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 2026/073

Région des Maritimes

Cadre d'évaluation de la morue 5Z : Projections et points de référence

Irene Andrushchenko[1], Tim Barrett[1], Nathan Hebert[2], Caira Clark[1], Emily Way-Nee[1]

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

[2]Pêches et Océans Canada
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006, 1, promenade Challenger
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

Octobre 2026

Canada

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, 2026

Ce rapport est publié sous la Licence du gouvernement ouvert – Canada

ISSN 2292-4272
ISBN 978-1-100-00654-3 N° cat. Fs70-5/2026-073F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Andrushchenko, I., Barrett, T.J., Hebert, N.E., Clark, C.M., et Way-Nee, E. 2026. Cadre d'évaluation de la morue 5Z : Projections et points de référence. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/073. iv + 29 p.

Also available in English :

Andrushchenko, I., Barrett, T.J., Hebert, N.E., Clark, C.M., and Way-Nee, E. 2026. 5Z Cod Assessment Framework: Projections and Reference Points. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2026/073. iv + 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ iv
INTRODUCTION 1
SIMULATION 1
MODÈLES OPÉRATIONNELS 1
PROJECTIONS 2
TEMPS DE GÉNÉRATION 3
POIDS À L'ÂGE 3
RECRUTEMENT 3
MORTALITÉ NATURELLE ET ERREUR DE PROCESSUS 5
MORTALITÉ PAR PÊCHE 5
CONSIDÉRATIONS 6
POINTS DE RÉFÉRENCE 6
PÉRIODE DE RÉFÉRENCE 7
POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE 7
POINT DE RÉFÉRENCE POUR LA MORTALITÉ PAR PÊCHE 8
POINTS DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR (PRS) 9
POINTS DE RÉFÉRENCE ANTÉRIEURS 9
DIVERS 9
APPROCHES POUR LA FORMULATION DE L'AVIS 9
FRÉQUENCE D'ÉVALUATION 10
SOURCES D'INCERTITUDE 11
RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE 11
RÉFÉRENCES CITÉES 12
TABLEAUX 14
FIGURES 15

RÉSUMÉ

En 2023, Pêches et Océans Canada (MPO) a lancé l'élaboration d'un nouveau cadre pour la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*) transfrontalière de la zone 5Z, en raison de l'absence, depuis 2018, d'un modèle de population fonctionnel et de points de référence conformes à l'approche de précaution pour ce stock. Suite à la réalisation des réunions d'examen par les pairs sur les données d'entrée et la modélisation, le présent document résume l'élaboration ultérieure de points de référence, d'avis scientifiques et d'un calendrier d'évaluation pour l'unité de stock du banc de Georges Est.

INTRODUCTION

Au cours de l'examen par les pairs des modèles candidats de dynamique de population pour la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*) de la division 5Z, tant pour les unités d'évaluation de l'est du banc Georges (EGB) que du banc Georges total (TGB), les deux modèles ont été jugés appropriés pour l'évaluation de l'état du stock, bien qu'aucun ne soit exempt d'incertitudes ou de limites (Andrushchenko et al. 2024-07-08; Figure 1). Le modèle TGB a été proposé comme la meilleure option puisqu'il englobe l'unité biologique dans les limites des considérations pratiques liées aux données de la pêche américaine (Andrushchenko et al. 2024-07-08). Toutefois, en raison des limites d'accès aux données brutes de la pêche américaine (données sous le niveau du voyage), le modèle EGB a été retenu comme base pour le cadre d'évaluation.

Les méthodes de projection et les points de référence candidats sont donc proposés uniquement pour le modèle EGB. Si les facteurs qui limitent actuellement la capacité des Sciences du MPO à mettre en œuvre le modèle TGB au Canada venaient à changer, la faisabilité d'une mise en œuvre domestique du modèle TGB pourra être réévaluée lors du prochain examen de cadre scientifique de l'évaluation.

SIMULATION

Au cours de l'examen des modèles, des tendances inattendues dans les projections du recrutement et de l'erreur de processus ont mené à la recommandation d'explorer des plateformes de projection autres que le modèle d'évaluation de Woods Hole, WHAM (Andrushchenko et al. 2024-07-08). Un cadre alternatif logique est **MSEtool**, une plateforme de simulation actuellement utilisée dans plusieurs autres évaluations de stocks canadiennes (Andrushchenko et al. 2026c; Barrett et al. 2025, Wang et al. 2022). MSEtool est un produit open source compatible avec la structure de sortie de WHAM, ce qui en fait un outil approprié pour examiner d'autres approches de projection pour la morue 5Z (Hordyk et al. 2024). Les modèles WHAM d'évaluation ont été convertis en modèles opérationnels (MO) dans MSEtool, et ces MO ont servi de base aux projections.

MODÈLES OPÉRATIONNELS

La fonction **WHAM2OM** dans MSEtool crée un MO personnalisé à partir d'un fichier de sortie WHAM (Hordyk et al. 2024). Lors de l'examen par les pairs des modèles, une mauvaise spécification du taux de mortalité naturelle (M) utilisé en entrée était évidente dans les deux modèles candidats, entraînant de fortes tendances directionnelles dans l'erreur de processus appliquée aux nombres par âge (NAA; Andrushchenko et al. 2024-07-08). Ces tendances temporelles dans l'erreur de processus sur les NAA ont été jugées refléter principalement des changements dans M et ont été considérées comme importantes pour les projections. Une modification de la fonction WHAM2OM a donc été effectuée afin de tenir compte de l'erreur de processus sur les NAA pendant la période de projection.

WHAM2OM génère un ensemble de simulations en échantillonnant une distribution normale multivariée définie par les estimations des paramètres du modèle WHAM et leur matrice de variance-covariance. Cela produit des matrices pour les NAA du stock, la mortalité par pêche à l'âge (FAA) et, avec la version modifiée de WHAM2OM, l'erreur de processus sur les NAA. Pour chaque modèle, 100 simulations ont été générées afin de saisir l'incertitude du modèle dans la dynamique historique du stock. Des matrices pour la biomasse du stock reproducteur pondérée par âge (PAA BSR), le poids des captures à l'âge (PAA prises), la maturité à l'âge et la mortalité naturelle à l'âge (MAA) – utilisées comme intrants variant dans le temps dans le modèle WHAM

correspondant – ont été fournies à la version modifiée de WHAM2OM et sont demeurées constantes d'une simulation à l'autre.

Les valeurs de NAA pour l'année initiale sont des paramètres estimés dans les modèles WHAM. Dans MSEtool, les valeurs initiales de NAA ont été estimées en utilisant a_{max}= 9 (c.-à-d. le nombre de classes d'âge dans le modèle), les déviations du recrutement avant la première année historique (1978), ainsi que les valeurs initiales de NAA. Les dynamiques du stock pour les MO intégrant une erreur de processus $\varepsilon_{a\,y}$ suivent les équations suivantes :

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

Le recrutement pour une année donnée a été modélisé comme le recrutement de l'année précédente multiplié par la déviation annuelle de recrutement $\exp(\varepsilon_{0\,y})$. Conformément à Thorson et al. (2014), on suppose que les $\varepsilon_{0\,y}$ suivent un processus AR(1) stationnaire, de variance σ_R^2 et de corrélation ρ tel que :

$$\varepsilon_{0,y} = \rho\varepsilon_{0,y-1} + \sqrt{1-\rho^2}\delta_y$$

où, (Eqn 2)

$$\delta_y \sim \text{Normal}\left(\frac{-\sigma_R^2}{2}\frac{1-\rho}{\sqrt{1-\rho^2}}, \sigma_R^2\right)$$

La structure des modèles opérationnels (MO) dans MSEtool utilise un âge de recrutement égal à zéro; par conséquent, la fonction *WHAM2OM* modifiée a défini les MO en décalant la valeur NAA-1 de l'année *y* vers NAA-0 à l'année *y*-1, et en fixant une MAA de 1 × 10^-6 (c'est-à-dire approximativement 0) pour l'âge zéro.

MSEtool ne prend en charge que des MO à flottille unique. Par conséquent, les multiples flottilles des modèles WHAM ont été regroupées en une seule flottille pour chaque MO. Le poids des captures à l'âge pour une année donnée a été défini comme la moyenne à travers les flottilles, pondérée par la capture de chaque flottille pour cette année. Le regroupement des FAA de trois flottilles en une seule a produit une matrice de sélectivité à l'âge qui varie dans le temps.

Des comparaisons ont été effectuées entre les modèles WHAM et la médiane des 100 simulations issues des MO pour la biomasse du stock reproducteur historique (BSR), le F pleinement sélectionné, les captures et le recrutement, afin de confirmer que les MO reproduisent fidèlement la dynamique du modèle WHAM (Figure 2). Les matrices complètes de NAA provenant des modèles WHAM ont également été comparées aux médianes calculées sur 100 simulations des MO (Figure 3)

PROJECTIONS

Les projections prévoient la dynamique du stock dans le futur et peuvent être de courte ou de longue durée. Les projections à court terme (c.-à-d. 1 à 3 ans) servent à fournir des avis sur le total autorisé des captures (TAC) dans de nombreuses évaluations de stocks traditionnelles, tandis que les projections à long terme (p. ex., sur deux générations) servent à tester divers scénarios de gestion, comme des avis pluriannuels, par rapport à des objectifs de gestion à

long terme. Des projections à la fois à court et à long terme sont utilisées dans le cadre final pour l'évaluation du stock de morue 5Zjm. L'incertitude des estimations de paramètres du modèle est maintenue dans les projections en projetant les 100 simulations du modèle opérationnel.

La prévision du futur s'accompagne d'incertitude, laquelle se cumule à chaque année future supplémentaire dans la projection. La méthodologie décrite met l'accent sur la propagation de l'incertitude liée au recrutement et à M, considérés comme les paramètres à la fois les plus influents et les plus incertains, pour les projections de courte et de longue durée.

TEMPS DE GÉNÉRATION

Le temps de génération est une mesure utilisée pour estimer l'échéancier nécessaire à l'atteinte d'objectifs de gestion à long terme (MPO 2022). Les lignes directrices du MPO définissent le temps de génération comme l'âge moyen de la BSR qui a produit la cohorte actuelle, de manière à refléter le taux de renouvellement des individus reproducteurs dans une population (MPO 2022). Pour la morue de l'EGB, cette valeur est demeurée entre 4 et 5 ans sur l'ensemble de la série chronologique; l'absence de poissons plus âgés l'a rapprochée de 4 ans au cours des dernières années (Figure 4).

Le temps de génération sert généralement à quantifier les échéanciers de rétablissement, notamment en évaluant la proximité du stock par rapport au point de référence limite (PRL) dans une fenêtre de deux temps de génération (MPO 2022). Pour la morue de l'EGB, cela correspondrait à une fenêtre de huit à dix ans pour évaluer la progression du rétablissement.

POIDS À L'ÂGE

Le poids à l'âge (PAA) de la morue 5Z montre des signes d'augmentation ces dernières années, les poissons de moins de 6 ans pesant de 26 à 34 % de plus en 2021–2023 qu'en 2018–2020 (Figure 6, TRAC 2023). Ni le mécanisme ni le facteur moteur de cette amélioration n'ont été identifiés, de sorte que la persistance de cette hausse du PAA dans les années à venir demeure une source d'incertitude. Un premier examen de la croissance d'après les relevés de 2024 et l'échantillonnage aux ports canadiens indique une réapparition de poissons à croissance lente pour les âges 2 à 5 (Figure 5). On s'attend donc à un PAA plus faible pour ces âges qu'en 2021–2023, ce qui laisse croire que l'augmentation récente de la croissance pourrait être temporaire et ne pas se maintenir. Par conséquent, la croissance retenue dans les projections de courte et de longue durée a été fondée sur la moyenne du PAA des six années terminales, approche jugée plus robuste aux variations interannuelles et évitant des attentes trop optimistes pour la croissance des jeunes poissons ces dernières années (Figure 6). Deux sensibilités sont également proposées : (1) supposer que l'augmentation la plus récente (2021–2023) persiste dans les projections; (2) supposer que le PAA projeté revienne à la croissance plus lente observée en 2018–2020 (Tableau 1).

RECRUTEMENT

Les hypothèses relatives au recrutement futur ont une influence déterminante sur les projections à court et à long terme. Pour le modèle EGB, le recrutement (âge 1) a été estimé systématiquement élevé (> 10 millions de poissons; avant 1994) dans les premières années, puis systématiquement faible (< 10 millions; 1994–2020) par la suite (Figure 2). Plus récemment, le recrutement de l'EGB est monté aux environs de 10 millions en 2021, 2022 et 2023. Pour toutes les autres années depuis 1994, à l'exception de la cohorte de 2013, le recrutement est demeuré inférieur à 7 millions (Figure 2). Les projections à court et à long terme

exigent donc une hypothèse quant au caractère durable ou non de cette récente hausse du recrutement dans les années à venir.

Dans le modèle d'évaluation, le recrutement historique est spécifié comme une déviation par rapport à l'année précédente (marche aléatoire), avec une structure de corrélation AR1 imposée aux déviations. Dans WHAM, le recrutement est projeté comme une marche aléatoire avec des déviations AR1, ce qui entraîne une diminution du recrutement projeté à partir de la valeur de l'année terminale vers une valeur faible à long terme (Figure 7). Dans MSEtool, le recrutement est projeté comme la poursuite de la marche aléatoire, et les déviations d'erreur de processus sur le recrutement ont été projetées en prolongeant le processus AR1 sans correction de biais, de sorte que la déviation de recrutement (ε) à une année donnée (y) est :

$$\varepsilon_y = \rho_{year}\varepsilon_{y-1} \quad \text{(Eqn 3)}$$

Cette approche a entraîné une progression graduelle du recrutement, passant de la valeur de l'année terminale à une valeur plus faible, à l'image de WHAM (Figure 7). Cette méthode de projection du recrutement est acceptable pour des projections à court terme, mais elle introduit un biais négatif dans les projections à long terme.

Pour les projections à long terme, le recrutement projeté a été échantillonné à partir des recrutements observés dans les six années terminales (2018–2023; Figure 4). Les trois années terminales ont présenté des recrutements étonnamment élevés, malgré une biomasse faible, mais elles ont été précédées de plusieurs décennies de recrutement très faible. L'utilisation des six années terminales vise à équilibrer la tendance de faible recrutement à long terme et les recrutements constamment élevés des trois années terminales. Étant donné l'incertitude importante entourant le recrutement présumé, les sensibilités suivantes ont également été examinées :

1. le recrutement projeté a été échantillonné à partir du recrutement historique sur l'ensemble de la série chronologique (1978–2023; Figure 8);
2. le recrutement projeté a été échantillonné à partir de la période de « faible recrutement » depuis 1994 (1995–2023; Figure 8);
3. le recrutement projeté a été échantillonné à partir des recrutements plus élevés observés depuis 2020 (2021–2023; Figure 8).

La première sensibilité suppose que le potentiel de recrutement du stock est demeuré inchangé sur toute la période, toutes les déviations (y compris le faible recrutement depuis 1994 et le recrutement plus élevé depuis 2020) étant considérées comme des écarts temporaires et aléatoires par rapport à la moyenne de la série. Cette sensibilité produit approximativement la même médiane de recrutement projeté que l'exécution candidate pour les projections à long terme, mais avec une variabilité plus élevée (Figure 8). La deuxième sensibilité suppose qu'un changement permanent de productivité du stock s'est produit au milieu des années 1990, entraînant une période prolongée de faible productivité depuis, appelée à se poursuivre. Elle est toutefois considérée comme une sensibilité, car les trois recrutements les plus élevés de cet intervalle se sont tous produits au cours des trois dernières années, ce qui crée une incertitude quant au maintien du scénario de faible recrutement. La troisième sensibilité suppose que les recrutements plus élevés de 2021 à 2023 ne sont pas des fluctuations aléatoires, mais persisteront au cours des deux prochaines générations, devenant la nouvelle norme et menant à des perspectives plus optimistes pour ce stock. Toutefois, la brièveté de l'augmentation récente du recrutement (3 ans) ne permet pas d'établir s'il s'agit d'une transition vers un nouveau régime de productivité, d'où son traitement comme sensibilité.

L'hypothèse candidate proposée pour les projections à court terme prolonge la marche aléatoire pour la moyenne du recrutement et la structure de corrélation AR1 pour l'erreur de processus sur le recrutement, ce qui entraîne une diminution graduelle en 2024–2026 à partir du recrutement de l'année terminale (2023; Figure 8). Pour les projections à long terme, l'hypothèse candidate consiste à projeter un recrutement échantillonné à partir des six années terminales (2018–2023; Figure 8; Tableau 1).

MORTALITÉ NATURELLE ET ERREUR DE PROCESSUS

Le modèle de dynamique de population utilise une matrice de M de Lorenzen fixe, et les tendances directionnelles de l'erreur de processus sur les NAA sont interprétées comme reflétant principalement des changements de M (Andrushchenko et al. 2026a). Cette hypothèse a été prise en compte dans les projections en propageant l'effet combiné de M de Lorenzen et de l'erreur de processus sur les NAA (âges 2+) d'une période historique donnée (2018–2023) vers le futur. Étant donné que l'erreur de processus peut à la fois ajouter et retrancher des poissons au fil de la progression d'une cohorte, alors que M ne peut que les retrancher, l'effet net de leur combinaison peut se traduire par des valeurs négatives dans la série (p. ex., aux âges 1 à 3; Figure 9), ce qui laisse entendre que d'autres processus que la mauvaise spécification de M contribuent aux estimations de l'erreur de processus. Comparativement à un modèle WHAM avec un M variant dans le temps et selon l'âge, la combinaison de M de Lorenzen et de l'erreur de processus sur les NAA reproduit de façon assez régulière les tendances de M estimé pour les âges 4+ (Figure 9), ce qui appuie l'inférence selon laquelle les tendances directionnelles de l'erreur de processus reflètent principalement des changements de M. Les incohérences aux âges 1 à 3 semblent provenir de problèmes de confusion relevés dans le modèle à M variable (Andrushchenko et al. 2026a), ainsi que d'erreurs de processus fortement positives à ces âges au milieu des années 2000 (Figure 9). L'incapacité à distinguer la véritable M d'autres facteurs contribuant à l'erreur de processus est identifiée comme une source majeure d'incertitude dans l'approche actuelle d'estimation de M.

L'influence combinée de la mortalité naturelle selon Lorenzen (M) et de l'erreur de processus sur les NAA sur la dynamique du stock a augmenté ces dernières années pour tous les âges, atteignant régulièrement des valeurs équivalentes de mortalité naturelle (c.-à-d. M–$\varepsilon_{a\,y}$) supérieures à 1 pour les poissons de 6 ans et plus depuis 2010 (Figure 9). La seule diminution notable observée chez les poissons plus âgés depuis les années 1990 coïncide avec un afflux de poissons au milieu des années 2010, suivi d'un retour à un niveau élevé après la fin de cet afflux (Figure 9). L'approche proposée pour caractériser l'effet combiné dans les projections à court et à long terme consiste à rééchantillonner les valeurs projetées à partir des six années terminales (2018–2023; Figure 10). Cette approche est jugée capter la tendance récente tant de M de Lorenzen que de l'erreur de processus sur les NAA, sans laisser cette dernière se dissiper, tout en propageant l'incertitude entourant ces paramètres. Elle cadre aussi avec la période utilisée pour le rééchantillonnage du recrutement projeté, en tenant compte de toute interdépendance entre les deux (p. ex., un recrutement plus élevé s'accompagne d'une erreur de processus plus négative chez les poissons plus jeunes).

Des sensibilités additionnelles examinant l'impact des hypothèses sur six ans concernant l'effet combiné de M de Lorenzen et de l'erreur de processus sur les NAA sont également disponibles au besoin (p. ex., 1978–2023, 1994–2023, 2010–2023, 2020–2023; Tableau 1).

MORTALITÉ PAR PÊCHE

En l'absence d'un point de référence pour F, les projections sont présentées selon deux niveaux de pêche : la moyenne de F des six années terminales (F = 0,03) et une prise constante de 520 t. Un troisième scénario est inclus, dans lequel la valeur F = 0,03 est mise à

jour tous les deux ans, afin d'illustrer l'effet d'un avis de capture pluriannuel. Ces trois scénarios sont considérés comme englobant les options les plus pertinentes. D'autres valeurs de F jugées utiles à la discussion (p. ex., F = 0, F arbitrairement élevé, etc.) ainsi que diverses options pluriannuelles (p. ex., mise à jour tous les trois ans) sont également disponibles à titre de scénarios de sensibilité.

CONSIDÉRATIONS

En résumé, la paramétrisation candidate pour les projections à court terme (jusqu'à trois ans) utilise un recrutement avec une structure de corrélation AR1 projetée, et l'effet combiné de la mortalité naturelle de Lorenzen et de l'erreur de processus sur les NAA (âges 2+) est tiré d'une distribution spécifique à l'âge basée sur les six années terminales (2018–2023). La paramétrisation candidate pour les projections à long terme (deux générations; 8–10 ans) utilise à la fois le recrutement et la mortalité naturelle tirés d'une distribution spécifique à l'âge fondée sur les six années terminales pour chaque paramètre (2018–2023). Tous les autres paramètres biologiques sont dérivés de la moyenne des six dernières années, sans projection de l'incertitude associée (p. ex., maturité à l'âge, sélectivité de la pêche).

L'incertitude des estimations de paramètres du modèle est conservée dans les projections en projetant les 100 simulations du MO. Les tentatives de propager l'incertitude dans les projections ont été limitées au recrutement, à M et à l'erreur de processus sur les NAA, car ce sont les paramètres présentant les plus fortes incertitudes dans ce modèle. La propagation de l'incertitude autour d'autres paramètres (p. ex., PAA) est également possible, mais n'a pas été effectuée par manque de temps et en raison de l'impact relativement faible (présumé) sur les résultats.

Des sensibilités sont fournies pour aider à quantifier l'impact des hypothèses candidates sur les projections, notamment une sensibilité où aucune incertitude n'est projetée pour le recrutement, M ou l'erreur de processus sur les NAA (Figure 12).

POINTS DE RÉFÉRENCE

Les points de référence servent à délimiter les trois zones d'état (critique, prudente et saine), le taux d'exploitation de référence (TER) pour chaque zone indiquant le taux maximal de prélèvement pour un stock situé dans cette zone (MPO 2009). Les TER doivent diminuer progressivement de la zone saine à la zone critique, et le TER dans la zone saine ne doit jamais dépasser un taux correspondant au rendement maximal durable (Flim) pour le stock (MPO 2009). Le choix final du point de référence et du taux d'exploitation doit être fondé sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles, en tenant compte des limites des données et des hypothèses, et être conforme à la politique de l'approche de précaution (AP) du MPO (MPO 2009).

Les lignes directrices par défaut concernant les points de référence suggèrent d'évaluer divers indicateurs candidats, afin d'avoir confiance dans la valeur sélectionnée et d'identifier les risques potentiels lorsque différentes approches produisent des valeurs divergentes (MPO 2002; Barrett et al. 2024). De plus, la comparaison avec les points de référence acceptés antérieurement constitue une bonne pratique, car elle permet d'identifier les facteurs expliquant les écarts substantiels entre les évaluations passées et actuelles.

PÉRIODE DE RÉFÉRENCE

En général, les lignes directrices existantes recommandent que les points de référence soient basés sur une période aussi longue que possible, couvrant à la fois des périodes de haute et de basse productivité (MPO 2013). Une période plus courte n'est acceptable que si (MPO 2013) :

1. le changement de productivité est fortement associé à un changement de régime à grande échelle et sur plusieurs décennies;
2. ce changement n'est pas considéré comme réversible; ou
3. la capacité de l'environnement à soutenir le stock a été modifiée.

Bien que plusieurs tentatives aient été faites pour identifier des changements de régime à grande échelle sur le banc Georges, la définition de ce qui constitue un changement de régime, et donc son moment, varie considérablement (p. ex., Collie et al. 2004; Mountain et Kane 2010). De plus, les méthodes utilisées pour détecter ces changements de régime ont fait l'objet d'un examen accru en raison de taux élevés de faux positifs (Haines et al. 2024), rendant plus difficile la démonstration d'un changement de régime à l'échelle de l'écosystème sur le banc Georges qui justifierait une période plus courte pour les points de référence.

La mortalité naturelle, le recrutement et la croissance du stock ont subi des changements importants, principalement vers une productivité plus faible, bien que des améliorations périodiques dans ces trois paramètres soulèvent des doutes quant au caractère irréversible de cette faible productivité. Enfin, certains changements environnementaux directionnels observés depuis 2010 — susceptibles d'affecter la capacité de l'environnement à soutenir ce stock (p. ex., anomalies de température, dates de transition printanière et automnale, indice du mur nord du Gulf Stream, abondance dominante du zooplancton, état corporel des poissons dans plusieurs espèces; NFSC 2024) — demeurent récents et leur persistance reste incertaine.

Étant donné qu'aucune des conditions justifiant une période de référence plus courte n'est remplie pour ce stock, toute la série chronologique (1978–2023) fut utilisée pour calculer les points de référence candidats.

POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE

Dans le cadre de la politique de l'AP, un point de référence limite (PRL) est défini comme le point en deçà duquel la capacité reproductrice du stock devrait être altérée au point de causer un préjudice grave (MPO 2009). Des orientations plus récentes précisent que le préjudice grave correspond à un état indésirable pouvant être irréversible ou lentement réversible à long terme (MPO 2023). Bien que la politique d'AP identifie explicitement 40 % de la biomasse au rendement maximal soutenu (0,4 B_{RMS}) comme un PRL provisoire conforme aux normes internationales, ainsi que le F_{RMS} associé comme taux limite de mortalité par pêche, elle permet d'autres approches appropriées au stock et compatibles avec l'esprit de l'AP (MPO 2009, Annexe 1b).

L'estimation de points de référence d'équilibre « traditionnels » requiert une relation stock-recrutement bien paramétrée. Dans le cas de la morue de l'EGB, le nuage de points BSR–recrutement montre une période de recrutement élevé à BSR élevée, et une période de recrutement faible à BSR faible (figure 14). À l'intérieur de chacune de ces périodes, le recrutement ne semble pas corrélé positivement à la BSR, de sorte que les relations stock-recrutement classiques (p. ex., Beverton-Holt ou Ricker) ne s'ajustent pas bien. Compte tenu de l'absence d'une telle relation, de la forte incertitude sur M et de la productivité variable dans le temps observée pour ce stock, les points de référence d'équilibre basés sur B_{RMS}, B_0 et le ratio de potentiel reproducteur (RPR) ne sont pas proposés.

L'estimation du PRL candidat par la production excédentaire (surplus de production, SP) a visé à identifier une biomasse (B) au-dessous de laquelle il y a préjudice grave à la productivité du stock. Suivant Forrest et al. (2023), la production excédentaire au temps *t* fut défini comme suit:

$$SP_t = B_{t+1} - B_t + C_t \quad \text{(Eqn 4)}$$

où B_t est la BSR au temps *t*, et C_t est la biomasse des captures au temps *t*. Un diagramme de phase de la SP sur l'ensemble des valeurs de BSR révèle un maximum près de 60 kt et une SP négative aux faibles BSR (Figure 15). Un lissage loess (paramètre = 0,75) ajusté aux données ressemble à la courbe de rendement concave vers le bas traditionnelle, avec une « queue » à faible biomasse dont la SP moyenne demeure au-dessus de zéro. La BSR au-dessous de laquelle la production excédentaire devient négative a été retenue comme cohérente avec la définition du PRL dans l'AP. Étant donné la variabilité de la courbe SP–BSR, le PRL proposé fut la valeur de BSR pour laquelle la moyenne n'est pas significativement différente de zéro (c.-à-d. l'intersection de la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne et de l'axe des abscisses (NegativeSP95CI, Figure 15)). La méthode d'estimation de la moyenne a été choisie lors de la réunion d'évaluation par les pairs : un modèle additif généralisé (GAM) ajusté aux données historiques de SP par rapport à SSB. Ce PRL concorde également avec celui défini pour les stocks de hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) sur la côte ouest du Canada, qui représentait un seuil associé à des états persistants de biomasse faible et de faibles niveaux de production (Forrest et al. 2023; Kronlund et al. 2018).

La courbe de rendement SP–BSR a mis en évidence d'autres points de référence candidats qui ont étés revus et pouvant servir de base aux PRL (Figure 15), à savoir :

1. un proxy 0,4 B_{RMS} où B_{RMS} est estimée comme la BSR au SP moyen maximal; et
2. un proxy 0,2 B_0, où B_0 est estimée comme l'intersection entre le côté droit de la courbe SP–BSR et l'axe des abscisses.

Ces proxys de B_{RMS} et de B_0 sont fondés sur l'ensemble de la série chronologique et reflètent la productivité du stock avant son entrée dans l'état actuel de biomasse plus faible / productivité réduite.

La BSR pour laquelle la production excédentaire moyenne n'est pas significativement différente de zéro (NegativeSP50CI; Figure 16) fut adoptée comme PRL. Ce PRL était d'une ampleur cohérente avec les valeurs de proxy de 0,4 B_{MSY} et de 0,2 B_0.

POINT DE RÉFÉRENCE POUR LA MORTALITÉ PAR PÊCHE

Un point de référence pour la mortalité par pêche dans la zone critique devrait permettre au stock d'en sortir dans un délai raisonnable (MPO 2009). Compte tenu de la trajectoire projetée de la biomasse à long terme et du fait que les PRLs considérés se situent entre 25 et 29 kt, il est hautement improbable que la BSR dépasse le PRL avec une forte probabilité (> 75 %) en l'espace de deux générations, même en l'absence de pêche (Figure 17). Par conséquent, un point de référence pour F ne peut pas être fourni avec les dynamiques de stock actuellement projetées.

Il pourrait devenir possible d'estimer un point de référence pour F si la productivité de ce stock s'améliore à l'avenir. Cependant, tout futur point de référence de mortalité par pêche devra tenir compte des risques d'hyperdéplétion associés au modèle actuel, et serait idéalement développé à partir d'un modèle dans lequel la mauvaise spécification de M a été résolue.

POINTS DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR (PRS)

Les options pour un point de référence supérieur (PRS) pour ce stock sont difficiles à conseiller du point de vue scientifique au MPO, puisqu'il n'existe pas de définition biologique claire permettant de déterminer la transition entre un état prudent et un état sain du stock. Dans la Région des Maritimes, les avis scientifiques concernant un PRS se sont généralement limités à recommander un multiplicateur du PRL, souvent le double (MPO 2012). Selon ce précédent, un PRS équivalant au double du PRL accepté demeure une option, en plus de plusieurs autres approches candidates décrites ci-dessous.

Le nuage de points stock–recrutement de la morue de l'EGB montre une preuve convaincante d'une période de recrutement élevé avant 1992, suivie d'une période de recrutement faible par la suite (Figure 14). La transition entre ces deux périodes peut être utilisée pour identifier la frontière entre les zones saine et prudente (MPO 2004). La méthode la plus simple consiste à calculer la BSR médiane entre :

- la BSR la plus élevée associée à la période de faible recrutement, et
- la BSR la plus faible associée à la période de recrutement élevé (Figure 14).

Une autre méthode pour estimer ce point de transition consiste à utiliser la plus faible BSR ayant produit la moitié du recrutement maximal, déterminée par une analyse non paramétrique, comme un ajustement loess (NP50; MPO 2002, MPO 2004). Ces deux approches sont indépendantes de l'incertitude entourant M et donnent des estimations de PRS de 43,7 kt et 51,4 kt, respectivement (Figure 18).

POINTS DE RÉFÉRENCE ANTÉRIEURS

Il est recommandé de comprendre et de communiquer les causes générales des changements de magnitude de biomasse ou de points de référence entre évaluations afin de mieux comprendre l'incertitude qui influence les avis (Barrett et al. 2024). Même si l'état du stock n'a pas changé par rapport aux cadres précédents, la biomasse historique est en général plus élevée avec le nouveau modèle, comparativement à l'analyse de population virtuelle (APV) acceptée auparavant (Figure 13). Étant donné que les deux modèles utilisent des données similaires, cette différence est probablement liée aux hypothèses de modélisation différentes entre les deux cadres (APV vs. modèle statistique de captures à l'âge : erreur dans les prises, erreur de processus, etc.).

Les points de référence biologiques canadiens précédemment acceptés étaient 21 000 t comme PRL (MPO 2011) et 34 000 t comme PRS (NFSC 2013). Ces valeurs étaient toutes deux basées sur le modèle APV M0.8 (TRAC 2017). Lorsqu'on ajuste l'échelle de BSR à une période commune (1978–2013), le PRL adopté et le PRS candidat issus du présent cadre sont cohérents avec les valeurs antérieurement acceptées (Figure 19).

DIVERS

APPROCHES POUR LA FORMULATION DE L'AVIS

Un point de référence pour F ne peut pas être déterminé dans les conditions actuelles de dynamique du stock, puisque la biomasse est peu susceptible de dépasser le PRL avec une forte probabilité (> 75 %) dans un délai de deux générations, même en l'absence de pêche (F = 0). Étant donné la nature multispécifique de la pêche canadienne au poisson de fond, il est proposé que les avis sur le TAC soient fondés sur le F récent ou les niveaux de prises récentes, en particulier les niveaux de prélèvement de morue provenant uniquement des captures

accessoires. Il convient de noter que les projections et les avis fondés sur F ou sur la capture présument tous une utilisation à 100 %; par conséquent, la prise en compte de la sous-utilisation des stocks transfrontaliers devra être effectuée après coup.

FRÉQUENCE D'ÉVALUATION

L'incertitude et le risque liés à la fourniture de d'avis sur une base pluriannuelle furent considérés. Dans ce cas-ci, la mise en œuvre pluriannuelle des avis n'a pas entraîné de changement notable dans la trajectoire du stock. Toutefois, des changements récents, inattendus mais persistants, dans le recrutement et la croissance indiquent que le stock est en transition. Des tentatives ont été faites pour tenir compte de cette incertitude dans les projections, mais il serait prudent de surveiller annuellement les signaux afin de s'assurer que les tendances observées demeurent conformes aux hypothèses de projection.

Par conséquent, les trois options suivantes sont proposées comme potentielles fréquences pour l'évaluation de la morue 5Z :

- Le modèle est exécuté annuellement avec les données courantes et des projections / avis sur un an pour l'année suivante.
- Le modèle est exécuté avec les données courantes et fournit des projections / avis pour les deux années suivantes. Le modèle est réexécuté lorsque les projections de trois ans expirent ou lorsqu'une circonstance exceptionnelle se produit. Les circonstances exceptionnelles sont vérifiées annuellement afin de déterminer si une exécution du modèle est requise l'année suivante.
- Le modèle est exécuté avec les données courantes et fournit des projections / avis pour les trois années suivantes. Le modèle est réexécuté lorsque les projections expirent ou lorsqu'une circonstance exceptionnelle se produit. Les circonstances exceptionnelles sont vérifiées annuellement.

Si les avis sur l'état du stock sont fournis pour plusieurs années, les circonstances exceptionnelles suivantes déclencheraient une nouvelle exécution du modèle :

- La BSR projetée sort des limites prévues.
- Indices de changements majeurs dans la logistique de la pêche.
- Preuves empiriques de changements dans la dynamique du stock (croissance, recrutement, fécondité / potentiel de reproduction), dans un sens ou dans l'autre.

Un examen du cadre d'évaluation peut être mené régulièrement, généralement tous les cinq à dix ans après son élaboration. Cependant, certains facteurs peuvent rendre nécessaire un examen plus rapide que prévu. Dans les deux scénarios d'avis scientifiques (annuel et pluriannuel), les facteurs susceptibles de déclencher un cadre comprennent, après 2030 sont :

- Preuve de changements substantiels dans les données d'entrée, la dynamique des pêcheries ou la compréhension de la dynamique des stocks.
- Un modèle WHAM stable, capable d'estimer M sans interférence des erreurs de processus sur le recrutement.
- L'accès aux données brutes de la pêche américaine permettra la mise en œuvre du modèle TGB.

SOURCES D'INCERTITUDE

La principale source d'incertitude est liée à la mauvaise spécification de M dans le modèle de population. Le modèle candidat utilise une matrice de M de Lorenzen fixe, et les tendances directionnelles observées dans l'erreur de processus sur les NAA sont interprétées comme reflétant principalement des variations de M (Andrushchenko et al. 2026a). Cette inférence est intégrée aux projections en supposant que les estimations de l'année terminale de M de Lorenzen et de l'erreur de processus sur les NAA persistent dans le futur. Plusieurs points de référence candidats dépendant de M qui ont fait l'objet de la revue supposent également que la combinaison de M de Lorenzen et de l'erreur de processus sur l'ensemble de la série chronologique constitue l'approximation la plus proche du M réel. L'hypothèse concernant le véritable niveau de M, en particulier en l'absence d'une exécution WHAM fonctionnelle avec un M variant dans le temps et selon l'âge non confondu avec l'erreur de processus sur le recrutement, représente la plus grande incertitude. À l'heure actuelle, la dynamique du stock est projetée en utilisant les erreurs de processus sur les NAA, ce qui tient compte de l'incertitude sur M dans l'estimation de la BSR projetée. Toutefois, si une version de WHAM permettant de lever la confusion entre l'erreur de processus sur le recrutement et les déviations de M devenait disponible, il conviendrait d'estimer un M variant dans le temps et selon l'âge à l'intérieur du modèle.

Les projections reposent sur des hypothèses quant à la manière dont divers aspects de la dynamique du stock évolueront à court terme. La morue de l'EGB a connu pendant des décennies de faibles ratios recrutement/BSR et une diminution des PAA, jusqu'aux toutes dernières années, où le ratio recrutement/BSR a brusquement atteint un sommet historique et où tous les poissons ont commencé à croître plus rapidement. La persistance de ces changements sur plusieurs années consécutives rend difficile l'attribution à un simple « effet annuel ». Comme ces phénomènes surviennent en années terminales du modèle, il est difficile de savoir s'ils reviendront à la normale dès la première année projetée ou se maintiendront. Les hypothèses de projection proposées couvrent les deux scénarios, ce qui élargit inévitablement l'incertitude entourant les tendances de stock projetées.

Des tentatives de propagation d'incertitude supplémentaire dans les projections stochastiques ont été réalisées pour le recrutement et l'erreur de processus uniquement, car ce sont les facteurs jugés les plus influents sur les projections. La propagation de l'incertitude entourant d'autres paramètres (p. ex., poids à l'âge, maturité) n'a pas été considérée pour l'instant.

RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

Si une version de WHAM permettant de résoudre la confusion entre l'erreur de processus sur le recrutement et les déviations de M devenait disponible, l'estimation d'un M variable dans le temps et selon l'âge à l'intérieur du modèle serait poursuivie.

La propagation de l'incertitude entourant d'autres paramètres pertinents (p. ex., poids à l'âge, maturité) pourra être envisagée à l'avenir.

La surveillance de la productivité demeure importante pour ce stock, même lorsque des avis pluriannuels sont demandés. Les changements de productivité peuvent être détectés en suivant individuellement divers paramètres du stock, comme le recrutement, la mortalité naturelle, le poids à l'âge et la maturité à l'âge. À défaut, des estimations annuelles de la biomasse reproductrice par recrue en l'absence de pêche peuvent fournir un indicateur unique permettant de suivre la mortalité naturelle, le poids à l'âge et la maturité à l'âge. Cet indicateur est soumis à l'incertitude autour du M réel; il convient donc de procéder à des analyses supplémentaires et à des tests de simulation pour évaluer la pertinence d'une telle approche.

RÉFÉRENCES CITÉES

Andrushchenko, I., Benoît, H.P., Clark, C.M., et Way-Nee, E. 2026a. Cadre d'évaluation de la morue 5Z : Revue des approches de modélisation. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/039. iv + 62 p.

Andrushchenko, I., Clark, C.M., Brunsdon, E., Way-Nee, E., et Benoît, H.P. 2026b. Examen du cadre d'évaluation de la morue franche dans la division 5Z de l'OPANO : Partie 1 - Examen des données d'entrée. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/032. iv + 112 p.

Andrushchenko, I., Martin, R., Doherty, P., Debertin, A., McCurdy, Q., MacEachern, E., Clark, D., et Clark, C. 2026. Évaluation de la stratégie de gestion de la goberge de la composante Ouest – Partie 1 : Données d'entrée. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/025. v + 139 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., 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.

Collie, J.S., Richardson, K., and Steele, J. H.. 2004. Regime shifts: Can ecological theory illuminate the mechanisms? Prog. Ocean. 60:2-4.

Forrest, R.R., Kronlund, A.R., Cleary, J.S., and Grinnelll, M.H. 2023. An evidence-based approach for selecting a limit reference point for Pacific herring (*Clupea pallasii*) stocks in British Columbia, Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 80: 1071–1083.

Haines, H., B. Planque, and Buttay, L. 2024. Poor performance of regime shift detection methods in marine ecosystems. ICES J. Mar. Sci. 82:1-103.

Hordyk, A., Huynh Q., and Carruthers, T. 2024. *MSEtool: Management Strategy Evaluation Toolkit.* https://openmse.com.

Kronlund, A.R., Forrest, R.E., Cleary, J.S., and Grinnell, M.H. 2018. The selection and role of limit reference points for Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in British Columbia, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/009. ix +125 p.

McBride, R.S., and Smedbol, R.K. (Editors). 2022. An interdisciplinary review of Atlantic Cod (*Gadus morhua*) stock structure in the Western North Atlantic Ocean. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-273.

Mountain, D.G. and Kane, J. 2010. Major changes in the Georges Bank ecosystem, 1980s to the 1990s. Mar. Ecol. Prog. Ser. 398: 81-91.

MPO. 2002. Atelier national sur les points de référence concernant les gadidés: 5-8 novembre 2002. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2002/033. v + 16 p.

MPO. 2004. Compte rendu de la réunion nationale sur l'application du principe de précaution en gestion des pêches; du 10 au 12 février 2004. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2004/003.

MPO. 2009. Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution.Consulté le : 1 avril 2025

MPO. 2011. Évaluation du potentiel de rétablissement (EPR) de la morue franche (Gadus morhua) de l'unité désignable du Sud (divisions 4X5Yb et 5Zjm de l'OPANO). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2011/034..

MPO. 2012. Points de référence conformes à l'approche de précaution pour une variété de stocks dans la région des Maritimes. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2012/035.

MPO. 2013. Compte rendu de l'atelier national du programme Expertise technique en évaluation des stocks (ETES) : Points de référence en matière de rendement maximal soutenu (RMS) et approche de précaution en situation de variation de la productivité ; du 13 au 15 décembre 2011. Secr. can. des avis sci. du MPO. Compte rendu. 2012/055.

MPO. 2002. Lignes directrices pour la rédaction de plans de rétablissement conformément aux Dispositions relatives aux stocks de poissons et Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution. Consuté le : 19 février 2025.

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.

[NEFSC] Northeast Fisheries Science Center. 2013. 55th Northeast Regional Stock Assessment Workshop (55th SAW) assessment report. Northeast Fisheries Science Center reference document ; 2013-11. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/4432

[NEFSC] Northeast Fisheries Science Centre. 2024. State of the Ecosystem 2024: New-England. https://doi.org/10.25923/4tdk-eg57

Thorson, J. T., Jensen, O. P., and Zipkin, E. F. 2014. How variable is recruitment for exploited marine fishes? A hierarchical model for testing life history theory. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 71: 973-983.

TRAC. 2018. Eastern Georges Bank Cod. TRAC Status Report 2018/01

TRAC. 2023. Eastern Georges Bank Cod. TRAC Status Report. 2023/03.

Wang Y., C. Regnier-McKellar and Kraska, K. 2022. Assessment of Haddock on eastern Georges Bank for 2022. TRAC Reference Document 2022/02.

TABLEAUX

Tableau 1. Tableau récapitulatif des différentes options examinées pour les hypothèses de recrutement, de mortalité naturelle (M) et de poids à l'âge. Les exécutions candidates pour les projections à court et à long terme sont indiquées en caractères gras. Toutes les autres options peuvent être activées pour des analyses de sensibilité (c.-à-d., Rec1978+ peut être combiné avec n'importe quelle option de M, et non seulement M46Sample). Le tiret indique que l'option n'est pas applicable.

Projections	**Recrutement**	**Mortalité naturelle (M)**	**Poids à l'âge**
Exécution candidate – Court terme	AR1	Échantillonné 2018–2023 (*M6Sample*)	Moyenne 2018–2023
Exécution candidate – Long terme	Échantillonné 2018–2023	Échantillonné 2018–2023 (*M6Sample*)	Moyenne 2018–2023
Option de sensibilité	Échantillonné 1978–2023	Échantillonné 1978–2023 (*M46Sample*)	Moyenne 2021–2023
Option de sensibilité	Échantillonné 1995–2023	Échantillonné 1995–2023 (*M29Sample*)	Moyenne 2018–2020
Option de sensibilité	Échantillonné 2021–2023	Échantillonné 2010–2023 (*M13Sample*)	–
Option de sensibilité	Échantillonné 2018–2023_sansInc	Échantillonné 2021–2023 (*M3Sample*)	–
Option de sensibilité	–	Échantillonné 2018–2023 (*M6Mean*)	–
Option de sensibilité	–	Échantillonné 2018–2023_sansInc	–

FIGURES

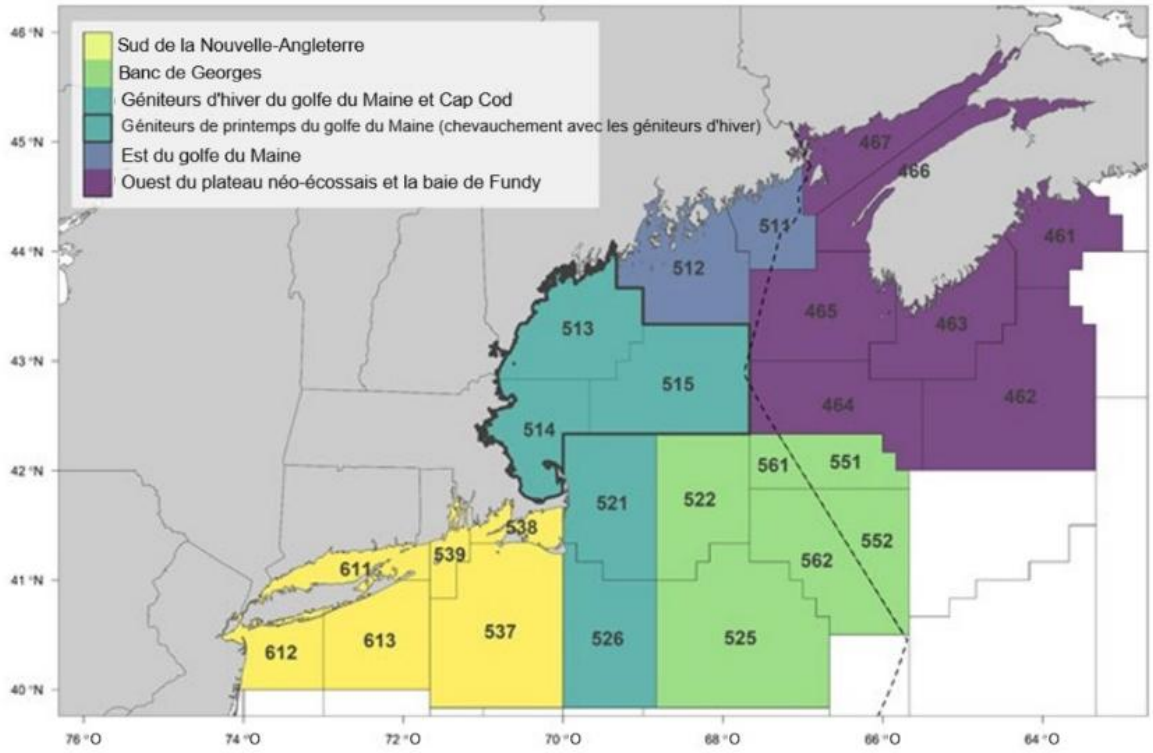


Figure 1. Structure révisée du stock biologique de morue de l'Atlantique dans les eaux américaines, cartographiée selon les unités statistiques (divisions 5 et 6 de l'OPANO). Les chiffres identifient les zones statistiques utilisées dans les évaluations et la gestion des pêches américaines. Figure tirée de McBride et Smedbol (2022). La ligne pointillée/grise représente la ligne de La Haye. L'ancienne définition du banc Georges incluait les zones statistiques 521, 526, 537, 538 et 539.

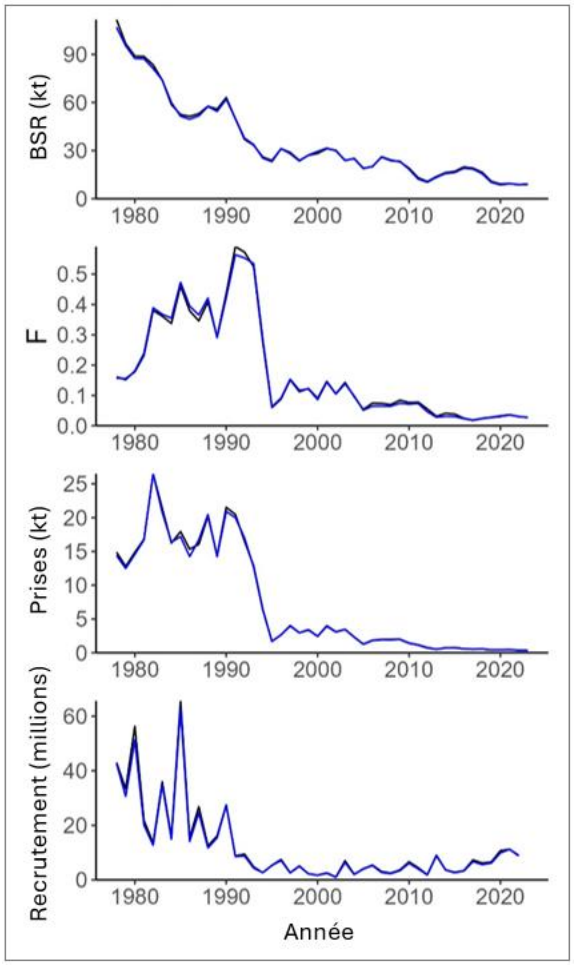


Figure 2. Comparaison de la biomasse du stock reproducteur (BSR) historique (kt), de la mortalité par pêche pleinement sélectionnée (F), des captures (kt) et du recrutement (âges 0 – décalé à partir du modèle opérationnel (MO) pour correspondre à l'âge 1 dans WHAM) entre le modèle d'évaluation de Woods Hole (WHAM, lignes bleues) et la médiane de 100 simulations de du MO (lignes noires).

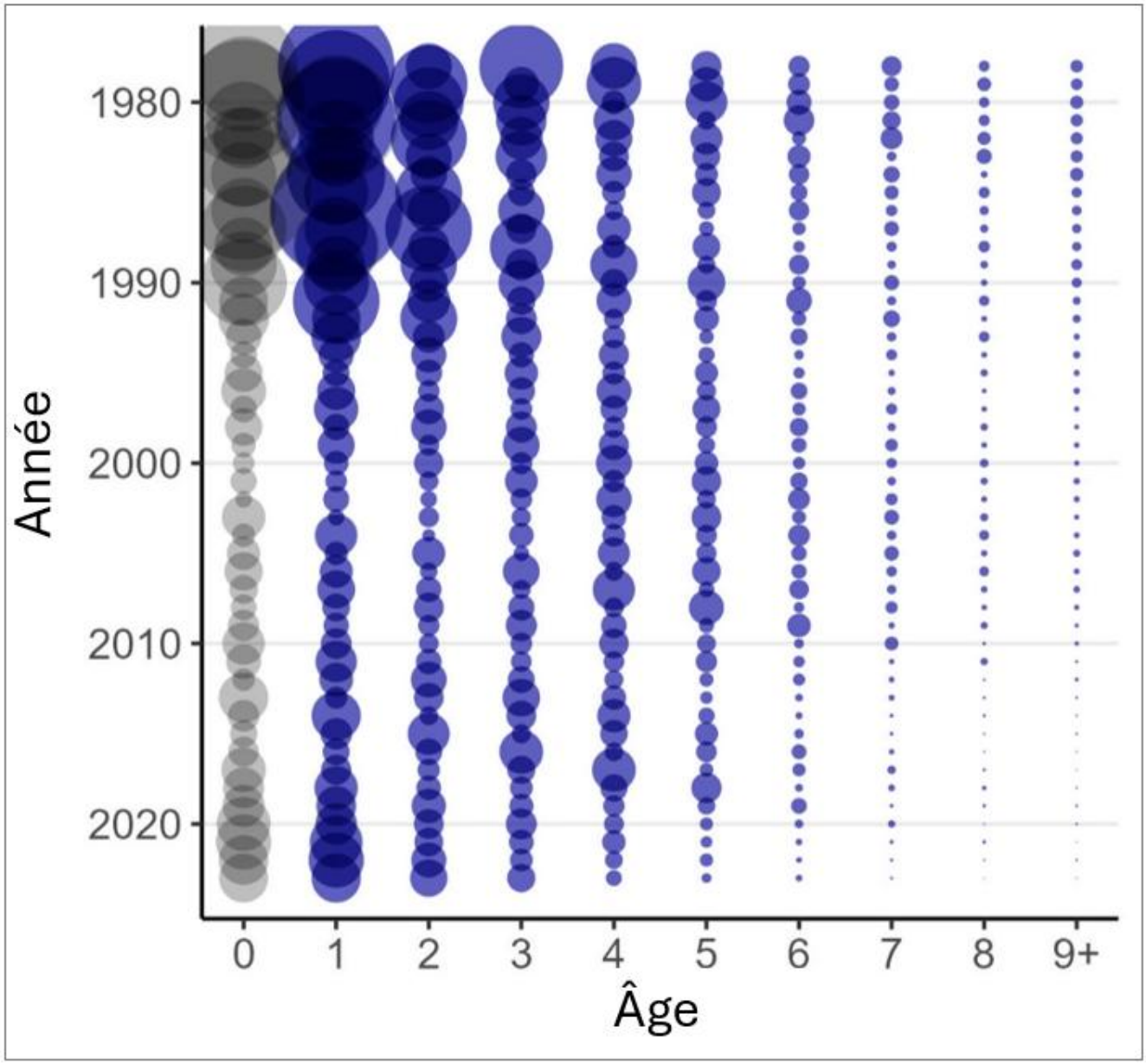


Figure 3. Comparaison de la matrice historique des effectifs par âge (NAA) de la morue de l'est du banc Georges (EGB) provenant du modèle d'évaluation de Woods Hole (cercles bleus) avec la médiane de 100 simulations des modèles opérationnels (OM, cercles noirs). Les points sont tracés avec une transparence de 50 %. Une mortalité naturelle (M) de 1×10^{-6} est supposée pour l'âge 0 dans les MO.

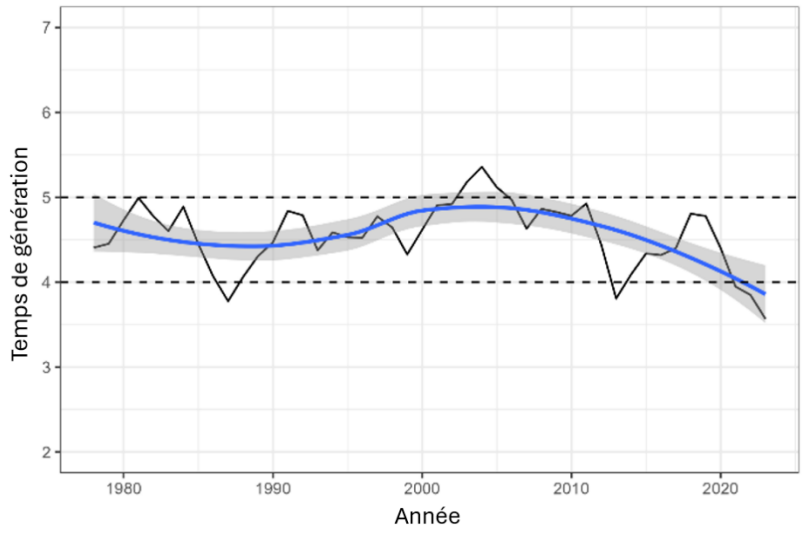


Figure 4. Temps de génération de la morue de l'est du banc Georges. La ligne noire représente les données annuelles, la ligne bleue indique la tendance lissée avec l'erreur type (ombrage gris), et les lignes horizontales pointillées sont les références pour les âges 4 et 5.

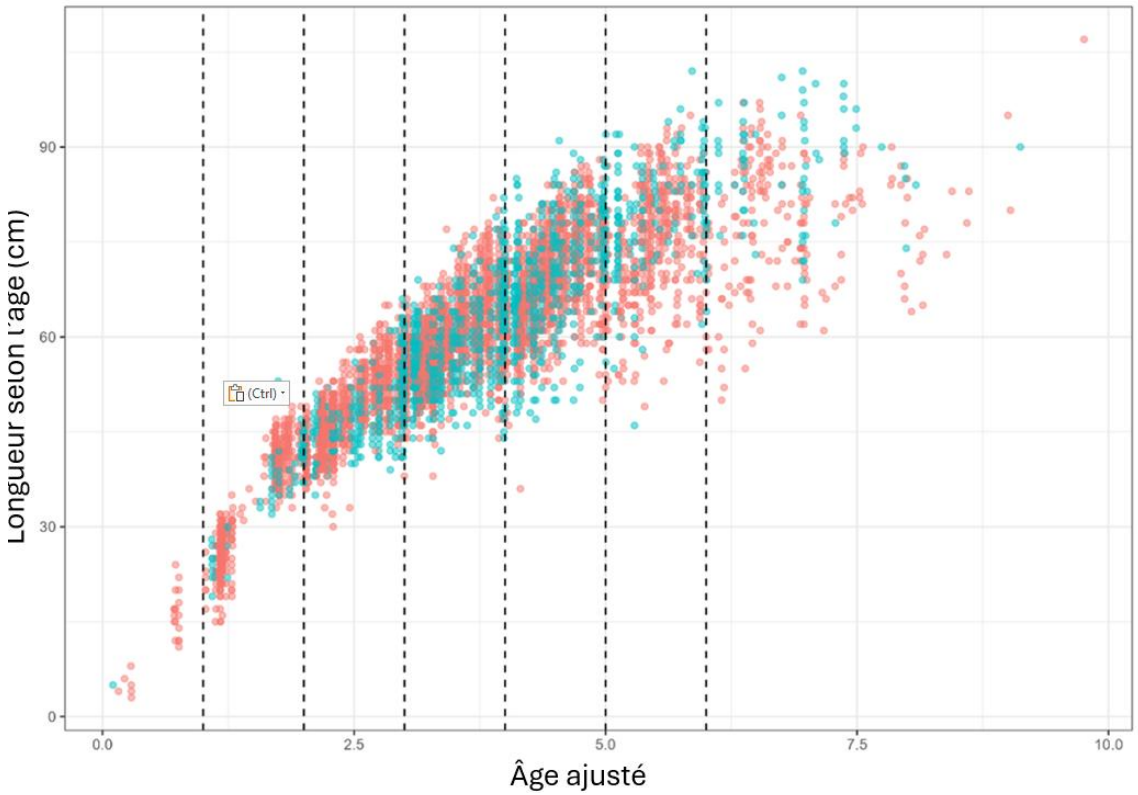


Figure 5. Données combinées de croissance (FISHLEN, longueur à l'âge en cm) pour la morue de l'est du banc Georges provenant des relevés américains du printemps, des relevés américains d'automne, du relevé hivernal du MPO, et de l'échantillonnage aux ports canadiens. L'âge partiel a été calculé selon le jour de l'année où l'otolithe a été prélevé. Les âges ont été ajustés selon la date de naissance en fonction du laboratoire d'âgisation (Station biologique de Saint Andrews ou Woods Hole). Les lignes verticales pointillées identifient les âges entiers. Les couleurs distinguent les otolithes prélevés de 2021 à 2023 (rouge) et en 2024 (bleu).

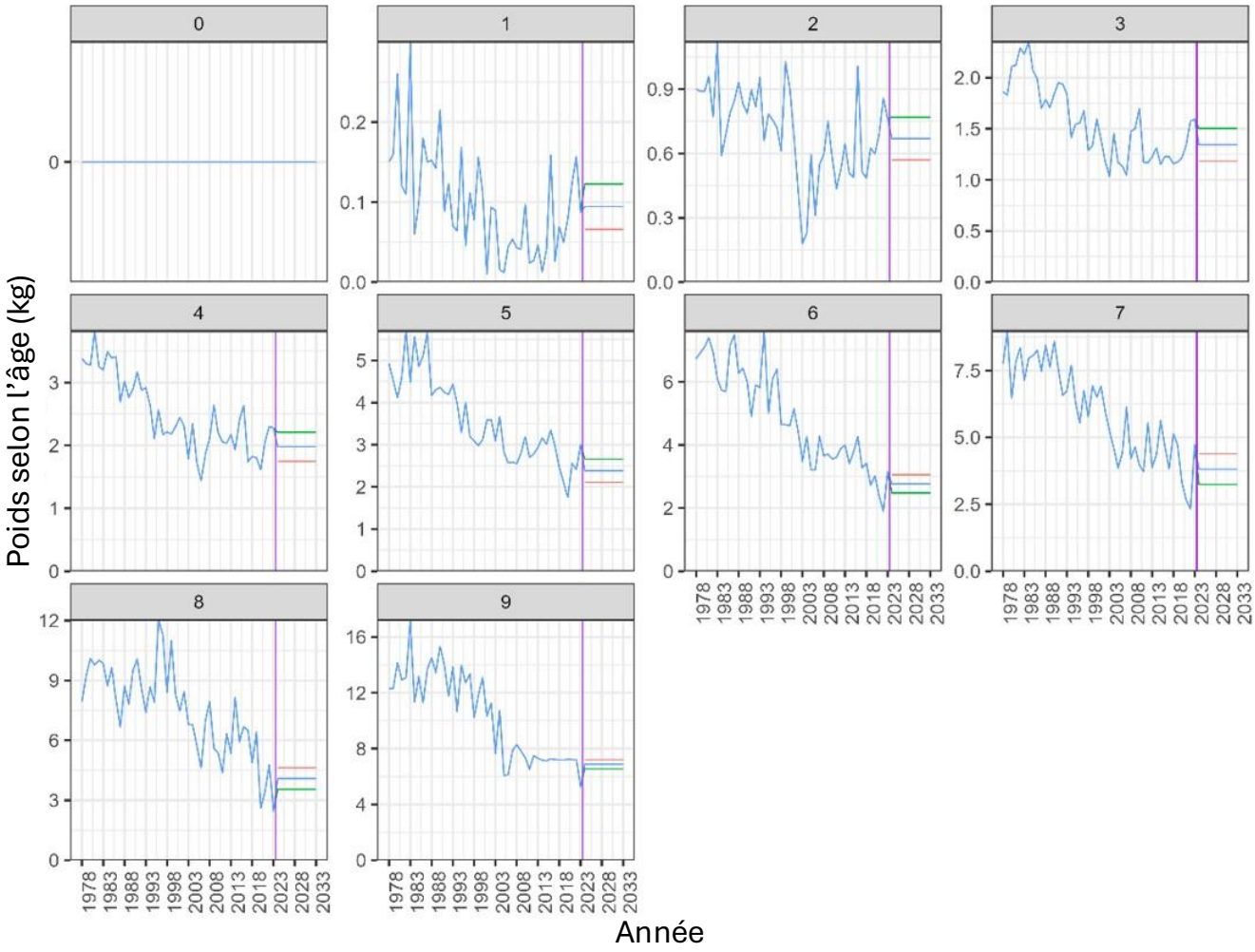


Figure 6. Matrice du poids à l'âge pour le modèle de la morue de l'est du banc Georges. Les facettes correspondent aux âges 0 à 9. Les couleurs représentent trois hypothèses de croissance utilisées dans les projections : les trois années terminales (vert; 2021–2023), les six années terminales (bleu; 2018–2023), et la période récente de croissance lente (rouge; 2018–2020). La ligne verticale pleine indique la transition des années historiques aux années projetées.

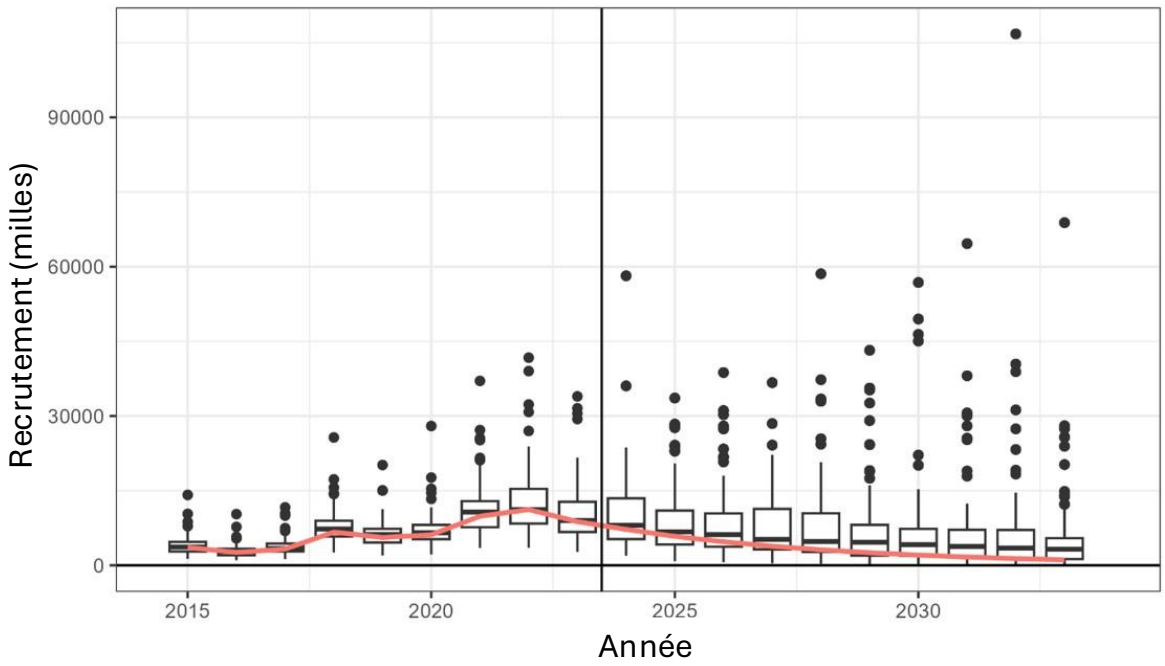


Figure 7. Recrutement historique récent (2015–2023) et projeté (2024–2033) du modèle d'évaluation de Woods Hole (ligne rouge) et de MSEtool (boîtes à moustaches en noir) avec structure de corrélation AR1.

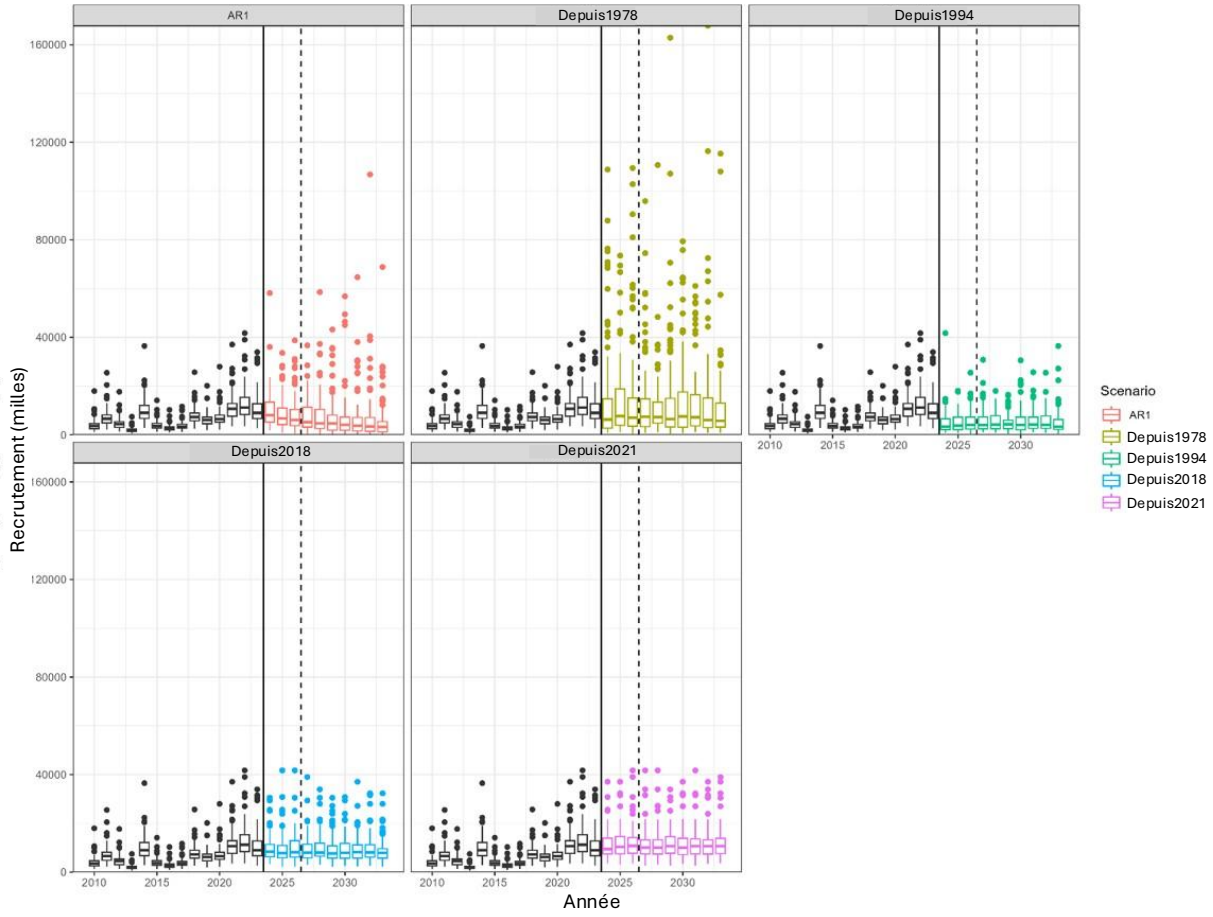


Figure 8. Recrutement (milliers) pour la période historique récente (2010–2023, boîtes noires dans chaque facette) et divers scénarios de recrutement projeté (combinaisons facette/couleur). La ligne verticale pleine indique la transition des années historiques aux années projetées. La ligne verticale pointillée indique l'année terminale d'une projection à court terme de trois ans (2024–2026).

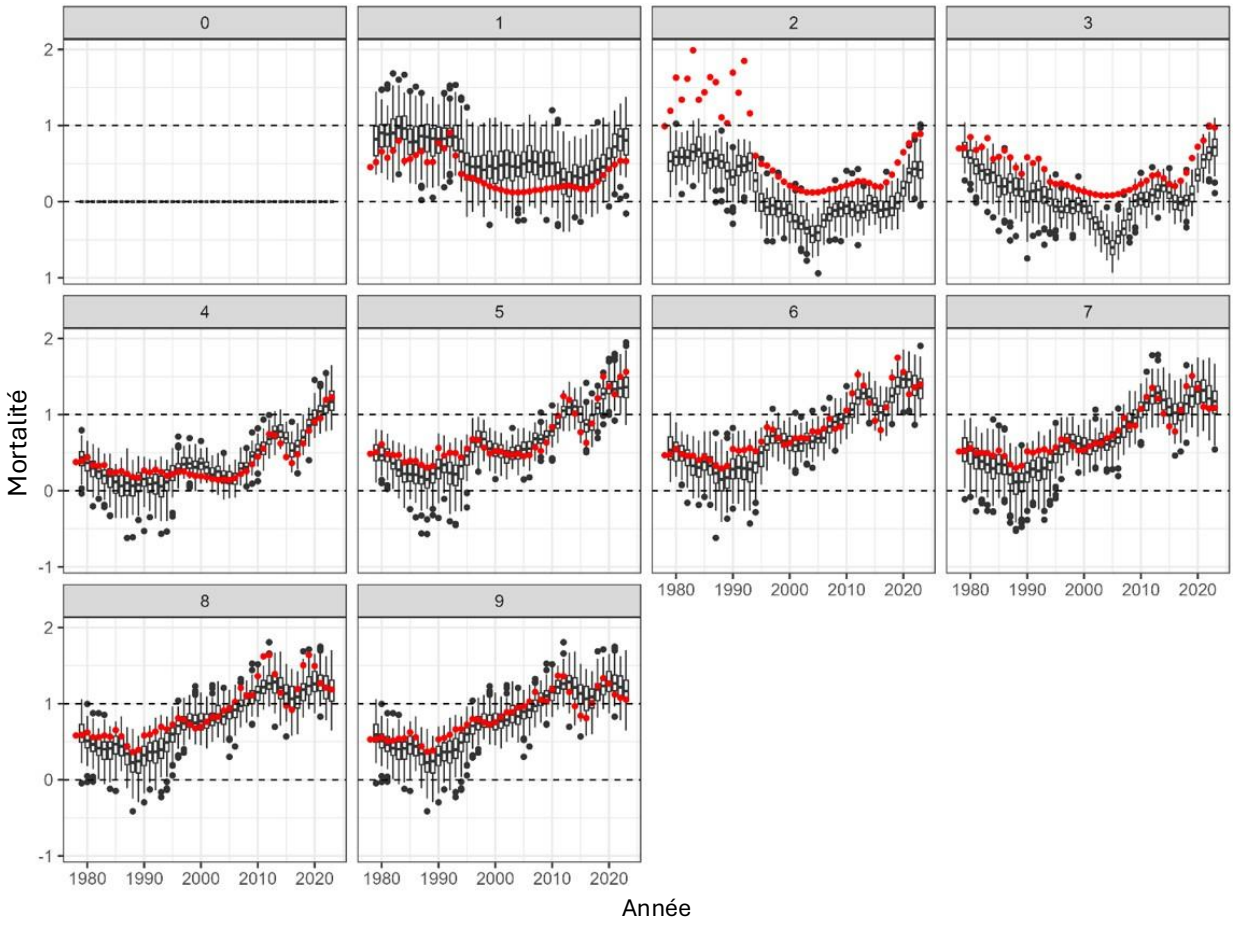


Figure 9. Tendance de la mortalité naturelle selon l'âge (facettes) à travers les années historiques (axe x). Les boîtes montrent le M déduit dans MSEtool. Les points rouges indiquent le M estimé par WHAM lorsque M est autorisé à varier dans le temps et selon l'âge avec une structure de corrélation 2DAR1.

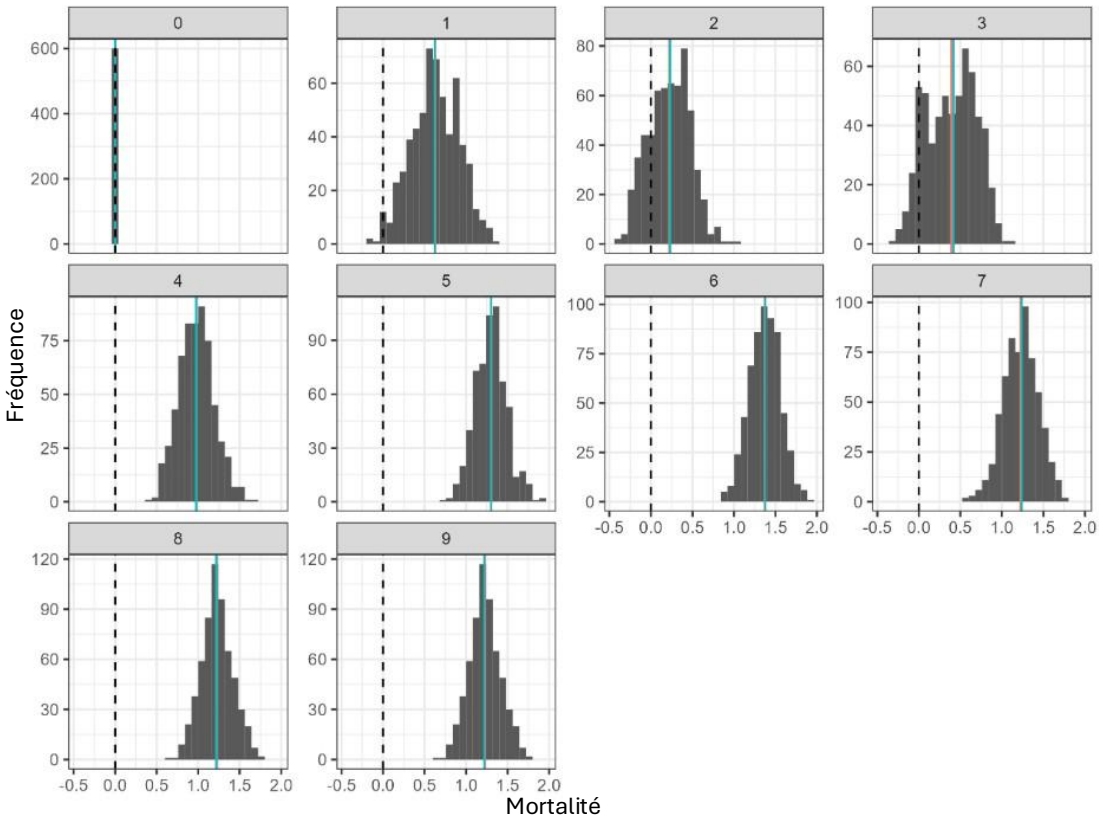


Figure 10. Distribution de fréquence de la mortalité naturelle (M) selon l'âge pour 2018–2023. Les facettes représentent les âges 0 à 9. La ligne verticale pointillée indique 0. Les lignes verticales rouges indiquent la moyenne, et les lignes bleues la médiane.

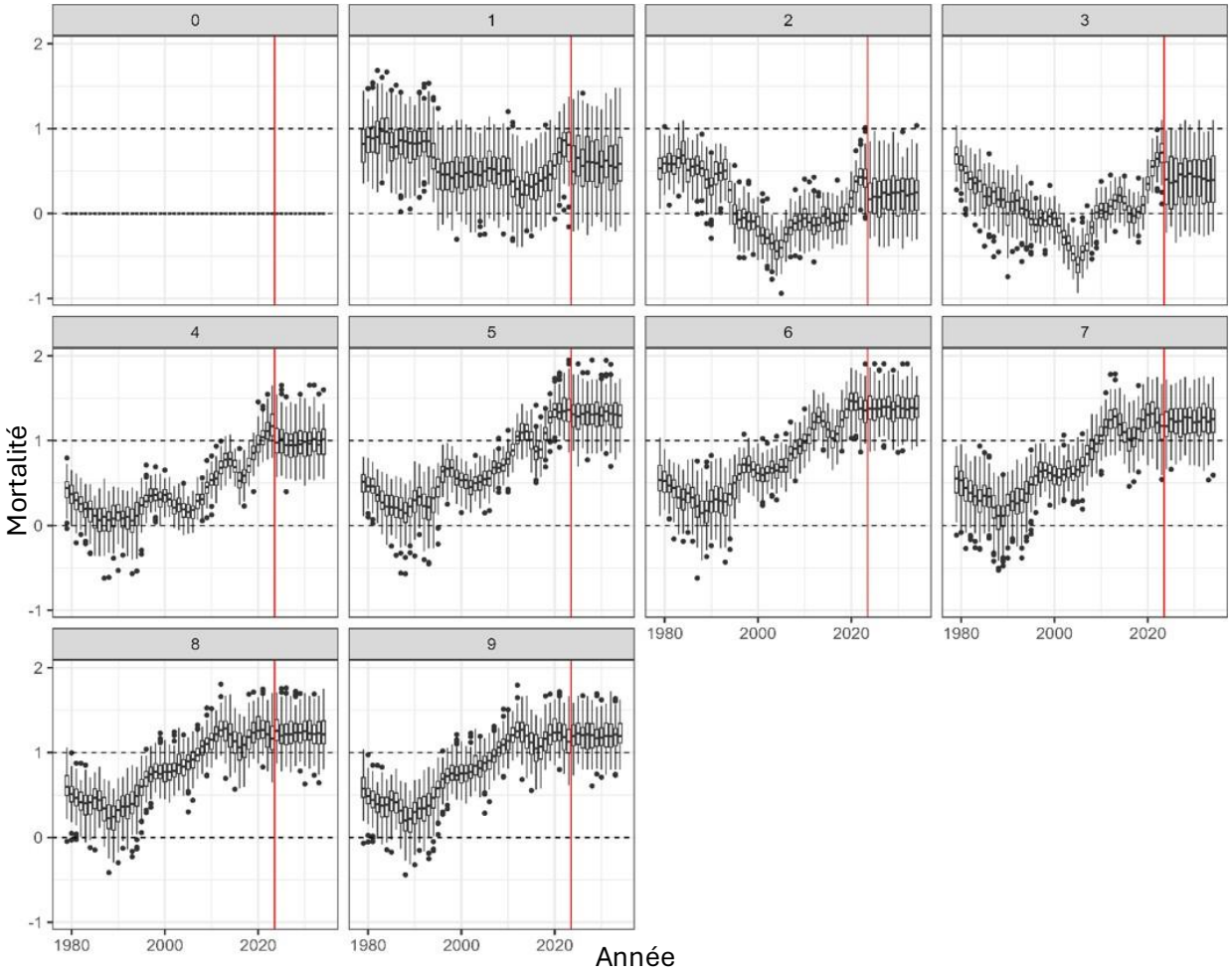


Figure 11. Distribution de la mortalité naturelle historique et projetée pour l'exécution candidate (M6Sample). Les lignes rouges indiquent la transition des années historiques (2023) vers les années projetées (2024). Les panneaux correspondent aux âges 0 à 9.

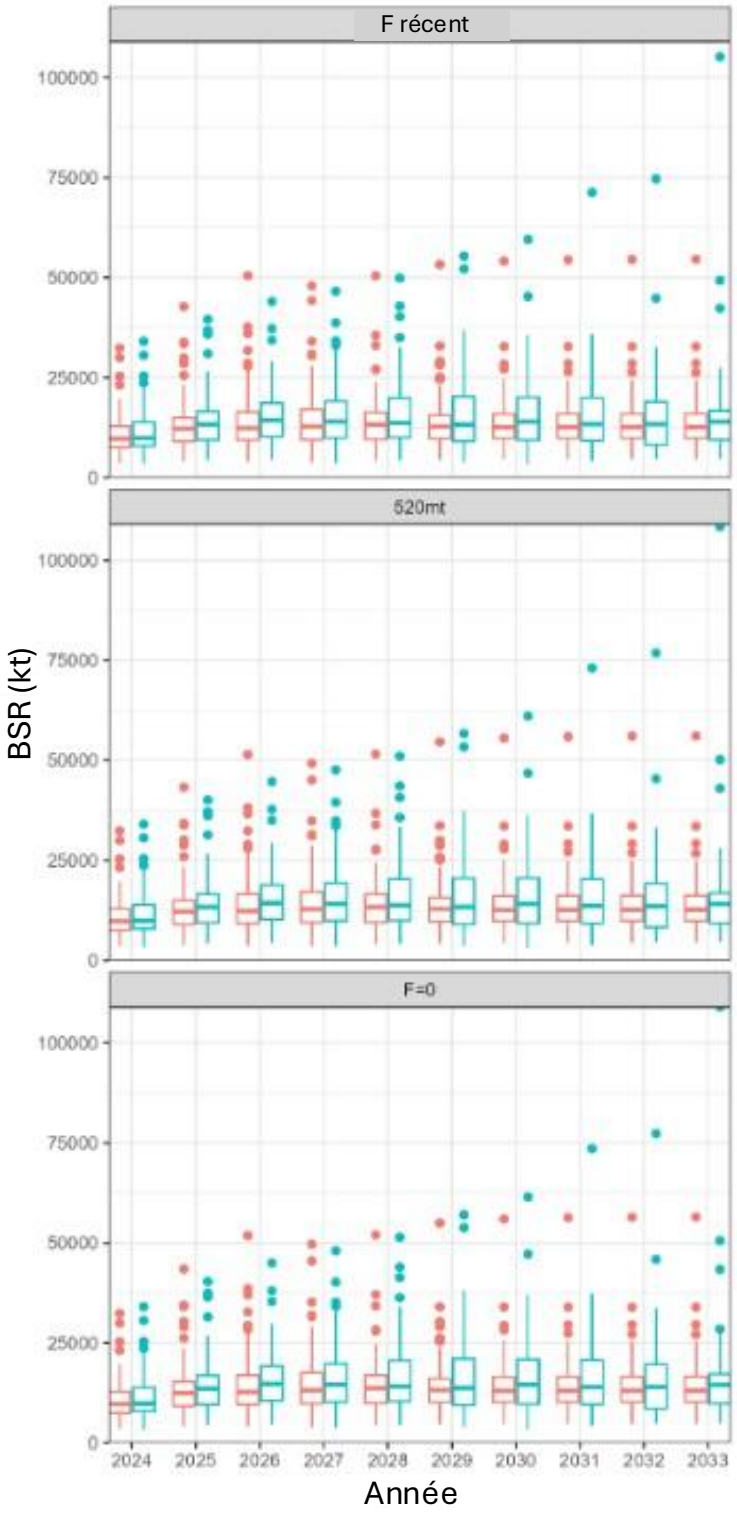


Figure 12. Comparaison de la biomasse du stock reproducteur (BSR, kt) projetée pour le MO à long terme candidat (lignes et points bleus, incluant l'incertitude sur le recrutement et M) et un MO de sensibilité sans incertitude sur le recrutement et M (courbes rouges), sous divers scénarios de mortalité par pêche (F). Panneau supérieur: F récent; panneau du milieu: capture constante de 520 t; panneau inférieur: F=0.

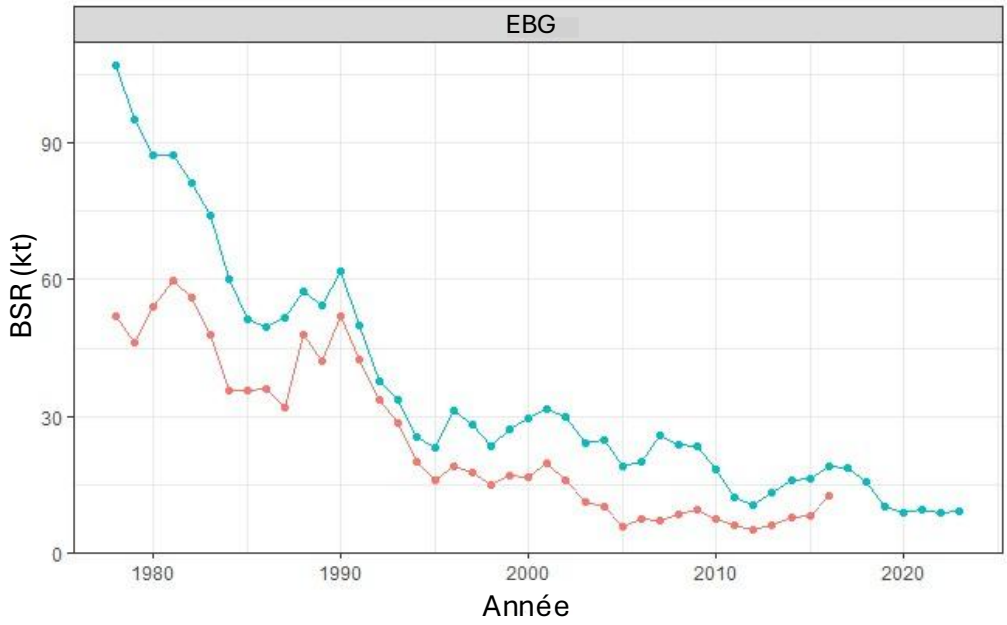


Figure 13. Comparaison de la BSR estimée pour la morue de l'est du banc Georges (EGB) par le modèle actuel (lignes bleues) avec les estimations provenant du modèle d'évaluation le plus récemment accepté (lignes rouges).

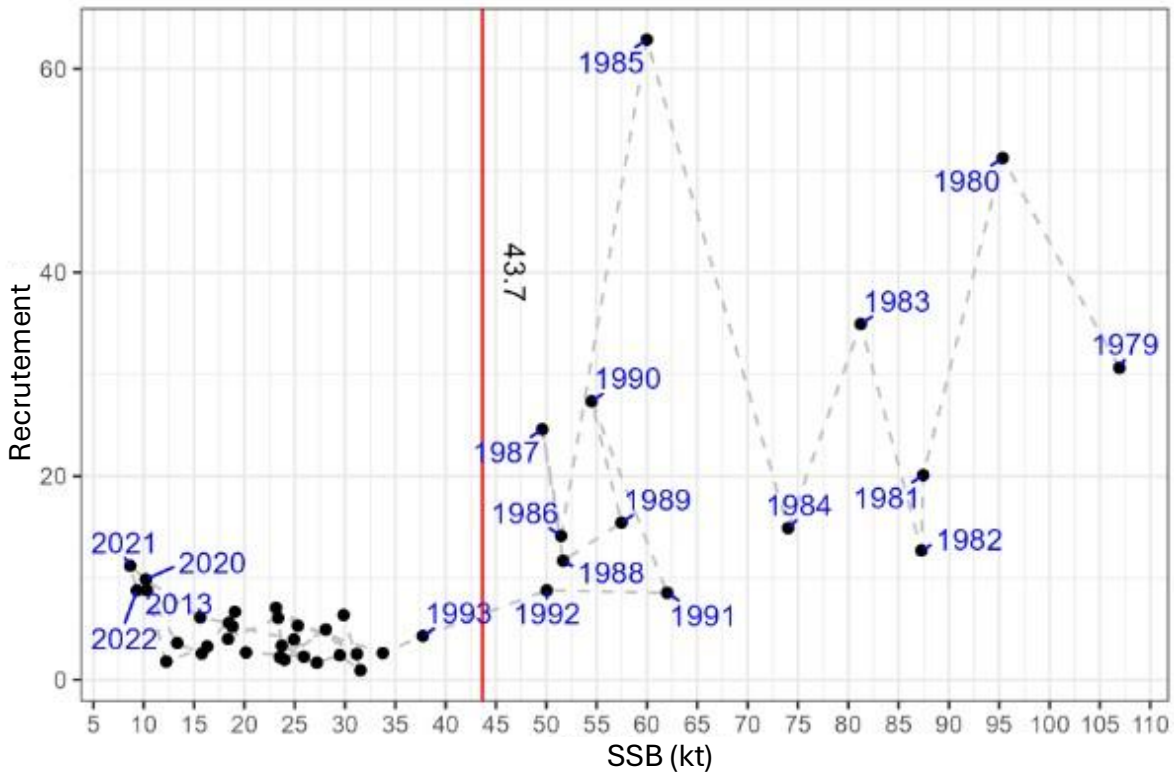


Figure 14. Relation entre la BSR (milliers de tonnes) et le recrutement pour le modèle de morue de l'est du banc Georges par année. Le recrutement (âge 1) a été décalé d'une année. La ligne verticale rouge à 43,7 kt représente la valeur médiane entre la plus faible BSR du côté droit et la plus forte BSR du côté gauche.

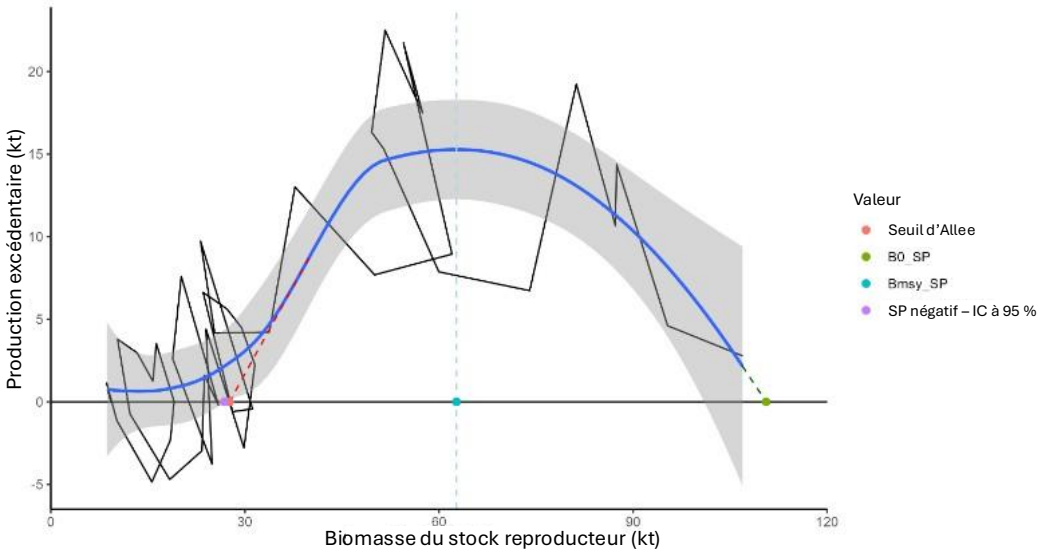


Figure 15. Production excédentaire par rapport à la biomasse du stock reproducteur, avec un ajustement GAM avec un intervalle de confiance de 95 % (bleu). Les couleurs des points identifient la méthode de dérivation indiquée dans la légende (voir le texte dans la section Point de référence limite pour des descriptions complètes).

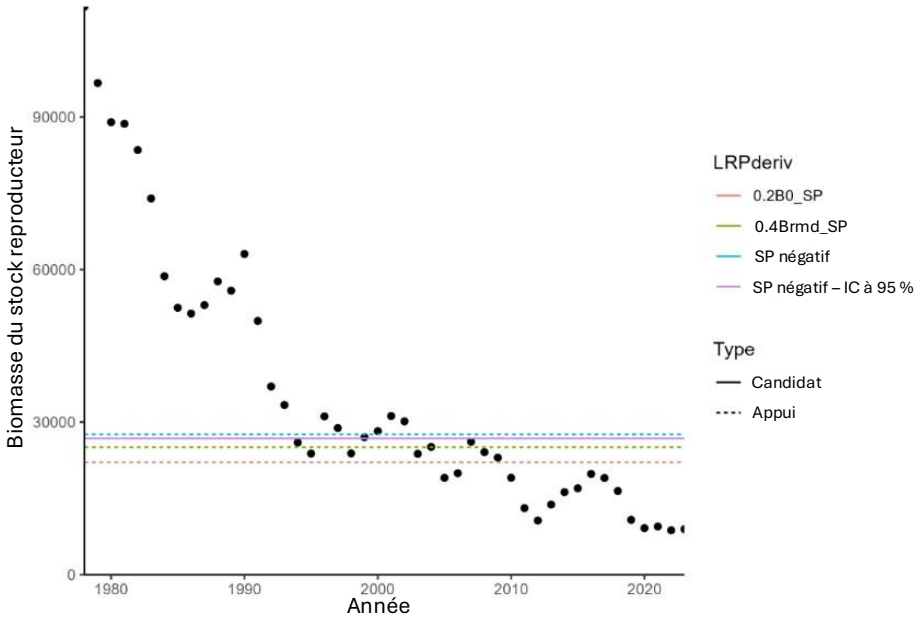


Figure 16. Point de référence limite retenu (ligne pleine) et points de référence limites supplémentaires (lignes horizontales pointillées colorées), ainsi que la trajectoire médiane historique de la BSR (points noirs). Les couleurs des lignes horizontales correspondent aux méthodes indiquées dans la légende (voir la section PRL).

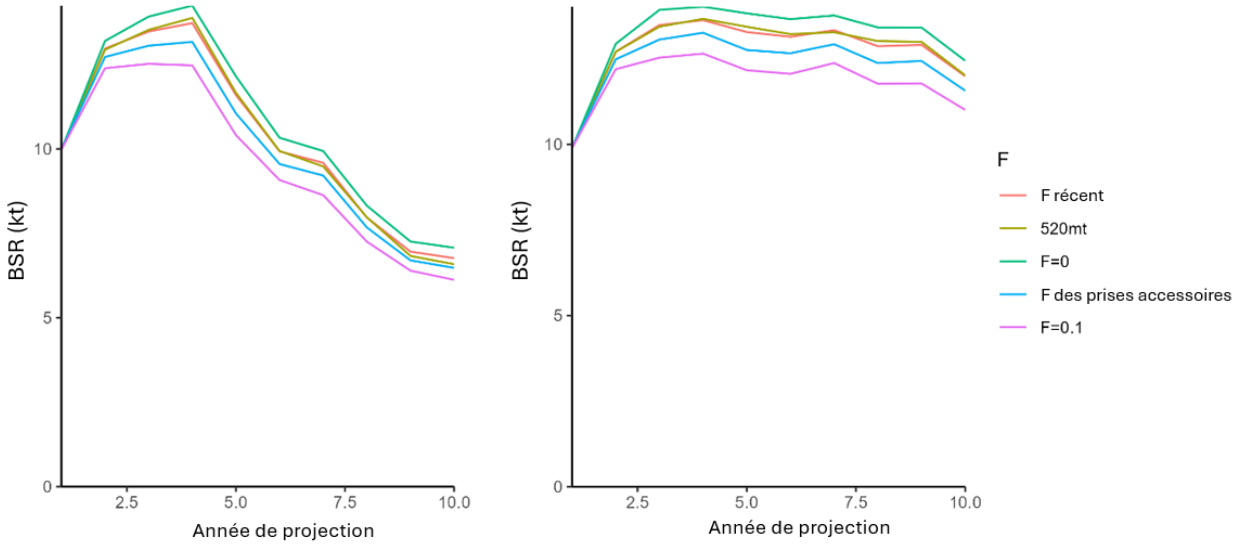


Figure 17. BSR projetée (kt) pour les projections candidates à court terme (panneau gauche) et à long terme (panneau droit), selon plusieurs scénarios de mortalité par pêche (F). Lignes rouges : F récent; lignes jaunes : 520 t; lignes vertes : aucune pêche; lignes bleues : seulement les prises accessoires; lignes rouges : F0.1.

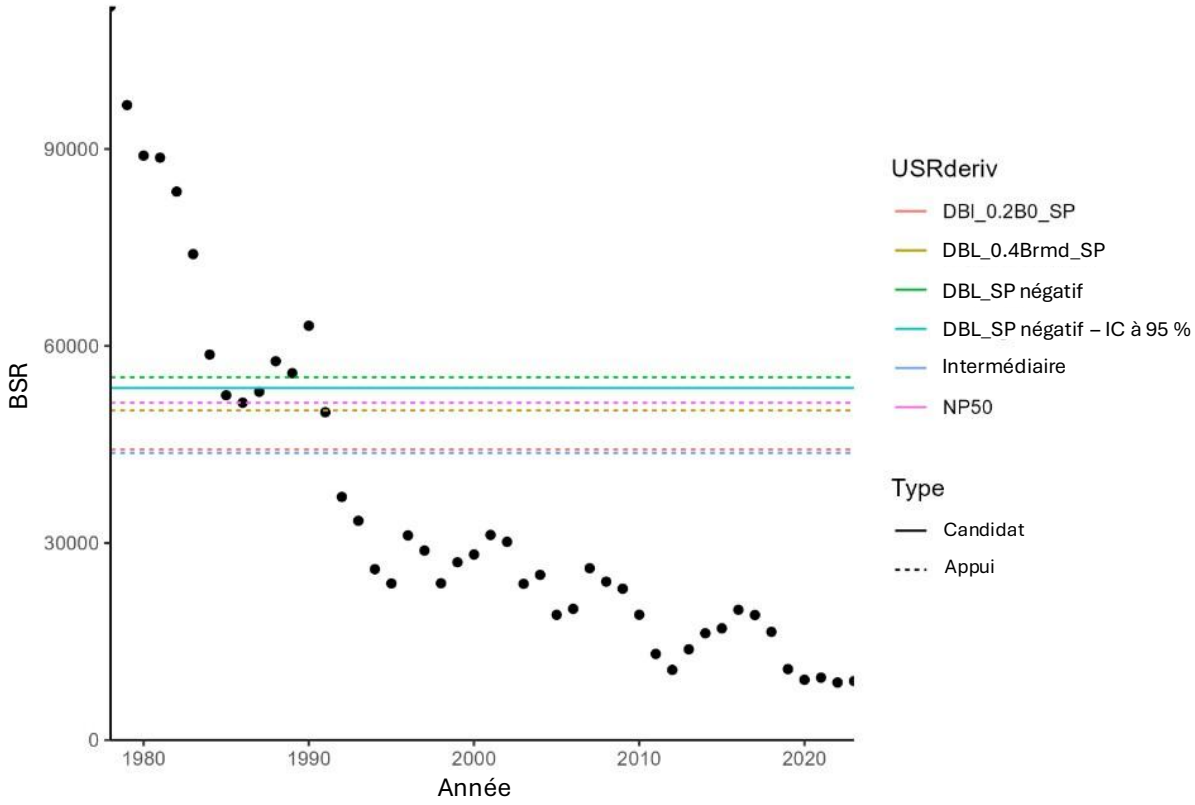


Figure 18. Points de référence supérieurs candidats (lignes horizontales colorées) et trajectoire médiane historique de la BSR (points). Les couleurs des lignes correspondent aux méthodes indiquées dans la légende (voir la section Points de référence supérieurs).

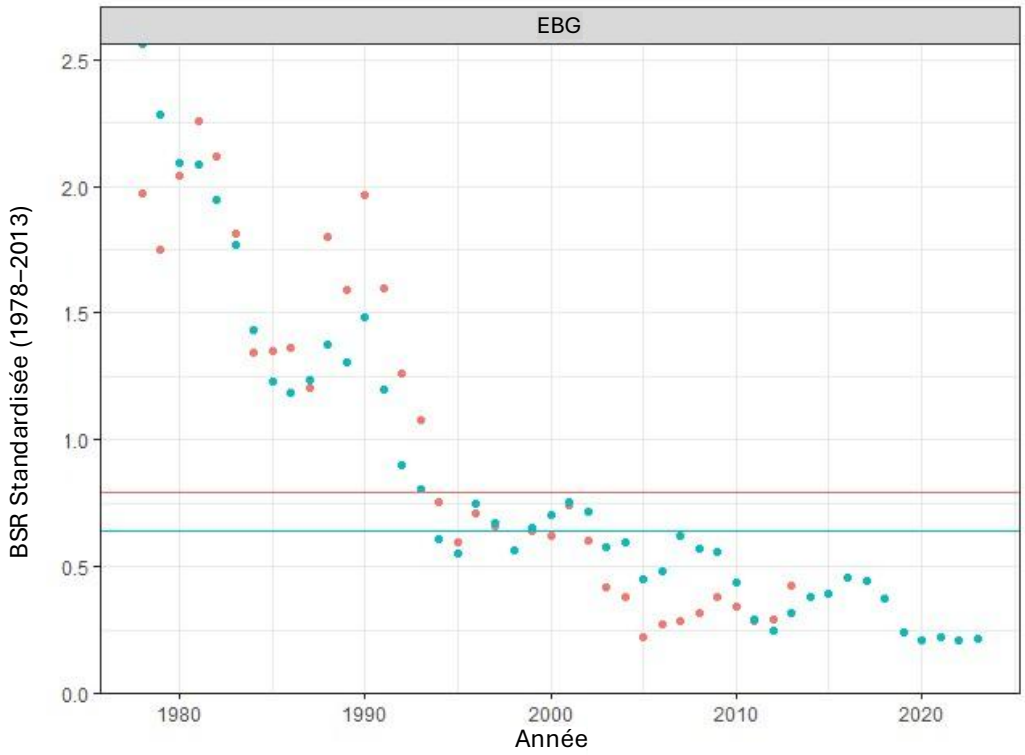


Figure 19. Biomasse du stock reproducteur (BSR) standardisée (1978–2013) provenant du modèle d'analyse de population virtuelle de 2013 (points rouges) et du modèle d'évaluation de Woods Hole (WHAM) de 2023 (points bleus) pour la morue de l'est du banc Georges. Les lignes horizontales montrent les PRL et USR candidats actuels et historiques (lignes pleines = PRL; pointillées = USR), selon les modèles respectifs, standardisés pour la même période.