



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/010

Région des Maritimes

Détermination d'un point de référence limite et proposition d'un point de référence supérieur du stock pour la gestion des pêches canadiennes de l'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) de l'est du banc de Georges (5Zjm)

Yanjun Wang¹ et Tom Carruthers²

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

²Blue Matter Science Ltd
2150, avenue Bridgman
North Vancouver (Colombie-Britannique) V7P 2T9

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](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/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, 2025

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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-75619-6 N° cat. Fs70-5/2025-010F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Wang, Y. et Carruthers, T. 2025. Détermination d'un point de référence limite et proposition d'un point de référence supérieur du stock pour la gestion des pêches canadiennes de l'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) de l'est du banc de Georges (5Zjm). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/010. iv + 27 p.

Also available in English:

Wang, Y., and Carruthers, T. 2025. *The Identification of a Limit Reference Point and Proposal of an Upper Stock Reference Point for Canadian Fishery Management of Eastern Georges Bank (5Zjm) Haddock (Melanogrammus aeglefinus)*. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/010. iv + 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
DONNÉES	2
CHANGEMENTS DU RÉGIME DE PRODUCTIVITÉ.....	2
POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE	3
MÉTHODE	3
RÉSULTATS	5
POINT DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR DU STOCK	6
TEST RÉTROSPECTIF DES POINTS DE RÉFÉRENCE	7
ÉVALUATION QUANTITATIVE DES POINTS DE RÉFÉRENCE COMME POINTS DE CONTRÔLE	7
MODÈLE OPÉRATIONNEL	7
RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES EXAMINÉES	8
RÉSULTATS	8
CONCLUSION	9
RÉFÉRENCES CITÉES	10
TABLEAUX	12
FIGURES	15

RÉSUMÉ

L'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) de l'est du banc de Georges (unités statistiques 5Zj et 5zm du MPO; EBG) est une espèce transfrontalière canado-américaine évaluée par le Comité d'évaluation des ressources transfrontalières (CERT). Un nouveau modèle statistique d'évaluation des stocks fondé sur les prises selon l'âge a été élaboré pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges en mars 2022. Pour répondre aux exigences du Cadre de l'approche de précaution de Pêches et Océans Canada, nous déterminons ici un point de référence limite (PRL) et proposons un point de référence supérieur du stock (PRS) pour la gestion des pêches canadiennes de l'aiglefin de l'est du banc de Georges. L'examen de la relation entre la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le recrutement ne révèle aucun signe d'un changement dans le recrutement pour le même niveau de BSR à deux périodes différentes (de 1931 à 1954 et de 1969 à 2020). De même, la comparaison de la production excédentaire à différentes périodes ne présente pas de signe de changement dans le régime de productivité. De ce fait, on considère que la série chronologique de données plus longue (de 1969 à 2020) convient le mieux pour calculer les points de référence. Plusieurs PRL potentiels ont été proposés à l'examen par les pairs; certains ont été jugés inappropriés en raison de la dynamique du stock. $B_{\text{rétablissement}}$, définie comme la biomasse minimale entre 1991 et 1996 qui a permis un rétablissement soutenu à des niveaux historiquement élevés, a été jugée comme étant le PRL le plus approprié pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges (8 620 t). L'ampleur du recrutement de l'aiglefin de l'EBG semble correspondre à deux groupes distincts, une BSR importante produisant généralement un recrutement élevé et une petite BSR se traduisant habituellement par un recrutement faible. Le PRS proposé a été calculé selon la méthode de Rago-Razor à partir des données sur la BSR et le recrutement, et est estimé à 26 732 t. Les simulations rétrospectives historiques en boucle fermée ont confirmé que la dynamique de la biomasse de l'aiglefin de l'EBG dépendait fortement de la grande variabilité du recrutement dans les deux dernières décennies. Si l'on utilisait le PRL et le PRS comme points de contrôle dans la pêche historique, des simulations rétrospectives en boucle fermée ont montré que la biomasse terminale historique et le rendement moyen seraient largement invariables avec la mise en œuvre d'autres règles de contrôle des prises et de divers niveaux du PRL et du PRS spécifiés.

INTRODUCTION

L'une des composantes du Cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution (Politique de l'AP, MPO 2009) consiste à définir des points de référence tout en tenant compte de l'incertitude et du risque pour les principaux stocks récoltés gérés par le MPO. On utilise le point de référence limite (PRL) et le point de référence supérieur du stock (PRS) pour délimiter les zones critique, de prudence et saine (figure 1). La *Loi sur les pêches* modifiée (2019) comprend de nouvelles dispositions relatives aux stocks de poissons qui introduisent des obligations légales de mettre en œuvre des mesures pour maintenir les principaux stocks de poisson prescrits au-dessus du PRL (MPO 2021a). Lorsque des stocks se trouvent à leur PRL ou en deçà, ces mesures doivent viser à les reconstituer (MPO 2021b).

L'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) de l'est du banc de Georges (unités statistiques 5Zj et 5zm du MPO; EBG) est une espèce transfrontalière canado-américaine évaluée par le Comité d'évaluation des ressources transfrontalières (CERT). Le Comité d'orientation de la gestion des stocks transfrontaliers (COGST) élabore des lignes directrices sous la forme de stratégies de pêche, de partage des ressources et de processus de gestion pour ce stock. En 2003, le COGST a adopté une stratégie de pêche pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges afin de maintenir un risque faible à neutre de dépasser le taux de référence de mortalité par pêche. Les taux de mortalité par pêche devraient être réduits davantage quand les conditions du stock sont mauvaises, pour faciliter le rétablissement de ce dernier (document d'orientation du COGST 2003¹). Bien que la stratégie de pêche du COGST ait été élaborée avant l'établissement du Cadre de l'AP du MPO, le concept de préservation d'une biomasse seuil y est conforme. Dans le cadre de cette stratégie de pêche, aucun point de référence explicite de la biomasse définissant les « mauvaises conditions des stocks » n'a été élaboré par le CERT ou demandé par le COGST et l'état des stocks a été inféré en fonction du jugement d'experts dans les évaluations du CERT. Toutefois, dans la gestion des pêches en eaux canadiennes, des points de référence biologiques sont nécessaires pour évaluer l'état de l'aiglefin de l'est du banc de Georges par l'entremise du programme des Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement et de l'Enquête sur la durabilité (MPO 2021a).

Le PRL canadien actuel a été élaboré dans le cadre du processus de 2012 d'évaluation régionale des points de référence de la région des Maritimes du MPO à l'aide des données tirées du modèle d'évaluation par analyse de population virtuelle (APV) de 2011 (Wang et Van Eeckhaute 2012). Un nouveau modèle statistique des prises selon l'âge, mis en œuvre à l'aide du Woods Hole Assessment Model (WHAM; Stock et Miller 2021), a été élaboré pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges lors de la réunion d'examen par les pairs du volet de recherche sur l'aiglefin tenue en mars 2022 (CERT 2022). L'ajout de nouvelles données après 2011, conjugué au nouveau modèle, pourrait révéler des caractéristiques de la productivité du stock qui n'ont pas encore été observées. C'est pourquoi le CERT a proposé en 2022 à l'examen du COGST un point potentiel de référence de la pêche, $F_{40\%RPF} = 0,367$, qui est un taux de mortalité par pêche réduisant la biomasse du stock reproducteur par recrue à 40 % du niveau sans pêche.

Le présent document porte sur la définition d'un PRL et la proposition d'un point de référence supérieur du stock (PRS) pour la gestion des pêches canadiennes de l'aiglefin de l'EBG. Des simulations rétrospectives en boucle fermée ont été menées pour évaluer de façon quantitative la sensibilité des rendements historiques de la pêche et de la biomasse du stock reproducteur (BSR) à d'autres points de référence.

¹ [Document d'orientation 2003/01 du Comité d'orientation de la gestion des stocks transfrontaliers.](#)

DONNÉES

La productivité de nombreux stocks est très variable sur une longue période. En règle générale, les points de référence pour un stock devraient être établis sur la plus longue période possible afin de tenir compte d'une telle variation (MPO 2013). L'aiglefin de l'EBG soutient une pêche commerciale depuis le début des années 1920 (Clark *et al.* 1982). Les prises d'aiglefin de l'est du banc de Georges des années 1930 aux années 1950 étaient relativement stables et variaient généralement entre 20 000 et 40 000 t (figure 2; Schuck 1951). Les débarquements annuels les plus élevés dans l'est du banc de Georges, d'environ 60 000 t, ont été déclarés au début des années 1960. La composition par âge des prises d'aiglefin de l'EBG de 1931 à 1955 n'est connue qu'approximativement. Compte tenu de cette limite, nous avons utilisé une APV, à titre d'exemple, fondée sur l'hypothèse d'une mortalité naturelle constante (M) de 0,2, pour calculer la biomasse au début de l'année, la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le recrutement à l'âge 1 (R) entre 1931 et 1955. Compte tenu des incertitudes entourant la composition par âge des poissons et du manque d'indices de l'abondance dans les relevés, les données de cette première période n'ont servi qu'à évaluer la possibilité de changements de régime.

Les séries chronologiques de la biomasse, de la BSR et du R de 1969 à 2021 sont générées à partir du modèle du volet de recherche tiré de l'évaluation de l'aiglefin de l'est du banc de Georges par le CERT en 2022 (Wang *et al.* en préparation²). Les ogives de maturité dérivées des échantillons prélevés pendant le relevé de printemps du National Marine Fisheries Service (NMFS) et du poids selon l'âge observé dans les échantillons provenant du relevé d'hiver du MPO sont utilisés pour calculer la BSR (Wang *et al.* en préparation²). Avant le milieu des années 1990, l'aiglefin de l'est du banc de Georges a été surexploité pendant des décennies. L'amélioration des recrutements à la fin des années 1990, la diminution de l'exploitation et la réduction de la capture de petits poissons dans les pêches ont permis à la biomasse d'augmenter pour passer d'un creux historique de 12 000 t en 1993 à 50 000 t en 2002. L'augmentation continue de la biomasse après 2003 était attribuable à la contribution des classes d'âge exceptionnellement fortes de 2003, 2010 et 2013 (figure 3). La biomasse est parvenue à 100 000 t en 2009 et a atteint un pic historique de 150 000 t en 2019 (figure 2). La forte baisse après 2009 (figure 2) s'explique en grande partie par le ralentissement de la croissance et l'estimation élevée de la mortalité naturelle de 0,516 entre 2010 et 2021.

CHANGEMENTS DU RÉGIME DE PRODUCTIVITÉ

La spécification des points de référence dépend fortement du choix de la méthode et de la longueur de la série chronologique. Selon les directives du MPO, les points de référence de la biomasse ne devraient pas être uniquement estimés à partir des données d'une période de faible productivité lorsque rien ne permet de croire que les conditions compatibles avec une productivité plus élevée se reproduiront naturellement ou seront réalisables par la gestion (MPO 2013, 2023).

Les principaux processus biologiques qui composent la réponse de production sont la croissance, la maturation, la mortalité naturelle et le recrutement. Pour les périodes récentes où la biomasse de l'aiglefin de l'est du banc de Georges était relativement élevée, une diminution de la croissance et une maturation plus tardive ont été observées dans les échantillons provenant des relevés et de la pêche, et une augmentation de la mortalité naturelle a été

² Wang Y., Regnier-McKellar, C. et Kraska, K. En préparation. Assessment of Haddock on Eastern Georges Bank for 2022. Document de référence du CERT.

estimée. Des études ont montré un impact dépendant de la densité sur la croissance et la mortalité naturelle de ce stock (CERT 2020, CERT 2022, Wang *et al.* 2021, Wang *et al.* en préparation²). Les changements causés par la dépendance à la densité ne devraient pas être considérés comme des changements du régime de productivité, mais plutôt comme des changements transitoires puisque le stock devrait revenir aux conditions précédentes lorsque la biomasse revient à des niveaux inférieurs, ce que reflètent les améliorations observées de la longueur et du poids selon l'âge dans les échantillons des pêches et des relevés coïncidant avec la forte diminution de la biomasse des dernières années (CERT 2022).

Un examen plus approfondi de la relation entre la BSR et le recrutement montre que ce dernier a été très variable (log de l'écart-type = 2). Rien n'indique un changement dans le recrutement pour le même niveau de BSR à deux périodes différentes (de 1931 à 1954 et de 1969 à 2020; figure 4). De même, la comparaison de la production excédentaire ($Biomasse[t+1] - Biomasse[t] + Prise[t]$) à différentes périodes ne présente pas de signes irréfutables de changements du régime de productivité (figure 4). De ce fait, on considère que la série chronologique plus longue (de 1969 à 2020) des données convient mieux pour calculer les points de référence.

POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE

Le PRL est défini comme le niveau du stock en deçà duquel la productivité est suffisamment réduite pour causer un dommage grave à la ressource (MPO 2009). Le « dommage grave » est un état indésirable qui peut être associé à une altération de la productivité ou de la capacité de reproduction résultant de changements dans les processus biologiques (comme le recrutement, la croissance, la maturation et la survie), et peut entraîner une perte de résilience, définie comme une capacité réduite à se rétablir, à dépasser le taux de remplacement ou à se remettre d'une perturbation (MPO 2023).

MÉTHODE

Les approches d'estimation des PRL possibles diffèrent normalement de par leur hypothèse de la résilience du stock. Il n'existe pas de méthode unique permettant de déterminer un PRL pour tous les stocks (Myers *et al.* 1994; Kronlund *et al.* 2018). Pour définir un PRL, les pratiques exemplaires devraient évaluer le plus grand nombre possible de mesures diagnostiques pour tenir compte de l'incertitude. Pour déterminer un PRL plausible pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges, nous évaluons les méthodes suivantes qui pourraient refléter la capacité reproductive ou la productivité de l'aiglefin :

1. *Approche fondée sur B_{RMD} ou B_0 (MPO 2023)*. Dans le concept de la productivité des stocks, les PRL sont souvent définis comme une proportion de B_{RMD} (biomasse à l'équilibre au rendement maximal durable) ou de B_0 (biomasse moyenne à l'équilibre sans pêche). Cependant, les points de référence de la biomasse fondés sur le RMD et B_0 sont définis à l'état d'équilibre. Pour B_{RMD} , les principaux paramètres de la productivité du modèle comportent des hypothèses de stationnarité comme la croissance, M et le recrutement. Pour B_0 , une sensibilité à l'incertitude est incluse dans les hypothèses du modèle (p. ex. M et la résilience reproductive h , qui est la fraction du recrutement lorsque la BSR baisse à 20 % de son niveau sans pêche). Pour B_0 dynamique, il y a une hypothèse implicite selon laquelle les changements temporels des paramètres biologiques sont indépendants de la pêche et ne dépendent pas de la densité (MPO 2023). Cependant, la dynamique de la population d'aiglefin de l'est du banc de Georges est caractérisée par une grande variation des recrutements en fonction de l'environnement, de la croissance dépendante de la densité et de M . Ces approches

vont à l'encontre de l'hypothèse d'équilibre et excluent l'utilisation de l'approche fondée sur B_{RMD} ou B_0 pour définir les points de référence de la biomasse.

2. *Points de référence par recrue* (MPO 2023). Dans cette approche, on utilise la biomasse à l'équilibre à long terme à une valeur de substitution constante F_{RMD} ($F_{X\%RPF}$ ou autre) comme valeur de substitution pour B_{RMD} (MPO 2023). Cependant, en raison de M dépendante de la densité, de la croissance et des changements subséquents dans la sélectivité des pêches, il est difficile de choisir un pourcentage approprié (X) et $F_{X\%RPF}$ pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges. De plus, les points de référence par recrue ne tiennent pas compte des réductions du nombre de recrues à mesure que la BSR diminue (Sainsbury 2008). Ils ne fournissent donc pas de base interne pour définir un seuil pour la surpêche des recrues et ne sont pas conformes à l'objectif d'établir un PRL pour prévenir des dommages graves au stock. Dans le cas de l'aiglefin de l'est du banc de Georges, on observe une relation positive entre le recrutement et la BSR (figures 5 et 6); cette approche n'est donc pas possible pour calculer un PRL.
3. *BH50 ou RK50* (MPO 2002, MPO 2023). Selon cette méthode, la BSR à laquelle le recrutement moyen prévu est la moitié du recrutement maximal prédit en supposant une relation sous-jacente stock-recrue de Beverton-Holt (BH) ou de Ricker (RK). Pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges, on n'envisage pas les méthodes BH50 et RK50 en raison de l'ajustement déraisonnable des modèles de stock-recrue de BH et de RK.

On estime ainsi les PRL possibles pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges selon les approches empiriques suivantes (il est à noter que, compte tenu de l'incertitude dans les estimations du recrutement le plus récent en raison des observations limitées, la classe d'âge de 2020 a été exclue dans le calcul du PRL) :

1. *Production excédentaire* : La production excédentaire est une mesure directe de la productivité des stocks (OPANO 2004). Un dommage grave peut être associé à un risque élevé d'anticompensation. Il s'agit de la dépendance négative à la densité, dans laquelle le taux intrinsèque d'augmentation pour un stock diminue plutôt que d'augmenter, à mesure que l'abondance diminue (MPO 2023). Dans ce cas, en utilisant la série chronologique de la biomasse totale estimée à partir du modèle d'évaluation de l'aiglefin du CERT de 2022 et des prises dans la pêche, la production excédentaire (PE) a été estimée comme la variation annuelle de la biomasse totale plus les prélèvements par la pêche (c.-à-d. $PE[t] = \text{Biomasse}[t+1] - \text{Biomasse}[t] + \text{Prise}[t]$). La relation entre le taux de production excédentaire ($PE[t] / \text{Biomasse}[t]$) et la biomasse (t) est illustrée à la figure 7. Une courbe de Loess a été ajustée pour vérifier la preuve de l'anticompensation, caractérisée par un taux de production plus faible lorsque la biomasse tombe en dessous d'un seuil distinct.
2. *B_{rétablissement}* (MPO 2002, MPO 2023). $B_{rétablissement}$ est définie comme la BSR la plus basse jamais enregistrée ayant produit le recrutement qui a permis au stock de se rétablir facilement. Il s'agit d'une valeur de substitution pour la surpêche des recrues, qui reflète la productivité pour de faibles tailles du stock dans des conditions moyennes et est recommandée pour les stocks connaissant un recrutement occasionnel important (MPO 2023). Dans le cas de l'aiglefin de l'est du banc de Georges, les vagues de recrutement important et la longue série chronologique de données sur le SR avec une large plage de productivité font de $B_{rétablissement}$ un PRL possible approprié (figure 8).
3. *Sb50/90* (MPO 2002). Sb50/90 est la biomasse du stock reproducteur correspondant à l'intersection entre le 50^e centile des observations de recrutement et la ligne de remplacement pour laquelle 10 % des points stock-recrutement (SR) sont situés au-dessus de la ligne (figure 9). Elle représente la limite de biomasse en dessous de laquelle il est peu probable que la population produise un recrutement moyen dans de bonnes conditions de

survie des premiers stades du cycle biologique. Lors de l'atelier national de 2002 sur les points de référence pour les gadidés (MPO 2002), cette méthode s'est révélée solide par rapport aux incertitudes du modèle de SR et produit une estimation raisonnable d'un PRL pour les stocks. Étant donné les défis liés à l'ajustement d'une relation SR paramétrique pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges, nous explorons cette méthode ici.

4. *Approche Blim du Conseil international pour l'exploitation de la mer (CIEM)*. Les lignes directrices techniques du CIEM (2021) décrivent Blim comme une limite déterministe de la biomasse en deçà de laquelle un stock est considéré comme ayant une capacité de reproduction réduite. Comme l'aiglefin de l'est du banc de Georges, un certain nombre de stocks du CIEM, comme le hareng norvégien reproducteur de printemps (*Clupea harengus*) et le chinchard commun (*Trachurus trachurus*), ont une dynamique caractérisée par des événements sporadiques de recrutement important qui ne permettent pas de déterminer une fonction SR claire dérivée empiriquement. Dans de tels cas, la biomasse fluctue en raison de classes d'âge occasionnellement très fortes, ce qui complique la définition des points de référence de la biomasse qui sont sensibles aux niveaux d'exploitation. Pour ces types de stocks, le CIEM recommande de spécifier Blim comme la BSR la plus basse ayant produit un recrutement important (Lignes directrices techniques du CIEM 2021). Au Canada, cette approche a été appliquée pour déterminer un PRL pour l'aiglefin de la sous-division 3Ps (MPO 2019). À l'heure actuelle, il n'existe pas de définition claire d'un recrutement « important » dans les lignes directrices techniques du CIEM (2021). Dans le cas de l'aiglefin de l'est du banc de Georges, nous définissons simplement une anomalie de l'indice du recrutement dans le 90^e centile comme un recrutement « important » (figure 10).

RÉSULTATS

Dans l'approche de la production excédentaire, le taux de production excédentaire est surtout positif et augmente à une biomasse plus faible, comme une simple compensation peut le laisser présager (figure 7). L'anticompensation n'est donc pas détectée et peut ne pas être prise en compte dans la définition des dommages grave pour ce stock d'aiglefin. C'est pourquoi cette approche n'a pas été jugée appropriée pour calculer un PRL pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges.

$B_{\text{rétablissement}}$ a été définie comme la BSR en 1993 (8 620 t) à partir de laquelle le stock s'est régulièrement rétabli (figure 8).

$Sb_{50/90}$ a été calculée à 5 058 t (figure 9).

Selon l'approche de Blim du CIEM, la classe d'âge de 1975 se situe au 90^e centile de l'anomalie du recrutement des estimations SR. Selon la définition d'un « recrutement important » dans cette étude, une BSR de 7 138 t qui a produit la classe d'âge forte de 1975 est le PRL possible (figure 10).

Une comparaison entre les valeurs possibles estimées selon différentes approches donne un aperçu de la certitude de l'avis pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges (figure 11). Dans le cas de l'approche de Blim du CIEM, l'utilisation ici du 90^e centile pour définir un « recrutement important » est arbitraire et la valeur déterminée de Blim pourrait changer dans les évaluations futures des stocks réalisées avec des données mises à jour. Il est intéressant de noter qu'un PRL devrait refléter les niveaux détectables avant que des dommages graves ne se produisent. Pour $Sb_{50/90}$, la biomasse de 5 058 t est inférieure à la plus faible observation historique de la BSR et un manque d'information sur la dynamique des populations à ce niveau du stock rend son utilisation comme PRL potentiellement risquée. En revanche, $B_{\text{rétablissement}}$ à 8 620 t se trouve dans la plage des niveaux de la biomasse du stock évalués et est considérée comme plus appropriée (tableau 1).

-
- En tant que valeur de substitution de la surpêche des recrues, $B_{\text{rétablissement}}$ a été jugée acceptable comme base pour le PRL des espèces ayant une dynamique de recrutement sporadique (MPO 2022, MPO 2023).
 - L'aiglefin de l'est du banc de Georges a été exposé à une exploitation complète pendant une série chronologique prolongée et a réussi à se rétablir deux fois à partir de niveaux de stocks bas comparables, au milieu des années 1970 et 1990 (figure 8). $B_{\text{rétablissement}}$ reflétait la productivité de ce stock à de faibles niveaux et sa résilience sous différentes pressions de la pêche. Étant donné qu'il n'y a aucune preuve d'un changement de régime, $B_{\text{rétablissement}}$ convient comme PRL.
 - Le PRL ne pouvait pas être défini comme une biomasse supérieure à $B_{\text{rétablissement}}$. Un recrutement médian a été produit à ce niveau de la BSR dans de bonnes (75^e centile) conditions de survie aux premiers stade biologique en 1993. De plus, une BSR (7 138 t) inférieure à $B_{\text{rétablissement}}$ en 1975 a produit le recrutement important (90^e centile).

POINT DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEUR DU STOCK

Dans la politique de l'AP du MPO (MPO 2009), le point de référence supérieur du stock est défini comme la limite entre les zones de prudence et saine, le seuil en dessous duquel les prélèvements doivent être progressivement réduits afin d'éviter d'atteindre le PRL. Le PRS n'est pas appliqué dans les règles actuelles du COGST sur les prises d'aiglefin de l'est du banc de Georges. De ce fait, le PRS proposé ici ne doit être utilisé que pour la gestion des pêches en eaux canadiennes. En outre, les lignes directrices de la politique de l'AP précisent que le PRS n'est pas déterminé uniquement par des considérations biologiques, que des objectifs sociaux et économiques pour la pêche sont d'autres considérations et que, par conséquent, le PRS n'est pas défini par la Direction des sciences du MPO (MPO 2021a). Par conséquent, le PRS proposé est fondé sur les données biologiques disponibles pour le stock afin de faciliter la gestion des pêches en eaux canadiennes de l'aiglefin de l'est du banc de Georges.

Bien qu'il soit difficile de caractériser une fonction de SR bien définie et dérivée empiriquement pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges, deux groupes distincts semblent se dégager dans l'ampleur du recrutement, avec une BSR élevée entraînant généralement un recrutement important et une BSR faible produisant habituellement un recrutement bas (figure 5). Pour les stocks pour lesquels ces deux groupes apparaissent dans la relation de SR, il a été suggéré d'utiliser la limite entre les deux groupes comme PRS (MPO 2004). Il s'agit de la BSR la plus basse à laquelle de nouvelles augmentations n'ont pas produit d'amélioration marquée du recrutement. Cette méthode incorpore des concepts de suppression dépendante de la densité de la production de la population et présente certaines similitudes avec BSRRMD (Duplisea et Fréchet 2011).

Reposant sur la relation entre la BSR et le recrutement de l'aiglefin de l'est du banc de Georges, le point de rupture de la BSR, qui délimite deux groupes de recrutement, est estimé en minimisant la somme de l'erreur quadratique moyenne des points de recrutement estimés, R , pour chaque année, y , entre 1969 et 2021 (ne s'étend pas aux années ultérieures dans les évaluations subséquentes), à partir du recrutement moyen dans chaque groupe selon la méthode de Rago-Razor (NEFSC 2008). La valeur de 26 732 t proposée comme PRS est calculée comme la moyenne de la valeur la plus élevée dans le groupe de la BSR la plus basse et la valeur la plus faible dans le groupe de la BSR la plus élevée (figure 12, voir la description détaillée dans le tableau 2).

D'autres méthodes pourraient être utilisées pour estimer le PRS, mais l'approche établie ici est relativement simple et facile à mettre en œuvre dans un contexte de recrutement très variable.

De plus, on a estimé à titre préliminaire un recrutement important de 110 millions à partir d'une BSR d'environ 26 000 t en 2020 (Wang *et al.* en préparation²), ce qui appuierait encore le PRS proposé.

TEST RÉTROSPECTIF DES POINTS DE RÉFÉRENCE

ÉVALUATION QUANTITATIVE DES POINTS DE RÉFÉRENCE COMME POINTS DE CONTRÔLE

Les évaluations des stocks d'aiglefin de l'est du banc de Georges fournissent des estimations de la BSR et du recrutement qui ne révèlent aucune relation claire stock-recrutement (figure 11). En raison de la disponibilité de données relativement complètes et informatives qui comprennent trois relevés indépendants corroborants des nombres propres à l'âge, cette absence de relation stock-recrutement est constante parmi un large éventail d'analyses de sensibilité pour l'évaluation (Wang *et al.* en préparation²). Lorsqu'on établit le profil sur le taux de variation, il y a peu de données empiriques pour établir un niveau précis de résilience du stock (figure 13). C'est pourquoi le stock a été évalué en supposant des écarts par rapport au recrutement historique moyen. Le fait de supposer d'autres niveaux de taux de variation ne modifie pas les estimations du recrutement et de la biomasse reproductrice historiques, et constitue simplement un ajustement relativement léger aux écarts très importants du recrutement annuel. Ainsi, la dynamique pertinente qui complique l'établissement de points de référence absolus de la biomasse pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges n'est pas liée au niveau présumé de taux de variation, mais plutôt à la variabilité interannuelle très élevée du recrutement qui a déjà permis au stock de se rétablir à partir d'une biomasse reproductrice proche du niveau historique le plus bas jusqu'au pic historique (figure 14).

Par le passé, la gestion de l'aiglefin de l'EBG a produit des avis sur les prises conformes à un taux d'exploitation cible. Si on avait plutôt appliqué une règle de contrôle des prises avec le PRL et le PRS proposés (8 620 t et 26 732 t, respectivement), il est probable que, *sur le plan qualitatif*, elle aurait réduit les rendements historiques et fourni une biomasse reproductrice plus élevée, particulièrement pendant les périodes de faible recrutement/faible biomasse des années 1980 et 1990. Par exemple, si elle avait été mise en œuvre une année donnée entre 1982 et 2000, où l'on estime que la biomasse reproductrice se situait entre le PRL et le PRS proposés, le taux d'exploitation aurait été réduit proportionnellement à la distance entre le PRS et le PRL et, certaines années, la pêche aurait été fermée ou presque fermée (de 1984 à 1995, figure 11). Cependant, une réduction des rendements une année donnée aurait eu un effet positif sur la biomasse vulnérable des années suivantes et aurait alors produit des rendements plus élevés pour le même taux d'exploitation. Il s'ensuit que l'on ne sait pas dans quelle mesure, *d'un point de vue quantitatif*, d'autres systèmes de points de référence auraient eu une incidence sur la période historique de la pêche compte tenu de la dynamique estimée par l'évaluation du stock.

Afin de fournir une évaluation quantitative plus claire de la sensibilité des résultats du rendement et de la biomasse à d'autres PRL et PRS, nous avons effectué une évaluation rétrospective en boucle fermée de diverses règles de contrôle des prises avec des points de contrôle opérationnels correspondant à différents taux d'exploitation de référence (TER), PRL et PRS, y compris ceux proposés ci-dessus.

MODÈLE OPÉRATIONNEL

Les dynamiques de la pêche et des populations, dans l'évaluation du stock de 2022 (Wang *et al.* en préparation²), ont été reproduites fidèlement dans un modèle opérationnel structuré

selon l'âge et les 35 dernières années (de 1987 à 2021) ont été « rejouées » comme si les avis de gestion fournis par les règles de contrôle des prises avaient été suivis exactement, sans erreur de mise en œuvre.

Des simulations en boucle fermée ont été réalisées à l'aide du progiciel openMSE dans R (Hordyk *et al.* 2023).

RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES EXAMINÉES

Différentes règles de contrôle des prises (RCP), qui étaient des variantes à un seul facteur d'une RCP de base, ont été examinées (tableau 3).

Pour la RCP de base, nous avons utilisé le taux d'exploitation de référence (TER) établi dans l'évaluation précédente (Wang *et al.* en préparation²; $F_{40\%RPF} = 0,367$). Ce calcul a été effectué à partir des données moyennes des cinq dernières années (de 2017 à 2021). D'après la simulation en boucle fermée, il serait approprié de recalculer et d'appliquer le TER tous les trois ans. Une autre approche (Rfix) a été évaluée, dans laquelle le TER ne changeait pas au cours de la période rétrospective et était fixé à celui de la période la plus récente (0,367). Pour toutes les RCP, le taux d'exploitation de référence a été calculé directement à partir du modèle opérationnel et présumé être parfaitement connu sans erreur d'estimation.

Pour la RCP de base, nous supposons que la BSR a été observée sans biais et avec une imprécision égale à l'erreur calculée à partir d'un auto-test de simulation dans l'évaluation de base (CV = 10,8 %; Wang *et al.* en préparation²). Ainsi, dans la RCP de base, l'avis sur le TAC a été produit chaque année en fonction d'une information imparfaite sur la biomasse au début de cette année (la variable indépendante de la RCP), à l'aide d'un PRL, d'un PRS et d'un TER calculés à partir d'informations parfaites sur la dynamique du modèle opérationnel (la variable dépendante de la RCP). Deux solutions de rechange ont été évaluées, dans lesquelles la BSR était connue sans erreur (Err0, CV = 0) et l'erreur d'observation était le double du niveau de base (Err2, CV = 21,6 %).

Afin de fournir un test de sensibilité plus large, une autre RCP a été spécifiée (noCP), dans laquelle il n'y avait essentiellement aucun point de contrôle et le PRL et le PRS étaient tous deux réglés à zéro (pêche à des niveaux constants de TER).

Le principal objectif de cette évaluation rétrospective est de quantifier la sensibilité des résultats du rendement et de la BSR à d'autres niveaux du PRL et du PRS. Quatre autres RCP ont été spécifiées : un croisement complet des facteurs bas (3/4) et élevé (4/3) du PRL et du PRS de base (Low_Low, Low_High, High_Low, High_High; tableau 3).

RÉSULTATS

En général, au cours de la période rétrospective, l'historique de l'exploitation était plus similaire entre les diverses RCP (tableau 1) qu'avec le véritable profil historique (figures 15 à 17). Les taux historiques de mortalité par pêche étaient plus variables et sensiblement plus élevés que ceux prescrits par les RCP (p. ex. figure 15, panneaux d, j et p).

Étant donné que la RCP de base – comme c'est le cas pour la plupart des RCP – ralentit initialement le taux d'exploitation par rapport aux niveaux historiques (figure 15, panneau c), la biomasse augmente par la suite par rapport aux niveaux historiques (figure 15, panneau a) et, par conséquent, les prises (figure 14, panneau e) sont beaucoup plus comparables aux niveaux historiques que les taux d'exploitation (figure 15, tableau d).

Les RCP testées ici auraient pêché beaucoup plus intensément que les niveaux historiques pendant un petit nombre d'années à la fin des années 1990, alors que le taux d'exploitation de référence et la biomasse vulnérable étaient relativement élevés (prises sur les figures 15 à 17).

Le rendement moyen et les niveaux finaux (2021) de la BSR étaient très comparables entre les RCP (figure 18, panneaux a et b, respectivement). Les différences de rendement étaient plus prononcées durant la période antérieure de recrutement plus faible de 1987 à 1995 (figure 18, panneau c). Pendant cette période (pendant laquelle les RCP ont réduit le TER), dans les cas les plus extrêmes (RRfix et High_High), les résultats moyens du rendement étaient environ deux fois plus disparates que les résultats de la BSR (figure 18, panneaux c et d). Sans surprise, la plage inférieure des BSR (5^e centile, figure 18, panneau e) se produit au cours de cette première période et suit le même profil que la BSR moyenne (figure 18, panneau d). Malgré les différences de rendement et de BSR entre les RCP au cours de cette première période, la biomasse reproductrice finale n'a en grande partie pas été touchée, ce qui souligne que, compte tenu de ces dynamiques évaluées, la biomasse de l'aiglefin de l'est du banc de Georges est largement tributaire de l'environnement.

CONCLUSION

L'examen de la relation entre la BSR et le recrutement ne révèle aucun signe d'un changement dans le recrutement pour le même niveau de BSR à deux périodes différentes (de 1931 à 1954 et de 1969 à 2020). De même, la comparaison de la production excédentaire à différentes périodes ne présente pas de signe de changement dans le régime de productivité (figure 4). De ce fait, on considère que c'est la série chronologique plus longue (de 1969 à 2020) des données qui convient le mieux pour calculer les points de référence. Si des changements de régime étaient détectés à l'avenir, il faudrait examiner les points de référence de la biomasse élaborés. Les méthodes du PRL présentées ici n'intègrent pas explicitement la façon dont les changements dans les écosystèmes ou les conditions environnementales (p. ex. l'interaction des espèces, le climat et d'autres facteurs) peuvent influencer sur la productivité du stock d'aiglefin de l'est du banc de Georges. Des recherches futures sont nécessaires pour combler ces lacunes et pour mieux répondre à la nouvelle exigence du Cadre de l'AP du MPO en vertu des dispositions relatives aux stocks de poissons (DSP; MPO 2021b). De plus, le PRL et le PRS sont élaborés pour répondre aux exigences en matière de gestion des pêches en eaux canadiennes en vertu du Cadre de l'AP du MPO (MPO 2009) et ne sont pas requis pour l'évaluation de l'état du stock au CERT.

La comparaison entre les différentes méthodes a montré que $B_{\text{rétablissement}}$ est le PRL le plus approprié pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges. Compte tenu des changements possibles dans l'estimation de la BSR de 1993 dans les évaluations futures du stock, il a été recommandé de définir explicitement $B_{\text{rétablissement}}$ pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges comme la biomasse minimale entre 1991 et 1996 (figure 8, voir la description détaillée dans le tableau 1). À l'aide de cette définition et des extraits du modèle actuel, l'estimation minimale de la BSR à 8 620 t en 1993 est le PRL défini pour l'aiglefin de l'EBG (figure 14). Le PRL peut servir à calculer soit une seule estimation de l'état du stock, $BSR_{\text{maintenant}} / \text{PRL}$, soit une représentation probabiliste de l'état du stock, $P(BSR_{\text{maintenant}} > \text{PRL})$; tableau 1).

Le PRS proposé a été calculé à 26 732 t selon la méthode de Rago-Razor fondée sur les données entre 1969 et 2020. Il peut être utilisé pour calculer soit une seule estimation de l'état, $BSR_{\text{maintenant}} / \text{PRS}$, soit une représentation probabiliste de l'état du stock, $P(BSR_{\text{maintenant}} > \text{PRS})$; tableau 2).

Les conditions pour l'examen du PRL et du PRS proposé sont énumérées dans les tableaux 1 et 2. L'incertitude qui existe dans le cadre de modélisation se propage dans la valeur des points

de référence. La réduction des sources d'incertitude (p. ex. erreur d'échantillonnage, hypothèses du modèle, données d'entrée) améliorerait les estimations du modèle et la précision des points de référence.

Les simulations rétrospectives historiques en boucle fermée ont confirmé que la dynamique de la biomasse de l'aiglefin de l'EBG dépendait fortement de la grande variabilité du recrutement dans les deux dernières décennies. Si l'on utilisait le PRL et le PRS comme points de contrôle dans la pêche historique, une simulation rétrospective en boucle fermée a montré que la biomasse terminale historique et le rendement moyen seraient largement invariables avec la mise en œuvre d'autres règles de contrôle des prises et de divers niveaux du PRL et du PRS spécifiés. Compte tenu du PRL et du PRS potentiels, les taux d'exploitation étaient nettement inférieurs aux niveaux historiques des années 1980 et 1990, mais ont par la suite fourni des tailles de stock plus élevées et des prises comparables. Le PRL potentiel et le PRS proposé permettaient le rétablissement du stock lorsqu'ils sont appliqués à des niveaux inférieurs au PRS, même pendant la période de faible productivité (de 1987 à 1995). Les PRL et PRS possibles n'ont pas non plus entraîné de baisse du stock en deçà du PRS, même pendant la période de faible productivité (de 1987 à 1995).

RÉFÉRENCES CITÉES

- Clark, S.H., Overholtz, W.J. and Hennemuth, R.C. 1982. Review and assessment of the Georges Bank and Gulf of Maine Haddock fishery. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 3(1): 1–27.
- DFO. 2002. [National Workshop on Reference Points for Gadoids : Ottawa, November 5-8, 2002](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2002/033.
- Duplisea, D. and Fréchet, A. 2011. [Updated reference point estimates for northern Gulf of St. Lawrence \(3Pn4RS\) cod \(*Gadus morhua*\) based on revised beginning of year weights at age](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/003. iv + 8 p.
- Fisheries Act R.S.C., 1985, c. F-14. As amended by Bill C-68, June 21 2019.
- Horczyk, A.R., Huynh, Q.C. and Carruthers, T.R. 2023. OpenMSE: open-source libraries for conducting fisheries management strategy evaluation.
- ICES. 2021. [ICES fisheries management reference points for category 1 and 2 stocks](#). Technical Guidelines. In Report of the ICES Advisory Committee, 2021. ICES Advice 2021, Section 16.4.3.1. doi.org/10.17895/ices.advice.7891.
- 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.
- 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](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Compte rendu. 2004/003.
- MPO. 2006. [Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution](#). Secr. Can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2006/023.
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). Last updated 2009-03-23.
- MPO. 2013. [Compte rendu de l'atelier national pour Expertise technique en évaluation de 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. de consult. sci. du MPO. Compte rendu. 2012/055.

-
- MPO. 2019. [Évaluation du stock d'aiglefin \(*melanogrammus aeglefinus*\) de la sous-division 3Ps de l'OPANO](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2019/007.
- MPO. 2021a. [Avis scientifique sur les stratégies de pêche fondées sur l'approche de précaution aux termes des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/004.
- MPO. 2021b. [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. 2022. [Évaluation des stocks de Sébastes \(*Sebastes mentella* et *Sebastes fasciatus*\) des Unités 1 et 2 en 2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2022/039.
- 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.
- Myers, R.A., Rosenberg, A.A., Mace, P.M., Barrowman, N. and Restrepo, V.R. 1994. Is search of thresholds for recruitment overfishing? ICES J. Mar. Sci. 51(2): 191–205.
- NAFO. 2004. NAFO Precautionary Approach Framework. NAFO/FC Doc. 04/18. 5 p.
- NEFSC. 2008. Panel Summary Report of the Groundfish Assessment Review Meetings (GARM III). Part 3. Biological Reference Points. 6 June 2008.
- Schuck, H.A. 1951. Studies of Georges Bank Haddock, Part I: Landings by pounds, numbers and sizes of fish. Fish. Bull. 52(1): 151–176.
- Sainsbury, K. 2008. Best Practice Reference Points for Australian Fisheries. Australian Fisheries Management Authority Report R2001/0999.
- Stock, B.C. and Miller, T.J. 2021. The Woods Hole Assessment Model (WHAM): A general state-space assessment framework that incorporates time- and age-varying processes via random effects and links to environmental covariates. Fish. Res. 240: 105967.
- TRAC. 2020. Eastern Georges Bank Haddock. TRAC Status Report 2020/02.
- TRAC. 2022. Eastern Georges Bank Haddock. TRAC Status Report 2022/03.
- Wang, Y., and Van Eeckhaute, L. 2012. [Canadian Biomass Reference Points for Eastern Georges Bank \(5Zjm\) Haddock](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/029. ii + 7 p.
- Wang Y, Gharouni, A, Friedland, K.D. and Melrose, D.C. 2021. Effect of environmental factors and density-dependence on somatic growth of Eastern Georges Bank Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Fish. Res. 240:105954.

TABLEAUX

Tableau 1. Spécification d'un point de référence limite (PRL) pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges (EBG). D'après les résultats de l'évaluation tirés de Wang et al. (en préparation²), PRL = 8 620 t.

Paramètre	Spécification
Théorie	<i>Brétablissement</i> (MPO 2002, MPO 2023). <i>Brétablissement</i> est définie comme la biomasse du stock reproducteur (BSR) la plus basse jamais enregistrée ayant produit le recrutement qui a permis au stock de se rétablir facilement.
Définition	$\min([BSR_{1991}, BSR_{1992}, \dots, BSR_{1996}])$, l'estimation actuelle du maximum de vraisemblance pour l'évaluation du stock en 1993 (PRL = BSR_{1993}).
Intention	Une valeur de substitution pour la surpêche des recrues, qui reflète la productivité pour de faibles tailles du stock dans des conditions moyennes, recommandée pour les stocks connaissant un recrutement occasionnel important (MPO 2022, 2023).
Mise à jour	Tous les trois ans
Conditions pour l'examen	Si : $BSR_{1993} \neq \min([BSR_{1991}, BSR_{1992}, \dots, BSR_{1996}])$.
Application	Peut servir à calculer soit une seule estimation de l'état du stock, $BSR_{maintenant} / PRL$, soit une représentation probabiliste de l'état du stock, $P(BSR_{maintenant} > PRL)$.
PRL	8 620 t

Tableau 2. Spécification d'un point de référence supérieur du stock (PRS) proposé pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges. D'après l'évaluation tirée de Wang et al. (en préparation²), PRS proposé = 26 372 t.

Paramètre	Explication
Valeur	26 732 t (selon l'évaluation de 2022 [Wang et al. en préparation ²]).
Théorie	Pour les stocks pour lesquels il existe deux groupes d'estimations du stock-recrutement correspondant à un recrutement relativement élevé et relativement faible, le PRS peut être calculé comme la BSR qui délimite les deux groupes (MPO 2004).
Définition	<p>Le point de rupture PR de la BSR, qui délimite deux groupes de recrutement, est estimé en minimisant la somme de l'erreur quadratique moyenne des points de recrutement estimés, R, pour chaque année y, entre 1969 et 2021 (ne s'étend pas aux années ultérieures dans les évaluations subséquentes), à partir du recrutement moyen dans chaque groupe (méthode de Rago-Razor; NEFSC 2008) :</p> $\min_{PR} \left(\sum_{y=1969}^{2021} k_y R_y - \left[\sum_{y=1969}^{2021} k_y R_y / \sum_{y=1969}^{2021} k_y \right] \right)^2 + \left(\sum_{y=1969}^{2021} j_y R_y - \left[\sum_{y=1969}^{2021} j_y R_y / \sum_{y=1969}^{2021} j_y \right] \right)^2$ <p>où BSR est l'estimation de la biomasse du stock reproducteur une année donnée y, k et j sont des valeurs binaires indiquant les groupes correspondants. Leur valeur dépend de la position de BSR_y, au-dessus ou en dessous du PRS :</p> $k_y = \begin{cases} 0 & BSR_y > PR \\ 1 & BSR_y < PR \end{cases}, j_y = \begin{cases} 1 & BSR_y > PR \\ 0 & BSR_y < PR \end{cases}$ <p>Le PRS est calculé à la moyenne de la valeur la plus élevée dans le groupe inférieur de la BSR et à la valeur la plus faible dans le groupe le plus élevé de la BSR :</p> $PRS = \frac{\max([k_{1969} BSR_{1969}, \dots, k_{2021} BSR_{2021}]) + \min([j_{1969} BSR_{1969}, \dots, j_{2021} BSR_{2021}])}{2}$
Justification	Le groupe supérieur de la BSR est une valeur de substitution de BSR_{RMD} .
Mise à jour	Tous les trois ans
Conditions pour l'examen	<ul style="list-style-type: none"> Absence de relation positive entre $\ln(SSB)$ et $\ln(R)$ en incluant tous les points de données estimés (deux groupes de recrutement ne sont pas apparents). Le recrutement moyen dans le groupe inférieur de la BSR est plus élevé que le recrutement moyen dans le groupe supérieur de la BSR : $[\sum_{y=1969}^{2021} k_y R_y / \sum_{y=1969}^{2021} k_y] > [\sum_{y=1969}^{2021} j_y R_y / \sum_{y=1969}^{2021} j_y]$
Application	Peut servir à calculer soit une seule estimation de l'état, $BSR_{maintenant} / PRS$, soit une représentation probabiliste de l'état du stock, $P(BSR_{maintenant} > PRS)$.
PRS proposé	26 372 t

Tableau 3. Spécification de la règle de contrôle des prises (RCP) de base et des solutions de recharge.
CV : coefficient de variation.

Variable	Spécification de la RCP de base	Autres RCP		
Taux d'exploitation de référence (TER)	Moyenne de $F_{40\%RPF}$ sur les cinq années précédentes, mise à jour tous les trois ans	RRfix : en tant que valeur de base, mais fixé au niveau calculé en 2021		
Points de contrôle opérationnels	Points de contrôle opérationnels au PRL et au PRS	noCP : en tant que valeur de base, mais aucun point de contrôle opérationnel, pêche au TER (PRL=PRS=0)		
Estimation de la biomasse du stock reproducteur (BSR)	Imprécision dans la BSR observée, dérivée du modèle de simulation d'évaluation des stocks	Err0 : en tant que valeur de base, mais aucune erreur d'observation dans la BSR Err2 : en tant que valeur de base, mais erreur d'observation double dans la BSR (CV de 21,6 %)		
Point de référence limite (PRL et point de référence supérieur du stock (PRS))	PRL = 8 620 t PRL = 26 222 t	RCP	PRL	PRS
		Low_Low	3/4 valeur de base	3/4 valeur de base
		Low_High	3/4 valeur de base	4/3 valeur de base
		High_Low	4/3 valeur de base	3/4 valeur de base
		High_High	4/3 valeur de base	4/3 valeur de base

FIGURES

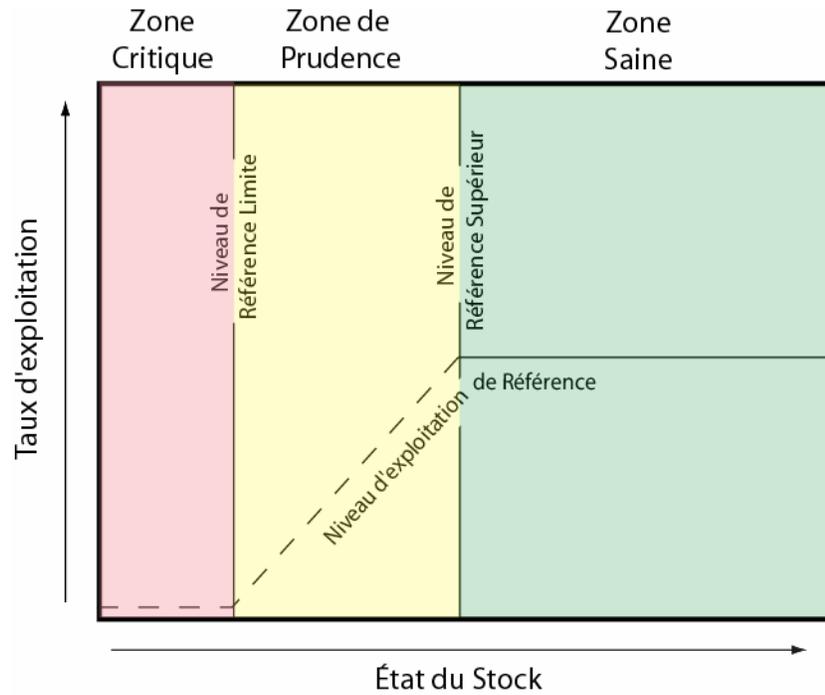


Figure 1. Illustration du système canadien de points de référence, indiquant la position du point de référence limite et du point de référence supérieur du stock (source : MPO 2006).

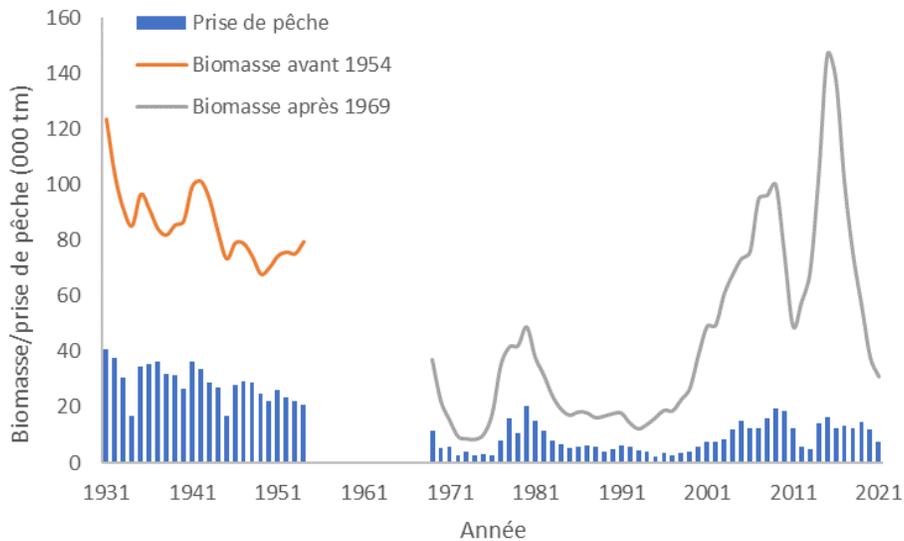


Figure 2. Prises annuelles d'aiglefin de l'est du banc de Georges, illustrées par les barres bleues. Biomasse estimée de 1931 à 1954 (lignes orange), dérivée d'une analyse de population virtuelle illustrative. Biomasse estimée de 1969 à 2021 (ligne grise), dérivée de l'évaluation de 2022.

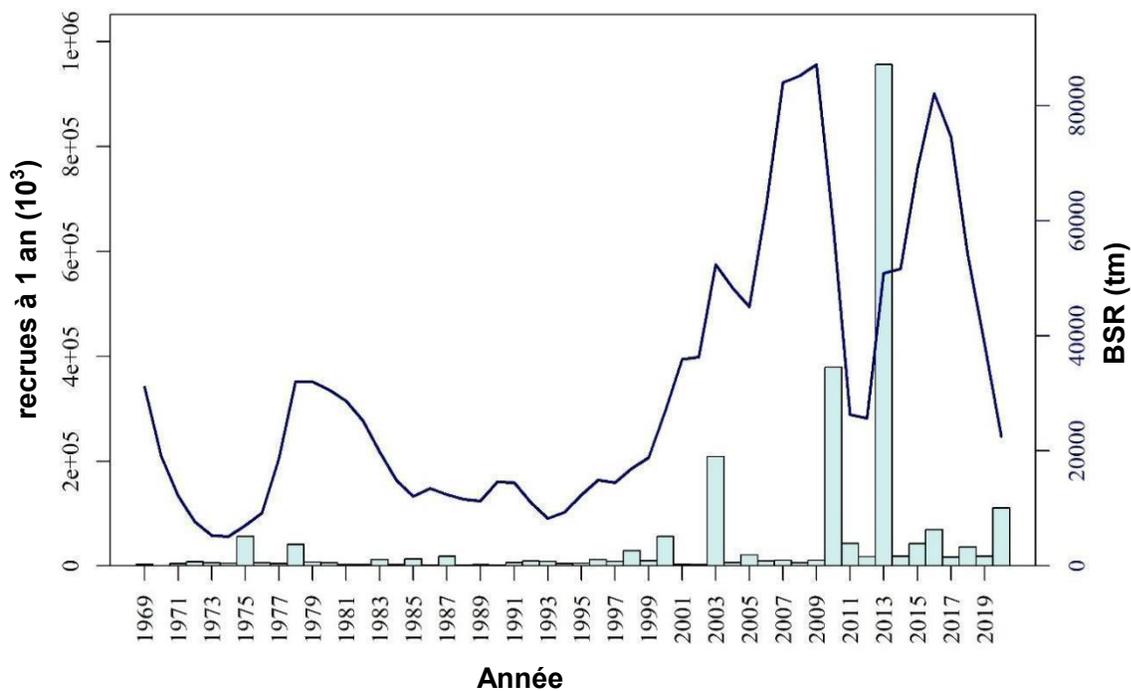


Figure 3. Estimation de la biomasse du stock reproducteur (BSR, ligne bleu foncé) et du recrutement à l'âge 1 (barres bleu pâle) de 1969 à 2021 dans l'évaluation de l'aiglefin de l'est du banc de Georges de 2022 (Wang et al. en préparation²).

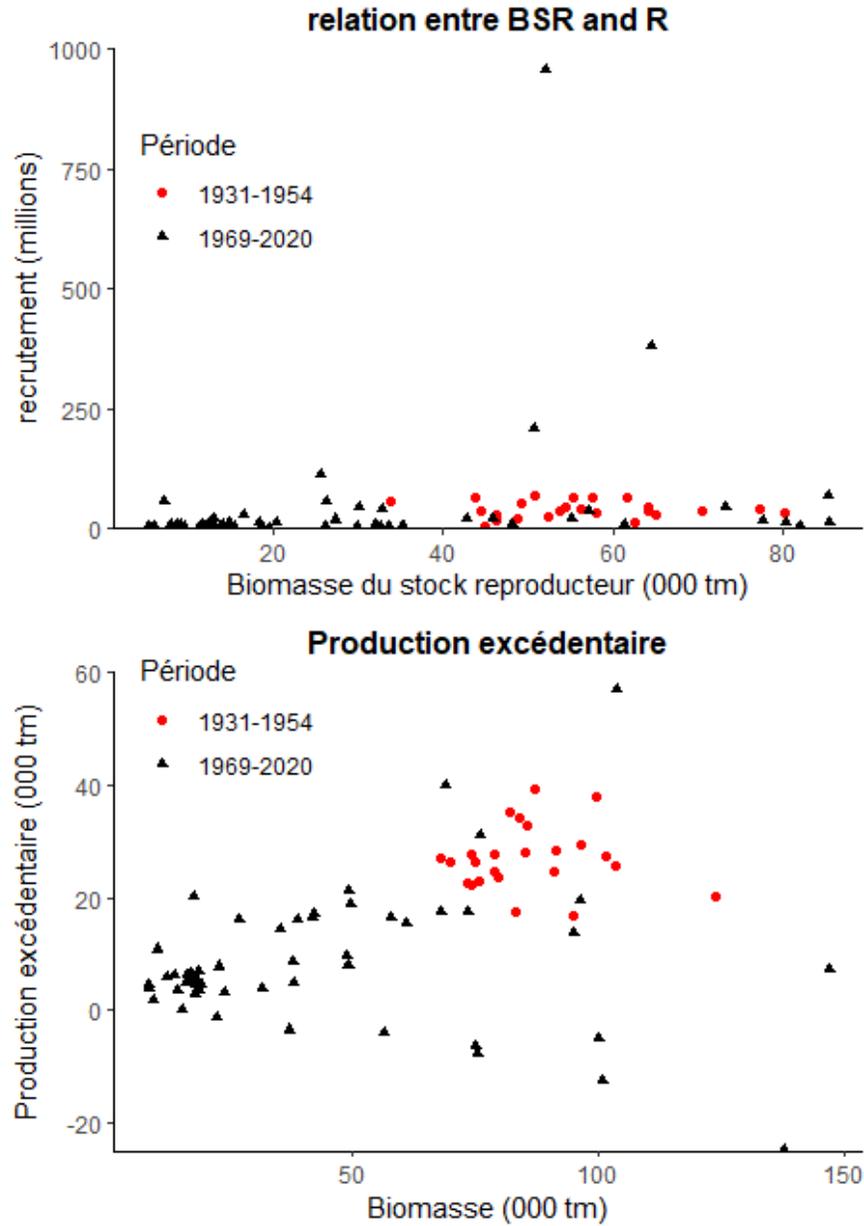


Figure 4. Relation entre la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le recrutement (R; panneau supérieur), et entre la biomasse et la production excédentaire (panneau inférieur) de l'aiglefin de l'est du banc de Georges pendant les deux périodes : de 1931 à 1954 et de 1969 à 2020.

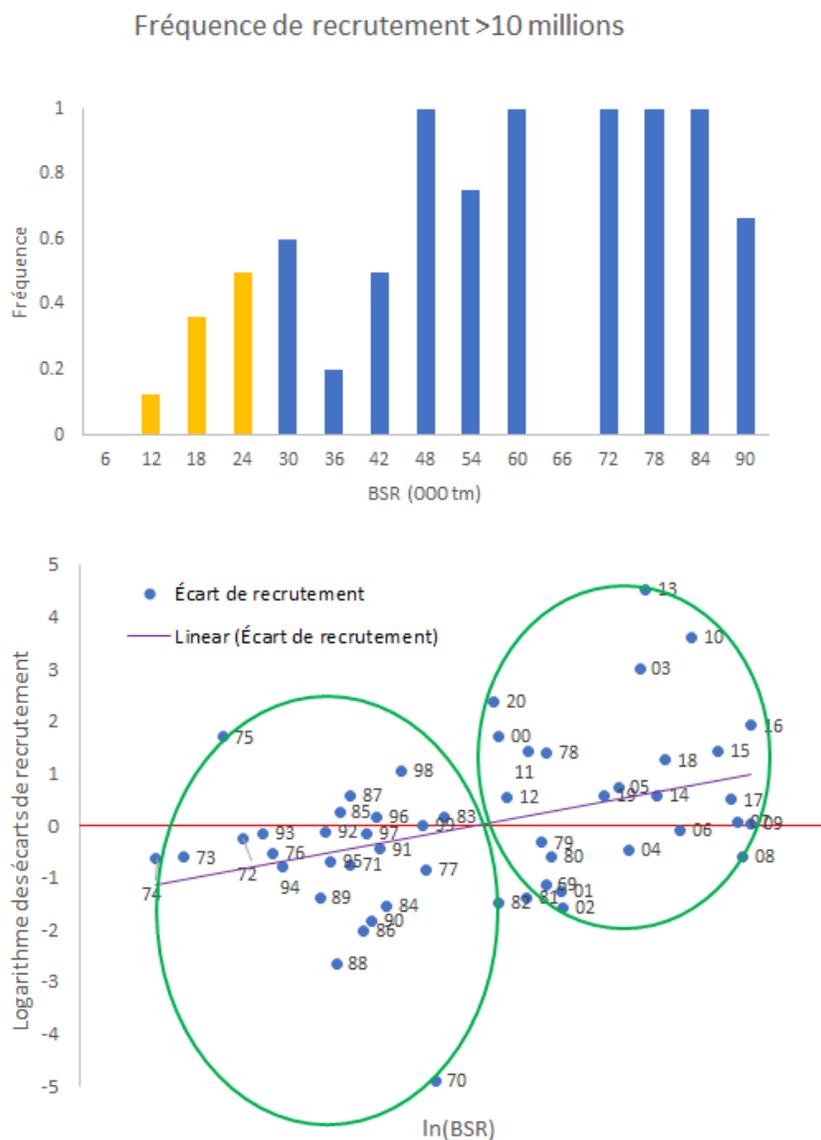


Figure 5. Relation positive entre la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le recrutement de l'aiglefin de l'est du banc de Georges. Fréquence du recrutement observé supérieure à 10 millions (panneau du haut) et écarts logarithmiques du recrutement par rapport à la moyenne avec une ligne linéaire ajustée (en violet, panneau du bas) à différents niveaux de BSR. Dans le panneau du haut, les barres jaunes indiquent la fréquence lorsque la BSR est inférieure à 30 000 t, et les barres bleues indiquent la fréquence pour une BSR égale ou supérieure à 30 000 t. Les cercles verts dans le panneau du bas montrent les deux groupes de points de stock-recrutement désignés par l'année de la cohorte, par exemple, « 75 » pour la cohorte de 1975 et « 20 » pour la cohorte de 2020.

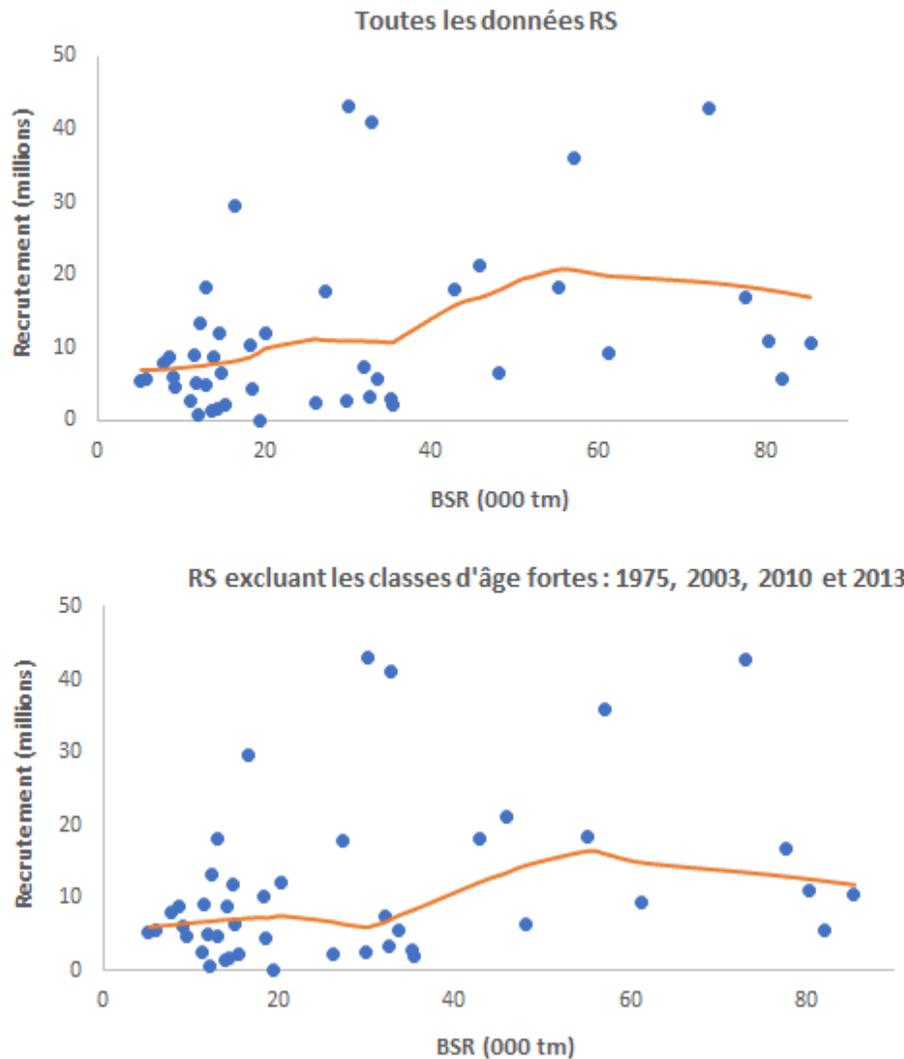


Figure 6. Relation entre la biomasse du stock reproducteur (BSR) et le recrutement de l'aiglefin du banc de Georges à l'est avec une courbe lisse ajustée selon la méthode de régression pondérée localement robuste (Loess) avec une fourchette = 0,5 (panneau du haut). Le recrutement sur l'axe des ordonnées est tronqué dans les deux panneaux de façon à ce que la majorité des observations soient visibles; par conséquent, les classes d'âge de 1975 (56 millions), 2003 (209 millions), 2010 (379 millions) et 2013 (956 millions) ne sont pas représentées. Le panneau du bas est le modèle de sensibilité avec les classes d'âge fortes de 1975, 2003, 2010 et 2013 exclues pour examiner leur impact sur la courbe ajustée de stock-recrutement.

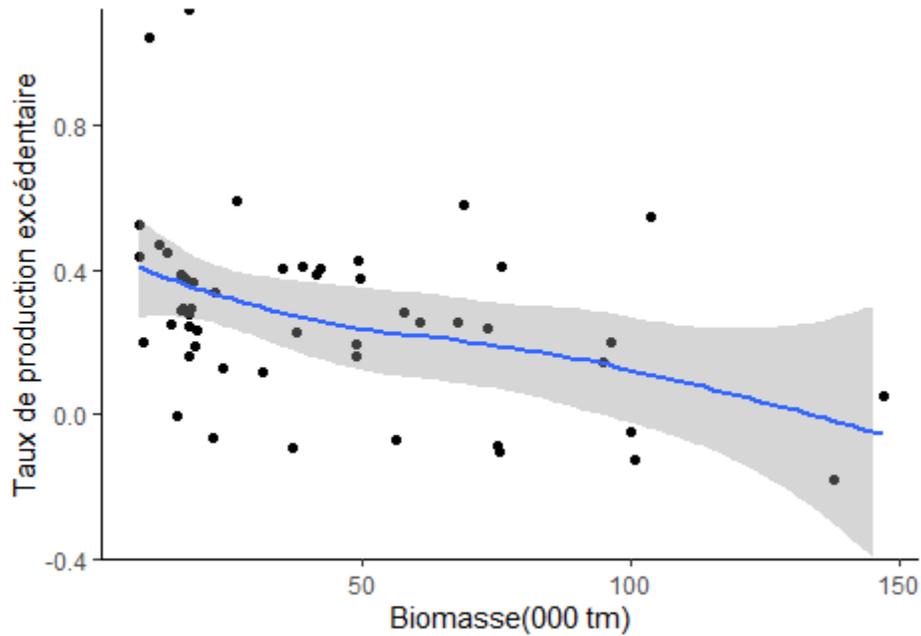


Figure 7. Relation entre le taux de production excédentaire et la biomasse de l'aiglefin du banc de Georges avec la ligne lisse ajustée selon la méthode de Loess avec une fourchette = 0,9.

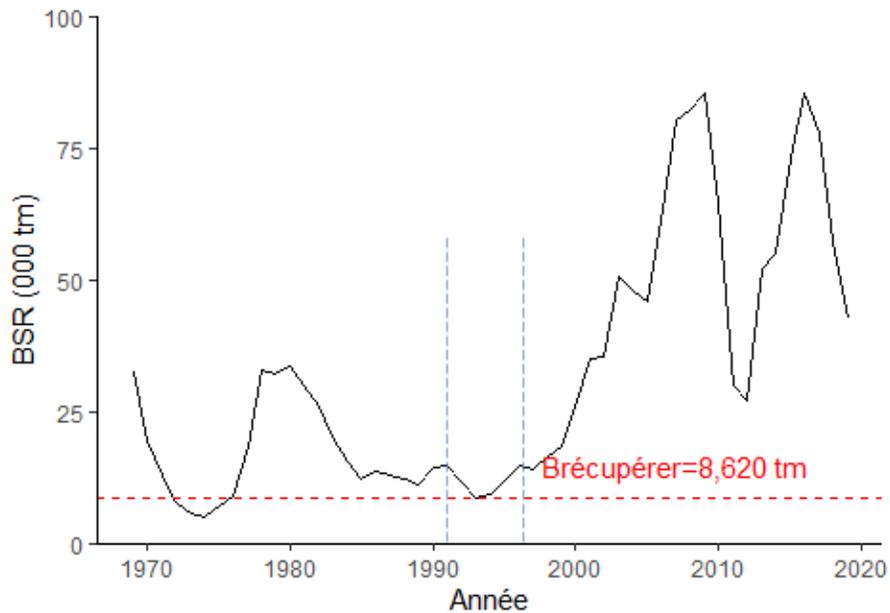


Figure 8. Série chronologique de la biomasse du stock reproducteur (BSR) de l'aiglefin de l'est du banc de Georges. *Brécupérer*, représentée par une ligne rouge horizontale en pointillés, indique la biomasse la plus faible entre 1991 et 1996 (lignes bleues verticales en pointillés).

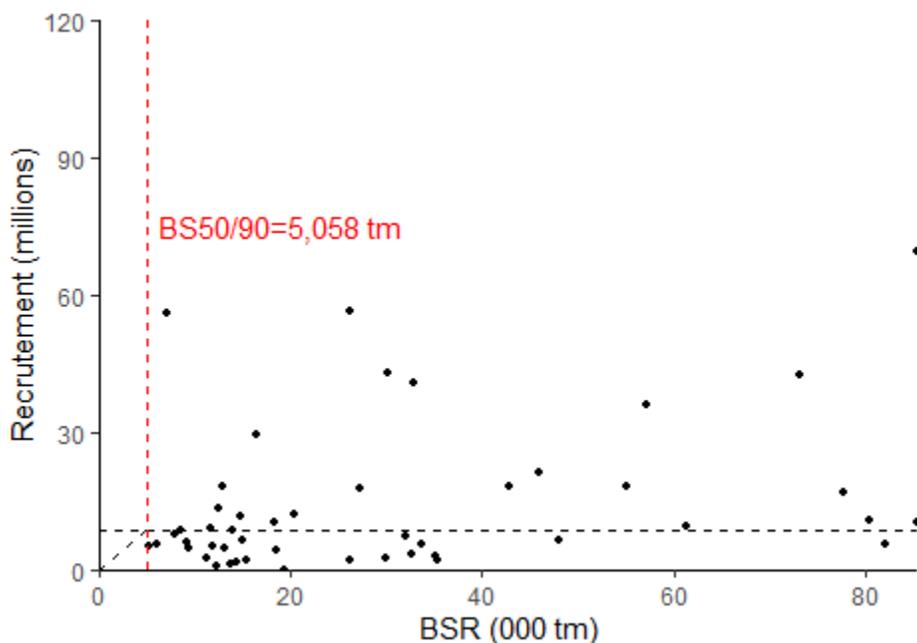


Figure 9. $Sb_{50/90}$ de l'aiglefin du banc de Georges, représentée par la ligne verticale en pointillés. Les deux lignes noires en pointillés représentent la médiane du recrutement et le 90^e centile du taux de recrutement de 1969 à 2019. Le recrutement sur l'axe des ordonnées est tronqué de manière à ce que la majorité des observations soient visibles. Les classes d'âge de 2003 (209 millions), de 2010 (379 millions) et de 2013 (956 millions) ne sont pas représentées.

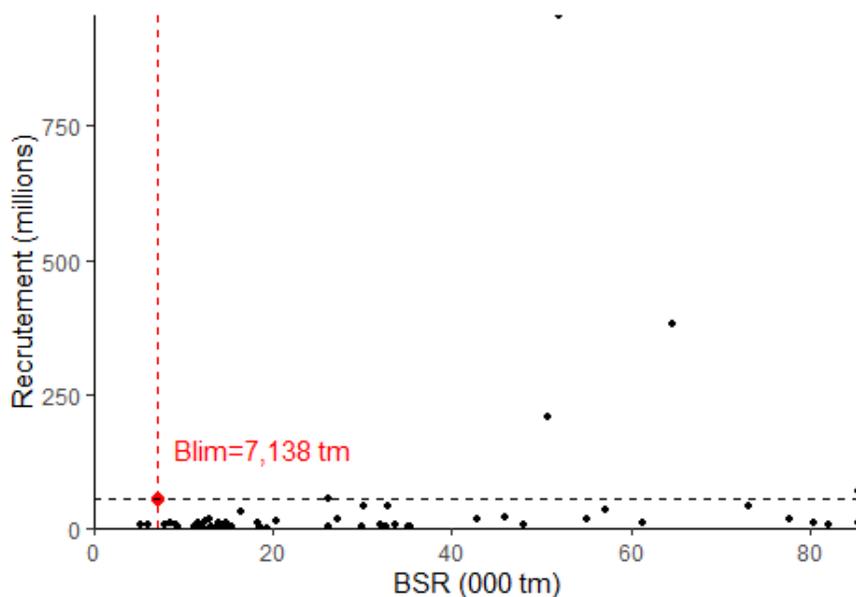


Figure 10. Point de référence limite possible (ligne rouge en pointillés) de l'aiglefin de la baie Georges est selon l'approche de Blim du CIEM. La ligne noire en pointillés représente le 90^e centile des recrutements de 1969 à 2019.

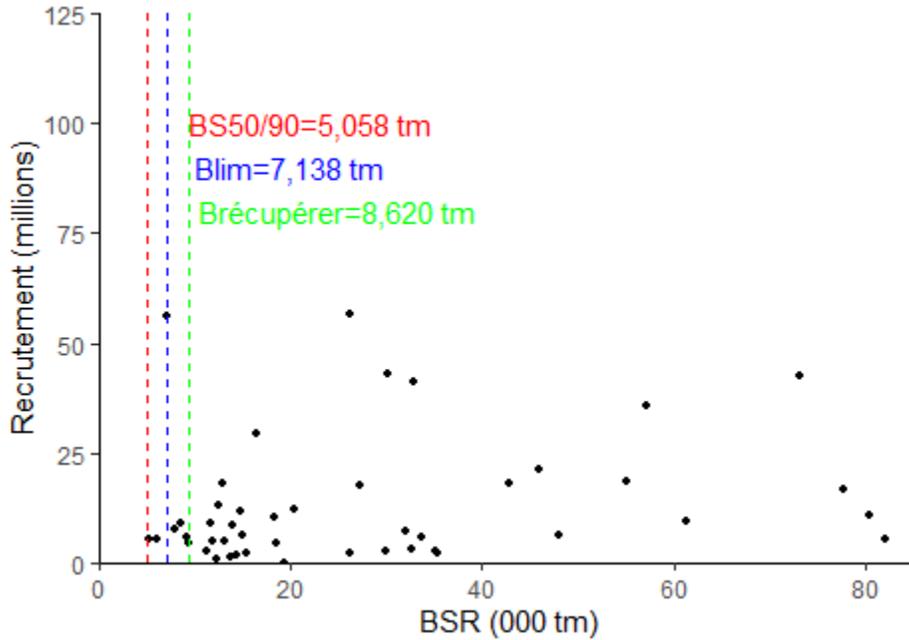


Figure 11. Comparaison des points de référence limites possibles de l'aiglefin de l'est du banc de Georges, selon trois méthodes différentes; les étiquettes des données indiquent les classes d'âge. Le recrutement sur l'axe des ordonnées est tronqué de manière à ce que la majorité des observations soient visibles. Les classes d'âge de 2003 (209 millions), de 2010 (379 millions) et de 2013 (956 millions) ne sont pas représentées.

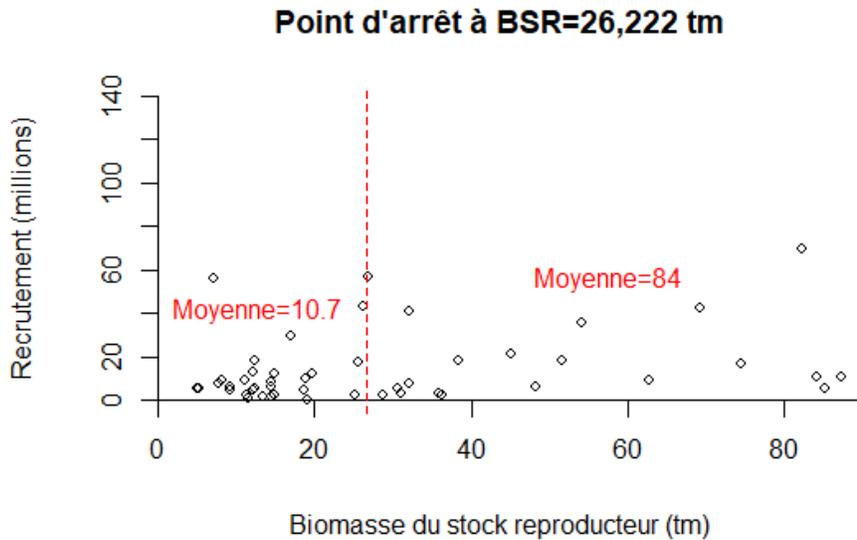


Figure 12. Point de rupture de la biomasse du stock reproducteur (BSR = 26 222 t; indiqué par la ligne rouge en pointillés) pour l'aiglefin de l'est du banc de Georges, estimé selon la méthode de Rago-Razor. Le recrutement sur l'axe des ordonnées est tronqué de manière à ce que la majorité des observations soient visibles. Les classes d'âge de 2003 (209 millions), de 2010 (379 millions) et de 2013 (956 millions) ne sont pas représentées.

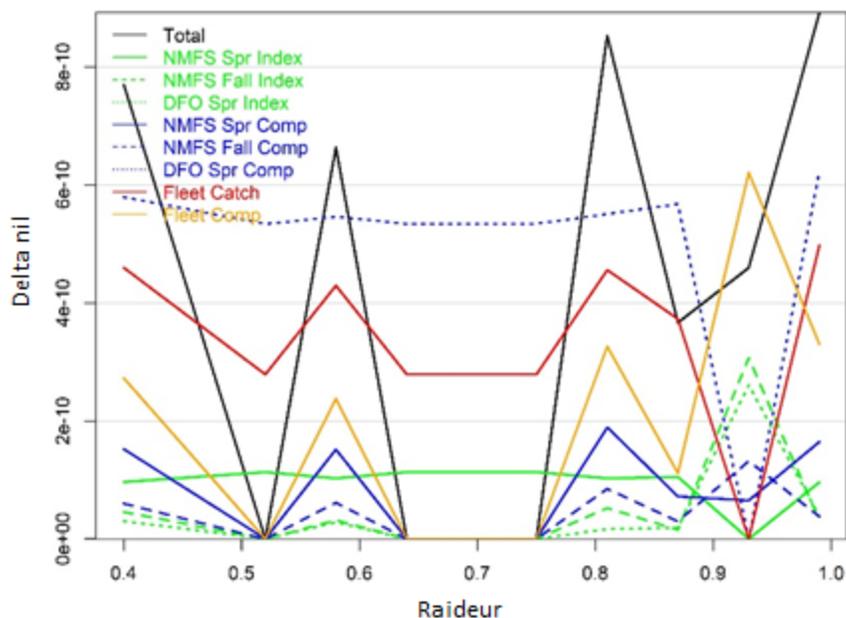


Figure 13. Profil de vraisemblance de la fonction objective pour d'autres valeurs du taux de variation. La fonction objective globale (Total) et ses composantes associées aux indices et aux données sur la composition par âge (Comp) sont toutes essentiellement identiques (respectent les limites de tolérance pour la convergence numérique) pour les autres valeurs spécifiées du taux de variation. Il convient de noter que lorsque le taux de variation est spécifié, le modèle d'évaluation Woods Hole Assessment Model traite les écarts du recrutement comme des effets aléatoires et, de ce fait, la pénalité de vraisemblance pour les écarts du recrutement n'est pas déclarée dans la fonction de vraisemblance globale (Total). NMFS : National Marine Fisheries Service, Spr : printemps, DFO: Pêches et Océans Canada.

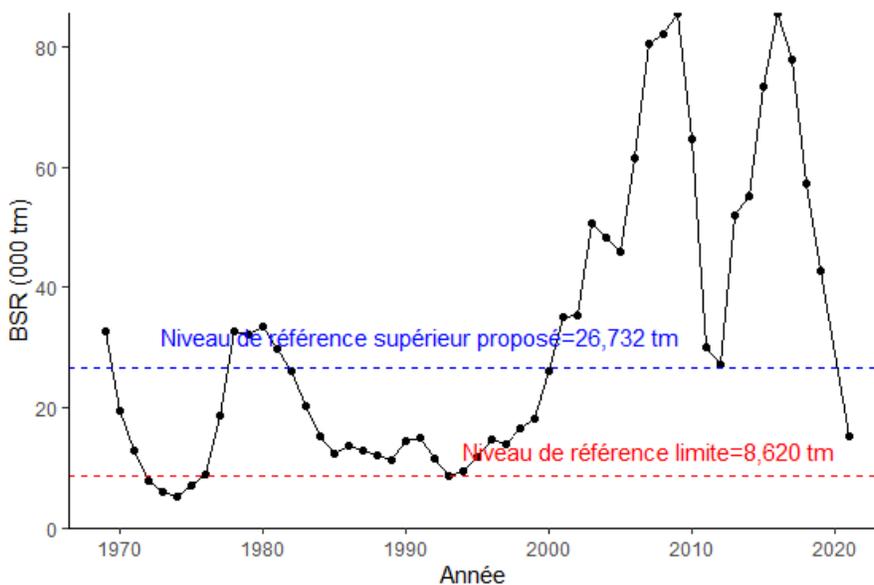


Figure 14. Série chronologique de la biomasse du stock reproducteur (BSR) de l'aiglefin du banc de Georges, estimée à partir de l'évaluation du stock de 2022 avec le point de référence limite déterminé (PRL, ligne rouge en pointillés) et le point de référence supérieur du stock proposé (PRS, ligne bleue en pointillés).

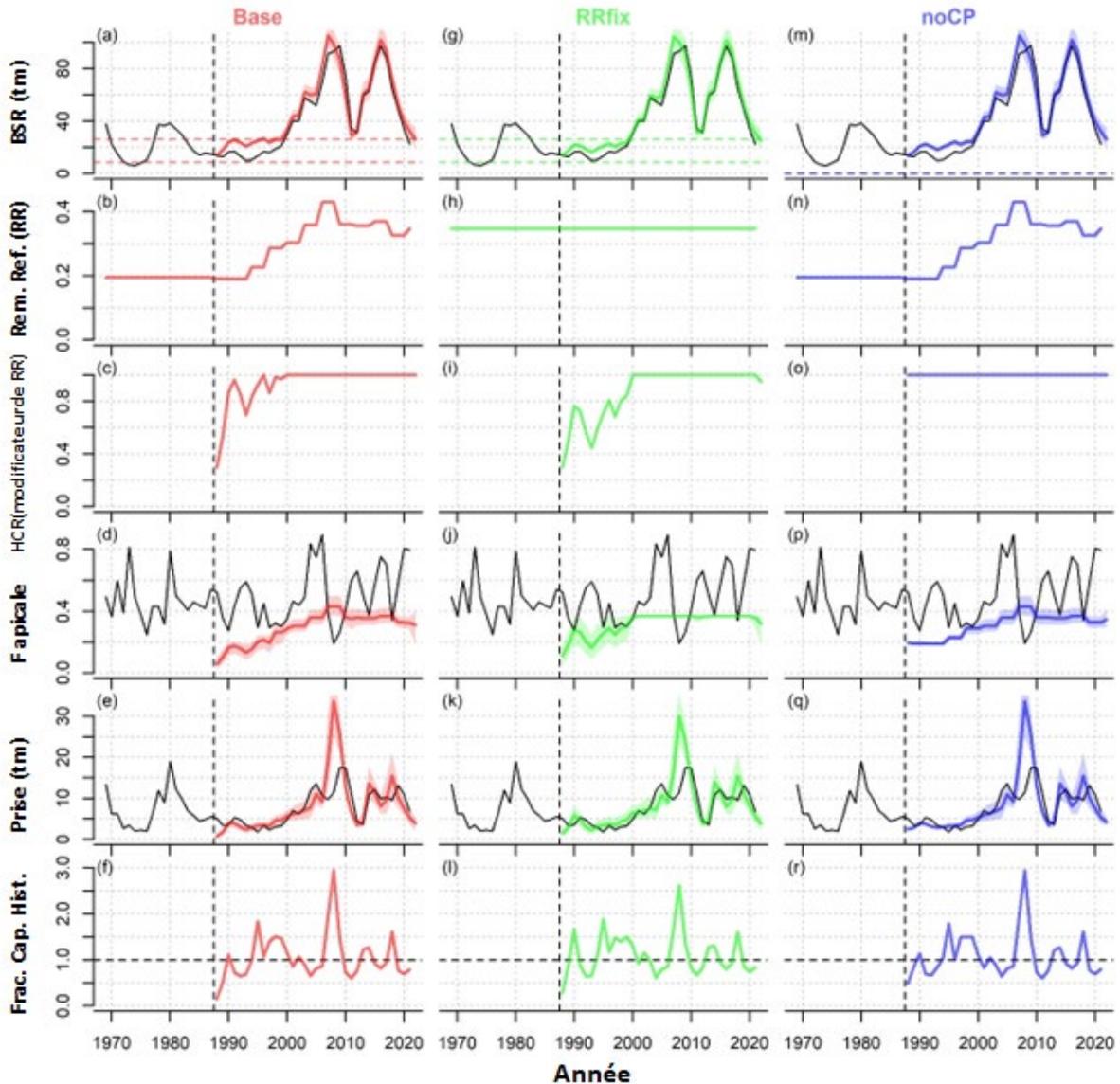


Figure 15. Résultats de la simulation rétrospective (de 1987 à 2021) pour la règle de contrôle des prises de base (Base) en utilisant une moyenne mobile de F40 %RPF comme taux d'exploitation de référence, la RCP avec un taux d'exploitation de référence fixe (RRfix; TER = 0,365, moyenne de F40 %RPF 2017—2021) et une RCP identique à la RCP de base (noCP) sans point de contrôle opérationnel (PRL = PRS = 0). Les lignes noires pleines représentent les valeurs moyennes de la reconstruction avec les niveaux de prises historiques. Les lignes pleines de couleur indiquent les valeurs moyennes simulées pour chaque RCP ($n = 2\ 000$). Les régions ombrées représentent les plages interquartiles à 95 % et sont incluses ici pour la BSR, F apicale et les panneaux des prises. Les lignes verticales en pointillés marquent le début de la simulation rétrospective en boucle fermée. Les lignes horizontales de couleur en pointillés correspondent aux points de contrôle opérationnels de chaque RCP.

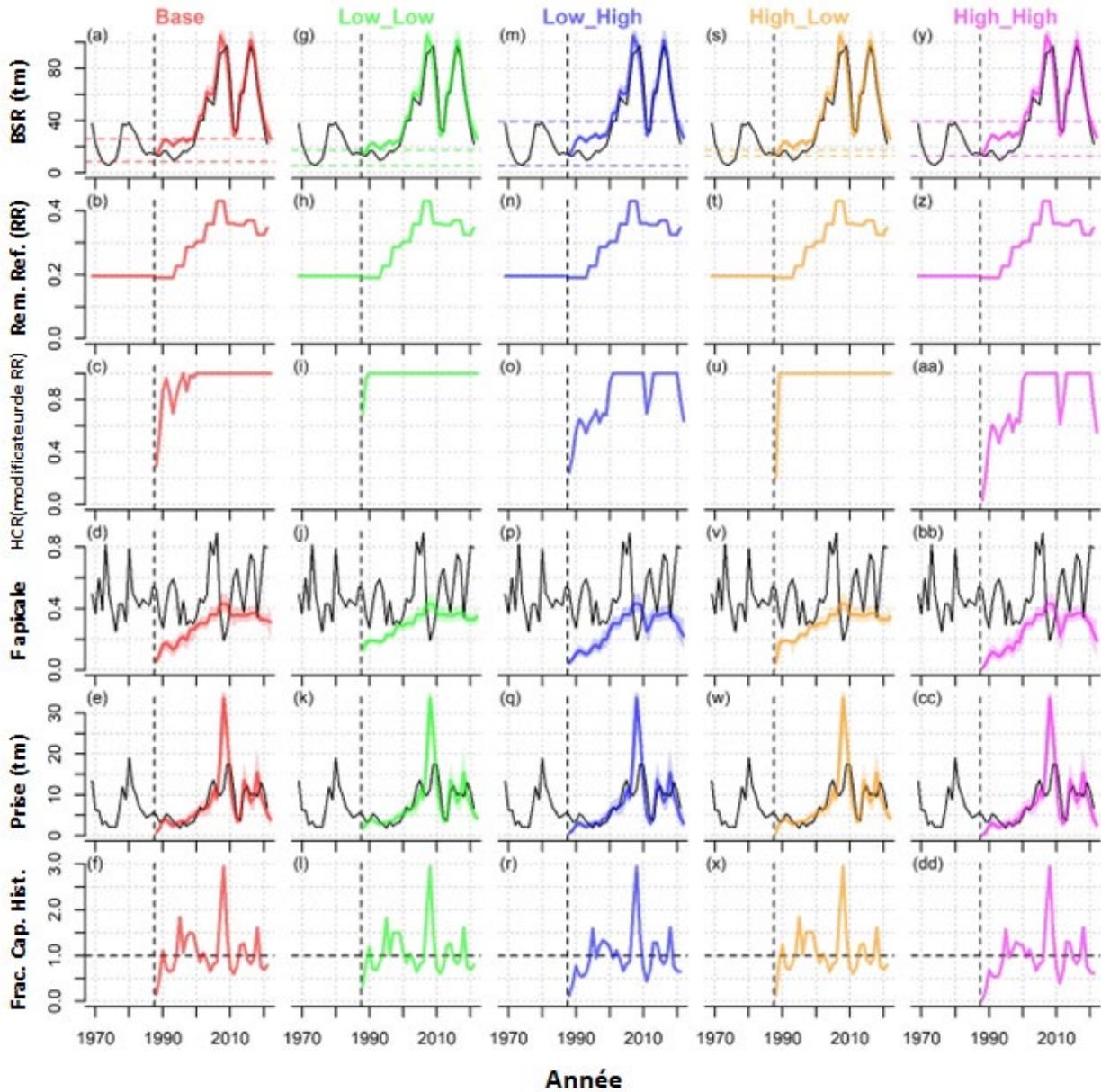


Figure 16. Comme pour la figure 15, mais pour quatre autres règles de contrôle des prises (RCP) qui ont des combinaisons des niveaux bas (3/4) et élevé (4/3) du point de référence limite de base et du point de référence supérieur du stock (tableau 1).

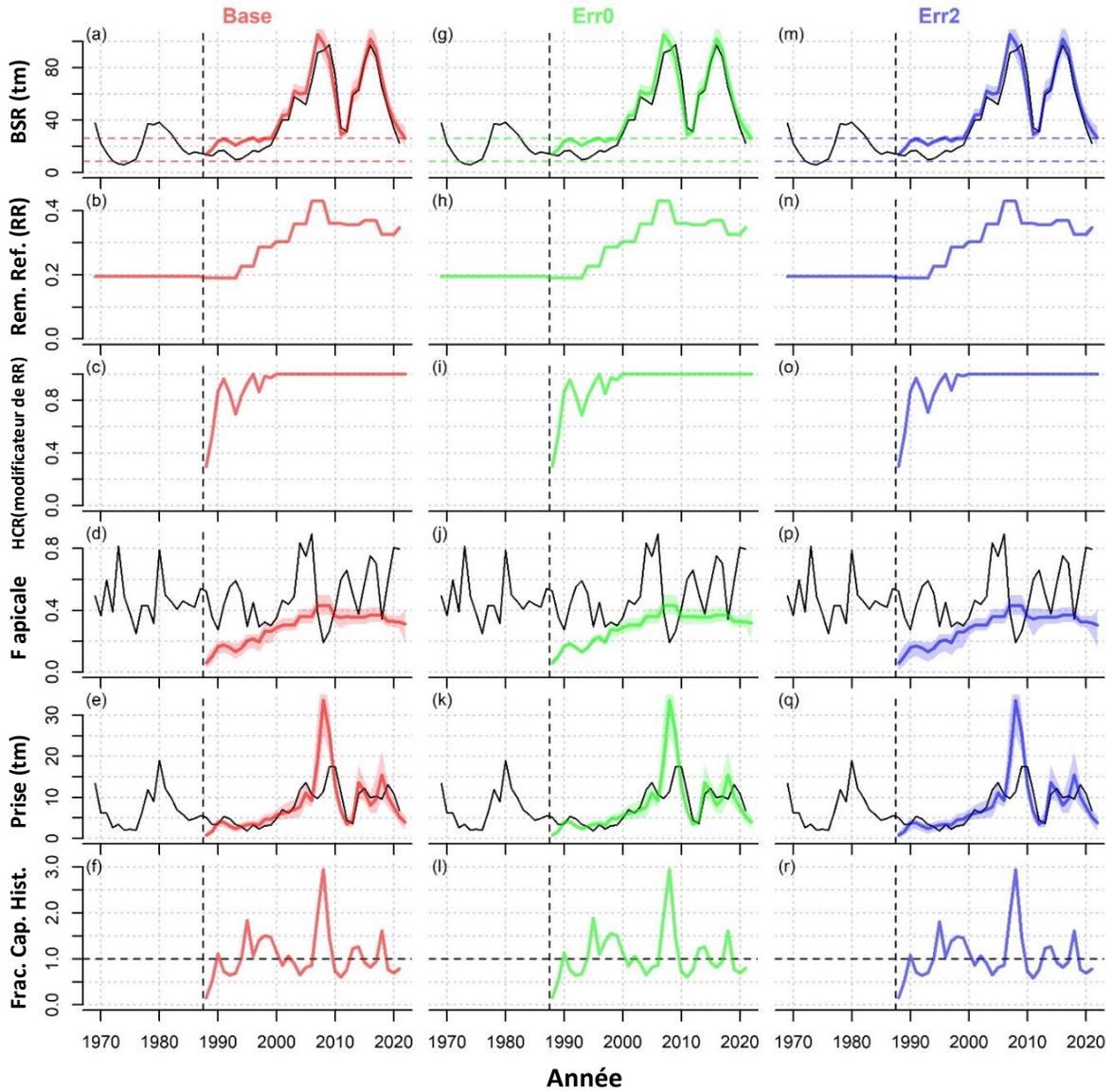


Figure 17. Comme pour la figure 15, mais pour les règles de contrôle des prises (RCP) qui n'ont aucune erreur d'observation dans la biomasse reproductrice (Err0) et celles qui ont le double de l'erreur d'observation dans la biomasse reproductrice (Err2).

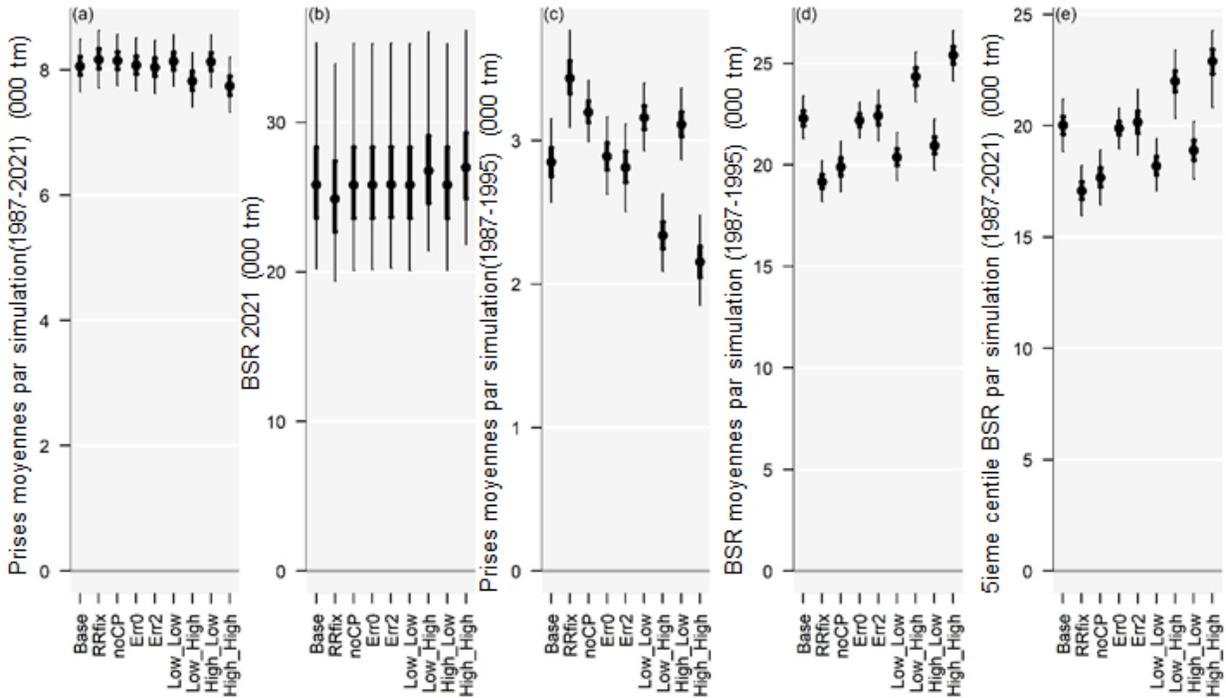


Figure 18. Prises moyennes pendant toute la période rétrospective (de 1987 à 2021, panneau a), biomasse du stock reproducteur (BSR) à la fin de la période rétrospective (2021, panneau b), prises moyennes et rendement de la BSR pendant la période historique de recrutement faible de 1987 à 1995 (panneaux c et d). Le graphique illustre également le 1^{er} centile le plus bas de la BSR par simulation sur toute la période (panneau e). Les points représentent la médiane des estimations de toutes les simulations ($n = 2000$), les lignes épaisses représentent la plage interquartile et les barres minces plus larges représentent la plage interquartile à 95 %.