous presse). La réunion d'examen des données était la première d'une série de réunions d'examen par les pairs tenues dans le cadre de l'examen du cadre pour l'aiglefin des divisions 4X5Y, entrepris par la Direction des sciences, région des Maritimes, Pêches et Océans Canada (MPO). La deuxième réunion a porté sur l'examen des hypothèses structurelles et des ajustements des modèles de dynamique de la population, qui formeront la base d'un ensemble de modèles opérationnels qui prennent en compte les principales incertitudes dans la dynamique de la pêche et de la population pour l'aiglefin des divisions 4X5Y. Le présent document comporte les décisions finales prises lors de cette réunion.

L'objectif de la troisième (et dernière) réunion d'examen par les pairs est d'examiner les scénarios de projection et l'approche de simulation au moyen de l'ensemble des modèles qui ont été choisis pour prendre en compte l'incertitude dans la dynamique historique de la pêche lors de la deuxième réunion d'examen par les pairs. Ces modèles et scénarios de projection ont servi à définir les modèles opérationnels à utiliser avec le cadre d'évaluation du rendement des procédures de gestion pour la pêche de l'aiglefin des divisions 4X5Y. Des points de référence sont également définis pour éclairer l'état du stock, et ils doivent être utilisés dans les mesures du rendement dans le cadre d'évaluation des procédures de gestion.

1.1 OBJECTIFS

Les objectifs précis de la troisième réunion d'examen par les pairs étaient d'examiner les composantes scientifiques du cadre d'évaluation des procédures de gestion.

- L'ensemble des modèles opérationnels qui prennent en compte l'incertitude dans la dynamique historique et future du stock.
- L'incertitude dans la dynamique historique a été prise en compte par les modèles découlant de la deuxième réunion d'examen par les pairs.
- L'incertitude dans la dynamique future a été prise en compte par les scénarios de projection définis.
- Les scénarios de projection pour le poids selon l'âge, la maturité selon l'âge, la sélectivité, le taux de mortalité naturelle (M) et le recrutement pour chaque modèle opérationnel.
- Un point de référence limite (PRL) fondé sur la biomasse et un point de référence fondé sur la mortalité par pêche ($F_{réf}$), ainsi qu'un ou plusieurs points de référence supérieurs (PRS) fondés sur la biomasse proposés, pour chaque modèle opérationnel.

-
- Une approche pour estimer l'état global du stock d'après l'ensemble des modèles opérationnels.
 - L'approche de simulation pour mettre à l'essai les procédures de gestion.
 - Les hypothèses du modèle d'observation.
 - La pondération des modèles opérationnels.
 - Les circonstances exceptionnelles qui indiquerait que les hypothèses des modèles opérationnels ne sont plus valides.
 - La fréquence et le calendrier proposés des mises à jour réalisées pendant les années intermédiaires et fournies entre les cadres entièrement révisés par les pairs, ainsi que le calendrier recommandé pour le prochain cadre.

2. OBJECTIFS DE GESTION

Le cadre d'évaluation des procédures de gestion est un cadre analytique fondé sur la simulation qui sert à évaluer le rendement des procédures de gestion proposées par rapport aux objectifs de gestion préétablis. En septembre 2023, les objectifs de gestion pour la pêche à l'aiglefin des divisions 4X5Y ont été rédigés afin de respecter à la fois les objectifs de conservation du MPO et les considérations économiques pour l'industrie. Les objectifs de gestion ont été définis par le MPO en consultation avec les parties intéressées lors d'une réunion du Comité consultatif du poisson de fond de la région Scotia-Fundy. Ils sont exprimés sous forme de mesures du rendement auxquelles sont associées les probabilités et les périodes (tableau 1). Les quatre premiers objectifs de gestion (tableau 1) sont conformes à la politique de l'approche de précaution du MPO (MPO 2009) et aux lignes directrices récemment définies pour la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons de la *Loi sur les pêches* (MPO 2022). Ces quatre premiers objectifs de gestion comportent une norme de rendement minimale (un seuil de probabilité) qui doit être atteinte par une procédure de gestion. Les objectifs de pêche liés à la maximisation du total autorisé des captures (TAC) et à l'évitement de la variabilité interannuelle du TAC n'ont pas de seuils de probabilité, et le rendement par rapport à ces objectifs est évalué au moyen de compromis entre les procédures de gestion.

Tableau 1. Objectifs de gestion et mesures du rendement élaborés pour le stock d'aiglefin des divisions 4X5Y.

Objectif de gestion	Mesure du rendement	Seuil de probabilité	Calendrier
1. Maintenir le stock au-dessus du PRL	P(BSR > PRL)	75 à 95 % ¹	Moyenne sur deux générations (10 ans) ET moyenne sur plusieurs années au cours de la période de projection (25 ans) OU (si le stock est < PRL) : après la période de rétablissement ² (p. ex. pour l'année de projection 10) ET moyenne sur plusieurs années au cours de la période de projection après la période de rétablissement (p. ex. de l'année de projection 10 à la fin de la période de projection de 25 ans)
2. Maintenir le stock au-dessus du PRS	P(BSR > PRS)	≥ 50 %	Moyenne sur deux générations (10 ans) ET moyenne sur plusieurs années au cours de la période de projection de 25 ans
3. Maintenir la mortalité par pêche sous la $F_{réf}$	P($F < F_{réf}$)	≥ 50 %	Chaque année de la période de projection de 25 ans
4. Promouvoir la croissance du stock lorsque le stock est sous le PRS	P(BSR _{a+5} > BSR _a) ³	≥ 9 95 % si le stock est < PRL ≥ 75 % si le stock est < PRS et que la trajectoire récente montre un déclin ⁴ ≥ 50 % si le stock est < PRS et que la trajectoire récente ne montre pas de déclin ⁴	Une génération (5 ans)
5. Maximisation du TAC	Prises moyennes	–	5, 10, 15 ans
6. Éviter les variations interannuelles importantes du TAC	Nombre d'années où la variation interannuelle des prises dépasse 15 % à court, moyen et long terme	–	5, 10, 15 ans

¹ Le seuil final sera déterminé par la Gestion des ressources et servira à mettre au point les procédures de gestion.

² Un taux raisonnable serait défini comme étant conforme à la politique de l'approche de précaution du MPO et aux lignes directrices du MPO sur le rétablissement (p. ex. maximum de 1,5 à 2 générations ou de 2 à 3T_{min}, où T_{min} est le temps que prendrait le stock pour se rétablir jusqu'à cette cible en l'absence de pêche).

³ La probabilité ici est la probabilité d'un déclin évitable. Si la BSR diminuait sous $F = 0$, ce serait alors P(BSR_{a+5} > BSR_{a+5} avec $F = 0$).

⁴ La « trajectoire récente » n'a pas encore été définie.

Un tiret (–) signifie « sans objet ».

3. DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE

Un examen des données d'entrées pour ce cadre, y compris la structure du stock, les paramètres biologiques, les considérations écosystémiques, les prises de la pêche, les indices d'abondance, ainsi que la composition par âge des prises et des relevés a été effectué lors d'une réunion d'examen par les pairs du SCAS les 17 et 18 octobre 2023 (Barrett et Barrett, sous presse¹).

3.1 PÊCHE

L'aiglefin est débarqué au moyen de chaluts à panneaux et d'engins fixes (p. ex. palangre, filet maillant, ligne à main), les prises des chaluts à panneaux étant prédominantes au cours des deux dernières décennies. Les données sur la pêche (prises et composition des prises) ont été résumées séparément pour la baie de Fundy (baie de Fundy, strates 482 à 495 du relevé écosystémique du MPO) et l'ouest du plateau néo-écossais (strates 470 à 481 du relevé écosystémique du MPO) en fonction des différences de croissance. Chaque zone et chaque type d'engin ont été combinés en une seule flotte dans le modèle, mais pondérés par région (plateau néo-écossais et baie de Fundy).

Les distributions de la fréquence des longueurs de la pêche ont été estimées à partir de l'échantillonnage des prises au port, tandis que les âges ont été estimés à partir des échantillons prélevés dans le cadre des programmes d'échantillonnage au port et par des observateurs. Les poids selon la longueur pour chaque distribution de la fréquence des longueurs ont été estimés à l'aide des relations poids-longueur du relevé écosystémique du MPO. Les poissons d'âge 1 à 12+ sont inclus dans les données d'entrée des prises selon l'âge et du poids selon l'âge. Les deux ensembles de données ont été calculés séparément par région (baie de Fundy et plateau néo-écossais), puis combinés pour créer une matrice des données d'entrée unique pour le stock.

3.2 RELEVÉ

L'indice du relevé écosystémique d'été du MPO (1970 à 2022) et les données de la composition par âge du relevé ont été utilisés comme données d'entrée du modèle. Deux méthodes de calcul de l'indice du relevé écosystémique d'été du MPO ont été étudiées : 1) le statu quo (biomasse moyenne annuelle par trait en tant que moyenne pondérée proportionnelle à la taille de la strate et au nombre de traits) et 2) une moyenne pondérée en supposant une distribution delta-lognormale (Pennington 1996). Les indices estimés à l'aide des deux méthodes différentes étaient semblables, mais l'indice delta-lognormal a réduit l'influence des traits extrêmes et présentait un coefficient de variation plus stable dans le temps.

Les données d'entrée du modèle provenant du relevé écosystémique du MPO comprenaient le poids selon l'âge du relevé, le poids selon l'âge de la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le poids selon l'âge du stock au 1^{er} janvier en ajustant le poids selon l'âge du relevé à la période de fraie au moyen de la méthode de Rivard (Rivard 1982). Les données d'entrée sur la maturité selon l'âge étaient fondées sur les valeurs moyennes du relevé écosystémique d'été du MPO (1986 à 2022), pondérées par le nombre d'individus par âge du relevé pour chaque région afin de tenir compte des différences sur le plan de la maturité entre les régions.

4. MODÈLES DE LA DYNAMIQUE DE LA POPULATION

Le modèle d'évaluation de Woods Hole (WHAM, Stock et Miller 2021) a été sélectionné comme plateforme de modélisation pour le stock d'aiglefin des divisions 4X5Y. Il s'agit d'un progiciel en R à source ouverte (<https://github.com/timjmiller/wham> [en anglais seulement]) qui a la capacité d'ajuster des modèles d'espace d'états qui utilisent des effets aléatoires pour modéliser les paramètres de population, ce qui se traduit par moins d'estimations des paramètres comparativement aux modèles statistiques traditionnels de prises selon l'âge. Le WHAM a été précisément choisi pour l'aiglefin des divisions 4X5Y en raison de sa flexibilité d'inclure des effets aléatoires (erreur de traitement) pour le taux de mortalité naturelle (M), le nombre d'individus par âge (NAA), la sélectivité et la capturabilité (q), ainsi que de sa capacité d'inclure des covariables environnementales dans l'estimation des paramètres du modèle (M , recrutement et q).

4.1 CONFIGURATIONS ET ÉTUDE DES MODÈLES

Un modèle initial ($m0$; tableau A1) a été défini et utilisé comme point de départ pour trouver les modèles proposés présentant des diagnostics acceptables pour lesquels étudier d'autres configurations de modèle. Les principales hypothèses structurelles influençant les ajustements du modèle étaient la M , la spécification de la sélectivité des pêches et du relevé, le choix de la distribution de vraisemblance pour les données sur la composition par âge, et les sources de données (p. ex. incluant le relevé effectué par des navires assujettis à des quotas individuels transférables ou les prises dans les strates de relevé 482 et 483 au sud de la sous-division 4Xp de l'OPANO). L'étude du modèle a commencé en supposant une distribution de Dirichlet pour les données sur la composition par âge parce qu'il s'agit d'une autopondération. La distribution multinomiale a également été examinée pour permettre une certaine souplesse dans les pondérations relatives de différentes sources de données.

Tous les modèles ont estimé que le recrutement était aléatoire par rapport à la valeur moyenne et l'âge au recrutement utilisé dans le WHAM est l'âge 1. Le recrutement d'aiglefins dans les stocks adjacents est épisodique (NFSC, en prép.¹, Wang *et al.* 2022) avec des cohortes occasionnellement fortes et n'a pas été modélisé à l'aide d'une relation stock-recrutement. Selon les données sur la composition par âge du relevé (Barrett et Barrett, sous presse ¹), le stock d'aiglefin des divisions 4X5Y a fait l'objet d'une importante activité de recrutement en 2013 qui a fortement contribué au relevé et aux données sur la composition par âge de la pêche. L'aiglefin des divisions 4X5Y affichait un manque de contraste important dans l'abondance au fil du temps, de sorte que l'hypothèse des écarts par rapport au recrutement moyen (c.-à-d. une relation stock-recrutement nulle) est conforme aux recommandations pragmatiques d'un récent document d'examen (Brooks 2024) pour la modélisation du recrutement de l'aiglefin.

Le modèle initial ($m0$; tableau A1) présentait des tendances rétrospectives de la BSR, du taux de mortalité par pêche (F) et du recrutement, et s'ajustait mal à l'indice du relevé du MPO avec une longue série de résidus positifs vers 1990 à 2010 (tableau A3). L'étude du modèle était axée sur l'amélioration des diagnostics et l'amélioration de l'ajustement à l'indice du relevé du MPO (divergence entre l'indice du relevé du MPO et les données sur la composition par âge de la pêche et du relevé). L'étude était principalement axée sur d'autres hypothèses structurelles, soit une M plus élevée (c.-à-d. $> 0,2$) et/ou une M variable dans le temps, d'autres formes de sélectivité de la pêche et du relevé, et l'inclusion d'effets aléatoires sur les transitions du nombre d'individus par âge. L'annexe A présente un résumé de toutes les configurations de modèle étudiées et examinées au cours de la deuxième réunion d'examen par les pairs. Les diagnostics des modèles ont été évalués au moyen d'inspections visuelles de l'ajustement aux données, de vérifications de convergence (test automatique, analyse de la gigue des valeurs initiales du modèle), de l'examen des résidus bruts et prévisionnels à un pas de temps et des résumés du rho de Mohn moyen d'une analyse rétrospective sur sept ans pour la BSR, la F et le recrutement (nombre d'individus d'âge 1). Le critère d'information d'Akaike (AIC) a été utilisé pour orienter les modèles parcimonieux avec un meilleur ajustement (pour les modèles ayant les mêmes données d'entrées).

¹ Northeast Fisheries Science Center (NFSC), en préparation. 2022 Management Track Assessment Report for Georges Bank Haddock. US Dept Commer. Northeast Fish Sci. Cent. Ref. Doc.

4.2 SÉLECTION FINALE DU MODÈLE

Trois modèles ont été acceptés à la conclusion de la deuxième réunion d'examen par les pairs (les 20 et 21 mars 2024). Ces modèles ont tenu compte de différentes hypothèses pour expliquer la divergence entre les données de la pêche et celles du relevé.

Modèle 1 : Il a utilisé le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO comme covariable pour la M et a supposé une sélectivité logistique annuelle pour la pêche (modèle *m0_Me1+_dln_sig0.05_L1*; tableau 2; annexe B).

Modèle 2 : Il a utilisé le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO comme covariable pour la M et des effets aléatoires (structure de corrélation 2dar1) sur les paramètres de sélectivité de la pêche (modèle *m0_Me1+_dln_sig0.05_L1_V2dar1*; tableau 2; annexe B).

Modèle 3 : Il a supposé une M constante = 0,2 et a utilisé des effets aléatoires (structure de corrélation 2dar1; recrutement découplé) sur le nombre d'individus par âge, sans correction de biais sur la moyenne pour les transitions du nombre d'individus par âge (*m0_M0.2_NAARE_2dar1_DFO0.5cv_noBC*; tableau 2; annexe B).

Les hypothèses structurelles précises de ces configurations de modèle sont résumées au tableau 2. Les modèles 1 et 2 supposent une M variable dans le temps pour tenir compte de l'hypothèse d'une mortalité naturelle dépendante de la densité. Bien qu'un modèle (*m0_M2b_2010*; tableau A1) avec une M estimée en deux périodes (1979 à 2009 et 2010 à 2022) ait présenté des tendances rétrospectives plus faibles, les modèles 1 et 2 ont été privilégiés parce qu'ils sont dotés d'un mécanisme pour diminuer la M de la valeur élevée causée par la forte cohorte de 2013 et qu'ils ne s'appuient pas sur la subjectivité du choix pour la détermination de la période. L'incertitude supplémentaire prise en compte dans les modèles 1 et 2 est la structure de la sélectivité variable dans le temps. Le modèle 1 a estimé les paramètres annuels de sélectivité des pêches. Le modèle 2 a estimé un seul ensemble de paramètres de sélectivité, et la sélectivité annuelle a été déterminée en estimant les effets aléatoires sur les paramètres de sélectivité, en supposant une structure de corrélation 2dar1. Le modèle 3 a été ajusté aux effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge en supposant une structure de corrélation 2dar1 sur l'ensemble des années et des âges comme hypothèse de recharge à la M variable dans le temps. Ce modèle a supposé une M invariante dans le temps et l'âge de 0,2, conforme aux évaluations précédentes pour l'aiglefin.

Les diagnostics des configurations de modèle à l'annexe A ont été présentés lors de la deuxième réunion d'examen par les pairs. Dans le présent document, les diagnostics détaillés des modèles 1 à 3 sont présentés à l'annexe B.

Tableau 2. Configuration des modèles 1 à 3 de dynamique de la population.

Caractéristique du modèle	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Années du modèle	1970 à 2022	1970 à 2022	1970 à 2022
Classes d'âge modélisées	1 à 12+	1 à 12+	1 à 12+
Prises	Toutes ¹	Toutes ¹	Toutes ¹
Structure de la flotte	Flotte unique	Flotte unique	Flotte unique
Sélectivité de la pêche	Logistique, périodes annuelles	Logistique, effets aléatoires de la corrélation 2dar1	Logistique, périodes annuelles
Relevé	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]
Sélectivité du relevé	Logistique, période unique	Logistique, période unique	Logistique, période unique
Modèle stock-recrutement	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes.	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes.	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets aléatoires.
Taux de mortalité naturelle	Variable dans le temps selon le nombre d'individus d'âge 1 du relevé, avec un décalage d'un an	Variable dans le temps selon le nombre d'individus d'âge 1 du relevé, avec un décalage d'un an	M = 0,2;
Fonction de vraisemblance pour les données sur les prises et les indices du relevé	Lognormale	Lognormale	Lognormale
Fonction de vraisemblance pour les données sur les prises et la composition par âge du relevé	Dirichlet, regroupement des zéros	Dirichlet, regroupement des zéros	Dirichlet, regroupement des zéros
Effets aléatoires (erreur de traitement)	Aucun	Paramètres de sélectivité des pêches	Nombre d'individus par âge (corrélation 2dar1), recrutement découpé

¹ Certains modèles étudiés ont exclu les prises du sud de la sous-division 4Xp de l'OPANO.

5. MODÈLES OPÉRATIONNELS

Un ensemble de modèles opérationnels a été défini pour tenir compte de l'incertitude dans la dynamique historique et future du stock. Les principales sources d'incertitude pour la dynamique historique ont été prises en compte au moyen de trois modèles ajustés dans le WHAM avec des hypothèses structurelles différentes (section 4.2). Les modèles du WHAM ont été convertis en modèle opérationnel dans l'outil MSEtool (Hordyk *et al.* 2022) à l'aide d'une version modifiée de la fonction *WHAM2OM* de MSEtool. La fonction *WHAM2OM* modifiée génère un ensemble de simulations par échantillonnage à partir d'une distribution normale multivariée définie par les estimations des paramètres de modèle du WHAM et leur matrice des variances-covariances. Il en ressort des matrices pour le nombre d'individus par âge du stock, la mortalité par pêche selon l'âge et pour les modèles ayant des effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge, les termes d'erreur de traitement dans le nombre d'individus par âge (ε_{ay}). Pour chaque modèle, 100 simulations ont été générées afin de prendre en compte l'incertitude

dans les estimations des paramètres du modèle du WHAM correspondant. Les matrices pour le poids selon l'âge de la BSR, le poids selon l'âge des prises, la maturité selon l'âge et la mortalité naturelle selon l'âge, qui ont été utilisées comme données d'entrée variables dans le temps pour les modèles du WHAM, ont été alimentées à la fonction *WHAM2OM* modifiée et sont demeurées constantes dans toutes les simulations. R_0 était propre à la simulation, défini comme étant la médiane du nombre d'individus d'âge 1 pendant la période historique.

Le recrutement futur a été modélisé dans le modèle opérationnel comme recrutement médian (c.-à-d. le paramètre R_0) multiplié par un écart de recrutement annuel [$\exp(\varepsilon_{0y})$; Équ. 2]. La structure du modèle opérationnel de MSEtool utilise un âge de recrutement de zéro, donc la fonction *WHAM2OM* définit le modèle opérationnel en remplaçant le nombre d'individus d'âge 1 pour l'année y par le nombre d'individus d'âge 0 pour l'année $y - 1$ et définit une M de 1×10^{-6} (c.-à-d. environ 0) pour l'âge 0. Les valeurs du nombre d'individus par âge de l'année initiale sont des paramètres estimés par le modèle dans les modèles du WHAM. Dans MSEtool, les valeurs du nombre d'individus par âge de l'année initiale sont estimées en utilisant $a_{max} = 12$ (c.-à-d. le nombre de classes d'âge dans le modèle), les écarts de recrutement avant la première année de la période historique (1970), et en utilisant la mortalité naturelle selon l'âge de l'année initiale pour établir le nombre d'individus par âge de l'année initiale. La dynamique du stock du modèle opérationnel suit les équations suivantes :

$$N_{ay} = \begin{cases} R_0 \exp(\varepsilon_{0y}) & a = 0 \\ N_{a-1y-1} \exp(-F_{a-1y-1} - M_{a-1y-1}) & a \in (1, a_{max} - 1) \\ N_{a-1y-1} \exp(-F_{a-1y-1} - M_{a-1y-1}) + N_{ay-1} \exp(-F_{ay-1} - M_{ay-1}) & a = a_{max} \end{cases}$$

(Équ. 1)

Pour le modèle 3 avec des effets aléatoires sur les transitions du nombre d'individus par âge, le terme d'erreur de traitement du nombre d'individus par âge a été combiné au terme de la M dans la spécification de la dynamique du modèle opérationnel, c'est-à-dire que l'équation :

$$N_{ay} = N_{a-1y-1} \exp(-F_{a-1y-1} - M_{a-1y-1} + \varepsilon_{ay}) \quad (\text{Équ. 2})$$

a été prise en compte comme

$$N_{ay} = N_{a-1y-1} \exp(-F_{a-1y-1} - M'_{a-1y-1}) \quad (\text{Équ. 3})$$

où

$$M'_{a-1y-1} = M_{a-1y-1} - \varepsilon_{ay} \quad (\text{Équ. 4})$$

Des modifications ont été apportées à la fonction *WHAMOM*, à la fonction *Simulate*, à la fonction *Project* et à d'autres fonctions nommées au sein de ces fonctions dans le progiciel MSEtool pour tenir compte des valeurs négatives de la M . Il est à noter que M' n'a été utilisé que dans les transitions du nombre d'individus par âge (Équ. 1) et ne l'a pas été dans l'estimation des prises où les prises (C_{ay}) en nombres ont été calculées à partir de la M et non de la M' comme :

$$C_{ay} = N_{ay} \left(\frac{F_{ay}}{F_{ay} + M_{ay}} \right) (1 - \exp(-F_{ay} - M_{ay})) \quad (\text{Équ. 5})$$

Des comparaisons ont été effectuées entre les modèles du WHAM et la médiane pour 100 simulations des modèles opérationnels pour la BSR historique, la F entièrement sélectionnée et le recrutement afin de confirmer que la dynamique du modèle opérationnel prend vraiment en compte la dynamique du modèle du WHAM (figure 1). La matrice complète

du nombre d'individus par âge du modèle 1 du WHAM et la médiane pour 100 simulations du modèle opérationnel 1 sont présentées à la figure 2.

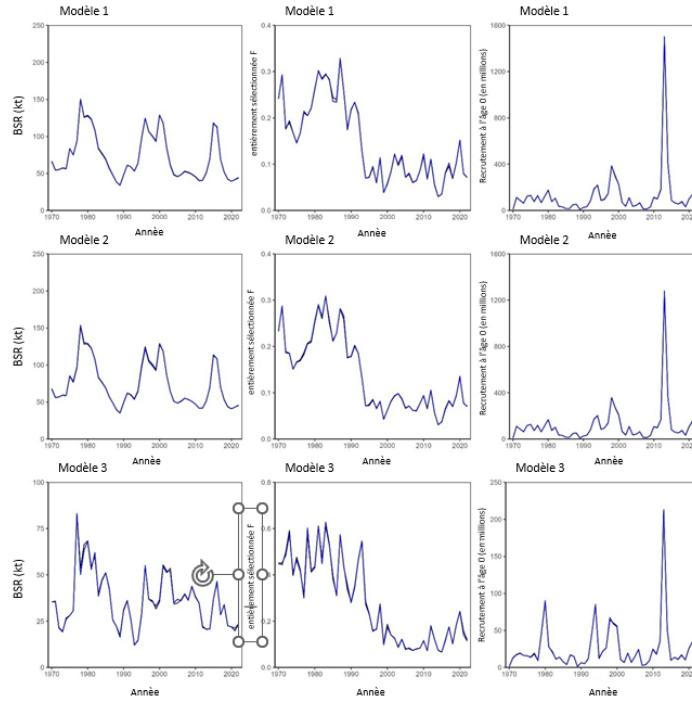


Figure 1. Comparaison de la biomasse du stock reproducteur (BSR) historique, de la mortalité par pêche entièrement sélectionnée (F) et du recrutement pour le modèle du WHAM (en bleu) par rapport à la médiane de 100 simulations du modèle opérationnel (en noir) pour le modèle 1 (rangée du haut), le modèle 2 (rangée du milieu) et le modèle 3 (rangée du bas).

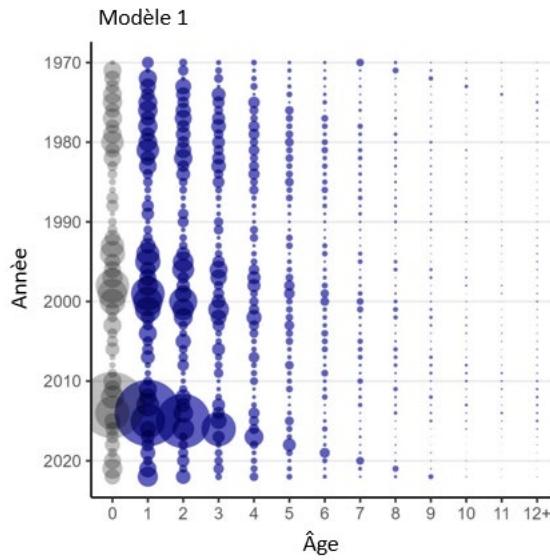


Figure 2. Comparaison de la matrice du nombre d'individus par âge du stock historique pour le modèle du WHAM (en bleu) par rapport à la médiane de 100 simulations du modèle opérationnel (en noir) pour le modèle 1. Les points sont montrés avec une transparence de 50 % et un taux de mortalité naturelle (M) de 1×10^{-6} est présumé pour l'âge 0 dans le modèle opérationnel.

Deux modèles opérationnels ont été définis pour chaque modèle du WHAM afin de tenir compte de l'incertitude dans la dynamique future du stock (tableau 4). Un ensemble de modèles opérationnels (modèles opérationnels 1, 2 et 3) a été défini, le recrutement futur étant échantonné au hasard à partir des recrutements historiques (excluant le recrutement pour la cohorte de 2013). L'objectif ici était de simuler des conditions compatibles avec un recrutement moyen sans cohortes importantes. Les autres hypothèses de projection pour ces modèles opérationnels sont décrites dans les sections suivantes et au tableau 4.

Le deuxième ensemble de modèles opérationnels (modèles opérationnels 1b, 2b et 3b) a été défini comme ayant les mêmes écarts de recrutement, écarts du nombre d'individus par âge (modèle opérationnel 3b), croissance, sélectivité et M dans la période de projection de 25 ans que ceux observés au cours des 25 dernières années précédentes (tableau 4), bien que la croissance ait été modélisée dans la période de projection afin de permettre une transition à partir du nombre d'individus par âge de l'année terminale (section 5.5). L'objectif ici était de simuler des conditions conformes à ce qui a été observé dans le passé, plus précisément en tenant compte de tout effet potentiel dépendant de la densité sur la M et le poids selon l'âge, ainsi qu'en simulant un événement de recrutement élevé. La progression de la forte cohorte au fil du temps crée un scénario supplémentaire de productivité sur lequel le rendement des procédures de gestion peut être évalué.

5.1 ERREUR DE TRAITEMENT FUTURE POUR LES ÉCARTS DU NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ÂGE

Les écarts d'erreur de traitement pour les transitions du nombre d'individus par âge du modèle opérationnel 3 ont été projetés conformément à la poursuite du processus AR1 sans correction de biais, de sorte que l'écart (ε) pour l'âge a ($a > 1$) dans l'année de projection y était :

$$\varepsilon_{ay} = \rho_{year} \varepsilon_{a,y-1} \quad (\text{Équ. 6})$$

Les écarts d'erreur de traitement pour les transitions du nombre d'individus par âge pour le modèle opérationnel 3b devraient correspondre aux écarts historiques propres à la simulation des années 1998 à 2022.

5.2 SÉLECTIVITÉ FUTURE

La sélectivité variable dans le temps a été présumée dans les modèles du WHAM, soit sous forme de sélectivité annuelle (modèle 1 et modèle 3), soit comme sélectivité avec une erreur de traitement sur les paramètres de sélectivité (modèle 2). L'un des défis liés à la sélectivité variable dans le temps est de décider comment projeter la sélectivité future. Une hypothèse pour la sélectivité variable dans le temps est que, lorsqu'il y a un événement de recrutement important, la sélectivité des petits poissons devient plus élevée en raison de la présence d'une forte cohorte. Cette hypothèse a été mise à l'essai en étudiant la relation entre les paramètres de sélectivité (k et a_{50}) et deux mesures de la force de la cohorte : 1) le modèle a estimé le nombre d'individus d'âge 1 et 2 la moyenne du modèle a estimé le nombre d'individus d'âge 1 et le nombre d'individus d'âge 2 pour la cohorte, chacun évalué à l'aide de décalages temporels de 0, 1 et 2 ans. Une relation linéaire significative a été détectée pour les paramètres de sélectivité k et a_{50} par rapport au nombre d'individus d'âge 1 estimé pour le modèle 1 et le modèle 3, qui montrait une sélectivité annuelle (figure 3). Seul le paramètre k avait une relation linéaire significative avec le nombre d'individus d'âge 1 pour le modèle 2, ce qui a eu des effets aléatoires sur les paramètres de sélectivité (figure 3). Les régressions ont été effectuées au cours de la période de 1990 à 2022, où il semblait y avoir une relation linéaire (unique par rapport à l'ensemble de la série chronologique) fondée sur l'inspection des diagrammes de dispersion. Les variables prédictives avec un décalage temporel de 0 an pour le nombre

d'individus d'âge 1 présentant le meilleur ajustement (c.-à-d. valeur p la plus faible et le coefficient de détermination le plus élevé) et les forces des régressions réalisées à l'aide de la variable prédictive du nombre d'individus d'âge 1 étaient essentiellement impossibles à distinguer de celles utilisant la moyenne du nombre d'individus d'âge 1 et du nombre d'individus d'âge 1 estimé par le modèle pour la cohorte.

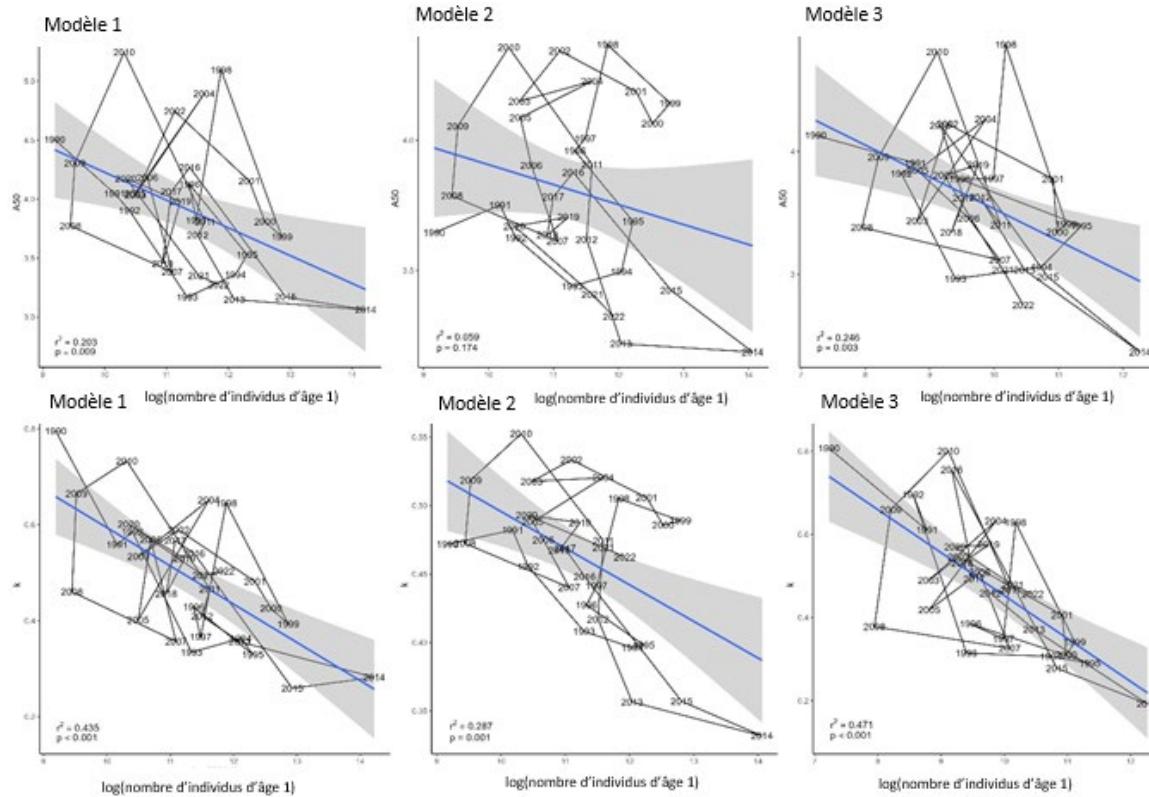


Figure 3. Diagramme de dispersion et régression linéaire des estimations des paramètres de sélectivité (A50 et k) par rapport au $\log(\text{nombre d'individus d'âge 1})$ pour chaque modèle de 1990 à 2022. La zone ombrée en gris représente l'intervalle de confiance à 95 %.

5.3 TAUX DE MORTALITÉ NATURELLE (M) FUTURE

On a projeté les futures valeurs de la M pour le modèle opérationnel 1 et le modèle opérationnel 2 à l'aide de la relation estimée par le modèle entre la M et le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO (figure 4), décalée d'un an, alors que la projection du nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO a été estimée avec une erreur d'observation, comme il est décrit à la section 7.2. On a supposé que la future M pour le modèle opérationnel 3 était fixée à 0,2.

Les valeurs de la future M pour les modèles 1b, 2b et 3b devraient correspondre aux valeurs de la M historique propres à la simulation des années 1998 à 2022.

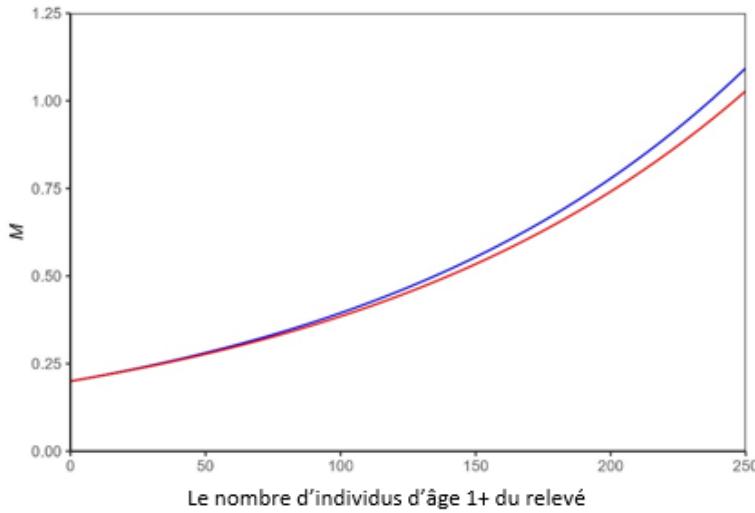


Figure 4. Graphique de la relation estimée par le modèle entre le taux de mortalité naturelle (M) et le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO, décalée d'un an pour le modèle 1 (bleu) et le modèle 2 (rouge).

5.4 RECRUTEMENT FUTUR

Le recrutement futur (l'âge du recrutement dans les modèles opérationnels est de 0) a été projeté pour les modèles opérationnels 1 à 3 en échantillonnant à nouveau les écarts de recrutement par rapport à la période historique, excluant le recrutement de 2013. Pour tenir compte de l'incertitude dans la dynamique du recrutement sous la BSR minimale observée, on a supposé une relation stock-recrutement (RSR) en forme de bâton de hockey avec un point de changement à la BSR minimale observée pour chaque simulation et le recrutement historique médian pour cette simulation. Le segment de la ligne ressemblant à une lame de bâton de hockey reliait le point de changement et l'origine (figure 5). Cette RSR a été projetée en multipliant l'écart de recrutement pour l'année y par un facteur de $\frac{SSB_y}{SSB_{min}}$ quand la BSR de l'année en cours (SSB_y) était inférieure à la BSR historique minimale (SSB_{min}).

Le recrutement futur pour les modèles opérationnels 1 à 3 reposait donc sur l'hypothèse que le recrutement futur serait cohérent avec le recrutement historique, à l'exception des recrutements exceptionnellement importants (comme en 2013). Ces grands événements de recrutement ont été pris en compte dans le deuxième ensemble de modèles opérationnels. L'hypothèse selon laquelle le recrutement diminue de façon linéaire par rapport au recrutement médian sous la BSR minimale observée jusqu'à l'origine est conforme à l'hypothèse utilisée pour le stock de type 5 du CIEM (c.-à-d. des stocks ne montrant aucun signe d'un recrutement compromis ou sans une relation claire entre le stock et le recrutement) [CIEM 2021].

Le recrutement futur pour les modèles opérationnels 1b, 2b et 3b devrait correspondre aux recrutements historiques propres à la simulation des années 1998 à 2022 (tableau 4).

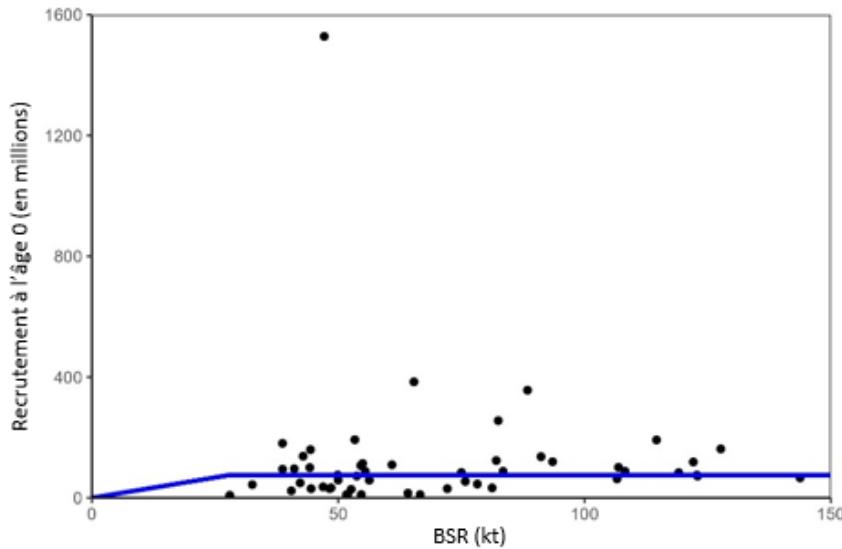


Figure 5. La relation stock-recrutement en forme de bâton de hockey (ligne bleue) pour une simulation pour modèle opérationnel 1, avec le point de changement à la biomasse du stock reproducteur (BSR) historique minimale et au recrutement historique médian.

5.5 CROISSANCE FUTURE

Une étude des relations entre les paramètres de croissance de von Bertalanffy (estimés par cohorte) et des mesures de la force de la cohorte a été réalisée de façon semblable à l'étude de la sélectivité (section 5.2), mais aucune relation significative n'a été détectée.

Pour les modèles opérationnels 1 à 3, le poids selon l'âge futur du stock a été projeté comme un poids selon l'âge estimé par le modèle par région (baie de Fundy par opposition au plateau néo-écossais), pondéré par les prises du relevé. Cela a été estimé précisément en modélisant la longueur selon l'âge à l'aide d'un modèle de croissance à deux paramètres de von Bertalanffy à partir des valeurs moyennes de longueur selon l'âge de 2018 à 2022 (figure 6). La longueur selon l'âge a été convertie en poids selon l'âge (figure 7) à l'aide des paramètres de la relation poids-longueur moyenne du relevé. Le poids selon l'âge global du stock (figure 7) a été estimé comme la moyenne pondérée du poids selon l'âge par région, en utilisant des pondérations proportionnelles du nombre d'individus par âge moyen, par région, de 2018 à 2022.

Pour les modèles opérationnels 1b à 3b, on a projeté une estimation de la longueur selon l'âge par modèle pour les cohortes jusqu'en 2022 (section 5.5.1; figure 8; figure 9) convertie en poids selon l'âge du stock au moyen de la relation poids-longueur du relevé du MPO, puis revenant au poids selon l'âge historique du stock au cours des 25 dernières années pour compléter les valeurs restantes du poids selon l'âge (figure 10). L'utilisation de la longueur selon l'âge estimée par le modèle pour les cohortes récentes a permis une transition plus facile entre le poids selon l'âge de l'année terminale vers le poids selon l'âge du stock projeté, et a permis la poursuite d'une croissance plus lente dans les cohortes récentes jusqu'à la période de projection pour les modèles opérationnels 1b à 3b (figure 10). Le poids selon l'âge des prises projeté pour tous les modèles opérationnels a été estimé comme le ratio moyen du poids selon l'âge des prises par rapport au poids selon l'âge du stock au cours des 25 dernières années (figure 11) multiplié par le poids selon l'âge du stock estimé par le modèle pour les modèles opérationnels 1 à 3 et pour les modèles opérationnels 1b à 3b pour les cohortes jusqu'en 2022. Les valeurs restantes du poids selon l'âge des prises des modèles opérationnels 1b à 3b ont été remplies à l'aide du poids selon l'âge historique des prises au cours des 25 dernières années (figure 11).

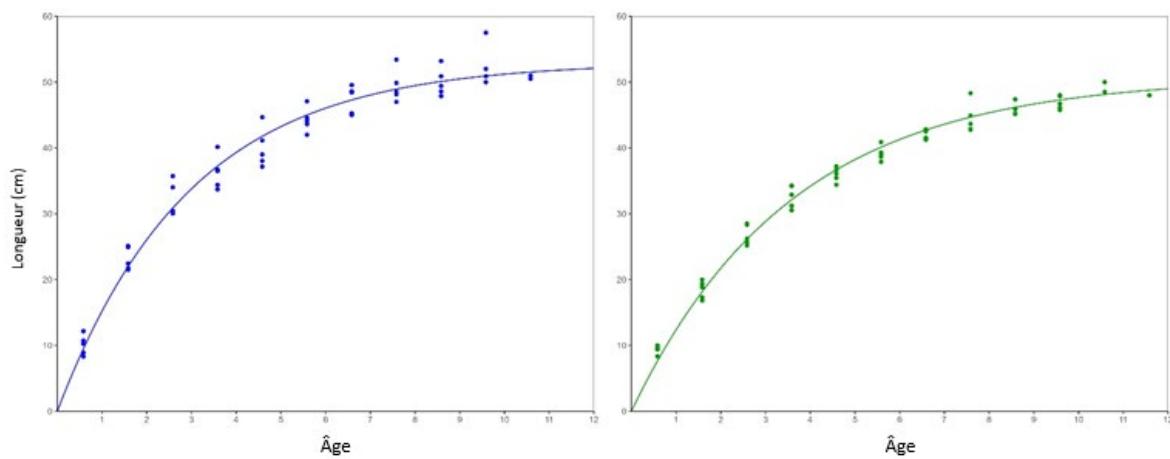


Figure 6. Longueur selon l'âge moyen du relevé du MPO (ajustée pour le moment du relevé au cours du mois 7) avec un modèle de croissance de von Bertalanffy à deux paramètres pour la baie de Fundy (en bleu; graphique de gauche) et le plateau néo-écossais (en vert; graphique de droite) en utilisant les données de 2018 à 2022.

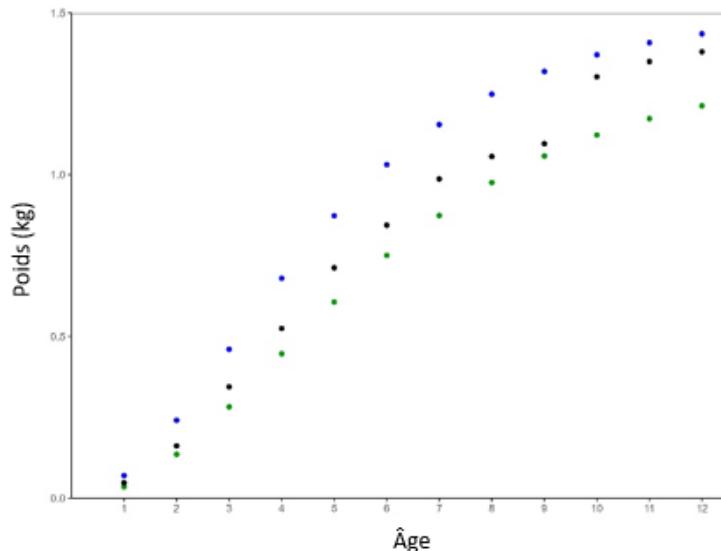


Figure 7. Estimation du poids selon l'âge du stock pour la baie de Fundy (en bleu) et le plateau néo-écossais (en vert) à l'aide des modèles de longueur selon l'âge de la figure 6 et des relations poids-longueur du relevé. Le poids selon l'âge du stock (en noir) est estimé comme la moyenne pondérée du poids selon l'âge, avec des pondérations proportionnelles du nombre d'individus par âge du relevé, par région.

5.5.1 Modèle de la longueur selon l'âge

La longueur selon l'âge future du stock pour les cohortes ayant fait l'objet d'au moins une observation dans les données historiques a été prédite à l'aide d'un modèle d'espace d'états afin de tenir compte de la croissance initiale des cohortes récentes suivant une approche semblable à celle de l'aiglefin du golfe du Maine (C. Perretti, NFSC, comm. pers.). Le modèle prédit une longueur selon l'âge annuelle pour les données sur le stock (relevé du MPO). La longueur selon l'âge pour la cohorte c ($L_{a,c}$) a été estimée à l'aide d'un modèle de croissance de von Bertalanffy à deux paramètres :

$$\log(L_{ac}) = \log(L_{\infty c}) + \log(1 - e^{-k_c a}) + \varepsilon_{ac}, \varepsilon_{ac} \sim N(0, \sigma_L^2) \quad (\text{Équ 7})$$

avec les paramètres L_∞ et k et le terme d'erreur ε_{ac} . Un modèle de processus de corrélation AR1 a été supposé pour les paramètres de croissance de von Bertalanffy :

$$k_c | k_{c-1} \sim N(\varphi_k, k_{c-1} \sigma_k^2) \quad (\text{Équ. 8})$$

$$L_{\infty c} | L_{\infty c-1} \sim N(\varphi_{L_\infty}, L_{\infty c-1} \sigma_{L_\infty}^2) \quad (\text{Équ. 9})$$

Les observations comportant des longueurs manquantes ont été ajoutées à la matrice des longueurs selon l'âge et par année pour les années de projection qui contiennent des âges dans les cohortes historiques (p. ex. les âges 1 à 12+ dans l'année de projection 1 correspondent aux cohortes de 2022 à 2011, et les âges 2 à 12+ dans l'année de projection 2 correspondent aux cohortes de 2022 à 2012). Les estimations de longueurs pour ces valeurs absentes ont été effectuées par le modèle en traitant les valeurs absentes comme des effets aléatoires (figure 8). Les modèles ont été ajustés à l'aide de RTMB (Kristensen 2024).

Les valeurs de la longueur selon l'âge estimées par le modèle par cohorte (figure 9) ont été converties en estimations du poids selon l'âge à l'aide des relations poids-longueur annuelles du relevé du MPO (Barrett et Barrett, sous presse ¹). La relation poids-longueur pour 2022 a été utilisée pour estimer le poids selon l'âge pour les années futures.

D'autres modèles ont été étudiés, mais n'ont pas convergé. Ces modèles comprenaient l'estimation des relations poids-longueur dans le même modèle de la longueur selon l'âge, et l'estimation d'une longueur selon l'âge des prises avec un paramètre L_∞ partagé avec le modèle de la longueur selon l'âge du relevé.

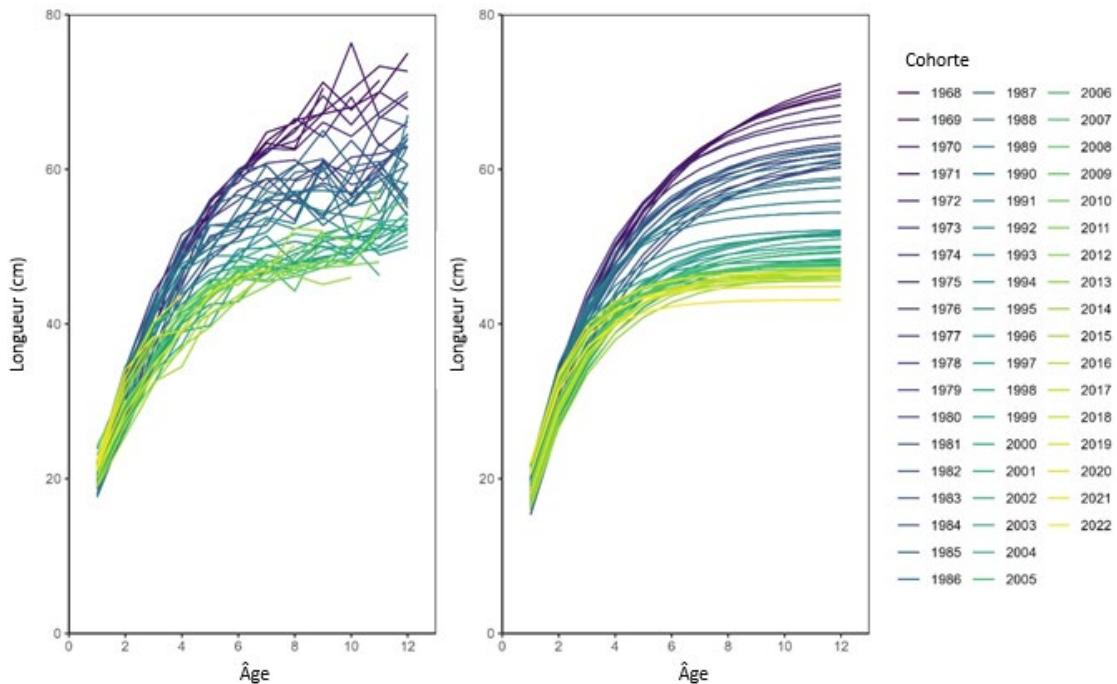


Figure 8. Longueur selon l'âge empirique moyenne (graphique de gauche) et estimée par le modèle (graphique de droite) par cohorte, pour l'aiglefin des divisions 4X5Y.

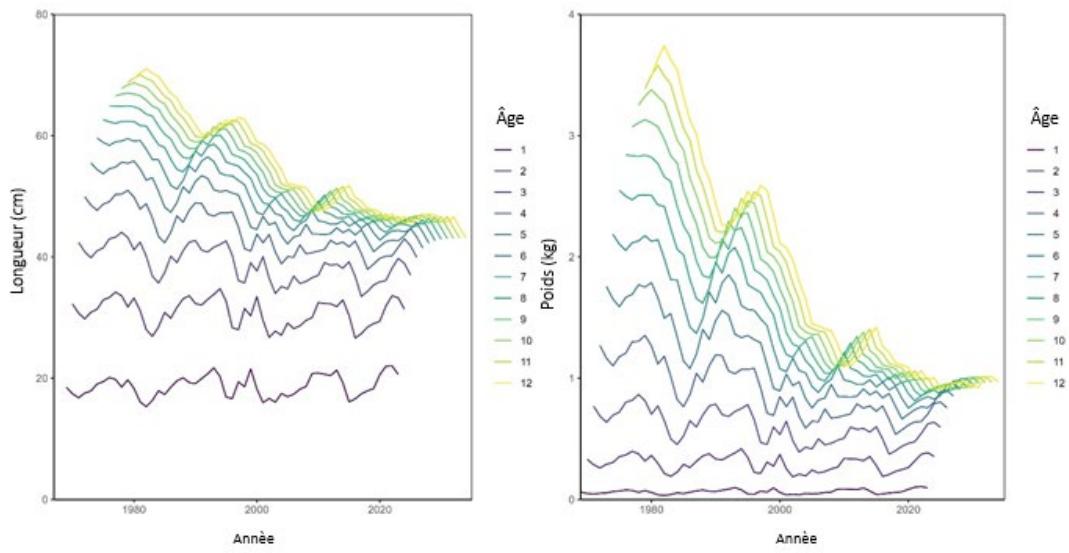


Figure 9. Longueur selon l'âge (graphique de gauche) et poids selon l'âge (convertis à partir de la relation longueur selon l'âge et poids-longueur du relevé; graphique de droite) estimés par le modèle, représentés par année pour illustrer les projections de la longueur selon l'âge et du poids selon l'âge pour les cohortes jusqu'en 2022.

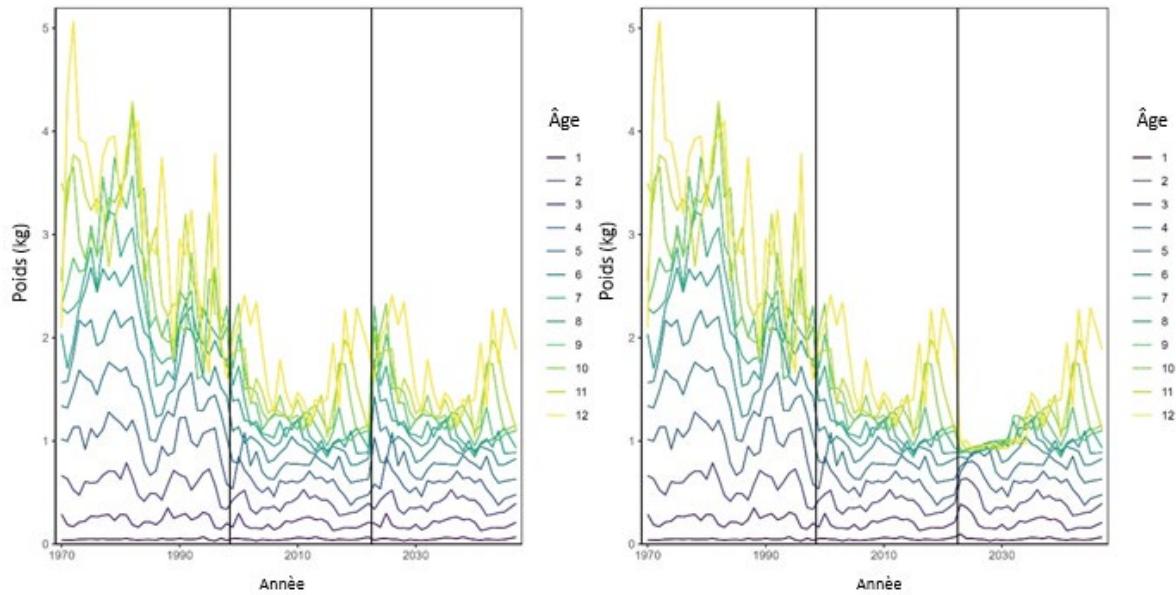


Figure 10. Poids selon l'âge empirique historique et poids selon l'âge projeté en supposant un poids selon l'âge de 1998 à 2022 (graphique de gauche) et un poids selon l'âge projeté en utilisant la longueur selon l'âge estimée par modèle pour les cohortes jusqu'en 2022, puis en revenant au poids selon l'âge de 1998 à 2022 pour compléter les valeurs restantes (graphique de droite).

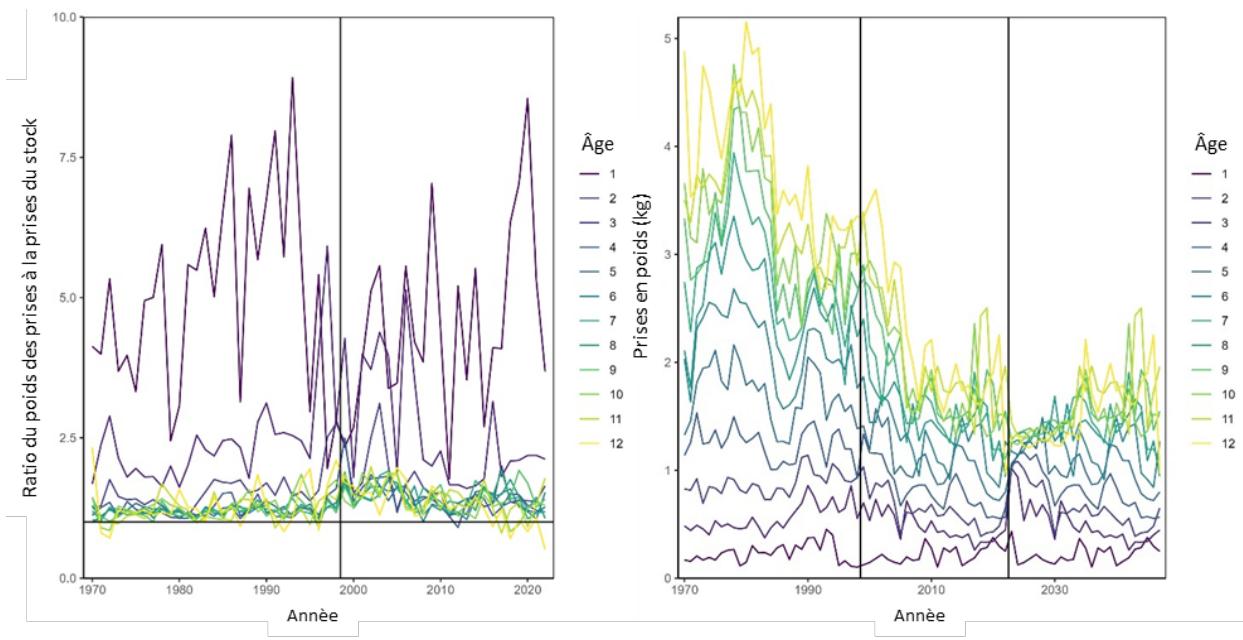


Figure 11. Ratio du poids selon l'âge empirique historique des prises par rapport au poids selon l'âge du stock (ratio; graphique de gauche) et du poids selon l'âge des prises projeté en supposant que le poids selon l'âge des prises est le poids selon l'âge du stock projeté (mis à l'échelle en utilisant le ratio moyen du poids selon l'âge des prises par rapport au poids selon l'âge du stock) pour les cohortes jusqu'en 2022, puis revenant au poids selon l'âge des prises de 1998 à 2022 pour compléter les valeurs restantes (graphique de droite).

5.6 MATURITÉ FUTURE

Depuis 1985, le relevé du MPO n'a fourni que des données limitées sur la maturité (Barrett et Barrett, sous presse 1). Les données d'entrée pour chaque modèle pour la période de 1986 à 2022 étaient la maturité moyenne selon l'âge, pondérée par les débarquements par région. La maturité projetée a donc été supposée être la maturité moyenne sur les cinq dernières années historiques pour les modèles opérationnels 1 à 3 (tableau 3).

La maturité selon l'âge future pour les modèles opérationnels 1b, 2b et 3b devrait correspondre à la maturité selon l'âge historique propre à la simulation des années 1998 à 2022 (c.-à-d. très semblable aux cinq dernières années historiques).

Tableau 3. Maturité selon l'âge future de l'aiglefin des divisions 4X5Y pour les modèles opérationnels 1 à 3.

Âge	0	1	2	3	4	5	6	7+
Proportion d'individus matures	0	0,061	0,320	0,795	0,966	0,996	0,999	1,000

5.7 PONDÉRATION DES MODÈLES OPÉRATIONNELS

La principale incertitude de l'ensemble des trois modèles du WHAM est de savoir si la dynamique de la population est caractérisée par une M variable dans le temps, en utilisant le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO comme covariable (modèles opérationnels 1 et 2) ou en utilisant des effets aléatoires sur les transitions du nombre d'individus par âge (modèle

opérationnel 3). Pour l'évaluation du rendement des procédures de gestion, une pondération égale a été accordée à chaque incertitude. Elle a été accordée à l'incertitude dans le paramétrage de la sélectivité (sélectivité annuelle des pêches ou effets aléatoires sur les paramètres de sélectivité des pêches) pour les modèles opérationnels 1 et 2, ce qui donne une pondération de 0,25, 0,25 et 0,5 pour les modèles opérationnels 1, 2 et 3, respectivement.

Pour l'évaluation du rendement des procédures de gestion dans les modèles opérationnels 1b, 2b et 3b, on a utilisé la même pondération de 0,25, 0,25 et 0,5, respectivement.

Tableau 4. Hypothèses de projection pour chaque modèle opérationnel (modèle opérationnel).

Nom du modèle opérationnel	Modèle du WHAM pour la dynamique historique	Erreur de traitement future pour les écarts du nombre d'individus par âge	Sélectivité future	M future	Écarts du recrutement futurs	Poids selon l'âge futur	Proportion d'individus matures selon l'âge
modèle opérationnel 1	Modèle 1	–	Relation de sélectivité/recrutement ¹	Estimation ²	Nouvel échantillonnage ³	Estimation à partir des cinq dernières années ⁵	Moyenne des cinq dernières années
modèle opérationnel 2	Modèle 2	–	Poursuite de la corrélation du processus AR1	Estimation ²	Nouvel échantillonnage ³	Estimation à partir des cinq dernières années ⁵	Moyenne des cinq dernières années
modèle opérationnel 3	Modèle 3	Poursuite de la corrélation du processus AR1	Relation de sélectivité/recrutement ¹	0,2	Nouvel échantillonnage ³	Estimation à partir des cinq dernières années ⁵	Moyenne des cinq dernières années
modèle opérationnel 1b	Modèle 1	–	Sélectivité historique de 1998 à 2022	M historique de 1998 à 2022	Écarts de recrutement historiques ⁴	Estimation pour les cohortes jusqu'en 2022 ⁶	Maturité selon l'âge historique ⁷
modèle opérationnel 2b	Modèle 2	–	Sélectivité historique de 1998 à 2022	M historique de 1998 à 2022	Écarts de recrutement historiques ⁴	Estimation pour les cohortes jusqu'en 2022 ⁶	Maturité selon l'âge historique ⁷
modèle opérationnel 3b	Modèle 3	Écarts historiques de 1998 à 2022	Sélectivité historique de 1998 à 2022	M historique de 1998 à 2022	Écarts de recrutement historiques ⁴	Estimation pour les cohortes jusqu'en 2022 ⁶	Maturité selon l'âge historique ⁷

¹ Estimation à partir de la relation entre les paramètres de sélectivité et le recrutement de 1990 à 2022 (voir la figure 3).

² Estimation à partir de la relation du modèle du WHAM entre la M et le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé.

³ Nouvel échantillonnage à partir des données historiques sans le recrutement à l'âge 0 de 2013, ajusté au moyen d'une RSR en forme de bâton de hockey.

⁴ Écarts de recrutement historiques de 1998 à 2022.

⁵ Estimation par le modèle à l'aide des relations longueur selon l'âge et poids-longueur des cinq dernières années.

⁶ Estimation par le modèle pour les cohortes jusqu'en 2022 et poids selon l'âge historique de 1998 à 2022.

⁷ Maturité selon l'âge historique de 1998 à 2022.

Un tiret (–) signifie « sans objet » pour ce modèle; NAA = nombre d'individus par âge; AR1 = autorégression de premier ordre; RSR = relation stock-recrutement; LAA = longueur selon l'âge; M = taux de mortalité naturelle; WHAM = modèle d'évaluation de Woods Hole

5.8. PRISE EN COMPTE DE MODÈLES OPÉRATIONNELS SUPPLÉMENTAIRES

À la demande des examinateurs au cours de la réunion d'examen par les pairs, on a étudié un ensemble supplémentaire de modèles pour tenir compte d'un scénario de faible productivité (recrutement moyen sans grand événement de recrutement semblable à celui de la cohorte de 2013), mais tout en conservant une chance d'observer une M élevée. Les modèles opérationnels ont été nommés 1c et 2c avec les mêmes hypothèses de projection que les modèles opérationnels 1 et 2, respectivement, mais avec une M échantillonnée de façon aléatoire à partir des valeurs historiques de la M . Sur la base de cette étude, il a été déterminé que les valeurs de la M plus élevées (qui ne dépendent pas de la densité) ont une grande incidence sur les avis sur les prises et, bien que le scénario de productivité puisse potentiellement se produire à l'avenir, il ne correspond pas à ce qui a été observé dans le passé, de sorte que ces modèles opérationnels n'ont pas été inclus dans l'évaluation des procédures de gestion. Il peut falloir plusieurs années pour détecter un changement de productivité, qui correspondrait à un faible recrutement et à une M élevée, et cette situation serait prise en compte dans des circonstances exceptionnelles (voir la section 12).

6. POINTS DE RÉFÉRENCE

Le choix des points de référence pour l'aiglefin des divisions 4X5Y était conforme au cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution (politique de l'approche de précaution; MPO 2009) et aux lignes directrices récemment définies pour la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons dans la *Loi sur les pêches* (MPO 2022). Les principales composantes de la politique de l'approche de précaution sont les points de référence et les zones d'état du stock (zone saine, zone de prudence et zone critique), la stratégie et les règles de décision pour les pêches, ainsi que la nécessité de tenir compte de l'incertitude et du risque lors de l'élaboration des points de référence et des règles de décision et de la mise en œuvre de ces dernières (MPO 2009). Les dispositions relatives aux stocks de poissons établissent des obligations juridiquement contraignantes pour le MPO de :

- gérer les grands stocks de poissons prescrits aux niveaux requis pour promouvoir la durabilité (article 6.1);
- élaborer et mettre en œuvre des plans de rétablissement des grands stocks de poissons prescrits qui ont diminué jusqu'à leur PRL ou sous celui-ci, afin de faire croître le stock au-dessus de ce point (article 6.2);
- prescrire la liste des stocks halieutiques auxquels s'appliquent les dispositions dans le règlement (article 6.3).

Une définition claire du PRL et de son rôle est importante, car il est l'élément déclencheur d'un plan de rétablissement dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons. Le PRL représente la limite supérieure de l'état d'un stock qu'il faut se garder d'atteindre afin d'éviter que des dommages graves soient causés au stock, et il constitue la limite entre la zone critique et la zone de prudence selon la politique de l'approche de précaution (MPO 2009a). Le PRS marque la limite entre les zones de prudence et saine de l'état du stock de la politique de l'approche de précaution. Lorsque la biomasse est inférieure au PRS, il faut réduire les prélèvements pour éviter que le PRL ne soit atteint (MPO 2009). Un taux d'exploitation de référence et un point de référence cible facultatif (qui peut différer du PRS) sont également des points de référence définis dans la politique de l'approche de précaution (MPO 2009). Le rôle de la Direction des sciences du MPO consiste à définir le PRL, et c'est la Gestion des ressources du MPO qui définit le PRS, en consultation avec les parties intéressées. À ce titre, la Direction des sciences du MPO fournira des avis sur un ou plusieurs PRS proposés qui seront

examinés lors d'une réunion du Comité consultatif du poisson de fond de la région Scotia-Fundy. Le taux d'exploitation de référence de la politique de l'approche de précaution est défini comme le taux d'exploitation maximal acceptable du stock (MPO 2009). Il peut donc être interprété comme étant le taux d'exploitation défini par la procédure de gestion qui sera choisie au moyen du cadre d'évaluation de la procédure de gestion, puisque cette procédure de gestion précisera un taux d'exploitation qui permet d'atteindre les objectifs de conservation de la politique de l'approche de précaution et des dispositions relatives aux stocks de poissons.

On a défini deux points de référence pour la mortalité par pêche (F) du stock afin d'appuyer l'examen des procédures de gestion. Il s'agissait de $F_{\text{lim}} = F_{\text{effondrement}}$, définie comme une F constante qui mènerait à l'effondrement du stock à long terme (voir la section 6.3) et de $F_{\text{réf}} = F_{\text{AP}}$, une F constante qui donne un rendement maximal (conforme au concept de F au rendement maximum durable) tout en maintenant une forte probabilité d'éviter le PRL à long terme. Cette définition est conforme à la définition d'une F_{AP} du CIEM (2021), qui est une F « sous laquelle l'exploitation est considérée comme durable, compte tenu de l'incertitude liée à l'estimation [traduction libre] ».

6.1 RÔLES DES POINTS DE RÉFÉRENCE

Les points de référence peuvent jouer plusieurs rôles, et le rôle du PRL peut être confondu dans un cadre comportant de multiples modèles et où le PRL peut également figurer dans les mesures du rendement et les règles de contrôle des prises. Nous décrivons trois rôles des points de référence dans ce cadre, conformément à l'orientation du MPO sur l'état du stock et les PRL en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons (Barrett *et al.* 2024).

Rôle 1 : Composante des objectifs de gestion et des mesures du rendement

Les points de référence peuvent jouer un rôle dans les objectifs de gestion. Par exemple, l'objectif de « Maintenir le stock au-dessus du PRL » (tableau 1) comprend le PRL. Dans ce contexte, le PRL est défini comme le PRL propre au modèle opérationnel et à la simulation. Il existe plusieurs façons de quantifier la probabilité d'une chute sous le PRL dans une mesure du rendement (CIEM 2013). Dans ce cadre, la probabilité que la BSR tombe en deçà du PRL a été définie comme étant la moyenne annuelle de $P(\text{BSR} < \text{PRL})$ au cours de la période de projection indiquée. Les mesures du rendement ont été calculées pour tous les modèles opérationnels pondérés (voir l'approche de pondération à la section 5.7), conformément à la méthode de la Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna définie dans CIEM (2020).

Rôle 2 : Mesure de l'état du stock

La dynamique historique de la pêche a été caractérisée par trois modèles d'évaluation du stock : le modèle 1, le modèle 2 et le modèle 3. Chaque modèle a son propre ensemble de points de référence (c.-à-d. PRL, PRS). L'état du stock aux fins de la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons est estimé au moyen d'une approche d'ensemble, à l'aide des pondérations du modèle décrites à la section 5.7, soit 0,25, 0,25 et 0,5 pour les modèles 1, 2 et 3, respectivement. Cette approche est conforme à celle utilisée pour la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*; MPO 2020) et à l'orientation du MPO sur l'état du stock et les PRL en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons (MPO 2023b; Barrett *et al.* 2024). L'indicateur de l'état du stock est le ratio pondéré par le modèle de la BSR par rapport au PRL pour toutes les simulations. La probabilité de chuter sous le PRL est estimée comme étant la proportion des simulations pondérée par le modèle montrant la BSR sous le PRL. Une baisse en deçà du PRL est définie lorsque 50 % des simulations montrent une BSR inférieure au PRL,

conformément aux lignes directrices pour la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons de la *Loi sur les pêches* (MPO 2022).

L'objectif de ce cadre est de désigner une procédure de gestion qui permet de fournir des avis sur les prises futures. À l'avenir, la source de données qui sera utilisée pour éclairer la taille du stock (et par conséquent les avis sur les prises en utilisant la procédure de gestion) est l'indice du relevé du MPO. Bien que la procédure de gestion soit utilisée pour donner des avis sur les prises futures, un modèle d'évaluation du stock n'est pas ajusté chaque année à venir. Un déclencheur de surveillance de l'état du stock est donc nécessaire dans les années intérimaires entre les cadres de modélisation pour déterminer si le stock a pu tomber sous le PRL.

L'indicateur est la moyenne mobile sur trois ans de l'indice du relevé du MPO, avec le déclenchement d'une évaluation à une valeur de la moyenne mobile sur trois ans inférieure à la moyenne pondérée (entre les modèles opérationnels) et au PRL ajusté en fonction de la q . Ce déclencheur est décrit dans les circonstances exceptionnelles (section 12) du présent cadre d'évaluation des procédures de gestion.

Rôle 3 : Points de contrôle opérationnel

Dans la politique de l'approche de précaution du MPO, le PRL et le PRS servent de points de contrôle opérationnel dans la politique par défaut de la règle de contrôle des prises (RCP). Bien que le PRL et le PRS estimés par le modèle puissent servir à éclairer les points de contrôle d'une RCP à mettre à l'essai dans ce cadre, il n'est pas nécessaire que les points de contrôle d'une RCP soient fondés sur le PRL et le PRS. Pour éviter toute confusion, les termes « point de contrôle supérieur » et « point de contrôle inférieur » seront utilisés pour décrire les points d'une RCP, au lieu d'utiliser n'importe quelle mention des points de référence. Ce concept est examiné plus en détail à la section 9.

6.2 POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE (PRL)

Indicateur

La BSR a été choisie comme indicateur pour représenter la capacité de reproduction du stock. Les modèles estiment la BSR annuelle (à une proportion de l'année = 0,4, pour donner une approximation du moment de la fraie) et l'incertitude dans la BSR est prise en compte par les 100 simulations. Les données annuelles sur la fécondité ne sont pas disponibles pour le stock; cependant, des données sur la fécondité étaient disponibles pour le stock d'aiglefin de l'est du banc de Georges voisin en 2019 (Acheson 2020), et elles ont été utilisées dans le présent document pour évaluer l'hypothèse d'isométrie (p. ex. la fécondité est proportionnelle au poids corporel; Marshall *et al.* 2021). La pente de régression du log(fécondité) sur le log(poids corporel) était de 1,21 avec un intervalle de confiance à 95 % qui ne chevauche pas zéro (figure 12), ce qui indique que la fécondité n'est pas proportionnelle au poids corporel.

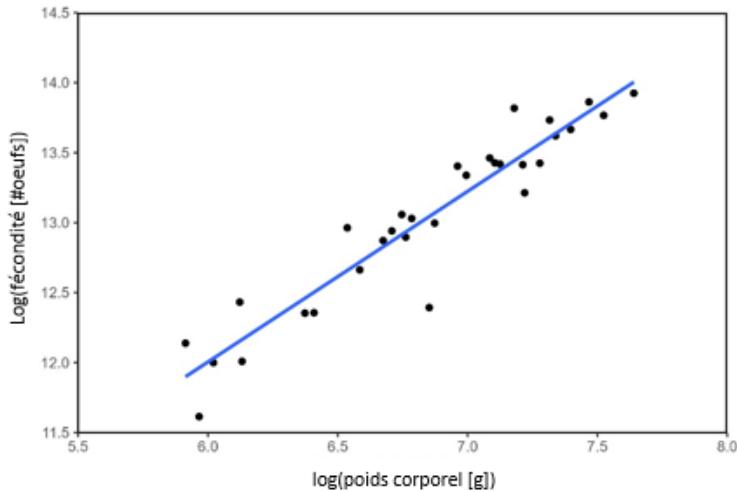


Figure 12. Régression linéaire du $\log(\text{fécondité})$ sur le $\log(\text{poids corporel})$ pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges prélevé en 2019 avec une pente de 1,22 et un intervalle de confiance à 95 % (1,06, 1,38).

Méthodes

Les PRL sont généralement définis en fonction d'une proportion de la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD}), ou d'une proportion de la biomasse non exploitée (B_0), ou d'une approximation de ceux-ci (Sainsbury 2008; MPO 2023b). Les estimations de la B_{RMD} sont fondées sur une RSR, et en son absence, on peut utiliser une approximation de la biomasse à l'équilibre de la pêche à $F_X\%$ (c.-à-d. la F donnant un ratio du potentiel de reproduction [RPR] de $X\%$). Par exemple, pour les stocks à productivité moyenne (MF 2011), on utilise couramment une approximation de la B_{RMD} de la biomasse à l'équilibre de la pêche à $F_{40}\%$ (p. ex. Georges Bank Haddock, NFSC en prép.²; Gulf of Maine Haddock, NFSC en prép.²). Le RPR (Gabriel *et al.* 1989) est défini comme la BSR par recrue (φ) à une F constante à long terme donnée divisée par le φ à la F à long terme = 0 (c.-à-d. le $RPR = \varphi_F / \varphi_0$).

Les défis liés à la définition des points de référence fondés sur la biomasse à l'équilibre pour l'aiglefin des divisions 4X5Y sont que le stock a connu des changements de productivité au fil du temps (p. ex. déclin de la croissance [figure 9], changements temporels de la M [modèles 1 et 2, figure 13] ou écarts des changements temporels de la survie [c.-à-d., transition du nombre d'individus par âge; modèle 3], et recrutement spasmodique [figure 5]). Les points de référence à l'équilibre ont donc été estimés selon les scénarios de productivité présumés dans les projections à long terme pour les modèles opérationnels 1, 2 et 3 (c.-à-d. la productivité définie par le poids selon l'âge projeté, la sélectivité selon l'âge, la maturité selon l'âge, la M selon l'âge et, dans le cas du modèle opérationnel 3, les écarts de la survie) avec un recrutement historique médian (R_0), mais en supposant une RSR en forme de bâton de hockey qui réduit le recrutement sous la BSR minimale observée (section 5.4). Compte tenu de la variabilité de la M annuelle obtenue dans les projections à long terme (figure 13), une M à l'équilibre à long terme pour les modèles opérationnels 1 et 2 a été estimée comme étant la M moyenne sur les années de projection 26 à 50 pour chaque modèle opérationnel (figure 13).

² Northeast Fisheries Science Center (NFSC), en préparation. 2022 Management Track Assessment Report for Gulf of Maine Haddock. US Dept Commer. Northeast Fish Sci Cent Ref Doc.

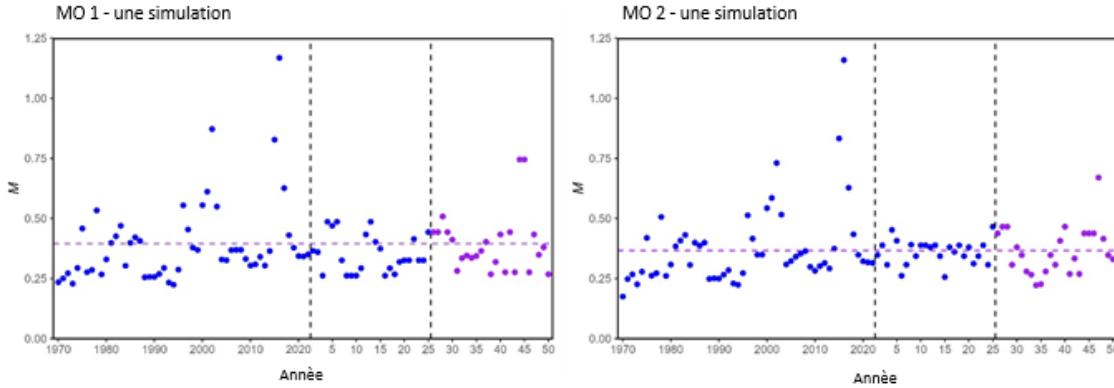


Figure 13. Taux de mortalité naturelle historique (M) pour la série chronologique (années 1970 à 2022) et pour les projections sur 50 ans (années 1 à 50 sur l'axe des x), sous $F = 0$ pour une simulation pour les modèles opérationnels 1 et 2. La valeur moyenne pour les années de projection 26 à 50 (en violet) est indiquée sous forme de ligne horizontale dans chaque graphique.

L'orientation du CIEM pour l'estimation du point de référence d'un stock comportant occasionnellement de grandes classes d'âge comme l'aiglefin (type de stock 1 du CIEM; CIEM 2021) vise à définir le PRL comme la B_{lim} , qui est égale à la BSR la plus basse où l'on observe un recrutement important. La tendance du stock-recrutement pour l'aiglefin correspond également au stock de type 5 du CIEM (stock ne montrant aucun signe d'un recrutement compromis ou sans relation claire entre le stock et le recrutement), où le PRL est la BSR (B_{perte}) la plus basse observée. Conformément à ces approches, une approche commune utilisée par le MPO est la $B_{rétablissement}$, définie comme étant la biomasse minimale qui a produit le recrutement ayant mené au rétablissement du stock (Barrett *et al.* 2024).

Les points de référence proposés qui ont été étudiés pour l'estimation d'un PRL étaient les suivants :

- une proportion (0,2) de B_0 ;
- une proportion (0,4) de la biomasse à l'équilibre de la pêche à $F_{40\%}$ ($B_{F40\%}$, une approximation de la B_{RMD});
- la BSR la plus basse où l'on a observé un recrutement important (B_{lim});
- la BSR la plus basse observée (B_{perte});
- la biomasse minimale qui a produit le recrutement ayant mené au rétablissement du stock ($B_{rétablissement}$).

Selon les hypothèses de l'équilibre, les valeurs de la biomasse à l'équilibre ont été estimées comme le produit de φ_F et de R_0 , où φ_F est défini comme :

$$\varphi_F = \sum_{a=a_{rec}}^{a=a_{max}} (l_a w_a m_a) \quad (\text{Équ. 10})$$

où a_{rec} est l'âge au recrutement (âge 1) et où a_{max} est l'âge maximal (le groupe 12+), et w_a est le poids selon l'âge a , m_a est la maturité selon l'âge a , l_a est la survie selon l'âge a définis comme suit :

$$l_a = \begin{cases} 1 & a = a_{rec} \\ \frac{l_{a-1} e^{-(M_{a-1} + Fv_{a-1})}}{1 - e^{-(M_{a-1} + Fv_{a-1})}} & a_{rec} < a < a_{max} \\ \frac{l_{a-1} e^{-(M_{a-1} + Fv_{a-1})}}{1 - e^{-(M_{a-1} + Fv_{a-1})}} & a = a_{max} \end{cases} \quad (\text{Équ. 11})$$

Pour les modèles opérationnels 1 et 2, la M n'était pas à l'équilibre au cours de la période de projection; on a donc estimé l_a au moyen de la moyenne de M sur les années de projection 26 à 50 pour la projection de la F précisée (p. ex. voir la figure 13).

Les valeurs du RPR ont été estimées sur une plage de valeurs F par paliers de 0,05 sur [0, 1]. La $F_{40\%}$ a été estimée au centième près à l'aide de l'interpolation linéaire entre ces valeurs F pour obtenir le RPR approximatif de 40 % (figure 14). Une $F_{40\%}$ a été estimée à 0,30 pour le modèle opérationnel 3, mais n'a pas pu être estimée pour les modèles opérationnels 1 et 2 (c'est-à-dire que le RPR à la F_{lim} était $> 0,4$) [figure 14].

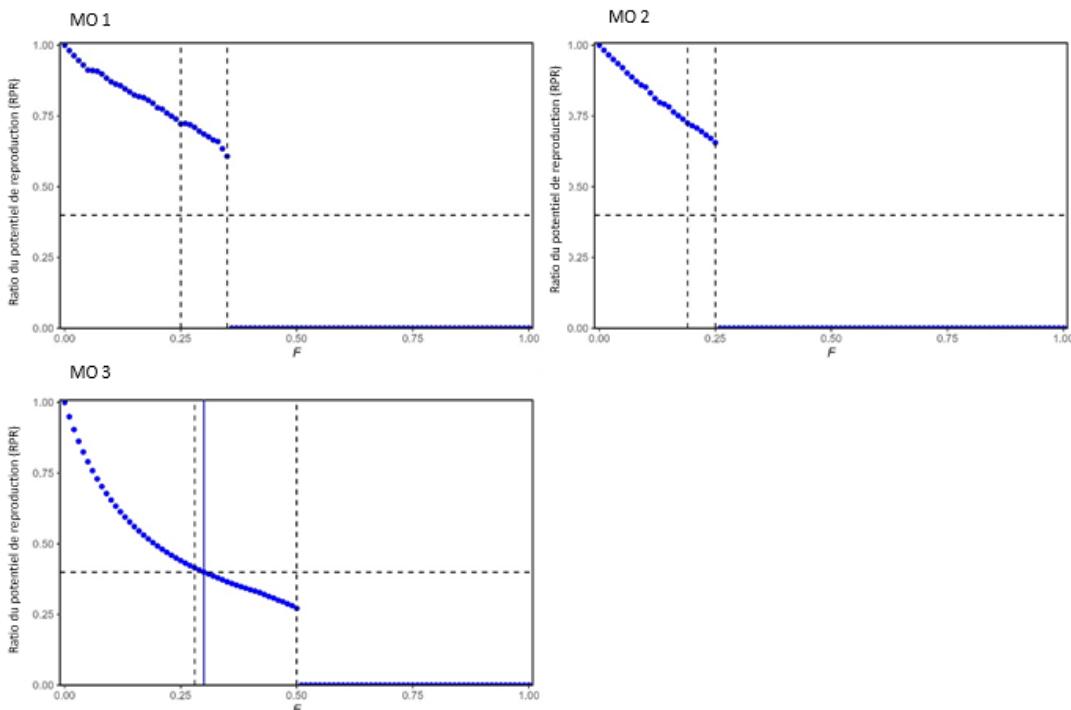


Figure 14. Graphiques du ratio du potentiel de reproduction (RPR) par rapport au taux de mortalité par pêche (F) sur une plage de valeurs de la F pour les modèles opérationnels (MO) 1 à 3. La ligne de référence horizontale est le $RPR = 0,4$ et les lignes de référence en pointillés verticales sont à la médiane de F_{lim} et à la F_{AP} , tandis que la ligne de référence bleue verticale pour le modèle opérationnel 3 est la $F_{40\%}$.

Deux options de B_{lim} proposées ont été étudiées; la BSR qui a produit le recrutement le plus important (2013 pour les trois modèles opérationnels; figure 15, tableau 5) et la BSR minimale associée aux 10 % les plus importants des recrutements historiques (2013 pour les modèles opérationnels 1 et 2, 1994 pour le modèle opérationnel 3, figure 15, tableau 5). La BSR qui a produit le recrutement qui a mené à la plus récente augmentation de la BSR était également l'événement de recrutement de 2013, de sorte que la $B_{rétablissement}$ a été définie de la même façon que la BSR en 2013 pour tous les modèles opérationnels. La B_{perte} était la BSR en 1989 pour les modèles opérationnels 1 et 2, et la BSR en 1993 pour le modèle opérationnel 3 (figure 15, tableau 5).

Pour tenir compte de la relation allométrique entre le poids corporel et la fécondité, la BSR requise en 2022 pour produire le nombre d'œufs produits par la B_{perte} en 1989 (modèles opérationnels 1 et 2) ou en 1993 (modèle opérationnel 3) a été estimée à l'aide du nombre d'individus par âge estimé par le modèle chaque année et le nombre d'individus par âge présumé chaque année. Les ratios des œufs par unité de biomasse au cours de l'année

associés à la B_{perte} aux œufs par unité de biomasse en 2022 étaient de 2,66, 2,69 et 3,94 pour les modèles opérationnels 1, 2 et 3, respectivement. Il en a résulté des estimations de la B_{perte} , ajustées pour les œufs ($B_{\text{perte_œufs}}$) comme indiqué au tableau 5.

Tableau 5. Points de référence limites (PRL) proposés (médianes pour 100 simulations) par modèle opérationnel (MO).

Modèle opérationnel	$0,2 B_0$ (kt)	$0,4 B_{F40\%}$ (kt)	$B_{\text{lim}} = B_{\text{rétablissement}}$ (kt)	B_{perte} (kt)	$B_{\text{perte_œufs}}$ (kt)
MO 1	10,3	—	50,9 [année 2013]	34,2 [année 1989]	91,0
MO 2	10,3	—	51,1 [année 2013]	35,3 [année 1989]	95,1
MO 3	8,22	6,62	20,6 [année 2013] 14,5 [année 1994]	12,1 [année 1993]	47,7

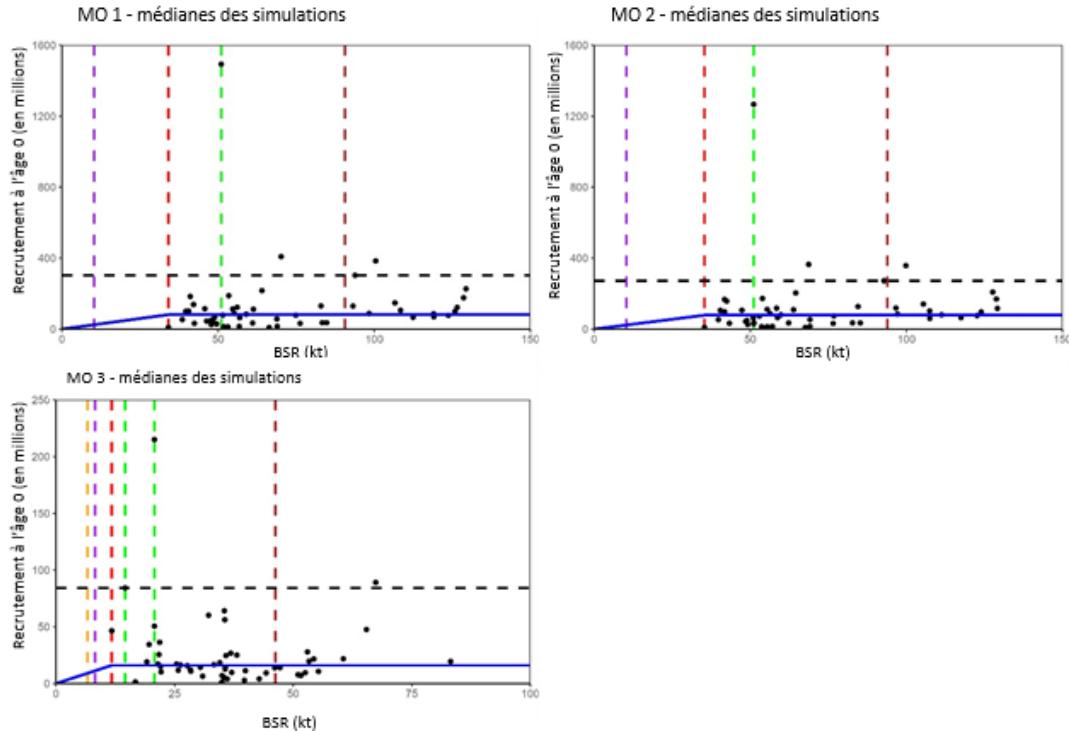


Figure 15. Graphiques du recrutement historique estimé par le modèle par rapport à la BSR estimée par le modèle (médianes des simulations; 1970 à 2021) pour chaque modèle opérationnel. La RSR en forme de bâton de hockey est tracée en bleu. La ligne de référence horizontale noire correspond au 90^e centile des recrutements historiques. Les lignes de référence verticales représentent $0,2 B_0$ (violet), B_{perte} (rouge), $B_{\text{lim}} = B_{\text{rétablissement}}$ (vert; deux lignes pour le modèle opérationnel 3), $0,4 B_{F40\%}$ (orange; modèle opérationnel 3 uniquement) et $B_{\text{perte_œufs}}$ (marron).

L'estimation de la B_0 présente une plus grande incertitude dans les modèles opérationnels 1 et 2, compte tenu de la variabilité de la M projetée (figure 13), et l'estimation est inférieure à la BSR minimale observée, où la dynamique de recrutement est incertaine, malgré les hypothèses de la RSR en forme de bâton de hockey utilisées dans les projections. La B_{lim} était la BSR associée au recrutement élevé, où le recrutement maximal a eu lieu la même année que la BSR minimale des 10 % les plus élevés des recrutements historiques (c.-à-d. la BSR en 2013). Étant

donné qu'il y a eu de multiples observations du recrutement à des valeurs de la BSR inférieures à celles de la BSR en 2013, cette estimation de la B_{lim} semble trop prudente. La B_{perte} a donc été choisie pour être utilisée comme PRL pour les modèles, et ce choix est appuyé par l'orientation du CIEM pour les points de référence (2021) et l'orientation du MPO pour les PRL conformément aux dispositions relatives aux stocks de poissons (MPO 2023b). Le concept de la B_{perte} est lié à une atteinte grave à la productivité du stock en représentant une approximation pour la surpêche du recrutement, reflétant l'incertitude dans la dynamique de la population (p. ex. recrutement, M , écarts de la survie) à des tailles de stock inférieures au minimum observé. Les estimations de la $B_{\text{perte_œufs}}$ étaient fondées sur une relation fécondité/poids corporel pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges et elles étaient relativement élevées. Il faudrait mener d'autres recherches sur la fécondité, la taille des œufs et la survie des œufs afin d'utiliser la fécondité comme indicateur du potentiel de reproduction de l'aiglefin des divisions 4X5Y.

6.3 POINTS DE RÉFÉRENCE POUR LA MORTALITÉ PAR PÊCHE

Une limite de la mortalité par pêche (F_{lim}) a été définie comme étant la F à l'équilibre qui donne φ_F de B_{perte}/R_0 . Cette F_{lim} est conforme à la $F_{\text{effondrement}}$ (Shelton et Rice 2002), le taux de mortalité par pêche à l'équilibre qui mènerait à l'effondrement du stock à long terme puisque $F > F_{\text{lim}} = F_{\text{effondrement}}$ aurait une ligne de remplacement de φ_F qui ne croise pas la RSR en forme de bâton de hockey (figure 16). Les estimations de la F_{lim} sont propres à la simulation et les valeurs médianes de la F_{lim} sont fournies au tableau 6.

Compte tenu de la nature de la RSR en forme de bâton de hockey, il n'y a pas de compensation dans la RSR lorsque la BSR est faible. Par conséquent, une B_{RMD} et une F_{RMD} ne peuvent pas être estimées à des fins pratiques.

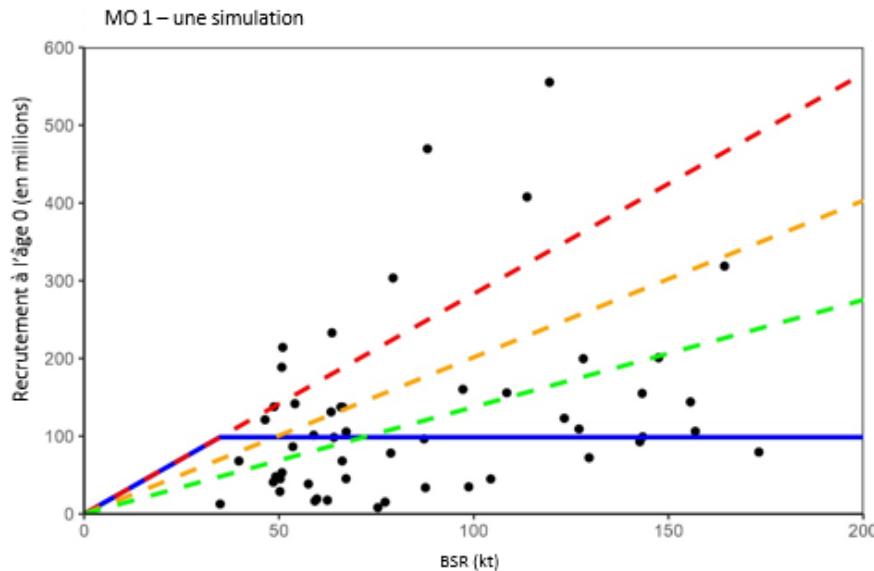


Figure 16. Diagramme de dispersion du recrutement estimé par le modèle par rapport à la biomasse du stock reproducteur (BSR) estimée par le modèle (1970 à 2021) pour une simulation pour le modèle opérationnel 1 avec la relation stock-recrutement en forme de bâton de hockey (en bleu), la BSR par recrue (φ_F) les lignes de remplacements pour $F_{\text{lim}} = F_{\text{effondrement}}$ (en rouge), F_{AP} (en orange) et $F=0$ (en vert). L'axe des y est tronqué à 600, de sorte que l'observation pour 2013 n'est pas présentée.

Des projections à long terme sur une plage de valeurs de la F constante ont été effectuées en utilisant les hypothèses décrites à la section 6.2 pour les PRL. La relation entre le RPR et la F à

l'équilibre est indiquée pour les modèles opérationnels 1 à 3 à la figure 14. Avec les valeurs plus élevées (c.-à-d. $> 0,2$) de la M dans les modèles 1 et 2, un RPR de 40 % ne peut pas être atteint avant que la F atteigne F_{lim} (figure 14); cependant, on estime qu'une valeur médiane de $F_{40\%}$ pour toutes les simulations du modèle 3 est de 0,30 (figure 14).

La F_{AP} est définie par le CIEM comme étant la F à l'équilibre qui mènerait à la BSR > PRL avec une probabilité de 95 %, tout en tenant compte de la variabilité stochastique prévue dans la biologie et la pêche (CIEM 2021). La F_{AP} a donc été estimée comme étant la F à l'équilibre qui s'est traduite par une probabilité (combinée pour 100 simulations et les années de projection 26 à 50) d'être au-dessus du PRL propre à la simulation. Cette probabilité a été estimée à partir d'une interpolation linéaire des probabilités pour les valeurs de la F de projection à long terme sur la plage [0, 1] par paliers de 0,05 (figure 17).

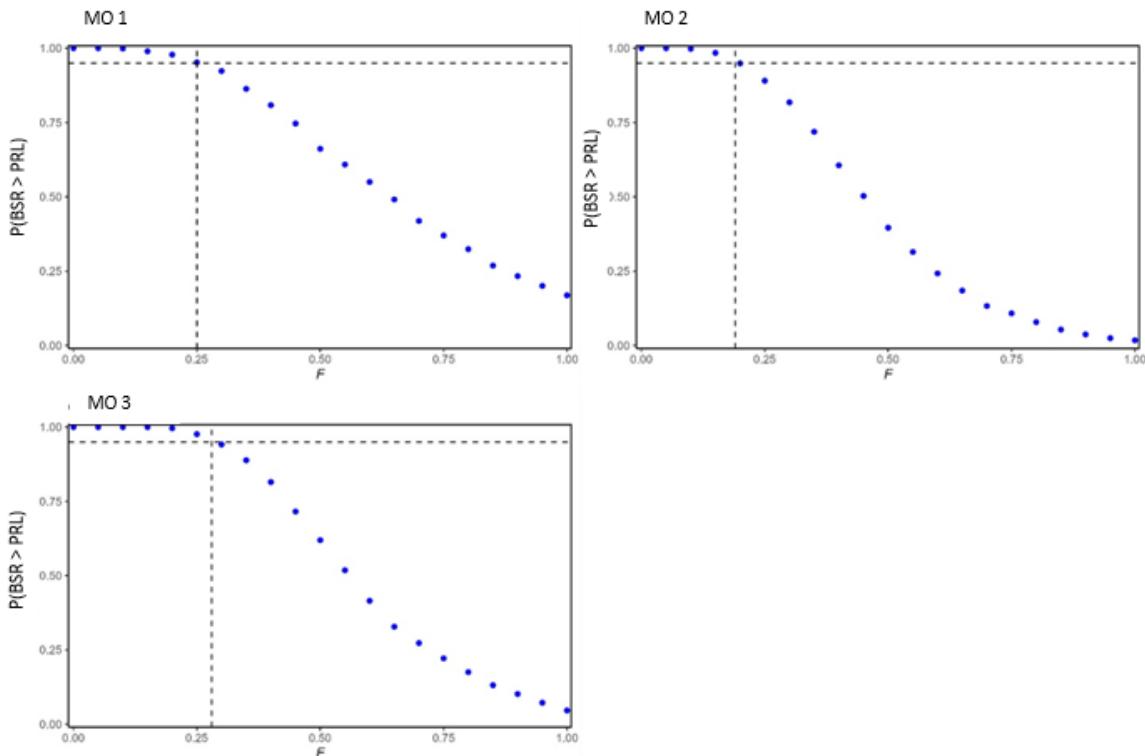


Figure 17. Graphiques (par modèle opérationnel) de la probabilité que la biomasse du stock reproducteur dépasse le point de référence limite, $P(\text{BSR} > \text{PRL})$, dans les années de projection 26 à 50 sur une plage de valeurs de F de projection à long terme [0, 1] par paliers de 0,05 pour 100 simulations. Les probabilités représentent la proportion des valeurs de la BSR de l'année/de la simulation qui dépassent le PRL propre à la simulation.

6.4 POINT DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR (PRS) PROPOSÉ

Le PRS proposé a été défini comme étant la B_{AP} , soit la taille du stock au-dessus de laquelle le stock est considéré comme ayant une capacité de reproduction complète, compte tenu de l'incertitude liée à l'estimation (CIEM 2021). La B_{AP} a été estimée pour chaque simulation de chaque modèle opérationnel comme la biomasse à l'équilibre de la pêche à la F_{AP} , plus précisément comme produit de $\varphi_{F_{PA}}$ et de R_0 qui est équivalent à l'intersection de la ligne de remplacement de $\varphi_{F_{PA}}$ et de la RSR (p. ex. figure 14).

Tableau 6. Les points de référence limites (PRL), les points de référence supérieurs (PRS) proposés, les points de référence pour la mortalité par pêche (F_{lim} , $F_{réf}$ et $F_{40\%}$) et la probabilité que la BSR de l'année terminale (BSR_{2022}) dépasse le PRL et le PRS, par modèle opérationnel (modèle opérationnel).

modèle opérationnel	$PRL = B_{perte}$ (kt)	$PRS = B_{AP}$ (kt)	$F_{lim} = F_{effondrement}$	$F_{réf} = F_{AP}$	$F_{40\%}$	$P(BSR_{2022} > PRL)$	$P(BSR_{2022} > PRS$ proposé)
modèle opérationnel 1	34,2	52,2	0,36	0,25	—	0,94	0,10
modèle opérationnel 2	35,3	54,4	0,25	0,19	—	0,97	0,15
modèle opérationnel 3	12,1	23,4	0,50	0,28	0,30	1,00	0,56
Pondération	23,4	38,3	0,40	0,25	—	0,98	0,34

Notes : Un tiret (—) signifie « sans estimation ».

6.5 ESTIMATION DE L'ÉTAT DU STOCK

L'indicateur de l'état du stock a été défini comme le ratio pondéré par le modèle de la BSR par rapport au PRL et au PRS pour toutes les simulations (tableau 6). La probabilité que le stock soit au-dessus du PRL est estimée comme étant la proportion des simulations pondérée par le modèle avec une BSR au-dessus du PRL de 0,98, de sorte que le stock ne se trouve pas dans la zone critique du cadre de la politique de l'approche de précaution du MPO (MPO 2009). La probabilité que le stock dépasse le PRS proposé est estimée à 0,34, ce qui place le stock dans la zone de prudence du cadre de la politique de l'approche de précaution.

7. MODÈLE D'OBSERVATION

Un modèle d'observation a été utilisé pour simuler la collecte des données futures utilisées dans les essais de simulation en boucle fermée des procédures de gestion. Les deux sources de données nécessaires aux essais de simulation étaient :

1. L'indice futur du relevé du MPO (pour éclairer la taille du stock, utilisé dans les procédures de gestion)
2. Le nombre futur d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO (pour servir de base à la M future pour le modèle opérationnel 1 et le modèle opérationnel 2)

7.1 INDICE DU RELEVÉ DU MPO

L'indice du relevé du MPO a été simulé sous forme de biomasse selon l'âge du stock estimée par le modèle, multipliée par la sélectivité du relevé pour obtenir la biomasse selon l'âge estimée par le modèle. Cette valeur a ensuite été ajustée en fonction de la q par le coefficient de capturabilité (q) estimé par le modèle, et l'erreur d'observation a été ajoutée en échantillonnant au hasard une erreur d'observation provenant de la distribution des erreurs d'observation historiques entre l'indice annuel observé du relevé du MPO et la biomasse du relevé estimée par le modèle. Les mêmes erreurs d'observation annuelles estimées ont été appliquées à chaque modèle opérationnel afin de permettre des comparaisons cohérentes entre les modèles opérationnels (p. ex. si l'erreur d'observation simulée était de 50 % pour la simulation s au cours de l'année y dans le modèle opérationnel 1, une erreur d'observation de

50 % a également été appliquée à la simulation s au cours de l'année y pour tous les autres modèles opérationnels).

7.2 NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ÂGE DU RELEVÉ DU MPO

Le nombre d'individus par âge du relevé du MPO a été simulé sous forme de nombre d'individus par âge du stock estimé par le modèle, multiplié par la sélectivité du relevé pour obtenir le nombre d'individus par âge estimé par le modèle. Pour tenir compte de l'erreur d'observation, on a étudié la relation entre le nombre annuel historique et observé d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO ($SNAA_{1+0}$) et le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé estimé par le modèle ($SNAA_{1+E}$) [figure 18]. La relation était approximativement linéaire à l'échelle logarithmique, de sorte qu'une régression linéaire avec échantillonnage aléatoire d'une observation de cette régression a été examinée. Toutefois, les échantillons aléatoires ont mené à des cas d'estimations extrêmes de $SNAA_{1+0}$ qui dépassaient les données historiques ainsi qu'à l'extrapolation de la relation de la M par rapport à celle de $SNAA_{1+0}$ estimée dans les modèles du WHAM (voir figure 4), et ont abouti à des estimations extrêmes de la M . Il n'était pas souhaitable d'extrapoler au-delà de la fourchette de la M par rapport à la relation $SNAA_{1+0}$ qui a été estimée dans les modèles du WHAM; une approche de rééchantillonnage a donc été adoptée pour obtenir une simulation de $SNAA_{1+0}$ (projetée) comme suit :

- Si la simulation de $SNAA_{1+E}$ est \geq au 85^e centile de $SNAA_{1+E}$ historiques, il faut rééchantillonner les valeurs historiques de $SNAA_{1+0}$ à partir des trois paires historiques ($SNAA_{1+E}$, $SNAA_{1+0}$) les plus proches pour obtenir une simulation de $SNAA_{1+0}$.
- Si la simulation de $SNAA_{1+E}$ est $<$ au 85^e centile de $SNAA_{1+E}$ historique, il faut rééchantillonner les valeurs historiques de $SNAA_{1+0}$ à partir des sept paires historiques ($SNAA_{1+E}$, $SNAA_{1+0}$) les plus proches pour obtenir une simulation de $SNAA_{1+0}$.
- Si la simulation de $SNAA_{1+E}$ est $<$ à $SNAA_{1+E}$ historique, il faut estimer $SNAA_{1+0}$ à partir d'une interpolation linéaire entre l'origine et la moyenne des paires ($SNAA_{1+E}$, $SNAA_{1+0}$) avec les valeurs de $SNAA_{1+E}$ les plus basses.

Le 85^e centile a été choisi comme seuil en fonction de l'inspection visuelle du graphique de $SNAA_{1+0}$ par rapport à $SNAA_{1+E}$ (figure 18), où la tendance et la variabilité de la relation semblent changer. Une observation de 1977 (l'année où un trait de relevé était important) a été exclue de la relation entre $SNAA_{1+0}$ et $SNAA_{1+E}$ pour l'approche de rééchantillonnage.

En utilisant cette méthode de rééchantillonnage et en limitant la plage de $SNAA_{1+0}$ à 0 et la valeur maximale observée au cours de la période historique, les limites des valeurs projetées de la M pour le modèle opérationnel 1 et le modèle opérationnel 2 étaient de 0,2 et la M maximale observée au cours de la période historique.

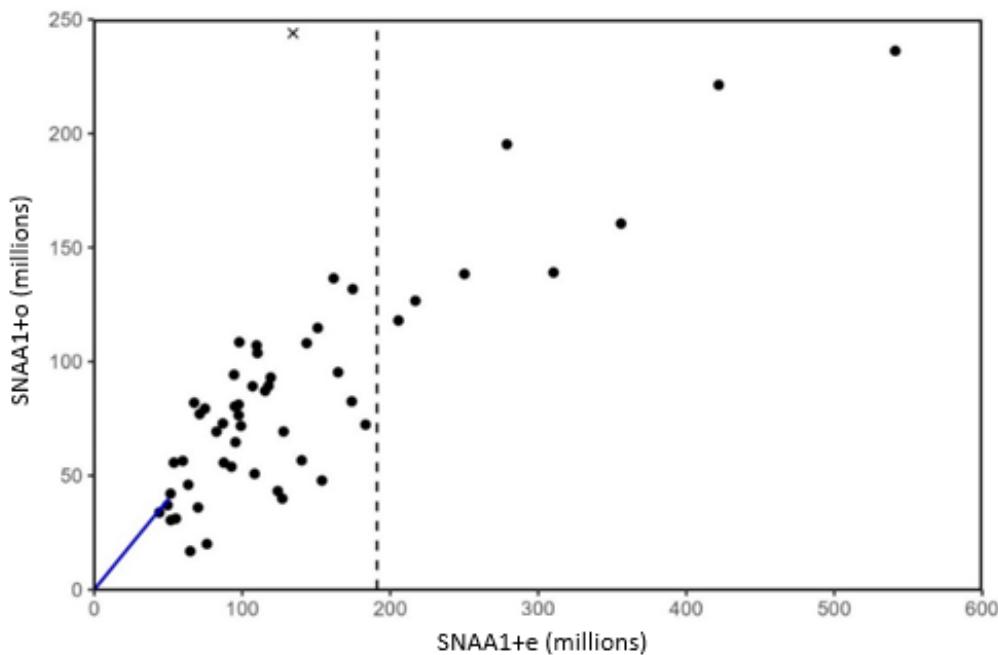


Figure 18. Diagramme de dispersion entre le nombre annuel historique et observé d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO ($SNAA_{1+o}$) par rapport au nombre d'individus d'âge 1+ du relevé estimés par le modèle ($SNAA_{1+E}$) pour la simulation 1 du modèle 1. La ligne pointillée verticale correspond au 85^e centile. Le segment de ligne bleue relie l'origine et les valeurs moyennes appariées des cinq plus petites valeurs de $SNAA_{1+E}$. L'observation aberrante de 1977 (due par un seul trait de relevé important) qui a été exclue de l'approche de rééchantillonnage est représentée par x.

8. SIMULATIONS EN BOUCLE FERMÉE

Le cadre d'évaluation des procédures de gestion utilise la simulation en boucle fermée dans le progiciel *MSEtool* (Hordyk *et al.* 2022) en R (*R Core Team* 2021). Les simulations ont été menées sur chaque combinaison modèle opérationnel/procédure de gestion et consistaient à simuler des données de pêche pour des simulations répétées ($n = 100$) du modèle opérationnel. Chaque simulation variait dans les paramètres estimés du modèle (échantillonnes à partir de la matrice variance-covariance des paramètres du modèle), le recrutement futur (décrit au tableau 4), et la M future (pour le modèle opérationnel 1 et la modèle opérationnel 2; décrise au tableau 4). Des données de pêche simulées ont été générées pour chaque simulation en appliquant le modèle d'observation avec l'erreur d'observation et l'incertitude conçu pour reproduire la collecte des données pour l'indice projeté du relevé du MPO et le nombre d'individus par âge de l'indice du relevé du MPO. Le nombre simulé d'individus d'âge 1+ du relevé est utilisé pour servir de base à la M dans le modèle opérationnel de l'année suivante.

Une procédure de gestion proposée est appliquée aux données simulées (étape 2 à la figure 19) et la procédure de gestion génère une recommandation de TAC. Le TAC est mis en œuvre (étape 3 à la figure 19) sans erreur de mise en œuvre (c'est-à-dire que les prises recommandées par la procédure de gestion sont supprimées sans erreur) et l'étape finale de la boucle de simulation (étape 4 à la figure 19) consiste à supprimer les prises du stock (en utilisant le calendrier de sélectivité projeté) en mettant à jour le modèle opérationnel. Ce processus est répété jusqu'à la fin de la période de projection de 25 ans (environ cinq générations pour l'aiglefin des divisions 4X5Y, définie comme l'âge moyen des

poissons sexuellement matures au cours de l'année terminale du modèle). À la fin de la période de projection, le rendement des procédures de gestion peut être évalué.

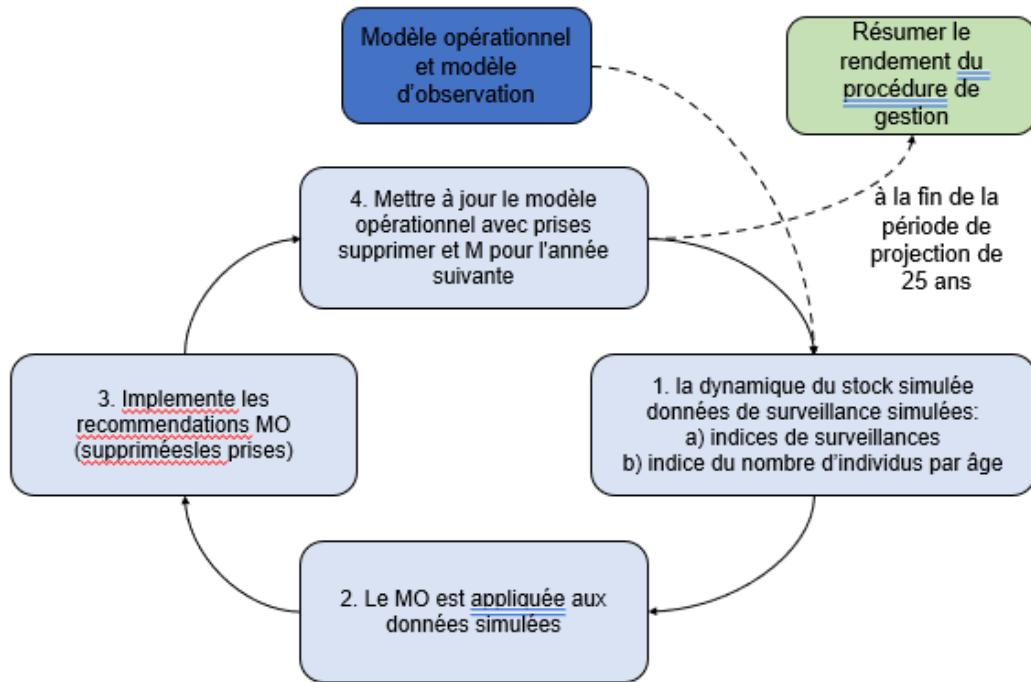


Figure 19. Illustration des simulations en boucle fermée. Pour chaque combinaison de modèle opérationnel (modèle opérationnel) et de procédure de gestion (procédure de gestion), la dynamique du stock simulée est générée en projetant le modèle de dynamique de la population et en appliquant un modèle d'observation pour générer des données de surveillance simulées (indice et indice du nombre d'individus par âge) [étape 1]. La procédure de gestion est appliquée aux données simulées (étape 2) et la procédure de gestion génère un total autorisé des captures (TAC). Le TAC est mis en œuvre (étape 3) sans erreur de mise en œuvre. La dernière étape de la boucle de simulation (étape 4) consiste à supprimer les prises de la population et à mettre à jour la M pour l'année suivante (au besoin) en mettant à jour le modèle opérationnel. Ce processus (étapes 1 à 4) est répété jusqu'à la fin de la période de projection de 25 ans.

9. EXEMPLES DE PROCÉDURES DE GESTION (PROCÉDURE DE GESTION)

Un ensemble de procédures de gestion proposées est défini dans le présent document et utilisé pour illustrer l'application du cadre d'évaluation des procédures de gestion. Toutes les procédures de gestion ont été définies comme des règles pour établir le TAC (en kt) en fonction de l'indice du relevé du MPO (figure 20; tableau 7). Ces procédures de gestion sont des exemples qui ne servent qu'à illustrer la façon dont elles sont évaluées. L'élaboration des procédures de gestion aura lieu après la troisième réunion d'examen par les pairs du SCAS.

Le premier exemple de procédure de gestion, la *PA_0_8.6*, a été défini comme étant conforme à la règle de pêche provisoire de la politique de l'approche de précaution du MPO (MPO 2009), en utilisant le PRL ajusté en fonction de la *q* et pondéré par le modèle (15,2 kg/trait) et le PRS proposé (25,9 kg/trait) comme points de contrôle inférieur et supérieur pour l'indice. On a évalué plusieurs points de contrôle supérieurs pour le TAC afin d'atteindre la mesure du rendement qui maintient la *F* sous la *F_{réf}* avec une probabilité d'au moins 50 % pour chaque année de projection, et un TAC de 8,6 kt a été déterminé pour une procédure de gestion initiale. Le point de contrôle inférieur de 0 kt est fondé sur la politique de l'approche de précaution. Le taux de

prélèvement relatif (rapport du TAC à l'indice) diminue de façon linéaire entre le point de contrôle supérieur et le point de contrôle inférieur et est constant au-dessus du point de contrôle supérieur (figure 20).

Étant donné que l'aiglefin est prélevé dans le cadre d'une pêche plurispécifique du poisson de fond, un TAC de zéro pourrait ne pas être pratique si le stock est inférieur au PRL. Un autre exemple de procédure de gestion a donc été défini comme une modification apportée à la PA_0_8.6, avec des prises sous le PRL réglées à 1 kt pour donner la PA_1_8.6 (figure 20, tableau 7).

Les autres exemples de procédure de gestion étaient des modifications apportées à la PA_1_8.6, de sorte que la procédure de gestion donne un avis de deux ans sur les prises (PA_1_8.6_2yr), limite la variation annuelle du TAC à 15 % (PA_1_8.6_TAC15) et des TAC constants de 6,198 kt (le TAC constant utilisé pour la pêche à l'aiglefin des divisions 4X5Y au cours des trois dernières années) et de 10 kt (figure 20, tableau 7).

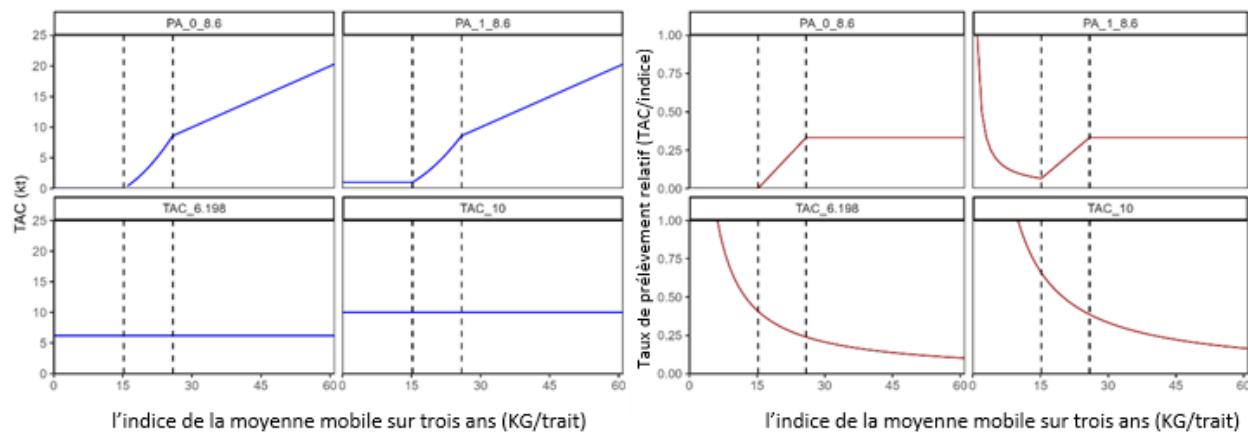


Figure 20. Graphique du total autorisé des captures (TAC) recommandé (graphique de gauche) et du taux de prélèvement relatif (TAC/indice; graphique de droite) par rapport à l'indice de la moyenne mobile sur trois ans du relevé du MPO pour quatre exemples de procédures de gestion (procédure de gestion) évaluées dans le présent document.

Tableau 7. Description des exemples de procédures de gestion (procédure de gestion) évaluées dans le présent document.

Nom de la procédure de gestion	Description de la procédure de gestion
<i>PA_0_8.6</i>	La politique de l'approche de précaution du MPO prévoit une règle de pêche provisoire pour établir le TAC en fonction d'un indice de la moyenne mobile sur trois ans. PCI = 15,2 kg/trait; PCS = 25,9 kg/trait TAC = 0 kt lorsque l'indice < PCI; TAC = 8,6 kt lorsque l'indice = PCS Le taux de récolte diminue de façon linéaire du PCS au PCI Le taux de récolte au-dessus du PCS est le taux de récolte au PCS
<i>PA_1_8.6</i>	Identique à <i>PA_0_8.6</i> sauf TAC = 1 kt lorsque l'indice < PCI; TAC = 8,6 kt lorsque l'indice = PCS
<i>PA_1_8.6_2yr</i>	Identique à <i>PA_1_8.6</i> sauf En fonction des avis sur les prises de 2 ans
<i>PA_1_8.6_TAC15</i>	Identique à <i>PA_1_8.6</i> sauf Limites des variations interannuelles du TAC de 15 %
<i>TAC_6.198</i>	TAC constant de 6,198 kt
<i>TAC_10</i>	TAC constant de 10 kt

PA = AP, approche de précaution, TAC = total autorisé des captures, PCI = point de contrôle inférieur, PCS = point de contrôle supérieur.

10. EXEMPLE D'ÉVALUATION D'UNE PROCÉDURE DE GESTION

Le rendement des procédures de gestion données en exemple définies à la section 9 a été évalué par rapport aux objectifs de gestion définis à la section 2. La première étape (figure 21) de l'évaluation d'une procédure de gestion consiste à établir une moyenne du rendement (en pondérant les modèles opérationnels) entre les modèles opérationnels 1 à 3 (tableau 8). La procédure de gestion doit respecter les normes de rendement minimales pour les trois premiers objectifs de gestion indiqués au tableau 1 :

1. Maintenir le stock au-dessus du PRL :
 - a. $P(BSR > PRL) > 75 \text{ à } 95 \% \text{ sur 10 ans}$
 - b. $P(BSR > PRL) > 75 \text{ à } 95 \% \text{ sur 25 ans}$
2. Maintenir le stock au-dessus du PRS :
 - a. $P(BSR > PRS) \geq 50 \% \text{ sur 10 ans}$
 - b. $P(BSR > PRS) \geq 50 \% \text{ sur 25 ans}$
3. Maintenir la mortalité par pêche sous la Fréf :
 - a. $P(F < Fréf) \geq 50 \% \text{ par année pendant la période de projection}$
4. Promouvoir la croissance du stock lorsque le stock est sous le PRS
 - a. $P(BSR_{a+5} > BSR_a) \geq 50 \% \text{, puisque la trajectoire récente n'est pas une baisse.}$

Les objectifs de gestion 5 et 6 ont trait à la maximisation du TAC et à l'évitement d'importantes variations interannuelles du TAC (tableau 1), et le rendement de la procédure de gestion pour ces objectifs est présenté sous forme de statistiques sommaires pour lesquelles les compromis entre les procédures de gestion peuvent être évalués (tableau 8).

La deuxième étape (figure 21) de l'évaluation d'une procédure de gestion consiste à établir le rendement moyen (en pondérant les modèles opérationnels) entre les modèles opérationnels 1b à 3b pour les deux premiers objectifs de gestion (tableau 1), sur toute la période de projection de 25 ans (tableau 9). La productivité présumée pour la période de projection des

modèles opérationnels 1b à 3b est la productivité historique de 1998 à 2022, qui comprend la cohorte de « 2013 ». L'objectif d'une évaluation par rapport à ces modèles opérationnels est de s'assurer que la procédure de gestion respecte la norme de rendement minimale pour les objectifs du PRL et du PRS au cours de la période de projection de 25 ans. La période de projection est divisée en deux périodes supplémentaires pour l'évaluation des compromis et de la variabilité du TAC, soit les 17 premières années (avant que la cohorte de « 2013 » n'entre dans la BSR) et les années 18 à 25 (progression de la cohorte de « 2013 ») [tableau 10]. L'objectif de gestion de la $F_{réf}$ n'est pas appliqué à l'évaluation pour l'ensemble des modèles opérationnels 1b à 3b parce que la $F_{réf}$ est propre à la période de productivité présumée dans les modèles opérationnels 1 à 3.

Si une procédure de gestion respecte la norme de rendement minimale pour les quatre premiers objectifs pour le premier ensemble d'objectifs (modèles opérationnels 1 à 3) et la norme de rendement minimale pour les deux premiers objectifs au cours de la période de projection de 25 ans pour le deuxième ensemble d'objectifs (modèle opérationnel 1b à 3b), on considère alors qu'elle a atteint les objectifs de conservation (tableau 10).

Les prévisions annuelles de la BSR, des prises, de la F , de la $P(BSR > PRL)$, de l'indice du relevé du MPO et de la variabilité annuelle des prises ont été représentées par procédure de gestion pour les modèles opérationnels 1 à 3 (figure 22, figure 23) et les modèles opérationnels 1b à 3b (figure 24, figure 25). La distribution (à travers les années et les simulations) de la variabilité annuelle des prises ($\frac{|C_{y+1} - C_y|}{C_y} \times 100\%$) a été représentée par procédure de gestion pour les modèles opérationnels 1 à 3 (figure 26) et les modèles opérationnels 1b à 3b (figure 27). L'ampleur de la variabilité annuelle des prises a été plafonnée à un maximum de 100 % pour tenir compte des prises près de zéro, ce qui gonfle le calcul de la variabilité annuelle.

Les procédures de gestion qui respectent la norme de rendement minimale pour les objectifs de conservation (c.-à-d. toutes sauf les *TAC_10* et *Pa_1_8.6_2yr*, tableau 10) peuvent être reportées afin d'évaluer les compromis entre les procédures de gestion.

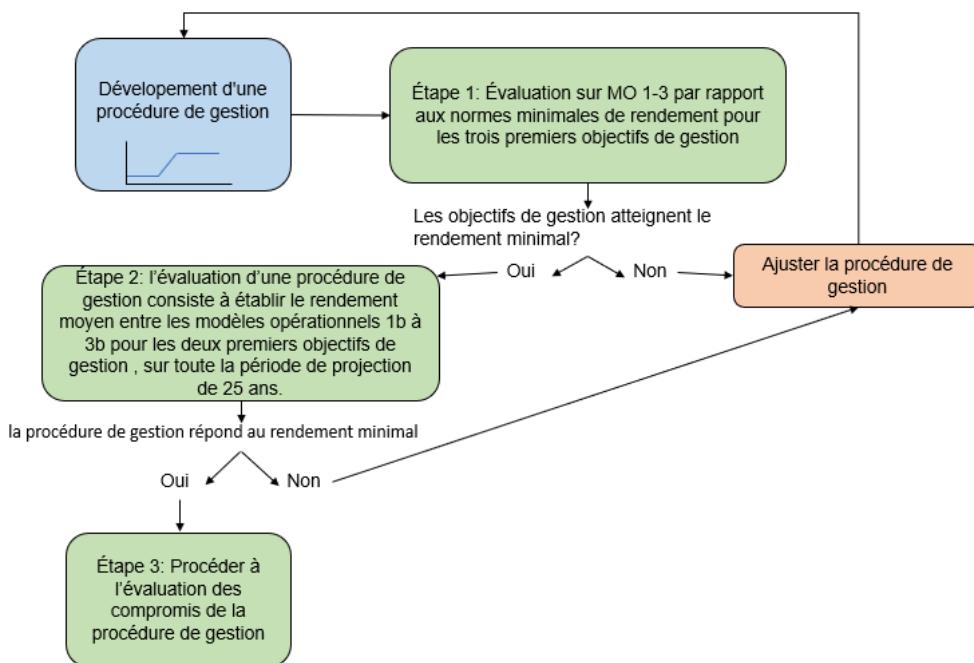


Figure 21. Mesures prises pour l'évaluation d'une procédure de gestion (procédure de gestion).

Tableau 8. Résumé des mesures du rendement pour les six procédures de gestion (procédure de gestion) fondées sur la pondération des modèles opérationnels 1 à 3, où BSR = biomasse du stock reproducteur, PRL = point de référence limite, PRS = point de référence supérieur proposé pour le stock, $F_{réf}$ = mortalité par pêche de référence et a = année. Les cellules ombrées indiquent que la probabilité (P) a dépassé (en rouge) ou n'a pas dépassé (en vert) le seuil établi pour la mesure de rendement.

Objectifs de gestion	1a		b		2a		2b		3		4		5			6		
	P(BSR>PRL)		P(BSR>PRS)		P(BSR>PRL)		P(BSR>PRS)		Proportion d'années $P(F < F_{réf}) > 50\%$		P(BSR _{a+5} > BSR _a)		Prises médianes (kt)			Variabilité annuelle des prises (%)		
procédure de gestion	10 ans	25 ans	10 ans	25 ans	25 ans		5 ans		5 ans		10 ans		10 an	15 an	5 ans	10 an	15 an	
													s	s		s	s	
PA_0_8.6	0,97	0,96	0,71	0,65		1			0,88		7,06	9,17	9,21		23,96	19,37	19,20	
PA_1_8.6	0,97	0,96	0,69	0,63		1			0,86		7,05	9,05	9,10		21,22	18,17	17,55	
PA_1_8.6_2yr	0,97	0,94	0,71	0,63		0,96			0,92		5,16	9,03	9,07		0,01	0	0,01	
PA_1_8.6_TAC15	0,99	0,92	0,81	0,66		1			0,95		4,58	5,90	7,04		13,04	13,04	13,04	
TAC_10	0,86	0,72	0,56	0,46		0,32			0,67		10	10	10		0	0	0	
TAC_6.198	0,97	0,94	0,78	0,75		1			0,90		6,198	6,198	6,198		0	0	0	

Tableau 9. Résumé des mesures du rendement pour les six procédures de gestion (procédure de gestion) fondées sur la pondération des modèles opérationnels 1b à 3b, où BSR = biomasse du stock reproducteur, PRL = point de référence limite, PRS = point de référence supérieur proposé pour le stock, et VA = variabilité annuelle. Les cellules ombrées indiquent que la probabilité (P) a dépassé (en rouge) ou n'a pas dépassé (en vert) le seuil établi pour la mesure de rendement.

procédure de gestion	Productivité historique (1998 à 2014)				Productivité historique (2015 à 2022) avec l'importante cohorte de « 2013 »				Productivité historique (1998 à 2022)			
	P(BSR>PRL)	P(BSR>PRS)	Prises médianes (kt)	VA des prises (%)	P(BSR>PRL)	P(BSR>PRS)	Prises médianes (kt)	VA des prises (%)	P(BSR>PRL)	P(BSR>PRS)	Prises médianes (kt)	VA des prises (%)
PA_0_8.6	0,93	0,57	9,05	26,2	0,73	0,41	9,23	43,5	0,86	0,52	9,08	30,6
PA_1_8.6	0,92	0,56	8,93	23,9	0,72	0,39	9,23	34,1	0,86	0,51	9,02	26,3
PA_1_8.6_2yr	0,90	0,53	8,82	0,01	0,69	0,40	9,16	10,9	0,83	0,49	8,90	2,73
PA_1_8.6_TAC15	0,90	0,61	7,43	13,0	0,87	0,45	6,25	13,0	0,88	0,56	6,99	13,1
TAC_10	0,82	0,54	10	0	0,50	0,30	10	0	0,72	0,46	10	0
TAC_6.198	0,98	0,73	6,198	0	0,93	0,53	6,198	0	0,96	0,66	6,198	0

Tableau 10. Résumé de l'évaluation des procédures de gestion par rapport aux modèles opérationnels (modèle opérationnel) 1 à 3 et aux modèles opérationnels 1b à 3b.

Procédure de gestion	Résumé de l'évaluation des procédures de gestion pour les objectifs 1a, 1b, 2a, 2b et 3 des modèles opérationnels 1 à 3	Résumé de l'évaluation des procédures de gestion pour les objectifs 1 et 2 des modèles opérationnels 1b à 3b	La procédure de gestion atteint les objectifs de conservation
PA_0_8.6	Succès	Succès	Oui
PA_1_8.6	Succès	Succès	Oui
PA_1_8.6_2yr	Échec	Échec	Non
PA_1_8.6_TAC15	Succès	Succès	Oui
TAC_10	Échec	Échec	Non

Procédure de gestion	Résumé de l'évaluation des procédures de gestion pour les objectifs 1a, 1b, 2a, 2b et 3 des modèles opérationnels 1 à 3	Résumé de l'évaluation des procédures de gestion pour les objectifs 1 et 2 des modèles opérationnels 1b à 3b	La procédure de gestion atteint les objectifs de conservation
TAC_6.198	Succès	Succès	Oui

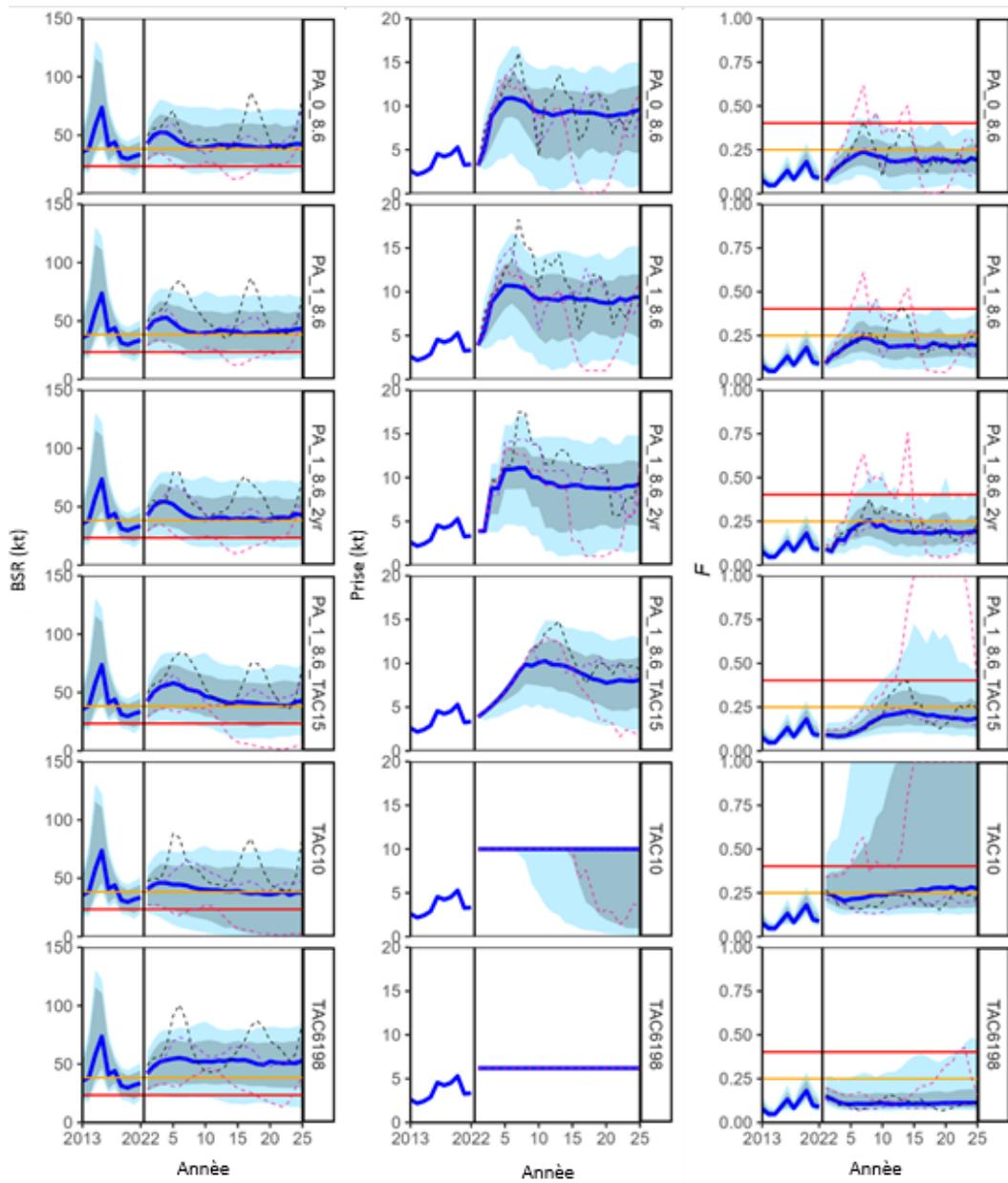


Figure 22. Médiane historique et projetée (ligne bleue), 25^e et 75^e centiles (zone ombrée foncée), 10^e et 90^e centiles (zone ombrée claire), pour la biomasse du stock reproducteur (BSR), les prises et le taux de mortalité par pêche (F), pondérée entre les modèles opérationnels 1 à 3 pour 100 simulations. Les trajectoires de trois simulations projetées au hasard sont représentées sous forme de lignes pointillées. Les lignes de référence horizontales pour la BSR sont le point de référence limite pondéré par le modèle opérationnel (PRL; rouge) et le point de référence supérieur proposé (PRS; orange). Les lignes de référence horizontales pour la F sont les valeurs de référence et limite de la mortalité par pêche pondérées par le modèle opérationnel ($F_{réf}$; orange et F_{lim} ; rouge). Chaque rangée de graphiques correspond à une procédure de gestion différente.

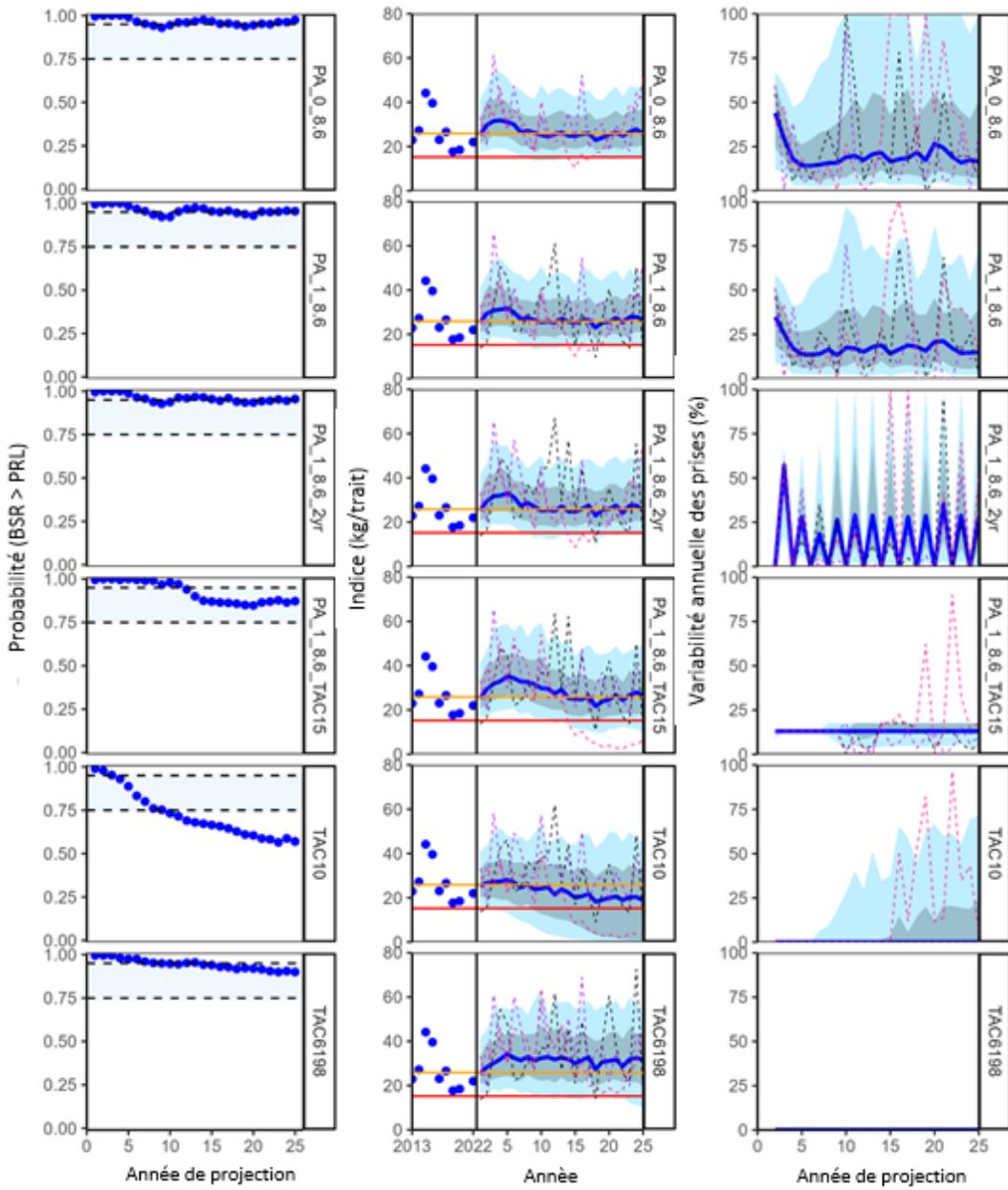


Figure 23. Probabilité projetée que la biomasse du stock reproducteur dépasse le point de référence limite $P(BSR > PRL)$, pondérée par modèle opérationnel (modèle opérationnel) pour les modèles opérationnels 1 à 3 (graphique de gauche). La zone ombrée en bleu indique une plage de probabilité de 75 à 95 %. Médianes historiques (cercles bleus) et projetées (ligne bleue), 25^e et 75^e centiles (zone ombrée foncée), 10^e et 90^e centiles (zone ombrée claire), pour l'indice du relevé du MPO (graphique du milieu), les trajectoires pour trois simulations projetées au hasard sont représentées en pointillés. Variabilité annuelle des prises (graphique de droite), pondérée entre les modèles opérationnels 1 à 3 pour 100 simulations. Les lignes de référence horizontales pour l'indice sont le point de référence limite pondéré par le modèle opérationnel et ajusté en fonction de la q (rouge) et le point de référence supérieur proposé (orange). La variabilité annuelle des prises a été plafonnée à 100 % aux fins de sa représentation graphique. Chaque rangée de graphiques correspond à une procédure de gestion différente.

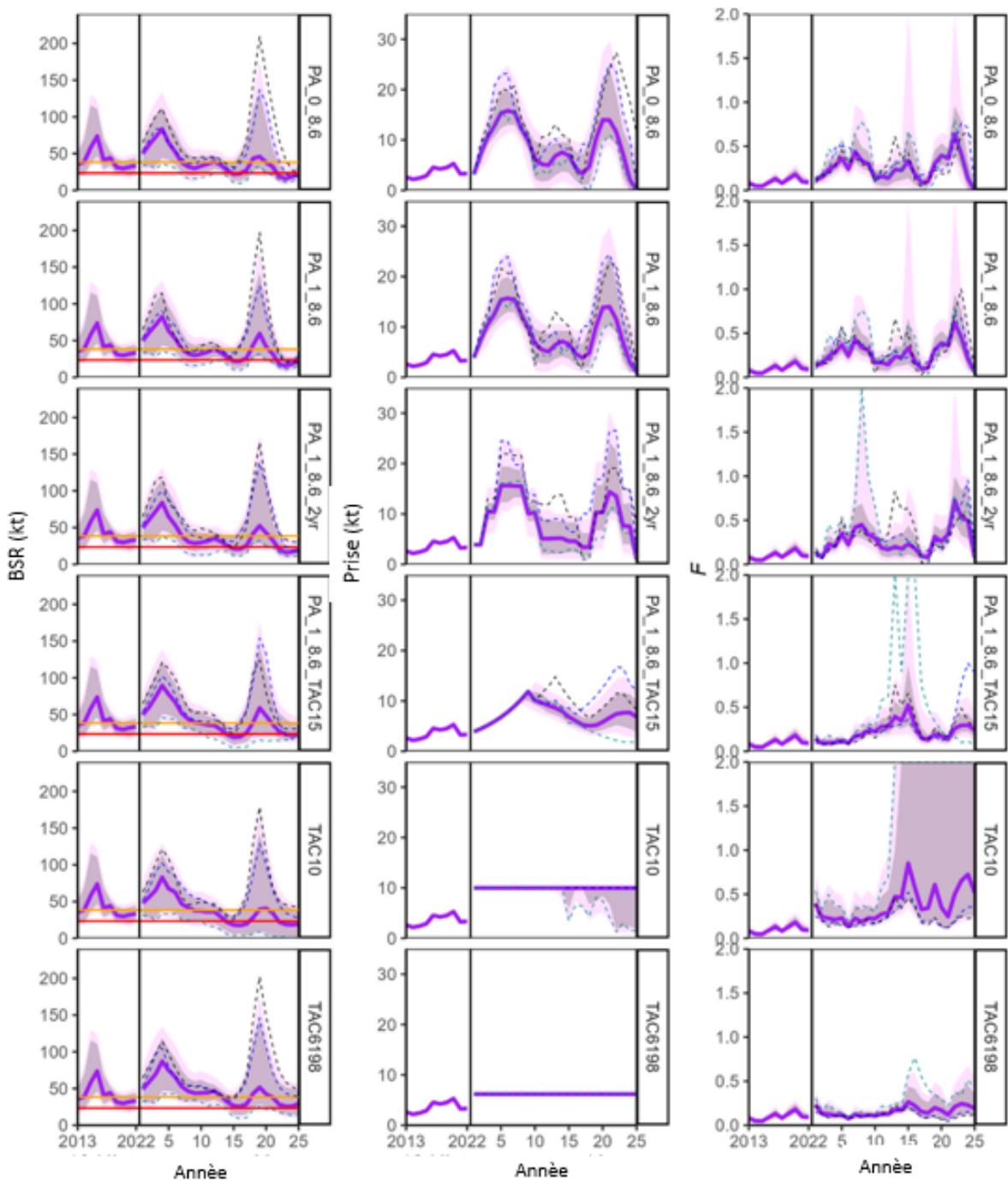


Figure 24. Médiane historique et projetée (ligne violette), 25^e et 75^e centiles (zone ombrée foncée), 10^e et 90^e centiles (zone ombrée claire), pour la biomasse du stock reproducteur (BSR), les prises et le taux de mortalité par pêche (F), pondérée entre les modèles opérationnels 1b à 3b pour 100 simulations. Les trajectoires de trois simulations projetées au hasard sont représentées sous forme de lignes pointillées. Les lignes de référence horizontales pour la BSR sont le point de référence limite pondéré par le modèle opérationnel (PRL; rouge) et le point de référence supérieur proposé (PRS; orange). Chaque rangée de graphiques correspond à une procédure de gestion différente.

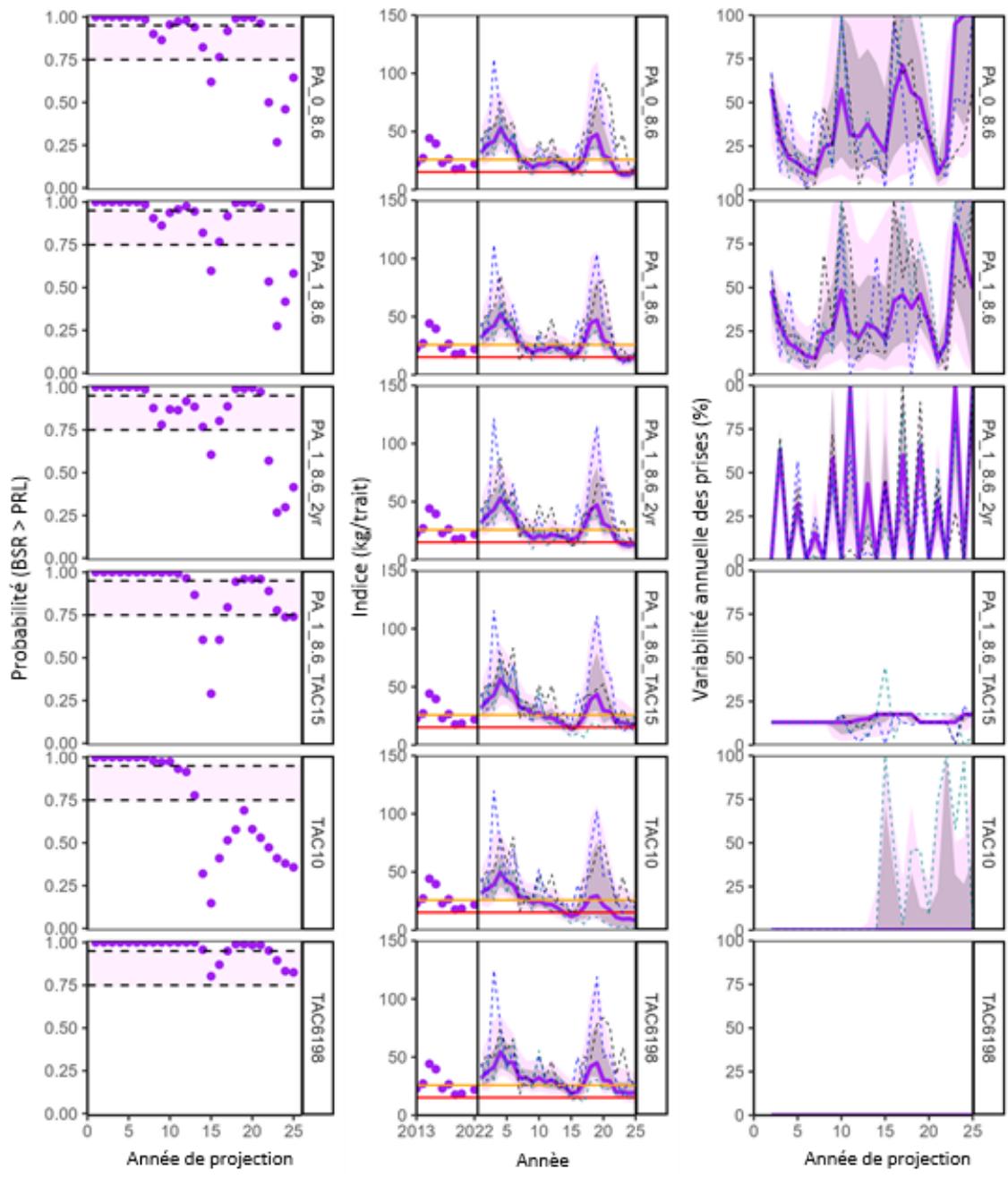


Figure 25. Probabilité projetée que la biomasse du stock reproducteur dépasse le point de référence limite $P(BSR > PRL)$, pondérée par modèle opérationnel (modèle opérationnel) pour les modèles opérationnels 1b à 3b (graphique de gauche). Médianes historiques (cercles violets) et projetées (ligne violette), 25^e et 75^e centiles (zone ombrée foncée), 10^e et 90^e centiles (zone ombrée claire), pour l'indice du relevé du MPO (graphique du milieu), les trajectoires pour trois simulations projetées au hasard sont représentées en pointillés. Variabilité annuelle des prises (graphique de droite), pondérée entre les modèles opérationnels 1 à 3 pour 100 simulations. Les lignes de référence horizontales pour l'indice sont le point de référence limite pondéré par le modèle opérationnel et ajusté en fonction de la q (rouge) et le point de référence supérieur proposé (orange). La variabilité annuelle des prises a été plafonnée à 100 % aux fins de sa représentation graphique. Chaque rangée de graphiques correspond à une procédure de gestion différente.

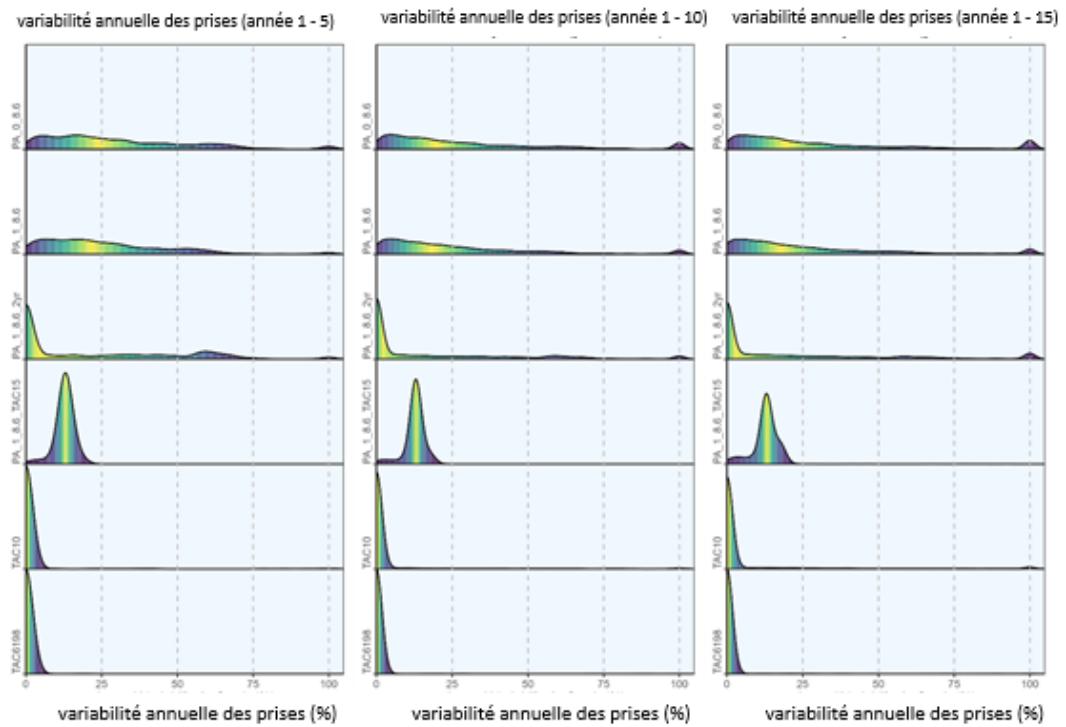


Figure 26. Diagrammes de densité pour la variabilité annuelle des prises par procédure de gestion (procédure de gestion) pour les modèles opérationnels 1 à 3 pendant trois périodes (5 ans, graphique de gauche; 10 ans, graphique du milieu; 15 ans, graphique de droite). Il convient de noter que la variabilité annuelle des prises a été plafonnée à 100 % aux fins de la représentation graphique et que l'échelle de couleur Viridis est appliquée pour les quantiles (p. ex. la médiane est jaune).

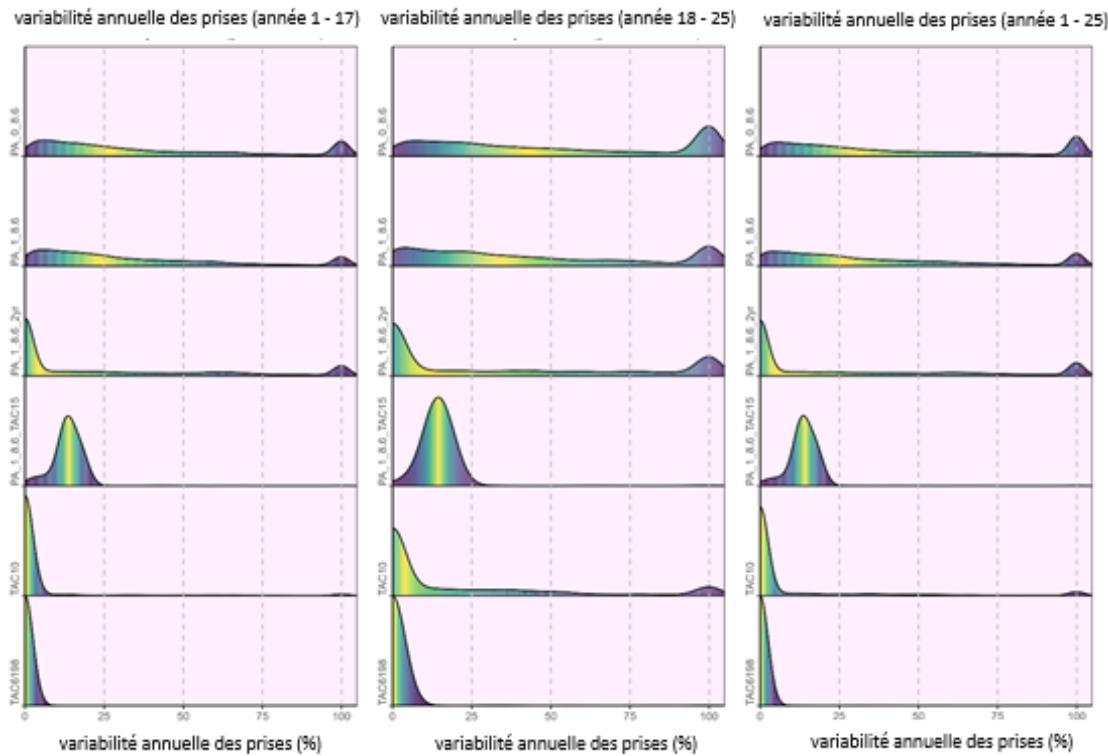


Figure 27. Diagrammes de densité pour la variabilité annuelle des prises par procédure de gestion (procédure de gestion) pour les modèles opérationnels 1b à 3b pendant trois périodes (1 à 17 ans, graphique de gauche; 18 à 25 ans, graphique du milieu; 1 à 25 ans, graphique de droite). Il convient de noter que la variabilité annuelle des prises a été plafonnée à 100 % aux fins de la représentation graphique et que l'échelle de couleur Viridis est appliquée pour les quantiles (p. ex. la médiane est jaune).

11. SÉLECTION DE LA PROCÉDURE DE GESTION

Toutes les procédures de gestion présentées dans ce document sont à des fins de démonstration et seule l'approche de simulation utilisée pour évaluer le rendement des procédures de gestion a été examinée au cours de cette troisième réunion d'examen par les pairs du SCAS. Ce cadre d'évaluation des procédures de gestion sera appliqué après la réunion pour mettre à l'essai d'autres procédures de gestion soumises à la Direction des sciences du MPO. Le rendement de chaque procédure de gestion sera fourni avec une évaluation des compromis entre les objectifs de gestion à la Gestion des ressources aux fins de consultation avec les intervenants. Après cette consultation, une procédure de gestion sera choisie pour fournir des avis sur les prises futures pour la pêche à l'aiglefin des divisions 4X5Y.

12. CIRCONSTANCES EXCEPTIONNELLES ET MOMENT DE L'ÉVALUATION

Une fois qu'une procédure de gestion est adoptée, elle servira à donner des avis sur les prises. Des circonstances exceptionnelles sont généralement définies lorsqu'une procédure de gestion est adoptée pour une pêche afin de tenir compte des situations hors de la portée des scénarios pour lesquels la procédure de gestion a été testée en simulation ou lorsque les données nécessaires à l'application de la procédure de gestion ne sont pas disponibles. Les principales raisons déterminées pour le déclenchement d'une circonstance exceptionnelle pour ce cadre d'évaluation des procédures de gestion pour l'aiglefin des divisions 4X5Y sont les suivantes :

A. Des signes démontrent que la dynamique présumée du stock dans les modèles opérationnels 1 à 3 a changé ou n'est plus appropriée.

B. Il y a des changements importants dans la dynamique de la pêche ou de la flotte.

C. Les données nécessaires à l'application de la procédure de gestion ne sont plus disponibles ou ne conviennent plus.

On s'attend à ce que des avis sur les prises soient fournis en évaluant les nouvelles données (c.-à-d. l'indice du relevé du MPO) par rapport à la procédure de gestion, et les circonstances exceptionnelles seraient évaluées lors d'une réunion de mise à jour. La fréquence des réunions (p. ex. une fois par année ou tous les deux ans) dépendra de l'établissement des priorités par le bureau régional du SCAS. Des mesures précises à prendre lors du déclenchement de chaque circonstance exceptionnelle sont fournies de façon générale; toutefois, les mesures particulières seront évaluées au cas par cas et pourraient nécessiter des discussions avec la Gestion des ressources et le Comité consultatif du poisson de fond de la région Scotia-Fundy. Si des circonstances exceptionnelles ne sont pas déclenchées (tableau 11), il est proposé d'utiliser la procédure de gestion pendant cinq à sept ans, après quoi elle sera examinée pour déterminer les prochaines étapes.

D'autres indicateurs, mis à part les circonstances exceptionnelles, ont été compilés en fonction des discussions tenues lors de la réunion d'examen par les pairs (tableau 12). Ils seront évalués régulièrement et accompagneront les indicateurs d'évaluation typiques pour la pêche et le relevé (p. ex. prises selon l'âge, prises selon la longueur), ainsi que l'évaluation des circonstances exceptionnelles.

Tableau 11. Indicateurs, critères d'évaluation et considérations scientifiques pour l'évaluation des circonstances exceptionnelles. MO = modèle opérationnel; M = mortalité naturelle; PG = procédure de gestion

Déclencheur	Indicateur	Critères d'évaluation	Considérations scientifiques
A1	Indice du relevé du MPO	L'indice observé est inférieur à 15,2 kg/trait pour deux années consécutives (figure 28).	Déclencher un examen de l'état du stock.
A2	Données d'entrée	La Direction des sciences du MPO a accès à de nouvelles données qui font croire que les données d'entrée ou les hypothèses de modèle (p. ex. la <i>M</i>) ne sont plus valides (p. ex. une <i>M</i> supérieure dans un état de faible productivité).	Les constatations pourraient déclencher un nouveau cadre, une révision des MO ou une réévaluation des PG.
B2	Sélectivité de la pêche	Il existe des signes prouvant que la sélectivité de la pêche peut différer considérablement de la sélectivité supposée dans les MO.	Les constatations pourraient déclencher un nouveau cadre, une révision des MO ou une réévaluation des PG.
C1	Indice du relevé du MPO	L'indice n'est pas disponible pour appliquer la PG.	Renouvellement d'un TAC annuel si absent pendant un an. Il faut déterminer s'il est absent depuis plus d'un an.

Tableau 12. D'autres indicateurs seront évalués régulièrement aux fins de mises à jour. MO = modèle opérationnel; TAC = total autorisé des captures.

Indicateur	Évaluation	Considérations scientifiques
Indice du relevé du MPO	L'indice observé se situe à l'extérieur de l'intervalle de prédition de 80 % (10 ^e et 90 ^e centiles) dans la même direction pour les MO 1 à 3 pour deux années consécutives. Voir la figure 28 pour un exemple.	De faibles valeurs doivent être traitées par des circonstances exceptionnelles.
Poids selon l'âge	Comparer les poids selon l'âge observés par le MPO aux poids selon l'âge présumés	Les différences entre les poids selon l'âge ne devraient pas avoir d'incidence sur le rendement de la procédure de gestion.
Débarquements	Comparer les débarquements au TAC.	Discussion avec la Gestion des ressources.
Taux de récolte relatif par région (plateau néo-écossais et baie de Fundy)	Comparer le taux de récolte relatif par région à une approximation pour la $F_{\text{effondrement}}$.	Éviter l'épuisement local.

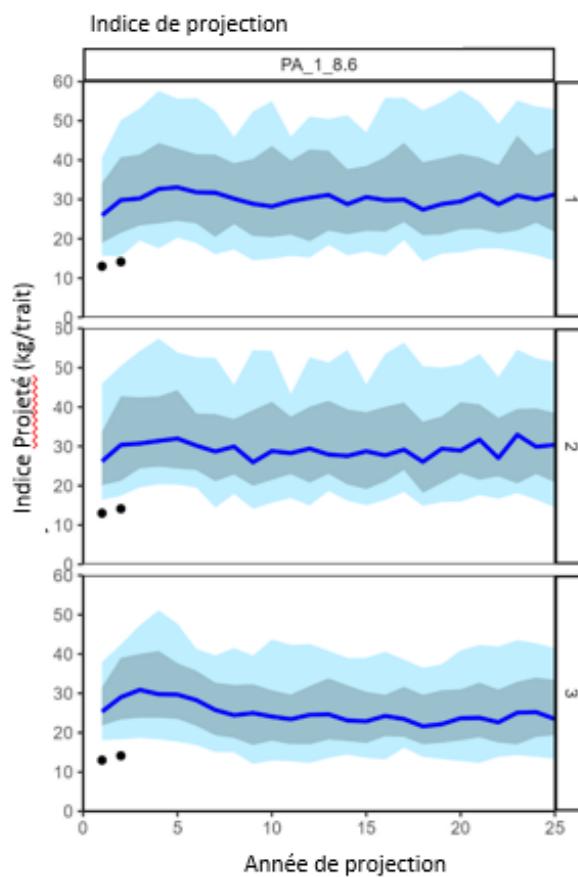


Figure 28. Médiane projetée (ligne bleue), 25^e et 75^e centiles (zone ombrée foncée), et 10^e et 90^e centiles (zone ombrée claire) pour l'indice du relevé du MPO par modèle opérationnel (modèle opérationnel 1, 2 et 3) pour la procédure de gestion (procédure de gestion) PA_1_8.6, indiquant deux valeurs futures de l'indice observé (projections pour les années 1 et 2) se situant hors des limites de prévision de 80 % pour l'indice des trois modèles opérationnels.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Acheson, C. 2020. Fecundity of Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) of Eastern Georges Bank. Thesis (B.Sc.) University of New Brunswick, Fredericton, N.B., 32 p.
- Barrett, T.J., Marentette, J.R., Forrest, R.E., Anderson, S.C., Holt, C.A., Ings, D.W., et Thiess, M.E. 2024. Considérations techniques relatives à l'état des stocks et aux points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc de rech. 2024/029. v + 66 p.
- Barrett, T.J., et Barrett, M.A. Sous presse. 2024 4X5Y Haddock Framework: Data Inputs. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
- Brooks, E.N. 2024. Pragmatic approaches to modeling recruitment in fisheries stock assessment: A perspective. *Fisheries Research* 270: 106896.
- Chen, S., and S. Watanabe. 1989. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 55: 205–208.
- Cope, J.M., and Hamel, O.S. 2022. Upgrading from M version 0.2: An application-based method for practical estimation, evaluation and uncertainty characterization of natural mortality. *Fish. Res.* 256:106493.
- Crone, P., Maunder, M., Valero, J., McDaniel, J., and Semmens, B. 2013. Selectivity: theory, estimation, and application in fishery stock assessment models. CAPAM Workshop Series Report 1. 50 p.
- Finley, M., Wang, Y, et Stone, H.H. 2018. Évaluation du stock d'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) des divisions 4X5Y en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/041. vi + 55 p.
- Fu, C., and Quinn II., T.J., 2000. Estimability of natural mortality and other population parameters in a length-based model: *Pandalus borealis* in Kachemak Bay, Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 2420–2432.
- Gabriel, W.L., Sissenwine, M.P., and Overholtz, W.J. 1989. Analysis of spawning stock biomass per recruit: an example for Georges Bank haddock. *N. Am. J. Fish. Manag.* 9: 383-391.
- Hamel, O.S., 2015. A method for calculating a meta-analytical prior for the natural mortality rate using multiple life history correlates. *ICES J. Mar. Sci.* 72: 62–69.
- Hamel, O.S., Cope, J.M., 2022. Development and considerations for application of a longevity-based prior for the natural mortality rate. *Fish. Res.* 256:106477.
- Hamel, O.S., Punt, A.E., Kapur, M.S., and Maunder, M.N. 2023. Natural mortality: theory, estimation and application in fishery stock assessment models. NOAA Processed Report NMFS-NWFSC-PR-2023-02.
- Hordyk, A., Huynh, Q., Carruthers, T., and Grandin, C. 2022. Package “MSEtool”: Stock Assessment Methods Toolkit. Version 1.2.5.
- ICES. 2013. Report of the Workshop on guidelines for management strategy evaluations (WKGMSE). 21-23 January 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:39. 122 p.
- ICES. 2020. The third workshop on guidelines for management strategy evaluations (WKGMSE3). *ICES Scientific Reports* 2:116. 112 p.
- ICES. 2021. ICES fisheries management reference points for category 1 and 2 stocks. ICES technical guidelines.

-
- Kristensen K. 2024. [RTMBode: Solving ODEs with 'deSolve' and 'RTMB'](#). R package version 1.0.
- MacCall, A., 2013. Use of the delta method to evaluate the precision of assessments that fix parameter values. Fish. Res. 142, 56–60.
- Marshall, D.J., Bode, M., Mangel, M., Arlinghaus, R., and J. Dick. 2021. Reproductive hyperallometry and managing the world's fisheries. PNAS 118(34): e2100695118.
- Maunder, M.N., Hamel, O.S., Less, H., Piner, K.R., Cope, J.M., Punt, A.E., Ianelli, J.N., Castillo-Jordan, C., and Kapur, M.S. 2023. A review of estimation methods for natural mortality and their performance in the context of fishery stock assessment. Fish. Res. 257: 106480.
- MF (New Zealand Government, Ministry of Fisheries). 2008. Harvest Strategy Standard for New Zealand Fisheries. October 2008. 30 p.
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). Pêches et Océans Canada. Accédé Septembre 2024.
- MPO. 2020. [Évaluation de la robustesse des procédures de gestion proposées pour la pêche à la morue charbonnière \(*Anoplopoma fimbria*\) en C.-B., 2019-2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/025.
- MPO. 2022. [Lignes directrices pour la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons de la Loi sur les pêches](#). Pêches et Océans Canada. Accédé Septembre 2024.
- MPO. 2023. [Mise à jour de l'état du stock d'aiglefin \(*Melanogrammus aeglefinus*\) des divisions 4X5Y de l'OPANO pour 2022](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2023/018.
- MPO. 2023 [Avis scientifique concernant les lignes directrices sur les points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/009.
- Nielsen, A., and Berg, C.W. 2014. Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. Fish. Res. 158: 96–101.
- Pennington, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. Fish. Bull. 94: 1996.
- Pope, J.G., Gislason, H., Rice, J.C., and Daan, N. 2021. Scrabbling around for understanding of natural mortality. Fish. Res. 240: 105952.
- Punt, A.E., Hurtado-Ferro, F., and Whitten, A.R., 2014. Model selection for selectivity in fisheries stock assessment. Fish. Res. 158: 124–134.
- Punt, A.E., Castillo-Jordan, C., Hamel, O.S., Cope, J.M., Maunder, M.N., and Ianelli, J.N. 2021. Consequences of error in natural mortality and its estimation in stock assessment models. Fish. Res. 233:105759.
- Rivard, D. 1982. APL programs for stock assessment (revised). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. No. 1091.
- Sainsbury, K. 2008. Best practices for reference points for Australian fisheries. Australian Fisheries Management Authority Report R2001/0999.
- Sampson, D.B., and Scott, R.D. 2012. An exploration of the shape and stability of population-selection curves. Fish and Fisheries 13: 89–104.

-
- Shelton, P.A., and J.C., Rice. 2002. [Limits to overfishing: reference points in the context of the Canadian perspective on the precautionary approach](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2002/084. iv + 29 p.
- Stock, B.C., and Miller, T.J. 2021. The Woods Hole assessment model (WHAM): A general state-space assessment framework that incorporates time- and age-varying processes via random effects and links to environmental covariates. Fish. Res. 240: 105967.
- Szuwalski, C.S., 2022. Estimating time-variation in confounded processes in population dynamics modeling: A case study for snow crab in the eastern Bering Sea. Fish. Res. 251:106298.
- Szuwalski, C.S., Ianelli, J.N., Punt, A.E., 2018. Reducing retrospective patterns in stock assessment and impacts on management performance. ICES J. Mar. Sci. 75, 596–609.
- Taylor, I.G., and Methot, R.D. 2013. Hiding or dead? A computationally efficient model of selective fisheries mortality. Fish. Res. 142: 75–85.
- Then, A.Y., Hoenig, J.M., Hall, N.G., Hewitt, D.A., 2015. Evaluating the predictive performance of empirical estimators of natural mortality rate using information on over 200 fish species. ICES J. Mar. Sci. 72, 82–92.
- Wang, Y., Stone, H.H., and Finley, M. 2017. [4X5Y Haddock 2016 framework assessment: Modelling and reference points](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/026.
- Wang Y., Regnier-McKellar, C., and K. Kraska. 2022. Assessment of Haddock on Eastern Georges Bank for 2022. TRAC Reference Document 2022/02.

ANNEXE A

A1. CONFIGURATION DES MODÈLES

A1.1 Taux de mortalité naturelle (M)

La M est souvent considérée comme l'un des paramètres les plus importants d'une évaluation d'un stock de poissons, et elle influe sur les estimations de la productivité pour la population (Punt *et al.* 2021). Elle est définie comme étant constituée de toutes les sources de mortalité (p. ex. préation, maladie) qui ne sont pas attribuables à la pêche et peut comprendre les prises de poisson non déclarées et le déplacement des poissons à l'extérieur d'une zone de gestion (Maunder *et al.* 2023). Pour les poissons comportant de fortes cohortes, semblables à l'aiglefin, la M peut être élevée chez les jeunes poissons en raison des ressources limitées et de la croissance réduite (Hamel *et al.* 2023). L'estimation de la M dans un modèle d'évaluation du stock est souvent faussée par la sélectivité, la croissance et le taux de variation de la relation stock-recrutement et peut varier selon le sexe, l'âge, la taille et la période (Punt *et al.* 2021, Hamel *et al.* 2023). Une faible M invariante dans le temps (p. ex. $M = 0,2$, Pope *et al.* 2021), a traditionnellement été supposée pour de nombreuses évaluations du stock lorsque la M est inconnue, en partie à cause de la difficulté de l'estimer et parce qu'une M plus faible pourrait mener à des avis plus prudents (Hamel *et al.* 2023). Il peut être préférable d'estimer la M plutôt que de lui attribuer une valeur incorrecte (Fu et Quinn 2000); toutefois, la pratique courante devrait comprendre l'établissement de profils de vraisemblance pour la M ou l'examen des sensibilités avec d'autres valeurs de M (MacCall 2013; Punt *et al.* 2021) pour éviter les erreurs de spécification du modèle (Szwalski *et al.* 2018). Le recours à l'évaluation de la stratégie de gestion permet de spécifier les modèles opérationnels afin de prendre en compte l'incertitude de la M , ce qui mène à des règles de contrôle des prises robustes par rapport à ces incertitudes (Hamel *et al.* 2023).

Dans le cadre d'un examen mené par Hamel et Cope (2022), il a été recommandé que, même lorsque des données directes qui nous renseignent sur la M sont intégrées à un modèle d'évaluation du stock, d'autres méthodes d'estimation de la M hors du modèle devraient être étudiées et prises en compte pour une utilisation comme *a priori* ou comme outil de diagnostic. L'outil Natural Mortality est une application en R qui a été élaboré pour englober plus de 20 estimateurs empiriques de la M à l'aide des paramètres du cycle biologique liés à la croissance, à la maturité et à la longévité (Cope et Hamel 2022). Ces estimations peuvent ensuite être utilisées séparément ou combinées dans une moyenne pondérée entre les méthodes. Selon les recommandations générales de Cope et Hamel, trois des estimateurs de l'outil ont été utilisés pour estimer empiriquement la M pour l'aiglefin des divisions 4X5Y. Ces approches étaient fondées sur la longévité (Hamel 2015), le paramètre de croissance k de von Bertalanffy (Hamel 2015) et à la fois k et la longueur asymptotique (L_{inf}) [Then *et al.* 2015]. La moyenne de ces approches a été utilisée pour estimer une M constante ($M = 0,412$) et une M variable dans le temps qui ont été évaluées pour l'aiglefin des divisions 4X5Y. Chen et Watanabe (1989) ont proposé une méthode supplémentaire qui a été utilisée pour estimer une M selon l'âge variable dans le temps.

Les divers scénarios de M étudiés sont résumés au tableau A2. Une M invariante dans le temps et selon l'âge a été estimée hors du modèle au moyen des paramètres du cycle biologique et a fourni une estimation moyenne de 0,412 (modèle *m0_M_0412*). Une M invariante dans le temps et selon l'âge a été estimée par le modèle (*m0_Me*) à 0,552. La M plus élevée a amélioré l'ajustement à l'indice du relevé du MPO (p. ex. *m0_Me*), mais le modèle *m0_Me* le sous-estimait généralement de 1995 à 2015. La M a été estimée en deux périodes (1970 à 2009; 2010 à 2022) en fonction des tendances résiduelles, et les périodes déterminées correspondent à celles utilisées dans le modèle d'évaluation de l'aiglefin de l'est du banc de Georges (Wang

et al. 2022). La M a été fixée à 0,2 dans la première période pour le modèle *M0_M2b0.2_2010*, et elle a été estimée séparément dans chaque période pour le modèle *m0_M2b_2004* (tableau A2).

On a tenté d'établir un profil de vraisemblance pour toutes les valeurs de la M . Le logarithme de vraisemblance négatif diminuait à mesure que la M augmentait de 0,2 à 0,5 par palier de 0,05, mais un modèle avec la $M = 0,55$ ne convergeait pas, donc aucun minimum n'a été déterminé dans le profil.

Certains scénarios de M variable selon l'âge ont été étudiés en utilisant les blocs d'âges 1 à 4 et 5+ avec différentes valeurs de M (estimées, 0,2 ou 0,412; *m0_a*, *m0_a2*). Une méthode par défaut codée dans le WHAM en fonction du poids selon l'âge a estimé une M variable dans le temps et selon l'âge (tableau A2; *m0_Mwaa*). Le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO a été utilisé comme covariable pour estimer la M en fonction de quelques hypothèses différentes sur la transformation et le coefficient de variation (CV). Un modèle avec un CV sur le nombre d'individus d'âge 1+ de 0,05 (modèle *m0_Me 1+_sig 0,05*) dont les estimations de la M se situaient entre 0,23 et 1,21 présentait des diagnostics relativement bons (tableau A3). À partir de l'évaluation des modèles avec différentes hypothèses sur la M , les modèles *m0_M2b_2010* et *m0_Me1+_sig0.05* ont été désignés comme des modèles proposés qui prennent en compte l'hypothèse d'une M plus élevée (c.-à-d. $> 0,2$; tableau A3). Le modèle *m0_Me1+_sig 0,05* a été choisi comme le meilleur candidat en raison de sa capacité à ajuster la M vers le bas au cours de la période de projection, et le modèle a été révisé (après la deuxième réunion d'examen par les pairs) pour utiliser l'estimation du relevé du MPO en supposant une distribution delta-lognormale (dln) et en utilisant un décalage d'un an ($L1$) sur la relation entre le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO et la M , afin de permettre un scénario de M variable dans le temps à projeter en utilisant le nombre d'individus d'âge 1+ du relevé du MPO de l'année précédente (modèle *m0_Me1+_dln_sig0.05_L1*; section 4.2).

A1.2 Sélectivité et capturabilité

La sélectivité des pêches représente les facteurs combinés qui influent sur la vulnérabilité des poissons, ce qui comprend la sensibilité au contact (probabilité de rencontrer un engin) et la disponibilité (probabilité que les poissons se trouvent dans la zone où la pêche a lieu) [Crone et al. 2013]. La zone spatiale de l'unité de gestion de l'aiglefin des divisions 4X5Y est relativement vaste, et la pêche se pratique généralement dans des zones concentrées et non de manière uniforme au cours de l'année. Bien que l'on puisse présumer que les chaluts de fond présentent une sélectivité asymptotique, la sélectivité en forme de dôme peut survenir en raison de la disponibilité spatiale et temporelle de l'aiglefin et peut être influencée par la présence de fortes cohortes si l'aiglefin se regroupe par taille.

À l'échelle de la population, il est peu probable que la sélectivité soit homogène dans l'espace et le temps (Crone et al. 2013) laissant penser qu'elle devrait varier dans le temps pour la plupart des pêches. Le fait de ne pas tenir compte de la sélectivité variable dans le temps peut mener à des estimations biaisées des principales quantités de gestion (Sampson et Scott 2012, Punt et al. 2014) bien que la variation trop importante de la sélectivité au fil du temps puisse introduire une variance en ne filtrant pas le bruit d'observation (Nielsen et Berg 2014).

L'augmentation du nombre de paramètres à estimer, qui peut mener à des problèmes de surparamétrage, constitue un défi pour ce qui est de permettre une sélectivité variable dans le temps. Nielsen et Berg (2014) ont démontré la capacité des modèles d'espace d'états à estimer efficacement la sélectivité variable dans le temps avec l'ajout d'un seul paramètre (un paramètre de lissage) qui permet à la sélectivité de varier au fil du temps selon différentes hypothèses de structure de corrélation.

Le WHAM utilise le paramétrage suivant pour la sélectivité selon l'âge à double logistique (S_a) qui est le produit d'une fonction logistique et d'une fonction logistique négative :

$$S_a = \left(\frac{1}{1+\exp\left(\frac{-(a-a_{50_1})}{k_1}\right)} \right) \left(\frac{1}{1+\exp\left(\frac{a-a_{50_2}}{k_2}\right)} \right) \quad (\text{Équ. A1})$$

où les paramètres a_{50_1} et a_{50_2} sont l'âge à 50 % de la sélectivité pour chaque courbe logistique et k_1 et $-k_2$ sont l'inverse de la pente de la courbe à l' a_{50} respectif. Les quatre paramètres de sélectivité sont estimés dans le WHAM comme des valeurs positives entre 0 et le nombre de classes d'âge dans le modèle. Bien que l' a_{50} doive être limité entre 0 et le nombre de classes d'âge, le WHAM restreint l'étendue des pentes des courbes de sélectivité à 1/12 et -1/12 pour les parties logistiques et logistiques négatives de la fonction, respectivement, où 12 est le nombre de classes d'âge dans les modèles de l'aiglefin des divisions 4X5Y.

Il n'y a pas d'explication logique à une modification de la capturabilité du relevé dans la série chronologique, si ce n'est l'incertitude du facteur de conversion constant de 1,2 utilisé pour l'indice du relevé du MPO de 1970 à 1981 (Barrett et Barrett, sous presse ¹). Le seul scénario de capturabilité pris en compte pour expliquer le changement chez l'aiglefin des divisions 4X5Y est une période séparée de la q de 1970 à 1981 pour l'indice du relevé du MPO.

Le modèle $m0$ supposait une sélectivité logistique pour la pêche et les deux relevés. Comme solution de rechange aux scénarios à M élevée (c.-à-d. $M > 0,2$) qui comportaient des diagnostics acceptables, on a étudié des scénarios de sélectivité à double logistique (c.-à-d. en forme de dôme) [tableau A4]. Le modèle $m0_Vd1$ avec sélectivité à double logistique invariante dans le temps et le modèle $m0_Vd53$ avec sélectivité à double logistique annuelle (4 paramètres \times 53 ans) n'ont pas convergé (tableau A5). Pour réduire le nombre de paramètres de sélectivité à estimer, on s'est servi de périodes de 10 ans (une période de 3 ans et cinq périodes de 10 ans), mais le modèle ($m0_Vd6$) n'a pas convergé et les estimations des paramètres pour la partie logistique négative de la courbe de sélectivité pour les 5 premières périodes ont atteint la limite supérieure de 12 des paramètres.

On a étudié des options de sélectivité à double logistique variable dans le temps en utilisant une seule période de sélectivité de la pêche avec des effets aléatoires. Les quatre structures de corrélation différentes ont été étudiées (*iid*, *ar1_y*, *ar1_a*, *2dar1*). Soit ces modèles ne convergeaient pas, soit les estimations des paramètres pour la partie logistique négative de la courbe de sélectivité atteignaient la limite supérieure des paramètres et les diagnostics étaient mauvais (tableau A5). Les deux hypothèses possibles pour le manque de convergence et l'atteinte des limites par les paramètres de sélectivité étaient les suivantes :

1. les limites de 12 des paramètres pour les paramètres k de l'équation A1 étaient trop basses, ce qui restreignait la plage des courbes de sélectivité qui pouvaient être examinées;
2. la sélectivité en forme de dôme est peu étayée par les données.

En théorie, le paramètre k_2 peut dépasser le nombre maximum de classes d'âge et à mesure qu'il augmente, la fonction à double logistique se rapproche d'une fonction logistique. Afin d'évaluer le soutien potentiel pour une sélectivité en forme de dôme, la sélectivité a été estimée au moyen de la tendance de la sélectivité selon l'âge du WHAM. Pour réduire le nombre de paramètres de sélectivité à estimer, on a utilisé des périodes de 10 ans dont 3 ans se situaient dans la sixième période (modèle $m0_Vas6$; tableau A4, tableau A5). La sélectivité à l'âge 6 a été fixée à 1 dans chaque période. La sélectivité selon l'âge pour chaque période était à peu près logistique, à l'exception de la dernière période (2020 à 2022) qui semblait être en forme de dôme et de la période de 2010 à 2019 dont la sélectivité aux âges 12+ était d'environ 0,5. Afin

d'évaluer le support de la sélectivité en forme de dôme à la fin de la série chronologique, les périodes de sélectivité ont été définies en périodes de 10 ans avec 3 ans dans la première période et 10 ans dans la sixième période (*modèle m0_Vas6a*, tableau A4). La tendance de sélectivité selon l'âge pour la période de 2013 à 2022 était en forme de dôme et toutes les autres périodes étaient à peu près logistiques (p. ex. compte tenu d'un lissage des estimations de la sélectivité selon l'âge). Les modèles *m0_Vas6* et *m0_Vas6a* ne convergeaient pas (tableau A5). Le modèle *m0_Vl5d1* a été ajusté à la sélectivité logistique dans toutes les périodes, à l'exception de la période de 2013 à 2022 (à double logistique) au moyen de ces courbes de sélectivité selon l'âge et de la structure des périodes du modèle *m0_Vas6a*. Le modèle *m0_Vl5d1* a convergé, mais ne s'ajustait pas bien à l'indice du relevé du MPO (ajustement comparable à celui du modèle *m0*).

Dans le but d'améliorer l'ajustement du modèle à l'indice du relevé du MPO, la *q* a été estimée en deux périodes (1970 à 1981 et 1982 à 2022, *m0_Vl5d1_q82*). Les périodes de sélectivité pour ce modèle ont été ajustées afin qu'elles ne chevauchent pas les deux périodes de la *q*. Le modèle n'a pas convergé et les paramètres de sélectivité à double logistique ont atteint les limites. La sélectivité à double logistique a été modifiée en une sélectivité selon l'âge et les âges 5 à 10 ont dû être fixés à 1 pour que le modèle (*m0_Vl5as1_q82*) converge. Un autre changement a été apporté aux périodes de sélectivité dans le but d'améliorer les résidus pour les données sur la composition par âge des pêches en permettant une sélectivité plus faible pour le groupe des âges 12+ dans la période 5 (*m0_Vl4as2_q82*); toutefois, cela n'a pas amélioré les diagnostics globaux du modèle (tableau A5).

La forme de la sélectivité de l'indice du relevé du MPO a également été étudiée comme option supplémentaire (sans changer l'hypothèse sur la *M*) afin d'améliorer l'ajustement à l'indice. Le modèle *m0_Vl5d1_dDFO* supposait une sélectivité à double logistique pour l'indice du relevé du MPO et la sélectivité n'est tombée en dessous de 0,8 que pour les âges 12+, ce qui a apporté peu d'amélioration aux diagnostics des modèles (tableau A5).

On a ajusté un modèle (*m0_Vl5d1_asDFO_q82*) qui supposait une sélectivité en forme de dôme pour la pêche et les relevés du MPO et dont la *q* avait été estimée en deux périodes. Les paramètres de sélectivité à double logistique pour les relevés du MPO ont atteint les limites, de sorte qu'on a supposé que la sélectivité était propre à l'âge et la sélectivité selon les âges 5 à 10 a dû être fixée à 1 pour que le modèle converge. L'ajustement avec l'indice du relevé du MPO ne s'est toujours pas amélioré après 1982. Un modèle final a été ajusté pour étudier l'influence des modifications des hypothèses de la sélectivité et de la *q* sur la *M*. Le modèle *m0_Vl5d1_asDFO_q82_Me* a estimé que la *M* était de 0,471, une diminution relativement faible (p. ex. si l'on considère une *M* = 0,2 pour le modèle *m0*) par rapport au modèle *m0_Me*, où la *M* a été estimée à 0,552.

Aucun des modèles du tableau A5 fondés sur le *m0* avec différentes hypothèses de sélectivité n'a été désigné comme modèle proposé pour le stock; cependant, étant donné qu'un modèle avec sélectivité annuelle comporte 106 (53 x 2) paramètres de sélectivité de la pêche, il a été recommandé lors de la deuxième réunion d'examen d'examiner un modèle ayant un ensemble de paramètres de sélectivité des poissons dont la sélectivité annuelle est estimée au moyen d'effets aléatoires sur les paramètres de sélectivité. Ce modèle (*m0_Me1+_dlh_sig0.05_L1_V2dar1*, section 4.2) a été désigné comme modèle proposé pour tenir compte de cette incertitude.

A1.3 Distribution de vraisemblance multinomiale de la composition par âge

La distribution de Dirichlet a été choisie comme distribution de la composition par âge pour le modèle *m0* parce qu'il s'agit d'une autopondération et que les ajustements du modèle ne dépendent pas de pondérations potentiellement arbitraires appliquées sur différentes sources

de données utilisées dans la fonction de vraisemblance. L'influence de cette décision sur l'ajustement du modèle a été étudiée en ajustant des modèles avec différentes distributions de la composition par âge. Pour la distribution multinomiale, la pondération des sources de données sur la composition par âge est influencée par la taille effective de l'échantillon (TEE) d'entrée et la pondération des prises et des indices est influencée par le CV de ces sources de données. La distribution multinomiale a été choisie aux fins d'examen afin que les pondérations des différentes sources de données puissent être ajustées pour évaluer différentes hypothèses afin d'expliquer les conflits entre l'indice du relevé et les données sur la composition par âge.

Le modèle initial *m1* (tableau A6) supposait une TEE annuelle égale au nombre de traits pour chaque relevé, et une TEE annuelle égale au nombre de sorties de pêche uniques avec échantillons d'âge pour la composition des prises. Les CV des indices ont été estimés à partir des données, et ceux des prises ont été fixés à 0,05.

L'un des principaux défis liés aux diagnostics pour les modèles supposant une distribution de Dirichlet a été l'ajustement à l'indice du relevé du MPO (tableau A6). Il semble y avoir une divergence entre l'indice et les données sur la composition par âge pour la pêche et l'indice du relevé du MPO, pour lesquels une *M* élevée peut améliorer le diagnostic des modèles. Ce ne sont pas toutes les fortes cohortes dans les données sur la composition par âge des prises qui figurent dans les données sur la composition du relevé, et la forte cohorte de 2013, qui figure dans les données sur la pêche et les données sur la composition par âge du relevé, ne contribue pas à une biomasse très élevée dans l'indice du relevé du MPO. Bien que l'augmentation de la *M* au-dessus de 0,2 (p. ex. modèle *m0_M2b_2010*) ait amélioré les diagnostics du modèle et puisse expliquer la divergence, d'autres hypothèses, comme une diminution de la sélectivité ou de la capturabilité, ou une diminution de la croissance, pourraient expliquer cette divergence (p. ex. Szwalski 2022). Étant donné que les données d'entrée du modèle tiennent compte des changements temporels de la croissance, les configurations de recharge du modèle *m1* étaient axées sur les modifications de la sélectivité (c.-à-d. la sélectivité en forme de dôme pour la pêche ou le relevé). L'hypothèse de recharge pour cet examen des autres formes de sélectivité est un scénario de « cachette » plutôt qu'un scénario d'« élimination » (p. ex. Taylor et Methot 2013).

L'examen du modèle *m1* a consisté à utiliser la distribution multinomiale pour les données sur la composition par âge afin que les pondérations relatives des différentes sources de données puissent être ajustées dans le but d'obtenir un modèle qui s'ajuste à l'indice du relevé du MPO avec une *M* = 0,2. Afin de réduire la tendance résiduelle dans les données sur la composition par âge des prises causées par la cohorte de 2003, les modèles ont été ajustés aux prises dans le sud de la sous-division 4Xp de l'OPANO (strates de relevé 482 et 483, voir Barrett et Barrett, sous presse¹) supprimées en fonction de l'hypothèse selon laquelle ces prises comprennent l'aiglefin de l'est du banc de Georges. La sélectivité n'a pas pu être estimée pour le relevé effectué par des navires assujettis à des quotas individuels transférables (semblable au modèle *m0*); elle a donc été supprimée comme source de données. Le modèle *m1* a donc été défini comme étant le modèle *m0* avec une suppression des prises dans le sud de la sous-division 4Xp et une distribution multinomiale pour les données sur la composition par âge avec la TEE initiale, comme décrite pour le modèle *m0_AC_mult_DFOcv0.1*. Le modèle *m1* ne s'ajustait pas à l'indice du relevé du MPO, de sorte que la pondération de l'indice a été augmentée en réduisant le CV de moitié (modèle *m1_DFO0.5cv*) et en réglant le CV à 0,1 pour toutes les années sauf 1977 où l'indice est influencé par un trait important (modèle *m1_DFOcv0.1*; tableau A6). La diminution du CV à 0,1 a amélioré l'ajustement du relevé, mais a donné lieu à de fortes tendances résiduelles dans la pêche et les données sur la composition par âge du relevé (p. ex. une période de résidus négatifs pour le groupe d'âges 12+). On a supposé une sélectivité à double logistique pour la pêche sur toute la série

chronologique (*m1_DFO_cv0.1_Vd1*) et pour une période de 2003 à 2022 (*m1_DFOcv0.1_VI33d1*). Le modèle *m1_DFOcv0.1_VI33d1* présentait des résidus améliorés de la composition par âge pour la pêche et un meilleur ajustement à l'indice du relevé du MPO, mais de faibles résidus pour les données sur la composition par âge du relevé (tableau A6). La sélectivité du relevé du MPO a été remplacée par une sélectivité à double logistique (modèle *m1_DFOcv0.1_VI33d1_dDFO*) une sélectivité selon l'âge et les TEE ont été augmentées pour les données sur la composition par âge du relevé. Les diagnostics du modèle ont été améliorés grâce à la sélectivité à double logistique, mais l'augmentation de la TEE a forcé l'ajustement de l'indice du relevé du MPO (ajustement semblable à celui du modèle initial *m0*). Un modèle de sélectivité selon l'âge pour le relevé du MPO était très semblable au modèle de sélectivité à double logistique et n'a pas été examiné plus à fond. Les tendances résiduelles (périodes de résidus négatifs pour les âges 12+) dans les données sur la composition par âge de la pêche ont laissé croire qu'une sélectivité à double logistique estimée dans les blocs d'âge pourrait améliorer l'ajustement. Le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO* présentait des diagnostics acceptables (tableau A6), la sélectivité de la pêche étant estimée comme double logistique en 5 périodes (une période de 13 ans et quatre périodes de 10 ans).

Les changements apportés à la *M* (augmentation à 0,25 et tentative d'estimation dans le modèle) ont entraîné une incapacité de convergence, causée par le fait que les paramètres à double logistique atteignaient les limites. À titre d'étude finale pour le modèle *m1*, les effets aléatoires sur la sélectivité des pêches ont été étudiés pour le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd1* et les effets aléatoires sur la sélectivité du relevé du MPO ont été étudiés pour le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO*. Les effets aléatoires pour le *m1_DFOcv0.1_Vd1* ont amélioré les tendances rétrospectives et l'AIC, mais le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO* (sélectivité dans les périodes sans effets aléatoires) a présenté une valeur d'AIC plus faible (tableau A6). Le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO* avec effets aléatoires n'a pas convergé.

D'après l'étude des configurations de modèle pour le *m1*, le modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO* était celui qui s'ajustait le mieux; cependant, l'hypothèse de la sélectivité en forme de dôme pour la pêche et pour le relevé a été jugée inappropriée, et aucun modèle fondé sur la configuration de *m1* n'a été désigné comme modèle proposé pour le stock.

A1.4 Autres distributions de vraisemblance de la composition par âge

Le modèle *m0_AC_mult* (tableau A7) a supposé une distribution multinomiale en utilisant les TEE et les CV décrits ci-dessus pour le modèle *m1*. Le modèle *m0_AC_mult* n'a pas convergé, de sorte que les TEE de la composition par âge ont été ajustées manuellement à 70 pour les prises et à 40 (*m0_AC_mult_70_40*) pour l'indice, mais n'ont pas convergé (valeurs choisies arbitrairement en fonction des valeurs utilisées pour l'aiglefin du banc de Georges) (NFSC, en prép.²). Le modèle *m0_AC_mult_200_40* a convergé, mais les diagnostics étaient mauvais et similaires à ceux du *m0* (tableau A7). Dans le but d'améliorer l'ajustement du modèle à l'indice du relevé du MPO, le CV de l'indice a été réduit de 50 % et a également été diminué à 0,1 (modèles *m0_AC_mult_DFO0.5cv* et *m0_AC_mult_DFOcv0.1*). Bien que les ajustements à l'indice du relevé du MPO aient été améliorés, le diagnostic des modèles était mauvais. Les périodes ont été déterminées dans les résidus prévisionnels à un pas de temps pour les données sur la composition par âge des prises et du relevé du MPO à partir du modèle *m0_AC_mult_DFOcv0.1*, où des périodes de résidus négatifs ont été observées vers 2004 pour les prises et 2010 pour l'indice du relevé du MPO. Les modèles avec des distributions logistiques-normales et de Dirichlet-multinomiales ne convergeaient pas. La décision de regrouper les observations des zéros (données sur la composition) avec les classes d'âge adjacentes pour la vraisemblance de Dirichlet était arbitraire, mais un modèle a été ajusté en traitant les zéros comme des données manquantes en tant que sensibilité et cette décision semblait sans conséquence, avec seulement une légère différence de la *F* au milieu des années 2000.

A1.5 Données d'entrée

L'influence de différentes sources de données sur les ajustements des modèles a été étudiée. Ces sources de données étaient les suivantes :

- l'indice du relevé effectué par des navires assujettis à des quotas individuels transférables et les données sur la composition par âge;
- les données sur la composition par âge des prises et du relevé estimées en utilisant les âges 9+ comme groupe « plus »;
- les prises dans le sud de la sous-division 4Xp de l'OPANO (strates 482 et 483);
- les données entrées avant 1985 ont été exclues (en fonction de l'incertitude quant à l'âge avant 1985, Wang *et al.* 2017);
- l'indice du relevé du MPO (estimé en supposant une distribution delta-lognormale).

Des analyses de modèles de sensibilité pour ces incertitudes ont été réalisées et présentées lors de la deuxième réunion d'examen par les pairs pour chacun des trois modèles proposés (modèles *m0_M2b_2010*, *m0_Me1+_sig0.05* et *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO*).

Les sensibilités du modèle *m0_M2b_2010* ont eu peu d'influence sur le diagnostic des estimations modélisées de la *F*, du recrutement ou de la BSR. L'estimation de la *q* pour le modèle dont le groupe « plus » est composé des âges 9+ constituait une exception, ce qui s'est traduit par une différence d'échelle pour la *F*, le recrutement et la BSR, ainsi qu'un CV moins élevé pour ces mesures.

Les sensibilités du modèle *m0_Me1+_sig 0.05* ont eu peu d'influence sur le diagnostic des estimations modélisées de la *F*, du recrutement ou de la BSR, à l'exception des différences d'échelle liées aux différentes estimations de la *q*.

Les sensibilités du modèle *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO* ont eu peu d'influence sur les diagnostics ou les estimations du modèle de la *F*, du recrutement ou de la BSR; cependant, pour la sensibilité à l'abandon des données d'avant 1985, les cinq périodes pour la sélectivité ont été remplacées par quatre périodes (deux périodes de 9 ans et deux périodes de 10 ans). Les deux premières périodes devaient être configurées à « logistique » pour que le modèle converge (les paramètres à double logistique atteignent les limites). Ce modèle avait un CV beaucoup plus faible et une *q* différente (bien que des tendances semblables aient été observées pour la *F*, le recrutement et la BSR).

A1.6 Effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge

Le modèle *m0* a été ajusté aux effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge afin d'étudier des hypothèses de recharge à l'augmentation de la *M* pour améliorer les diagnostics du modèle. La structure de corrélation pour l'âge 1 (âge du recrutement) a été découpée de celle pour les âges 2+. Le modèle *m0_M0.2_NAARE_iid* a été ajusté avec des effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge (âge 1 séparé des âges 2+) en supposant des écarts selon l'âge et l'année, mais non corrélés (tableau A8). Les modèles présentant des écarts du nombre d'individus par âge corrélés par âge (*m0_M0.2_NAARE_ar1_a*), année (*m0_M0.2_NAARE_ar1_y*) et âge/année (*m0_M0.2_NAARE_2dar1*) ont également été ajustés. Le modèle qui convenait le mieux était le modèle *m0_M0.2_NAARE_2dar1* (tableau A8) et il a été choisi comme modèle proposé pour le stock en tant qu'hypothèse de recharge à la *M* élevée. Le modèle a été révisé (lors de la deuxième réunion d'examen par les pairs) en utilisant la distribution multinomiale et en réduisant de 50 % le CV de l'indice du relevé du MPO. Il a été révisé de nouveau (après la deuxième réunion d'examen par les pairs) afin de désactiver la

correction du biais dans l'estimation du nombre d'individus par âge moyen dans la projection de l'erreur de traitement. Le modèle final utilisé était *m0_M0.2_NAARE_2dar1_DFO0.5cv_noBC* (section 4.2).

Tableau A1. Configuration des modèles *m0*, *m0_M2b_2010*, *m0_Me1+_sig0.05*, *m1*, *m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO*.

Caractéristique du modèle	<i>m0</i>	<i>m0_M2b_2010</i>	<i>m0_Me1+_sig 0,05</i>	<i>m1</i>	<i>m1_DFOcv0.1_Vd5_dDFO</i>
Années du modèle	1970 à 2022				
Classes d'âge modélisées	1 à 12+				
Prises	Toutes	Toutes	Toutes	Sauf les prises dans les strates 482 et 483 du relevé	Sauf les prises dans les strates 482 et 483 du relevé
Structure de la flotte de pêche	Flotte unique				
Sélectivité de la pêche	Logistique, périodes annuelles	Logistique, périodes annuelles	Logistique, périodes annuelles	Logistique, périodes annuelles	Logistique double avec une période de 13 ans et cinq périodes de 10 ans
Relevé	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]	Relevé du MPO [1970 à 2022 sans 2021]
Sélectivité du relevé	Période unique, invariante dans le temps, logistique	Période unique, invariante dans le temps, double logistique			
Modèle stock-recrutement	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes avec sigma = 1	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes avec sigma = 1	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes avec sigma = 1	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes avec sigma = 1	Recrutement moyen avec estimation des écarts logarithmiques comme effets fixes avec sigma = 1
Taux de mortalité naturelle	0,2	0,484 [1970 à 2009] 0,621 [2010 à 2022]	0,227 à 1,21 [Variable dans le temps en fonction du nombre d'individus d'âge 1 du relevé]	0,2	0,2
Fonction de vraisemblance pour les données sur les prises et les indices du relevé	Lognormale	Lognormale	Lognormale	Lognormale	Lognormale
Fonction de vraisemblance pour les données sur les prises et la composition par âge du relevé	Dirichlet, regroupement des zéros	Dirichlet, regroupement des zéros	Dirichlet, regroupement des zéros	Multinomiale	Multinomiale avec CV sur l'indice du relevé du MPO à 0,1

Caractéristique du modèle	<i>m0</i>	<i>m0_M2b_2010</i>	<i>m0_Me 1+ sig 0,05</i>	<i>m1</i>	<i>m1_DFOcv0.1_Vd5_ddFO</i>
Effets aléatoires (erreurs de traitement)	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun

Tableau A2. Modèles de configurations étudiés avec scénarios de recharge pour la M

Modèle	M	Description
<i>m0</i>	0,2	Hypothèse initiale
<i>m0_M0.412</i>	0,412	Estimation moyenne à partir des paramètres du cycle biologique
<i>m0_Me</i>	0,552	1 période : estimée par le modèle
<i>m0_Mgrowth</i>	Variable dans le temps	En fonction des estimations annuelles de croissance de von Bertalanffy
<i>m0_Matagegrowth</i>	Variable selon l'âge et dans le temps	Basé sur les estimations annuelles de croissance de von Bertalanffy
<i>m0_M2b_2004</i>	0,466 et 0,559	2 périodes : 1970 à 2003 et 2004 à 2022 (toutes deux estimées par le modèle)
<i>m0_M2b0.2_2004</i>	0,2 et 0,422	2 périodes : 1970 à 2003 (fixe) 2004 à 2022 (estimées par le modèle)
<i>m0_M2b0.2_2004_q2b</i>	0,2 et 0,376	2 périodes : 1970 à 2003 (fixe) 2004 à 2022 (estimées par le modèle); q estimée en 2 périodes [1970 à 1981;1982 à 2022]
<i>m0_M2b_2010</i>	0,479 et 0,614	2 périodes : 1970 à 2009 et 2010 à 2022 (toutes deux estimées par le modèle)
<i>m0_M2b0.2_2010</i>	0,2 et 0,437	2 périodes : 1970 à 2009 (fixe) 2010 à 2022 (estimées par le modèle)
<i>m0_M2b0.2_2010_q2b</i>	0,2 et 0,295	2 périodes : 1970 à 2009 (fixe) 2010 à 2022 (estimées par le modèle); q estimée en 2 périodes [1970 à 1981;1982 à 2022]
<i>m0_Me1+</i>	Variable dans le temps	Estimation par le modèle au moyen de l'abondance du relevé du MPO (âges 1+) comme covariable
<i>m0_Me 1+_sig 0,05</i>	Variable dans le temps	<i>m0_Me1+</i> avec cv de l'indice = 0,05
<i>m0_Me1+_sig0.1</i>	Variable dans le temps	<i>m0_Me1+</i> avec cv de l'indice = 0,1
<i>m0_Me1+_log</i>	Variable dans le temps	Estimation par le modèle au moyen de log(abondance) du relevé du MPO (âges 1+) comme covariable
<i>m0_Me1+_logsig0.1</i>	Variable dans le temps	<i>m0_Me1+_log</i> avec cv de l'indice = 0,1
<i>m0_Me1+_logsig0.05</i>	Variable dans le temps	<i>m0_Me1+_log</i> avec cv de l'indice = 0,05
<i>m0_Mwaa</i>	Variable selon l'âge et dans le temps	Méthode WHAM par défaut du poids selon l'âge
<i>M0_a</i>	Variable selon l'âge	0,412 (âges 1 à 4); estimation par le modèle selon l'âge (âge 5+)
<i>M0_a2</i>	Variable selon l'âge	Estimation par le modèle selon l'âge (âges 1 à 4); 0,2 (âges 5+)

Tableau A3. Résumé des diagnostics pour le modèle m_0 et des scénarios de recharge pour la M (qui convergeaient) en fonction de la structure du modèle m_0 .

Modèle	M	N ^{bre} de paramètres	AIC	ΔAIC	rBSR	rF	rRec	Tendance des résidus du relevé du MPO ¹
m_0	0,2	228	-6243,7	240,7	1,135	-0,453	0,977	Oui
$m_0_M0.412$	0,412	228	-6321,4	163,0	0,923	-0,422	0,972	Oui
m_0_Me	0,552	229	-6394,3	90,1	-0,690	3,887	-0,715	Non
$m_0_Mgrowth$	0,285 à 0,553	228	-6386,4	98,0	0,287	-0,249	0,241	Non
$m_0_Matagegrowth$	0,181 à 1,23	228	-6249,1	235,3	0,695	-0,375	0,569	Oui
$m_0_M2b_2004$	0,466 et 0,559	232	-6469,0	15,4	0,472	-0,230	0,405	Non
$m_0_M2b0.2_2004$	0,2 et 0,422	231	-6400,1	84,3	-0,010	-0,085	-0,169	Oui
$m_0_M2b0.2_2004_q2b$	0,2 et 0,376	234	-6474,9	11,5	0,139	-0,144	0,040	Oui
$m_0_M2b_2010$	0,479 et 0,614	232	-6484,4	0	-0,072	0,036	-0,166	Non
$m_0_M2b0.2_2010$	0,2 et 0,437	231	-6348,7	135,7	-0,062	0,029	-0,174	Oui
$m_0_M2b0.2_2010_q2b$	0,2 et 0,295	234	-6459,8	24,6	0,109	-0,039	0,045	Oui
m_0_Me1+	0,227 à 1,29	231	-5792,3	–	0,042	-0,166	-0,036	Non
$m_0_Me1+_logsig0.05$	0,382 à 0,669	231	-6297,2	–	-0,063	-0,031	-0,107	Non
$m_0_Me1+_logsig0.1$	0,439 à 0,626	231	-6294,0	–	-0,054	-0,042	-0,106	Non
$m_0_Me1+_sig0.05$	0,228 à 1,21	231	-5790,6	–	0,084	-0,192	0,021	Non
$m_0_Me1+_sig0.1$	0,228 à 1,14	231	-5802,1	–	0,073	-0,181	0,016	Non
m_0_Mwaa	0,183 à 0,258	229	-6242,4	–	1,110	-0,488	0,840	Oui
m_0_Ma	0,334 à 0,765	236	-6453,4	31,0	-0,443	0,809	-0,393	Non

Notes : ΔAIC est rapporté uniquement pour les modèles ayant des données d'entrée identiques, r = moyenne du rho de Mohn sur sept ans d'analyse rétrospective, la zone ombrée en vert indique que le diagnostic du modèle est souhaitable.

¹ « Tendance des résidus du relevé du MPO » = tendance au fil du temps dans les résidus de l'indice du relevé du MPO, causée par une longue série de résidus positifs vers 1990 à 2010. « Aucune tendance » = 95 % de bandes de confiance de la régression des résidus de l'année chevauchent zéro pour tous les âges.

Tableau A4. Configurations des modèles étudiés avec des scénarios de recharge pour la sélectivité.

Modèle	Pêche	Relevé du MPO	Notes
<i>m0</i>	L [53p]	L	-
<i>m0_Vd53</i>	DL [53p]	L	-
<i>m0_Vd1</i>	DL [1p]	L	-
<i>m0_Vd1_iid</i>	DL [1p] EA	L	-
<i>m0_Vd1_ar1_a</i>	DL [1p] EA	L	-
<i>m0_Vd1_ar1_y</i>	DL [1p] EA	L	-
<i>m0_Vd1_2dar1</i>	DL [1p] EA	L	-
<i>m0_Vd6</i>	DL [6p]	L	Cinq périodes de 10 ans, une période de 3 ans
<i>m0_Vd6a</i>	DL [6p]	L	Une période de 3 ans, cinq périodes de 10 ans
<i>m0_Vas6</i>	SA [6p]	L	Cinq périodes de 10 ans, une période de 3 ans, SSA 6 fixée à 1
<i>m0_Vas6a</i>	SA [6p]	L	Une période de 3 ans, cinq périodes de 10 ans, SSA 6 fixée à 1
<i>m0_Vas6a_fix5-7</i>	SA [6p]	L	Une période de 3 ans, cinq périodes de 10 ans, SSA 5 à 7 fixée à 1
<i>m0_VI4as2_q82</i>	L [4P] SA [2p]	L	Périodes annuelles [6,6,11,12,9,9], SSA 5 à 10 fixée à 1
<i>m0_VI5as1_q82</i>	L [5P] SA [1p]	L	Périodes annuelles [6,6,11,12,9,9], SSA 5 à 10 fixée à 1, <i>q</i> estimée en 2 périodes [1970 à 1981; 1982 à 2022]
<i>m0_VI5d1</i>	L [5P] DL [1p]	L	Une période de 3 ans, cinq périodes de 10 ans
<i>m0_VI5d1_asDFO_q82</i>	L [5P] DL [1p]	SA	Périodes annuelles [6,6,11,12,9,9], SSA 5 à 10 fixée à 1, <i>q</i> estimée en 2 périodes [1970 à 1981; 1982 à 2022]
<i>m0_VI5d1_asDFO_q82_Me [M= 0,471]</i>	L [5P] DL [1p]	SA	Périodes annuelles [6,6,11,12,9,9], SSA 5 à 10 fixée à 1, <i>q</i> estimée en 2 périodes [1970 à 1981; 1982 à 2022]. La <i>M</i> est estimé par le modèle.
<i>m0_VI5d1_dDFO_q82</i>	L [5P] DL [1p]	DL	Périodes annuelles [6,6,11,12,9,9], <i>q</i> estimée en 2 périodes [1970 à 1981; 1982 à 2022]
<i>m0_VI5d1_dDFO</i>	L [5P] DL [1p]	DL	Une période de 3 ans, cinq périodes de 10 ans
<i>m0_VI5d1_q82</i>	L [5P] DL [1p]	L	Périodes annuelles [6,6,11,11,10,10]

Notes : « L » = logistique; « DL » = double logistique, « SA » = selon l'âge; « EA » = effets aléatoires, « p » = période, « SSA » = sélectivité selon l'âge

Tableau A5. Résumé des diagnostics pour le modèle $m0$ et des scénarios de recharge pour la pêche et la sélectivité du relevé en fonction de la structure du modèle $m0$.

Modèle	Sélectivité de la pêche	Sélectivité du relevé	Nbre de paramètres	AIC	ΔAIC	rBSR	rF	rRec	Convergence	Tendance des résidus du relevé du MPO ¹
$m0$	L [53p]	L	228	-6243,7	181,8	1,135	-0,453	0,977	Oui	Oui
$m0_{_Vd53}$	DL [53p]	L	334	9285,7	ND	1,586	-0,485	1,550	Non	Oui
$m0_{_Vd1}$	DL [1p]	L	126	-6067,1	358,4	1,456	-0,457	1,409	Non	Oui
$m0_{_Vd1_iid}$	DL [1p] EA	L	127	-6081,3	ND	1,474	-0,471	1,345	Non	Oui
$m0_{_Vd1_ar1_a}$	DL [1p] EA	L	128	-6063,1	362,4	1,456	-0,457	1,409	Oui	Oui
$m0_{_Vd1_ar1_y}$	DL [1p] EA	L	128	-6094,0	NC	1,480	-0,462	1,275	Non	Oui
$m0_{_Vd1_2dar1}$	DL [1p] EA	L	129	-6133,6	291,9	1,478	-0,475	1,484	Oui	Oui
$m0_{_Vd6}$	DL [6p]	L	146	-6123,8	ND	1,412	-0,449	1,485	Non	Oui
$m0_{_Vd6a}$	DL [6p]	L	146	-6136,7	ND	1,429	-0,470	1,767	Non	Oui
$m0_{_Vas6}$	SA [6p]	L	188	-6156,1	ND	1,570	-0,490	1,674	Non	Oui
$m0_{_Vas6a}$	SA [6p]	L	188	-6172,7	ND	1,676	-0,494	2,183	Non	Oui
$m0_{_Vas6a_fix5-7}$	SA [6p]	L	176	-6158,6	NC	1,691	-0,512	2,208	Non	Oui
$m0_{_VI4as2_q82}$	L [4p] SA [2p]	L	145	-6335,9	89,6	1,205	-0,448	1,699	Oui	Oui
$m0_{_VI5as1_q82}$	L [5p] SA [1p]	L	141	-6354,9	70,6	0,773	-0,366	1,148	Oui	Oui
$m0_{_VI5d1}$	L [5P] DL [1p]	L	136	-6193,1	232,4	1,277	-0,455	1,588	Oui	Oui
$m0_{_VI5d1_asDFO_q82}$	L [5P] DL [1p]	SA	143	-6349,3	76,2	0,769	-0,344	1,114	Oui	Oui
$m0_{_VI5d1_asDFO_q82_Me}$ [$M = 0,471$]	L [5P] DL [1p]	SA	144	-6425,5	0	-0,256	0,344	0,011	Oui	Non
$m0_{_VI5d1_dDFO}$	L [5P] DL [1p]	DL	138	-6217,2	208,3	1,290	-0,449	1,635	Oui	Oui
$m0_{_VI5d1_dDFO_q82}$	L [5P] DL [1p]	DL	141	-6353,8	ND	0,797	-0,351	1,091	Non	Oui
$m0_{_VI5d1_q82}$	L [5P] DL [1p]	L	139	-6342,7	ND	0,718	-0,345	0,935	Non	Oui

Notes : « L » = logistique; « DL » = double logistique, « SA » = selon l'âge; « EA » = effets aléatoires, « p » = période, « ND » = non déclaré pour les modèles qui n'ont pas convergé « NS » = non significatif (bandes de confiance à 95 % de la régression des résidus de l'année chevauchent zéro pour tous les âges), r = moyenne du rho de Mohn sur sept ans d'analyse rétrospective, la zone ombrée en vert indique que le diagnostic du modèle est souhaitable.

¹ « Tendance des résidus du relevé du MPO » = tendance au fil du temps dans les résidus de l'indice du relevé du MPO, causée par une longue série de résidus positifs vers 1990 à 2010. « Aucune tendance » = 95 % de bandes de confiance de la régression des résidus de l'année chevauchent zéro pour tous les âges.

Tableau A6. Résumé des diagnostics pour le modèle $m1$ et des scénarios de rechange pour la pêche et la sélectivité du relevé en fonction de la structure du modèle $m0$.

Modèle	Sélectivité de la pêche	Sélectivité du relevé	Nbre de param.	AIC	ΔAIC	rBSR	rF	rRec	Convergence	Tendance des résidus du relevé du MPO ¹
$m1$	L [53p]	L	228	628 8,1	-	1,1 08	0,4 66	0,8 95	Oui	Oui
$m1_{\text{DFO}0.5cv}$	L [53p]	L	226	378 1,9	-	0,6 54	0,3 40	0,7 17	Oui	Oui
$m1_{\text{DFOcv}0.1}$	L [53p]	L	226	404 9,8	503	0,4 49	0,2 92	0,7 35	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd1}$	DL [1p]	L	124	403 8,8	492	0,4 72	0,3 24	0,3 52	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd1_iid_dDFO}$	DL [1p]	L	127	364 3,7	96, 9	0,0 28	0,0 23	0,4 40	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd1_2dar1_dDFO}$	DL [1p]	L	129	359 0,6	43, 8	0,0 93	0,0 18	0,4 28	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vi33d1}$	L [33p] DL [1p]	L	190	385 6,4	309 .6	0,3 91	0,2 95	0,8 02	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vi33d1_a}$	L [33p] DL [1p]	SA	196	363 5,4	88, 6	0,1 85	0,1 87	0,6 88	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vi33d1_d}$	L [33p] DL [1p]	DL	192	364 3,0	96, 2	0,1 58	0,1 71	0,6 82	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vi33d1_e}$	L [33p] DL [1p]	DL	190	428 7,7	-	0,4 32	0,3 13	0,8 75	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vi33d1_e}$	L [33p] DL [1p]	DL	190	676 9,1	-	1,0 72	0,4 90	1,2 07	Oui	Oui
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd5}$	DL [5p]	L	140	383 3,5	ND	0,3 23	0,2 52	0,6 81	Non	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd5_dDFO}$	DL [5p]	DL	142	355 5,4	8,6	0,1 16	0,0 65	0,2 79	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd6_dDFO}$	DL [6p]	DL	146	354 6,8	0	0,0 72	0,0 20	0,3 34	Oui	Non
$m1_{\text{DFOcv}0-1_Vd6_dDFO_M0.25}$	DL [6p]	DL	147	353 7,4	ND	0,0 33	0,0 26	0,1 46	Non	Non
$m1_{\text{DFOcv}0.1_Vd6_dDFO_Me}$ $M = 0,339$	DL [6p]	DL	147	353 7,4	ND	0,0 33	0,0 26	0,1 46	Non	Non

Notes : « L » = logistique; « DL » = double logistique, « SA » = selon l'âge; « EA » = effets aléatoires, « p » = période, « ND » = non déclaré pour les modèles qui n'ont pas convergé, ΔAIC est rapporté uniquement pour les modèles avec des données d'entrée identiques (indice du relevé du MPO CV = 0,1) « NS » = non significatif (bandes de confiance à 95 % de la régression des résidus de l'année chevauchent zéro pour tous les âges), r = moyenne du rho de Mohn sur sept ans d'analyse rétrospective, la zone ombrée en vert indique que le diagnostic du modèle est souhaitable.

¹ « Tendance des résidus du relevé du MPO » = tendance au fil du temps dans les résidus de l'indice du relevé du MPO, causée par une longue série de résidus positifs vers 1990 à 2010. « Aucune tendance » = 95 % de bandes de confiance de la régression des résidus de l'année chevauchent zéro pour tous les âges.

Tableau A7. Résumé des diagnostics pour le modèle $m0$ et des scénarios de recharge de la distribution de vraisemblance de la composition par âge en fonction de la structure du modèle $m0$.

Modèle	Distribution de la composition par âge	Nbre de paramètres	AIC	ΔAIC	rBSR	rF	rRec	Convergence
$m0$	Dirichlet (regroupés)	228	-6243,7	13,6	1,135	-0,453	0,977	Oui
$m0_AC_dir_miss0$	Dirichlet (absents)	228	-6257,3	0	1,110	-0,450	0,944	Oui
$m0_AC_dirmult$	Dirichlet-multinomiale	228	3516,0	-	1,033	-0,428	0,841	Non
$m0_AC_dirmult_20_0_40$	Dirichlet-multinomiale	228	4434,8	-	1,109	-0,456	0,660	Non
$m0_AC_dirmult_70_40$	Dirichlet-multinomiale	228	3462,6	-	1,129	-0,448	0,831	Non
$m0_AC_Inorm_miss0$	Lognormale (absents)	228	-5461,6	-	0,815	-0,288	1,183	Non
$m0_AC_Inorm_pool0$	Lognormale (regroupés)	228	-5467,3	-	0,719	-0,314	0,746	Non
$m0_AC_mult$	Multinomiale	226	3512,0	-	1,158	-0,450	0,905	Oui
$m0_AC_mult_200_40$	Multinomiale	226	4446,0	-	1,180	-0,462	0,662	Oui
$m0_AC_mult_70_40$	Multinomiale	226	3458,6	-	1,219	-0,464	0,857	Oui
$m0_AC_mult_DFO_0.5cv$	Multinomiale	226	3804,1	-	0,652	-0,343	0,718	Oui
$m0_AC_mult_DFO_cv0.1$	Multinomiale	226	4074,3	-	0,445	-0,289	0,732	Oui

Notes : ΔAIC est rapporté uniquement pour les modèles avec des données d'entrée identiques, r = moyenne du rho de Mohn sur sept ans d'analyse rétrospective, la zone ombrée en vert indique que le diagnostic du modèle est souhaitable.

Un tiret (-) signifie « sans objet ».

Tableau A8. Résumé des modèles ayant des effets aléatoires sur le nombre d'individus par âge.

Modèle	AIC	ΔAIC	rBSR	rF	rRec	Convergence
$m0$	-6243,7	250,9	1,135	-0,453	0,977	Oui
$m0_M0.2_NAARE_iid$	-6382,2	112,4	0,849	-0,412	0,737	Oui
$m0_M0.2_NAARE_ar1_a$	-6436,9	57,7	0,429	-0,293	0,398	Oui
$m0_M0.2_NAARE_ar1_y$	-6488,1	6,5	0,316	-0,186	0,276	Oui
$m0_M0.2_NAARE_2dar1$	-6494,6	0	0,304	-0,195	0,255	Oui

Notes : r = moyenne du rho de Mohn sur sept ans d'analyse rétrospective, AIC = critère d'information d'Akaike, BSR = biomasse du stock reproducteur, F = mortalité par pêche, Rec = recrutement, la zone ombrée en vert indique que le diagnostic du modèle est souhaitable.

ANNEXE B

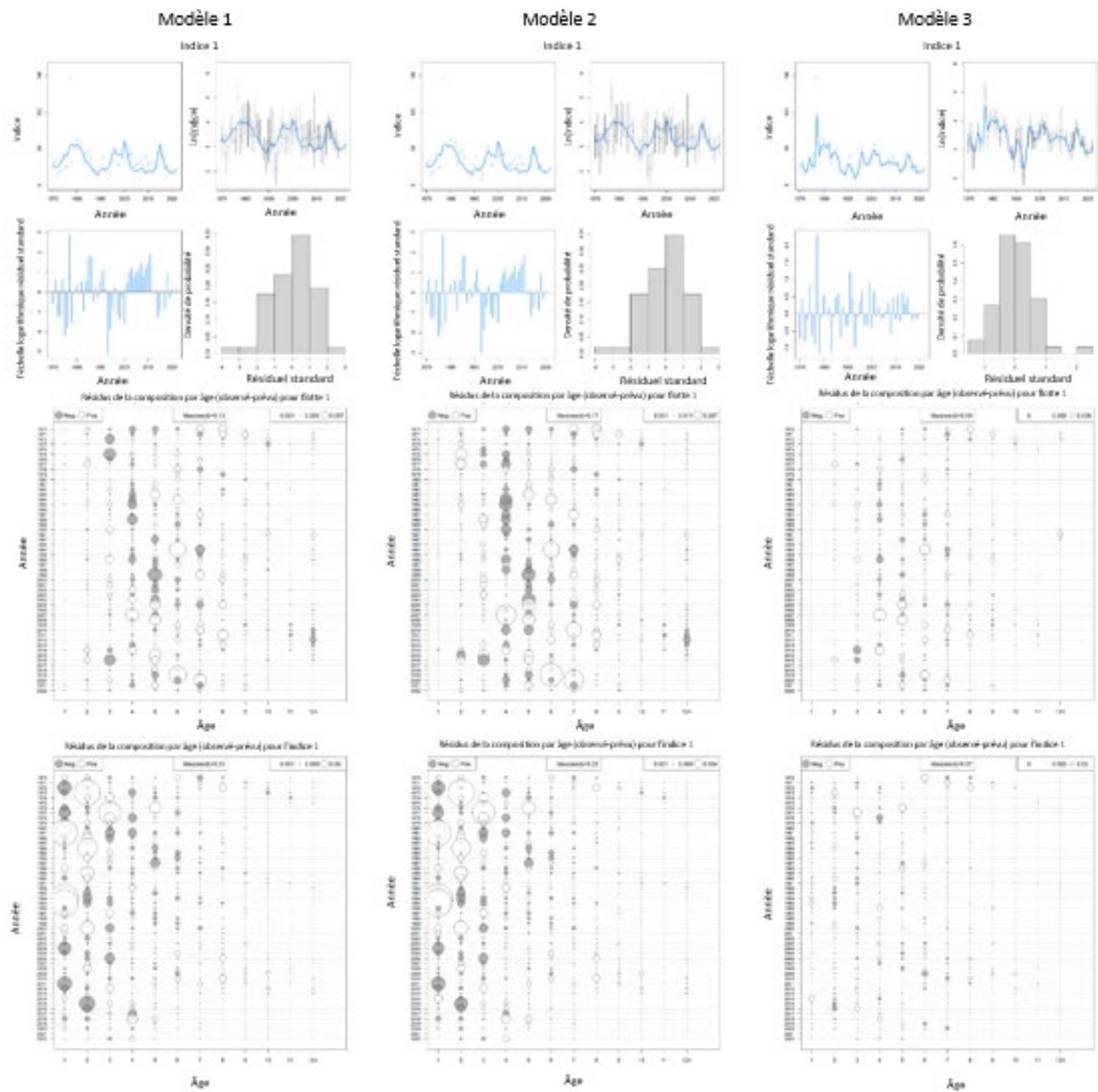
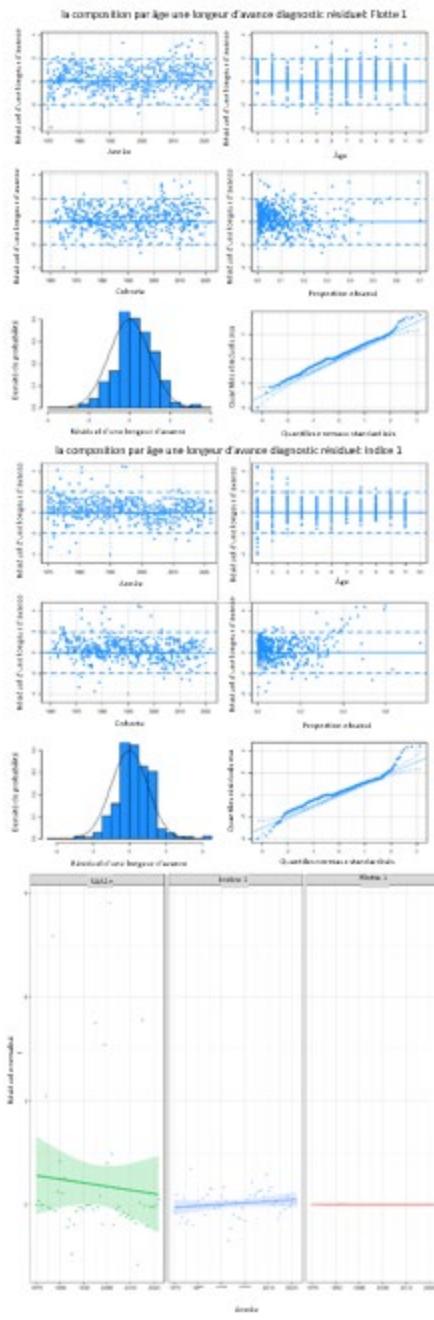
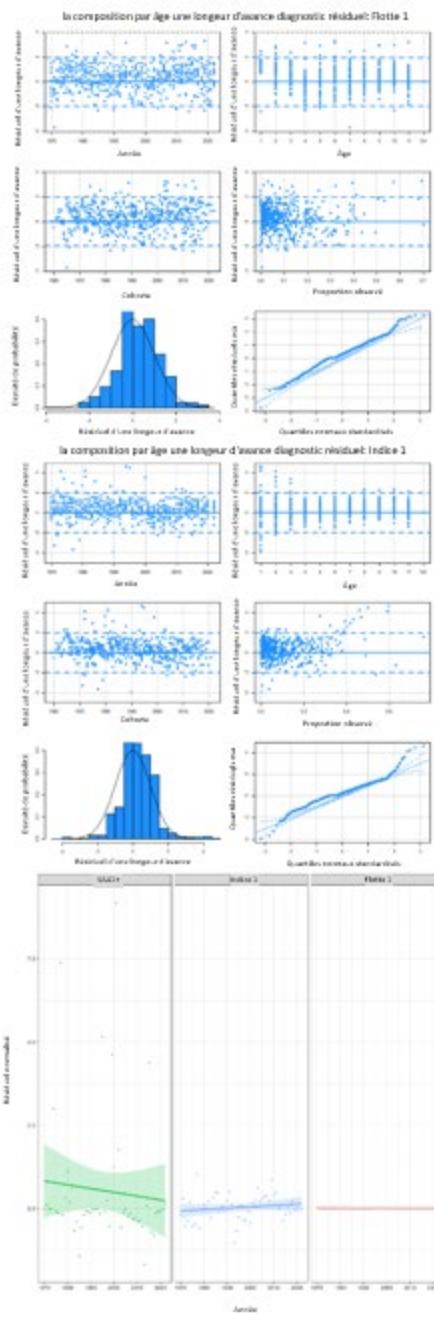


Figure B1. Diagnostics pour l'indice du relevé du MPO (en haut), résidus de la composition par âge pour les prises de pêche (au milieu) et résidus de la composition par âge pour l'indice du relevé (en bas) pour les trois modèles.

Modèle 1



Modèle 2



Modèle 3

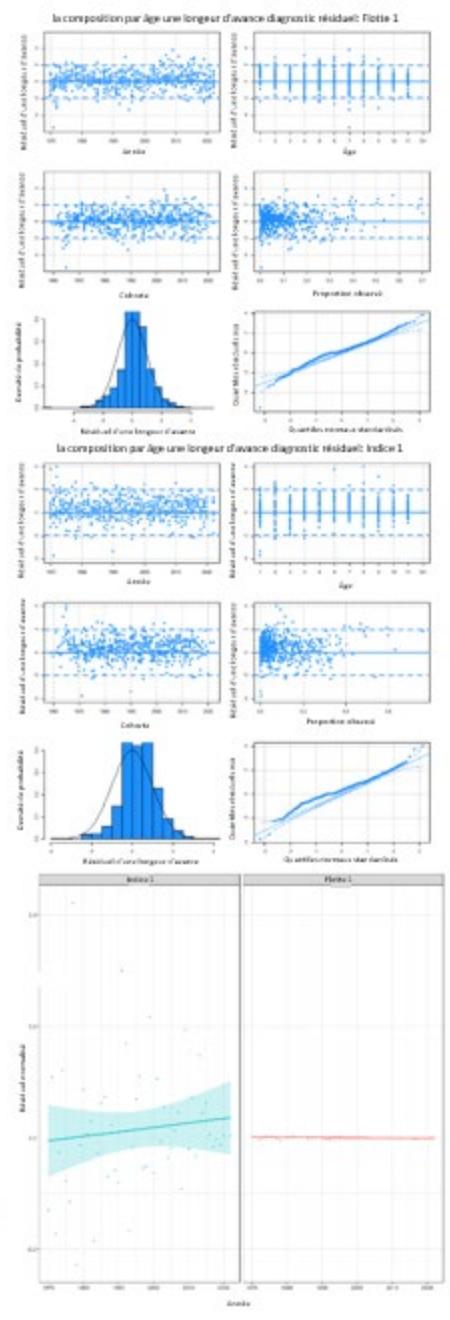


Figure B2. Diagnostics des résidus prévisionnels à un pas de temps des prises (en haut) et de l'indice du relevé du MPO (au milieu), et des diagnostics des résidus normalisés pour la pêche et l'indice du relevé (en bas) pour les trois modèles.

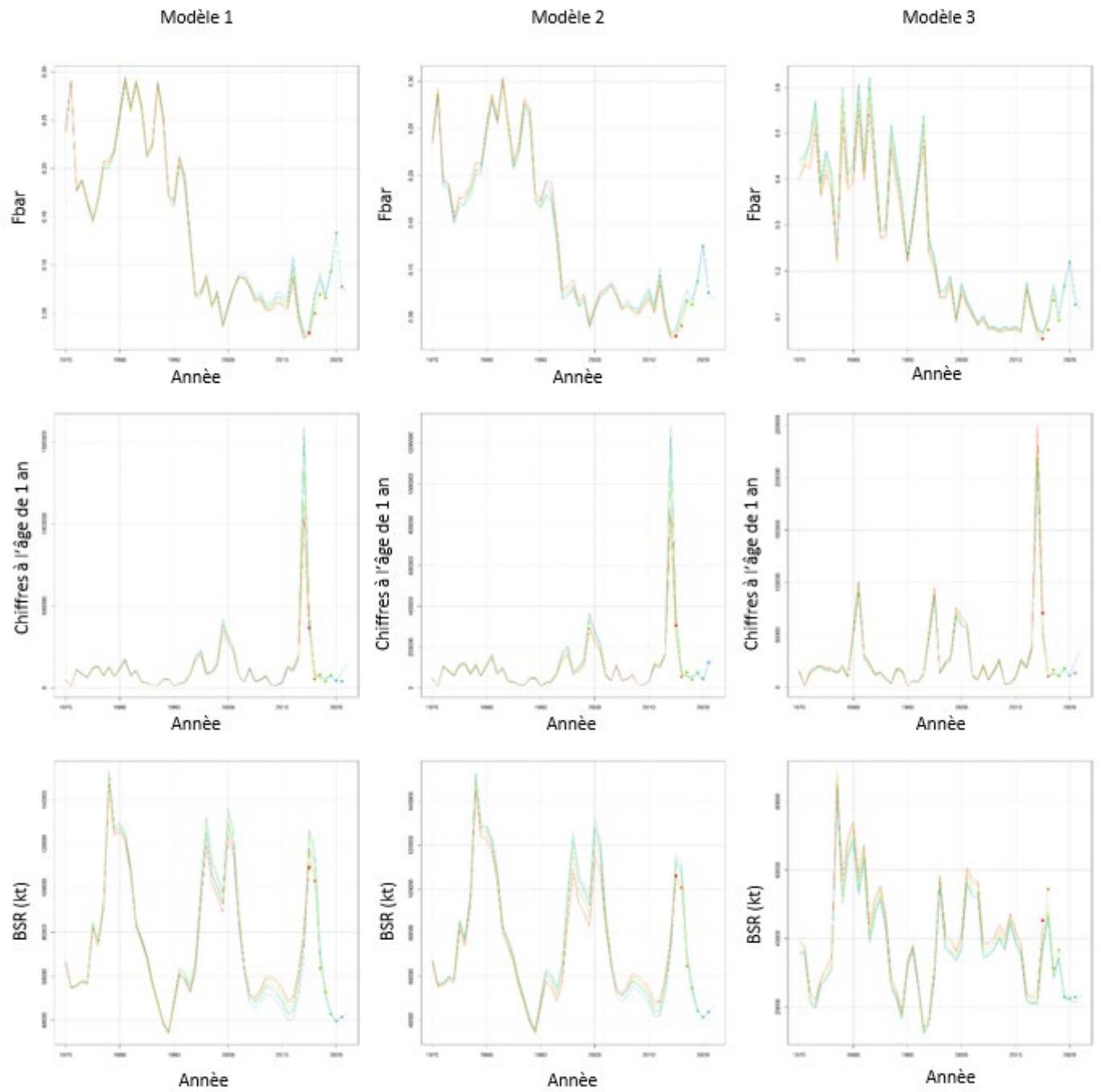


Figure B3. Analyse rétrospective du taux moyen de mortalité par pêche (F_{bar}), du recrutement (nombre d'individus d'âge 1) et de la biomasse du stock reproducteur (BSR) pour les trois modèles.

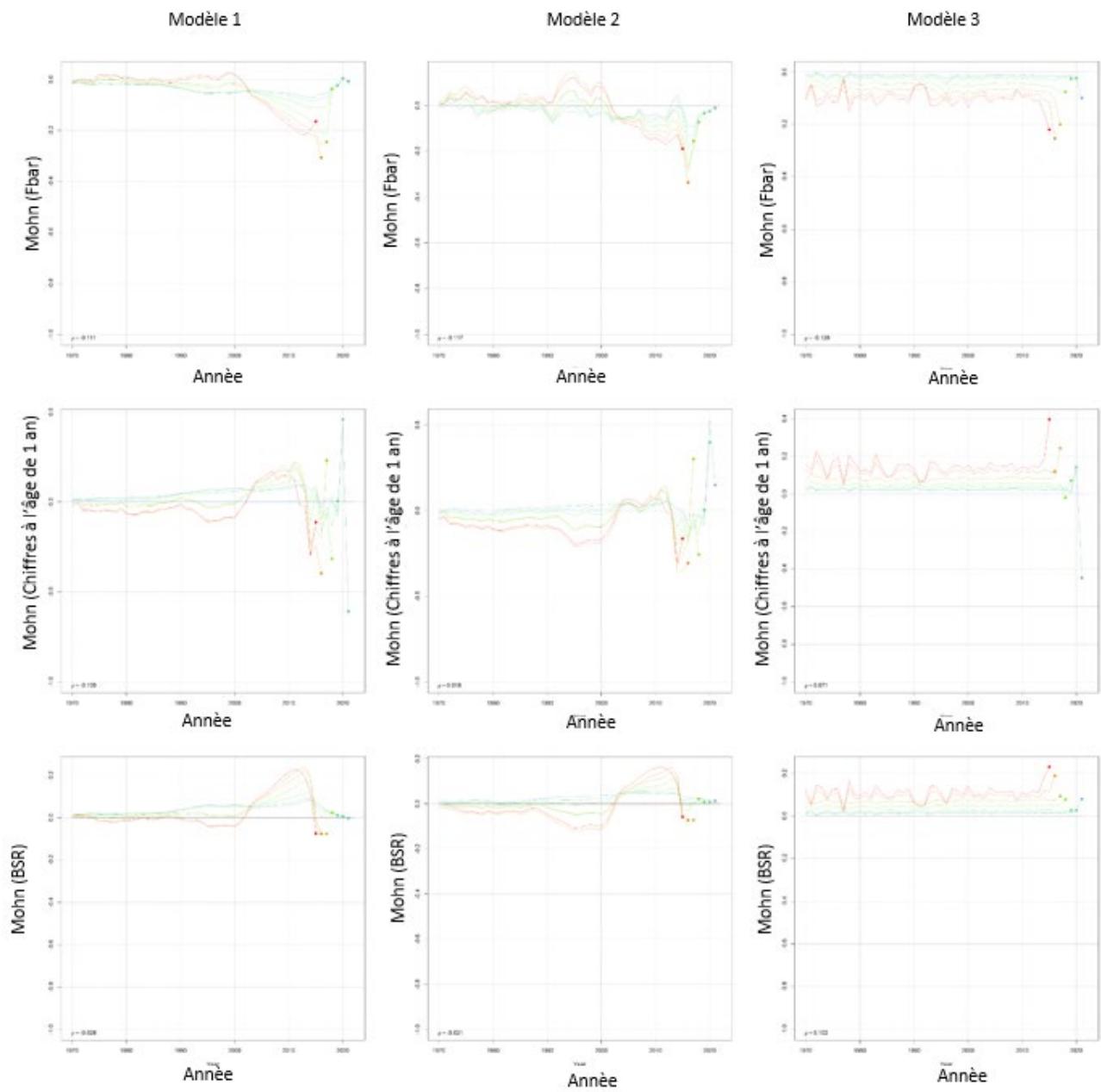


Figure B4. Analyse rétrospective du taux moyen de mortalité par pêche (F_{bar}), du recrutement (nombre d'individus d'âge 1) et de la biomasse du stock reproducteur (BSR) en utilisant le rho de Mohn (r) pour les trois modèles.

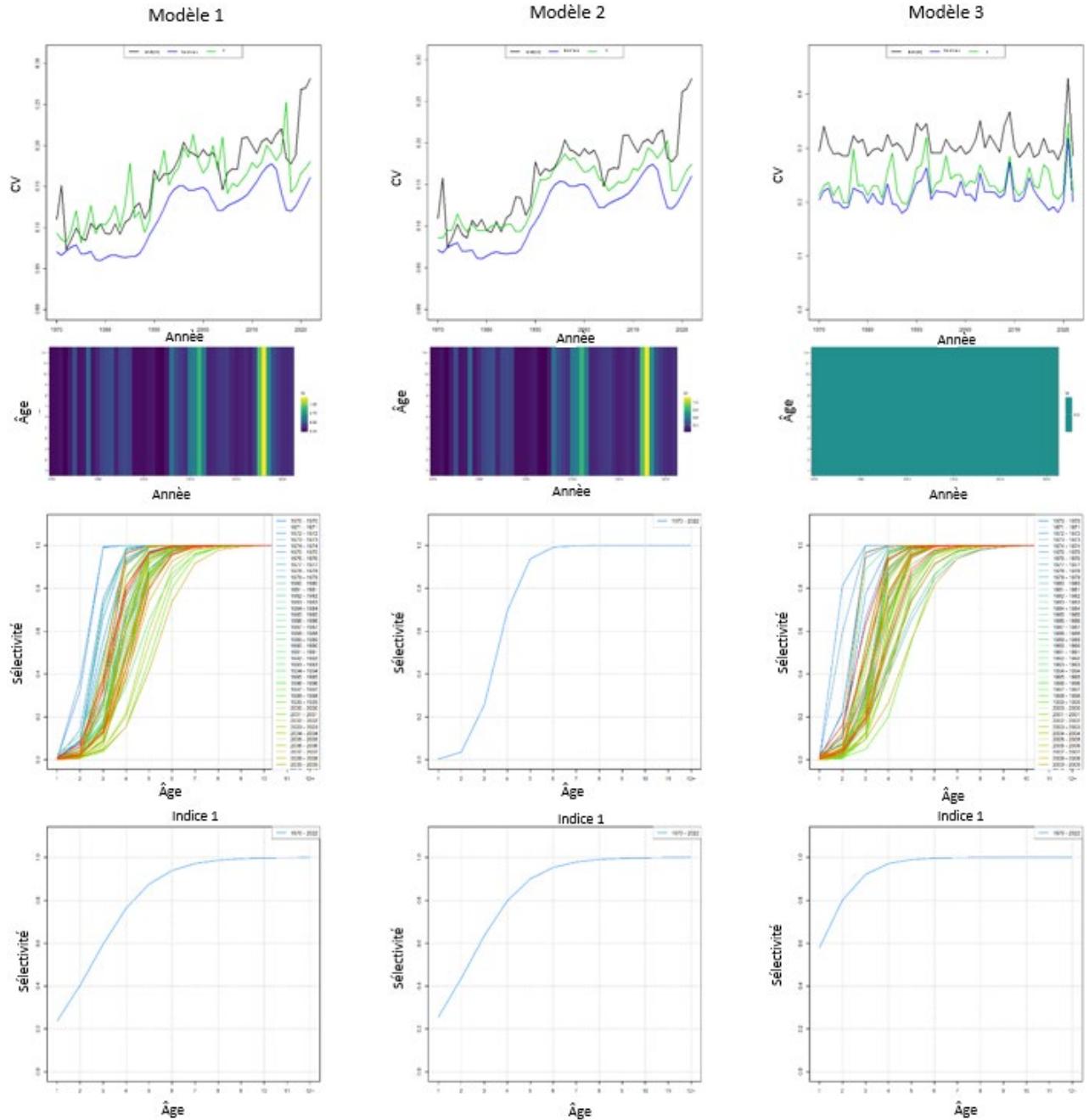
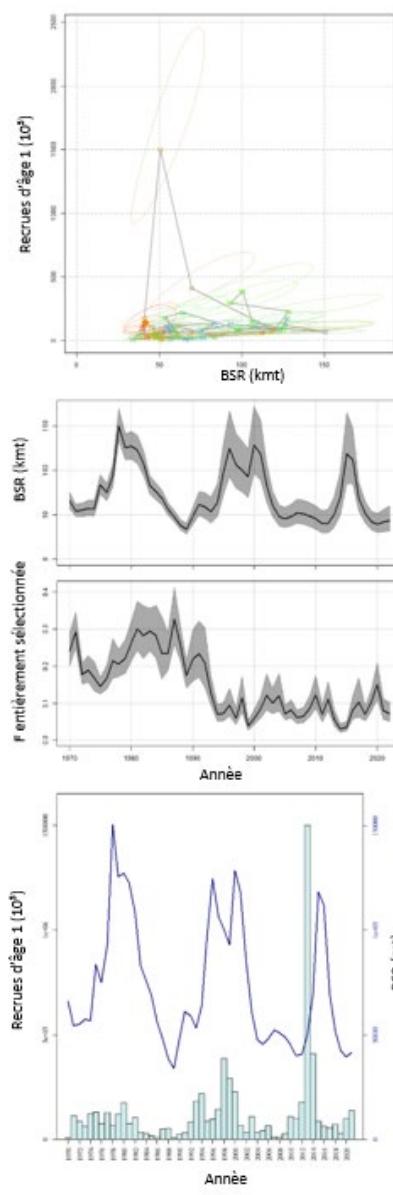
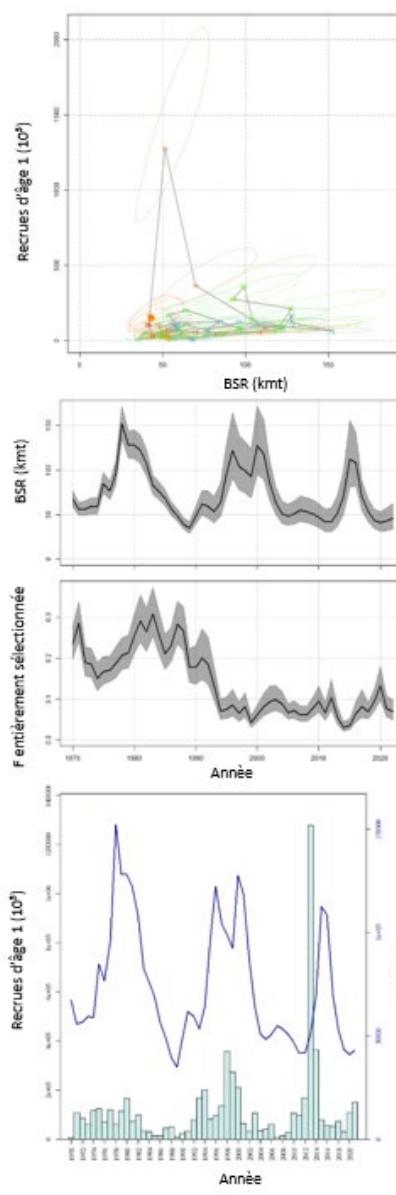


Figure B5. Coefficients de variation (CV) pour la biomasse du stock reproducteur (BSR), la mortalité par pêche (F) et le recrutement (nombre d'individus d'âge 1, en haut), la mortalité naturelle (M) selon l'âge (au milieu), ainsi que la sélectivité de la pêche et la sélectivité du relevé (deux graphiques inférieurs) pour les trois modèles.

Modèle 1



Modèle 2



Modèle 3

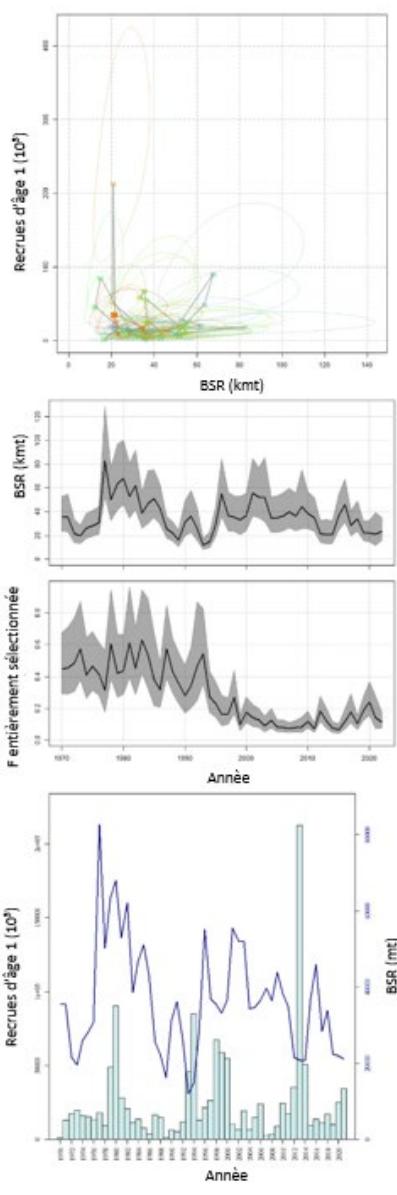


Figure B6. Relation entre le recrutement à l'âge 1 et la biomasse du stock reproducteur (BSR; en haut), BSR estimée par le modèle et mortalité par pêche (F) entièrement sélectionnée estimée par le modèle (au milieu), et BSR (ligne) et recrutement (barres, en bas) estimés par le modèle pour les trois modèles. Les zones ombrées en gris représentent les intervalles de confiance à 95 %.