



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 2023/085**

**Région du Québec**

### **Éléments scientifiques du plan de rétablissement de la morue franche du nord du golfe du Saint-Laurent (OPANO 3Pn4RS)**

Hugues P. Benoît et Jordan Ouellette-Plante

Pêches et Océans Canada  
Institut Maurice-Lamontagne  
850 Route de la Mer,  
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

---

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



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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-68720-9 N° cat. Fs70-5/2023-085F-PDF

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

Benoît, H.P., et Ouellette-Plante, J. 2023. Éléments scientifiques du plan de rétablissement de la morue franche du nord du golfe du Saint-Laurent (OPANO 3Pn4RS). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/085. iv + 29 p.

### ***Also available in English :***

*Benoît, H.P., and Ouellette-Plante, J. 2023. Scientific Elements of the Northern Gulf of St. Lawrence (NAFO 3Pn4RS) Atlantic Cod Rebuilding Plan. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/085. iv + 28 p.*

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION .....	1
CIBLE DE RÉTABLISSEMENT .....	1
$T_{\text{MIN}}$ .....	2
RECRUTEMENT .....	3
MORTALITÉ NATURELLE.....	5
SIMULATIONS DE $T_{\text{MIN}}$ .....	6
RÉSULTATS DE $T_{\text{MIN}}$ .....	7
DISCUSSION .....	8
SIMULATIONS DE MESURES DE GESTION POTENTIELLES .....	9
PORTÉE DE MORTALITÉ .....	9
SIMULATIONS DES EXEMPLES DE RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES .....	10
SUIVI DE LA BSR.....	11
INDICATEURS DE L'ÉTAT DES STOCKS .....	11
QUELQUES CONSIDÉRATIONS POUR LA RÉVISION PÉRIODIQUE DU PLAN DE RÉTABLISSEMENT .....	12
REMERCIEMENTS .....	12
RÉFÉRENCES CITÉES .....	13
TABLEAUX .....	15
FIGURES .....	16
ANNEXE A. CODE R UTILISÉ POUR GÉNÉRER LES ESTIMATIONS DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT .....	29

---

## RÉSUMÉ

Le stock de morue franche (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (OPANO 3Pn4RS) se situe en deçà de son point de référence limite. Compte tenu des nouvelles disposition relatives aux stocks de poissons qui sont entrées en vigueur par voie de règlement en avril 2022, cela implique que Pêches et Océans Canada (MPO) est légalement tenu d'élaborer un plan de rétablissement pour ce stock. Un plan de rétablissement comprend plusieurs éléments, dont bon nombres sont définis ou étayés par des informations et des analyses fournies par le secteur des Sciences du MPO. Plus précisément, il relève de la compétence du secteur des Sciences du MPO de fournir des options scientifiquement défendables pour une cible de rétablissement et un échéancier de rétablissement ( $T_{\min}$ ), d'évaluer la probabilité d'atteindre les objectifs et les délais de rétablissement en fonction de différentes options de gestion des pêches proposées, d'identifier les indicateurs permettant de suivre les progrès du rétablissement et d'orienter les décisions pour l'examen périodique du plan de rétablissement. L'examen par les pairs de ces nouveaux éléments et analyses est une étape importante pour garantir qu'ils constituent la meilleure science possible sur la base des données, des ressources et du calendrier disponibles à leur développement.

---

## INTRODUCTION

Le stock de morue franche (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (OPANO<sup>1</sup> 3Pn4RS) est l'un des 30 principaux stocks visés par les dispositions relatives aux stocks de poissons qui sont entrées en vigueur par voie de règlement le 4 avril 2022. Étant donné que le stock de morue 3Pn4RS se situe en deçà de son point de référence limite (PRL), Pêches et Océans Canada (MPO) est légalement tenu d'élaborer un plan de rétablissement pour ce stock, qui répond aux exigences des dispositions relatives aux stocks de poissons (MPO 2021a). Le Ministère s'est engagé à élaborer un plan de rétablissement pour la morue franche 3Pn4RS d'ici avril 2024.

Un plan de rétablissement comprend plusieurs éléments, dont bon nombre sont définis ou étayés par des informations et des analyses fournies par le secteur des Sciences du MPO ([Lignes directrices du MPO sur la rédaction de plans de rétablissement](#)). Les informations requises pour certains des éléments scientifiques sont disponibles à partir de documents qui ont été examinés par des pairs et qui sont publiés ou qui le seront bientôt. Par exemple, une description de l'état du stock, des tendances et des causes probables du déclin du stock et de l'absence subséquente de rétablissement est disponible dans l'évaluation la plus récente de la morue 3Pn4RS (Ouellette-Plante *et al.* En prép.<sup>2</sup>). Ces éléments ne nécessitent pas d'examen supplémentaire par les pairs pour le moment. Il existe cependant d'autres éléments qui nécessitent de nouvelles analyses. Plus précisément, il relève de la compétence du secteur des Sciences du MPO de fournir des options scientifiquement défendables pour une cible de rétablissement et un échéancier de rétablissement, d'évaluer la probabilité d'atteindre les objectifs et les délais de rétablissement en fonction des différentes options de gestion des pêches proposées par un groupe de travail sur le plan de rétablissement composé de plusieurs intervenants d'origine multisectorielle, d'identifier les indicateurs permettant de suivre les progrès du rétablissement et d'orienter les décisions pour l'examen périodique du plan de rétablissement. L'examen par les pairs de ces nouveaux éléments et analyses est une étape importante pour garantir qu'ils constituent la meilleure science possible sur la base des données, des ressources et du calendrier disponibles à leur développement.

Ce document présente les nouvelles synthèses et analyses préparées pour le plan de rétablissement de la morue franche 3Pn4RS. Ce matériel a été présenté lors d'une réunion d'examen par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) qui a eu lieu le 12 octobre 2023. Cette réunion a été demandée par le Secteur des Sciences du MPO pour mener un examen indépendant du travail qui a été effectué pour soutenir le développement du plan de rétablissement de la morue franche 3Pn4RS. Les résultats de l'examen régional par les pairs seront utilisés, entre autres, pour éclairer l'élaboration de procédures de gestion potentielles pour le plan de rétablissement de la morue 3Pn4RS.

## CIBLE DE RÉTABLISSEMENT

En ce qui concerne la définition d'une cible de rétablissement, les [lignes directrices actuelles du MPO sur la rédaction des plans de rétablissement](#) stipulent ce qui suit :

“La cible de rétablissement doit être fixée à un niveau supérieur au PRL de sorte qu'il y ait une vraisemblance très faible à faible que le stock soit en dessous de son PRL (<5-25 % de

---

<sup>1</sup> Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest.

<sup>2</sup> Ouellette-Plante, J., Benoît, H.P., et Lussier, J.-F. 2023. L'état du stock de morue franche (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn, 4RS) en 2022. En préparation.

---

probabilité [...]). Une cible de rétablissement a été atteinte lorsqu'il y a une probabilité d'au moins 50 % que le stock soit au moins à sa cible de rétablissement."

Étant donné qu'une évaluation quantitative fondée sur un modèle est en place pour la morue OPANO 3Pn4RS, l'établissement de la cible de rétablissement et la surveillance subséquente des dynamiques du stock devraient être effectués à l'aide du modèle accepté et, par conséquent, l'incertitude des quantités estimées à partir de celui-ci, notamment la biomasse du stock reproducteur (BSR). En supposant que la qualité de l'évaluation ne changera pas à l'avenir, les erreurs relatives sur les estimations actuelles de la BSR devraient refléter les erreurs relatives sur les estimations futures et peuvent être utilisées pour définir des cibles de rétablissement qui satisfont aux exigences énoncées ci-dessus. Contrairement à l'approche utilisée pour la morue du stock 3Ps de l'OPANO, qui établit des cibles de rétablissement fondées sur des projections (MPO 2023a), l'approche utilisée ici est plus directe, ne dépend pas des hypothèses formulées pour les projections, n'est pas confrontée à une forte augmentation de l'incertitude à mesure que la période de projection augmente, peut être mise en œuvre quelles que soient les perspectives de croissance du stock et est indépendante des projections utilisées pour estimer  $T_{\min}$  (voir la définition à la section suivante).

Lors de la dernière évaluation, qui a eu lieu en février 2023, un PRL de 71 970 tonnes de BSR a été fixé pour ce stock (MPO 2023b). Le modèle d'évaluation estime la BSR avec une précision raisonnablement élevée, comme en témoignent les intervalles de confiance généralement étroits autour des estimations (Figure 1). Dans le modèle, la BSR est estimée sur l'échelle logarithmique (log) et le rapport des erreurs-types annuelles et des estimations logarithmiques de la BSR, que nous appelons ici les coefficients de variation (cv), est généralement faible, les valeurs depuis 1997 variant autour d'une moyenne de 0,0150 (Figure 2). Le cv de l'année terminale de l'évaluation est supérieur (0,0168), ce qui est typique pour ces modèles.

En utilisant le logarithme du PRL comme seuil inférieur et en supposant une valeur pour cv, il est possible d'identifier la moyenne du log BSR associée à une probabilité définie de valeurs de logarithme de la BSR qui sont égales ou inférieures à ce seuil, en fonction des quantiles de la distribution normale. Ici, nous avons considéré les probabilités de 5 et 25 %, celles associées aux limites qui définissent une faible probabilité selon les lignes directrices du MPO. Des valeurs plus faibles (<5 %), qui constitueraient une probabilité très faible, pourraient également être facilement envisagées. Nous avons généré deux séries d'estimations. La première utilise le cv estimé dans l'année terminale (2022, valeur de 0,0168) de l'évaluation 2023. Il s'agit ainsi de représenter l'erreur relative pour le log de la BSR au cours de l'année terminale des évaluations futures, qui serviront à évaluer les progrès réalisés avec le plan de rétablissement. Utiliser le cv de l'année terminale était également l'approche recommandée par le groupe de travail sur le plan de rétablissement. La deuxième série utilise le cv moyen estimé pour la période 1997-2022 (0,0150). Les estimations des cibles de rétablissement ont été obtenues en transformant les valeurs du log de la BSR associées aux probabilités respectives d'après la fonction exponentielle. Le code R utilisé pour générer les estimations est présenté à l'Annexe A et les estimations de cibles de rétablissement sont au tableau 1 et varient entre 80 741 t et 99 211 t.

### $T_{\min}$

En plus des objectifs de rétablissement, un plan de rétablissement nécessite un calendrier de rétablissement défini, nécessaire pour évaluer les différentes options de gestion et, par la suite, pour suivre les progrès du rétablissement par rapport aux objectifs de rétablissement. La norme internationale et l'approche recommandée par le MPO (MPO 2021a) consistent à estimer le temps nécessaire pour atteindre l'objectif de rétablissement avec une mortalité par pêche nulle

---

( $T_{\min}$ ) et à baser le calendrier de rétablissement sur un multiple de cette valeur. Spécifiquement, les [lignes directrices actuelles du MPO sur la rédaction de plan de rétablissement](#) indiquent:

“L'échéancier pour l'atteinte de la cible de rétablissement du stock doit se situer entre le  $T_{\min}$  et un maximum de deux à trois fois le  $T_{\min}$ . À noter que le  $T_{\min}$  est le temps minimum requis pour atteindre la cible de rétablissement du stock en l'absence de toute pêche ( $F = 0$ ) dans les conditions de productivité qui prévalent. Une cible de rétablissement aura été atteinte lorsqu'il y a 50 % de chances que l'indicateur de stock soit égal ou supérieur à cette cible.”

Une cible de rétablissement aura été atteinte lorsqu'il y a 50 % de chances que l'indicateur de stock soit égal ou supérieur à cette cible. L'estimation de  $T_{\min}$  pour la morue de l'OPANO 3Pn4RS nécessite de projeter dans le futur l'état du stock à partir de celui estimé dans l'évaluation la plus récente (février 2023, Ouellette-Plante *et al.* En prép.)<sup>2</sup>, en supposant que les conditions de productivité actuelles prévaudront dans le futur. Les éléments qui déterminent la productivité sont les poids à l'âge dans le stock (reflétant la croissance somatique), l'ogive de maturité (proportions matures selon l'âge), le recrutement annuel et le taux de mortalité naturelle par âge,  $M$ . En l'absence d'informations contraires crédibles, les poids selon l'âge et l'ogive de maturité utilisés au cours de la dernière année de l'évaluation ont été présumés pour la période de projection. En revanche, le recrutement et  $M$  ont varié de manière non négligeable pour la morue 3Pn4RS, et les deux nécessitent une considération spécifique au stock. La justification quant au choix du recrutement et des postulats pour  $M$  pour les simulations est fournie dans les deux sous-sections suivantes. Un résumé moins technique du raisonnement et des choix est fourni au début de la troisième sous-section (simulations de  $T_{\min}$ ).

## RECRUTEMENT

La relation entre la biomasse du stock reproducteur et le recrutement fournit un puissant mécanisme de compensation dans la dynamique des populations de poissons et est souvent la seule forme de densité dépendance qui est modélisée dans les évaluations des stocks et les processus connexes, tels que l'évaluation de la stratégie de gestion.

L'évaluation de la morue 3Pn4RS révèle une relation stock-recrutement incomplète pour le stock, caractérisée par un faible recrutement à de faibles niveaux de stock (BSR généralement < 55 000 t) et un recrutement élevé pour les niveaux de stock plus élevés (BSR > 125 000 t), avec seulement deux estimations du recrutement à des tailles de stock intermédiaires (Figure 3). En outre, ces deux estimations ne sont probablement pas représentatives de la relation stock-recrutement globale, puisqu'elles se sont produites au cours d'années (1989, 1990) où les conditions pour le stock étaient particulièrement défavorables et la production excédentaire du stock était négative (Dutil et Lambert 2000, Lambert 2011, Ouellette-Plante *et al.* En prép.)<sup>2</sup>. Dans l'ensemble, la dynamique du stock et du recrutement est telle que le recrutement semble être caractérisé par des fluctuations autour des niveaux moyens pour chacune des deux périodes, 1973-1990 et 1991-présent (Figure 4).

Le mauvais état physiologique des adultes qui n'est pas entièrement pris en compte dans la BSR, la forte abondance de poissons pélagiques prédateurs d'œufs et de larves de morue (e.g. maquereau bleu [*Scomber scombrus*]), et les températures au fond sous la moyenne contribuant à une mortalité plus élevée chez les morues en transition vers une distribution plus démersale ont tous été identifiés antérieurement comme des contributeurs négatifs probables à la reproduction ou au recrutement de la morue (Swain et Sinclair 2000; Duplisea et Robert 2008; Lambert 2011; MPO 2021b; Bryhn *et al.* 2022). Ces facteurs, individuellement ou conjointement, ne semblent pas expliquer la dynamique des recrues chez la morue 3Pn4RS (Figure 4, panneau du haut). Bien que ces facteurs aient pu contribuer à la variation du

---

recrutement certaines années, nous remarquons qu'ils se situent généralement tous à des niveaux favorables depuis plus d'une décennie (Figure 3).

Outre les facteurs environnementaux examinés ci-dessus, la composition démographique de la BSR peut également avoir contribué à la variation du recrutement. Comparativement aux morues plus jeunes, les morues plus âgées et plus grosses devraient apporter une contribution considérablement plus importante au recrutement sur une base de masse spécifique étant donné qu'au cours d'une saison donnée, elles produisent plus de lots d'œufs de meilleure qualité et produisent beaucoup plus d'œufs au total en fonction de leur masse corporelle (Trippel 1998; Rideout *et al.* 2005; Barneche *et al.* 2018; Marshall *et al.* 2021). En outre, les données provenant des stocks de morue arctique du nord-est et de la mer de Barents indiquent que le succès du recrutement et la résilience aux changements environnementaux sont associés à la BSR comprenant des individus plus âgés (Ohlberger *et al.* 2022; Ottersen et Holt 2022). La proportion de poissons plus âgés dans le stock, que nous définissons comme le nombre de morues d'âge 8 et plus, divisé par le nombre d'âge 4 et plus, a fluctué quelque peu cycliquement depuis 1973. Les années au cours desquelles la BSR comprenait une proportion élevée de poissons plus âgés correspondaient souvent à des années de bon recrutement, particulièrement avant 2010 (Figure 5). Cette relation n'est pas suffisamment forte pour être incluse dans les projections de stock. Néanmoins, étant donné que la proportion de poissons plus âgés est fonction du recrutement passé et surtout de la survie des adultes, et qu'un plan de rétablissement de ce stock mettra presque certainement l'accent sur l'amélioration de la survie, le recrutement réalisé à l'avenir pourrait raisonnablement être meilleur que celui utilisé dans les projections.

Le recrutement de la morue 3Pn4RS montre des cycles raisonnablement clairs par rapport au recrutement moyen, surtout depuis 1991 (Figure 4). Les analyses de séries temporelles basées sur un périodogramme, qui identifie les fréquences principales dans la série temporelle, et sur la fonction d'autocorrélation, qui identifie la force des corrélations de la série originale avec différents décalages de la même série, indiquent toutes deux des cycles significatifs avec une période d'environ 8 ans (Figure 6). Cela signifie qu'en moyenne, une ou deux années de recrutement supérieur à la moyenne sont suivies quatre ans plus tard par une ou deux années de recrutement inférieur à la moyenne, et ainsi de suite. Les facteurs causant ce cycle ne sont pas clairs, bien que les fluctuations de la composition par âge mentionnées précédemment puissent faire partie de l'explication (Figure 5). Rindorf *et al.* (2020) ont examiné les évidences de différentes causes potentielles des cycles de recrutement dans les stocks de morue, qui comprennent la compétition intra-cohorte, la prédation, le cannibalisme et les fluctuations cycliques de la BSR. Leur examen croisé des stocks a suggéré que les cycles observés pour la morue 3Pn4RS seraient compatibles avec un effet de cannibalisme, bien que les auteurs aient averti que les données sur l'alimentation de la morue devaient être examinées avant de tirer une conclusion. Les informations disponibles sur le régime alimentaire de la morue 3Pn4RS sont principalement représentatives des conditions d'alimentation estivale et indiquent que les petites morues représentent une proportion mineure du régime alimentaire des grandes morues, très probablement insuffisantes pour expliquer les cycles (Ouellette-Plante *et al.* 2020, J. Ouellette-Plante, MPO, analyses non-publiées). Comme les morues de ce stock se nourrissent très peu durant l'hiver et le début du printemps (Fordham et Trippel 1999; Schwalme et Chouinard 1999), le cannibalisme devrait se concentrer à la fin du printemps ou durant la migration automnale, périodes durant lesquelles peu de données sont disponibles. Toutes choses étant égales par ailleurs, on pourrait s'attendre à ce que l'impact du cannibalisme soit plus important lorsque la BSR était beaucoup plus élevée dans les années 1970 et 1980, mais cela n'est pas évident dans les cycles de recrutement. Dans l'ensemble, l'hypothèse du cannibalisme ne peut être réfutée, mais les évidences la soutenant sont peu crédibles.

---

Sur la base de ce qui précède, il n'y a pas de base mécaniste pour simuler les cycles de recrutement. Bien que les cycles de recrutement puissent être simulés à partir d'une base empirique (e.g. analyses de séries chronologiques), le faire avec précision n'est pas nécessairement simple et, plus important encore, n'est pas nécessaire pour les simulations de  $T_{min}$ , ni pour les simulations éventuelles de scénarios de gestion du rétablissement. Nous démontrons cette absence de nécessité à l'aide d'une simple simulation fictive. Nous avons simulé deux séries de recrutement, une cyclique avec une période supposée de 8,2 ans (ligne noire, panneau supérieur de la Figure 7), et une dans laquelle les valeurs de la première ont été réordonnées au hasard, de sorte qu'il n'y avait pas de périodicité prédéterminée et que le recrutement total cumulé sur la série simulée de 50 ans était égal pour les deux. Nous avons ensuite supposé une mortalité naturelle fixe selon l'âge, basée sur les valeurs moyennes de l'évaluation au cours des 30 dernières années et projetées sur 50 ans, en commençant par une petite valeur de BSR. Nous avons simulé 1 000 cas basés sur différents réarrangements aléatoires de la série de recrutement cyclique. Le panneau inférieur de la figure 7 présente les résultats des tendances de la BSR basées sur le recrutement cyclique (ligne noire en gras), un lissage sur 9 ans de cette série de BSR (ligne noire en pointillés en gras), la tendance moyenne de la BSR pour les cas de recrutement randomisés (ligne bleue en gras) et les tendances de la BSR pour trois cas choisis au hasard, qui sont présentées pour illustrer la variabilité entre les cas. Les résultats indiquent qu'en moins de deux cycles de recrutement, les schémas de recrutement cycliques et non cycliques produisent en moyenne la même BSR (Figure 7, panneau inférieur). Au cours des 13 premières années des simulations, la moyenne lissée du recrutement cyclique est supérieure à celle du recrutement aléatoire, mais cela n'est fonction que du point de départ de la série de recrutement par rapport au pic du cycle de recrutement. Si les simulations sont lancées à une partie légèrement différente du cycle de recrutement, la BSR moyenne lissée qui en résulte est inférieure à la BSR moyenne pour le recrutement aléatoire (Figure 8). Parce que nous ne pouvons pas être certains de l'endroit du cycle de recrutement pour commencer les simulations  $T_{min}$ , et parce que, en moyenne, les schémas de recrutement cycliques et aléatoires généreront la même série de BSR, nous avons procédé à la simulation du recrutement en faisant varier de manière aléatoire le recrutement moyen.

Sur la base de ce qui précède, nous avons simulé deux scénarios de recrutement pour les projections de  $T_{min}$ . Dans la première, nous avons simulé les écarts de recrutement (log) autour de l'estimation moyenne du recrutement dans l'évaluation pour 1991-2022 (Figure 4). Il existe un historique de plus de 30 ans pour ce niveau moyen de recrutement et la variation annuelle associée, et il est raisonnable de supposer qu'il s'agit d'un recrutement dans les conditions actuelles.

Le principal inconvénient du premier scénario est qu'il ne tient pas compte des augmentations du recrutement moyen qui sont attendues à mesure que la BSR et le nombre de poissons plus âgés dans la population augmentent. Notamment, il ne tient pas compte des estimations de l'évaluation pour la période 1973 à 1990, caractérisée par un recrutement beaucoup plus élevé à une BSR plus élevée. Étant donné l'incapacité d'estimer la fiabilité d'une fonction stock-recrutement, nous avons plutôt supposé une fonction logistique qui passe d'un recrutement moyen plus faible à une faible BSR à un recrutement moyen plus élevé à une BSR élevée comme base du deuxième scénario (Figure 9). La forme de la fonction est arbitraire et nous discutons des conséquences d'hypothèses alternatives lorsque nous présentons les résultats ci-dessous.

## **MORTALITÉ NATURELLE**

Les évaluations de stocks visent à faire la distinction entre la mortalité causée par la pêche ( $F$ ) et la mortalité due à d'autres causes, généralement appelée mortalité naturelle ( $M$ ). Alors que

---

de nombreuses évaluations supposent des valeurs fixes de  $M$ , ou estiment des valeurs qui ne varient pas dans le temps, l'évaluation pour la morue 3Pn4RS estime un  $M$  variable dans le temps. Bien que l'objectif soit de tenir compte de toute la mortalité par pêche dans  $F$ , en pratique, une certaine mortalité par pêche non comptabilisée peut être subsumée dans les estimations de  $M$ , ainsi que la mortalité résultant de facteurs écologiques et biologiques. Dans l'évaluation de la morue 3Pn4RS, il est démontré qu'une partie non négligeable de  $M$  pourrait résulter de la pêche. Lorsqu'un moratoire sur toutes les pêches dirigées (commerciales et récréatives) a été imposé en 2003,  $M$  pour les morues plus âgées a diminué à des niveaux inférieurs, tendant vers ceux estimés historiquement pour le stock, avant le milieu des années 1980 (Figure 10). Lorsque la pêche a rouvert l'année suivante,  $M$  a de nouveau augmenté. Par la suite, les pics de  $F$  à la fin des années 2000 et à la fin des années 2010 ont été associés à des pics de  $M$ . Cela fournit des preuves solides que la mortalité par pêche non comptabilisée est subsumée dans  $M$ . De plus, comme les prises de la pêche récréative ne sont pas comptabilisées, la mortalité causée par cette pêche est susceptible de contribuer également à  $M$ , même si les évaluations tentent de prendre en compte une partie de cette mortalité comme  $F$  en utilisant une approche de capture censurée. Actuellement, il n'est pas possible d'établir quelle fraction de  $M$  est attribuable à la mortalité par pêche non comptabilisée et quelle fraction est attribuable à des causes écologiques et biologiques.

Les simulations pour  $T_{\min}$  visent à exclure la mortalité causée par la pêche, et donc à modéliser la mortalité exclusivement à partir de sources écologiques et biologiques (alors qu'en principe, les activités humaines autres que la pêche pourraient induire des mortalités, aucune activité néfaste de ce type n'a été identifiée pour le stock). En raison de notre incapacité à estimer de manière fiable les taux actuels de mortalité naturelle résultant exclusivement de l'écologie/biologie, nous avons simulé deux cas contrastés.

Dans le premier cas, nous avons basé les simulations sur la moyenne de  $M$  par âge estimée dans l'évaluation pour les années 2019, 2020 et 2021. Les estimations de  $M$  pour 2022 ont été exclues de la moyenne, car les estimations pour l'année terminale d'une évaluation ont tendance à être variables pour ce stock et dans d'autres évaluations. Cela est évident entre autres d'après les analyses rétrospectives réalisées pour l'évaluation de la morue 3Pn4RS. Les valeurs moyennes 2019-2021 représentent les conditions actuelles pour les estimations de  $M$  d'après l'évaluation, et sont connues pour inclure une fraction inconnue de mortalité par pêche non comptabilisée.

Dans le second cas, nous avons basé les simulations sur le  $M$  par âge estimé pour 2003, la dernière année au cours de laquelle toute pêche dirigée a été interdite et au cours de laquelle les prises accessoires dans d'autres pêcheries étaient faibles et probablement largement représentées dans  $F$ . En l'absence de pêche, les estimations de  $M$  en 2003 devraient refléter exclusivement la mortalité due à des causes écologiques et biologiques cette année-là. L'hypothèse clé pour ce cas simulé est que  $M$  résultant des causes écologiques et biologiques actuelles est le même. L'évaluation de 2023 a examiné les causes potentielles de  $M$  telles que la mauvaise condition physiologique des individus, les conditions océanographiques défavorables et la prédation par les phoques. Celle-ci a conclu que même s'il est peu probable que ces facteurs aient contribué à de fortes augmentations de  $M$  au cours des trois dernières décennies, les conditions plus récentes pourraient ne pas être favorables à la morue. Les estimations de  $M$  de 2003 peuvent donc sous-estimer les valeurs de mortalité actuelles.

## **SIMULATIONS DE $T_{\min}$**

Deux scénarios de recrutement et deux scénarios de mortalité naturelle ont été simulés. Dans le premier scénario de recrutement, le recrutement a été simulé sur la base d'écart aléatoire autour du niveau de recrutement moyen estimé pour les 32 dernières années (Figure 4). Ceci

---

est tout à fait compatible avec les conditions de productivité actuelles, mais ne tient pas compte des augmentations prévues du recrutement à mesure que la BSR augmente. Dans le deuxième scénario de recrutement, le recrutement a été simulé sur la base d'écart aléatoires autour des niveaux moyens estimés dans l'évaluation respectivement pour la BSR faible (généralement < 55 000 t) et la BSR élevée (généralement > 125 000 t), et à des niveaux intermédiaires pour les valeurs BSR intermédiaires. (Figure 9). Dans les deux cas, la variabilité des niveaux de recrutement moyens estimés et des écarts de recrutement a été simulée sur la base des écarts-types estimés des paramètres à partir de l'évaluation, qui estime les valeurs des paramètres pour le log du recrutement.

Dans le premier scénario de mortalité naturelle, le  $M$  moyen à l'âge pour la période 2019-2021 a été supposé. Il est reconnu que cette valeur inclut une certaine mortalité par pêche non comptabilisée. Dans le deuxième scénario de mortalité naturelle, les valeurs estimées de  $M$  à l'âge pour 2003 ont été supposées. Étant donné que toute pêche dirigée à la morue était interdite cette année-là, les valeurs estimées de  $M$  reflètent le mieux la mortalité due aux facteurs naturels uniquement. Ce scénario suppose que la mortalité actuelle due uniquement aux facteurs naturels est restée inchangée. Dans les deux cas, la variabilité de  $M$  estimé a été simulée sur la base des écarts-types estimés à partir de l'évaluation, qui estime  $M$  via des écarts du log de  $M$ . Les simulations commencent par des estimations des effectifs à l'âge pour 2023. Elles sont initiées à partir des effectifs à l'âge et taux de mortalité pour 2022 estimés par le modèle d'évaluation. L'incertitude sur ces chiffres est incluse dans les simulations. Les autres intrants, soit les poids et maturités selon l'âge, ont été supposés fixes comme indiqué précédemment.

## RÉSULTATS DE $T_{MIN}$

Une cible de rétablissement de 81 961 t pour ce stock, basée sur une probabilité de 25 % et le cv de l'année terminale, a été choisi par le groupe de travail à la suite de la réunion au cours de laquelle les options de cibles de rétablissement ont été présentées par MPO-Science (Tableau 1).

Les simulations supposant que la mortalité naturelle à l'avenir sera équivalente aux valeurs moyennes de  $M$  de l'évaluation pour 2019-2021 prévoient que le stock atteindra rapidement une BSR médiane d'équilibre bien inférieure à la cible de rétablissement, et comparable à l'estimation de 2022 d'environ 42 000 t (Figure 11). Ce résultat se produit quel que soit le scénario de recrutement parce qu'il est très peu probable que les niveaux de BSR simulés atteignent des valeurs intermédiaires auxquelles le recrutement moyen augmente dans le deuxième scénario de recrutement. Étant donné que les valeurs supposées de  $M$  incluent très probablement une certaine mortalité par pêche qui est en principe réductible, ces scénarios sont probablement pessimistes.

Les simulations supposant les valeurs estimées de  $M$  pour 2003 démontrent une BSR médiane augmentant et dépassant la cible de rétablissement en 8 ans pour les deux scénarios de recrutement (Figure 11). Dans les simulations supposant un faible recrutement moyen, le stock atteint en moyenne une valeur médiane d'équilibre d'un peu moins de 100 000 t en environ 20 ans. Étant donné que le recrutement moyen est susceptible d'augmenter avec la BSR, ce scénario sous-estime probablement la taille du stock d'équilibre atteint en l'absence de pêche avec le  $M$  supposé. Dans les simulations supposant la fonction stock-recrutement arbitraire, le stock augmente jusqu'à un équilibre beaucoup plus élevé en 40 années. Bien que l'équilibre soit cohérent avec les patrons de recrutement moyens observés pour le stock autant à faible que haute BSR et ne soit pas sensible au choix arbitraire de la fonction stock-recrutement, la vitesse à laquelle il est atteint est sensible à ce choix. Les niveaux d'équilibre seraient atteints plus tôt si la courbe arbitraire stock-recrutement de la figure 9 était décalée vers la gauche, et

---

plus tard si elle était décalée vers la droite. En revanche, un déplacement vers la droite n'affectera pas  $T_{\min}$ , comme l'illustre le résultat du scénario de recrutement moyen constant et faible, bien qu'un déplacement vers la gauche se traduirait par une  $T_{\min}$  plus faible. Comme indiqué précédemment, les valeurs de  $M$  de 2003 peuvent sous-estimer les vraies valeurs actuelles en raison de facteurs écologiques et biologiques.

## DISCUSSION

Les deux scénarios de mortalité naturelle présentent des cas contrastés, l'un dans lequel la valeur est presque certainement surestimée par rapport à la mortalité en l'absence de toute pêche ( $M$  moyenne 2019-2021), et l'autre dans lequel la valeur pourrait être sous-estimée si la mortalité de causes naturelles a augmenté ( $M$  2003). La vraisemblance associée à des scénarios intermédiaires à ceux-ci est mal définie, ce qui rend très difficile la sélection objective de scénarios supplémentaires.

L'obtention d'estimations plus précises de  $M$  améliorerait la fiabilité des projections faites dans le cadre de la planification du rétablissement, tant pour  $T_{\min}$  que pour différents scénarios de gestion. Le moratoire sur la pêche commerciale dirigée en 2022 et 2023 aura également éliminé toute mortalité par pêche non comptabilisée résultant de cette pêche. Dans la mesure où cette mortalité non prise en compte n'était pas négligeable, les estimations de  $M$  pour cette année dans les évaluations de stock futures devraient être plus précises. Si les prélèvements de morue en tant que prises accessoires dans d'autres pêcheries restent faibles et bien surveillés, les fermetures de toutes les pêches dirigées (commerciales et récréatives) permettraient une estimation de  $M$  qui reflète exclusivement (ou presque) celle due à des causes naturelles, comme c'était le cas en 2003 lorsque les valeurs de  $M$  tendaient vers les valeurs historiques passées. Une révision du plan de rétablissement basée sur de nouveaux résultats d'évaluation serait justifiée dans un tel scénario.

Des échéanciers de rétablissement pour le plan de rétablissement seront proposés en fonction des résultats pour  $T_{\min}$ . Une considération supplémentaire pertinente pour ces échéanciers est le potentiel d'effets Allee induits par la prédation (Gascoigne et Lipcius 2004). La morue du stock voisin du sud du golfe du Saint-Laurent (OPANO 4TVn) a connu une  $M$  particulièrement élevée attribuée à la prédation par les phoques gris (*Halichoerus grypus*), ce qui amène un déclin rapide du stock en l'absence de pêche dirigée depuis 2009, entraînant l'extinction prévue de ce stock en quelques décennies (Swain et Chouinard 2008; Neuenhoff *et al.* 2019). Un facteur clé de ce déclin est l'augmentation de  $M$  qui résulte d'une augmentation de la mortalité par phoque individuel à mesure que l'abondance de la morue diminue (Rossi *et al.* En prép.<sup>3</sup>, Neuenhoff *et al.* 2019). Le corollaire de ce résultat est qu'une abondance élevée de morue entraîne un taux de prédation plus faible et donc un  $M$  plus petit. Bien qu'un examen entrepris dans le cadre de l'évaluation de 2023 ait conclu que la prédation par les phoques gris n'a probablement pas contribué à une augmentation importante de  $M$  pour la morue 3Pn4RS au cours des dernières décennies étant donné que les phoques gris sont beaucoup moins répandus dans le nord du golfe du Saint-Laurent que dans les régions du sud, cette situation pourrait changer dans un proche avenir compte tenu de la proximité des deux écosystèmes et de certaines preuves provenant de suivis par satellite et relevés aériens que l'utilisation du nord du golfe par le phoque gris pourrait être à la hausse (Mosnier *et al.* 2023, X. Bordeleau, MPO, comm. pers.). La meilleure protection contre l'augmentation de la présence de phoques gris dans la zone de morue 3Pn4RS est de reconstituer rapidement le stock à des niveaux

---

<sup>3</sup> Rossi, S.P., Cox, S.P., et Benoît, H.P. 2023. Extirpation of Atlantic Cod from a Northwest Atlantic ecosystem in the absence of predator control: inference from an ecosystem model of intermediate complexity. En préparation.

---

d'abondance auxquels les taux de prédation seront probablement plus faibles. Cependant, l'ampleur des avantages d'une telle démarche dépend de la forme de la réponse fonctionnelle qui définit le taux de prédation par phoque en fonction de la BSR de la morue. La forme de cette fonction n'est pas connue ni actuellement estimable pour la morue du nord du golfe du Saint-Laurent.

## SIMULATIONS DE MESURES DE GESTION POTENTIELLES

### PORTÉE DE MORTALITÉ

Les simulations pour  $T_{\min}$  réalisées dans la section précédente et présentées à la réunion du groupe de travail du 16 juin 2023 ont été réalisées sur la base d'hypothèses de recrutement futur et de mortalité naturelle. Spécifiquement:

- deux scénarios de recrutement : a) basés sur la moyenne 1991-2022 (32 ans) et b) en supposant une relation stock-recrutement permettant une transition vers un recrutement moyen plus élevé lorsque la biomasse du stock reproducteur augmente; et,
- deux scénarios de mortalité naturelle ( $M$ ), sachant que les calculs de  $T_{\min}$  sont faits en l'absence de mortalité par pêche : i) selon les valeurs moyennes de  $M$  à l'âge pour 2019-2021 et ii) selon les valeurs à l'âge pour 2003, dernière année au cours de laquelle toute pêche dirigée (commerciale et récréative) a été fermée. Dans le scénario (i), les valeurs de  $M$  par âge incluent très probablement une quantité inconnue de pêche non comptabilisée, comme expliqué précédemment, tandis que dans le scénario (ii), ces valeurs représentent très probablement une véritable mortalité « naturelle » (écologique/biologique) qui prévalait en 2003, mais qui pourraient différer des valeurs actuelles.

Les résultats des simulations pour  $T_{\min}$  ont démontré que quel que soit le scénario de recrutement, les valeurs de  $M$  équivalentes aux moyennes des estimations pour 2019-2021 ne permettront pas au stock de se rétablir. En fait, sous ces hypothèses, le stock serait déjà à l'équilibre, avec une BSR autour de 60 % du PRL. En revanche, pour  $M$  à un âge équivalent aux valeurs de 2003, le stock devrait atteindre sa cible de rétablissement dans 8 ans, quel que soit le scénario de recrutement. Le scénario de recrutement influence principalement la BSR d'équilibre que le stock pourrait atteindre. Ces résultats s'expliquent par le fait que dans la relation stock-recrutement supposée, le recrutement augmente surtout lorsque la BSR est proche de la cible.

Deux séries de simulations supplémentaires ont été entreprises pour mieux comprendre l'ampleur de la mortalité qui permettrait le rétablissement jusqu'à la cible, ce qui pourrait à son tour éclairer les scénarios de gestion possibles (règles de contrôle des prises). Dans les deux cas, nous avons identifié des scénarios permettant à tout le moins un rétablissement, c'est-à-dire qui permettraient au stock de se stabiliser à un niveau de BSR juste au-dessus de la cible, en supposant un recrutement similaire à la moyenne de la période 1991-2022. Ce scénario de recrutement semble le plus probable dans le futur étant donné que le recrutement fluctue autour de cette moyenne depuis plus de trois décennies. Bien qu'une augmentation du recrutement liée à une augmentation de la BSR soit attendue, la forme de cette relation est très incertaine, ce qui rendrait les simulations de différentes formes de relation stock-recrutement spéculatives et peu informatives. Nous présentons néanmoins les résultats de simulations utilisant la relation stock-recrutement choisie arbitrairement pour les simulations  $T_{\min}$  à titre illustratif.

Dans la première série de simulations, nous avons initialement supposé une mortalité totale à l'âge équivalente à la moyenne des estimations de  $M$  à l'âge de 2019 à 2021 (Figure 12, ligne grise). Nous avons ensuite recherché la fraction de cette mortalité qui permettrait au minimum

---

un rétablissement du stock. Nous avons constaté qu'une mortalité à l'âge de 4 ans et plus (les âges vulnérables à la pêche) équivalente à 68 % de celle de 2019-2021 (Figure 12, ligne pointillée rouge) permettrait d'atteindre la cible, et ce en 11 ans en l'absence de mortalité par la pêche additionnelle (Figure 13). Avec la relation stock-recrutement supposée, le stock se rétablirait dans 10 ans et pourrait atteindre un équilibre beaucoup plus élevé si les mortalités réduites étaient maintenues (Figure 13).

Dans la deuxième série de simulations, nous avons supposé une mortalité naturelle selon l'âge équivalente à celle de 2003 et un recrutement moyen basé sur la période 1991-2022 de l'évaluation (Figure 12, ligne bleue). Nous avons ensuite recherché le total des prélèvements annuels par pêche qui permettraient au minimum le rétablissement, en supposant une sélectivité de pêche équivalente à celle estimée pour 2022 à partir de l'évaluation du stock de février 2023. Nous avons constaté que des prélèvements annuels de 4 300 t permettrait au stock de se reconstituer en 19 ans (donc en 2,4 fois un  $T_{\min}$  de 8 ans) et de se stabiliser à un équilibre juste au-dessus de sa cible (Figure 14). Avec la relation stock-recrutement supposée, le stock atteindrait sa cible dans 13 ans et pourrait atteindre un équilibre beaucoup plus élevé si des prélèvements annuels de 4 300 t étaient maintenus pendant environ 40 ans (Figure 14). Cet ensemble de simulations dépend fortement de l'hypothèse selon laquelle  $M$  est équivalent aux valeurs de 2003 et que les prélèvements annuels simulés constituent les prélèvements totaux de toutes les sources (débarquements des pêches commerciales dirigées et non dirigées, pêche récréative, pêches des Premières Nations, ainsi que toute mortalité associée aux rejets, à la déprédation des engins de pêche et aux captures non déclarées, en plus de l'échantillonnage scientifique).

Conjointement, les deux séries de simulations indiquent qu'une baisse importante de la mortalité naturelle totale présentement estimée (2019-2021), qui est liée aux facteurs biologiques/écologiques ainsi que de la pêche non-comptabilisée, est nécessaire pour rétablir le stock. Dans la mesure où la mortalité liée aux facteurs biologiques/écologiques serait présentement à des niveaux similaires aux valeurs considérées typiques historiquement (p.ex. avant 1990 et en 2003), un maximum annuel de 4 300 t de prélèvements totaux permettrait un rétablissement avec le niveau de recrutement estimé pour les trois dernières décennies. Selon ce scénario, présentement l'ensemble de ces prises seraient de sources non-comptabilisées, et constitueraient qu'une partie de toutes les prises non-comptabilisées, puisque le stock ne se rétablirait pas avec les valeurs de  $M$  estimées par le modèle pour les années récentes (2019-2021).

## **SIMULATIONS DES EXEMPLES DE RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES**

Trois exemples de règles de contrôle des prises possibles pour la gestion des pêches ont été développées par la Gestion des pêches du MPO et fournis au Secteur des sciences du MPO pour des tests de simulation. Celles-ci sont appelées "options" dans ce qui suit, mais cela ne signifie pas qu'il s'agit de l'ensemble définitif et exclusif d'options que le groupe de travail peut choisir d'évaluer avant de finaliser le plan de rétablissement. Elles visent simplement à faciliter les discussions du groupe de travail sur les règles de décision. Les trois options, basées sur les prélèvements totaux de la pêche, sont représentées à la figure 15 et détaillées au tableau 2.

Les simulations ont été réalisées comme décrit précédemment. Un seul scénario de recrutement a été simulé, basé sur le recrutement moyen sur 32 ans (1991-2022). Ce choix a été fait parce que ce patron de recrutement de longue date est le plus probable dans un avenir proche, compte tenu de sa persistance. De plus, d'autres scénarios de recrutement basés sur une relation stock-recrutement seraient spéculatifs, n'affecteraient pas la probabilité de rétablissement et auraient un effet mineur sur les délais de rétablissement, comme indiqué ci-dessus. Les résultats de simulation ne sont présentés que pour les scénarios basés sur les

---

estimations de  $M$  de 2003, étant donné que l'hypothèse alternative basée sur les estimations récentes n'entraîne aucune possibilité de rétablissement, comme indiqué précédemment.

Des simulations distinctes ont été entreprises pour les trois options de règles de contrôle, chacune impliquant 10 000 filons de simulation. Pour chacune, nous identifions l'année au cours de laquelle l'objectif de rétablissement et l'objectif intermédiaire ont été atteints. Plus précisément, l'objectif de rétablissement a été considéré comme atteint lorsque la BSR dans 50 % des filons a atteint la valeur nominale de 81 961 t, tandis que l'objectif intermédiaire, défini précédemment par le groupe de travail, a été considéré comme atteint lorsque le BSR dans 75 % des filons a atteint la valeur nominale de 57 576 t, soit 80 % du PRL (71 970 t).

Les options 1 et 2 des règles de contrôle ont donné lieu à des trajectoires de stock presque identiques, les deux ayant permis d'atteindre l'objectif de rétablissement intermédiaire en 6 ans et l'objectif de rétablissement en 9 ans (Figure 16). Au cours de la période de rétablissement de 9 ans, les options 1 et 2 ont abouti à des prélèvements totaux cumulatifs médians par la pêche de 3 950 et 6 150 t respectivement. L'option 3, qui implique des prélèvements de pêche plus importants à la plupart des niveaux de BSR supérieurs à 36 000 t, a entraîné un temps de rétablissement prévu légèrement plus long de 11 ans. Au cours de la période de rétablissement de 11 ans, l'option 3 a donné lieu à des prélèvements totaux cumulatifs médians par la pêche de 19 000 t. La BSR d'équilibre projetée est plus faible pour l'option 3, car les prélèvements sont trois fois plus importants une fois que le stock s'est reconstitué dans ce scénario. Les trois options aboutissent à un échéancier anticipé de rétablissement qui est plus court que deux à trois fois le  $T_{\min}$  estimé de 8 ans pour le scénario de mortalité naturelle supposé. À la fin de la période de rétablissement de 9 ans, les options 1 et 2 ont abouti respectivement à une valeur médiane de BSR d'environ 83 100 t et 82 300 t. Dans l'ensemble, ces deux options entraînent donc peu ou pas de différence dans le temps de rétablissement ou dans le statut du stock à la fin de cette période, mais différent d'environ 2 400 t de prélèvements totaux de la pêche au cours de la période de rétablissement. En revanche, au cours de la même période, l'option 3 a atteint une valeur médiane de BSR d'environ 78 300 t, soit une différence de 5 à 6 % par rapport aux deux autres options. Cela pourrait par contre entraîner un recrutement réduit, dont l'ampleur dépendrait de la pente de la relation stock-recrutement, et éventuellement une augmentation de  $M$  liée à la prédation, en fonction de la forme de la réponse fonctionnelle.

## SUIVI DE LA BSR

### INDICATEURS DE L'ÉTAT DES STOCKS

La principale mesure de l'état du stock de morue 3Pn4RS est la BSR estimée à partir de l'évaluation analytique du stock. Cependant, les évaluations annuelles de ce stock ne sont ni réalisables, en raison des ressources disponibles, ni justifiées, étant donné la faible fréquence dans la variation de la BSR qui caractérise ce stock et d'autres stocks de morue. Par conséquent, un indicateur de la BSR est requis pour l'application des règles de contrôle des prises pour les années où il n'y a pas d'évaluation analytique complète. Au cours de l'évaluation de février 2023, le secteur des Sciences du MPO a démontré que la biomasse de morue mesurant  $\geq 43$  cm, estimée à l'aide des données du relevé annuel multi-espèces par navire de recherche et lissée à l'aide d'un lisseur Loess, fournit une approximation raisonnable de la BSR telle qu'estimée dans l'évaluation analytique (Figure 17, Ouellette-Plante *et al.* En prép.<sup>2</sup>). Cet indice peut donc être utilisé pour suivre le rétablissement du stock pour les années au cours desquelles une évaluation complète n'est pas entreprise.

Le secteur des Sciences du MPO a fait valoir qu'une évaluation complète entreprise tous les cinq ans, avec des mises à jour au cours des années intermédiaires basées sur l'indicateur de

---

la BSR du relevé est suffisante à des fins d'avis scientifiques, comme c'est le cas pour la morue du stock sud du GSL (MPO 2023b). Les mises à jour lors d'années intérimaires permettront de suivre l'état du stock par rapport aux tendances du stock projetées lors des évaluations complètes. Des écarts dans la trajectoire des stocks par rapport aux tendances projetées supérieurs à un montant spécifique pourraient déclencher la nécessité d'une évaluation complète dans le cadre d'un protocole de circonstances exceptionnelles. L'ampleur de l'écart qui déclencherait une évaluation, susceptible d'être définie sous forme d'un pourcentage de différence, reste à définir.

## **QUELQUES CONSIDÉRATIONS POUR LA RÉVISION PÉRIODIQUE DU PLAN DE RÉTABLISSEMENT**

Les données scientifiques qui sous-tendent les projections dans le cadre du plan de rétablissement impliquent des incertitudes clés quant à la productivité actuelle et prévue du stock. Il y a des raisons de croire que ces incertitudes pourraient s'atténuer dans une certaine mesure au cours des prochaines années.

Premièrement, la forme de la relation stock-recrutement est très incertaine étant donné que les estimations du recrutement passé sont associées exclusivement à des niveaux de BSR faibles ou plus élevés. Le recrutement aux niveaux intermédiaires de BSR, comme ceux proches du PRL et de la cible de rétablissement, est donc très incertain. Cependant, à mesure que le stock se reconstitue, des estimations du recrutement à ces niveaux intermédiaires de BSR deviendront disponibles et permettront de caractériser plus précisément la relation stock-recrutement, améliorant ainsi l'exactitude des projections de stock.

De même, il existe une grande incertitude quant aux niveaux actuels de mortalité naturelle, ainsi qu'à la mortalité par pêche non comptabilisée qui pourrait être réduite par les mesures de gestion mises en œuvre dans le cadre du plan de rétablissement. La fermeture de la pêche commerciale dirigée pour les saisons de pêche 2022-2023 et 2023-2024 aura éliminé une source potentielle de mortalité par pêche non comptabilisée. Bien que d'autres sources connues ou potentielles subsisteront, comme la pêche récréative, les estimations de la mortalité naturelle dans la prochaine évaluation analytique devraient être plus exactes. De même, des améliorations qui pourraient être apportées à la surveillance de la quantité et de la structure démographique des prélèvements par la pêche (à ne pas confondre avec les suivis réglementaires) pourraient améliorer la précision des estimations de la mortalité.

Compte tenu de ces considérations, nous recommandons que des projections des trajectoires du stock basées sur le cadre de rétablissement qui sera choisi pour ce stock soient entreprises après la prochaine évaluation complète afin de déterminer si les perspectives et les délais de rétablissement doivent être révisés. Ces analyses pourraient aider à éclairer les décisions sur la nécessité de modifier le plan de rétablissement. Plus généralement, nous recommandons que de telles projections soient faites dans le cadre des évaluations analytiques ultérieures au cours du cycle d'évaluation multi-année, en particulier si les estimations de la productivité des stocks ou la compréhension des causes de mortalité sont améliorées.

## **REMERCIEMENTS**

Les analyses présentées ici ont bénéficié des apports reçus lors des réunions du groupe de travail sur le plan de rétablissement. Des remerciements sont adressés à Jean-Martin Chamberland et Andrew Smith pour l'excellente révision de ce document. Également, les auteurs tiennent à remercier les personnes présentes lors de la réunion du SCAS en lien avec ce document.

---

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Barneche, D.R., Robertson, D.R., White, C.R., et Marshall, D.J. 2018. [Fish reproductive-energy output increases disproportionately with body size](#). *Science* 360(6389): 642-645.
- Bryhn, A.C., Bergek, S., Bergström, U., Casini, M., Dahlgren, E., Ek, C., Hjelm, J., Königson, S., Ljungberg, P., Lundström, K., Lunneryd, S.G., Ovegård, M., Sköld, M., Valentinsson, D., Vitale, F., et Wennhage, H. 2022. [Which factors can affect the productivity and dynamics of cod stocks in the Baltic Sea, Kattegat and Skagerrak?](#) *Ocean Coast. Manag.* 223: 106154.
- Duplisea, D.E., et Robert, D. 2008. [Prerecruit survival and recruitment of northern Gulf of St Lawrence Atlantic cod](#). *ICES J. Mar. Sci.* 65(6): 946-952.
- Dutil, J.-D., et Lambert, Y. 2000. [Natural mortality from poor condition in Atlantic cod \(\*Gadus morhua\*\)](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(4): 826–836.
- Fordham, S.E., et Trippel, E.A. 1999. [Feeding behaviour of cod \(\*Gadus morhua\*\) in relation to spawning](#). *J. Appl. Ichthyol.* 15(1): 1-9.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Dumas, J., Shaw, J.-L., Caverhill, C., Lefavre, D., et Lafleur, C. 2022. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2021](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2022/034: iv + 85 p.
- Gascoigne, J.C., et Lipcius, R.N. 2004. [Allee Effects Driven by Predation](#). *J. Appl. Ecol.* 41(5): 801-810.
- Lambert, Y. 2011. [Environmental and fishing limitations to the rebuilding of the northern Gulf of St. Lawrence cod stock \(\*Gadus morhua\*\)](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68(4): 618-631.
- Marshall, D.J., Barneche, D.R., et White, C.R. 2021. [How does spawning frequency scale with body size in marine fishes?](#) *Fish Fish.* 23(2): 316-323.
- Mosnier, A., Dispas, A., et Hammill, M.O. 2023. [Spatial distribution and count of harbour seals \(\*Phoca vitulina\*\) and grey seals \(\*Halichoerus grypus\*\) in the Estuary and Gulf of St. Lawrence from an aerial survey conducted in June 2019](#). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3541: v + 60 p.
- MPO. 2021a. [Lignes directrices scientifiques à l'appui de l'élaboration des plans de rétablissement des stocks de poissons canadiens](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2021/006.
- MPO. 2021b. [Évaluation du contingent du nord du maquereau bleu \(\*Scomber Scombrus\*\) en 2020](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci.* 2021/029.
- MPO. 2023a. [Examen des simulations du plan de rétablissement de la morue franche de la sous-division 3Ps de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest \(OPANO\)](#). *Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci.* 2023/007.
- MPO. 2023b. [Évaluation du stock de morue franche du nord du golfe du Saint-Laurent \(3Pn,4RS\) en 2022](#). *Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci.* 2023/035.
- Neuenhoff, R.D., Swain, D.P., Cox, S.P., McAllister, M.K., Trites, A.W., Walters, C.J., et Hammill, M.O. 2019. [Continued decline of a collapsed population of Atlantic cod \(\*Gadus morhua\*\) due to predation-driven Allee effects](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 76(1): 168-184.
- Ohlberger, J., Langangen, Øystein, et Stige, L.Chr. 2022. [Age structure affects population productivity in an exploited fish species](#). *Ecol. Appl.* 32(5).

- 
- Ottersen, G., et Holt, R.E. 2022. [Long-term variability in spawning stock age structure influences climatercruitment link for Barents Sea cod](#). Fish. Oceanogr. 32(1), 91–105.
- Ouellette-Plante, J., Chabot, D., Nozères, C., et Bourdages, H. 2020. Régimes alimentaires de poissons démersaux provenant des relevés écosystémiques du NGCC *Teleost* dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent, août 2015-2017. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3383: v + 124 p.
- Rideout, R.M., Rose, G.A., et Burton, M.P.M. 2005. [Skipped spawning in female iteroparous fishes](#). Fish Fish. 6(1): 50-72.
- Rindorf, A., Cadigan, N., Howell, D., Eero, M., et Gislason, H. 2020. [Periodic fluctuations in recruitment success of Atlantic cod](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 77(2): 236-246.
- Schwalme, K., et Chouinard, G.A. 1999. [Seasonal dynamics in feeding, organ weights, and reproductive maturation of Atlantic cod \(\*Gadus morhua\*\) in the southern Gulf of St Lawrence](#). ICES J. Mar. Sci. 56(3): 303-319.
- Swain, D.P., et Chouinard, G.A. 2008. [Predicted extirpation of the dominant demersal fish in a large marine ecosystem: Atlantic cod \(\*Gadus morhua\*\) in the southern Gulf of St. Lawrence](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65(11): 2315-2319.
- Swain, D.P., et Sinclair, A.F. 2000. [Pelagic fishes and the cod recruitment dilemma in the Northwest Atlantic](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57(7): 1321-1325.
- Trippel, E.A. 1998. [Egg Size and Viability and Seasonal Offspring Production of Young Atlantic Cod](#). Trans. Am. Fish. Soc. 127(3): 339-359.

## TABLEAUX

*Tableau 1. Estimations des cibles de rétablissement basées sur quatre scénarios impliquant différentes probabilités d'être sous la valeur du PRL (71 970 t de biomasse du stock reproducteur) et en utilisant différents coefficients de variation (cv).*

Probabilité (%)	cv postulé	Estimation de la cible de rétablissement (t)
5	0,0168 (Année terminale 2022)	99 211
25	0,0168 (Année terminale 2022)	81 961
5	0,0150 (moyenne pour 1997-2022)	95 702
25	0,0150 (moyenne pour 1997-2022)	80 741

*Tableau 2. Détails des trois exemples d'options de règle de contrôle des prélèvements totaux utilisés dans les présentes analyses*

Gamme de BSR (% du PRL)	Option 1	Option 2	Option 3
< 25	150	150	150
26-49	150	150	150
50-59	150	150	500
60-69	150	500	500
70-79	150	500	1 000
80-89	500	1 000	1 500
90-99	500	1 000	2 000
100-113	1 000	1 000	3 000

---

## FIGURES

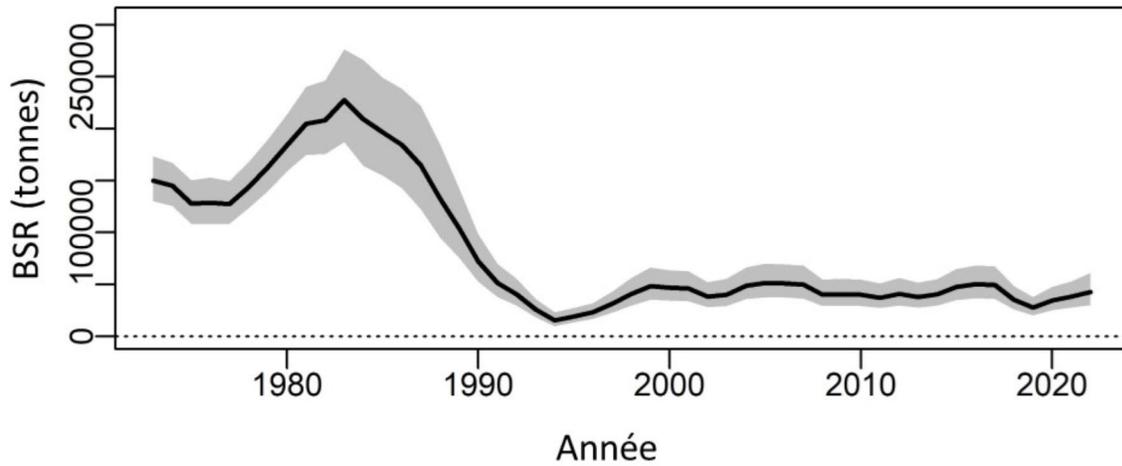


Figure 1. BSR estimée et intervalles de confiance à 95 % associés en gris à partir de l'évaluation de février 2023.

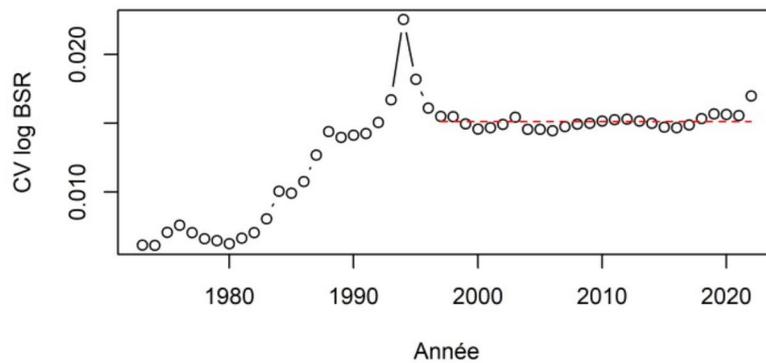


Figure 2. Coefficient de variation des estimations annuelles du logarithme de la BSR. La ligne rouge hachurée indique la moyenne 1997-2022 (0,0150).

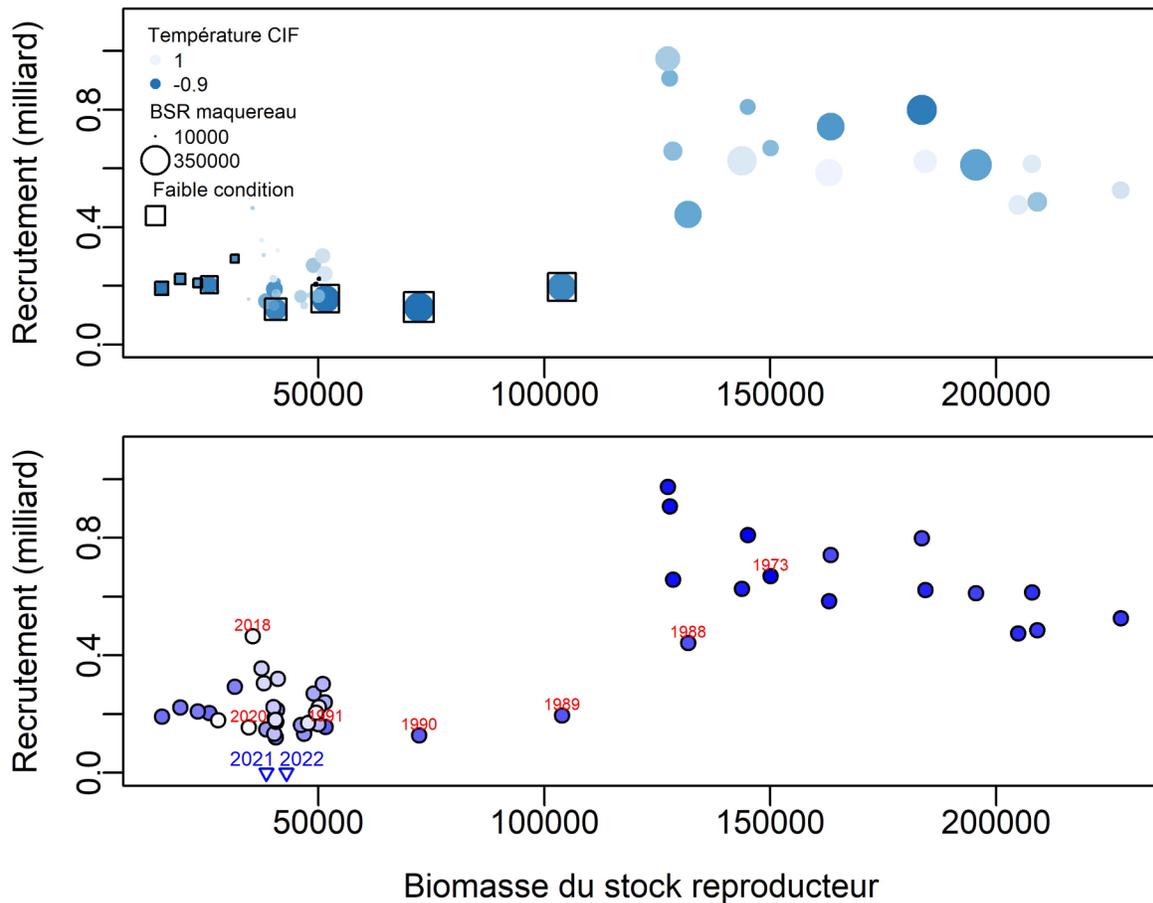


Figure 3. Relation stock-recrutement estimée dans l'évaluation avec des symboles définissant les conditions de l'année d'origine du stock (panneau du haut) : l'ombrage bleu indique la température moyenne dans la couche intermédiaire froide (CIF, d'après Galbraith et al. 2022), la taille du symbole correspond à la BSR pour le maquereau (d'après MPO 2021b) et les cases indiquent les années associées à une faible condition physiologique chez les adultes (mise à jour d'après Lambert 2011). Panneau du bas - Les mêmes estimations de stock-recrutement que le panneau supérieur, mais avec des symboles ombrés selon l'année, avec les premières années en bleu foncé et les années les plus récentes en bleu clair. Les valeurs estimées de la BSR pour 2021 et 2022, dont le recrutement n'a pas encore été estimé, sont indiquées le long de l'axe des x.

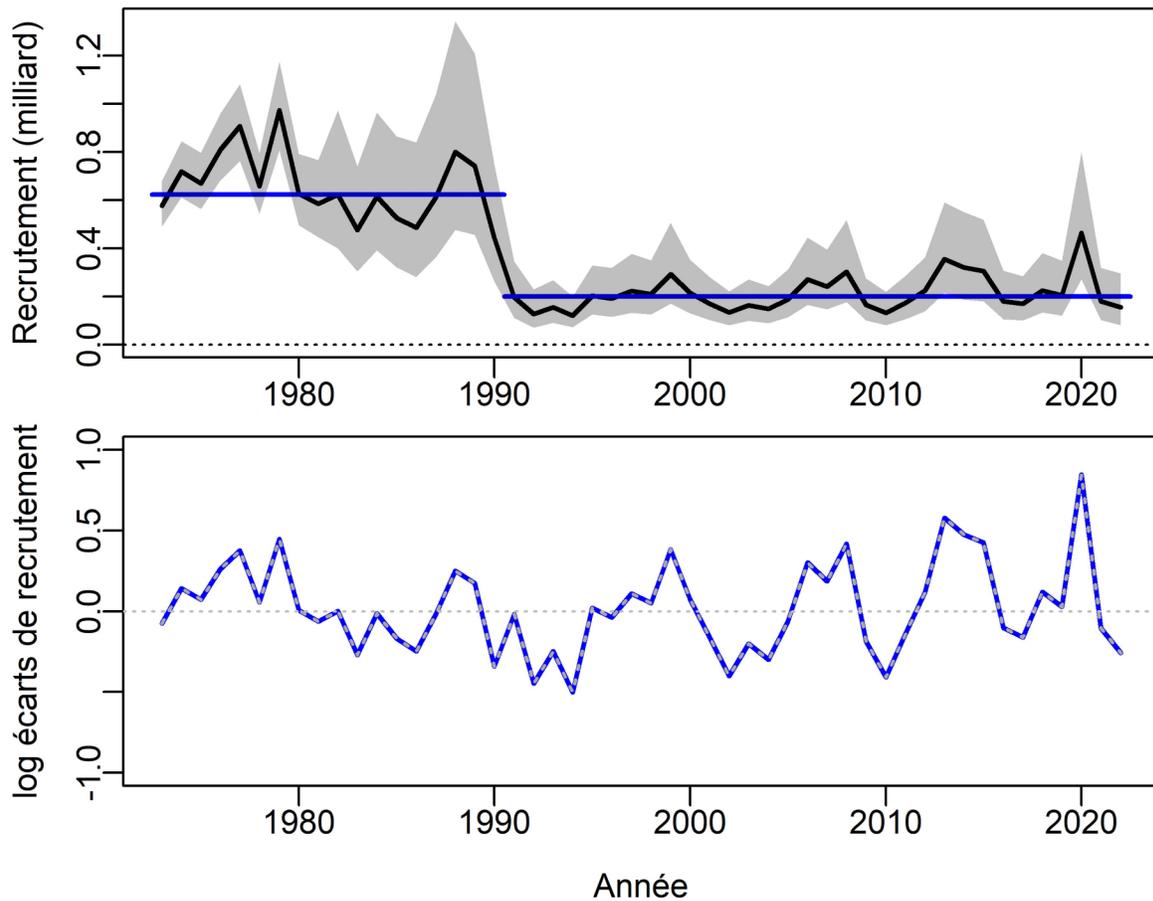


Figure 4. Estimations du modèle du recrutement à l'âge 2 avec un intervalle de confiance de 95 % (région ombragée), ainsi que le recrutement moyen estimé du modèle pour les années <1990 et 1990+ (lignes bleues) (panneau du haut). Écarts estimés du recrutement par rapport aux moyennes (panneau du bas).

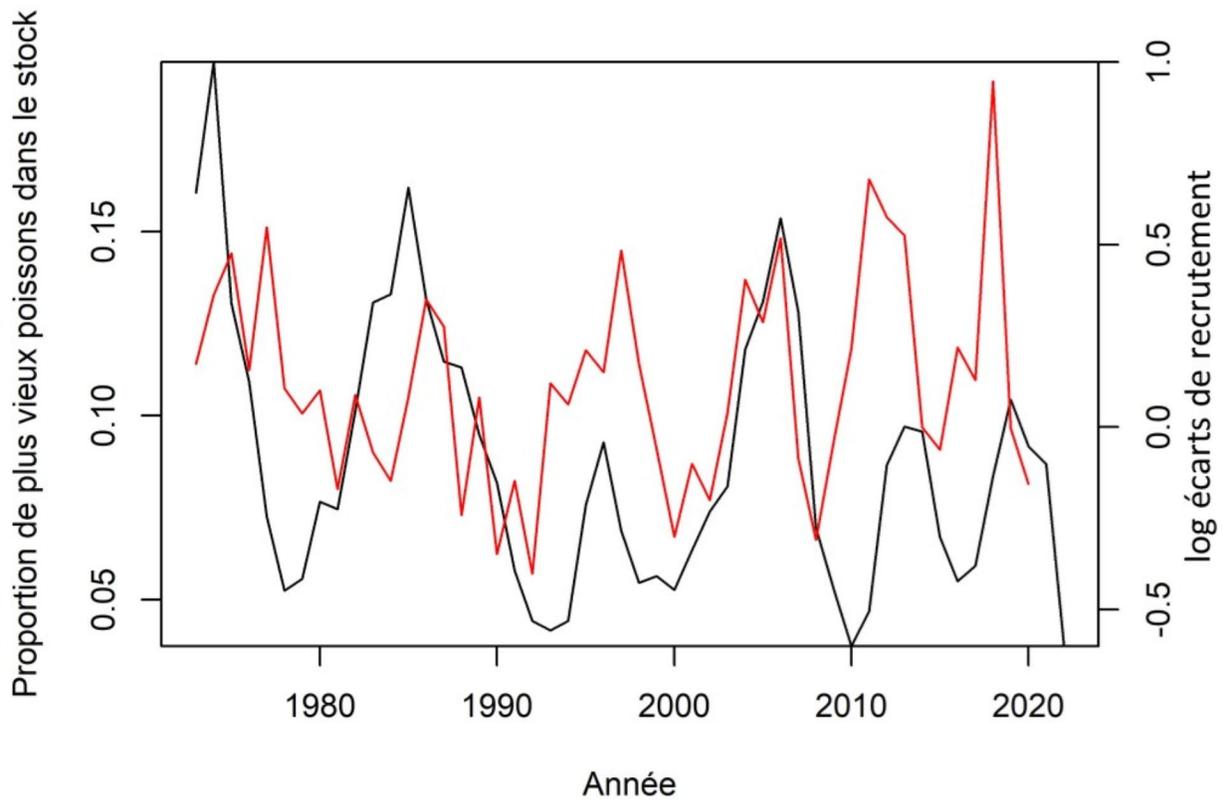


Figure 5. Écarts logarithmiques de recrutement estimés par le modèle d'évaluation (ligne rouge, axe y de droite) et la proportion estimée de poissons plus âgés dans le stock au cours de l'année de naissance de la cohorte (ligne noire, axe y de gauche). La proportion de poissons plus âgés a été estimée en divisant le nombre de morues de 8 ans et plus par le nombre de morues de 4 ans et plus.

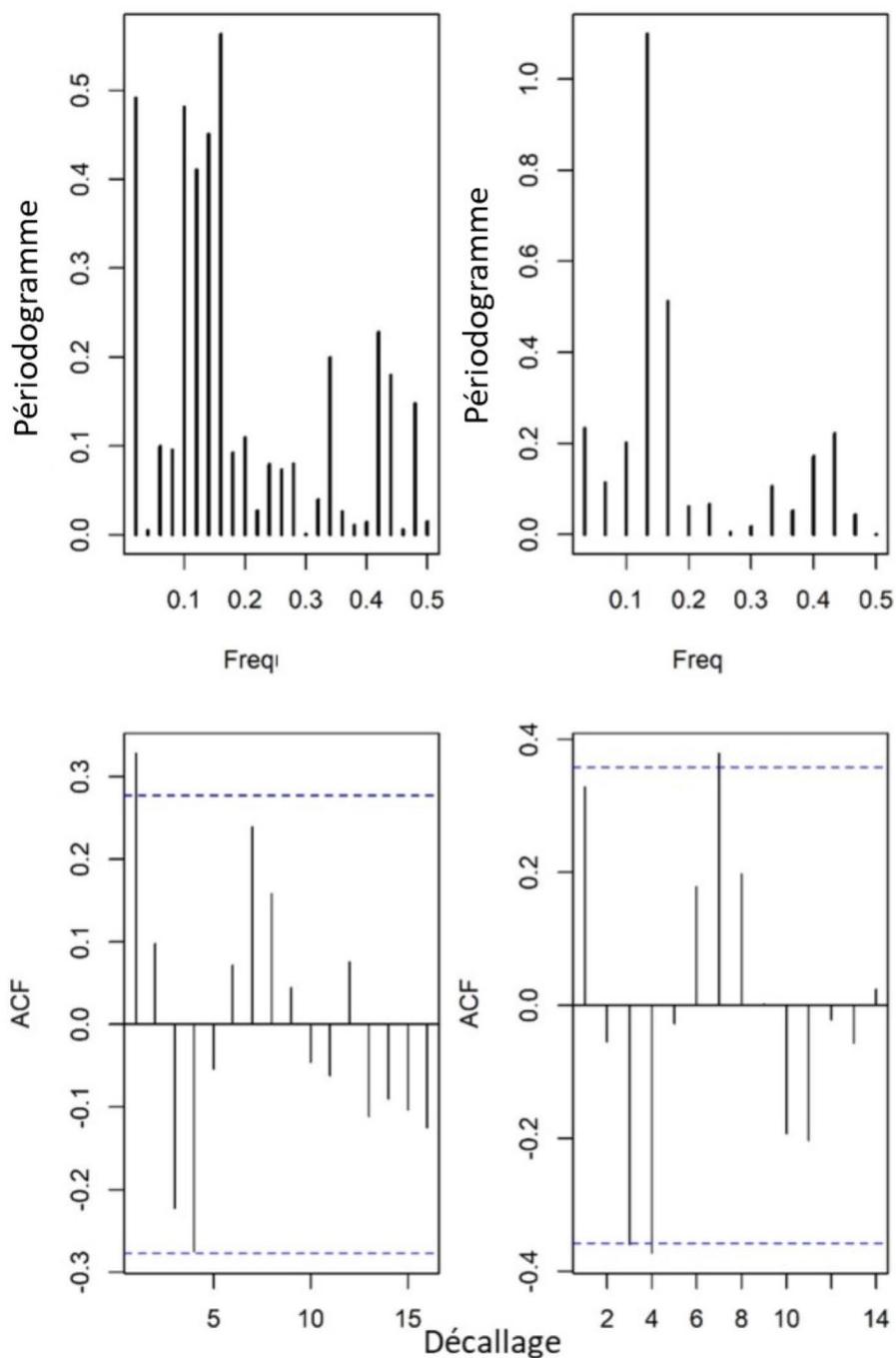


Figure 6. Périodogrammes (rangée du haut) et fonctions d'autocorrélation (ACF; rangée du bas) pour les écarts logarithmiques de recrutement basés soit sur l'ensemble de la série d'évaluations (colonne de gauche), soit uniquement sur les 30 dernières années (colonne de droite). Les périodogrammes résument les périodicités dans les séries chronologiques en fonction de la fréquence (1/ans), tandis que les fonctions d'autocorrélation résument l'autocorrélation dans les séries chronologiques en fonction des décalages. Les valeurs d'autocorrélation qui s'étendent au-delà de la ligne bleue horizontale pointillée sont considérées comme statistiquement significatives.

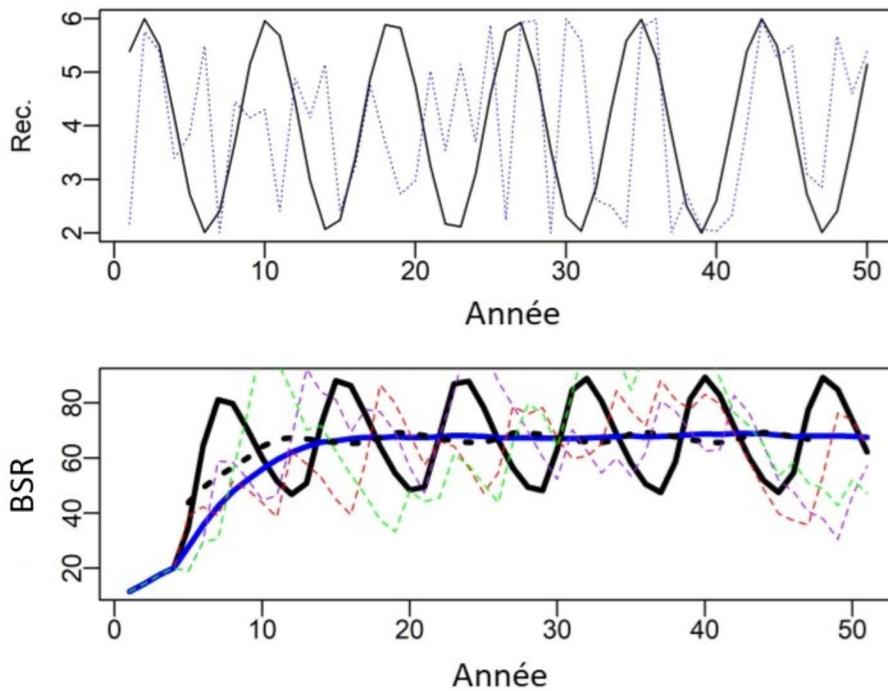


Figure 7. Série de recrutement simulée basée sur une fonction cyclique (ligne noire), ou valeurs permuées de la fonction cyclique (ligne bleue pointillée) (panneau du haut). BSR moyenne basée sur des projections utilisant la série de recrutement cyclique (ligne noire en gras) ou les valeurs permuées de cette série (ligne bleue en gras) (panneau du bas). La ligne pointillée en gras est une moyenne mobile sur 9 ans de la BSR moyenne basée sur le recrutement cyclique, et les autres lignes pointillées colorées sont trois exemples de séries de BSR simulées basées sur le recrutement permuté.

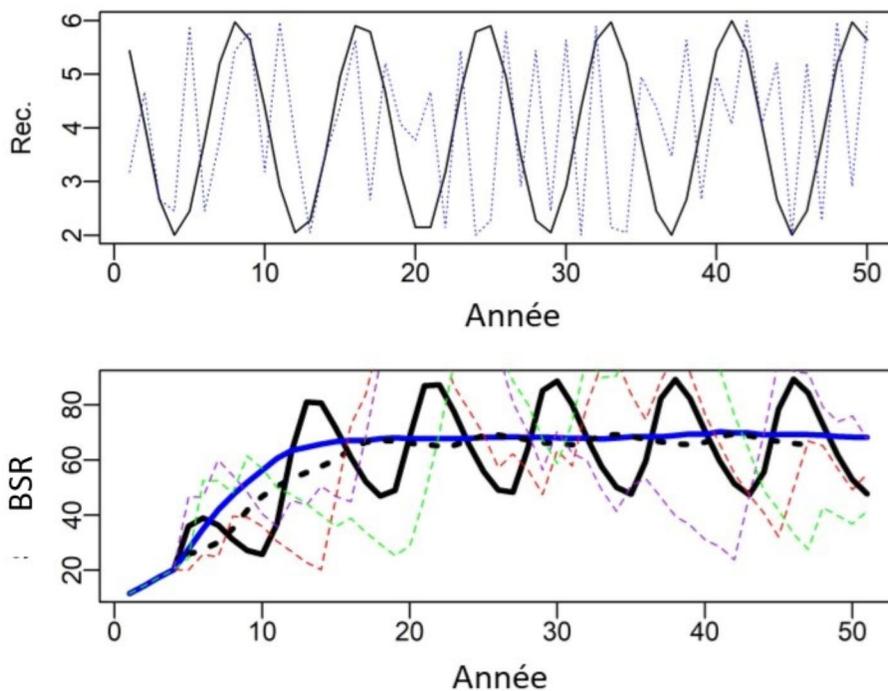


Figure 8. Identique à la figure précédente, mais avec une série chronologique de recrutement déphasée.

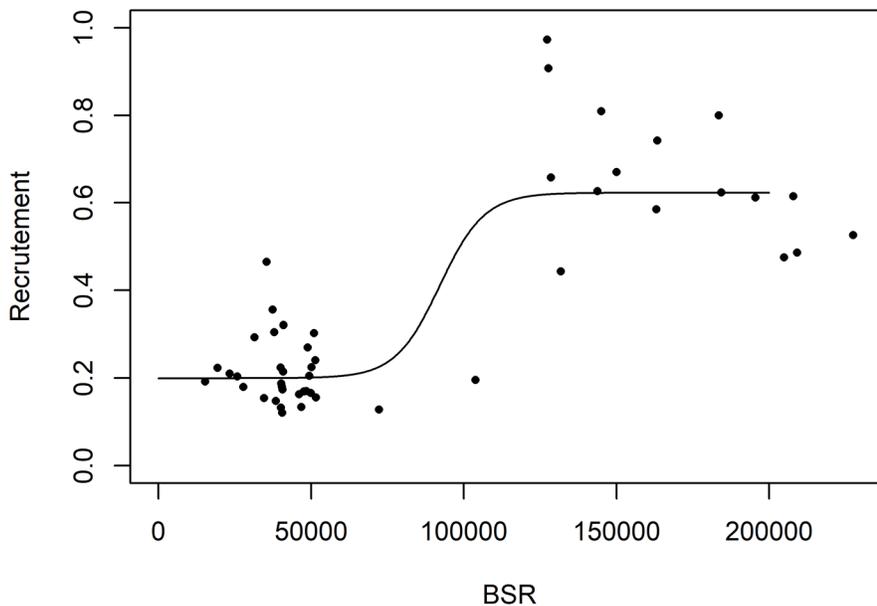


Figure 9. Estimations de la BSR et du recrutement pour la morue de 3Pn4RS (points) et la fonction logistique supposée qui relie les niveaux moyens de recrutement à une BSR faible et à une BSR élevée, et qui a été utilisée dans certaines projections de  $T_{min}$ .

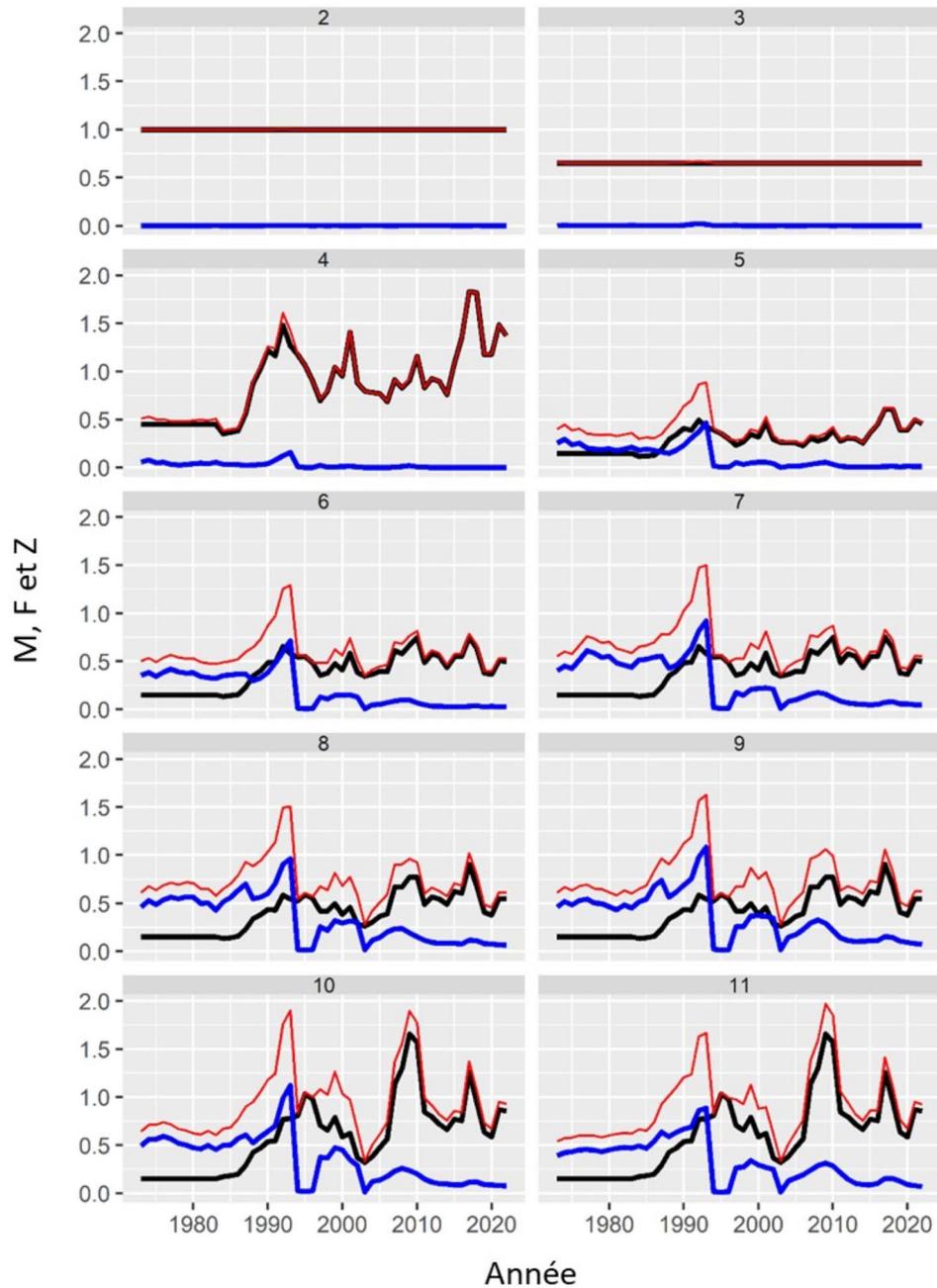


Figure 10. Estimations de la mortalité par pêche par âge (F, lignes bleues), de la mortalité naturelle (M, lignes noires) et de la mortalité totale ( $Z = M + F$ ; lignes rouges) à partir de l'évaluation de 2023. Chaque panneau présente les tendances de la mortalité pour un âge donné, tandis que le panneau inférieur droit présente les résultats pour la morue de 11 ans et plus.

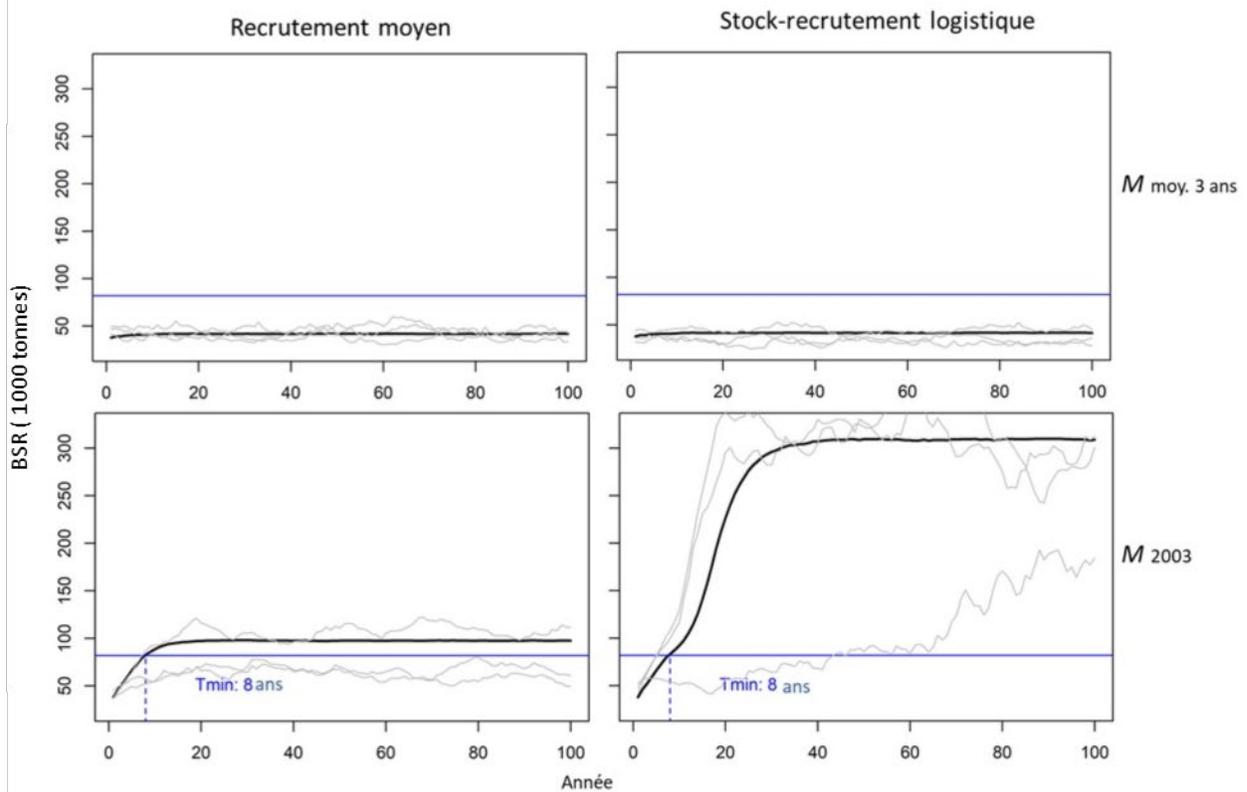


Figure 11. Résultats des projections pour estimer  $T_{min}$  sur la base des deux scénarios de recrutement (colonnes) et des deux scénarios de mortalité naturelle (lignes). Chaque panneau montre la BSR médiane projetée (ligne noire) et les trajectoires du stock pour trois filons choisis au hasard sur 10 000 (lignes grises), ainsi que la cible de rétablissement basé sur une probabilité de 75 % d'être au-dessus du point de référence limite (ligne bleue horizontale). Pour les projections dans lesquelles la BSR médiane a atteint ou dépassé la cible, une ligne verticale bleue hachurée est tracée à l'année à laquelle cela s'est produit et l'année est écrite sous forme de texte dans la figure.

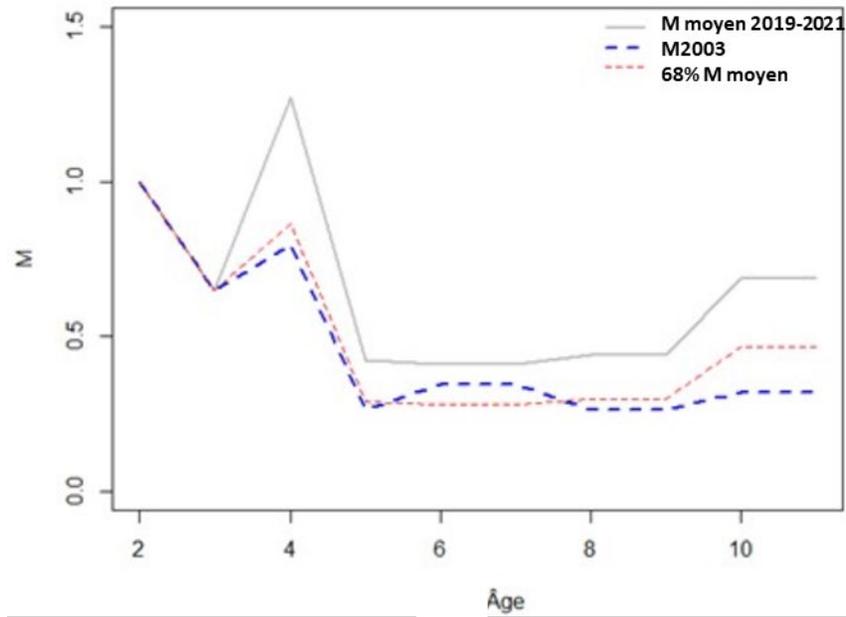


Figure 12. Différentes hypothèses de mortalité selon l'âge utilisées dans les deux séries de simulations supplémentaires.

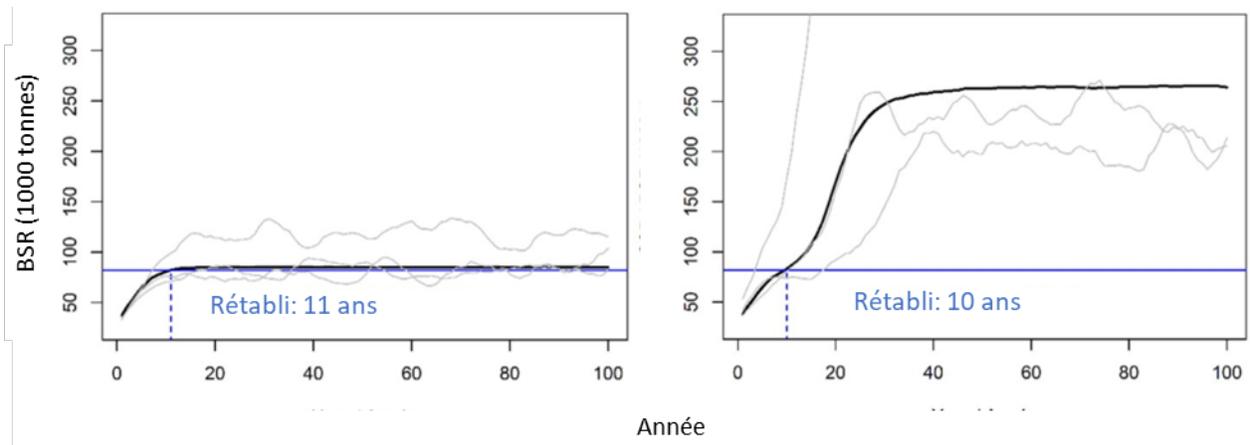


Figure 13. Résultats de la première série de simulations, en supposant des mortalités totales à l'âge 4+ équivalentes à 68 % du M à l'âge de la période 2019-2021. Les résultats de la simulation commencent en janvier 2023, année 1 sur l'axe des x. Le panneau de gauche montre les résultats des simulations supposant un recrutement basé sur le recrutement moyen sur la période 1991-2022, tandis que le panneau de droite montre les résultats des simulations basées sur la relation stock-recrutement supposée. Chaque panneau montre la BSR médiane projetée (ligne noire) et les trajectoires du stock pour trois filons choisis au hasard sur 10 000 (lignes grises), ainsi que la cible de rétablissement basée sur une probabilité de 75 % d'être au-dessus du point de référence limite (ligne bleue horizontale) et l'année au cours de laquelle la cible de rétablissement a été atteinte pour au moins 50 % des filons (ligne bleue pointillée verticale).

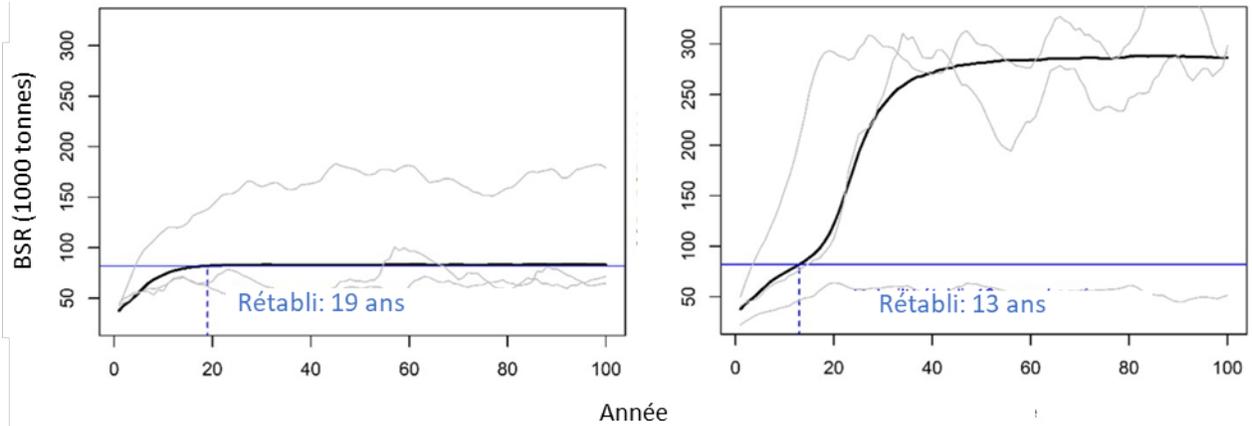


Figure 14. Résultats de la deuxième série de simulations, en supposant des valeurs de  $M$  selon l'âge en 2003, la sélectivité de la pêche en 2022 et des prélèvements annuels totaux par la pêche de 4 300 t. Les résultats de la simulation commencent en janvier 2023, année 1 sur l'axe des x. Le panneau de gauche montre les résultats des simulations supposant un recrutement moyen depuis 1991, tandis que le panneau de droite montre les résultats des simulations basées sur la relation stock-recrutement supposée. Chaque panneau montre la BSR médiane projetée (ligne noire) et les trajectoires de stock pour trois filons choisis au hasard sur 10 000 (lignes grises), ainsi que la cible de rétablissement basé sur une probabilité de 75 % d'être au-dessus du point de référence limite (ligne bleue horizontale) et l'année au cours de laquelle la cible de rétablissement a été atteinte pour au moins 50 % des filons (ligne bleue pointillée verticale).

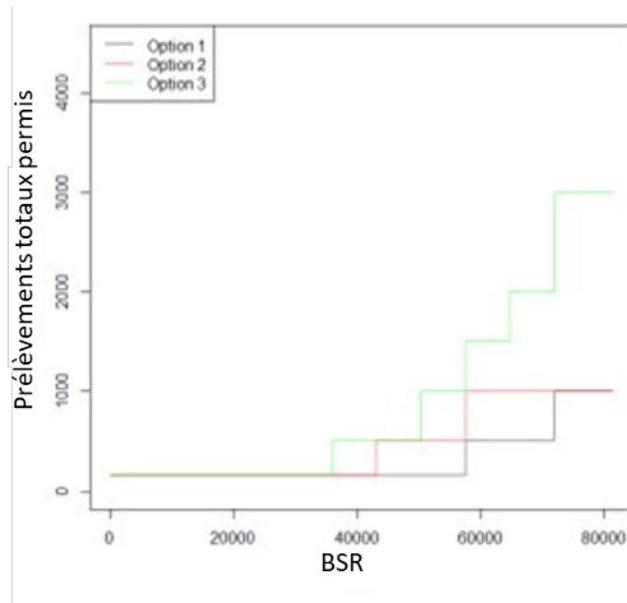


Figure 15. Les trois exemples d'options de règle de contrôle des prises pour les prélèvements totaux jusqu'à la BSR cible de rétablissement. Les prélèvements totaux autorisés représentent les captures de toutes sources (débarquements des pêches commerciales dirigées et non dirigées, pêche récréative, pêches des Premières Nations, ainsi que toute mortalité associée aux rejets, à la prédation dans les engins de pêche et aux captures non déclarées, en plus de l'échantillonnage scientifique).

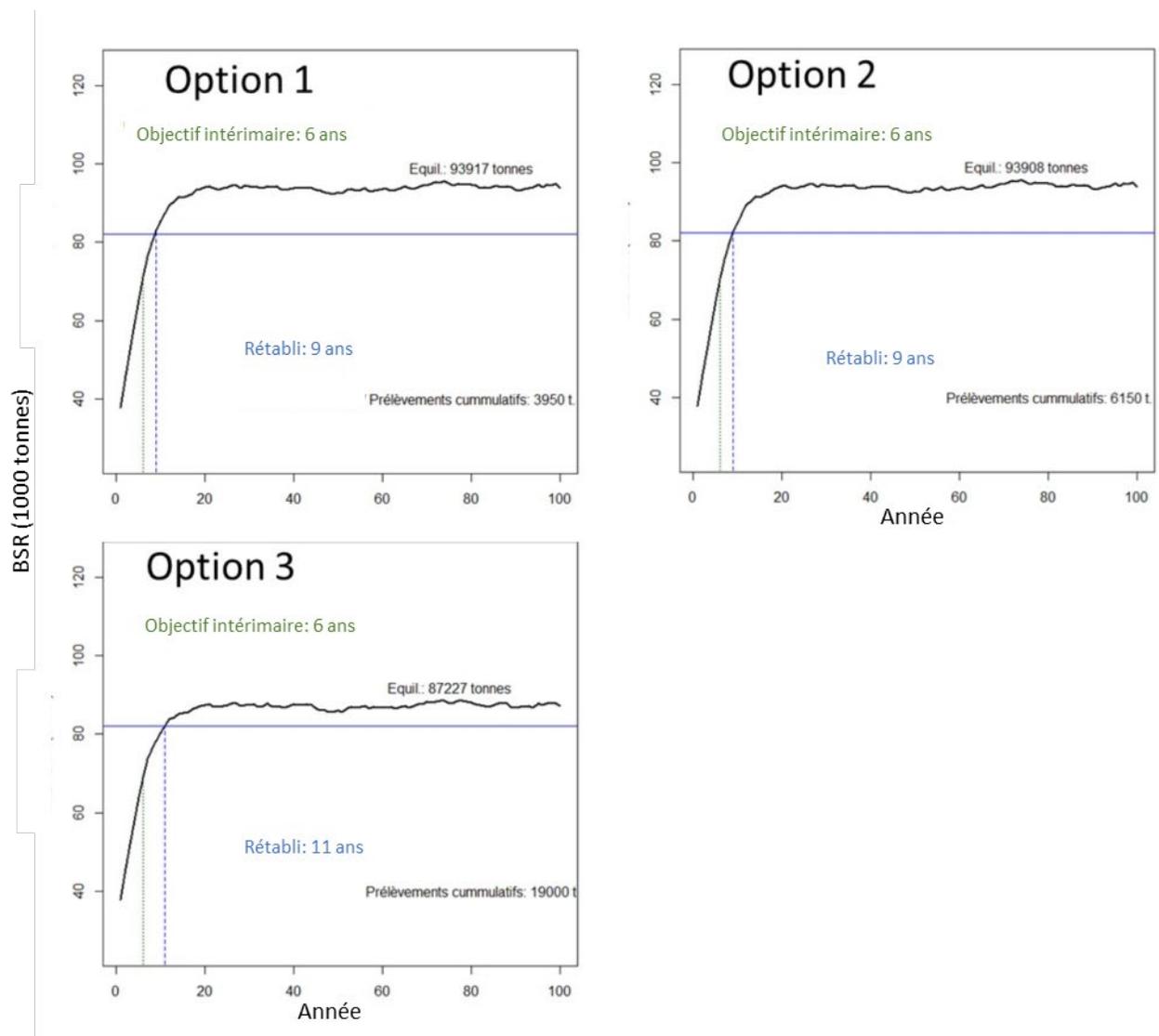


Figure 16. Résultats des simulations pour chacune des trois options de règles de contrôle des prises, dans tous les cas basées sur le recrutement moyen sur 32 ans et le M selon l'âge de 2003. Chaque panneau montre la BSR médiane projetée (ligne noire), ainsi que la cible de rétablissement basée sur une probabilité de 75 % d'être au-dessus du point de référence limite (ligne bleue horizontale), et les années au cours desquelles l'objectif intermédiaire (ligne verte pointillée verticale) et la cible de rétablissement (ligne bleue pointillée verticale) ont été atteints.

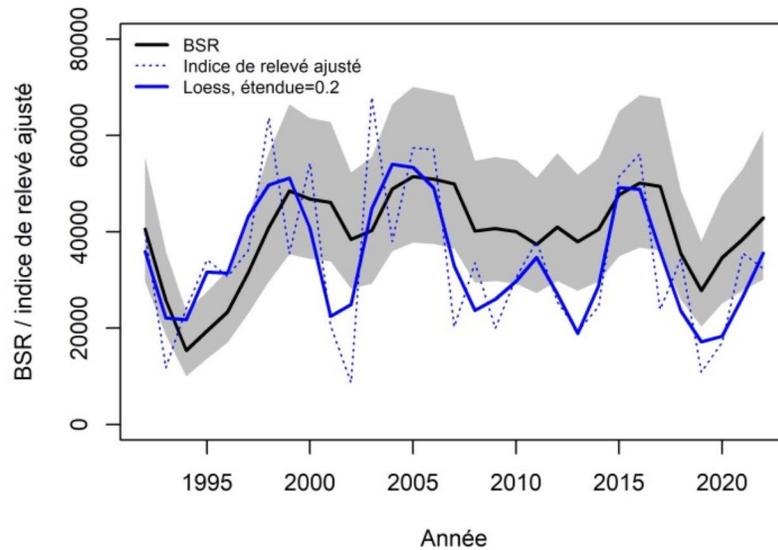


Figure 17. Biomasse du stock reproducteur (BSR ; ligne noire avec intervalle de confiance à 95 %) estimée à partir du modèle d'évaluation et indice ajusté de la biomasse du relevé par navire scientifique du MPO pour la morue  $\geq 43$  cm (ligne bleue pointillée), ainsi qu'un lissage de loess de l'indice ajusté à l'aide d'une étendue de 0,2 (ligne bleue continue). Figure tirée de l'évaluation de février 2023 pour le stock de morue franche 3Pn4RS de l'OPANO.

---

## ANNEXE A. CODE R UTILISÉ POUR GÉNÉRER LES ESTIMATIONS DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT

```
LRP <- 71970
ILRP <- log(LRP)
USR <- 143939 # la valeur proposée, utilisée ici simplement comme limite supérieure de la séquence
IUSR <- log(USR)
IRT <- seq(ILRP, IUSR, by = 0.001) # séquence des valeurs log de cible de rétablissement
cv.terminal <- 0.0168
mcv <- 0.0150

# estimations basées sur la valeur du cv de l'année terminale
quant <- pnorm(ILRP, mean = IRT, sd = IRT*cv.terminal) # génère des quantiles de la distribution normale

# valeur de la cible de rétablissement associée à une probabilité de 5 % d'être en-dessous du PRL
RT.95 <- exp(IRT[which.min(abs(quant-0.05))])

# valeur de la cible de rétablissement associée à une probabilité de 25 % d'être en-dessous du PRL
RT.75 <- exp(IRT[which.min(abs(quant-0.25))])

# estimations basées sur la valeur moyenne du cv pour 1997-2022
quant <- pnorm(ILRP, mean = IRT, sd = IRT* mcv) # génère les quantiles de la distribution normale

# valeur de la cible de rétablissement associée à une probabilité de 5 % d'être en-dessous du PRL
RT.95m <- exp(IRT[which.min(abs(quant-0.05))])

# valeur de la cible de rétablissement associée à une probabilité de 25 % d'être en-dessous du PRL
RT.75m <- exp(IRT[which.min(abs(quant-0.25))])
```